© Agencia Estatal de Meteorología 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

EL

TELESCOPIO MODERNO

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente
Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología
Secretaría General de Coordinación Meteorológica
Centro de Documentación - Biblioteca
24 JUN. 1994

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

R.º 13.562
Sig. 5.20.2.6.0
Tel

EL

TELESCOPIO MODERNO

NOCIONES DE ASTRONOMÍA COMPILADAS POR

AUGUSTO T. ARCIMIS

DE LA REAL SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE LÓNDRES

EXPOSICION POPULAR DE LOS ÚLTIMOS TRABAJOS Y DESCUBRIMIENTOS REALIZADOS POR EL P. SECCHI,

VOGEL, HUGGINS, FLAMMARION, LOCKYER Y OTROS MUCHOS

TOMO II

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente
Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología
Subdirección General de Coordinación Meteorológica
Centro de Documentación - Biblioteca

BARCELONA

MONTANER Y SIMON, EDITORES

CALLE DE CASANOVA, NÚMERO 8

1879

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ES PROPIEDAD DE LOS EDITORES

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO CUARTO

LAS ESTRELLAS Y LAS NEBULAS

INTRODUCCION

Hasta aquí hemos limitado nuestra atencion á los cuerpos que circulan en torno del Sol y que forman el sistema solar. No obstante la inmensa distancia á que se encuentran esos astros, podemos considerarlos, en comparacion con las estrellas fijas, como una familia separada y distinta que inmediatamente nos rodea, puesto que una esfera tan inmensa que su diámetro fuese igual á la órbita del cuerpo mas lejano del sistema solar, apareceria como un mero punto geométrico, contemplada desde la estrella mas próxima. El espacio que separa la órbita de Neptuno de las estrellas fijas entre sí, en tanto como podemos calcular, se encuentra por completo vacio y limpio de materia, excepto en algunos casos en que vienen á visitarnos varios fragmentos nebulosos de naturaleza meteórica ó cometaria, que se ven atraidos por la potente masa solar.

Hemos visto en nuestro sistema de Sol, planeta y satélites, una hermosa y ordenada estructura, en la que cada cuerpo se mantiene en su propia órbita por tiempo indefinido y por innumerables revoluciones, merced al equilibrio constante de la fuerza centrífuga y de gravitacion. ¿Formarán los millones de soles y conglomerados estelares esparcidos por el universo, un sistema inmensamente superior, pero de igual y ordenada disposicion? Y en este caso, ¿cuál es su verdadera forma? Este es el problema mas complexo que nos presenta el estudio de las estrellas.

Si apreciamos la importancia del asunto por su grandeza intrínseca, hemos de convenir en que ningun problema puede el hombre contemplar que supere en nobleza á este que nos ocupa. Al investigar el misterio del sistema solar, demostrando que la Tierra que nos sirve de morada era uno de los mas pequeños de los ocho planetas que giran al rededor del Sol, dimos un gran paso en la vía de las concepciones grandiosas de la inmensidad de la creacion, y de la insignificancia comparativa de los intereses sublunares. Pero cuando al extender nuestra vista, hallamos que nuestro gigantesco Sol es tan solo uno de los innumerables millones de soles, hemos de comprender que todo nuestro sistema es una parte insignificante de la obra, y que la fábrica que tenemos que estudiar es infinita. Cuando hayamos examinado todas las estrellas, nebulosas y conglomerados con nuestros telescopios, reduciéndolas á un solo sistema, y cuando demostremos de qué modo obran respecto de las demás, habremos resuelto el problema del universo material, considerado, no en detalle, sino en su mas ámplio conjunto.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Desde que Kopérnico demostró que las estrellas eran cuerpos que brillaban con luz propia, situados mucho mas allá de nuestro sistema solar, ha ocupado este asunto la atencion de los astrónomos y filósofos. La idea original, punto de partida de todas las especulaciones sobre esta materia, consistia en considerar esférico el universo; la redondez aparente de la bóveda de los cielos, la uniformidad del movimiento diurno y la invariabilidad de la posicion relativa de las estrellas, todo se combinaba para fortalecer la idea de que estos últimos astros se hallaban colocados en la superficie interna de una esfera hueca, cuyo centro ocupaban la Tierra ó el Sol; esta esfera constituia el firmamento de los antiguos, fuera del cual estaba situado el empíreo ó reino del fuego. Kopérnico parece haber profesado esta opinion y Keplero y Galileo fueron los primeros que ensancharon esta hipótesis, resolviendo el segundo en estrellas la Vía láctea valido de su anteojo, é indicando el otro que nuestro Sol debia ser sencillamente una de las estrellas de que tan copiosa cantidad muestran los cielos, y que su extraordinario brillo, á su proximidad y no á otra causa se debia. En el problema del sistema estelar, tiene este concepto la misma importancia, que llena la de la Tierra, como planeta, en el problema del sistema solar. Mas tuvo Keplero menos fortuna que Kopérnico en cuanto á que su opinion fuese aceptada, pues tan solo ha sido bien recibida despues de los trabajos de Herschel y las profundas concepciones de Kant.

A pesar de los materiales que la diligencia de Herschel y de sus sucesores han consagrado á este asunto, distamos mucho de haber alcanzado aun ni una solucion aproximada del problema de que hablamos. En cualquiera direccion que tratemos de investigarlo, pronto nos encontramos frente á frente con lo infinito en el tiempo y el espacio; en particular cuando procuramos conocer, no solo lo que es hoy dia el universo, sino las causas que de edad en edad lo han modificado; todo el saber que el hombre con incansable perseverancia ha llegado á acumular sobre este asunto, se reduce á alguno que otro destello que de vez en cuando surge de la mas profunda oscuridad, y si bien para cada generacion sucesiva aparecen mas luminosas estas ráfagas, muchos siglos han de trascurrir antes de que pasemos del límite actual de nuestros conocimientos que, en tan vasto problema, se reducen á marcar la distancia que nos separa de las mas próximas estrellas. Y podemos asegurar que ningun habitante de este planeta puede, ni por sus propias observaciones, ni apoyándose en las de sus predecesores, penetrar completamente en el misterio que envuelve la estructura del cosmos. Sin embargo, quizás en lo futuro pueda efectuarse, pero hoy por hoy hemos de contentarnos con formar conjeturas mas ó menos probables, fundadas en lo que sabemos acerca del carácter general de una ley de la naturaleza. En un tratado exclusivamente científico, siquiera popular, no deben tener cabida tales conjeturas, y si hemos de andar á tientas en una oscuridad profunda, es preferible entregar el problema íntegro á los poetas, soñadores y teólogos. Pero es tan fascinador el asunto, que á pesar nuestro hemos de permitirnos utilizar la mas escasa vislumbre que se nos presente, con tal que nos ayude á penetrar el misterio; por lo tanto, relataremos brevemente lo que pensaron los hombres de la antigüedad, lo que la ciencia actual revela con algunos grados de probabilidad, y lo que por completo ignoramos.

Para proceder con órden científico hemos de comenzar acumulando un gran número de hechos, siendo nuestro primer paso el estudio del cielo estrellado á la simple vista y pasando luego á su exámen armados de poderoso telescopio.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO PRIMERO

LAS ESTRELLAS Á LA SIMPLE VISTA

I

Número y magnitud de las estrellas

El número total de estrellas de la esfera celeste, visibles á la simple vista media, puede estimarse, en cifra redonda, en unas



Figura 1.— Region de la constelacion de los Gemelos observada á la simple vista

5,000; varia tanto este guarismo segun que la vista del observador es mas perfecta ó está mejor educada, que tan solo pretendemos indicar una aproximacion bastante razonable. Cuando se dirige el telescopio á los cielos, se advierte que por cada estrella visible á la simple vista, hay cientos, ó mejor dicho, millones, que no se perciben sin auxilio de los instrumentos. En la figura 1 se representa una porcion de la constelacion de los Gemelos en la que se cuentan á la simple vista 7 estrellas; la figura que sigue es la misma region especulada con un anteojo de 20 centímetros de diámetro. De las observaciones de Herschel dedujo Struve que, el número total de estrellas que podian columbrarse con el gigantesco telescopio de veinte piés, no bajaba de 20.000,000; los poderosos instrumentos de nuestro siglo indican, sin duda alguna, que cuando menos, el número total de estrellas visibles, está comprendido entre 30.000,000 y 50.000,000.

En época muy remota se clasificaron las estrellas segun su brillo aparente ó magnitud; las quince mas brillantes se llamaron de 1.ª magnitud; las cincuenta siguientes de 2.ª y así sucesivamente hasta la sexta que comprende las mas débiles que pueden columbrarse sin usar medios ópticos. El número de estrellas de cada órden de magnitud entre el polo norte y el paralelo 35 al sur del ecuador es como sigue:

Hay próximamente de		1.ª	magnitud	14
»	»	2.ª	»	48
»	»	3.ª	»	152
»	»	4.ª	»	313
»	»	5.ª	»	854
»	»	6.ª	»	2.010
Total visibles á la simple vista				3.391

Este límite comprende todas las estrellas que se ven cómodamente en España y culminan á una altura superior de 15 grados; el número de las de sexta magnitud que pueden verse, depende en gran parte de la vista del observador y del estado atmosférico; en la lista anterior se incluyen todas las que pueden columbrarse por una persona de vista normal, con un cielo despejado y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sin luz de la Luna; pero el astrónomo aleman Heis, de quien copiamos la tabla, presumia que podia distinguir además, sin necesidad de cristales, otras 1,964 estrellas.

El método de expresar el brillo de las estrellas por series de números, se usa tambien con las que se llaman telescópicas; la mas pequeña que puede columbrarse con un anteojo de 15 centímetros de diámetro, en circunstancias normales, se calcula co-



Fig. 2.—La misma region de la figura anterior, observada con el telescopio

mo de 13.ª magnitud. En la misma escala, las mas diminutas que se perciben con los mayores telescopios del mundo se estiman



Fig. 3.—Escala de las magnitudes comparativas de las estrellas

de 16.ª magnitud, pero esto es algo arbitrario. Las medidas del brillo relativo de las estrellas indican que, segun decrece la escala de las magnitudes, disminuye la cantidad de luz emitida en razon geométrica, y las estrellas de cada órden se encuentran en general entre dos quintos y un tercio del esplendor de la del órden inmediato precedente. No es esta relacion rigurosamente exacta, pero basta para el objeto que nos proponemos; desde la segunda á la quinta magnitud, la diminucion probable es de un tercio en cada magnitud, y luego de dos quintos. Suponiendo exacta esta última relacion, hallamos que se necesitan

2 y media	estrellas de	2.ª mag.	para formar una de	1.ª
6	»	3	»	»
16	»	4	»	»
40	»	5	»	»
100	»	6	»	»
10,000	»	11	»	»
1.000.000	»	16	»	»

El número de estrellas de las diversas escalas de magnitud varía en una relacion

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que se aparta poco de la inversa á su brillo; así vemos que hay tres veces mas estrellas de 2.ª magnitud que de 1.ª, tres veces mas de 3.ª que de 2.ª, y luego algo menos de tres veces de cada magnitud respecto de la inmediata superior. Comparándolas con la tabla de brillo relativo se deduce que si todas las estrellas se condensaran en una sola, el esplendor de todos estos cuerpos así reunidos no variaria demasiado uno de otro hasta que se pasara de la 9.ª y 10.ª magnitud. Pero es indudable que finalmente disminuiria el esplendor, porque de otro modo no habria límite para el importe total de luz que dan las estrellas, y todo el cielo brillaria tanto como el Sol.

Comprenderá el lector que este arreglo por magnitudes es puramente artificial, y que en realidad las estrellas ofrecen toda clase de magnitudes, variando por gradaciones insensibles, así que es imposible distinguir la estrella mas brillante de una magnitud, de la mas débil de la categoría inmediata superior. De modo que cuando los astrónomos quieren expresar las magnitudes con mayor exactitud, las dividen en tercios, y aun en décimos; así, por ejemplo, las estrellas comprendidas entre la sexta y séptima magnitud se llaman 6.ª,1, 6.ª,2, 6.ª,3 y hasta 6.ª,9 si es menester.

Varias son las tentativas hechas para fundar sobre bases mas exactas la clasificacion de las estrellas segun su brillo; pero el problema no deja de presentar grandes dificultades, porque no hay otro medio de apreciar la luz que emite un objeto sino por inspeccion visual; para medir la intensidad relativa de dos luces es necesario disponer de varios instrumentos con cuyo auxilio pueda modificarse la potencia de una luz ó de las dos que se comparen, hasta que aparezcan iguales. Estos aparatos, que se emplean mucho en las fábricas de gas, se llaman *fotómetros*, y los hay de varias formas; los astrónomos se valen principalmente del de Zöllner, con el cual se compara la luz y color de una estrella con otra estrella artificial. Algo se ha hecho ya para obviar á esta falta, por Seidel de Munich, y como resultado curioso del catálogo de 209 estrellas construido por este profesor, diremos que Sirio brilla para nosotros cuatro veces mas que cualquiera otra estrella.

En todas las épocas en que ha florecido la ciencia astronómica, se han formado catálogos de estrellas en los que se marcan sus magnitudes y posiciones en el cielo. El mas antiguo que se conoce es el de Ptolemeo, llamado *Almagesto* por los árabes, y que se supone construido por Hiparco de Alejandria 150 años antes de la era cristiana; se dice que lo formó con objeto de que las futuras generaciones pudieran comprobar si se habia verificado algun cambio en la conformacion de los cielos; su exámen demuestra que el aspecto de las constelaciones es hoy dia el mismo que hace dos mil años; hay, sin embargo, dos ó tres estrellas en su catálogo, que no es posible identificar ahora con toda exactitud; pero se debe atribuir esta dificultad mas bien á la imperfeccion y errores que se han acumulado en las infinitas copias que se hicieron del catálogo durante diez y seis siglos, que no á las modificaciones reales del cielo estrellado. La obra de Hiparco contiene solo 1,080 estrellas, número inferior al que fácilmente hubiera podido alcanzar con los medios de que disponia.

El siguiente catálogo en órden de fechas es el de Ulugh Beigh, hijo del Tamerlan de la Tartaria, quien lo construyó en el siglo xv; la mayor parte de las estrellas son las del catálogo de Ptolemeo, y tan solo se determinaron de nuevo sus posiciones en el Observatorio de Samarcanda, rival del que algunos siglos antes fundaron los árabes en Sevilla y que se conoce con el nombre de Giralda; contiene menos estrellas que el de Hiparco. Tycho Brahe, que tantos progresos realizó en el arte de observar, catalogó de nuevo las estrellas, determi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nando sus posiciones con mas precision que sus predecesores. Este tercer catálogo cuenta 1,005 estrellas.

Despues de la invencion del anteojo se perfeccionó grandemente esta parte de la astronomía; nuestros catálogos modernos pueden dividirse en dos clases. En unos se da la posicion de cada estrella en la esfera celeste (ascension recta y declinacion) con toda la exactitud posible; en otros, estos elementos solo son aproximados, de modo que pueda identificarse una estrella y distinguirla de las demás circunvecinas. Los catálogos de la primera clase son muy numerosos; pero los mas exactos han de ser necesariamente incompletos, debido al gran trabajo que exige la determinacion precisa de la posicion de una estrella. Probablemente hay de quince á veinte mil estrellas catalogadas con astronómica precision, y unas cien mil cuyas posiciones solo son aproximadas. Un catálogo de estos últimos, construido por Argelander, comprende unas 300,000 estrellas hasta la 9.ª magnitud, de las que se extienden del polo á 2 grados de declinacion austral.

II

Las constelaciones

Un exámen ligero y superficial basta para



Fig. 4.—La Osa mayor

hacernos ver que el reparto de las estrellas en la cúpula azulada no es uniforme, y que



Fig. 5.—Osa mayor y Osa menor

muchas de ellas, en particular las mas brillantes, se encuentran reunidas en grupos irregulares que se conocen con los nombres de constelaciones ó asterismos. En edad muy remota se representaron los cielos cubiertos de figuras de hombres y animales, de tal manera dispuestas, que abrazaran las principales estrellas de cada constelacion; no existe recuerdo histórico de la fecha en que esto se hizo, ni de los principios en que se fundaron los que llevaron á cabo esta clasificacion, pero sus nombres parecen indicar que pertenece á los tiempos heróicos. Algunos creen que en ello hay cierta relacion con la expedicion de los argonautas, porque varios de sus héroes se encuentran representados en el cielo, pero esto no pasa de ser una conjetura; sea el que quiera su orígen, han llegado hasta nosotros los nombres de las antiguas constelaciones, sin que por ello tengan importancia alguna astronómica, ni representen los objetos que pretenden significar; v. gr. la constelacion de Hércules se conserva toda-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

via, pero no indica ya la figura de un hombre entre las estrellas, sino una porcion irregular del cielo que comprende el espacio en que los antiguos colocaron al semidios. En los mapas celestes de uso comun se marcan aun las figuras y animales de



Fig. 6.—Las dos Osas y Casiopea

las constelaciones, pero en los que se destinan para objetos puramente astronómicos tan solo se señala la posicion de las estrellas.

La cuestion de saber cómo habria que llamar individualmente á las estrellas de cada constelacion, de modo que pudieran

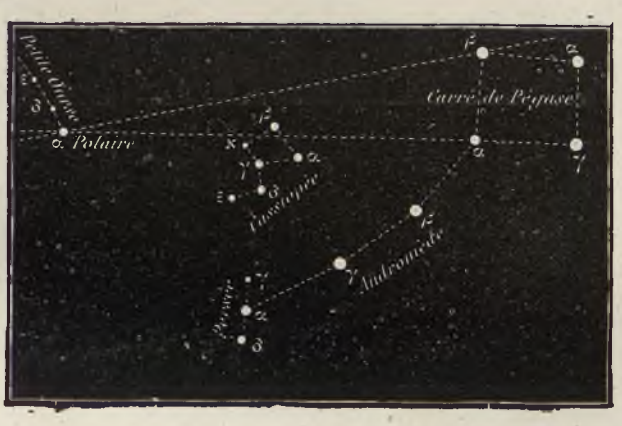


Fig. 7.– Casiopea, Pegaso y Andrómeda

distinguirse entre sí, ha ofrecido siempre bastante dificultad; en los antiguos catálo-



Fig. 8.—La Cabra y las Pléyades

gos se reconocian por la parte que ocupaban de la figura de la constelacion, y así se decia, el ojo del Toro, la cola de la Osa mayor, el hombro derecho de Orion etc. Los árabes adoptaron el plan de dar nombres especiales á toda estrella brillante, tomándolos á veces de los griegos; así tenemos Achernar, Algenib, Sirio, Procion, Aldebaran, etc , etc.; muchos de estos nombres apenas tienen uso en la astronomía, aunque á veces se encuentran en los atlas celestes, y han sido sustituidos por letras del alfabeto griego, sistema que se debe á Bayer que lo adoptó en 1610; la primera letra se da por lo comun á la estrella mas brillante, y las otras, á las que siguen en órden de magnitud; despues de la letra se agrega el nombre latino de la constelacion en caso genitivo; de este modo, alfa Scorpii ó alfa del Escorpion, que es Antares; alfa Lyræ ó alfa

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la Lira, que es Wega; beta Geminorum ó beta de los Gemelos, que es Póllux, etc., etc.; lo cual se parece á que el nombre de pila sea la letra griega, y el apellido el nombre latino; cuando se agota el alfabeto griego se acude al latino y si este no basta á los números arábigos.

Para que el lector pueda familiarizarse con las constelaciones y llegue á determinar á qué asterismo pertenece una estrella



Fig. 9.—Constelaciones circumpolares

brillante cualquiera, vamos á presentar una breve descripcion de los principales objetos que pueden verse en el cielo en las diversas estaciones, ilustrando esta parte de nuestro trabajo con gran profusion de grabados.

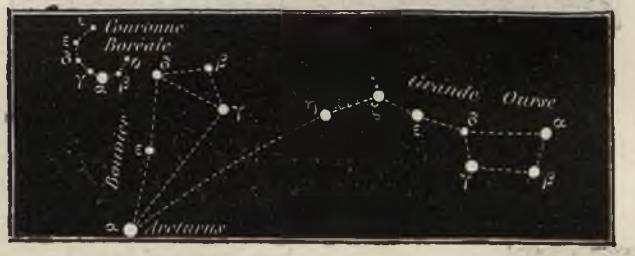


Fig. 10.—Osa mayor, Arcturo y la Corona boreal

Conviene empezar por el norte, esto es, por las constelaciones boreales ó circumpolares, porque estas son siempre visibles en nuestra latitud. La primera que hay que buscar es la Osa mayor (*Ursa major*) ó el Carro, con cuyo auxilio siempre se encuentra la estrella Polar ó estrella del Norte; supongamos que el observador escoge una noche sin Luna, y que situado en un lugar descubierto y elevado, vuelve la espalda al sitio que el Sol ocupó durante el dia; las observaciones comienzan á las nueve de la noche y á esa hora se encuentra la Osa mayor en

Abril y Mayo	cerca del zenit
Julio y Agosto	hácia la izquierda (oeste)
Octubre y Noviembre	en el horizonte (norte)
Enero y Febrero	hácia la derecha (este)

La figura 4 representa esta interesante constelacion que se compone de 7 estrellas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ANDRÓMEDA. PERSEO. EL COCHERO. LA GIRAFA. EL LINCE. EL LEON.

Algol. La Cabra.



CASIOPEA. Estrella Polar. CARRO

EL CISNE. CEFEO. OSA MENOR. DRAGON. OSA MAYOR. EL BOYERO.

EL CIELO DEL HORIZONTE DE PARIS.

Lado Norte visto á media noche el 20 Diciembre.

Imp. Labielle Barcelona.

M. Pujadas, lit.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

principales; alfa, beta, gamma y delta que forman un trapecio, figuran el cuerpo y las restantes la cola; las dos primeras estrellas, esto es, alfa y beta, se llaman *los punteros* y tirando de la segunda á la primera una línea imaginaria y prolongándola como cinco veces el espacio que las separa, se encuentra la estrella del Norte que es la última de la cola de la Osa menor, cuya figura es igual á la de la constelacion anterior, pero



Fig. 11.—Constelaciones de invierno

inversa; este sistema de hallar las estrellas se llama por enfilaciones. Una línea de la estrella delta de la Osa mayor que pase por la polar y se extienda al otro lado una distancia igual, nos enseña á Casiopea ó la Silla, constelacion compuesta de cinco estrellas



Fig. 12.—Constelaciones de invierno

principales que figuran una M muy abierta. Si prolongamos la línea anterior otras cinco veces, encontramos el cuadrado de Pegaso, y debajo de las dos constelaciones, está Andrómeda y á su lado Perseo. La última estrella del cuadrado de Pegaso viene á ser la primera de Andrómeda; la estrella alfa de Perseo, que se encuentra en la prolon-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

gacion de las tres estrellas principales de Andrómeda, tiene á cada lado otras dos menos brillantes, que forman un arco cóncavo fácil de percibir, el cual va á servirnos para una nueva enfilacion; prolongándolo hácia la estrella delta (fig. 8) se encuentra una estrella muy brillante de 1.ª magnitud que es la Cabra; formando un ángulo recto con esta prolongacion hácia la parte del mediodia, tropezamos con las Pléyades

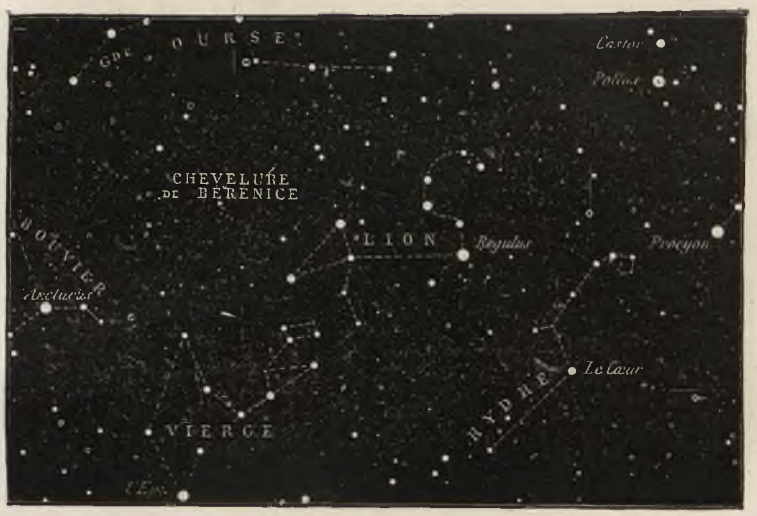


Fig. 13. - Constelaciones primaverales

ó Cabrillas. En la figura 9 pueden verse además las constelaciones circumpolares de Cefeo, el Dragon, la Girafa y el Lince. Prolongando la cola de la Osa mayor y con su misma curvatura, se encuentra una hermosa y brillantísima estrella que es Arctu-



Fig. 14.—Constelaciones estivales

ro y corresponde á la constelacion del Boyero; sobre esta se halla la Corona boreal que forma un semicírculo.

Debido al movimiento aparente del Sol á través de las estrellas, no es posible ver siempre las constelaciones que distan mucho del polo, y hay que buscarlas en determinadas estaciones y á horas convenientes,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Vamos á describir las constelaciones mas notables que pueden verse en España, en cuatro posiciones distintas de la esfera estrellada; en el espacio de 24 horas toma la esfera estas cuatro posiciones en virtud del movimiento diurno, pero algunas de ellas



Fig. 15.– Constelaciones autumnales

ocurren en pleno dia y otras en hora muy avanzada de la noche ó poco antes de la salida del Sol.

Primera posicion, Orion en el meridiano. El aspecto del cielo es el mismo en las cuatro fechas siguientes:



Fig. 16 –Constelaciones australes

Diciembre. . 21 á media noche.
Enero. . . . . 21 á las 10h de la noche.
Febrero. . . . 20 á las 8 —
Marzo. . . . . 21 á las 6 de la tarde.

La constelacion de Orion es muy fácil de reconocer (figura 11), aunque solo sea porque tiene en su centro tres estrellas notables que se conocen vulgarmente como las tres Marias ó el Cinturon de Orion. Prolongando hácia arriba la linea que une las tres estrellas citadas, se en-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuentra Aldebaran, alfa ó el Ojo del Toro y prolongando hácia abajo la misma línea tropezamos con la estrella mas brillante del cielo que es Sirio, y pertenece al Perro mayor. Procion ó alfa del Perro pequeño, Sirio y Betelgeuze forman un triángulo



Fig. 17 —Constelaciones australes

equilátero. Al oeste de Orion se encuentran El Eridano y la Ballena.

Segunda posicion, el Leon mayor en el meridiano. Esta constelacion parece una hoz segun se hallan dispuestas las estrellas; la mas brillante es Régulo, de color



Fig. 18.—Constelaciones australes

rojizo, que se encuentra como en el mango. Castor y Pólux brillan hácia el noroeste; cerca del horizonte se encuentra Procion y mas al sur la Hidra con su cabeza y su Corazon (alfa Hydræ); algo al este del Leon se distingue la cabellera de Berenice y debajo y hácia el sur aparece la Vírgen con la Spica.

Tercera posicion, El Boyero en el meridiano. Volvemos á encontrar esta constelacion con su hermosa estrella Arcturo; mas al norte se encuentran la Osa mayor, al nord-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

EL NAVIO ó ARGOS. NUBES de MAGALLANES ERIDANO FENIX

Eta Canope. DORADA. Aquernar



LA CRUZ DEL SUR. EL PAVO REAL. EL PEZ AUSTRAL

EL LOBO. EL CENTAURO. LA HIDRA. EL INDIO. LA GRULLA.

EL CIELO AUSTRAL

ESTRELLAS INVISIBLES EN EL HORIZONTE DE PARIS

Vistas á Media noche el 20 Diciembre.

Imp. Labielle Barcelona.

M. Pujadas, lit.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

este el Dragon, al este Hércules y hácia la parte de poniente el Leon y debajo la Vírgen.

Cuarta posicion. Se observan ahora varias constelaciones interesantes; el Pegaso, Acuario, el Aguila con su brillante estrella Atair, el Cisne ó la Cruz, la Lira con la hermosa Wega, etc.

Terminaremos nuestra descripcion con las estrellas visibles en la zona austral de la Tierra, y que por lo tanto, no pueden columbrarse desde España porque giran á muy corta distancia del polo antártico, sin asomar nunca por el horizonte, y se llaman circumpolares australes. Las principales son Argos ó el Navío con su estrella Cánope visible desde la parte meridional de España, la Cruz del Sur, el Centauro, el Indio, los Peces australes de los que se puede ver á Fomalhaut, etc.

Para facilitar al lector los medios de reconocer las principales constelaciones, insertamos á continuacion una tabla con las horas de los pasos meridianos de varias estrellas los dias 1.° de cada dos meses:

ESTRELLAS	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Setiembre	Noviembre
Aldebaran (alfa Tauri)	9h 43m	5h 51m	1h 52m	21h 48m	17h 44m	13h 44m
Capella (alfa Aurigæ)	10 21	6 29	2 30	22 26	18 22	14 22
Rigel (beta Orionis)	10 22	6 31	2 31	22 27	18 24	14 24
Betelgeuze (alfa Orionis)	11 2	7 11	3 11	23 7	19 4	15 4
Sirio (alfa Canis maj)	11 53	8 2	4 2	23 58	19 55	15 55
Procion (alfa Canis min)	12 46	8 55	4 55	0 55	20 48	16 48
Régulo (alfa Leonis)	15 14	11 23	7 23	3 23	23 16	19 16
Spica (alfa Virginis)	18 31	14 39	10 39	6 39	2 36	22 32
Arcturo (alfa Bootis)	19 22	15 30	11 30	7 30	3 27	23 23
Antares (alfa Scorpii)	21 34	17 42	13 42	9 42	5 39	1 39
Wega (alfa Lyræ)	23 45	19 53	15 53	11 53	7 49	3 50
Deneb (alfa Cygni)	1 53	21 57	17 57	13 57	9 53	5 54
Fomalhaut (alfa Piscis australis)	4 6	0 14	20 10	16 10	12 6	8 7

El siguiente cuadro comprende todas las estrellas de 1.ª magnitud con expresion de su brillo aparente y de la intensidad de su luz relativa.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ESTRELLAS	Magnitud aparente	Intensidad de la luz
Sirio	0 49	4 16
Canope	0.70	2.04
Alfa del Centauro	1 00	1.00
Arcturo	1 18	0.72
Rigel	1.23	0.66
Capella	1 41	0.51
Wega	1 41	0 51
Procion	1 41	0 51
Betelgeuze	1.41	0.51
Achernar	1.50	0.44
Aldebaran	1 51	0 44
Beta del Centauro	1.58	0 40
Alfa de la Cruz aust.	1.61	0.39
Antares	1.61	0.39
Atáir	1 69	0.35
Spica	1.79	0.31
Fomalhaut	1.95	0.26
Beta de la Cruz aust.	1.98	0.26
Póllux	2.00	0.25
Régulo	2.00	0 25

III

Estrellas nuevas y variables

La gran mayoría de las estrellas siempre aparecen con igual brillo, aunque es muy posible que si se midiera con toda exactitud la cantidad de luz que cada una de ellas emite, se notaran ciertas variaciones de tiempo en tiempo. Hay, sin embargo, unas cuantas que presentan cambios de esplendor muy apreciables, que se han observado comparando su brillo aparente con el de otras estrellas, y en la actualidad se conocen mas de un ciento de esta clase ó grupo; pero en la inmensa mayoría de los casos, es tan pequeña la variabilidad, que tan solo puede discernirse con gran atencion y por un observador acostumbrado á este género de estudios; no obstante, á cualquier aficionado le es fácil percibir las variaciones que sufren las estrellas beta Persei y omicron Ceti (Algol y Mira) si las observa en ocasiones propicias; tambien podríamos agregar la estrella eta Argus del hemisferio austral, que presenta unas alternativas en su brillo verdaderamente notables.



Fig. 19. — Algol, estrella variable de la constelacion de Perseo

La estrella Algol ó beta Persei se encuentra con facilidad en el cielo, siguiendo las instrucciones que dimos antes sobre este punto; á su lado se hallan dos estrellas mas pequeñas. Las estaciones mas favorables para observarla son las de otoño, invierno y primavera, en las primeras horas de la noche; en el otoño, despues de la puesta del Sol se halla por lo general muy baja en el horizonte del nordeste; en el invierno en la parte norte y muy cerca del zenit, y en la primavera en el horizonte del noroeste. Por lo comun brilla como una débil estrella de 2.ª,5 magnitud, pero con intervalos de menos de tres dias desciende hasta la cuarta magnitud, por pocas horas, y en seguida vuelve á tomar su brillo ordinario.

Se notaron por primera vez estos cambios hace unos dos siglos, pero hasta el año 1782 no se principiaron á hacer sobre este punto observaciones esmeradas; hoy dia se sabe que su período de variabilidad es de $2^d\ 20^h\ 49^m$, esto es, $3^h\ 11^m$ menos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de tres dias. Invierte próximamente cuatro horas y media en alcanzar su brillo mínimo y cuatro horas mas en recuperar su esplendor primitivo, de suerte que, durante nueve horas y media en cada período, permanece con brillo inferior al normal; pero cerca del comienzo y del fin de las variaciones, son muy lentos los cambios, así que solo durante cinco ó seis horas puede percibirse que la estrella presenta menor brillo que de ordinario.

La aparente regularidad de estos cambios de luz hizo creer al principio que algun planeta opaco y de gran tamaño giraba en torno de Algol, pasando por delante de la estrella á cada revolucion; esta teoría satisface bastante bien á los principales caractéres del fenómeno; pero cuando se estudiaron las variaciones con mas asiduidad, se observó que se presentaban varias irregularidades pequeñas que no explicaba la teoría; se averiguó que el período de la variabilidad general cambiaba de vez en cuando y que la estrella no recobraba su primer brillo de igual modo que lo perdia y como debiera suceder si fuese eclipsada por un planeta que no llegara á ocultarla por completo.

Otra estrella variable, pero de un tipo completamente distinto, es omicron Ceti (Mira, *la maravillosa*). Esta estrella es casi siempre invisible á la simple vista, pero en intervalos de unos once meses poco mas ó menos, brilla tanto como si fuera de 2.ª á 3.ª magnitud; por término medio trascurren cuarenta dias desde que por primera vez se hace visible, hasta que adquiere su esplendor máximo, y luego necesita unos dos meses para volver á ser invisible, de modo que aparece con mas rapidez que se extingue; se aguardaba que se mostrase en noviembre de 1877, en octubre de 1878, y así sucesivamente, un mes antes cada año, pero este período no es tan regular pues varia de diez á once meses, así que los tiempos de sus apariciones no pueden predecirse con toda exactitud; su máximo de esplendor es tambien variable, pues unas veces llega á la 2.ª magnitud y otras tan solo á la 3.ª ó á la 4.ª

Quizás la estrella variable mas extraordinaria que se conoce en los cielos, es eta Argus, situada en el hemisferio austral á 59° de declinacion; siendo tan considerable su distancia al ecuador no es posible verla en nuestras latitudes, y su descubrimiento y las observaciones de sus cambios de luz se han efectuado por lo comun por los astrónomos que han permanecido en el hemisferio antártico de la Tierra. En 1677, Halley, que observaba en la isla de Santa Elena, la clasificó como de 4.ª magnitud; Lacaille en 1751 observó que habia crecido en brillo estimándola de 2.ª; de 1828 á 1838 osciló entre la primera y segunda magnitud. Las primeras observaciones exactas de su variabilidad se deben á Juan Herschel que las hizo durante su permanencia en el Cabo de Buena Esperanza, dice así: «El 16 de diciembre de 1837, cuando me ocupaba en resumir mis observaciones fotométricas, llamó mi atencion el aspecto de un nuevo candidato que se presentó entre las mas brillantes estrellas de primera magnitud, en una region del cielo en que por serme muy familiar, tenia certidumbre de que no se encontraba antes. Tras una ligera vacilacion, consecuencia natural de fenómeno tan inesperado, acudí á una car-



Fig 20.—La estrella variable eta Argus en su esplendor máximo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta celeste para ver su configuracion respecto de las estrellas inmediatas, y encontré á mi antigua conocida eta Argus; su luz era no obstante, tres veces superior; cuando estaba próxima al horizonte se igualaba á Rigel, pero al llegar á cierta altura era sin duda alguna mas brillante.» Afirma Herschel que siguió aumentando su resplandor hasta el 2 de enero de 1838, época en que rivalizaba con alfa Centauri; disminuyó entonces alguna cosa hasta la terminacion de las observaciones de Herschel á fines de abril, siendo no obstante su brillo, comparable al de Aldebaran. Pero en 1842 y 1843 volvió á crecer en luminosidad hasta tal extremo, que en el mes de marzo tan solo era inferior á Sirio. Durante los veinticinco años siguientes disminuyó de un modo considerable, aunque con lentitud; en 1867 apenas era visible á la simple vista y al año siguiente solo se columbraba valiéndose de instrumentos. La figura 21 representa segun Loomis la curva probable de estos cambios cuyo período es de 70 años próximamente. La forma de la curva de 1811 á 1870 se apoya en observaciones di-

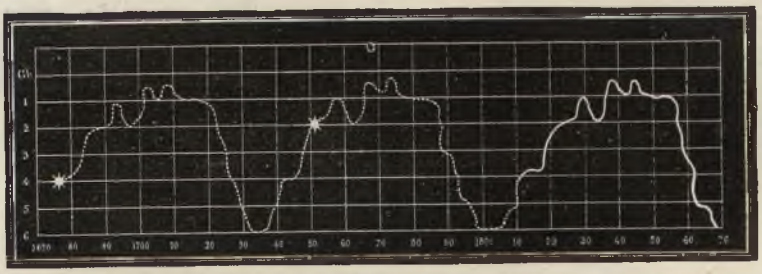


Fig. 21.—Curva de la variabilidad de eta Argus en un período de 70 años, segun Loomis

rectas, y las otras dos observaciones de Halley en 1677 y Lacaille en 1751, se encontrarian representadas por la misma curva repetida en época anterior.

Al decir que esta estrella era la mas notable de las que se conocian como de brillo periódico, no nos referiamos exclusivamente á las oscilaciones de su período, sino á su esplendor cuando se encuentra en su máximo. Se conocen otros varios casos de grandes variaciones, pero no llegan á ser tan brillantes las estrellas, y por lo tanto se fija en ellos menos la atencion; así, la estrella R Andromedæ varia de la sexta á la décimatercera magnitud, en un período medianamente regular de 405 dias. Al encontrarse en su máximo, brilla precisamente lo bastante, para que se pueda percibir á la simple vista, y solo con poderosos telescopios se la columbra al alcanzar su mínimo. Otras cuantas estrellas varian entre la 5.ª y 6.ª magnitud, pero de estas nada mas que omicron de la Ballena alcanza la segunda magnitud.

Las estrellas mencionadas son las únicas cuyas variaciones pueden interesar á los aficionados; entre el ciento restante descubierto por los astrónomos, es notable beta Lyræ porque presenta dos máximos y dos mínimos de brillo desigual; en su mínimo mayor es de 4.ª,5 magnitud y aumenta en tres dias hasta ser de 3.ª $^1/_2$, y en el curso de la semana siguiente desciende primero á la 4.ª magnitud y aumenta de nuevo hasta la 3.ª $^1/_2$; tres dias despues vuelve á disminuir á la 4.ª $^1/_2$, siendo el período completo de estos cambios de unos trece dias, período que aumenta constantemente. Los cambios de esta estrella pueden observarse mejor comparándola con su vecina gamma Lyræ; á veces parecerán de igual brillo y en otras ocasiones de una magnitud menor una que otra.

En las estrellas periódicas se observan

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

como dos especies de variabilidad; en unas, el crecimiento y la diminucion tienen lugar de un modo continuo y por decirlo así insensible; otras se distinguen por sus rápidos y bruscos cambios. En la fig. 22 se representan dos ejemplos de estas dobles variaciones; una de las curvas manifiesta la mayor parte del período de R de Ofiuco que es de 304 dias; pertenece á la categoría de las estrellas de variaciones lentas. La otra curva es la de upsilon Geminorum y denota, por el contrario, una estrella como Algol ó sea de las que pertenecen al tipo de las variaciones rápidas.

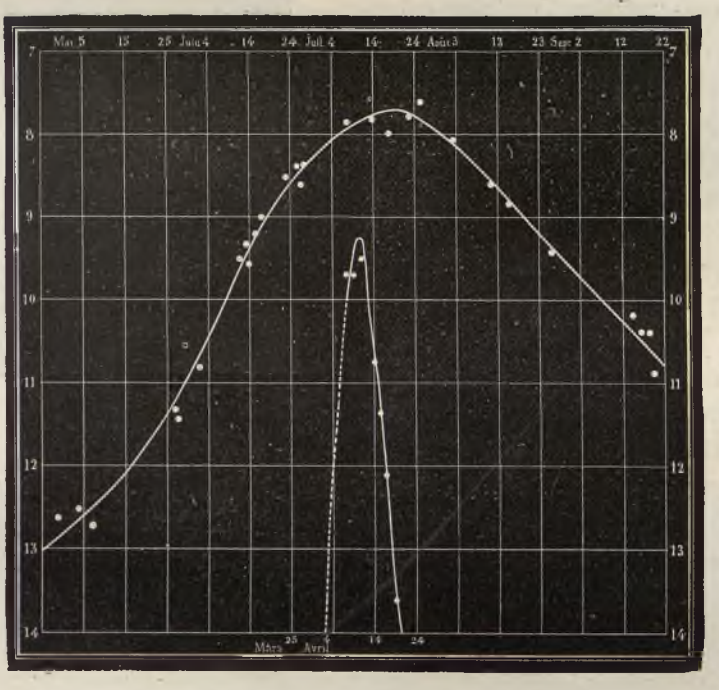


Fig. 22.—Curva de las variaciones de esplendor de las estrellas periódicas: R Ophiuchi y upsilon Geminorum

IV

Estrellas nuevas ó efímeras

Llegó á creerse algun tiempo que no era cosa demasiado rara, que apareciesen nuevas estrellas y que otras antiguas y bien conocidas se extinguieran, considerándose que las primeras eran creadas nuevamente y que la desaparicion de las segundas se debia á su propio aniquilamiento ó destruccion, por haber cumplido el término fijado á su existencia.

Las supuestas desapariciones de estrellas no tienen, sin embargo, fundamento cierto, y deben atribuirse á errores cometidos al asignarles su posicion en el cielo. Explicamos antes, aunque de paso, que los astrónomos determinan la posicion de un cuerpo en el cielo, observando en el reloj ó péndulo la hora de su paso por el meridiano y la posicion del círculo de su instrumento al dirigir el anteojo al astro. Si comete un error al apuntar en su cuaderno estos números, y, v. gr., pone que la hora del péndulo atrasaba ó adelantaba uno ó mas minutos, ó cambiara los grados del círculo por los minutos ó segundos, llega á sentar una posicion de un astro que en realidad no existe en el cielo. De modo que pasado algun tiempo, cuando va otro astrónomo á buscar esta estrella y no la encuentra, llega á creerse que ha desaparecido cuando en realidad en aquel punto jamás hubo estrella alguna.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Y no hay que extrañar estos errores, puesto que se trata de anotar miles y miles de guarismos con infinitas correcciones, á cuyos errores hay que atribuir las desapariciones de estrellas que ocurren de vez en cuando.

Pero, como bien se deba á esta ó á la otra causa, es lo cierto que á lo mejor se ven brillar de un modo inusitado algunas estrellas que se llaman nuevas ó efímeras, se hace necesario que digamos algunas palabras acerca de este fenómeno, ó cuando menos de las apariciones mas notables. Tal es el cuerpo que, apareciendo de pronto en el año 125 antes de Hiparco, le indujo á formar un catálogo de estrellas, el mas antiguo de que hay memoria y del que ya hicimos mencion. Tal fué tambien la estrella que se dejó ver el año 389 cerca de alfa Aquilæ, permaneciendo por espacio de tres semanas tan brillante como Vénus y desapareciendo luego enteramente. En los años 495, 1264 y 1572 aparecieron tambien otras estrellas en la region celeste comprendida entre Cefeo y Casiopea; y segun la imperfecta noticia que nos ha quedado de los lugares de las dos primeras, comparadas con la posicion de la última, que se determinó con seguridad, como asimismo por la coincidencia bastante aproximada de los intervalos de sus apariciones, podemos muy bien sospechar que todas ellas eran una misma estrella, con un período de cerca de 300 años, ó segun la suposicion de Goodricke, de 150. La aparicion de la estrella de 1572 fué tan repentina, que Tycho Brahe, volviendo una noche (el 11 de noviembre) del observatorio á su casa, se quedó sorprendido viendo un grupo de gentes del campo que contemplaban con admiracion una estrella, que él por su parte estaba seguro de que no existia media hora antes. Era esta la estrella citada, que aparecia entonces brillante como Sirio, y continuó aumentando en esplendor hasta superar á Júpiter en su máximo brillo, siendo visible en medio del dia. Se la llamó *la Peregrina*, y segun las palabras de Tycho, tan solo podia compararse con Vénus en cuadratura. Empezó á venir á menos en diciembre del mismo año, y en marzo de 1574 habia desaparecido completamente. Tuvo lugar esta ocurrencia cuarenta años antes del descubrimiento del anteojo.



Fig. 23 —La Peregrina; estrella efímera que apareció en la constelacion de Casiopea en 1572

En 1604 se vió un fenómeno semejante en la constelacion de Ofiuco; notóse primero la estrella en octubre de aquel año cuando alcanzó la 1.ª magnitud; en el invierno siguiente principió á desvanecerse, pero permaneciendo visible todo el año 1605; al comenzar el de 1606 desapareció completamente habiendo durado poco mas de un año. Keplero nos ha legado una detallada historia de este suceso.

Fenómenos semejantes, aunque no de tan brillante carácter, se han observado en época mas moderna, como en el caso de la estrella de tercera magnitud descubierta en 1670 por Anthelm en la cabeza del Cisne; la cual, despues de haberse perdido completamente de vista, reapareció, y habiendo experimentado una ó dos fluctuaciones singulares de luz, se apagó al cabo, de modo que no ha vuelto á verse. Asimismo practicando un nuevo y escrupuloso exámen del cielo, y comparando sus resultados con los catálogos, se echan de menos muchas estrellas; y si bien es cierto, como dijimos, que estas faltas han dimanado no pocas veces de errores de observacion y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

anotacion en los registros, sostienen astrónomos respetables, que es igualmente seguro que no se han cometido en lo uno ni en lo otro, y que la estrella se ha observado realmente y que realmente ha desaparecido del cielo.

Uno de los casos mas recientes que han ocurrido de estas apariciones, tuvo efecto en el mes de mayo de 1866, cuando una estrella de 2.ª magnitud apareció súbitamente en la Corona boreal. El 11 y el 12 de este mes se observó á lo menos por cinco astrónomos, y con completa independencia, tanto en Europa como en América. El que haya aparecido de un modo tan repentino como parece indicar la prontitud con que fué notada, no se encuentra muy bien comprobado. Si como parece mas probable, invirtió varios dias en llegar á obtener su brillo máximo, corresponde el mérito de su descubrimiento á un profesor americano, Mr. Hallowell, quien la vió muchos dias



Fig. 24.—Estrella efímera ó variable de la Corona boreal el 12 de mayo de 1866

antes que la generalidad de los observadores. De otro lado, el famoso Schmidt de Atenas, asegura del modo mas terminante,

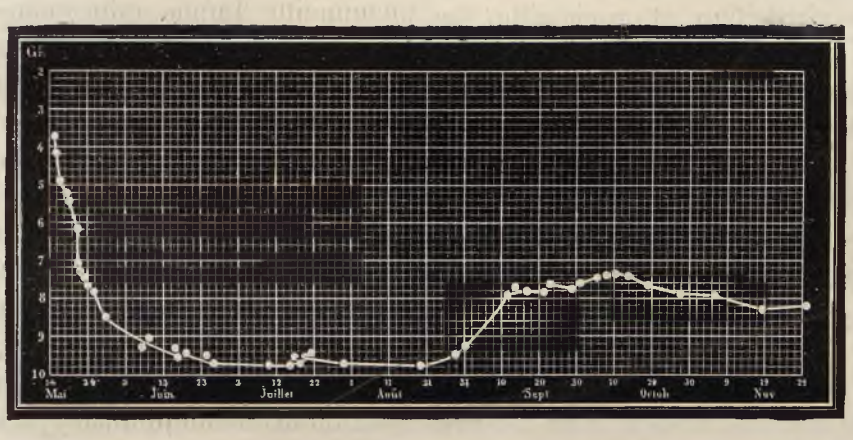


Fig. 25.— Curva de las variaciones luminosas de la estrella T Coronæ borealis

que el 10 de mayo no se encontraba la estrella en el lugar en donde luego apareció, puesto que él andaba investigando precisamente aquella parte del cielo y no hubiera dejado de columbrarla. El 12 de mayo parecia la estrella de 2.ª magnitud y por lo tanto de igual brillo que la Perla; en varios dias descendió á la 3.ª, 4.ª y 6.ª, de modo que el 20 del mismo mes ya no era visible á la simple vista; con el telescopio se observó que siguió decreciendo hasta la 10.ª magnitud, luego volvió á reanimarse alcanzando un brillo como de 7.ª ú 8.ª. La curva de sus variaciones se representa en la figura 25 calculada por Baxendell, desde el 14 de mayo hasta el 29 de noviembre; en esta última fecha era aun inferior á la 8.ª magnitud.

En noviembre de 1876 percibió el mismo Schmidt una nueva estrella de 3.ª magnitud en la constelacion del Cisne; pronto comenzó á desvanecerse, desapareciendo de la vista en pocas semanas; la posicion de este asterismo era tan poco favorable en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el mes de noviembre, que solo algunos astrónomos pudieron observar la estrella.

La hipótesis de que estos cuerpos puedan ser nuevas creaciones que en lo sucesivo permanezcan entre las demás estrellas, se refuta completamente, entre otras razones, por su carácter transitorio. Su efímera existencia aparente, se halla en abierta oposicion con la permanencia é inmutabilidad general de las estrellas, que pasan de uno á otro siglo con sus mismas figuras y posiciones. Las estrellas efímeras se consideran hoy dia por los astrónomos, como simplemente variables ó periódicas, si bien sus cambios se realizan en un período irregular y desconocido; no es posible dejar de creer que todas ellas se encontrasen á un mismo tiempo en el cielo, como estrellas pequeñísimas, antes de adquirir el extraordinario brillo que las hizo estudiar con tanto afan, y que hoy dia ocupen de igual manera, aunque invisibles, el propio sitio. La posicion de la estrella de 1572 fué cuidadosamente determinada por Tycho Brahe, y como estrella telescópica puede aun especularse á 1 minuto del lugar que le asignó el gran astrónomo dinamarqués; la estrella de 1866 se encuentra consignada como de 9.ª magnitud en el gran catálogo de Argelander, de las estrellas de la zona boreal. Despues de crecer del modo que indicamos, disminuyó gradualmente hasta llegar á su insignificancia primera en la cual permanece, sin manifestar indicios de que por ahora vuelva á mostrarse vigorosa. Entre estas variaciones irregulares, ó repentinos aumentos luminosos de una vez en varios siglos, y los cambios regulares de Algol y beta Lyræ, hay una gran diferencia. Pero las delicadas observaciones de los hábiles astrónomos que se han consagrado á este género de estudios, nos enseñan que hay estrellas que poseen todos los grados imaginables de irregularidad entre ambos extremos; unas cambian gradualmente de brillo en el curso de varios años, sin seguir ley determinada de ninguna clase, mientras que otras manifiestan cierta tendencia á la regularidad, que si bien con trabajo, llega á comprobarse. El mejor enlace ó eslabon que parece existir entre las estrellas nuevas ó efímeras y las variables, nos lo ofrece eta Argus que antes describimos.

Es probable que las variaciones de luz de que hemos hablado, dependan de modificaciones de la estrella misma, ó de su propia naturaleza, puesto que sabemos que las estrellas son cuerpos de igual órden que nuestro Sol, en cuanto á sus magnitudes y brillo, y que por lo tanto, pueden estar sujetas á las mismas influencias que dan orígen á las manchas de nuestro luminar. En los capítulos que dedicamos al Sol, demostramos que las manchas solares indican un período de unos once años durante el cual hay una época de mínima y otra de máxima, ó lo que es lo mismo, que á intervalos regulares aparece la foto-esfera completamente limpia, cubriéndose luego de manchas grandes y numerosas. De modo que si un observador se encontrase en el espacio estelar muy léjos de nosotros, y tanto, que el Sol le pareciera una estrella, un punto luminoso, podria de vez en cuando efectuar algunas medidas fotométricas que le indicarian que nuestro gran luminar era una estrella variable de periodo constante de once años, correspondiendo su mínimo al período de muchas manchas y su máximo al de tranquilidad y pocas manchas.

Las variaciones son, empero, tan pequeñas, que apenas podemos percibirlas aunque nos valgamos de los fotómetros mas delicados, pero no deja de existir por eso; la analogía general del universo y los testimonios del análisis espectral, nos obligan á creer que la constitucion física del Sol y las estrellas, es una misma, por manera que podemos suponer, que así como se ve que las manchas del Sol varian de forma, número y tamaño de un dia al siguiente, del propio modo, si nos fuera dable examinar de cerca la superficie de las estrellas, hallaríamos, al menos en algu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nas, manchas semejantes. Es tambien muy probable, que debido á las diferencias de constitucion física de estos cuerpos, el número y la extension de las manchas no sea igual en todas las estrellas, de modo que si las manchas cubren una gran parte de la superficie, perderá el astro dos ó tres números en la escala de las magnitudes. Finalmente, tan solo tenemos que suponer la misma clase de regularidad que muestra el ciclo de once años de las manchas solares, para darnos cuenta de las variaciones de brillo de una estrella de período regular como ocurre con Algol y Mira Ceti.

Terminaremos este párrafo insertando una lista de varias estrellas variables formada por Argelander en 1850, que comprende las mas notables y de período mejor conocido. En la primera columna se da el nombre de la estrella; en la segunda sus posiciones medias aproximadas para principios del año 1878; en la tercera sus magnitudes extremas, que se marcan con el símbolo < cuando la magnitud mínima de la estrella es inferior al guarismo que afecta ó cuando la estrella desaparece casi del cielo en la segunda parte de su período de variabilidad; la cuarta columna indica la duracion del período en dias, y la quinta y última la fecha del descubrimiento.

ESTRELLAS	Posiciones para 1878		Magnitudes extremas		Duracion del periodo en dias	Fecha del descubrimiento
	Asc. R	Declin	Máxima	Mínima		
omicron Ceti	2h 13m 11s	— 3° 32′	2.ª á 4.ª	< 10ª	331.83	1639
beta Persei	3 0 14	+ 40 29	2 1/3	4	2.87	1669
chi Cygni	19 45 52	+ 32 26	4.ª á 7.ª	< 10	406.07	1687
30 Hydræ	13 23 3	— 22 39	4 1/2	< 10	495	1704
R Leonis	9 41 0	+ 12 0	5	< 10	312. 7	1782
eta Aquilæ	19 46 16	+ 42 0	3 1/2	5 1/2	7.18	1784
beta Lyræ	18 45 25	+ 33 13	3 1/2	4 1/2	12.91	1784
delta Cephei	22 24 39	+ 57 48	4 1/3	5 1/2	5.37	1784
alfa Herculis	17 9 5	+ 14 32	3·	3 1/2	66. 3	1795
R Coronæ	15 43 34	+ 28 32	6	< 10	323	1795
R Scuti	18 40 58	— 5 56	6	8	71. 7	1795
R Virginis	12 32 19	+ 7 40	7	< 10	145.87	1809
R Aquarii	23 37 30	— 15 58	8	< 10	388.66	1810
R Serpentis	15 45 4	+ 15 30	7 -	< 10	359	1826
eta Argus	10 40 20	— 59 2	1	4	?	1827
S Serpentis	15 15 57	+ 14 45	8	< 10	367	1828
R Cancri	8 9 50	+ 12 6	7	< 10	380	1829
alfa Cassiopeæ	0 33 36	+ 55 52	2	3 1/5	79. 1	1831
alfa Orionis	5 48 34	+ 7 23	1	1 1/5	196	1836
alfa Hydræ	9 21 36	— 8 8	2	2 1/3	55	1837
epsilon Aurigæ	4 53 13	+ 43 38	3 1/2	4 1/2	?	1846
zeta Geminorum	6 56 52	+ 20 45	4 1/3	5 1/2	10. 1	1847
beta Pegasi	22 57 52	+ 27 25	2	2 1/3	40. 9	1848
R Pegasi	23 0 31	+ 9 53	8	< 10	350	1848
S Cancri	8 36 58	+ 19 28	8	< 10	?	1848

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO II

LAS ESTRELLAS CON EL TELESCOPIO

I

Estrellas dobles y múltiples

El exámen telescópico nos revela que muchas estrellas que á la simple vista parecen únicas, son en realidad dobles, ó com-



Fig. 26. — 1: Estrella doble epsilon Lyræ á la simple vista. — 2: Epsilon Lyræ, vista con un anteojo de poca fuerza

puestas de un par de ellas muy unidas, para que puedan separarse sin auxilios ópticos. Hay en los cielos varios pares de estrellas cuyas componentes se encuentran tan inmediatas, que á la simple vista es muy dificil separarlas; uno de los mas fáciles de resolver es el de la estrella zeta de la Osa mayor, que va acompañada de otra pequeñita, llamada por los árabes Alcor, que quiere decir, probadora de la vista; es tambien cómodo, y por lo demás muy hermoso, el par que forman las estrellas theta^1 y theta^2 del Toro, muy cerca de la brillante Aldebaran; otro par es el de alfa Capricorni en el que son desiguales las magnitudes de las estrellas; el observador que distinga la estrella pequeña puede hacer gala de buena vista, y de buenísima, por no decir inmejorable, el que columbre sin auxilio alguno, el estrecho par epsilon Lyræ (figura 26-1), pero difícilmente habrá lector del *Telescopio* que pueda realizar esta proeza; analizada la estrella con un anteojo mediano se percibe como muestra la figura 26-2.

Estos pares, sin embargo, no se consideran dobles en astronomía, porque aunque á la simple vista parecen tan inmediatas las estrellas componentes, cuando se observan con un anteojo poderoso se separan



Fig. 27 — Epsilon Lyræ desdoblada segunda vez con un anteojo mas poderoso

de tal modo, que no caben en el campo del instrumento á un mismo tiempo.

Las componentes que forman las estrellas dobles telescópicas solo distan entre sí

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

unos cuantos segundos (32″) y en algunos casos tan solo fracciones de segundo; la inmensa mayoría de las que se encuentran catalogadas como dobles, distan por término medio una de otra, de medio á quince segundos. Cuando exceden del último límite dejan de ser objetos de interés particular, porque en realidad no tienen entre sí conexion alguna y aparecen juntas por una mera yuxtaposicion casual.

De modo que, aquí se ofrece una duda; la de saber si entre las estrellas dobles hay algun enlace real, ó si aparecen juntas por casualidad y por encontrarse en la misma

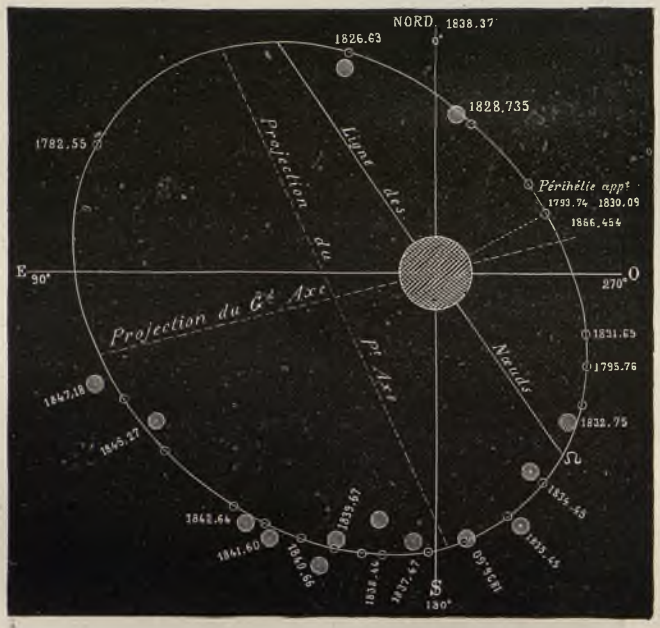


Fig. 28.—Orbita aparente de zeta Herculis

línea visual que tiramos desde la Tierra; que algunas estrellas aparezcan dobles por esta causa, no es dudoso, y entonces se llaman *dobles ópticamente*. Pero á pesar del número inmenso de estrellas visibles, las probabilidades de que varios pares se encuentren á la corta distancia de algunos segundos, es muy remota, y el número de estrellas dobles íntimas es tan considerable, que este solo hecho basta para rechazar el supuesto de que su agrupacion dependa del acaso. Si alguna otra prueba pudiera necesitarse para confirmarnos en la idea de que estas estrellas se encuentran enlazadas físicamente, y tan unidas en realidad como en la apariencia, nos la suministraría el hecho de que muchas de ellas constituyen sistemas en los que una de las componentes gira al rededor de la otra, ó hablando con mas exactitud, en que cada una gira en torno del centro comun de gravitacion. Estos pares se llaman *sistemas binarios*, para distinguirlos de los que no presentan semejante movimiento de revolucion. El período en que verifican su revolucion estos sistemas es por lo general muy largo, y exige muchos siglos para cumplirse, y mientras mayor es su lentitud, mas tiempo se necesita para percibir su movimiento y mas todavía para determinarlo. Generalmente se han descubierto por los astrónomos de una generacion, comparando sus observaciones con las de sus predecesores, por ejemplo; cuando Struve el mayor comparó sus observaciones con las de Herschel, y cuando luego Dawes y Struve el menor repitieron el mismo procedimiento, llegó á descubrirse un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

gran número de pares que formaban combinaciones binarias; como los astrónomos están descubriendo constantemente nuevos casos de movimientos, el número de los sistemas binarios aumenta de un modo extraordinario.

Indicaremos de un modo sucinto de qué medio se valen los astrónomos para medir las distancias y posiciones relativas de estas estrellas. En el ocular del anteojo se inserta un micrómetro filar, que en esencia consiste en dos hilos de araña paralelos, fijo el uno, y el otro movible por medio de un tornillo, cuyas vueltas indican la



Fig. 29.—Orbita real de zeta Herculis rebatida sobre el plano de la órbita aparente

distancia angular que separa los dos hilos; todo el aparato gira al rededor del eje óptico del anteojo, y para hallar la direccion de una estrella respecto de la otra hay que valerse de un círculo graduado que lleva el instrumento y que se llama círculo de posicion.

El período de algunos sistemas binarios es tan corto, que se ha podido observar una revolucion completa y á veces mas, de las dos estrellas una en torno de otra. Por regla general los pares que tienen el movimiento mas rápido son los mas estrechos, y por lo tanto de descubrimiento reciente, y muy difíciles de observar; se sospecha que uno ó dos son de período inferior á treinta años.

La siguiente lista indica los períodos de revolucion de algunas estrellas binarias que se han observado durante una revolucion

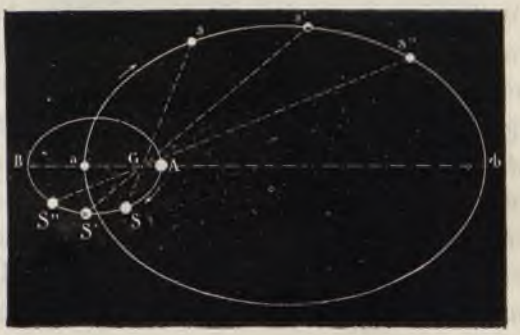


Fig 30. — Orbitas descritas por las componentes de un sistema binario en torno del centro comun de gravedad

completa, ó que á lo menos se han calculado con bastante exactitud.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

42 Comæ.	26	años.
Zeta Herculis..	35	»
Struve 3121.	40	»
Eta Coronæ.	40	»
Sirio..	50	»
Zeta Cancri.	58	»
Xi Ursa majoris.. . . .	63	»
Alfa Centauri..	77	»
Mu Ophiuchi..	92	»
Lambda Ophiuchi. . . .	96	»
Xi Scorpii.	98	»

Como indica la lista anterior, zeta Herculis es uno de los sistemas binarios de período de revolucion mas corto; se han calculado varias órbitas por Maedler, Villarceau, Plummer y Fletcher que ofrecen ligeras diferencias; lo cual no debe extrañarnos, puesto que tan solo nos es dado observar las posiciones aparentes de la estrella satélite respecto de la principal, que se supone inmóvil. Uniendo por medio de una línea las posiciones sucesivas de la primera, se obtiene la órbita aparente, es decir, la proyeccion de la órbita real sobre un plano perpendicular al rayo visual; si el plano de la órbita coincidiese con este último, habria identidad entre ambas curvas, pero como ocurre generalmente, el plano de la órbita verdadera se encuentra inclinado sobre el de la otra, de modo que la observacion revela una curva mas ó menos prolongada que la verdadera.

Una de las estrellas mas notables de la lista anterior es Sirio, cuyo período se ha calculado, no por las observaciones del satélite, sino por los movimientos de la estrella primaria; se conocia ya hacia mucho tiempo que el movimiento propio de este cuerpo se hallaba sujeto á ciertas variaciones periódicas, que fueron investigadas por Peters y Auwers; estos astrónomos demostraron que podian representarse con toda fidelidad suponiendo que un satélite girase al rededor de Sirio, en una órbita determinada. Se apreciaron sus elementos, menos la distancia del satélite, que no es susceptible de tal determinacion. Su direccion si se podia comprobar de vez en cuando, con tanta exactitud como si realmente se viera en el campo del anteojo, por mas que en la época á que aludimos, nadie habia llegado á tener esta dicha, aunque muchos astrónomos procuraban descubrir el satélite

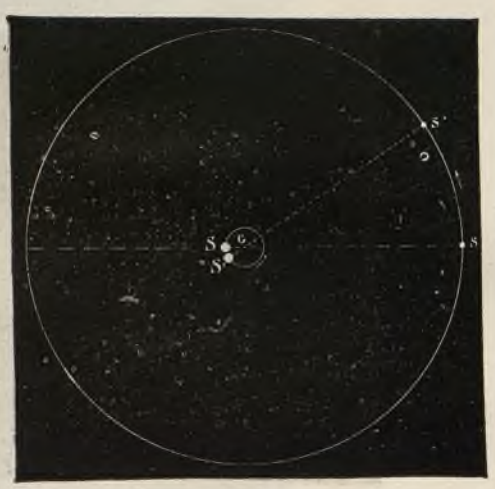


Fig. 31 —Órbitas de Procion y su satélite al rededor del centro de gravedad del sistema

valiéndose de sus instrumentos mas poderosos; pero sin duda sus investigaciones no eran demasiado minuciosas.

Este era el estado de la cuestion en febrero de 1862, en cuya fecha daban los famosos ópticos americanos Alvan Clark é hijos, los últimos toques á un hermoso anteojo de 18 pulgadas con destino al Observatorio de Chicago; dirigiendo una noche hácia Sirio, el magnífico objetivo, con idea de probar sus cualidades ópticas, el ojo práctico del jóven Clark pronto percibió alguna cosa extraordinaria.—¿Qué es esto, padre, exclamó, la estrella tiene una compañera?—Observó entonces el padre, y pudo en efecto distinguir un satélite al este de la estrella brillante y á una distancia de 10″. Era exactamente la direccion predicha para aquella fecha, si bien los descubridores lo ignoraban en absoluto.

Cuando llegó á extenderse por el mundo esta noticia, todos los telescopios de algun poder se apuntaron á Sirio, y se vino en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

conocimiento de que sabiendo la posicion del satélite, se le podia columbrar con instrumentos de mediana fuerza, aunque siempre mas que vulgares. Se hallaba el satélite precisamente en la direccion que asignaba de antemano la teoría para aquella fecha, y se observó con el mayor interés con objeto de averiguar si la direccion real de su movimiento concordaba con la del satélite teórico; las observaciones que se efectuaron durante los cuatro años siguientes á su descubrimiento, demostraron que así era la verdad, de modo que no fué posible poner en duda que este remotísimo

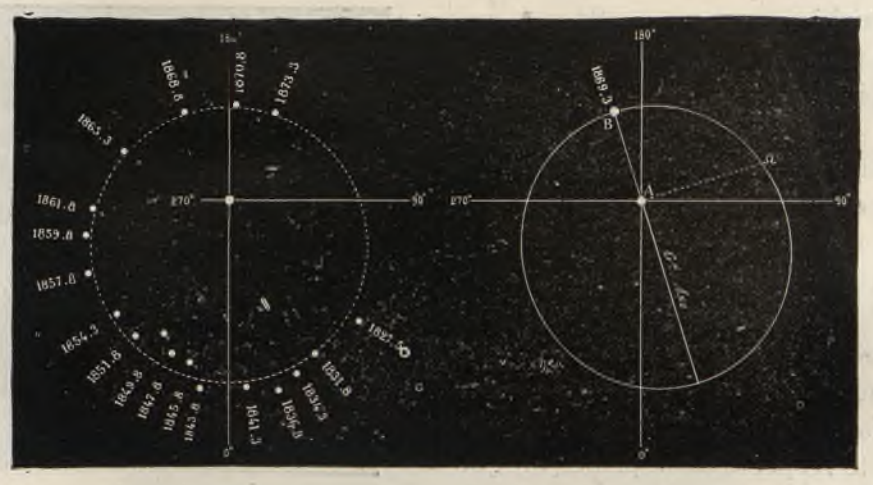


Fig. 32.—Orbitas aparente y real de zeta Cancri, segun Struve

cuerpo casi invisible, fuese en realidad el que producia las perturbaciones de Sirio; tambien se averiguó que la correspondencia no era de todo punto exacta, pues el movimiento del satélite era de medio grado mas por año, de lo que indicaba la teoría, pero la diferencia, aunque superior á lo que se aguardaba, se debe probablemente á los errores inevitables de las observaciones tan delicadas y difíciles que sirvieron de fundamento á la hipótesis del satélite teórico. Vemos que entre el descubrimiento de Neptuno y el del satélite de Sirio no deja de haber cierta analogía.

La visibilidad de este difícil cuanto interesante objeto, depende de la altura de Sirio y del estado de la atmósfera, en igual proporcion que de la potencia del anteojo; cuando las imágenes estelares se presentan confusas, no basta para percibirlo ni el gran anteojo del Observatorio de Washington que es el mayor del mundo, por ahora; en otras ocasiones se le puede especular hasta con anteojos de 12 ó 15 centímetros de diámetro; estas condiciones favorables se conocen de antemano por la falta de centelleo de las estrellas.

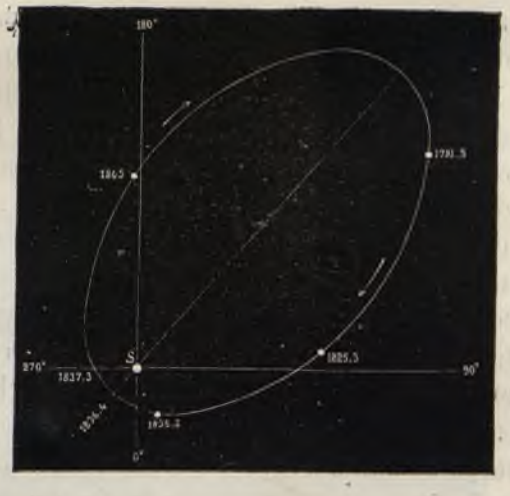


Fig. 33. – Orbita de la estrella binaria gamma Virginis

Otra estrella notable es Procion, cuyo satélite circula á una distancia de 13″ del cuerpo primario, pero en este caso se presenta la particularidad de que aun no ha

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

podido encontrarse un segundo satélite calculado há tiempo por Bessel, y que debe de estar situado en el centro de gravedad del sistema. Excusado parece manifestar, que los anteojos mas potentes del mundo se han dirigido á este cuerpo invisible, sin que hasta ahora haya sido posible columbrarlo.

La fig. 32 representa la órbita aparente y relativa segun los cálculos de Struve, que



Fig. 31.—Sistema ternario de zeta Cancri; perturbaciones del satélite de las dos estrellas principales

describe la estrella zeta Cancri en un período de 58 años; por las posiciones de la estrella principal en el curso de los tiempos, comparadas con las de la órbita cerrada, se deducen las diferencias que aun existen entre la teoría y la observacion; en la misma figura se ve tambien la órbita real deducida de la aparente.

Además de las estrellas dobles, se perciben en el cielo grupos de tres ó mas soles, reunidos física ú ópticamente, que se conocen con el nombre de estrellas triples, cuádruples ó múltiples. Con frecuencia ocurre que una de las componentes de un sistema binario de gran radio, es por lo comun una estrella binaria á su vez, pero estrechísima, la que solo se ha podido descubrir mucho tiempo despues de conocerse que ya formaba parte de un primer sistema; por ejemplo, mu Herculis fué reconocida como estrella doble por Herschel, siendo la distancia de su compañera de unos 30″ y su magnitud mucho mas pequeña; en 1856 probó Clark uno de sus objetivos con este par, y descubrió que la componente era á su vez doble y estaba formada por dos es-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

trellas de igual brillo, que distaban 1″; este estrechísimo par compone un sistema binario de período corto, habiendo tenido lugar mas de media revolucion de ambas estrellas desde el año de 1856; otro caso semejante es el de gamma Andromedæ,



Fig. 35. — Estrellas triples y cuádruples. — 1: Estrella triple del Unicornio. — 2: Estrella triple de Pegaso.— 3: Estrella cuádruple del Toro.—4: Estrella cuádruple de Casiopea

descubierta por Herschel y que Struve habia encontrado antes doble.



Fig. 36 — 1: Estrella séxtuple (548 Herschel). — 2: Estrella séxtuple de la Nube mayor de Magallanes

Gamma Virginis es tambien una estrella triple, pero las órbitas calculadas se refieren á las dos componentes principales que son de 3.ª magnitud; su período se estima en 153 años segun Villarceau. La estrella zeta Cancri á que antes hicimos referencia no es únicamente doble, pues en realidad forma un sistema ternario, toda vez que una tercera estrella mucho mas distante que las dos primeras, gravita tambien en torno del centro comun de atraccion. Struve ha trazado la órbita de la tercera componente referida al centro óptico de las otras dos, que sin duda se aparta poco del centro de gravedad, y halló, en vez de una curva única, una serie regular de sinuosidades que demuestran con toda certidumbre, la existencia de poderosas perturbaciones.

De las estrellas múltiples son muy notables las de las constelaciones del Delfin y de la Nube mayor de Magallanes; merece tambien llamar nuestra atencion la estrella theta Orionis, que al principio se conside-



Fig. 37.—Estrella séxtuple theta Orionis segun Herschel

raba como cuádruple, cuyas componentes formaban un cuadrilátero situado en el centro de una nébula que pronto describiremos. El empleo de telescopios mas poderosos permitió luego que se descubriesen

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dos estrellitas muy tenues, de modo que el grupo se componia de seis; posteriormente Lassel descubrió una séptima estrella en este hermoso sistema, por manera que theta Orionis forma una estrella séptuple.

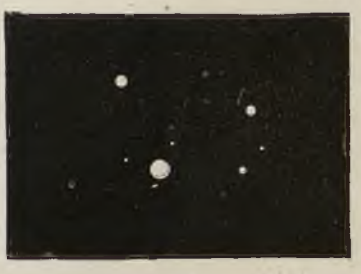


Fig. 38.—Estrella séptuple theta Orionis segun Lassel

A este propósito decia Humboldt, que probablemente la estrella séxtuple theta de Orion, constituye un verdadero sistema, pues las cinco estrellas mas pequeñas participan del movimiento propio de la estrella principal, y no seria imposible que algun dia pudieran los astrónomos futuros observar los movimientos recíprocos y simultáneos de siete soles.

Muchas de las estrellas dobles presentan el vistoso fenómeno de los colores contrastados ó suplementarios. En tales casos la estrella mayor es por lo comun de color rojizo ó anaranjado, en tanto que la menor aparece azul ó verde, probablemente en virtud de esa ley general de óptica, segun la cual cuando la retina se halla fuertemente excitada por la accion de alguna luz intensa de color determinado, las luces mas débiles, que aisladas solo producirian la sensacion del blanco, deben aparecer teñidas del color complementario de la mas intensa. Por manera que, cuando predomina el color amarillento en la luz de la estrella mas luciente, la de menos brillo aparecerá azul en el mismo campo del anteojo; y si el tinte de la mas brillante se inclina al carmesí, el de la otra tirará á verde, y aun puede aparecer de un verde vivo en circunstancias favorables.

Mas no hay que atribuir exclusivamente el fenómeno de la coloracion de las estrellas á un simple efecto de contraste como acabamos de indicar, puesto que la observacion demuestra que esta ilusion óptica es accidental y que en realidad existen estrellas de diversos colores. En efecto, Struve ha encontrado con frecuencia un satélite azul con una primaria blanca ó amarilla. Tambien se dan casos en que las dos componentes son azules, como las estrellas dobles delta Serpentarii y 59 de Andrómeda; segun Dunlop, en el cielo austral hay un grupo de una multitud de estrellas, azules todas. En las estrellas dobles se encuentran todas las gradaciones de color que es posible imaginar. El blanco se halla asociado con el rojo claro ú oscuro, con el púrpura y el rubí; tal estrella verde se ve acompañada por otra de color de sangre; un sol primario anaranjado tiene por satélite un sol púrpura ó azul de añil. La estrella triple gamma Andromedæ está formada por un sol rojo acompañado por otros dos soles cuya luz es de color verde esmeralda, segun unos observadores, y segun otros, son los satélites amarillo y azul. En una de las asociaciones estelares del catálogo de Herschel, se encuentra una estrella principal roja y las dos componentes azules; en otra es blanca la primera con dos satélites rojos, ó blanca con dos satélites, uno rojo y blanco el otro.

En la constelacion de la Cruz del Sur cerca de la estrella cappa, hay un grupo notable, compuesto de ciento diez estrellas, de las que siete nada mas, superan á la décima magnitud; entre las principales, dos son rojas y roja bermeja, una azul verdosa, dos verdes y tres de un verde mas pálido. Forma, pues, este grupo, un objeto brillante y de la mayor belleza.

«Las estrellas que lo componen, vistas en un telescopio bastante poderoso que permita percibir los colores, dice Herschel, hacen el efecto de un estuche de piedras preciosas polícromas.»

La lista siguiente comprende algunas de las principales estrellas dobles de colores.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ESTRELLAS	Magnitud de las componentes	Color de A	Color de B
eta Cassiopeæ	4.ª 7 1/2.ª	Amarillo	Púrpura
alfa Piscium	5 6	Verde pálido	Azul
gamma Andromedæ	3 1/ 5 1/	Anaranjado	Verde mar
iota Cancri	5 1/2 8	Anaranjado	Azul
epsilon Bootis	3 7	Amarillo rojizo	Verde mar
zeta Coronæ	5 6	Blanco	Púrpura
alfa Herculis	3 1/2 5 1/2	Anaranjado	Verde esmeralda
beta Cygni	3 7	Amarillo	Azul zafiro
sigma Cassiopeæ	6 8	Verdoso	Azul brillante

Mas fácil es sugerir con palabras que abarcar con la mente, la variedad de iluminacion que dos soles, el uno rojo y el otro verde, ó el uno amarillo y el otro azul deben dispensar á un planeta que circule al rededor de entrambos, y los graciosos contrastes y agradables vicisitudes de una luz ya roja, ya verde, por ejemplo, en alternativa con la blanca y con la oscuridad, á que puede dar márgen la variada combinacion de la presencia ó ausencia, ya del uno, ya del otro, ó de entrambos sobre el horizonte.

Estrellas aisladas y de color se encuentran tambien en muchas partes del cielo; las principales son:

Blancas.—Sirio, Régulo, Fomalhaut y alfa Ursæ minoris (la Polar).

Rojas.—Aldebaran, Antares y Betelgeuze.

Azules.—Capella, Rigel, Procion y Spica.

Verdes.—Wega, Atair y Deneb.

Amarillas.—Arcturo.

El color ó tono de estas estrellas no es permanente, v. gr. Ptolemeo y Séneca consideraban que Sirio era roja, *rubra canicula*, y hoy dia aparece de una blancura deslumbradora; otras dos estrellas dobles que Herschel anotó como blancas, se encuentran en la actualidad formadas por una estrella principal amarilla acompañada por otra verde rojiza.

Cuando nos ocupemos del análisis espectral de los cuerpos celestes, veremos cómo explica la ciencia éstas transformaciones.

II

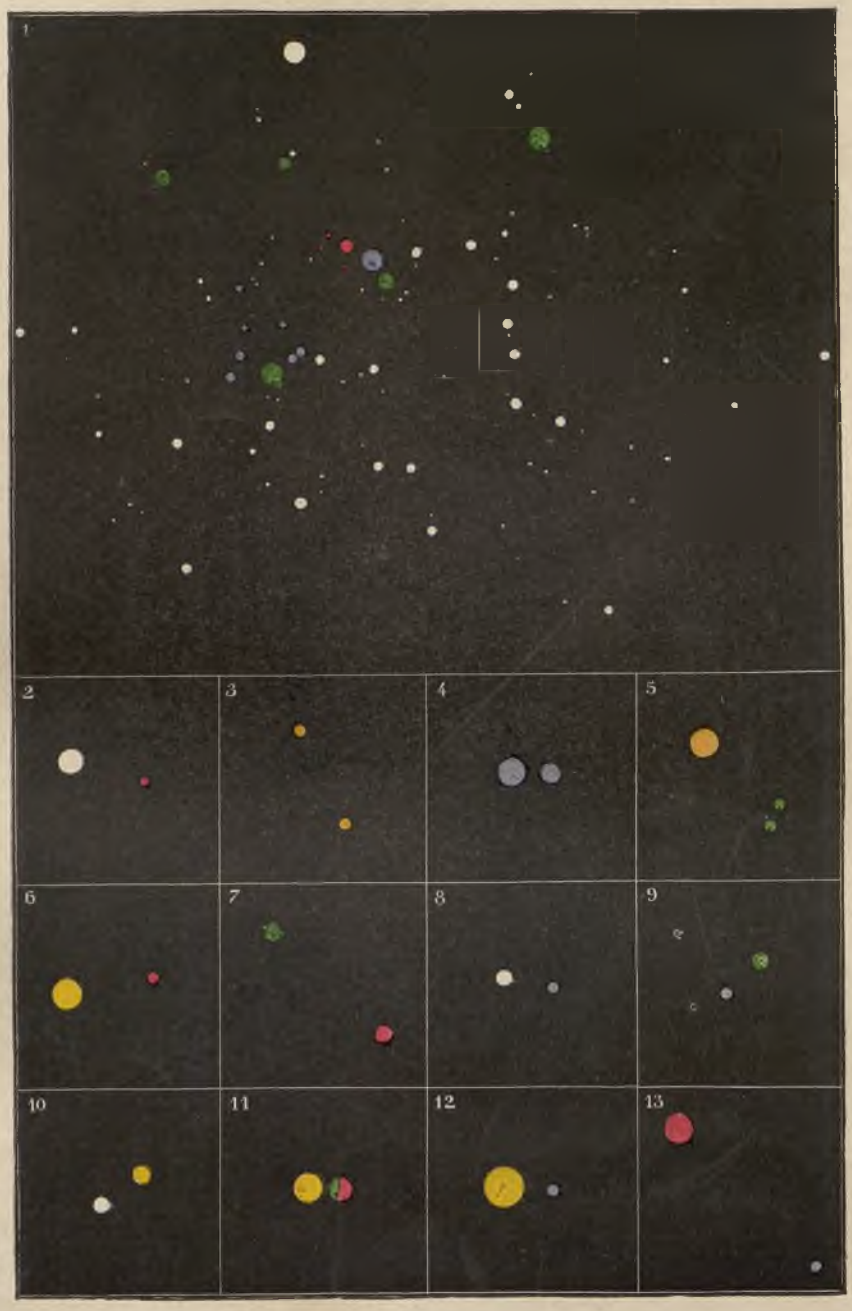
Cúmulos de estrellas

Una ligera y superficial observacion de la bóveda celeste, á la simple vista, y mejor, armados con el telescopio, nos revela, que así como las estrellas mas brillantes se hallan igualmente esparcidas por todo el firmamento, no ocurre lo propio con las que ofrecen escaso brillo; números inmensos de estrellas, imposibles de estimar, forman unos *montones*, *conglomerados* ó *cúmulos*, en los que á menos de valerse de anteojos poderosísimos, es imposible especular ningun individuo aislado, presen-



Fig. 39.—Las Pléyades ó Cabrillas vistas con el telescopio

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



ESTRELLAS DE COLORES

1 Cúmulo de *Kappa* de la Cruz.—2 *Kappa* de Pegasso.—3 61.ª del Cisne.—4 *Delta* de la Serpiente.—5 *Gamma* de Andrómeda.—6 *Eta* de Casiopea.—7 Estrella doble de Argos.—8 32.ª del Eridano.—9 *Sigma* de Casiopea.—10 *Beta* del Cisne.—11 *Gamma* del Leon.—12 *Alfa* de Hércules.—13 *Eta* de Perseo.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tándose como una mera mancha ó nube luminosa.

Estos cúmulos ofrecen grandes divergencias en cuanto á la densidad de su agregacion. En uno de los límites podemos colocar á las Pléyades ó Cabrillas, que forman uno de los objetos celestes mas conocidos y visibles; todo el mundo dice, las siete cabrillas, pero en realidad solo se perciben seis á la simple vista; segun una fábula ó conseja, existian antes siete estrellas en este conglomerado, pero no se sabe cómo, ni cuándo, desapareció una de ellas y quedaron reducidas á seis que son las que se ven en la actualidad por la mayoría de las gentes; una persona de buena vista puede distinguir en este grupo hasta once estrellas, en buenas condiciones atmosféricas, y con un anteojo se especulan de cincuenta á ciento segun la fuerza y claridad del instrumento. Alcione, la mas brillante, es de 3.ª magnitud, Electra y Atlas de 4.ª, Merope, Maya y Taigete de 5.ª; otras tres han recibido tambien nombres particulares, por mas que no se columbren á la simple vista y son Pleione,

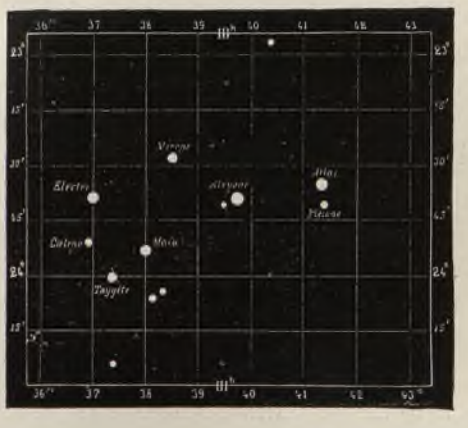


Fig. 40. — Carta de las 13 estrellas principales de las Pléyades



Fig. 41.—Las Hiades, grupo de la constelacion del Toro



Fig. 42. — Prœsepe, conglomerado de estrellas de la constelacion del Cangrejo

Cœleno y Astérope, de sexta y octava magnitud.

Las Hiades, que se encuentran muy cerca de las Pléyades, forman un grupo de estrellas menos numerosas y amontonadas que estas; la luz deslumbradora de Aldebaran hace que se perciban con dificultad sin auxilios ópticos; y como aparecen en la estacion lluviosa, se les dió el nombre de Hiades de una palabra griega que significa llover.

El cúmulo de Prœsepe ó la Colmena, situado en la constelacion del Cangrejo, se columbra fácilmente á la simple vista en una noche clara y sin Luna, como una masa nebulosa de luz, pero sin que puedan separarse sus componentes. Otro grupo de estrellas que tambien se ve á la simple vis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta es el de Perseo; hay tambien algunos mas como la Cabellera de Berenice, etc.

No puede decirse que haya una línea absoluta de division entre estos grupos y los cúmulos ó conglomerados mas densos, si bien algunos astrónomos los separan y se ocupan de los grandes enjambres estelares al hablar de las nebulosas; pero nosotros preferimos estudiar á la vez un fenómeno que presenta en esencia un mismo carácter.



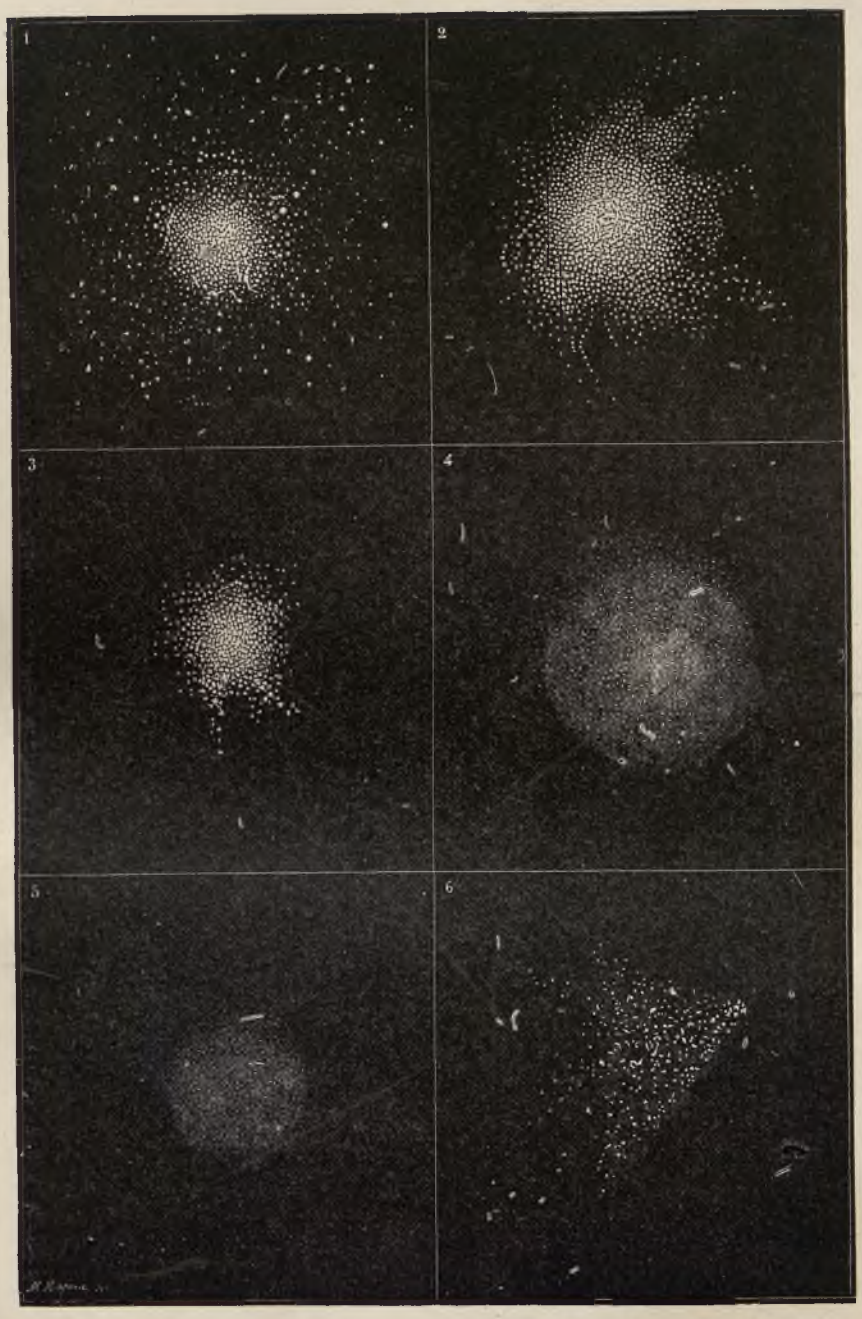
Fig. 43.—Cúmulo de estrellas de la constelacion de Perseo

No hay en el cielo objetos que presenten mayor interés que los cúmulos ó enjambres de estrellas; la distancia á que se hallan es tal, á veces, que aun valiéndose de los mas poderosos telescopios tan solo se perciben como una ligera mancha de polvo estelar y sin que nos sea posible, no ya medir el espacio que de ellas nos separa, pero ni estimarlo tal vez. Muchos hay entre esos cúmulos que se han tenido á primera vista por cometas, lo cual no es extraño porque presentándolos los anteojos de mediana fuerza en forma de pequeñas manchas nebulosas, redondas ú ovaladas, se parecen sobremanera á aquellos astros cuando carecen de cola. Messier dió en los *Conocimientos de los tiempos* de 1784 un catálogo de las posiciones de ciento tres objetos de esta clase, que deben tener muy presentes todos los que se dedican al descubrimiento de cometas, para no equivocarse con la semejanza de aspecto. Que no son cometas, lo prueba ya suficientemente su fijeza, y sobre todo, cuando llegamos á examinarlos con instrumentos de mucha amplificacion, como, por ejemplo, telescopios de 50 centímetros y mas de abertura, se



Fig. 44.—Cúmulo estelar de la constelacion de Acuario, especulado con el gran telescopio de lord Rosse

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

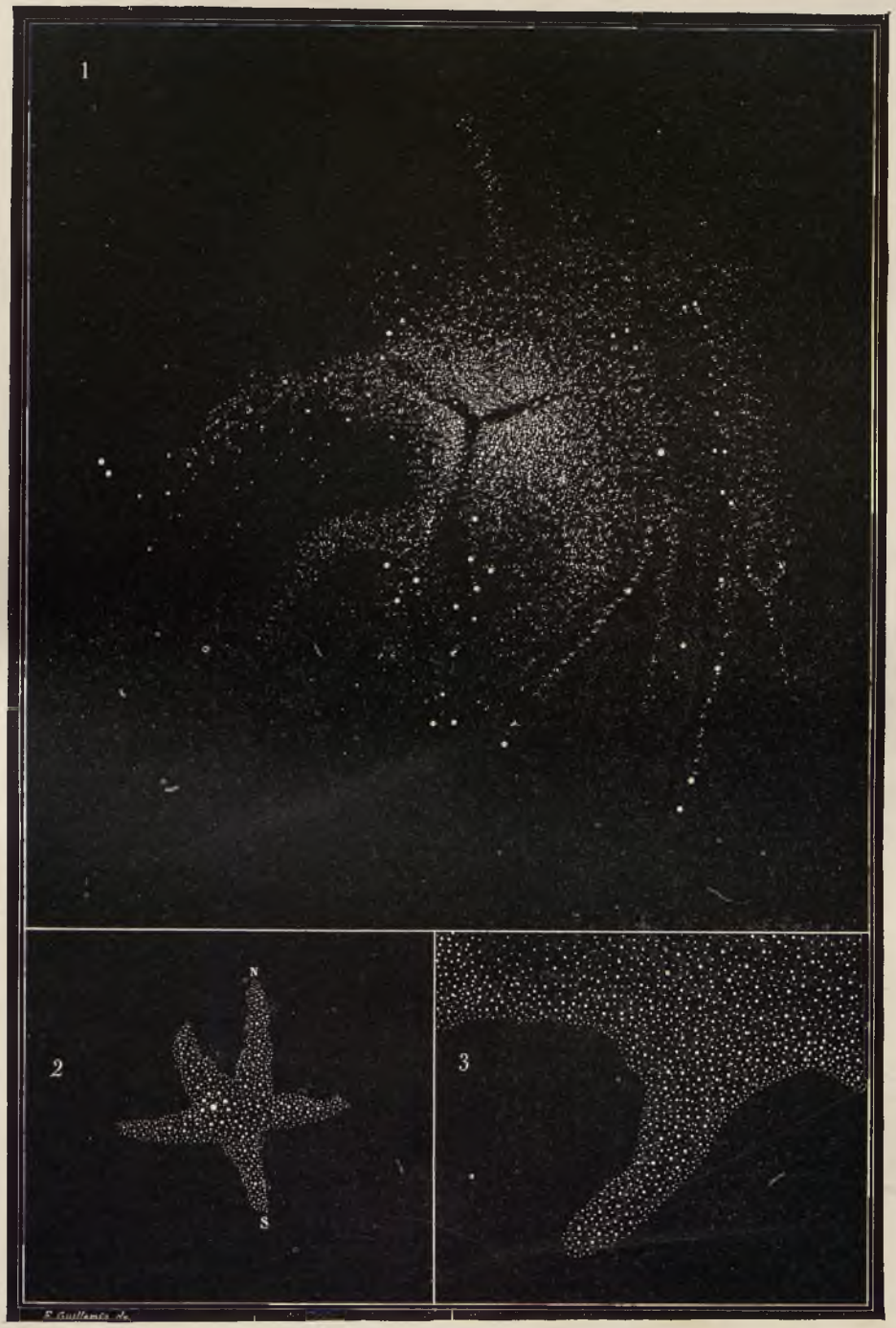


CÚMULOS ESTELARIOS

segun los dibujos de J. Herschel.—1 Cumulo de la Balanza.—2 De Hércules.—3 De Capricornio.—4 De Acuario.—5 De la Serpiente.—6 De los Gemelos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



CÚMULOS ESTELARIOS

1 Cúmulo de Hércules, visto con el gran telescopio de Parsonstown, y segun un dibujo de M. B. Stoney.—2 Cúmulo del Unicornio.—3 Porcion de la Via láctea inmediata á la cola del Escorpion, segun J. Herschel.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

disipa completamente todo asomo de semejanza en que pudiera apoyarse tal idea. Se ve entonces, que por lo general se componen en totalidad de estrellas tan apiñadas, que ocupan un contorno casi determinado, y vienen á fenecer en una masa, luminosa en el centro, en donde la condensacion es mayor por lo comun. En muchos se nota una forma exactamente redonda y estos dan la mas completa idea de un espacio globular atestado de estrellas, aislado en el cielo, y que constituye por sí mismo una familia ó sociedad separada, y solo sometida á sus propias leyes internas. Vano

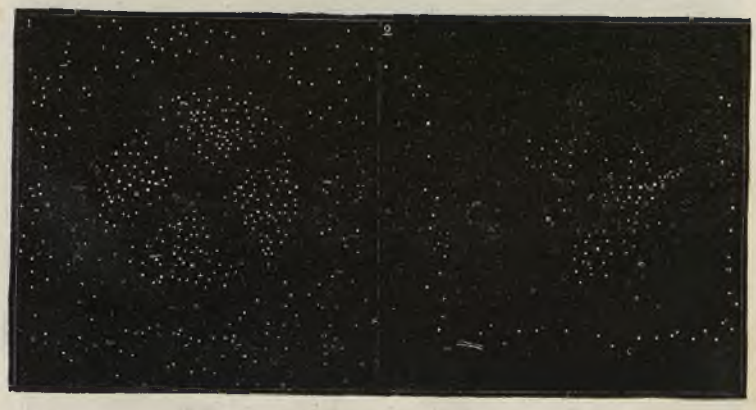


Fig. 45.—Cúmulos estelares segun Herschel

empeño seria el de contar las estrellas de uno de estos cúmulos globulosos; baste decir que no es por centenares como puede graduarse su número, y que por un cálculo por mayor fundado en los intervalos aparentes que presentan hácia los márgenes (en donde no se ven proyectadas unas sobre otras), y en el diámetro angular de todo el grupo, es de suponer que muchos cúmulos de esta especie contengan, cuando menos diez ó veinte mil estrellas cada uno, embutidas y como prensadas en un espacio circular cuyo diámetro aparente no pasa de ocho ó diez minutos, es decir, en un área que es como la décima parte de la que cubre la Luna en aquella region.

Pueden considerarse estos cúmulos como pequeñas colonias de lo infinito, y nada nos impide que supongamos que cada una de sus estrellas sea el centro de un grupo de planetas tan grandes como los de nuestro sistema solar, y que cada planeta se encuentre poblado como nuestra propia Tierra; de modo que, como vemos que todos estos soles se encuentran condensados en una pequeña mancha luminosa, pudiéramos llegar á creer que aquellos habitantes sostuvieran relaciones con los de los demás sistemas vecinos. Sin embargo, si fuera posible que nos transfiriésemos á uno de esos lejanos cúmulos y tomáramos como residencia á cualquiera de sus planetas, en lugar de ver que los demás soles se encontraban en inmediata vecindad, observaríamos que un firmamento de estrellas igual al nuestro se extendia por todas partes. Probablemente seria de mayor brillo, pues en él habian de hallarse muchas estrellas superiores á Sirio en esplendor, pero en cuanto á columbrar á los habitantes de los mundos vecinos seria tan difícil como ver á los de Marte desde la Tierra, de modo que para aquellos séres la cuestion de la pluralidad de los mundos habitados es tan irresoluble como para nosotros.

Para dar al lector una idea del aspecto de los cúmulos mas distantes, insertamos además de las láminas adjuntas, dos grabados en los que se reproducen las vistas que tomó Herschel de estos objetos en su obser-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vatorio del Cabo de Buena Esperanza. La figura 46 representa el cúmulo 2,322 del catálogo de Herschel, situado en el cielo austral en un lugar casi desprovisto de estrellas, cerca de la nube menor de Magallanes; el ilustre astrónomo describe este objeto

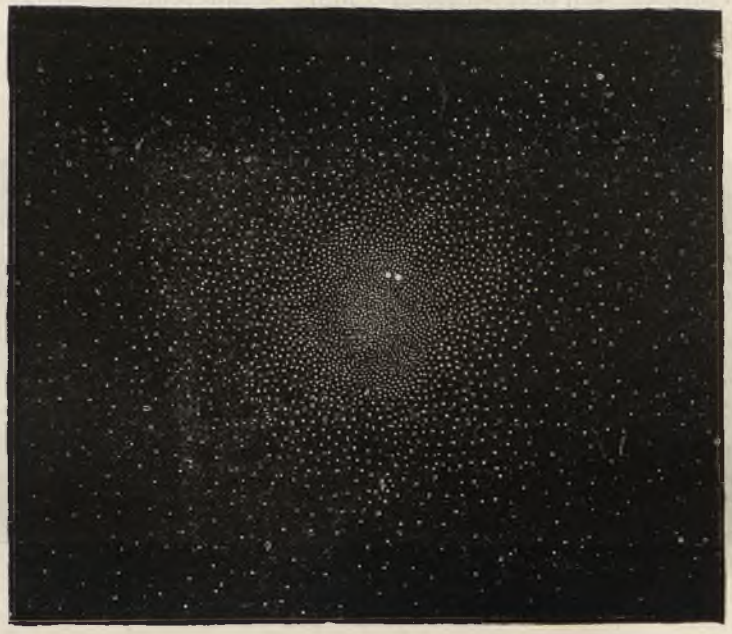


Fig. 46.—Cúmulo estelar 47 Tucani, segun Herschel

como uno de los cúmulos globulares mas hermosos que pueden observarse, siendo



Fig. 47.—Cúmulo estelar omega del Centauro, segun Herschel

inmenso el número de estrellas de 14.ª magnitud que lo forman; la condensacion central se percibe fácilmente; se divide en tres zonas distintas contrastando el color rojo anaranjado de la condensacion central, con la luz blanca de las envolturas concéntricas. Una estrella doble se proyecta sobre el conglomerado, pero probablemente no tiene relacion alguna con el grupo.

La fig. 47 representa el cúmulo 3,504 del catálogo, que segun Herschel es el mas rico y hermoso del cielo; sus estrellas son literalmente innumerables y considerando que el importe total de su luz impresiona nuestra vista como una estrella de 4.ª ó 5.ª magnitud, puede calcularse la pequeñez individual de cada componente.

III

Distancias de las estrellas

Uno de los argumentos mas poderosos que presentaban los antiguos astrónomos en contra de la movilidad de la Tierra, era la falta de paralaje de las estrellas fijas, y en este fenómeno se apoyaba Tycho Brahe para rechazar el sistema de Kopérnico.

En las páginas que anteceden hemos vis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

to, que por medio de observaciones delicadas y de ingeniosas combinaciones de raciocinio teórico, hemos llegado á un cómputo exacto, primero de las dimensiones de la Tierra; luego, tomando estas como base, al conocimiento de las de su órbita al rededor del Sol; y en seguida, fijando, digámoslo así, nuestras estaciones en los opuestos márgenes de la periferia de esta órbita, hemos prolongado nuestras medidas hasta los últimos confines de nuestro propio sistema, y aun con el auxilio de lo que sabemos acerca de las excursiones de los cometas, hemos podido dar como á tientas un paso ó dos, mas allá de la órbita del planeta mas lejano de todos los conocidos. Pero entre la órbita mas remota y la estrella mas próxima media un abismo, de cuya extension no pueden darnos idea las observaciones hechas hasta hoy, ni aproximacion clara y distinta no habiendo distancia alguna, por inmensa que sea, á que no pueda sobrepujar segun todos los datos que tenemos.

Sin embargo, el telescopio, que ha sido un poderoso auxiliar en la medicion de los pequeños ángulos, permitió á los defensores del sistema copernicano atacar con dudoso éxito el problema de la paralaje de las estrellas; pero como los primeros observadores tenian nociones muy imperfectas de los artificios mecánicos necesarios para realizar la empresa con mediano fruto, no produjo el invento del anteojo ningun resultado inmediato en los métodos de triangulacion celeste. Un primer paso se dió en este camino por el inglés Hooke en 1669; instaló en su casa un anteojo de treinta y seis piés de largo, en una posicion vertical, de tal manera, que el objetivo se encontraba colocado en un agujero del techo del edificio y el ocular en el piso bajo; una plomada pendia desde el objetivo hasta un punto situado debajo del ocular, de modo que pudiera comprobarse con exactitud la direccion vertical del instrumento. La estrella elegida para la observacion fué *gamma* Draconis, porque relativamente era brillante y pasaba por el zenit de Lóndres; el método se reducia á medir la distancia de la imágen de la estrella á la plomada de uno á otro dia, en el momento de su paso por el meridiano; tan solo habia hecho cuatro observaciones, cuando se rompió el objetivo casualmente y la tentativa quedó sin realizarse.

De 1701 á 1704, Roemer, que se encontraba en Copenhague, trató por otro método, de resolver el problema; midió el ángulo que separa á las éstrellas Sirio y Wega con el anteojo de pasos y el péndulo astronómico, anotando el tiempo trascurrido entre los pasos meridianos de ambos astros; la diferencia fué de 4 segundos de tiempo ó sea un ángulo muy pequeño, que naturalmente se atribuyó al movimiento de la Tierra segun se dijo en una disertacion titulada *Kopernicus triumphans*. Hoy dia se sabe que estas estrellas no presentan semejante paralaje y Peters ha demostrado que la diferencia que halló el entusiasta astrónomo dinamarqués, se debe, en gran parte, á la marcha defectuosa de su péndulo astronómico.

Cansariamos al lector refiriendo particularmente todas las tentativas hechas por los astrónomos del último siglo, y del primer tercio de este, para averiguar la paralaje de las estrellas, y por lo tanto, sus distancias. Bastará que digamos de un modo general, que se fundan en medidas absolutas, esto es, que se trataba, valiéndose de un círculo graduado, de determinar diariamente la distancia zenital de una estrella al pasar por el meridiano. La posicion del zenit se averiguaba por varios medios; ó bien con una plomada muy sensible, ya con un nivel de mercurio, y lo que se pretendia averiguar era el ángulo que formaban la vertical y la línea visual dirigida á la estrella. Todos los resultados que obtuvieron los astrónomos fueron ilusorios, pues sus pretendidas paralajes se reducian á los errores de los instrumentos empleados.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Struve fué el primero que probó de un modo concluyente que la paralaje, aun de las estrellas mas brillantes, era tan pequeña, que no habia posibilidad de medirla por ninguno de los métodos hasta entonces empleados. El suyo en principio se asemejaba al de Roemer, pero las estrellas opuestas que eligió eran visibles á sus pasos por el meridiano inferior lo mismo que por el superior, de manera que poco tiempo antes ó despues de observar uno de los pasos de cualquiera estrella, hacia girar su anteojo meridiano apuntándolo debajo del polo, y observaba el paso de la estrella opuesta, del oeste al este. Con este artificio obviaba el inconveniente del movimiento irregular del reloj, ó si se veia obligado á apoyarse en él, era por una hora ó cosa así y no por doce como Roemer; el resultado de las observaciones de Struve indicaba que la paralaje media de las 25 estrellas mas brillantes que distan del polo menos de 45 grados, apenas excede de un solo décimo de segundo.

Este era el estado general del asunto en el año 1835, en cuya fecha decidieron Struve y Bessel, en vez de tratar de determinar distancias zenitales, de seguir el método de las paralajes relativas, iniciado, puede decirse, por Galileo y Huyghens; cuando una estrella brillante y otra débil se ven á un mismo tiempo en el campo del anteojo, esta última, probablemente, dista mas que la primera y por lo tanto, han de cambiar sus posiciones relativas, segun que la Tierra se mueva en torno del Sol y se encuentre en cada uno de los extremos de uno de los diámetros de su órbita. Si, por ejemplo, una de las estrellas se hallaba á una distancia tres veces mayor que la otra, su movimiento aparente producido por la paralaje, seria un tercio tan solo del que correspondiese á la otra, y obtendríamos una paralaje relativa igual á los dos tercios de la que correspondiera á la estrella brillante, la cual puede averiguarse midiendo la distancia angular de ambas estrellas segun se ven en el telescopio de dia en dia, en el trascurso del año. El defecto de este método reside en la imposibilidad de determinar cuántas son las veces que una estrella dista mas que la otra, puesto que nada se opone á que la estrella mas débil se encuentre mas cerca de nosotros, que la de magnitud superior. A esta consideracion sin duda, hay que atribuir el que los astrónomos no hicieran uso de este método en cerca de tres siglos.

No obstante, llegó á averiguarse, que en algunos casos podia una estrella estar mas cerca de nosotros que las demás de magnitud inferior que la rodeasen, segun se vieran en el campo del telescopio. Por ejemplo, la estrella 61 del Cisne, ó mas bien, el par de estrellas que así se designa, se ha visto que no ocupan una posicion fija en la esfera celeste, como las estrellitas que la circundan, sino que se mueve en línea recta hácia adelante, con una velocidad de seis segundos por año; este movimiento propio era tan extraordinario, que parecia probable que la estrella fuese una de las que menos distasen de la Tierra, por mas que se clasifica entre las de sexta magnitud. Por este motivo la escogió Bessel para la investigacion de su paralaje relativa respecto de las otras dos estrellas vecinas; el instrumento que empleó fué el heliómetro, que tal como se construye en la actualidad es susceptible de una gran precision, pero que en aquella época no podia considerarse como un aparato perfecto.

Las primeras tentativas de Bessel para determinar la paralaje fracasaron de igual manera que las de sus antecesores; empezó de nuevo sus mediciones en agosto de 1837, continuándolas hasta octubre del año siguiente; obtuvo como resultado de esta serie una paralaje de unos tres décimos de segundo (0″3136); reformó entonces su instrumento y comenzó una segunda serie que terminó su ayudante Schlüter en marzo de 1840; el valor final de la paralaje deducida por Bessel de todas estas observaciones,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tado que todos estos grupos se van aproximando, por efecto de la atraccion mutua de sus miembros, á la figura globular; y congregándose de todas las regiones circunstantes en virtud de leyes, de que no tenemos á la verdad otra prueba mas que la

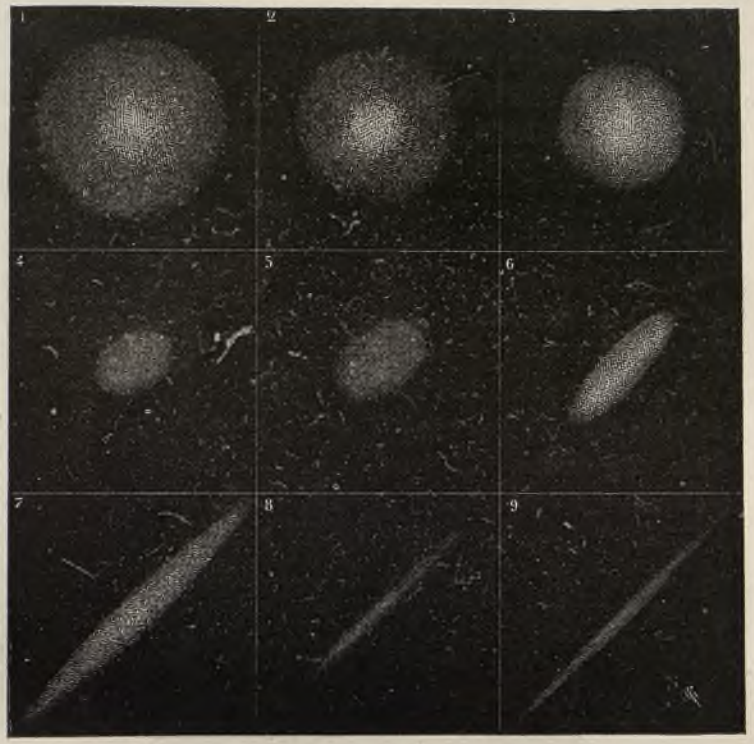


Fig. 53.—Nébulas de forma regular, segun Herschel

observancia de una gradacion insensible, por la cual van pasando sus caractéres de uno en otro, de forma que no es dable determinar dónde acaba una especie y empieza la otra.

Las nébulas resolubles solo pueden considerarse como cúmulos, ó demasiado remotos, ó formados de estrellas intrínsecamente demasiado débiles para que podamos percibir la luz de cada una de por sí, y solo cuando dos ó tres aciertan á estar bastante juntas, la impresion que así reunidas producen, nos da la idea de un punto mas brillante que los demás. Casi todas son redondas ú ovaladas, perdiéndose, por decirlo así, en la distancia todo apéndice suelto é irregularidad de figura, y quedando solo discernible la forma general de las partes mas condensadas. Bajo este aspecto y carácter es como se presentan todos los cúmulos globulosos, aun los de mayor tamaño,



Fig. 54.—La Nébula de Orion; dibujo de Huyghens en 1659

en los anteojos de fuerza óptica insuficiente para que se vean con toda distincion; y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la consecuencia que de esto se deduce es óbvia, á saber: que hasta aquellos que los mejores telescopios apenas pueden hacer resolubles, se resolverian completamente dando mayor amplificacion á estos instrumentos.

De nébulas propiamente dichas, hay asimismo gran variedad; entre ellas, es sin disputa una de las mas notables la de Orion, que circunda á la estrella cuádruple ó mas bien séxtuple theta, que forma la empuñadura de la espada. Huyghens la describió en 1659 en los términos siguientes:

«Entre las estrellas fijas se advierte un fenómeno digno de consideracion, y en el que hasta ahora, que yo sepa al menos, nadie ha reparado, si bien es verdad que para observarlo se necesitan grandes anteojos. En la espada de Orion hay tres estrellas casi unidas; en 1656, cuando casualmente observaba la de en medio con el anteojo, en vez de hallar una sola estrella, se me aparecieron doce; de ellas habia tres, que casi se tocaban y con otras cuatro brillaban



Fig. 55.—La Nébula de Orion: dibujo de Mairan en 1750

á través de una nébula, de modo que el espacio que las rodeaba parecia mas brillante que el resto del cielo, cuyo aspecto era

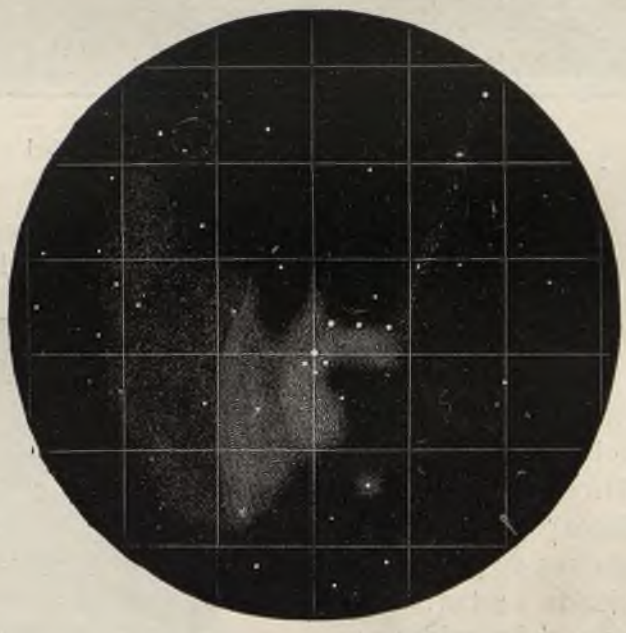


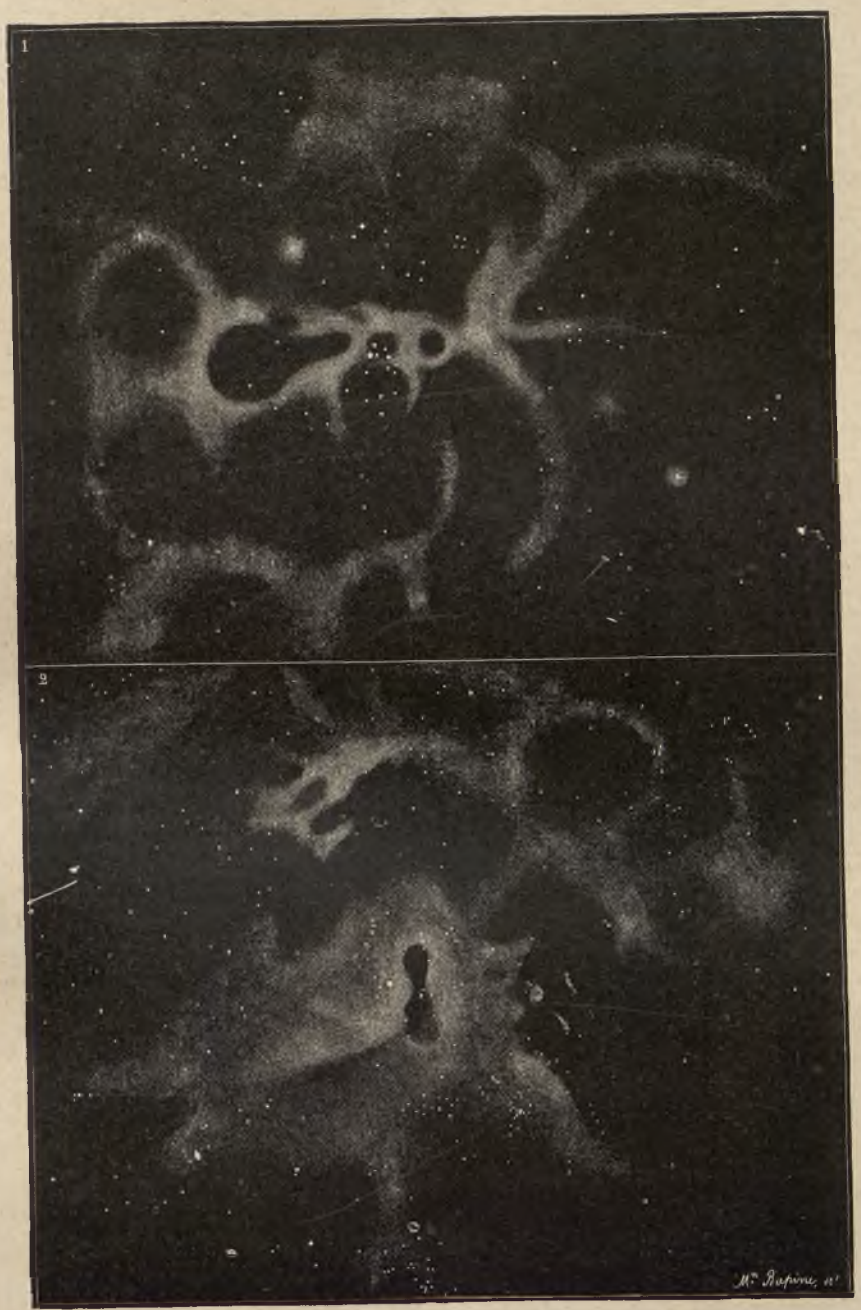
Fig. 56.—La Gran Nébula de Orion; dibujo de Messier en 1771

negro, lo cual se debe á una abertura del cielo que nos permite divisar una region mas brillante.»

Esta nota que se encuentra en el *Systema Saturnium* parece indicar que tanto Huyghens, como los observadores que le precedieron, consideraban que las nébulas eran agujeros ó roturas del firmamento, por las que se podia columbrar el empíreo.

Mairan y Messier en 1750 y 1771 respectivamente, se ocuparon tambien de esta magnífica nébula, y sus dibujos, principal-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

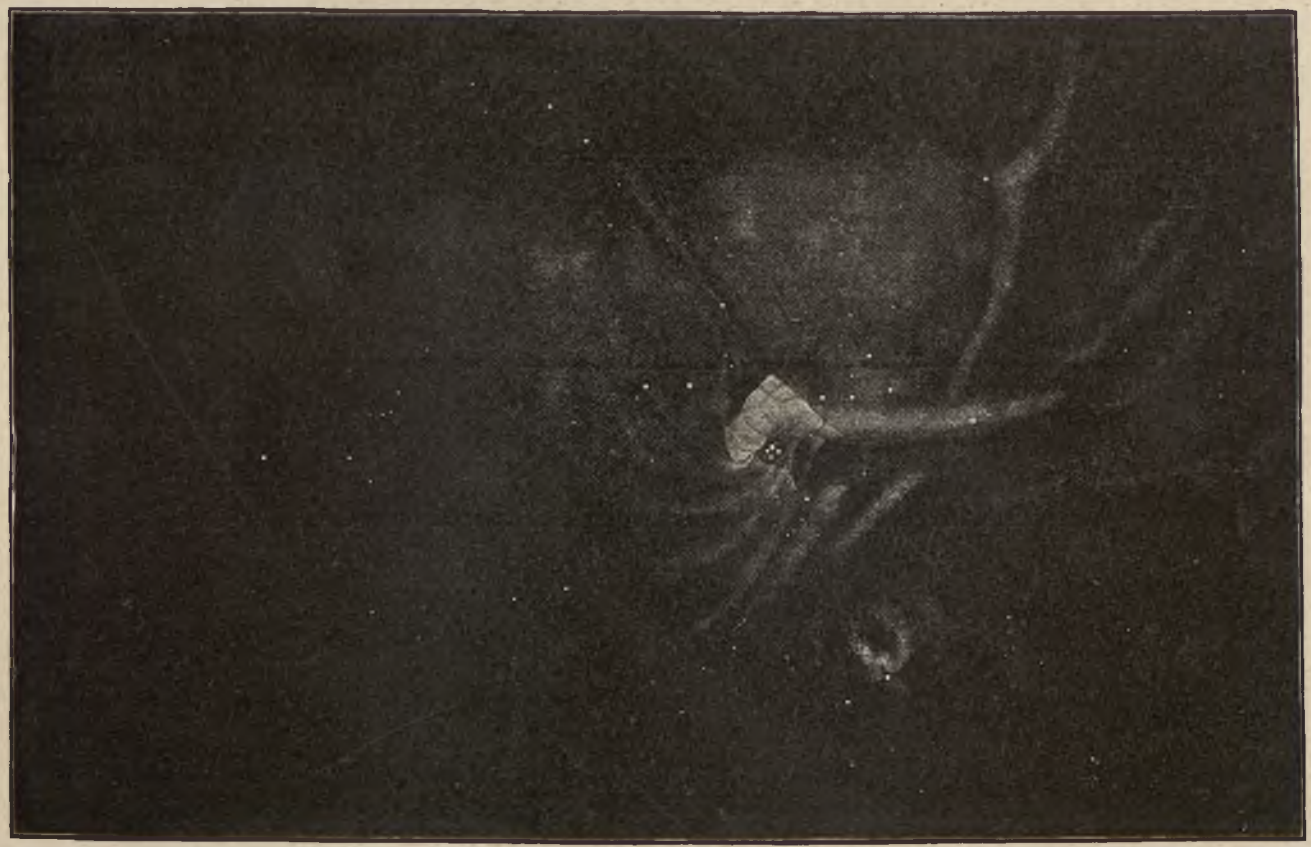


NEBULOSA DE LA DORADA Y DE ETA DE ARGOS, SEGUN LOS DIBUJOS DE SIR J. HERSCHEL

1 Nebulosa de la Dorada. — 2 Nebulosa circundante de la estrella Eta de Argos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



LA GRAN NEBULOSA DE ORION

segun un dibujo de G. P Bond

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mente el de este último astrónomo, demuestran ya el carácter grandioso de este objeto (fig. 56); la region de Huyghens se representa con mayor exactitud en su forma y con mas brillo; tambien se perciben unas masas nebulosas de tono mas débil, hácia la parte occidental. Huyghens solo columbró 12 estrellas, 6 de las cuales se proyectaban sobre la nebulosidad; Mairan agregó la décimatercera, que corresponde á la componente cuarta de theta, cuyo descubrimiento se atribuye á Cassini. De las 31 estrellas que se distinguen en el dibujo de Messier, pertenecen 22 á la nébula, cuya extension mide cerca de la dozava parte de un grado cuadrado.

Todos los astrónomos modernos, á lo menos una vez en su vida, se han ocupado del estudio de la gran nebulosa de Orion; Struve, Herschel, Vico, Porro, Rosse, Secchi, Bond y otros muchos la han dibujado y analizado por todos los medios de que



Fig. 57.—Nébula de Andrómeda

hoy dispone la ciencia. Desde el hemisferio boreal no es posible columbrar una nébula mas brillante ni mas rica en detalles. El punto céntrico de mayor interés lo ocupan cuatro estrellas relativamente brillantes, que pueden percibirse con un mediano anteojo que amplifique 40 ó 50 veces; mas para columbrar las otras dos pequeñas estrellitas que acompañan á las anteriores se necesita un buen instrumento de 18 ó 20 centímetros de diámetro. Este grupo séxtuple ocupa un espacio de unos cuantos segundos cuadrados. (Véase la lámina adjunta.)

De la comparacion de los dibujos de determinadas nébulas, hechos en distintas épocas, parece resultar que sufren grandes cambios de forma, en particular ofrece este carácter la nebulosa que envuelve á la estrella eta del Navío ó Argos, y que representamos en la adjunta lámina. Dice Herschel «que observada con un telescopio de 45 centímetros no presenta traza alguna de resolucion; la parte mas condensada adyacente al hueco de forma ovalada que se ve en medio de la figura, no tiene el mismo aspecto compacto, ni la tendencia á dividirse en nudos brillantes que caracteriza á la nébula de Orion é indica su posible resolucion.»

La figura 57 representa una nébula de un carácter enteramente distinto cuyo original se halla en la constelacion de Andrómeda; es visible á la simple vista, y las personas no versadas en el conocimiento del cielo, la equivocan á menudo con un come-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta. Simon Mario, que reparó en ella en 1612, describe su aspecto como el de una luz que brillase al través de talco, y la comparacion no deja de ser bastante propia. Su forma es la de un óvalo medianamente alongado, que aumenta de esplendor por



Fig. 58.—Nébula elíptica de Andrómeda; dibujo de Bond en 1848

grados insensibles, al principio con suma lentitud, pero luego con mas rapidez, hácia un punto céntrico; el cual, aunque mucho mas brillante que todo lo demás, no presen-

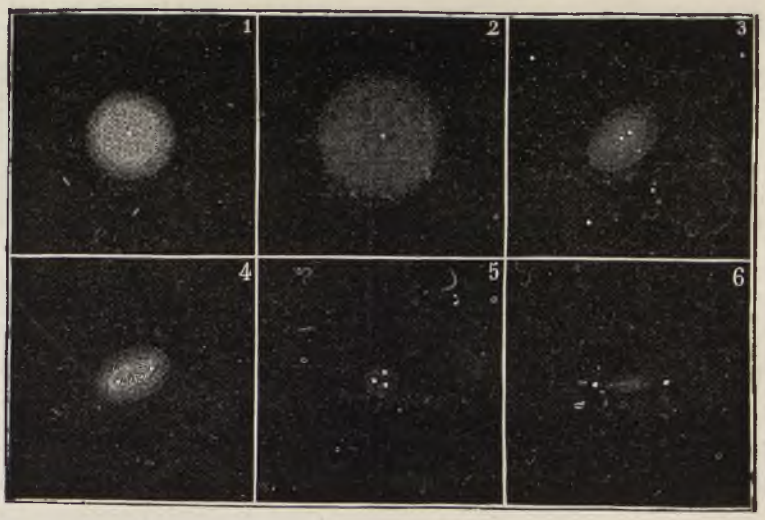


Fig. 59.—Estrellas nebulosas segun Herschel.—1: Del Cisne.—2: De Perseo.—3: Del Centauro.—4: Del Sagitario.—5: Del Cochero.—6: De la Hidra

ta, sin embargo, visos de estrella, sino tan solo de nébula en un estado de suma condensacion. Herschel consideraba que este objeto no ofrecia el menor indicio de que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pudiera estar compuesto de estrellas. Pero en 1848 consiguió Bond contar en la hasta entonces irreductible nébula, 1,500 estrellas, valiéndose de un hermoso anteojo de 38 centímetros. No se ha podido todavía resolver el núcleo, pero se cree que toda la nébula está compuesta de estrellas.

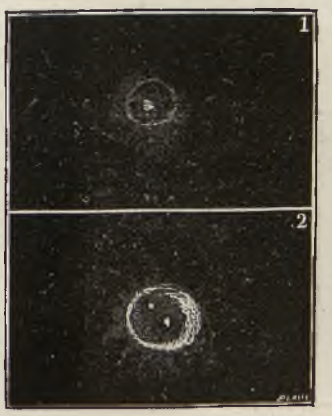


Fig. 60.—Estrellas nebulosas segun Rosse.—1: De los Gemelos.—2: Del Navio

Esta puede considerarse como el tipo, en punto mayor, de una clase muy numerosa de nébulas, de figura redonda ú ovalada que aumentan mas ó menos de densidad hácia el punto central, aun cuando bajo este respecto difieren extremadamente. En unas la condensacion es leve y gradual, en otras considerable y repentina, tan repentina á la verdad, que presentan el aspecto de una estrella mal terminada y borrosa en cuyo caso se les llama *nébulas estelares.*

Las *estrellas nebulosas* ofrecen el espectáculo vistoso y sorprendente de una estrella bien terminada y brillante, rodeada de un disco ó atmósfera perfectamente circular de luz amortiguada, que en algunos casos va desvaneciéndose por todas partes con una gradacion insensible, y en otros se termina casi de repente.

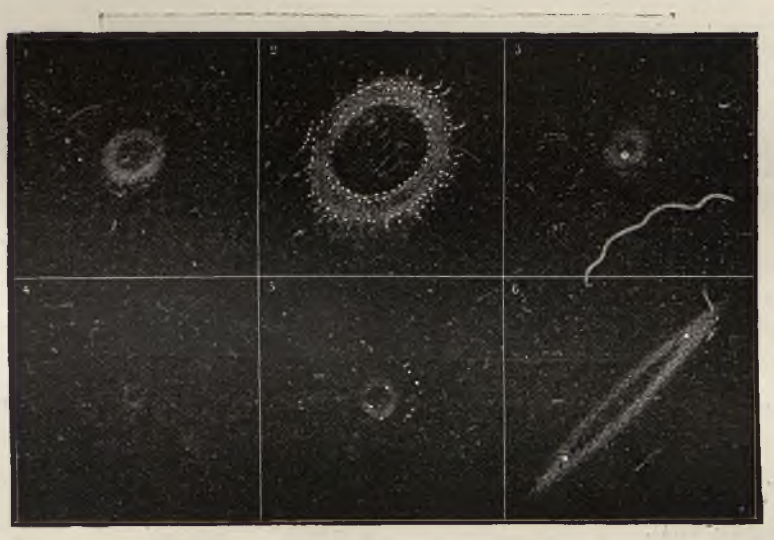


Fig. 61. — Nébulas anulares. — 1: De la Lira segun Herschel. — 2: De la Lira segun Rosse.— 3: Del Cisne.— 4: De Ofiuco.—5: Del Escorpion.—6: De Andrómeda

Un ejemplar lindísimo de esta clase de estrellas nos presenta la 55 Andromedæ; otro la del Cochero, etc. Tambien son nebulosas epsilon é iota Orionis, pero no puede percibirse la nebulosidad sin anteojos de mucha amplificacion.

En punto á desvío de la forma esférica que afectan las nébulas ovaladas, se observa asimismo gran diversidad; unas son levemente elípticas; otras muy alongadas, y aun algunas se alargan de manera, que toman el aspecto de un rayo luminoso largo y angosto, que pudiéramos caracterizar de fusiforme, porque va adelgazándose hácia sus dos extremos, hasta terminar en punta.

Tambien hay nébulas anulares, si bien se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuentan entre los objetos que con mas escasez presenta el cielo. La mas señalada de esta clase que puede verse con un anteojo regular, se halla exactamente en medio de las estrellas beta y gamma de la Lira (figura 61); es chica y notable por lo bien terminada, de forma que mas parece un anillo sólido, plano y ovalado, que nébula. Los ejes de la elipse están entre sí próximamente en la razon de 4 á 5 y la abertura ocupa



Fig. 62.— Nébulas planetarias segun Herschel.—1: De los Peces.—2: De la Osa mayor.— 3: De Andrómeda

casi la mitad de su diámetro. Su luz no es enteramente uniforme, antes está como á cuajarones especialmente hácia el márgen exterior; la abertura central no aparece del todo oscura, sino que contiene una luz débil, indecisa, distribuida con uniformidad

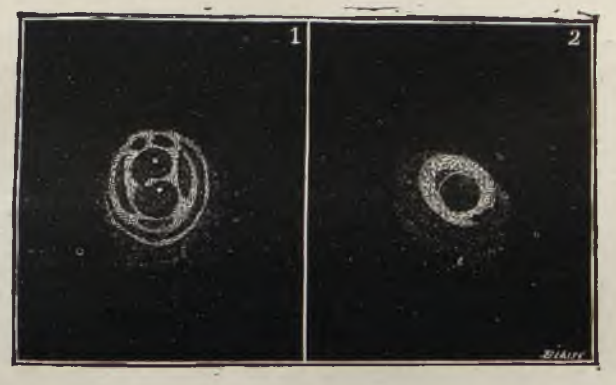


Fig. 63.—Nebulas planetarias segun Rosse.—1: De la Osa mayor.—2: De Andrómeda

por toda ella, á manera de una gasa sutil extendida sobre un aro.

En las constelaciones del Cisne y de Ofiuco, se encuentran tambien dos nébulas, una ovalada y la otra redonda; la primera tiene mucha analogía con la de la Lira. En la nébula del Escorpion, además de la forma oval del anillo, que es bastante pronunciada, se distinguen dos estrellas en los extremos del diámetro menor. Pero en una nébula anular próxima á la hermosa estrella triple gamma Andromedæ, se percibe el anillo excesivamente alongado, su eje mayor mide mas de 10 minutos, y en sus extremos se encuentran situadas dos estrellas con perfecta simetría. Dice Herschel que debe ser un anillo delgado de forma plana y visto oblicuamente.

Las *nébulas planetarias* son objetos muy extraordinarios. Tienen, como su nombre lo da á entender, un aspecto exactamente igual al de los planetas; discos redondos ó levemente elípticos, terminados con toda distincion en unos casos, en otros algun tanto borrosos hácia los márgenes, y siempre de una luz uniforme, ó solo algun tanto moteada, que en algunos de ellos se aproxima en esplendor á la de los verdaderos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

planetas. Cualquiera que sea su naturaleza deben ser de un tamaño enorme. Una de estas, en la constelacion de Andrómeda, presenta un disco visible de 12″ perfectamente cortado y redondo. Dando por sentado que estos objetos se hallen de nosotros á la misma distancia que las estrellas, sus dimensiones efectivas deben ser tales, que podrian llenar, segun el cómputo mas reducido, toda la órbita de Urano. Y no es menos evidente que en caso de ser cuerpos sólidos de naturaleza parecida á la del Sol, el esplendor intrínseco de sus superficies debe ser casi infinitamente inferior al de la de nuestro luminar, como se colige de que una porcion circular del disco del Sol que subtendiese un ángulo de 20″, daria una luz igual á la de *cien lunas llenas*, al paso que los objetos que consideramos, si no absolutamente invisibles, apenas son perceptibles á la simple vista.

Apoyándose Herschel en la uniformidad de sus discos, y en la falta de condensacion aparente central que en ellos se advierte, suponia que su luz era meramente superficial y que en su naturaleza participaban algo de la de una esfera hueca. Pero luego se ha visto por lord Rosse, que el disco de la nébula planetaria de la Osa mayor, verbigracia, cuya luz parecia á Herschel uniforme, muestra una doble corona luminosa y una nebulosidad central con dos puntos brillantes como dos estrellas.

Otro ejemplo de estas modificaciones lo hallamos en la nébula de Andrómeda, redonda para Herschel y que Rosse nos dibuja como un anillo luminoso con algunos puntos brillantes de orígen probablemente estelar.

II

Nébulas notables, espirales y de forma irregular

El descubrimiento de las nébulas espirales se debe á lord Rosse. La mejor conocida se encuentra en la constelacion de Canes Venatici; para Herschel presentaban el aspecto de un cúmulo globuloso ancho y brillante, rodeado por un anillo á una distancia considerable del globo, de esplendor variable en sus diversas partes, dividida como en dos láminas hácia los dos quintos de su circunferencia. Cerca de la nébula principal se percibe otra redonda, pequeña y brillante.

En el gran telescopio de lord Rosse varia por completo el aspecto de este objeto maravilloso. El anillo se convierte en una espiral de materia nebulosa brillante, sembrada de estrellas; el centro de figura y el extremo de la espiral parecen de carácter resoluble. Los filamentos externos de esta prodigiosa curva se juntan con la pequeña nébula exterior que con instrumentos inferiores aparecia separada del anillo. De más está decir que ninguno de estos detalles se distinguen con los anteojos de moderado poder óptico, pues estos solo indican una mera mancha luminosa.

Otra nébula espiral de proporciones inmensas es la de la Vírgen; se le ven como cuatro aspas encorvadas en una misma direccion, separadas por intervalos negros, que parten de un núcleo central mucho mas brillante.

Son tambien interesantísimas las nébulas de Cefeo (fig. 65) y de la Osa mayor (figura 66); ambas presentan una condensacion globulosa en el centro, de donde parten como las patas de una araña inconcebible; en estos apéndices se observan tambien centros de condensacion. Herschel clasificó á la nébula de la Osa mayor entre las de forma redonda ó globular, porque su telescopio no era de bastante potencia para revelarle los misterios de este notable objeto.

Lord Rosse llegó á catalogar unas cuarenta nébulas de carácter espiral marcado, y sobre treinta, que acusaban una tendencia análoga; de esta última clase puede servir de ejemplo la del Navío ó Argos que representamos en la fig. 67. De esta configuracion podemos pasar á la que ofrecen las nébulas semi-elípticas, ó semi-espirales como las del Leon y de Pegaso (fig. 68). En

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la misma constelacion del Leon hay otra nébula que para Herschel era fusiforme y semejante á la de Andrómeda, y que lord Rosse con su gran telescopio (fig. 70) incluyó en la categoría de las semi-espirales; el núcleo central está compuesto de varias



Fig. 64.—La Nébula de los Perros de caza, segun Rosse

envolturas que afectan una forma circular y los extremos del óvalo presentan unas estrías luminosas que se extienden á ambos lados del eje.

Ya dijimos al hablar de los cometas, que estos cuerpos pueden confundirse con las nébulas si en vez de considerar su movimiento propio á través de las constelaciones, se atiende solo á su aspecto de cuerpos nebulosos; en la fig. 69 se ven tres ejemplos de esta clase de nébulas, que presentan una estrella ó núcleo brillante de donde arranca la cola, que apenas si se diferencia de la que nos muestran los cometas.

Muchas de las nébulas que en anteojos de mediano y gran poder óptico, pero no colosal, presentan simetría en su forma y aparecen con claro derecho á ser reputadas por sistemas de naturaleza particular y definida, se reducen y modifican al ser observadas con los poderosos telescopios de Lassel y Rosse. Por ejemplo, la nébula de la Raposa, que Herschel describe como compuesta de dos partes redondas ó ligeramente ovaladas, brillantes, y en estado de suma

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fué de 0″35. Investigaciones posteriores han demostrado que este número era algo pequeño y Auwers de Berlin la estima en 0″51.

Struve eligió la estrella alfa de la Lira para medir la paralaje relativa, pues no solo tiene un movimiento propio sensible, sino que es de 1.ª magnitud, de manera que puede suponerse que pertenezca á la categoría de las estrellas que distan menos de la Tierra; la comparacion se hizo con una pequeña estrella simple, inmediata, utilizando el instrumento del Observatorio de Dorpat, dando comienzo á las investigaciones en noviembre de 1835 y terminando en agosto de 1838. La paralaje que resultó media la cuarta parte de un segundo; observaciones posteriores redujeron este valor á 0″2, por manera que aunque alfa Lyræ es casi unas cien veces mas brillante que cada una de las componentes de la 61 Cygni, dista de nosotros como dos veces mas.

Segun los datos mas exactos que hoy dia posee la ciencia, parece que en realidad la estrella mas próxima á la Tierra es alfa Centauri, situada en el hemisferio austral. Este descubrimiento se debe á Henderson, quien lo realizó en el Cabo de Buena Esperanza, casi al mismo tiempo que Struve y Bessel efectuaban sus primeras medidas de paralajes. Las observaciones fundamentales se llevaron á cabo con el círculo mural del Observatorio del Cabo, y por lo tanto, fueron medidas absolutas de distancias zenitales, en vez de comparaciones con las estrellas próximas como las de Struve y Bessel. De una discusion y exámen detenido de sus propias observaciones, obtuvo Henderson como valor de la paralaje de las dos estrellas que componen alfa Centauri, 0″91.

Las investigaciones recientes de varios observadores han demostrado que unas doce estrellas visibles en nuestras latitudes presentan paralajes que varian de un décimo á medio segundo. Unas de ellas corresponden á estrellas pequeñas que se suponen cercanas á nosotros por su gran movimiento propio, al paso que otras son de las mas brillantes del cielo. Es digno de llamar la atencion, sin embargo, que entre las trece estrellas de primera magnitud visibles en nuestras latitudes, menos de la mitad carezcan en absoluto de paralaje, por mas que para determinarla se ha acudido á todos los refinadísimos medios que hoy posee la ciencia. La mayor parte de las estrellas que tienen paralaje son de escasa magnitud.

Sucede algunas veces en las mediciones de la paralaje ánua de las estrellas fijas, que los astrónomos obtienen de sus observaciones una paralaje *negativa*. Para comprender lo que esto quiere decir, haremos observar que la determinacion de la distancia de una estrella se obtiene averiguando sus direcciones, segun se ve desde dos puntos opuestos de la órbita de la Tierra; si tiramos una línea de cada uno de estos puntos en la direccion observada de la estrella, se encontrará esta en la interseccion de ambas rectas; una paralaje negativa indica que en vez de concurrir las dos líneas en un punto, divergen, así que no es posible asignar á la estrella posicion alguna que corresponda á las observaciones, resultado paradójico que solo puede provenir de errores en la observacion.

Vamos á ver qué distancias obtenemos del valor de las paralajes de algunas estrellas.

Un objeto cualquiera, grande ó pequeño, redondo ó cuadrado, subtiende un ángulo de un segundo, colocado á una distancia igual á 206,265 veces sus propias dimensiones; de modo que si llegamos á averiguar la paralaje de una estrella, fácilmente deduciremos su distancia; si su valor se expresa en segundos ó décimos de segundo y r denota el semidiámetro de la órbita terrestre, d la distancia de la estrella y p la paralaje, tendremos la sencillísima fórmula

$$d = r \times \frac{206{,}265}{p}$$

Luego si $p = 1''$, la distancia de la estrella

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

será igual á 206,265 veces la distancia que nos separa del Sol, y como acabamos de ver que la estrella alfa del Centauro que es la que presenta mayor paralaje, aun con eso no llega á 1″ (0″91) podemos afirmar que ninguna estrella hay, que diste de la Tierra menos de 206,265 veces la distancia que nos separa del Sol.

Examinemos con mayor detenimiento la importancia de esta conclusion; la distancia del Sol, en números redondos, lo cual basta para nuestro objeto, es de 37 millones de leguas, que multiplicados por 206,265 nos dan, no la distancia de la mas inmediata de las estrellas fijas, sino *su límite inferior*, es decir, que mas acá es imposible que pueda encontrarse la estrella; este límite expresado en leguas es

$$d=206{,}265\times37.000.000=7{,}631{,}805\,000{,}000$$

ó cerca de 8 billones de leguas.

Nuestra imaginacion no puede abarcar este número; vemos el guarismo, lo consideramos, queremos traducirlo y enterarnos de lo que significa, pero solo conseguimos obtener una mediana concepcion de la mera expresion numérica que resulta del cálculo; los mismos astrónomos, acostumbrados como están á manejar, y pásesenos la frase, guarismos y cantidades estupendas, se ven obligados á buscar unidades de magnitud proporcionada para reducir la expresion aritmética de las cantidades, á límites mas comprensibles.

La velocidad de la luz nos proporciona uno de los medios mas convenientes para nuestro objeto y que ya empleamos en otras ocasiones. Segun resulta de los últimos experimentos de Cornu, la luz se propaga con una rapidez de 75,000 leguas por segundo; de modo, que si dividimos la distancia *d* por esta cantidad, el cociente nos dará el tiempo expresado en segundos, que invierte la luz en venir desde la estrella hasta la Tierra; pero como este número tampoco lo podemos abarcar con la imaginacion, conviene reducirlo á minutos, horas, dias y años.

En el cuadro siguiente presentamos las paralajes de varias estrellas, sus distancias á la Tierra expresadas en radios de la órbita terrestre y en años que ha empleado la luz en llegar hasta nosotros, y el nombre del astrónomo que ha efectuado la observacion, si bien debemos advertir que los números que resultan se han obtenido de datos distintos de los que antes indicamos.

Estrellas	Paralajes	DISTANCIAS EVALUADAS		Autoridades
		En radios de la órbita terrestre	En años invertidos por la luz	
alfa Centauri	0″ 913	225,970	3ª,5	Henderson
61 Cygni	0 374	550,920	8 7	Bessel
Wega	0 155	1.332,200	21 0	Struve
Sirio	0 150	1 375,100	21 3	Peters
Arcturo	0 127	1.628,000	25 5	idem
Polar	0 106	1.946,000	30 6	idem
La Cabra	0 046	4.484,000	70 5	idem

Vemos por la lista que antecede, que cuando observamos una estrella, en realidad cuenta este objeto cuando menos tres años y medio y que en este tiempo puede haber desaparecido por completo; por manera que seria posible que alguna de las estrellas que contemplamos en el cielo se hubiera extinguido mucho tiempo há, y sin embargo, la percibiríamos porque su luz aun venia caminando; del propio modo,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pudiera haber estrellas tan remotas, que á pesar de la velocidad de 75,000 leguas por segundo de que viene animada su luz, todavía no hubiera trascurrido tiempo bastante para que fueran visibles desde nuestro globo.

Por esto dice Herschel, que cuando observamos sus lugares y anotamos sus alteraciones, lo que en realidad hacemos es leer su historia de 4, 100, 1,000 ó mas años de fecha, conservada y trasmitida de este modo prodigioso.

Finalmente, si nos suponemos situados en la estrella alfa del Centauro, el radio de la órbita terrestre que mide 37 millones de leguas, apareceria como un punto imperceptible.

IV

Movimientos propios de las estrellas

A la simple vista parece que las estrellas conservan la misma posicion relativa en la esfera celeste, generacion tras generacion; si Job, Hiparco ó Ptolemeo, pudieran volver á contemplar el cielo hallarian, verosimilmente, que Aldebaran, Orion y las



Fig. 48. — Movimientos propios de las estrellas de la Osa mayor.—1: forma actual de la constelacion.—2: su aspecto dentro de 36,000 años

Pléyades, ocupaban el mismo lugar que hace miles de años, sin que una sola estrella se hubiera movido de su sitio. Los delicados métodos de la astronomía moderna, que nos permiten con auxilio del telescopio medir espacios absolutamente invisibles á la simple vista, han demostrado que la pretendida invariabilidad y fijeza de los cielos, no es real, y que las estrellas poseen movimientos propios, tan lentos, empero, que para percibirlos se necesita que trascurran miles de años.

En unos diez mil años cierto número de estrellas, en particular las mas brillantes, ofrecerán alguna dislocacion en sus posiciones, pero para que puedan reconocerse cambios marcados en la configuracion de las constelaciones es necesario que pasen mas de treinta mil años.

Como regla general, puede decirse, que las estrellas de mayor esplendor son las que presentan movimientos propios mas considerables; pero esta regla tiene muchas excepciones; la estrella que tiene mayor

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

movimiento propio de todas las que se conocen es la 1,830 del Catálogo de Groombridge, y su magnitud ocupa el 7.° lugar en la escala. Sigue luego el par formado por la 61 del Cisne, cuyas componentes son de sexta magnitud, y otras varias de cuarta y quinta magnitud.

Sus movimientos ánuos son como sigue:

ESTRELLAS	Magnitudes	MOVIMIENTOS PROPIOS	
		ánuos	en 10,000 años
1830 Groombridge	7 ª	7″.0	19°
61 Cygni	5.ª	5. 2	14°
21,185 Lalande	4.ª	4. 7	13°
epsilon Indi	7 ª	4. 5	12° 30′
21,258 Lalande	5 ª	4. 4	12° 20′
omicron Eridani	3 ª	4. 1	11° 22′
mu Cassiopeæ	6.ª	3. 8	10° 30′
alfa Centauri	1 ª	3 7	10° 15′

La primera de estas estrellas, aunque ofrece un movimiento propio mas importante que sus compañeras, necesita 185,000 años para efectuar su revolucion en el cielo, al paso que *mu* de Casiopea completaria su circuito en 340,000 años. A pesar de la lentitud de estos movimientos, hay que estimarlos como de cierta importancia, en comparacion con los de las demás estrellas de igual magnitud. Como regla general, puede decirse, que las estrellas de cuarta, quinta y sexta magnitud se mueven tan solo unos cuantos segundos en cien años, necesitando por lo tanto varios millones de años para completar su circuito en los cielos.

Por lo que hasta la presente se ha observado y podrá observarse de aquí á muchos siglos, tienen lugar estos movimientos en línea recta; si cada estrella se mueve en una órbita que le sea propia, debe ser esta

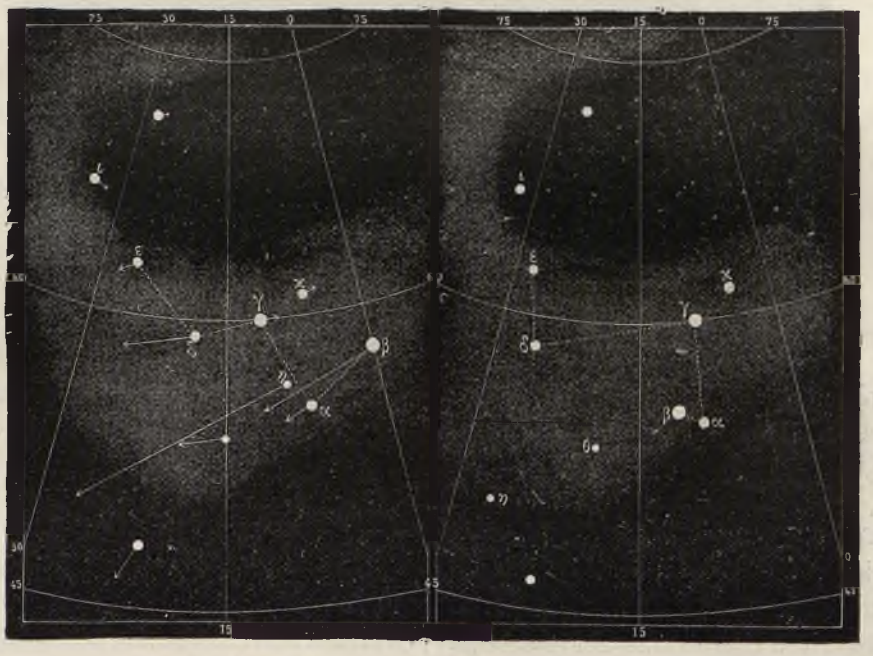


Fig. 49.—Casiopea en nuestra época y dentro de 36,000 años

tan inmensa, que no se percibe curvatura alguna en el pequeño arco que ha descrito el astro desde que se determinó su posicion con verdadera escrupulosidad. No hay motivos para suponer, si nos hemos de apoyar exclusivamente en las observaciones efectuadas, que las estrellas se muevan en órbitas de tal ó cual clase; cierto es que Maedler trató de demostrar, examinando el movimiento propio de las estrellas, que to-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

do el universo estelar giraba al rededor de Alcione, que es una de las Pléyades, cuya teoría, por su grandeza misma, fué acogida y divulgada por muchas gentes. Pero esta hipótesis no descansa en ningun fundamento sólido y únicamente puede considerarse como una mera especulacion; hasta ahora no se ha descubierto que las estrellas se muevan en órbitas regulares, por manera que no es posible señalar cuál sea su centro comun de movimiento; las estrellas se mueven en todas direcciones y con distintas velocidades, sin enlace ni concierto alguno, y aunque es verdad que llevando en cuen-



Fig. 50. – Aspecto de la constelacion de Orion en nuestra época y dentro de 36,000 años

ta el movimiento propio medio, podemos deducir alguna ley, indica esta no una órbita de clase particular, sino tan solo un movimiento propio aparente, comun á todas las estrellas y que probablemente *se debe á un movimiento real de nuestro Sol* y sistema solar completo.

Supuso Herschel, que podia reconocerse la tendencia comun de las estrellas, prescindiendo de ciertos desvíos individuales, á alejarse del punto ocupado por la estrella *zeta* de la constelacion de Hércules, encaminándose hácia el punto diametralmente opuesto que está situado en la constelacion del Navío; esta tendencia la atribuia á un movimiento del Sol y su sistema en direccion contraria. Nadie que reflexione con la debida atencion sobre el asunto, se sentirá inclinado á negar la suma probabilidad, ó mas bien la certidumbre, de que el Sol tenga un movimiento propio en una direccion cualquiera; y la consecuencia inevitable de este movimiento, en que no toman parte las estrellas, debe ser una tendencia aparente de todas ellas, ya mas, ya menos indicada segun su posicion, pero siempre lenta, hácia el punto evanescente de las líneas paralelas á la direccion del movimiento, que van á reunirse en la region de donde el Sol se aleja.

Es este, un efecto necesario de la perspectiva, que positivamente podria descubrirse por medio de observaciones adecuadas, si conociésemos con exactitud los propios movimientos aparentes de todas las estrellas, y estuviésemos seguros de su

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mutua independencia, esto es, de que todo el firmamento, ó por lo menos toda esa parte que tenemos mas inmediata, no fuese



Fig. 51.—Punto de la constelacion de Hércules hacia donde se dirige el Sol

llevado simultáneamente en una misma direccion en virtud de una fuerza general, resultado de procedimientos desconocidos y de modificaciones internas, que pudieran verificarse muy despacio en la estratificacion sidérea á que pertenece nuestro sistema; así como vemos los átomos que revolotean en el aire arrastrados por una de sus corrientes, conservar entre sí próximamente la misma situacion relativa.

Despues de Herschel investigó Argelander el mismo asunto, determinando por medio de observaciones numerosas y delicadas el punto de convergencia; otros astrónomos le siguieron, y los puntos del cielo que de todos sus cálculos se deducen y á los que el Sol se encamina, son los siguientes:

	Ascension recta	Declinacion
Argelander	257° 49	28° 50' N.
Struve	261 22	37 36
Lundahl	252 24	14 26
Galloway	260 1	34 23
Maedler	261 38	39 54
Airy y Dunkin	262 29	28 58

Se observará que hay algunas discrepan-

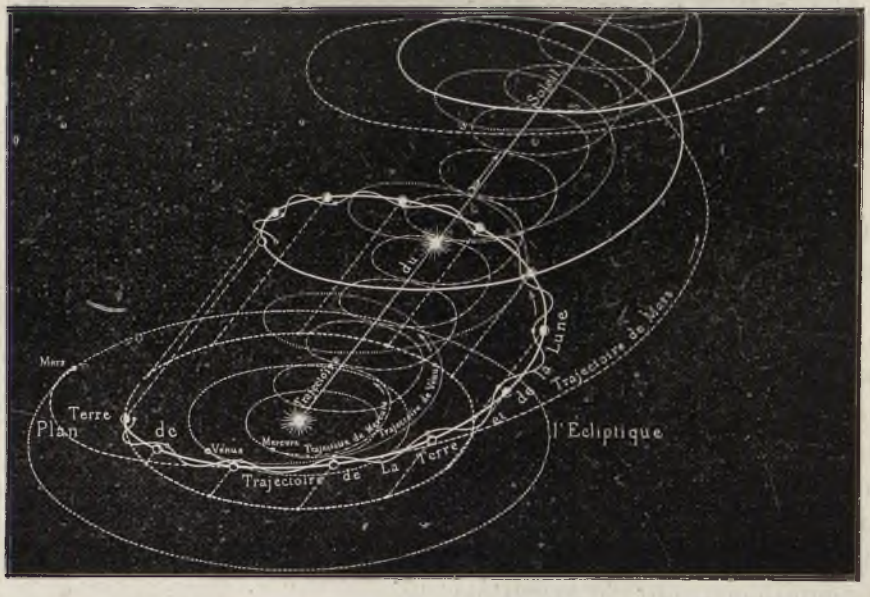


Fig. 52. — Trayectorias reales descritas por los planetas en virtud del movimiento de traslacion del sistema solar en el espacio

cias en cuanto al punto exacto, segun las autoridades de que proceden los datos, y por lo tanto, una mediana incertidumbre acerca del lugar en que debemos situarlo, pero si marcamos en una carta celeste las coordenadas anteriores, veremos que caen todas en la constelacion de Hércules y dentro del circulito indicado en la fig. 51. En cuanto al valor del movimiento halló Struve que, si se observase desde una estrella

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

media de primera magnitud, colocada en tal situacion respecto de nosotros que formase un ángulo recto con la direccion del movimiento del Sol, pareceria caminar este con una velocidad de 33″9 cada siglo. Dunkin dedujo un movimiento casi igual ó de 33″5, que corresponde á una velocidad de 165,000 leguas ó 7,6 kilómetros por segundo.

Tambien hay en los cielos ejemplos de grupos de estrellas muy extensos, que poseen movimientos propios que difieren del que ofrecen las estrellas mas inmediatas. Estos grupos deben formar sistemas combinados en cuyo movimiento se encuentran arrastradas todas las estrellas sin modificacion sensible de sus posiciones relativas; el caso mas notable de esta clase se encuentra en la constelacion del Toro; la gran mayoría de las estrellas mas brillantes de la region comprendida entre Aldebaran y las Pléyades, poseen un movimiento propio hácia el oeste, de unos diez segundos por siglo.

De modo que las estrellas que los antiguos llamaban fijas, tienen movimientos; es verdad que necesitan acumularse durante siglos enteros, antes de producir alteraciones de colocacion perceptibles á la simple vista, y aun cuando sean bastantes para desvanecer completamente esa idea de fijeza matemática que cierra la puerta á toda especulacion, son, sin embargo, demasiado insignificantes en punto á las aplicaciones prácticas, para motivar una mudanza de lenguaje, y para que en el modo comun de expresarnos, tratemos á las estrellas en otro sentido, que el de fijas.

Tambien podemos afirmar que jamás llegaremos á saber de un modo absoluto, el camino que seguimos en el espacio, y otro tanto podemos decir de todos los cuerpos del mundo solar. La Luna circula al rededor de la Tierra, pero la elipse que describe solo nos da un movimiento relativo, pues al mismo tiempo que la Tierra, gira en torno del Sol, y, suponiéndolo inmóvil, resulta que nuestro satélite describe una curva de varias inflexiones, una especie de cicloide mas complicada aun á causa de las perturbaciones planetarias. Pero como acabamos de ver que nuestra estrella ó Sol se mueve, la curva de la órbita lunar se encuentra arrastrada en este movimiento y se complica de nuevo su forma en el espacio, sin que sea posible calcular dónde ni cuándo termina esta confusion de líneas y movimientos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPITULO III

LAS NEBULOSAS

I

Nébulas estelares, planetarias y estrellas nebulosas total ó parcialmente resolubles

Por regla general se dividen las nebulosas en:

1.° Cúmulos de estrellas, en los cuales pueden estas distinguirse claramente, subdividiéndolas luego en cúmulos globulosos ó irregulares, que ya hemos estudiado.

2.° Nébulas resolubles, ó aquellas que dan indicios de estar compuestas de estrellas, y que puede esperarse que el aumento sucesivo en la amplificacion de los anteojos llegue á resolver en estrellas distintas.

3.° Nébulas, así llamadas con propiedad, en las que no se advierte apariencia alguna de estrellas, subdivididas tambien en clases subordinadas con arreglo á su esplendor y tamaño.

4.° Nébulas planetarias.

5.° Nébulas estelares.

6.° Estrellas nebulosas.

La fuerza extraordinaria de los modernos anteojos y telescopios nos ha revelado la existencia de un número inmenso de esta clase de objetos, haciéndonos ver que su distribucion en el cielo no es en manera alguna uniforme, sino que generalmente hablando, se observa en ella cierta preferencia señalada, hácia una zona de bastante anchura, que cruza á la Vía láctea casi en ángulo recto y cuya direccion general no va muy separada de la del círculo horario de 0h y 12h. En algunas partes de esta zona, y con particularidad en los parajes por donde atraviesa las constelaciones de la Vírgen, Cabellera de Berenice y Osa mayor, son muy abundantes, pero casi siempre telescópicas, y fuera del alcance de todo lo que no sea un instrumento de primer órden.

Los cúmulos de estrellas, ó son globulosos como los que hemos descrito, ó de forma irregular. Estos últimos, comunmente menos abundantes en estrellas, y especialmente de menor condensacion hácia el centro, presentan asimismo contornos peor definidos; tanto, que muchas veces no es fácil decidir en dónde terminan, ó si deben mirarse bajo otro aspecto, que el de meras porciones de cielo mas copiosamente dotadas de estrellas, que las circunvecinas.

En algunos de ellos, las estrellas son casi todas de un tamaño, en otros, por todo extremo diferentes; y no es cosa extraña el encontrar una estrella muy roja, mucho mas brillante que las demás, en alguna posicion reparable respecto del conjunto. Herschel los consideraba como cúmulos globulosos, menos adelantados en el progreso de su condensacion; dando por sen-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

condensacion, unidas por medio de un brazo corto, casi de la misma densidad; una atmósfera débilmente luminosa completa la figura, envolviéndolas á entrambas, y llenando el contorno de una elipse á ellas circunscrita, cuyo eje menor es el eje de si-



Fig. 65.—Nebula espiral de Cefeo segun Stoney

metría del sistema; por la forma característica que presentaba esta nébula, le dieron los ingleses el nombre de *badajo de campana* y los franceses el de *bilboquet*, aparato



Fig. 66.—Nébula espiral de la Osa mayor segun Hunter

gimnástico compuesto de dos bolas de hierro unidas por un travesaño que sirve de empuñadura.

Esta forma desapareció y con ella la simetría, en cuanto se aplicó al exámen del objeto el telescopio de lord Rosse, manifes-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tando las masas nebulosas una marcada tendencia á la resolucion estelar, la cual se hizo mas patente cuando el opulento astrónomo pudo especular la nébula con otro



Fig. 67.—Nébula del Navío segun Herschel

telescopio, producto asimismo de sus manos, de seis piés ingleses de diámetro, si bien en este caso recuperó la nébula su simetría primitiva.

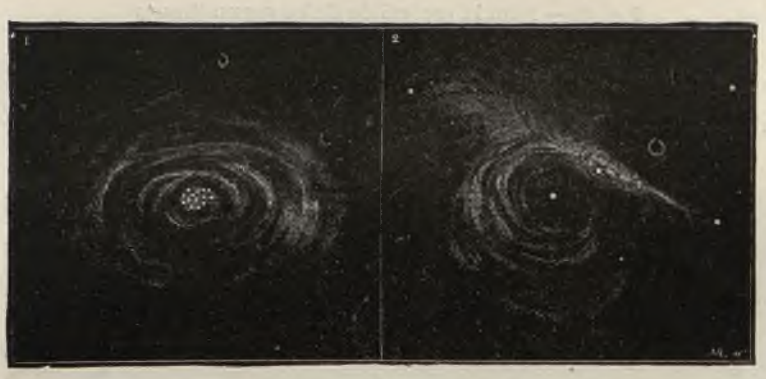


Fig. 68 —Nébulas del Leon y de Pegaso segun Rosse



Fig. 69. — Nébulas de aspecto cometario.—1: Del Eridano segun Herschel.—2: Del Unicornio segun Rosse.—3: De la Osa mayor segun Herschel

Lassel tambien se ocupó del estudio de esta nébula y la fig. 72 representa uno de sus dibujos.

Insinuamos antes que algunas nébulas parecian presentar cambios en sus formas, cuyo conocimiento se obtuvo comparando

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

los dibujos de varios astrónomos. Mas si se considera cuán dificultoso es representar con fidelidad un objeto de esta clase y cuán completamente varia su aspecto, aun con



Fig. 70. – Nébula elíptico-espiral del Leon segun Rosse



Fig 71.—Nébula de la Raposa segun Rosse

un mismo telescopio, segun lo despejado de la atmósfera, ó por otras causas transitorias, desde luego convendremos en la falta de testimonios suficientes para acreditar un hecho de tanta importancia.

Decimos esto, porque una hermosa né-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

bula situada en el hemisferio austral en la constelacion del Escudo de Sobieski, llegó á ser conocida como la *nébula omega* por su semejanza con la letra griega mayúscula llamada así. Examinado posteriormente este objeto por el Profesor Holden, y Trouve-



Fig. 72.—Nébula de la Raposa segun Lassel



Fig. 73.—Nébula del Escudo de Sobieski segun Herschel

lot con el magnífico anteojo de Washington, hallaron que la nébula diferia grandemente de la forma que indicaban los dibujos de Herschel.

Otra nébula de forma verdaderamente notable es la del Toro; en los anteojos medianos aparece como un óvalo bastante regular, pero en el gran telescopio de lord

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Rosse toma la forma que representa la figura 74, que algunos han comparado, y no



Fig. 74.—Nébula del Toro segun Rosse

sin razon, á un gigantesco bogavante ó langosta de mar cuyas patas y antenas figuran largas filas de estrellas.

III

La Via láctea y los grupos de nebulosas

Así como hemos visto que hay grupos de estrellas dobles, triples y múltiples, existen



Fig. 76.—Nébula doble segun Rosse

en el cielo asociaciones de nébulas enlazadas físicamente, que presentan las mismas variedades de forma y aspecto que sus componentes individuales; unas aparecen como dos cúmulos globulosos en los que la condensacion central indica, no solo una figura esférica, sí que tambien la existencia probable de verdaderos centros de atraccion.

Unas veces se observan los núcleos ó centros como separados y distintos, y otras se confunden y reunen, bien por una causa física real, ora por un simple efecto de perspectiva. Tambien ocurre que una de las

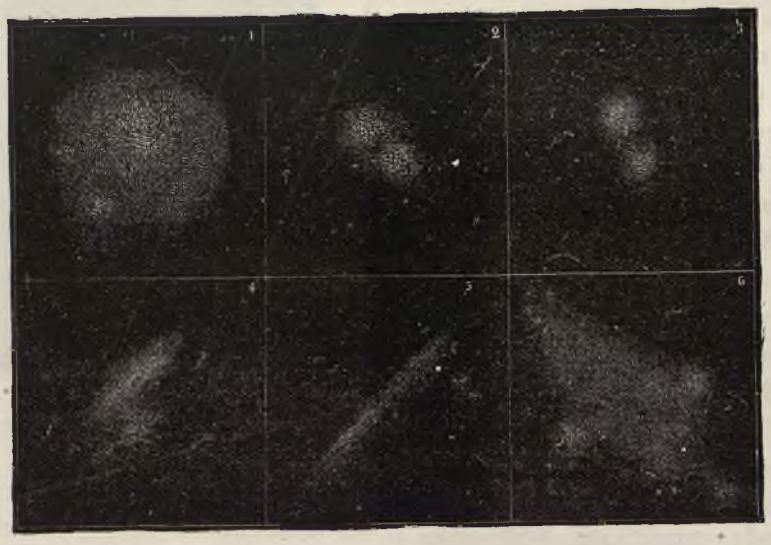


Fig. 75.— Nébulas dobles segun Herschel.—1: De la Virgen.—2: De los Perros de caza.—3: De Acuario.—4: De la Virgen.—5: De los Perros de caza.—6: De la Nube mayor

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

componentes es redonda ó globular, mientras que la otra afecta la forma elíptica alongada. La nébula que representa la fig. 76 se



Fig. 77.—Nube mayor de Magallanes segun Herschel

compone de dos masas redondeadas, que terminan en unos apéndices radiados, unidos por una nebulosidad comun; á cierta distancia se distinguen unos arcos ligeros, luminosos.

En el hemisferio austral, no muy distantes del polo, se encuentran las famosas Nubes de Magallanes, que los astrónomos designan con los nombres *Nubeculæ Major* y *Minor*. La primera está situada en la constelacion de la Dorada y la segunda en la del Tucan; su forma es ovalada y ambas son visibles á la simple vista, cuando no se halla la Luna sobre el horizonte. Se distinguen las Nubes de Magallanes de todas las nébulas que hemos descrito hasta aquí, por sus extraordinarias dimensiones y por su composicion interna. La Nube mayor tiene una extension de 42 grados cuadrados que son doscientas veces la superficie aparente del disco lunar. La Nube pequeña ocupa en el cielo una superficie cuatro veces menor ó sea de 10 grados cuadrados, poco mas ó menos; segun Humboldt, se encuentra rodeada por una especie de desierto en el que solo brilla el hermoso cúmulo estelar del Tucan.

Si el aspecto externo de estas notables nébulas y su situacion en una zona celeste pobre en estrellas, dan al cielo austral un carácter *sui generis*, su estructura íntima forma en verdad una de las maravillas del firmamento. Herschel se ocupó mucho del estudio de estas nébulas examinándolas en el cabo de Buena Esperanza con su gran telescopio.

Distinguió primero un gran número de estrellas aisladas cuyo resplandor variaba de la 5.ª á la 11.ª magnitud; luego cúmulos estelares de forma irregular algunos, pero la mayoría presentaban un aspecto globular esférico ú ovalado; finalmente nebulosas, unas aisladas y otras por grupos de dos ó tres. Una de ellas, segun Humboldt, ocupa la vigésima parte del área total de la Nube mayor, y en ella encontró Herschel, determinando sus posiciones, 105 estrellas de 14.ª 15.ª y 16.ª magnitud, que se proyectaban sobre un fondo nebuloso, de resplandor uniforme.

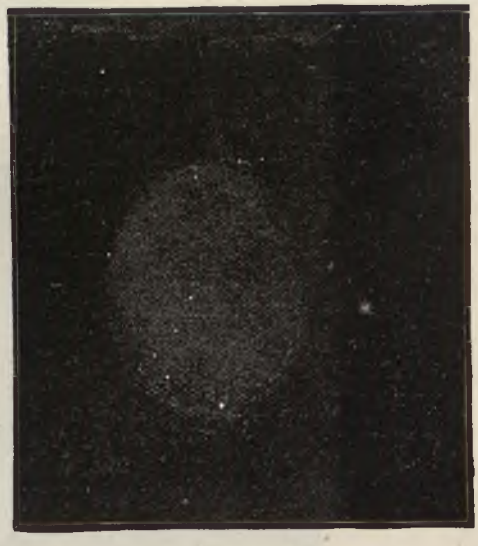


Fig. 78.—Nube menor de Magallanes segun Herschel

Trató Herschel de resolver el problema de la distancia de las nébulas, comparándola á la de las estrellas de una magnitud determinada. Considerando como esférica poco mas ó menos, á la Nube mayor de Magallanes y partiendo de sus dimensiones

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

aparentes que le asignan un diámetro de unos 3 grados, dedujo que, entre las distancias de los objetos mas lejanos de que se compone y las de los mas inmediatos, hay una diferencia que no llega al décimo de la distancia que nos separa de su centro. En consecuencia, no puede aumentar mucho el destello de los objetos mas próximos, ni debilitarse el de los lejanos, por esta diferencia de distancia. Sin embargo, en el interior de este espacio globular, notó mas de 600 estrellas de 7.ª, 8.ª, 9.ª y 10.ª magnitud; proximamente 300 nébulas, cúmulos globulosos y otros de todos grados de resolucion,



Fig. 79.— Las Nubes de Magallanes. Estructura de una region de la *Nubecula major*, segun Herschel

y tambien innumerables estrellas pequeñas de magnitudes inferiores, desde las de 10.ª, hasta las que constituyen la parte irresoluble de la nebulosidad; todo diseminado en una extension de varios grados cuadrados. Si no se tratara mas que de un objeto, se podria sostener con alguna probabilidad, que su esfericidad aparente se debe tan solo á un efecto de óptica, y que en realidad existe una diferencia mayor, proporcional á la distancia, entre las partes mas próximas y las mas lejanas. Pero semejante disposicion, improbable aun en este único caso, debe rechazarse como de ningun fundamento si se trata de aplicar á otros.

Cierto número de nébulas forman parejas como las estrellas, segun hemos visto antes, y pudiera esperarse que algun dia se comprobara la existencia de dislocaciones de las componentes que indicasen un movimiento de revolucion. Hasta ahora no se conoce ningun hecho que confirme esta conjetura. Sin embargo, la nébula doble 1,905 del catálogo de Herschel que este astrónomo observó de 1825 á 1833 pudiera invocarse como ejemplo de movimiento propio y de revolucion de las componentes. En efecto, en aquella época ocupaban la posicion que indica la fig. 80-1, y en 1861, en vez de ser los ejes paralelos, formaban como indica la figura 2.ª un ángulo de 16 grados poco mas ó menos.

La Vía láctea ó *camino de Santiago* segun la llama el vulgo, es una inmensa nebulosa que rodea todo el cielo como un círculo máximo de la esfera. A la simple vista, se presenta de un color blanco, como una nube brillante por sí misma y que partici-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pa del movimiento diurno como todas las demás estrellas, de modo que tiene sus horas de salida, paso por el meridiano y postura, variables segun la época del año. La mitad del arco puede verse de una vez sobre el horizonte, y la otra mitad invisible, se encuentra debajo y directamente opues-



Fig. 80 —Movimiento probable de una nébula binaria —1: Observacion de Herschel —2: Idem de Hunter

ta; claro está que la region inmediata al polo austral jamás puede columbrarse desde la latitud de Europa.

Su anchura es variable, pues en unos puntos ocupa una zona igual á seis ú ocho veces el diámetro de la Luna, y en otros alcanza doce ó catorce grados; la mitad boreal se extiende desde el Aguila y la Serpiente (véanse las láminas adjuntas) hasta el Unicornio, á la altura y en la proximidad del Cinturon de Orion; dividida en dos ramas del ecuador hasta el Cisne, pasa cerca de Atair y atraviesa, además de las constelaciones citadas, la Flecha y la Raposa. En las inmediaciones del Cisne se distingue un espacio oscuro, una especie de agujero por donde la vista penetra en los abismos del cielo. Uno de los brazos se dirige á la Osa menor y Cefeo, en cuyo punto es mayor su proximidad al polo boreal de la bóveda celeste. Se separa de seguida, como una rama única y estrecha que atraviesa á Casiopea, pasa por el Cochero, muy cerca de la Cabra, por la parte oriental de los Gemelos, del Perro menor y parte septentrional de Orion. Antes de llegar á este punto se percibe un brazo que parte de Perseo y llega muy cerca de las Pléyades, donde se pierde.

La zona mas luminosa de la Vía láctea que algunas veces se emplea para expresar el resplandor de la Luz zodiacal, se encuentra en el Aguila y el Cisne; en Perseo y cerca del Unicornio es mucho menor su brillo.

La parte austral de la Vía láctea, despues de salir del ecuador, pasa por Sirio y entra en Argos aumentando progresivamente de esplendor. En este punto se divide en varios brazos que luego se desvanecen, para reunirse mas tarde en la constelacion del Centauro y la Cruz del Sur en un punto en que la Vía láctea presenta su anchura mínima. Aquí se encuentran el famoso *Saco de Carbon*, espacio oscuro de forma de pera, tan notable, que llama la atencion del menos acostumbrado á contemplar las maravillas celestes. Este nombre le fué dado por los primeros navegantes que recorrieron el hemisferio austral; en este hueco, que mide unos 8 grados de largo por 5 de ancho, tan solo se distingue una estrella á la simple vista, aunque las telescópicas son abundantísimas, por manera que su notable negrura se debe sencillamente á un efecto de contraste con el fondo brillante y luminoso que lo rodea por todas partes. En este punto tambien se encuentra la Vía láctea á su mínima distancia del polo sur.

Por toda esta region es tan notable su brillo, sobre todo si se compara con la parte que se extiende por el hemisferio boreal, que ya hemos descrito, que nos produce la impresion de su mayor proximidad. Cerca de alfa del Centauro, se divide de nuevo en dos ramas principales, con numerosas ramificaciones y continúa la bifurcacion en el Lobo, el Altar, el Escorpion, el Sagitario hasta la Serpiente. Entonces ambas ramas atraviesan nuevamente el ecuador

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Can mayor Orion Toro El Cochero Perseo Casiopea



Cefeo El Cisne La Lira El Aguila La Serpiente Ofiuco

VIA LACTEA BOREAL

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Serpiente Ofiuco Escorpion Altar Lobo Centauro



Cruz del Sur Navio ó Argos Perro mayor Unicornio

VIA LÁCTEA AUSTRAL

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y ganan la parte boreal de la Vía láctea, en el mismo punto que comenzamos nuestra descripcion, que es la de Herschel.

Es imposible dar una idea del enorme número de estrellas que componen la Vía láctea, pero Herschel va á suministrarnos algunos datos muy útiles para nuestro objeto. Dice este ilustre observador, que en una ocasion estimó que pasaban por el campo de su telescopio en un cuarto de hora 116,000 estrellas; y que el 22 de agosto de 1792 vió pasar 258,000 estrellas en 41 minutos. El sorprendente carácter de este resultado puede apreciarse mejor, comparándolo con el número de estrellas visibles á la simple vista, que se estima en 6,000 para las personas dotadas de buen aparato visual. Supone Herschel que el número total de estrellas visibles en un telescopio de 45 centímetros de diámetro, no es inferior á 5 $^1/_4$ millones, y Struve estima que aumentando hasta 50 centímetros la abertura del instrumento se especulan 20 millones y medio.

Llamaban los griegos á la Vía láctea *Galaxios* y los latinos *Circulus lacteus* ú *Orbis lacteus*, nombres que acomodaban á la teoría de que eran partidarios; Metrodoro decia que la Vía láctea era el primitivo camino del Sol, que lo abandonó despues del sangriento banquete de Tiestes; otros, que marcaba el lugar de la desgracia de Faeton, no faltando quien asegurase que se componia de los granos de trigo que derramó Isis cuando huyó de Titan.

Aristóteles suponia que las exhalaciones gaseosas de la tierra se inflamaban en el cielo y daban lugar á la formacion del fenómeno; para Teofrasto era la Vía láctea, sencillamente, la soldadura de los dos hemisferios, y, por último, Diodoro afirmaba que era un fuego celeste, denso, que aparecia entre los intersticios de los dos semiglobos. Demócrito y Pitágoras se acercaron á la verdad tanto como los astrónomos modernos, pues para aquellos filósofos era la Vía láctea un conglomerado de estrellas.

IV

Distribucion de las nébulas

Es una de las particularidades mas notables de la distribucion de las nébulas, su mayor abundancia donde el número de estrellas es menor. Así como las estrellas aparecen mas numerosas á medida que nos aproximamos á la Vía láctea, por el contrario, disminuye el número de nebulosas en las inmediaciones de esta region.

Observó el ilustre Herschel, que la tercera parte de las nébulas del cielo se encuentran reunidas y agrupadas en una zona ancha é irregular, que ocupa como una octava parte de la superficie total de la esfera celeste, la cual se extiende desde la Osa mayor por su parte boreal, hasta la constelacion de la Vírgen por su parte sur. Empero, si consideramos, no las verdaderas nébulas, sino los cúmulos estelares, hallamos la misma tendencia á la condensacion en la Vía láctea, que se nota en las estrellas. La ley en cuestion puede comprenderse con mas facilidad por el lector, no matemático, suponiendo la esfera celeste de tal modo colocada, que la Vía láctea coincida con el horizonte; en este caso las estrellas y los cúmulos estelarios escasearán en el zenit, siendo mas numerosos á medida que descendemos y nos aproximamos al horizonte, ocurriendo lo propio en el otro hemisferio invisible.

Pero las nébulas verdaderas, por el contrario, se hallarán en corto número en el horizonte, aumentando segun que nos acercamos al zenit, ó si penetramos en el otro hemisferio, á medida que nos aproximemos al nadir.

Las posiciones de las nébulas y cúmulos estelarios del catálogo de Herschel han sido estudiadas por el astrónomo inglés Cleveland Abbe, con referencia á sus distancias á la Vía láctea, y los siguientes números indican parte de los resultados que obtuvo.

Imaginemos una faja de 30 grados de ancho que se extienda por todo el cielo, y que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

coincida con el círculo máximo que pasa por la Vía láctea. Esta faja abarcará próximamente, la cuarta parte de la superficie de la bóveda celeste, y si las estrellas y nébulas se hallasen distribuidas con uniformidad, debiera contener esta zona una



Fig. 81.—Region nebulosa de la Virgen segun Proctor

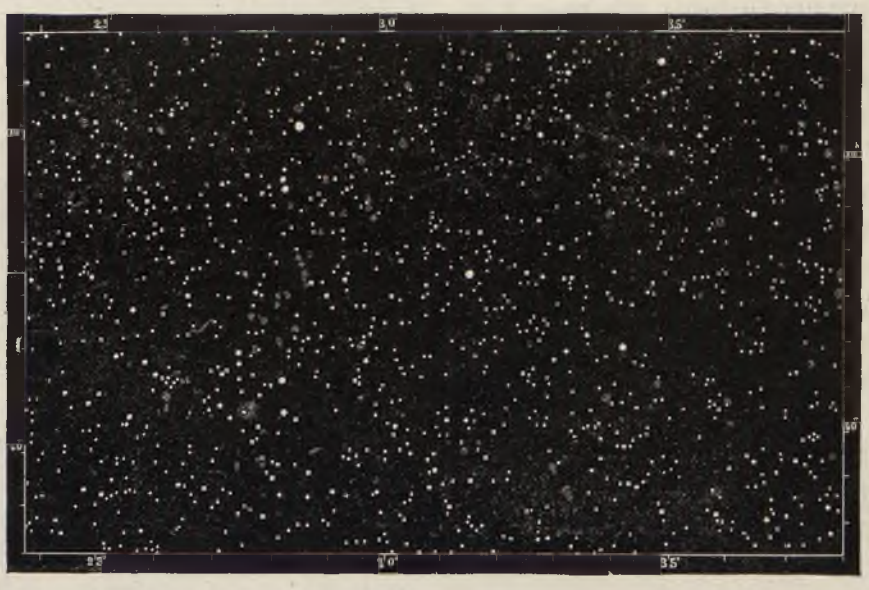


Fig 82.—Region nebulosa de la Cabellera de Berenice, segun Proctor

cuarta parte tambien, y sin embargo, solo comprende los nueve décimos de los cúmulos estelares y un décimo de las nébulas.

El astrónomo inglés Proctor, que ha hecho un estudio detenido de la estructura y disposicion de las estrellas y nebulosas, hace notar con razon, que las innumerables estrellas diseminadas en los mismos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

espacios celestes, forman como rastros ó estelas de puntos luminosos y que las nébulas parecen asociadas á esta disposicion debida á una causa real y no á un efecto de perspectiva.

La escasez de nébulas en las inmediaciones de la Vía láctea se pretende explicar de varios modos. Dicen unos que en esta zona se encuentran las nébulas y cúmulos mas dispersados y con menor condensacion que en otras partes, ó bien que el Universo visible tiene menos profundidad en esta direccion que en el sentido perpendicular al plano galáctico. Para otros la pobreza nebulosa de esta zona indicaria, que en esta direccion distan mas las nébulas que en las demás regiones y que solo deben su invisibilidad á su extremada distancia.

M. Abbe es partidario de la segunda hipótesis que hemos indicado, y cree que el plano galáctico ó de la Vía láctea, corta en ángulo recto al eje mayor de una elipsoide prolongada, cuyos polos serian los de la Vía láctea; en su interior se encontrarian repartidas uniformemente las 4,134 nébulas conocidas, abstraccion hecha de las dos Nubes de Magallanes, que considera como nébulas que casualmente se hallan mas cerca de nosotros que las demás.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO QUINTO

FENÓMENOS FÍSICO-ASTRONÓMICOS

CAPÍTULO PRIMERO

LAS MAREAS

I

Causas físicas de las mareas

Los pueblos marítimos, desde la mas remota antigüedad, tuvieron algun conocimiento de la relacion que existe entre los movimientos de las aguas del mar en las costas, y el curso diurno de la Luna; el enlace evidente de las fases de nuestro satélite con la altura ó depresion de las aguas era conocido mucho antes de descubrirse la verdadera teoría del fenómeno. Aristóteles y Pytheas de Marsella algo dicen de este asunto, y Julio César habla de la accion de la Luna como de cosa corriente y sabida en sus famosos *Comentarios*, al referir el paso del Canal de la Mancha. Para Plinio el fenómeno se debe al Sol y á la Luna; *verum causa in sole lunaque*. Keplero indica claramente que la fuerza de gravitacion es la que produce la elevacion y el descenso de las aguas del mar, concepto rechazado por Galileo, pero al inmortal Newton estaba reservada la gloria de descubrir la verdadera teoría de este notable fenómeno y de demostrar con toda evidencia la causa que lo produce.

Son las mareas un asunto, en cuya comprension hallan muchas personas una dificultad extraña. Que la Luna con su atraccion acumule las aguas del Océano que tiene debajo, parece á muchos muy natural; pero que la misma causa pueda al propio tiempo aglomerarlas en el hemisferio opuesto, parece á los mas un absurdo palpable. Y sin embargo, nada es mas cierto, ni aun mas evidente, cuando consideramos que la elevacion de las aguas no es producida por la atraccion *total* de aquel astro, sino por la diferencia de atracciones que ejerce, sobre las dos superficies del globo y sobre su centro; es decir, por fuerzas cuya direccion es precisamente la indicada por la flecha en la fig. 83 en la cual se representa á la Luna y la Tierra y la forma de la elipsoide líquida.

Una gota de agua aislada, tomaria una forma esférica á causa de la atraccion mutua de sus partes; y si á esta misma gota se le dejase caer libremente en el vacío, sometida al influjo de una gravedad constante, puesto que todas y cada una de sus partes experimentarian la misma aceleracion, conservarian las partículas sus posiciones relativas y no se alteraria en consecuencia la figura esférica.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Mas si suponemos que descienda bajo el influjo de una atraccion, que actúe sobre cada una de sus partículas independientemente, y que aumente de intensidad á cada grado de descenso, ya en tal caso las partes mas inmediatas al centro de atraccion serian atraidas con mayor fuerza que las centrales, y estas á su vez con mayor fuerza que las mas remotas; y el conjunto se alargaria en la direccion del movimiento, tomando una forma oblonga, resultado del equilibrio que llegaria á establecerse entre la tendencia á la separacion y la atraccion de las particulas, unas para con otras.

Ahora bien; la Tierra está de hecho cayendo constantemente hácia la Luna, pues, que de continuo se ve separada de su curso por este astro en virtud de una fuerza, que

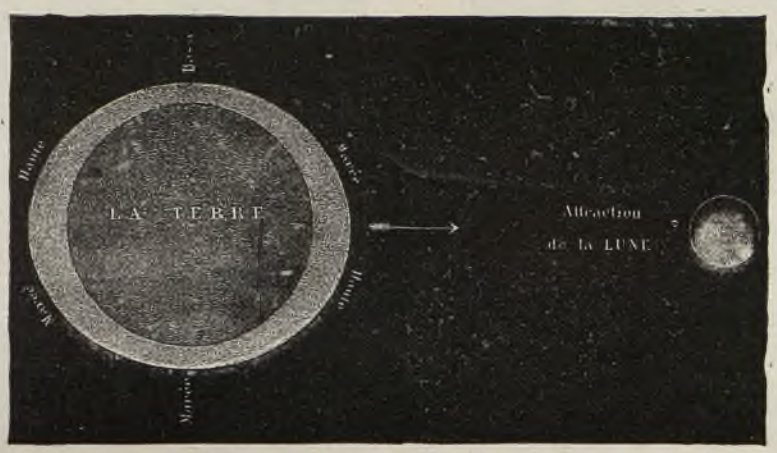


Fig. 83.— Atraccion de la Luna sobre las aguas. Marea lunar

obra con mas energía que en el centro, en las partes mas inmediatas, y con menos en las mas remotas; y de este modo, la atraccion de la Luna actúa comprimiendo, digámoslo así, las aguas en los extremos del diámetro terrestre perpendicular á su direccion, y elevándolas en los extremos del diámetro que se dirige á dicho astro. La geometria corrobora este modo de considerar la materia, demostrando que la forma de equilibrio que tomaria una capa de agua que envolviese á una esfera, bajo el influjo de la atraccion lunar, seria la de una elipsoide oblonga, cuyo semi-eje dirigido hácia la Luna, tendria cosa de 162 centímetros mas de largo, que el transversal.

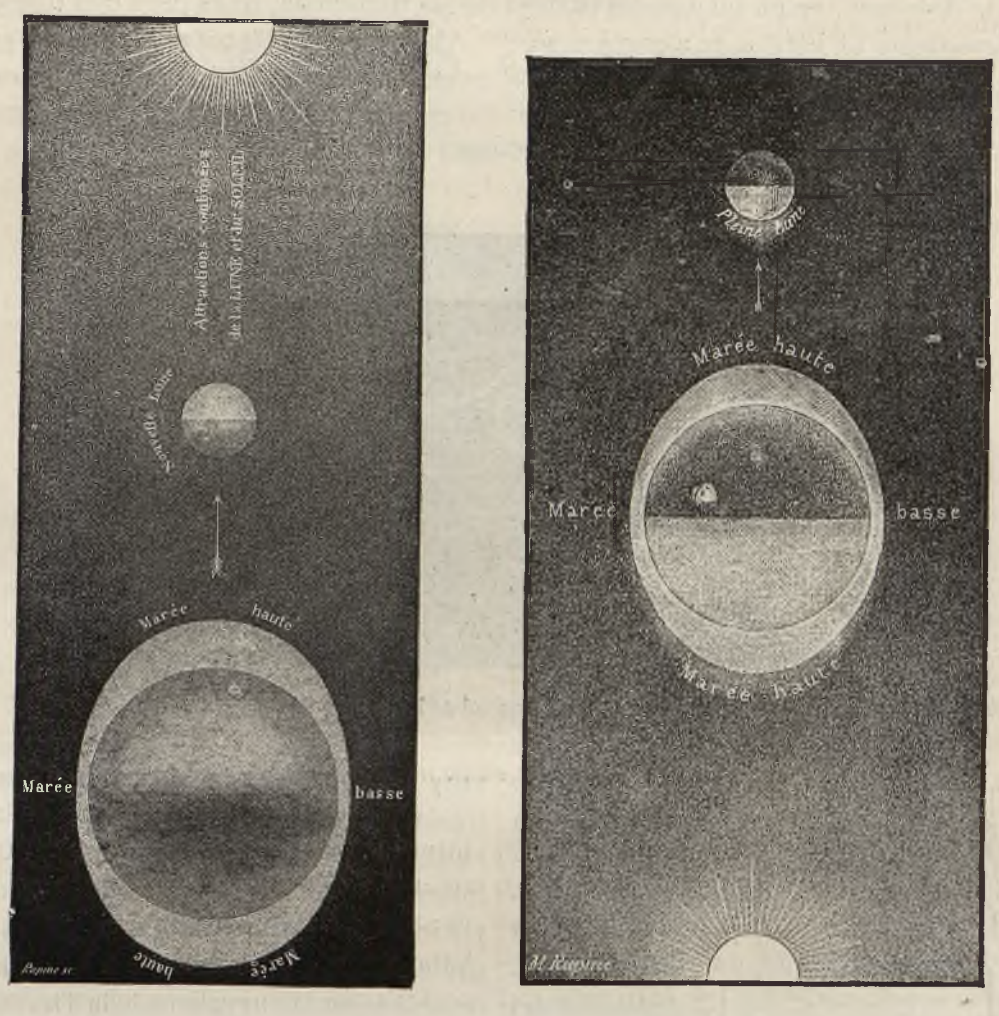
Nunca hay tiempo, sin embargo, para que pueda formarse completamente tal esferoide. Antes que las aguas puedan tomar el nivel correspondiente, habrá la Luna caminado en su órbita, tanto diurna como mensual (porque en esta teoría vendrá muy á cuenta para la claridad, el suponer trasladado el movimiento diurno de la Tierra al Sol y á la Luna en direccion contraria); habrá el vértice de la esferoide variado de posicion en la superficie de la Tierra, y tendrá el Océano que buscar nuevo asiento, originándose de aquí una ola de inmensa anchura y excesivamente tendida ó aplanada (no una corriente al rededor del globo), que sigue, ó procura seguir, los movimientos aparentes de la Luna, y que debe en realidad, si es cierto el principio de las vibraciones derivadas, imitar en períodos iguales, todas las desigualdades periódicas de aquel movimiento.

Cuando llegan á nuestras costas las partes mas elevadas ó las mas bajas de esta ola, advertimos ese aumento y diminucion en la altura de las aguas, que llamamos *pleamar* ó *bajamar*.

Asimismo produce el Sol otra ola semejante, cuyo vértice procura seguir el movi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

miento aparente de este astro en el cielo, é imitar tambien sus desigualdades periódicas. Esta ola solar coexiste con la lunar, y se le sobrepone algunas veces, en tanto que otras la cruza y la atraviesa de modo, que la neutraliza en parte: todo segun la confi-



Figs. 84 y 85. — Mareas vivas. Atracciones combinadas de la Luna y el Sol

guracion mensual sinódica de los dos luminares.

Pero el influjo del Sol es mucho mas débil que el de la Luna, á causa de su considerable distancia de la Tierra. La distancia media del Sol á nuestro globo es 382,846 veces mayor que la de la Luna y su fuerza de atraccion por lo tanto 146,571 veces menor; pero como la masa del Sol supera á la de nuestro satélite en la razon de 25.885,220 á 1, que es mucho mayor que la de 146,571 á 1, pudiera creerse que la atraccion del Sol superase á la de la Luna en el mismo exceso que presenta la primera cantidad sobre la segunda.

No es esto lo que ocurre, sin embargo, por la razon siguiente.

Hay que considerar que las mareas se deben únicamente á la desigualdad de la atraccion que obra en diversos lados de la Tierra, y que mientras mayor sea la desigualdad, mayor será la marea resultante y viceversa. La distancia media del Sol á la Tierra es igual á 11,536 diámetros terrestres y en consecuencia la diferencia entre su distancia desde un lado de la Tierra y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

desde el opuesto, será tan solo $^1/_{11536}$ de la distancia total; mientras que tratándose de la Luna, cuya distancia media es de 30 diámetros terrestres, la diferencia entre las distancias de un lado del globo y del opuesto, viene á ser desde el satélite $^1/_{36}$ de la distancia total. La desigualdad de la atraccion, de la que depende la altura de la ola tidal, es por lo tanto mucho mayor tratándose de la Luna que del Sol, en la razon de $2\,^1/_2$ á 1.

Vemos, pues, que hay dos clases de mareas, lunar y solar. Cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran en la prolongacion de una línea recta, es decir, cuando hay Luna nueva ó llena, se suman ó sobreponen ambas olas y tienen lugar las mareas que llamamos *vivas*.

Pero cuando la Luna se encuentra en cuadratura ó á 90 grados del Sol, su atraccion obra en sentido perpendicular á la que el Sol ejerce, y las dos elevaciones tidales

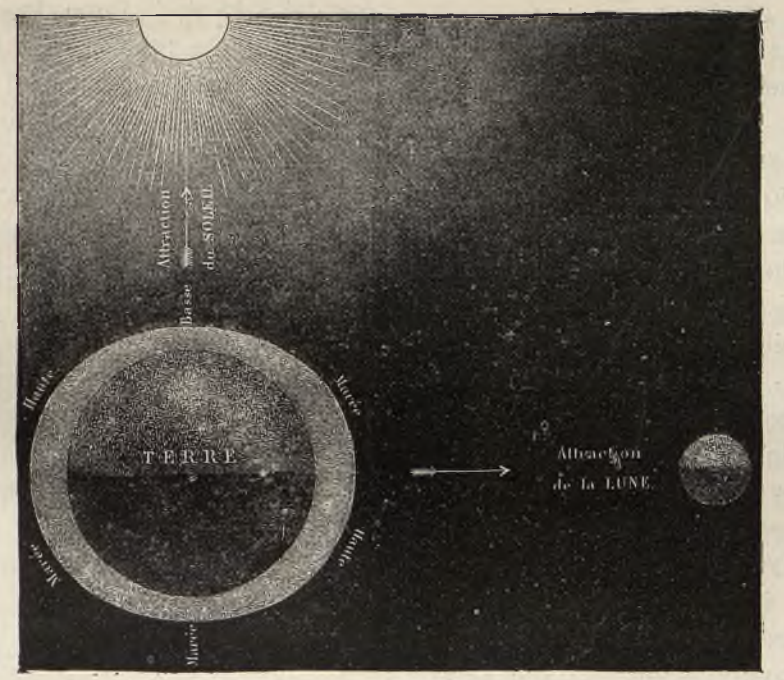


Fig. 86. — Mareas muertas. Acciones contrarias del Sol y de la Luna

se hallan separadas 90 grados tambien; entonces tenemos las mareas *muertas*.

Presentaremos aquí algunos datos relativos á las mareas que pueden ser de utilidad al lector.

(a) El dia del novilunio, pasan el Sol y la Luna al mismo tiempo por el meridiano, esto es, á medio dia, y poco despues de este paso tiene lugar la marea alta ó pleamar. Despues de alcanzar el agua su altura máxima, comienza á bajar, y trás un período de $6^h\ 12^m$ llega á su depresion máxima; vuelve á subir durante $6^h\ 12^m$ y obtiene un segundo máximo; desciende de nuevo y sube otra vez en dos períodos iguales, teniendo lugar dos máximas y dos mínimas en el intervalo de $24^h\ 48^m$, que se llama *dia tidal* ó *dia marea*.

(b) El dia del plenilunio pasa la Luna por el meridiano 12^h despues que el Sol, esto es, á media noche, y los fenómenos son iguales á los descritos en (a).

(c) Como el tiempo se cuenta por el movimiento aparente del Sol, la marea solar se verifica siempre á la misma hora para un lugar determinado, pero la marea lunar, que es la mas importante, ocurre cada dia $48^m\ 44^s$ mas tarde; se retarda por lo tanto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hácia el este de la marea solar en igual proporcion, hasta que en los períodos que corresponden al primer y tercer cuarto de la Luna tiene lugar al mismo tiempo que la baja mar solar; en este caso la altura de la pleamar y la depresion de la bajamar, será la diferencia de las mareas solar y lunar, y las mareas serán muertas.

(d) La diferencia entre la pleamar y la bajamar se llama unidad de altura.

(e) Las mayores mareas vivas ocurren 36 horas despues del novilunio ó del plenilunio.

(f) Las mas bajas mareas muertas ocurren 36^h despues de hallarse la Luna en cuadratura.

(g) El intervalo de tiempo que trascurre desde el medio dia hasta el momento de la pleamar en un lugar determinado, es igual en el novilunio y el plenilunio y se llama *establecimiento del puerto.*

Sin la inercia de las aguas y los retardos que provienen, ya del rozamiento en el lecho del Océano, ora de la angostura de los canales por donde tiene que pasar la ola antes de llegar al puerto, ya de su varia extension, etc., etc., los dos antedichos momentos, que tan diversos aparecen, se confundirian en uno solo. Mas todas estas causas conspiran á que resulten diferentes, y su variada combinacion hace que esta diferencia esté muy léjos de ser una misma en todos los puertos.

La observacion del establecimiento de los puertos es punto de gran importancia marítima, y no es de menor consecuencia, teóricamente hablando, para llegar al conocimiento de la verdadera distribucion de las aguas por todo el globo en el fenómeno de las mareas. Al hacer estas observaciones, se debe cuidar de no confundir el momento de las aguas paradas, que es cuando la corriente causada por el flujo ó reflujo, deja de afluir visiblemente hácia uno ú otro lado, con el de la pleamar, ó bajamar, cuando el nivel de la superficie deja de subir ó de descender. Estos fenómenos son totalmente distintos, y dependientes de causas muy diversas, si bien es cierto, que pueden coincidir algunas veces en punto á tiempo; y hay motivo para recelar que se toman uno por otro con demasiada frecuencia en la práctica, circunstancia que donde quiera que ocurre debe producir la mayor confusion en cualquiera tentativa, cuyo objeto sea reducir el sistema de las mareas á leyes distintas é inteligibles.

En las mareas de cada puerto particular, influyen considerablemente las declinaciones del Sol y de la Luna. Pues que el vértice de la ola tidal tiende á situarse en direccion vertical debajo del luminar que la produce, claro está que cuando varie la incidencia de esta vertical sobre la superficie, procurará la ola tidal variar de un modo consiguiente, y por lo mismo tenderán á aumentar y disminuir alternativamente, segun períodos mensuales y ánuos, las mareas principales. Así viene á introducirse en la materia, el período de los nodos de la Luna; en razon de que en una parte de dicho período, pueden las declinaciones de este astro extenderse hasta 29 grados hácia un lado del ecuador, y en la parte opuesta á solo 17° hácia el mismo lado.

II

Particularidades de las mareas

Hasta aquí hemos considerado la ola tidal, como si la Tierra fuese una esfera perfecta cubierta de agua, de una profundidad uniforme; pero como esto dista mucho de ser así, se deduce que el fenómeno de las mareas presenta un carácter mucho mas complexo, debido al contorno irregular de las tierras, á la superficie desigual del lecho del Océano, á la accion de los vientos, á las corrientes, etc., etc. Los efectos de estas influencias perturbadoras se manifiestan de un modo particular en la diferencia de la altura de la marea en diversos puntos del globo. Si la superficie terrestre se hallara cubierta de agua por completo, la altura de la marea solar seria

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de 59 centímetros y la de la marea lunar de 122 centímetros; pero las diferencias de nivel de las aguas del Océano producidas por el influjo tidal exceden en mucho de estas cantidades; por ejemplo, en canales estrechos, abiertos en el sentido de la ola-marea, se elevan las aguas repentinamente á una altura extraordinaria. Así tenemos que las diferencias de nivel entre la pleamar y la bajamar es como sigue en algunos puertos:

Canal de Bristol. . . .	21,33	metros
Rio Gallegos (Patagonia).	18,28	»
Saint Maló.	12,18	»
Ferrol..	3,00	»
Cádiz.	4,76	»
Gibraltar..	1,12	»

En espacios grandes y abiertos como el Océano Atlántico y el Pacífico, y en mares estrechos y cerrados como el Báltico y el Mediterráneo, es muy pequeña la elevacion de la ola-marea. Así en Tolon llega tan solo á 30 centímetros, en San Juan de Puerto Rico á 46 $^{c}/_{m}$, en el Océano Pacífico austral á 50 $^{c}/_{m}$ y en la isla de Santa Elena á 92 $^{c}/_{m}$.

La oscilacion media de las mareas en un puerto determinado, se encuentra tambien modificada por diversas circunstancias atmosféricas. En Brest, una depresion de 25 milímetros en la columna barométrica da orígen á una diferencia de 40 centímetros en la altura de la pleamar; en Liverpool corresponde á esta misma depresion una diferencia de 25 centímetros y en los muelles de Lóndres á 17 centímetros; de modo que, cuando el barómetro está bajo, puede aguardarse una pleamar, en igualdad de circunstancias, mas alta que la correspondiente, y vice-versa, con barómetro alto, menor elevacion de la marea.

La direccion y fuerza del viento tambien tienen una accion directa sobre la altura de la marea, principalmente en los rios y canales; y se comprende sin mayor esfuerzo, que si la desembocadura de un rio se dirige hácia el punto de la rosa que llamamos sudoeste, v. gr. en una costa occidental de Europa, y del sudoeste viene la ola y tambien sopla el viento, claro está que las aguas acumuladas alcanzarán mayor extension, esto es, que penetrarán mas adentro en las tierras y su altura será de mayor consideracion.

Si el viento sopla en direccion contraria á la que trae la ola, la contiene, y la anula á veces por completo. En un punto de Inglaterra, durante una borrasca deshecha que ocurrió el 8 de enero de 1839, no se observó pleamar alguna, fenómeno por completo ignorado antes de esa fecha.

Las mareas del Océano Pacífico presentan grandes anomalías. Son curiosas las siguientes observaciones que debemos á un misionero.

«Hemos llegado á saber, que las mareas en las islas de la Sociedad, son uniformes en el curso entero del año, tanto en lo respectivo á las horas de la creciente y de la vaciante, como á la altura y depresion de la pleamar y la bajamar; de modo que la marea alta tiene lugar invariablemente á medio dia y á media noche, y por consecuencia, la marea baja ocurre á las seis de la tarde y seis de la mañana; la altura rara vez llega á 45 centímetros sobre el nivel de la bajamar. Debe observarse que una ó dos veces en el año, rompe el mar con gran violencia contra los bajos y se precipita hácia la costa. Pero el accidente mas notable en la altura periódica máxima del mar, es que invariablemente viene del oeste ó del sudoeste, que es la direccion opuesta á las brisas ó vientos de travesía.....»

Los naturales de estas islas están tan familiarizados con el fenómeno, y es tal la confianza que les inspira, que por la altura de la marea calculan la hora del dia, y dicen—«¿dónde está el agua?» por «¿qué hora es?»

La velocidad de la ola tidal está sujeta á grandes variaciones, y hasta la presente

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

desconocemos las leyes que la rigen; si todo el globo estuviese cubierto de un modo uniforme por el agua, seria la velocidad de mas de 400 leguas por hora; tan solo es posible que exista esta velocidad en el mar antártico.

Whewell ha calculado las velocidades siguientes:

En la latitud de 60° Sur.	270	leguas
En el Atlántico.	280	»
En las Azores.	200	»

Uno de los efectos mas notables de las mareas en los rios, nos lo ofrece el Avon, en Bristol. En la bajamar, este rio casi se convierte en un miserable arroyo, pero cuando las aguas alcanzan su altura máxima, podrian navegar por su cauce los mayores correos trasatlánticos.

Es notable tambien el instinto de los animales respecto de las mareas; dice un observador escocés: «La exactitud con que el ganado calcula las horas de la pleamar y la bajamar, y sigue las fluctuaciones diurnas, es tal, que rara vez se equivoca, aun cuando tenga que andar varias leguas para llegar al abrevadero. Del propio modo sabe retirarse á tiempo de las islas y lugares apartados; asi que jamás le sorprende la creciente de la marea.»

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO II

ECLIPSES Y OCULTACIONES

I

Teoría general de los eclipses

Los fenómenos de que ahora vamos á ocuparnos, resultan de la interposicion de algun cuerpo celeste, entre la Tierra y otro astro. Sabemos que debido al movimiento de que se encuentran animados todos los cuerpos del cielo la direccion de las líneas que pueden imaginarse trazadas de unos

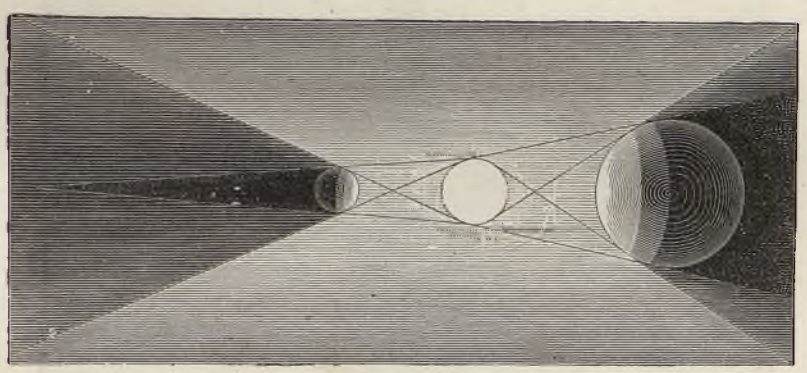


Fig. 87.—Teoría general de los eclipses

á otros varía de tiempo en tiempo, y á veces ha de ocurrir que tres de ellos se encuentren en línea recta.

Cuando uno de los cuerpos extremos de esta serie de tres, es el Sol, el cuerpo intermedio priva al que se encuentra en el otro extremo, ya total, ora parcialmente, de la luz que de ordinario recibe. Cuando uno de los cuerpos extremos es la Tierra, el cuerpo intermedio intercepta, total ó parcialmente, al otro cuerpo extremo, de la vista de los observadores situados en diversos puntos de nuestro globo, que se encuentren en la línea comun de direccion, y el cuerpo intermedio se ve pasar sobre el otro extremo, cuando entra ó se separa de la línea comun de direccion. Los fenómenos que resultan de estas contingencias de posicion y direccion se llaman *Eclipses*, *Pasos* y *Ocultaciones*, segun las magnitudes relativas y aparentes de los cuerpos interpuestos y oscurecidos, y segun las circunstancias en que se verifican.

Principiaremos nuestro estudio por los eclipses.

Debemos ante todo recordar, que la órbi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta de la Luna no coincide exactamente con el plano de la órbita terrestre, sino que ambos planos forman entre sí un ángulo que varia entre 4° 57' y 5° 20', de modo que por término medio podemos tomar 5° 9' como valor angular. Los dos puntos

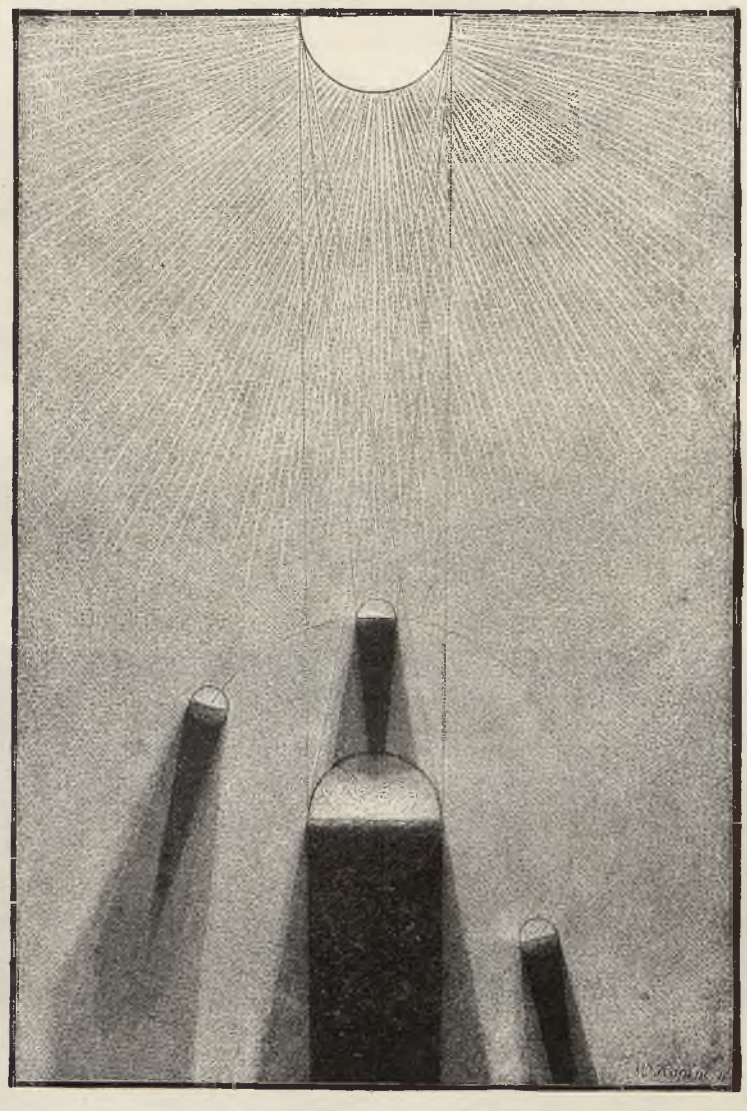


Fig. 88.—Teoría de los eclipses de Sol y de Luna

en donde en su curso corta á la eclíptica, se llaman nodos y la línea imaginaria que los une, línea de los nodos; cuando la Luna cruza la eclíptica de sur á norte, pasa por su nodo ascendente y el punto opuesto es el nodo descendente; si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época de la conjuncion ó novilunio, ó muy cerca de ella, necesariamente se interpondrá entre la Tierra y el Sol (fig. 88) y los tres cuerpos se encontrarán en una misma línea recta; de donde se deduce que en algunos puntos de la Tierra, se verá oscurecido el disco del Sol, total ó parcialmente, segun el caso. Este seria un eclipse total de Sol si la Luna cubriese toda la superficie aparente del luminar del dia; parcial, si solo ocultara una parte, y anular cuando el disco de nuestro satélite no es bastante grande para tapar al Sol por completo y se distingue un anillo luminoso al rededor del cuerpo oscuro de la Luna.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Siendo la Tierra y la Luna cuerpos opacos, han de proyectar sus sombras en el espacio, y debido al mayor tamaño de nuestro planeta, tiene que ser su sombra mas grande que la de nuestro satélite. Si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época del plenilunio ú oposicion, ó muy cerca de esta fecha, tendremos, como antes, que los tres cuerpos se encontrarán en línea recta, pero la Luna se hallará envuel-

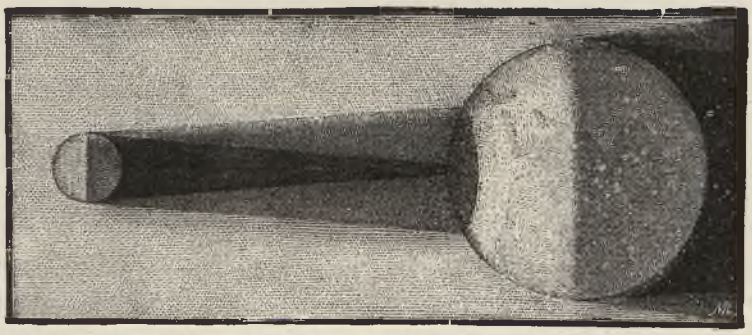


Fig. 89.—Teoría de los eclipses totales de Sol

ta en el cono de sombra de la Tierra, y por lo tanto, privada de la luz del Sol; luego habrá un eclipse de Luna (fig. 88).

Si las órbitas de la Tierra y de la Luna estuvieran en el mismo plano, tendria lugar un eclipse en cada oposicion y en cada con-

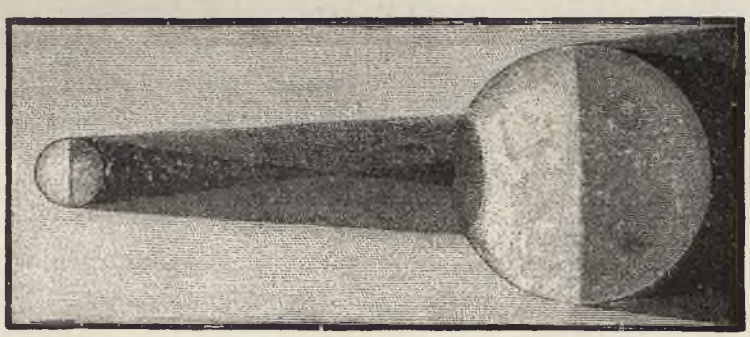


Fig. 90.—Teoría de los eclipses anulares de Sol

junction, ó 25 veces todos los años, pero como vemos, esto dista mucho de ser así. Segun las investigaciones mas recientes, para que pueda verificarse un eclipse de Sol, la mayor distancia de este luminar ó de la Luna, del lugar verdadero de los nodos de la órbita lunar, no puede exceder de 18° 36', ni la latitud de la Luna ó distancia á la eclíptica de 1° 34' 52". Luego si la distancia es menor de 15° 19' 30" y la latitud inferior tambien á 1° 23' 15", puede ocurrir un eclipse, por mas que entre estos límites es dudoso que se verifique en ninguna estacion de la Tierra, pues depende de la paralaje horizontal y de los semidiámetros aparentes de ambos cuerpos, en el momento de la conjuncion. Para que en realidad pueda tener efecto el fenómeno, debemos sustituir las cantidades que anteceden, por los valores siguientes: 12° 24'; 9° 23"; 63' 45"; y 51' 57.

Vimos que los nodos de la órbita de la Luna no eran fijos, sino que tenian un movimiento diario retrógrado de 3' 11" ó ánuo de 19° 20' 20", de modo que efectuan una revolucion completa en torno de la eclíptica en $18^{a}\ 218^{d}\ 21^{h}\ 22^{m}\ 46^{s}$.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La Luna ejecuta una revolucion respecto del nodo en $27^d\ 5^h\ 3_m\ 36^s$, que se llama revolucion *nódica*, y no debe confundirse con la *sinódica*, pues es mas corta que esta última porque el movimiento retrógrado del nodo en la eclíptica hace que la Luna se halle en contacto con él, antes de volver á ocupar otra conjuncion ú otra oposicion.

Ahora debemos dar cuenta de un efecto singular producido por la retrocesion de los nodos en la eclíptica.

El período sinódico de la Luna, ó tiempo que invierte en pasar de una conjuncion ú oposicion á la siguiente, es de $29^d\ 12_h\ 44^m\ 2^s,87$; 223 períodos de estos importan $6,585^d,32$, que son $18^a\ 10^d\ 7_h\ 43_m$; pero 19 revoluciones del Sol respecto del nodo lunar, se efectuan en $6,585^d,77$, resultando de la coincidencia de ambos períodos, que los eclipses ocurren casi en el mismo órden regular, despues que pasan 19 revoluciones sinódicas de los nodos de la Luna. La diferencia entre ambos períodos es de $0^d,451$ ó $10^h\ 49^m\ 36^s$; en este tiempo describe el Sol un arco de 28' 6'' respecto del nodo lunar.

El conocimiento de este hecho, probablemente, permitió á los antiguos astrónomos predecir las fechas de los grandes eclipses, pues se sabe de cierto, que en mas de una ocasion los anunciaron, antes de que se conociera su verdadera naturaleza.

Este es el ciclo ó período de Saros de los caldeos.

Diógenes Laercio habla de 373 eclipses de Sol y 832 de Luna observados por los egipcios, y aunque sus testimonios, por lo general, son de escaso valor, sin embargo, es muy de notar que esta es justamente la proporcion en que pueden ocurrir los eclipses en un horizonte determinado, dentro de cierto período comprendido entre 1,200 y 1,300 años.

En el período de 18 años se verifican por lo comun, 70 eclipses, divididos en 41 de Sol y 29 lunares. En un año pueden ocurrir cuando mas 7, cuando menos 2. En el primer caso 5 pueden ser solares y 2 lunares; en el segundo, ambos deben ser solares.

En ninguna circunstancia puede haber mas de 3 eclipses de Luna en un año y tambien ocurre que en varios años no hay ninguno.

Aunque los eclipses de Sol son mas numerosos que los de Luna en la proporcion de 41 á 29 ó de 3 á 2, sin embargo, en un lugar dado se observan mas eclipses lunares que de Sol, y esto se debe á que los primeros son visibles en un hemisferio entero de la Tierra, mientras que los eclipses de Sol, ya sean totales ó anulares, solo marcan en la superficie terrestre una línea ó banda estrecha que no puede pasar de 72 leguas y que rara vez llega á 56 leguas. Cuando se trata de eclipses parciales, es mucho mas ancha la zona de visibilidad.

En un eclipse solar atraviesa la sombra de la Luna la superficie terrestre con una velocidad de 730 leguas por hora, ó mas de 2 kilómetros por segundo; Du Séjour calculó que desde el principio hasta el fin puede durar un eclipse solar, en el ecuador, $4^h\ 29^m\ 44^s$ y que en la latitud de Paris el período máximo es de $3^h\ 26_m\ 22^s$, pero que el intervalo de tiempo en que puede permanecer el Sol eclipsado centralmente es muy pequeño. La duracion de la oscuridad total es mayor cuando la Luna se encuentra en su perigeo y el Sol en su apogeo, toda vez que como el diámetro aparente de la Luna obtiene entonces su valor máximo y el del Sol su mínimo, el exceso del primero sobre el último, del cual depende la totalidad, alcanza su mayor valor.

El tiempo que dura la oscuridad total producida por un eclipse de Sol varia con la latitud del punto en que se observe, siendo menor mientras mas diste el lugar del ecuador. Du Séjour halló que en las circunstancias mas favorables, la mayor duracion posible de la fase de totalidad en el ecuador era de $7^m\ 58^s$ y en la latitud de Paris de $6_m\ 10_s$.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

II

Eclipses de Sol

Uno de los espectáculos mas grandiosos que el hombre puede contemplar, es sin duda alguna el de un eclipse total de Sol, observado desde una empinada montaña, ó en la majestuosa soledad del Océano. Difícilmente pueden las palabras servir, para que los que no han tenido la dicha de observar por sí mismos el fenómeno, comprendan toda la grandeza y magnificencia de esta indescriptible escena de la naturaleza. Todo indica á nuestro alrededor, á medida que el eclipse avanza, que algo desusado ocurre; las aves buscan sus nidos, cambian de color las plantas y los ganados dejan de pacer; desciende con rapidez la temperatura, vénse correr por la superficie de la Tierra ráfagas luminosas y sombras voladoras, y en el momento de la totalidad, llegan á ser tan intensas las tinieblas, que se distinguen fácilmente las estrellas de 1.ª y 2.ª magnitud á la simple vista, y los planetas mas lucientes como Vénus y Júpiter; la naturaleza entera parece como desmayada y cadavérica, al faltarle por breves instantes la luz del gran luminar.

Durante los primeros períodos de la historia humana, un eclipse total de Sol era causa de grandes terrores y de angustias indescriptibles, pues en él se veia la cólera de la divinidad ofendida ó el presagio de alguna calamidad inminente. En un mayor estado de progreso, y cuando la ciencia hubo extendido su benéfico influjo en el espíritu de los hombres, dieron lugar estas vanas quimeras á concepciones mas nobles y grandiosas de las leyes de la naturaleza, llegándose á considerar los eclipses como las consecuencias necesarias de un proceso uniforme y regular, que solo diferia de los fenómenos ordinarios, en su menor frecuencia. Para los astrónomos, han sido en todo tiempo valiosos en alto grado, como pruebas de gran delicadeza que les permiten comprobar la exactitud de sus cálculos respecto de la situacion de la Luna, deduciendo de aquí nuevos datos para perfeccionar las tablas y la teoría de los intrincados movimientos de nuestro satélite.

En los tiempos modernos, en que tanto interés despierta el conocimiento de la constitucion física de los cuerpos celestes, han servido los eclipses para resolver muchos problemas relativos á la composicion y estructura del Sol y de la Luna.

Vamos ahora á describir brevemente los principales fenómenos que por lo comun se observan durante los eclipses totales de Sol.

Uno de los mas notables y constantes, es el cambio de color que sufre el cielo. Dice Halley en su relacion del eclipse de 1715: «Cuando la fase era próximamente de 10 dígitos [1], comenzó el cielo á perder su color, pasando de un hermoso y trasparente azul, á un tono lívido y pulverulento, con algun ligero velo púrpura, oscureciéndose cada vez mas hasta la completa inmersion del Sol.»

Tambien se ha notado que al mismo tiempo que cambia el color del cielo, sufren una modificacion análoga los objetos terrestres segun los progresos del eclipse; esta observacion se remonta al año 840 antes de J. C. Keplero refiere que durante el eclipse solar que ocurrió en el otoño de 1590, se vieron los cuerpos teñidos de amarillo. Estos fenómenos se han observado en épocas recientes.

La oscuridad que se produce durante un eclipse total de Sol no es tan considerable como muchos pudieran llegar á creer. Sin embargo, se encuentra sujeta á grandes variaciones. Dice Ferrer al hablar del eclipse de 1806, que en el momento de la totalidad, era indudable que habia mas luz que la que nos envia la Luna llena. Por lo general se ha notado que la oscuridad es bastante intensa para que no puedan leerse

1 Un dígito es la dozava parte del Sol ó de la Luna, de modo que un eclipse de 6 dígitos quiere decir que se ocultó la mitad del disco solar.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

caractéres de imprenta, si bien esta regla presenta muchas excepciones. La débil iluminacion que subsiste durante la totalidad, se debe á la luz reflejada por las regiones de la atmósfera que se encuentran aun expuestas á los rayos directos del Sol, y á la corona, de que pronto hablaremos.

Segun un observador inglés, el mayor descenso de la temperatura tiene lugar media hora despues del instante de la conjuncion del Sol y la Luna.

Durante el eclipse de 1842, notaron Piola y Struve, que si bien la oscuridad fué tanta que hubieran debido columbrarse las estrellas de 2.ª y 3.ª magnitud, solo se distinguieron las de 1.ª; este hecho lo explica Belli acudiendo á causas fisiológicas. Llama la atencion sobre el hecho de que durante el corto intervalo de la oscuridad total, no tiene tiempo la vista para reponerse del efecto deslumbrador de los rayos solares, y por lo tanto, se encuentra su sensibilidad como embotada.

Es tambien notable la rapidez con que reaparece la luz del Sol, en cuanto pasa el momento de la totalidad; de este fenómeno dió Halley dos explicaciones, pero como quiera que una de ellas supone la existencia de una atmósfera lunar, que sabemos no tiene nuestro satélite, no nos ocuparemos de ella. Segun la otra, antes de la oscuridad total, se encuentra la pupila muy contraida á causa del resplandor de los rayos solares, sin que pueda, por tanto, el órgano de la vision percibir inmediatamente la diminucion de la luz, pero descansando la vista durante la oscuridad, se dilata de nuevo la pupila y percibe instantáneamente la luz del Sol al concluir la fase de la totalidad.

Cuando el disco lunar al avanzar sobre el del Sol reduce este último á una estrecha falce, se suele notar que, inmediatamente antes del principio, y despues del fin de la totalidad, aparece el borde de nuestro satélite como una hilera de puntos brillantes, separados por espacios oscuros que se llaman las *sierras de Baily* (véase la fig. 2 de la lámina adjunta). No se ha dado hasta ahora ninguna explicacion satisfactoria de este fenómeno, aunque la hipótesis mas probable parece ser la que atribuye su orígen á un efecto de irradiacion. Tambien se ha dicho que pudieran deberse las sierras á la proyeccion de algunas de las montañas de la Luna sobre el disco solar, pero esta explicacion no ha sido admitida por los sabios.

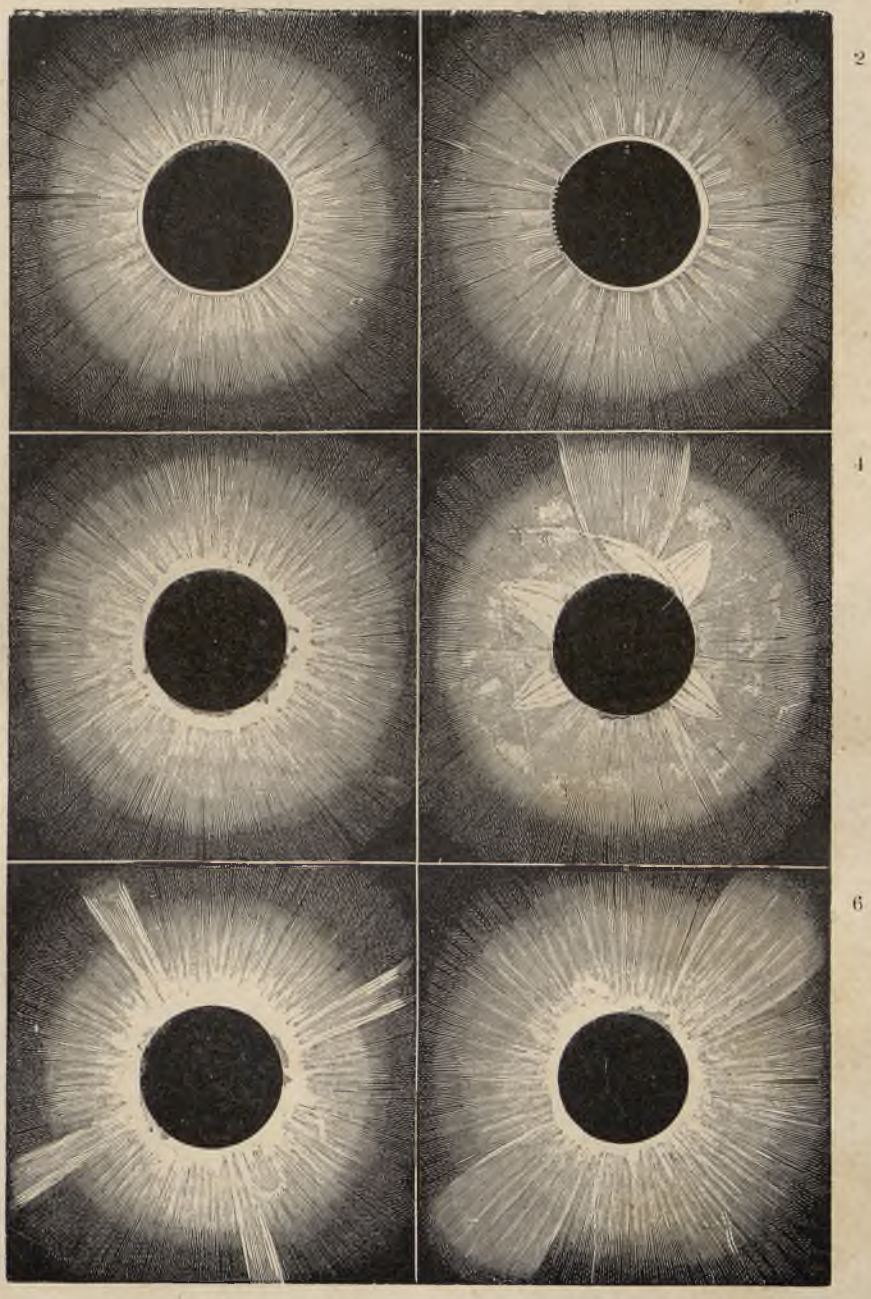


Fig. 91.—Falce lunar en un eclipse total de Sol

Aunque se llaman las sierras de Baily, no fué este el primer astrónomo que las observó, pues Halley, en una Memoria sobre el referido eclipse de 1715 dice: «Como unos 2 minutos antes de la inmersion total, la parte restante del Sol se habia reducido á un cuerno muy fino, cuyos extremos parecian perder su aguzamiento y se presentaban *redondos como estrellas;* en un espacio de un cuarto de minuto próximamente, una parte pequeña del cuerno meridional del eclipse *parecia separada del resto*, por un buen intervalo y se asemejaba á una estrella oblonga redondeada por ambos extremos.» El primer eclipse anular observado en el que se vieran las sierras, es el que describió Maclaurin, del 18 de febrero de 1736-37.

Uno de los fenómenos mas interesantes que se perciben durante los eclipses, es el de la *corona*, ó halo luminoso que rodea á la Luna (véase la lámina). Por lo comun aparece 3 ó 4 segundos antes de la completa extincion de la luz solar y permanece

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



ECLIPSES DE SOL

1 Eclipse anular.—2 Eclipse anular del 15 de Mayo de 1836; sierras de Baily.—3 Eclipse total del 28 de Julio de 1851, observado por Dawes. – 4 Eclipse de 1858 observado por Liais.—5 Eclipse total del 18 de Julio de 1860.—6 Eclipse total del 6 de Julio de 1842.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

visible casi el mismo intervalo despues de su reaparicion; puede compararse, por lo general, al disco brillante que pintan los artistas al rededor de la cabeza de los santos.

Son varias las explicaciones que se dieron, segun los tiempos, de este fenómeno; ninguna de ellas tiene hoy mas valor que el histórico, pues los modernos métodos de análisis que pronto estudiaremos, nos han revelado en parte al menos la verdadera constitucion y naturaleza de la corona.

Segun Keplero se debia á la presencia de una atmósfera al rededor de la Luna; para La Hire la causa productora era la reflexion de la luz solar en las desigualdades de la superficie de la Luna, contiguas al canto del disco, combinada con su paso posterior en la atmósfera de la Tierra.

Dice Grant, que su forma circular y su estructura nebulosa, cuya densidad disminuye gradualmente hácia la parte interna, hacen suponer que se debe á un flúido elástico que rodea al globo solar, y que por todas partes gravita hácia su centro; es verdad que los mismos resultados se obtendrian de la existencia de una atmósfera en torno de la Luna, pero por otra parte no hay razon que nos haga suponer que nuestro satélite esté dotado de una envoltura semejante, capaz de producir un efecto apreciable. De otro lado, la hipótesis de una atmósfera solar se encuentra confirmada por la analogía que presentan otros cuerpos del sistema planetario, y por pruebas de naturaleza positiva que se deducen de la constitucion física del Sol. Los cambios que presenta este cuerpo cuando se observa con el telescopio solo se pueden explicar suponiéndolo dotado de dos envolturas distintas de materia, suspendidas en una atmósfera transparente, á diversas alturas de su superficie.

Delisle opinaba que el anillo luminoso podia deberse á la difraccion de los rayos solares que pasaban tangentes al borde de la Luna; Brewster demostró que esta teoría, aunque ingeniosa, era insostenible; sin embargo, Marquez la defendió calurosamente en su Memoria del eclipse de Sol de 1860 observado en España. Segun Baxendell, la corona es un anillo nebuloso que rodea al Sol y que refleja su luz.

Las fotografías demuestran que la luz de la corona es mucho mas débil que la de la Luna, puesto que sus partes externas han necesitado un tiempo de exposicion de 5 segundos para impresionar el cristal, mientras que nuestro satélite se retrata perfectamente en 1 ó 2 décimos de segundo.

La existencia de la corona se conoce de muy antiguo y Filostrato menciona que la muerte del emperador Domiciano se anunció por un eclipse total de Sol. «Entonces apareció en el cielo un prodigio de esta naturaleza. Una especie de corona, parecida al Iris, rodeaba el orbe del Sol y oscurecia su luz.»

Plutarco es aun mas explícito en su alusion, pues al hablar de un eclipse solar que acababa de efectuarse, trata de probar por qué la oscuridad producida por este fenómeno, no es tan profunda como la de la noche. Empieza por sentar, como base de su raciocinio, que la Tierra es mucho mayor que la Luna, y despues de citar varios autores, agrega: «Lo que ocurre es que la Tierra á causa de su magnitud oculta por completo al Sol..... pero aunque la Luna puede algunas veces tapar todo el Sol, es, sin embargo, el eclipse, de duracion insuficiente y tambien de corta amplitud, porque se ve *un reflejo particular al rededor de la circunferencia* que no permite que la oscuridad sea muy intensa ó completa.»

Tambien parece que el anillo fué observado por Clavio durante el eclipse del 9 de abril de 1567, quien lo atribuyó á la parte del márgen solar que quedó descubierta, mas Keplero demostró que esto era imposible. Algunos observadores han visto la corona en los eclipses parciales, apareciendo el anillo en el punto del disco solar que primero ocultó la Luna.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Otros de los accidentes ó fenómenos mas admirables de los eclipses solares son las *llamas* ó *protuberancias rojas*, cuyo origen y naturaleza ha revelado por fin el análisis espectral.

La observacion mas antigua que se conserva acerca de este fenómeno, es la de Julio Firmico del 17 de julio de 334, en cuya descripcion, no obstante, hay algunas oscuridades; sigue luego el relato del capitan Stannyan, que observó en Berna el eclipse total de 1706, dirigido á Flamsteed; en él se lee «que el Sol estuvo totalmente oscurecido durante cuatro minutos y medio; que una estrella fija y un planeta aparecieron muy brillantes; y que antes de terminar el eclipse *se mostraron unas radiaciones de color de sangre* por el limbo izquierdo, que solo duraron seis ó siete segundos de tiempo.»

Posteriormente observaron las protuberancias rojas Halley, Louvelle, Hayes, Vassenio y otros muchos, hasta llegar á los contemporáneos. Tambien se han visto las protuberancias en los eclipses anulares y parciales.

El aspecto que presenta la Luna durante los eclipses de Sol, es muy variable y singular. Keplero dice que la superficie lunar se distingue á veces de un color rojizo. Baily en su relacion del eclipse anular de 1836, refiere que antes de la formacion del anillo, era la faz de la Luna perfectamente negra, pero que especulándola con un anteojo, mientras duraba el anillo, se teñia la circunferencia de un color rojizo de púrpura, que se extendia por todo el disco, y que crecia en intensidad á medida que se aproximaba al centro, de tal modo, que en este punto su color era negro ó poco menos.

Vassenio en 1733 y Ferrer en 1806, son los únicos astrónomos que hablen de sus observaciones respecto de las irregularidades de la superficie lunar durante un eclipse central. Arago y otros trataron de verificar esta observacion en 1842, pero sin resultado. En la misma fecha vió este ilustre astrónomo el contorno oscuro de la Luna proyectado sobre el cielo brillante, 40 minutos despues del principio del eclipse; atribuyó el fenómeno á la proyeccion del satélite sobre la atmósfera solar, cuyo brillo, por un efecto de contraste, hizo visible el borde lunar; este fenómeno es muy raro, si bien se ha observado posteriormente por otros tres individuos.

En varias ocasiones se ha tratado de percibir la sombra de la Luna en su paso por la superficie de la Tierra; Airy lo consiguió en 1851 y Forbes y Plana en 1842; la dificultad consiste en la inmensa velocidad de la sombra que es de mas de 12 leguas por minuto: la observacion mas antigua que se registra de este fenómeno es la de Duillier, en 1706.

Tambien se ven durante los eclipses totales de Sol, unos penachos y radiaciones luminosas, de color blanco plateado que se atribuyen á un fenómeno de difraccion. El exámen de las láminas que acompañamos dará al lector mas clara idea, que la que obtendria de nuestras explicaciones.

Veamos ahora qué dicen las crónicas é historias, de algunos eclipses notables.

El mas remoto de que se tenga noticia, y que refieren los anales chinos, es el ocurrido el 13 de octubre de 2128 años antes de J. C.

Uno de los mas famosos que registra la historia es el que tuvo lugar en el año 585 antes de nuestra era; es notable, no solo porque Táles lo predijo, siendo el primer astrónomo de la antigüedad que dió la verdadera teoría de estos fenómenos, sí que tambien porque ha servido para fijar la fecha exacta de un suceso importante de la historia antigua. Herodoto habla de una guerra entre lidios y medos, que permanecia indecisa sin que la victoria se declarase ni por unos ni por otros. El año sexto de la guerra tuvo lugar otro combate, durante el cual, en lo mas recio de la pelea, súbitamente sucedieron al dia las tinieblas. Este

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

suceso lo habia anunciado Táles de Mileto á los jonios, avisando el año preciso en que habia de ocurrir. Cuando los lidios y medos notaron el cambio, cesaron de batallar y con gran empeño concertaron la paz, que para hacerla duradera se afirmó con matrimonios. La fecha exacta de este interesante acontecimiento se ha discutido por largo tiempo, pero gracias á los trabajos de Airy, se sabe hoy dia con toda certeza, que tuvo lugar el 28 de mayo de 585 antes de J. C.

Otro eclipse importante es el que menciona Jenofonte en el *Anabasis*, que fué causa de la toma de Larisa, ciudad de la Media, por los persas. En la retirada de los griegos á la márgen oriental del Tigris, poco despues de la prision de sus jefes, cruzaron el rio Zabato, luego un barranco y por fin llegaron al Tigris en donde, segun Jenofonte, se detuvieron. «Y con esta pérdida se partieron los enemigos. Y así los griegos, caminando seguramente lo que quedaba del dia, llegaron al rio Tigre, donde habia una ciudad grande y despoblada que se llama Larisa, que otro tiempo fué habitada de los medos..... Esta ciudad tuvo cercada el rey de Persia, cuando los persas ganaron el reino á los medos; y nunca la pudo tomar hasta que la oscureció el Sol cubierto de nieblas, y los ciudadanos desmayados de miedo se la dieron y así fué tomada...»

La detallada descripcion de Jenofonte ha permitido á Layard, Jones y otros, identificar la ciudad de Larisa, que es la moderna Nimrod, y á Mespila que es Mossul. Claro está que el fenómeno á que se refiere el autor griego, y que permitió la captura de la ciudad indicada, no fué sino un eclipse total de Sol. Airy ha calculado que tuvo lugar el 19 de mayo de 557 antes de J. C.

Cuando la expedicion contra los lacedemonios ocurrió un eclipse solar, total, cuya fecha se supone en 3 de agosto de 431 antes de J. C. que por poco malogra la empresa, á no habérsele ocurrido un ingenioso artificio á Pericles, jefe del ejército. «Dispuesta la flota y á bordo Pericles de su galera, ocurrió un eclipse de Sol; se consideró como mal presagio la repentina oscuridad, desmayando el ánimo de los marineros. Observando Pericles el asombro y la confusion del piloto, quitóse la clámide y cubriéndole con ella los ojos, le preguntó si veia en esto algo terrible y de pavoroso agüero. A su respuesta negativa, agregó Pericles:—¿Y qué diferencia hay entre *esto* y *lo otro*, si no es que algo mas grande que mi clámide produce el eclipse?»

Un antiguo eclipse, conocido por el de Agatócles, ha sido objeto tambien de las investigaciones de Baily y de Airy; tuvo lugar el 14 de Agosto de 310 antes de J. C., y segun los historiadores, marca la irrupcion de Agatocles en Africa, donde taló los territorios cartagineses.

III

Eclipses de Luna

Aunque los eclipses de Luna tengan menos importancia que los de Sol, no quiere decir esto que carezcan de interés; pueden ser totales ó parciales, pero nunca anulares porque el diámetro de la sombra de la Tierra á su mayor distancia posible de la Luna, es siempre superior al diámetro de nuestro satélite. La duracion máxima de un eclipse total de Luna es de $1^h\ 50^m$ y si se cuenta desde el primero hasta el último contacto con la penumbra, puede durar el fenómeno $5^h\ 30^m$.

La observacion demuestra que la oscuridad de la Luna dura mas tiempo de lo que el cálculo indica; esto se debe á que en la teórica no se lleva en cuenta el espesor y densidad de los estratos inferiores de la atmósfera terrestre, que absorben la luz del Sol y producen casi el mismo efecto que la parte sólida de nuestro globo. Segun resulta de las numerosas observaciones efectuadas por Beer y Maedler durante el eclipse del 26 de diciembre de 1833, el ancho aparente de la sombra terrestre se encontraba aumen-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tado en $^1/_{50}$ á causa de la atmósfera de la Tierra.

En la figura 92 se representa la marcha de la Luna durante un eclipse total; el primer circulito de la derecha marca el cuerpo lunar medio envuelto en la penumbra y

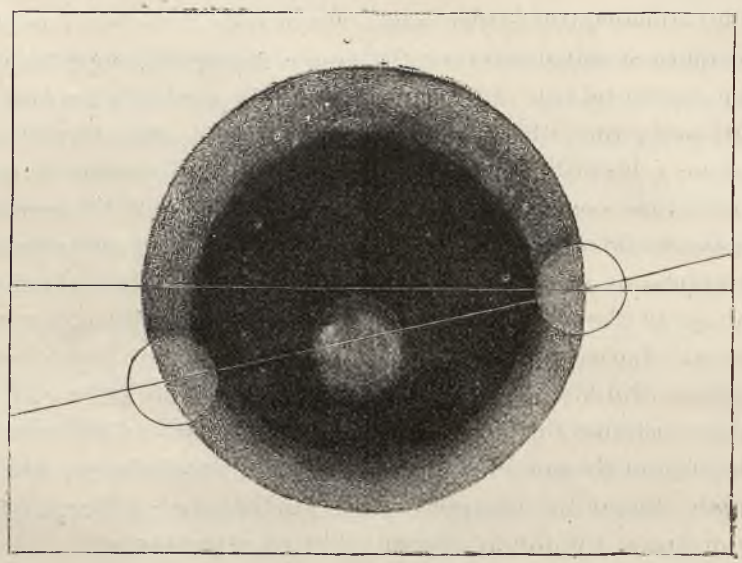


Fig. 92.—Eclipse total de Luna

en el momento en que se verifica el primer contacto con la sombra; el segundo círculo del centro marca el instante del eclipse central, y el último, el desprendimiento del limbo de la Luna del cono de sombra proyectado en el espacio por la Tierra. El

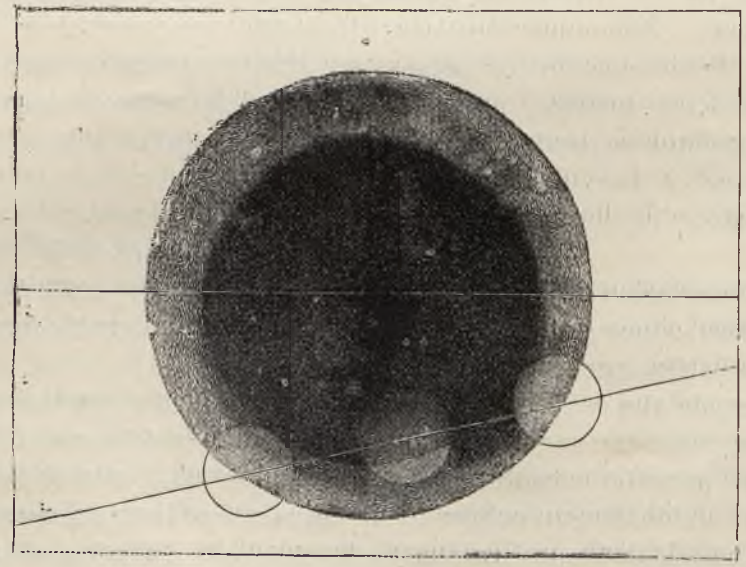


Fig 93 — Eclipse parcial de Luna

eclipse puede ser tambien total, y no central, cuando la órbita de la Luna atraviesa el cono de sombra en cantidad suficiente, sin pasar por el centro.

El eclipse parcial se verifica cuando el nodo de la Luna dista mucho del cono, pues en este caso no penetra todo su disco en la sombra y la oscuridad es incompleta.

Los eclipses de Sol principian siempre

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

por el borde occidental del astro radiante, lo cual se entenderá fácilmente, recordando que el movimiento real de la Luna se efectúa de occidente á oriente y que al interponerse entre el Sol y nosotros, el primer borde mordido tiene que ser precisamente el del oeste. En los eclipses de Luna ocurre lo contrario y el primer borde oscurecido es del este, y el último que abandona la sombra el del oeste.

Son muy raros los casos en que durante un eclipse total y central de Luna llega á desaparecer por completo de la vista el disco de nuestro fiel satélite, y por lo general se columbra á la simple vista, y casi siempre con el telescopio, de un profundo color cobrizo, de tono variable y que unos comparan al del hierro derretido, otros al de la sangre, etc. Dice el astrónomo Wargentin que observó el eclipse total de Luna del 18 de mayo de 1761, «que el cuerpo lunar desapareció tan por completo, que no se percibia el menor vestigio del disco del satélite, ni á la simple vista, ni con el telescopio, por mas que el cielo estaba despejado y las estrellas próximas á la Luna se distinguian con toda claridad.»

Este color rojo de cobre fué por largo tiempo un fenómeno inexplicable; creían algunos que era debido á la luz natural inherente á la superficie de nuestro satélite, mas al fin Keplero presentó su verdadera teoría, demostrando que lo causaba la refraccion que sufrian los rayos solares al atravesar la atmósfera de la Tierra, y que separados de su direccion rectilínea, caian sobre el suelo lunar no obstante la interposicion de nuestro globo; depende el tono rojizo de la Luna eclipsada, de la absorcion que experimentan los rayos azules de la luz solar cuando pasan á través de la envoltura gaseosa de nuestro planeta, del propio modo que el cielo se enrojece, con gran frecuencia, en los momentos que anteceden y siguen á la salida ó á la postura del Sol. Debido á variabilidad de las condiciones meteorológicas de la atmósfera, la cantidad de luz que hiere la superficie de la Luna se halla sujeta á grandes fluctuaciones, segun que el aire esté mas seco ó húmedo, y dotado de mayor ó menor diafanidad; si la parte de atmósfera que atraviesan los rayos solares se encuentra relativamente libre de vapor de agua, absorberá los rayos rojos de la luz casi en totalidad, dejando pasar los azules que serán los únicos que herirán la superficie lunar, siendo esta escasamente visible. Si, de otro lado, la region de la atmósfera que atraviesan los rayos del Sol, está saturada de vapor, tan solo pasarán los rayos rojos y el disco de la Luna aparecerá de este mismo color.

Mas como tambien es posible que la atmósfera se encuentre en parte saturada y en parte seca, la superficie lunar presentará unas zonas rojizas y lucientes y otras azuladas ó blanquizcas, pero en extremo opacas y casi invisibles.

A los caldeos debemos, segun refiere Ptolemeo, las observaciones mas antiguas que registra la Historia sobre los eclipses de Luna.

El primero de todos se verificó el año 27 de la era de Nabonasar, primero del reinado de Mardokempadio, el dia 29 del mes egipcio Thoth, fecha que corresponde al 19 de marzo de 720 antes de J. C; fué total en Babilonia y la fase máxima tuvo lugar á las 9^h 30^m de la noche. El segundo fué parcial, y el tercero se verificó el 1.° de setiembre de 719 antes de J. C; su magnitud, segun Ptolemeo, fué de 6 dígitos y duró tres horas, principiando poco despues de la salida de la Luna en Babilonia.

Dice Plutarco en su vida de Nicias, que en el año cuarto de la nonagésima primera olimpiada y décimonono de la guerra del Peloponeso, ocurrió un eclipse de Luna que fué causa de grandes desastres para el ejército ateniense, debido á la obstinacion de su general Nicias; los cálculos modernos han demostrado que el eclipse fué total en Siracusa.

El eclipse de Luna acaecido el 13 de mar-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

zo del año 3 antes de la era cristiana, sirve para determinar la fecha del nacimiento de Jesucristo; Herodes murió tres meses despues, y segun Josefo, coincidió este suceso con un eclipse lunar comprobado por los cálculos modernos.

El 1.º de marzo de 1504 tuvo lugar un eclipse de Luna que fué de grande utilidad para Cristóbal Colon; hallábase el ilustre navegante en la isla de Jamaica, y los naturales se negaban á facilitarle víveres, de los que habia en sus buques gran escasez; anuncióles Colon que si no aportaban las provisiones que habia pedido los castigaria privando á la Luna de su luz; al principio no hicieron los salvajes caso de su amenaza, pero cuando comenzó el eclipse y vieron que la Luna iba apagándose poco á poco, muertos de terror se arrojaron á los piés del almirante, prometiéndole abastecer las naves españolas de cuanto pudieran necesitar de su isla; desde entonces quedaron sumisos y obedientes teniendo á Colon por un brujo que á su antojo disponia de los astros.

IV

Ocultaciones

Cuando un cuerpo celeste se interpone entre la Tierra y otro astro, y lo tapa, se dice que está ocultado ó que hay ocultacion. Rigorosamente hablando, un eclipse de Sol es una ocultacion de este luminar por la Luna, pero el uso ha hecho que se llame eclipse.

Los fenómenos mas importantes de este género son las ocultaciones de los planetas y de las estrellas brillantes por la Luna; pero mayor interés causa todavía, por su misma rareza, la ocultacion de un planeta por otro planeta.

Como el diámetro aparente de la Luna viene á ser de medio grado próximamente, se deduce que todas las estrellas y planetas situados en una zona que se extienda unos 15′ á ambos lados de su curso, se ocultarán necesariamente durante su revolucion mensual por la ecliptica. El brillo excesivo de la Luna sobrepuja por completo al de las estrellas débiles, pero con un mediano anteojo pueden observarse las ocultaciones de las estrellas mas notables. En el Almanaque Náutico del Observatorio de San Fernando y en el Anuario del Observatorio de Madrid, se publican unas tablas con los anuncios de las horas á que deben ocurrir las ocultaciones de las principales estrellas y planetas.

Hay que tener presente, que la inmersion ó desaparicion de la estrella tiene lugar siempre por el limbo de la Luna que precede á su movimiento, ó sea por su borde oriental; desde el novilunio hasta el plenilunio se mueve la Luna con su borde oscuro hácia adelante, y desde el plenilunio á la neomenia, precede á su marcha el limbo iluminado; durante el primer intervalo, por lo tanto, la inmersion se verifica por el borde oscuro y la emersion por el iluminado; lo contrario ocurre en la segunda época y las estrellas desaparecen por la parte brillante para reaparecer por la oscura. Si nos ponemos á observar con un anteojo una estrella que se oculte por el limbo iluminado, da idea con su aproximacion gradual al márgen visible, del momento en que debe esperarse su desaparicion; en tanto que si se oculta por el borde oscuro, y la Luna cuenta algunos dias de fecha, parece extinguirse en medio del aire sin el menor antecedente, ó causa visible de desaparicion. Lo cual, como sucede instantáneamente, y sin la mas leve disminucion prévia de luz, siempre causa cierta sorpresa, y aun si la estrella es de regular brillo y magnitud, sobrecoge é impone tan repentino anonadamiento. Del mismo modo, la reaparicion de la estrella, cuando la Luna ha pasado por delante de ella, y la parte iluminada mira hácia oriente, se verifica no por la concavidad que termina dicha parte, sino por el contorno invisible del círculo completo, y es por lo repentina poco menos sorprendente, que su desaparicion en el caso contrario.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Cuenta Wargentin, que el 18 de mayo de 1761, observó una ocultacion de estrella por la Luna, durante un eclipse total de nuestro satélite, y que la estrella desapareció *en un abrir y cerrar de ojos.*

Se ha advertido frecuentemente en las ocultaciones, una ilusion óptica, de naturaleza muy singular é inexplicable, y es; que la estrella se deja ver proyectada sobre el disco de la Luna, y dentro de su márgen hasta cierta profundidad, antes de desaparecer. Herschel, que es quien califica el fenómeno de ilusion óptica, dice que no es imposible, aunque sí muy improbable, que la estrella brille en semejantes ocasiones al través de profundas hendiduras del mismo globo lunar. Debiera atenderse con esmero á las ocultaciones de las estrellas dobles inmediatas, para ver si entrambas se proyectan de esta manera, así como para otros fines relacionados con la teoría de estos astros. Uno solo apuntaremos aquí, á saber: que una estrella doble demasiado contigua para que telescopio alguno la presente separada, puede, sin embargo, descubrir esta cualidad por el modo en que desaparezca. Así, por ejemplo, si una estrella considerable, en lugar de experimentar una extincion instantánea y completa, desapareciese en dos tiempos distintos, que se siguiesen inmediatamente uno á otro, perdiendo primero una parte de su luz, y luego la restante, podemos estar seguros de que es una estrella doble, aun cuando no podamos ver separadas las dos estrellas que la forman.

Los fenómenos de proyeccion de la estrella sobre el disco lunar han sido observados por astrónomos tan distinguidos como Smyth, Maclear y otros; dice Smyth que debe atribuirse el fenómeno á la mayor refrangibilidad de la luz blanca de la Luna, respecto de la luz roja de la estrella (se refiere á Aldebaran) cuyo efecto es elevar el disco aparente en el momento y en el punto de contacto.

En 1699 intentó La Hire explicar la aparicion de las estrellas en el disco de la Luna, suponiendo que el disco verdadero estaba acompañado por una luz *parásita*, ó por un círculo de disipacion, como antes se llamó, que agrandaba el diámetro aparente de la estrella y á cuyo través se muestra, antes de pasar detrás de la parte opaca del globo lunar. Arago acepta esta teoría agregando que el foco del ocular del anteojo puede ser imperfecto, de lo que resultaría una imágen falsa del disco. El que este fenómeno no haya sido jamás observado por algunos astrónomos tan hábiles como Herschel, por ejemplo, le parece una confirmacion de su teoría. La verdad es que todavía no se sabe la causa que produce este fenómeno singular.

El 2 de enero de 1857 se observó una ocultacion del planeta Júpiter por la Luna. Varios astrónomos percibieron como un penacho oscuro y sombreado que arrancando del borde de la Luna se proyectaba sobre el planeta. Simms notó que durante la emersion se marcaba el verdadero limbo de la Luna sobre el disco del planeta, como un trozo negro de lápiz, que se desvanecía á medida que aumentaba la distancia.

El 8 de mayo de 1859 observó Dawes una ocultacion de Saturno, la que describe en los términos siguientes; «En el instante de la inmersion se veia el borde oscuro de la Luna perfectamente definido sobre los anillos y el globo del planeta, sin que presentase la menor deformacion; al rededor de la Luna no se percibió luz de ninguna especie. Los satélites tambien desaparecieron precisamente en el borde, que apenas era visible. El tono pálido y verdoso de Saturno contrastaba de un modo marcadísimo con la luz amarillenta de la Luna.»

La observacion mas antigua que se conoce de una ocultacion, es la de Marte por la Luna, que menciona Aristóteles en su obra *De Cœlo*, lib. II, cap. 12. Keplero calculó que este suceso hubo de ocurrir el 4 de abril de 357 antes de Jesucristo. En los anales astronómicos de los árabes se re-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

gistran muchas ocultaciones de planetas por la Luna.

Como dijimos antes, las ocultaciones de un planeta por otro son en extremo raras, mas, sin embargo, se conocen algunos casos. Keplero dice que en la noche del 9 de enero de 1591, observó una ocultacion de Júpiter por Marte. Tambien afirma que Moestlin presenció una ocultacion de Marte por Vénus, el 3 de octubre de 1590. Vénus fué ocultada por Mercurio el 17 de mayo de 1737. Como todas estas observaciones, menos la última, fueron hechas á la simple vista, puesto que son anteriores al invento del anteojo, es muy posible que los planetas no se confundieran en realidad, sino que por hallarse muy próximos, presentaran el aspecto de un solo objeto; una cosa análoga ocurrió con Vénus y Júpiter el 21 de julio de 1859.

Algunas veces tambien hay ocultaciones de estrellas por los planetas, y Cassini observó la de una estrella de Acuario por Marte, el 1.° de octubre de 1672.

V

Eclipses de los satélites de Júpiter

Los satélites de Júpiter, segun sabemos ya, caminan en sus órbitas de occidente á oriente, siguiendo la analogía de los planetas y de la Luna, en planos que casi coinciden con el del ecuador del planeta, ó son paralelos á sus bandas. Este último plano forma con el de la órbita del planeta un ángulo de 3° 5′, y por lo mismo está poco inclinado respecto del plano de la eclíptica. En consecuencia, se nos presentan sus órbitas casi de canto ó como líneas rectas, en las cuales parece que oscilan hácia uno y otro lado, pasando unas veces por delante de Júpiter, sobre cuyo disco ya se dejan ver claramente con buenos anteojos, ó bien proyectan sus sombras en forma de pequeñas manchas redondas y oscuras, y otras veces, ocultándose detrás del disco, ó desapareciendo eclipsados por la sombra, y á cierta distancia de él. En estos eclipses es donde hallamos datos exactos para la construccion de las tablas de los movimientos de los satélites, como tambien señales para determinar las diferencias de longitud.

En lo esencial, los eclipses de los satélites son perfectamente análogos á los de Luna, y solo difieren en varios puntos accesorios. Por razon de la distancia mucho mayor de Júpiter al Sol y de su mayor tamaño, el cono de su sombra es tambien mucho mas prolongado y de mayores dimensiones, que el de la Tierra. A lo que se agrega, que los satélites son mucho menores en proporcion del planeta primario, sus órbitas menos inclinadas sobre la eclíptica, y de dimensiones mas reducidas comparativamente, que en la Luna. En virtud de estas causas, atraviesan los tres satélites interiores de Júpiter la sombra, y se eclipsan totalmente á cada revolucion; y aunque el cuarto, por la mayor inclinacion de su órbita, deja algunas veces de eclipsarse, y puede otras pasar rasante al límite del cono y experimentar un eclipse parcial, con todo son estas las menos, y comunmente hablando, acaecen sus eclipses á cada revolucion, como en los anteriores.

Además, estos eclipses no se ven, como los de la Luna, desde el centro del movimiento, sino desde un punto distante de él, y de situacion variable respecto de la línea de la sombra. Y aunque esto no produzca alteracion en el momento y duracion de los eclipses, la produce muy grande en su visibilidad, y en las situaciones aparentes de los satélites respecto del planeta, en los momentos de su entrada en la sombra, y su salida de ella.

Cuando los satélites entran en el cono de sombra, se dice que tiene lugar la inmersion, y cuando salen, la emersion, términos que por sí mismos se explican. En íntima relacion con los eclipses se encuentran las ocultaciones, fenómenos que ocurren cuando el cuerpo del planeta tapa á los satélites por su interposicion directa, independientemente de la sombra.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Despues que Júpiter ha pasado de su conjuncion con el Sol, se proyecta la sombra hácia el oeste y en esta época las inmersiones y emersiones del III y IV satélites pueden observarse, pero no siempre las del II; y tan solo las emersiones del I, á causa de su proximidad al planeta y despues de ser ocultado, son visibles, pues en este caso la inmersion se verifica detrás del disco jovíal.

Cuando Júpiter se encuentra cerca de su oposicion, se verifican las inmersiones y emersiones en la proximidad de los limbos del planeta; y á medida que de nuevo se acerca á su conjuncion, se proyecta la sombra hácia la region oriental dando orígen á una série de fenómenos, en parte complementarios de los que antes indicamos. De otro modo, así como las inmersiones y emersiones del III y IV satélites son siempre visibles y con frecuencia las del II, tan solo pueden columbrarse las inmersiones del I, porque las emersiones tienen lugar detrás del disco de Júpiter.

Estos fenómenos interesantes pueden observarse con un anteojo mediano, pero mucho mas poderoso necesita ser el que se emplee para especular las ocultaciones de un modo satisfactorio; con un buen instrumento, puede seguirse la desaparicion gradual del satélite desde el primer contacto con el limbo del planeta, hasta su desaparicion final detrás del disco. Las ocultaciones del IV satélite se ven completas, esto es, la desaparicion y la reaparicion, y tambien las del III suelen serlo. Pero es mucho mas raro que pueda observarse el fenómeno completo cuando se trata del II satélite; las inmersiones y emersiones del I satélite tan solo pueden ser visibles un dia ó dos antes y despues de la oposicion de Júpiter, pues en todo otro caso ora la inmersion, ya la emersion, ocurren cuando el satélite se halla oscurecido por la sombra del planeta. Así sucede generalmente que de la conjuncion á la oposicion tan solo son visibles las reapariciones del I y II satélites y de la oposicion á la conjuncion, únicamente las desapariciones.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPITULO III

LEYES Y PERTURBACIONES ASTRONÓMICAS

I

Variacion secular de la oblicuidad de la eclíptica y nutacion

Llegamos á saber en tiempo oportuno, que el conocimiento de la ascension recta y de la declinacion del centro del Sol, sirvió para reconocer la naturaleza de la órbita que este luminar recorria en un año sobre la esfera de los cielos. Y como esta órbita, que es la eclíptica, conserva una situacion determinada en la esfera celeste, podemos por medio de círculos máximos que pasen por sus polos y por las estrellas, referir las posiciones de estas á aquel círculo, lo mismo que al ecuador, plano fundamental de la primera clase de coordenadas.

Estos círculos, perpendiculares por su naturaleza á la eclíptica, se llaman círculos de latitud; latitud de las estrellas, la distancia de estas á la eclíptica, contada sobre el respectivo círculo de latitud que pasa por cada una de ellas; y longitud, el arco de la eclíptica comprendido entre el equinoccio de primavera y el círculo de latitud. En la figura 94 *e* representa una estrella; E E' el ecuador, P P' sus polos y S S' la eclíptica.

Los dos planos E E' y S S' se cortan segun una línea que pasa necesariamente por los dos equinoccios marcados por las letras griegas *epsilon* y *epsilon* prima; el equinoccio de primavera es el que sirve de orígen á estas coordenadas, y por una convencion que antes explicamos, tambien se empieza á contar de él, el tiempo sidéreo.

Por el centro T de la esfera celeste, imaginemos una línea perpendicular al plano de la órbita terrestre, y los dos puntos p y p' en dónde esta recta toca en la esfera, serán los polos de la eclíptica. Comprendido esto, claro está que la posicion en el cielo de la estrella *e* quedará determinada si se conoce el valor en grados, minutos y segundos: 1.° del arco *e m* medido sobre un círculo que pase por la estrella y por el eje ó los polos de la eclíptica; esta es la latitud de la estrella; 2.° del arco *epsilon m* comprendido entre el punto equinoccial *epsilon* y el círculo que ha servido para medir la latitud;

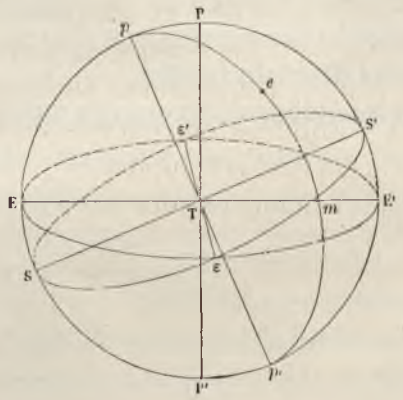


Fig. 94.—Coordenadas celestes; longitudes y latitudes

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

esta es la longitud de la estrella. La longitud se cuenta de 0° á 360° y la latitud de 0° á 90° bien sea boreal ó austral.

Por estas definiciones vemos que hay que procurar no confundir las longitudes y latitudes celestes con las coordenadas geográficas de igual denominacion. Estas últimas sirven para fijar la posicion de un punto en la superficie del globo respecto del ecuador de la Tierra y de un meridiano arbitrario ó convencional. La longitud y latitud celestes fijan la posicion de un punto del cielo respecto al plano de la eclíptica.

Aunque hemos dicho al principio de este párrafo que la inclinacion del plano de la eclíptica respecto del ecuador es invariable, no es esto verdad en todo rigor, puesto que ofrece un cambio apreciable de 46″ en cada cien años. Esta variacion la han echado de ver los astrónomos por el aumento y diminucion progresiva de las latitudes de las estrellas, situadas en regiones opuestas. Su efecto es aproximar mas y mas el plano de la eclíptica al del ecuador, pero esta diminucion de la oblicuidad no pasará de límites muy moderados, despues de lo cual (si bien en un período inmenso de siglos, que es un ciclo compuesto, resultante de la accion reunida de todos los planetas) volverá á aumentar, y oscilará así en uno y otro sentido, respecto de una posicion media, sin que la extension de los desvios de dicha posicion llegue á 1° 21′; el intervalo de tiempo que exige una de estas oscilaciones es próximamente de unos 10,000 años.

Uno de los efectos de esta variacion del plano de la eclíptica, á saber, el que hace variar sus nodos con un plano fijo, va envuelto con la precesion de los equinoccios, de la cual solo puede distinguirse por medio de la teoría. Y sin embargo, este último fenómeno es debido á otra causa, análoga en verdad bajo un punto de vista general á la que produce la variacion secular de la oblicuidad de la eclíptica, pero modificada singularmente por las circunstancias que concurren en su produccion.

La precesion de los equinoccios, como hemos manifestado, consiste en una retrogradacion continua del nodo del ecuador con la eclíptica y su efecto varia segun la época del año y la distancia de la Tierra al Sol; en dos épocas del año que corresponden á los equinoccios, la influencia del Sol es cero, y otras dos veces ó sea en los solsticios, alcanza su valor máximo. En ningun momento sucesivo presenta exactamente un mismo valor y por consecuencia la precesion de los puntos equinocciales es irregular y la oblicuidad de la eclíptica se halla sujeta á variaciones semi-anuas, toda vez que la fuerza solar que produce los cambios de oblicuidad es constantemente variable, y el movimiento de rotacion de la Tierra es contínuo. Esto da orígen á un pequeño movimiento oscilatorio del eje terrestre que se llama *nutacion solar;* de mucha mas importancia es la nutacion producida por la influencia de la Luna, hasta tal punto, que Bradley la descubrió mucho antes de que la teoría demostrase su existencia.

La nutacion del eje de la Tierra es un pausado y pequeño movimiento giratorio, que, de existir solo, haria que el polo describiese en el cielo en un período de 18 años y medio, una pequeña elipse, cuyo eje mayor mediria 18″,5 y el menor 13″,74; el semi-eje mayor es igual por lo tanto á 9″,25, cuya cantidad se llama coeficiente de nutacion. La consecuencia de este movimiento real del polo es un adelanto y un retroceso aparentes de todas las estrellas hácia el polo, en el mismo período de tiempo. Por esto, tambien, el lugar del equinoccio en la eclíptica se determina por la situacion del polo en el cielo y el mismo influjo producirá un movimiento alternativo hácia adelante y hácia atrás de los puntos equinocciales, resultando que las longitudes y las ascensiones rectas de las estrellas aumentarán y disminuirán en los mismos períodos.

Estos movimientos de precesion y nuta-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cion son comunes á todos los cuerpos celestes, tanto fijos como errantes; y esta circunstancia hace que sea imposible atribuirlos á otra causa sino á la del movimiento real del eje de la Tierra como hemos indicado. Si solo afectara á las estrellas, se podria, con igual fundamento, atribuirlo á una rotacion real del cielo estrellado sobre nuestro eje que pasase por los polos de la eclíptica en 25,868 años y á un movimiento elíptico de este eje en poco mas de 18 años; pero toda vez que afecta al Sol, á la Luna y á los planetas, que están dotados de movimientos independientes y distintos de los de la bóveda estrellada, no puede suponerse que dependa sino del movimiento real de la Tierra.

II

Aberracion de la luz

Otro fenómeno importante que debe tomarse en consideracion al reducir las observaciones astronómicas, es el que se conoce con el nombre de aberracion de la luz. Ni la nutacion, ni la precesion alteran los lugares aparentes de los astros entre sí; en cuanto de estas causas depende, los vemos como están, si bien desde una estacion mas ó menos instable, así como desde un bajel vemos en su verdadera forma y colocacion los objetos lejanos en la costa, á pesar de la contínua elevacion y depresion que causa aparentemente en ellos el movimiento de balance y cabezada de la inquieta estacion desde donde los contemplamos. Pero hay una causa óptica independiente de la refraccion y de la perspectiva, que produce cierta alteracion en las posiciones relativas de los astros, y que por lo mismo nos presenta el cielo bajo un aspecto ligeramente desfigurado, y cuyo influjo es preciso calcular y llevar en cuenta para obtener un conocimiento puntual del lugar de cualquiera de ellos.

Esta causa es lo que se llama, como indicamos, la aberracion de la luz, efecto singular y sorprendente, dimanado de hallarnos en una estacion que no está en reposo sino en movimiento rápido; y de que las direcciones aparentes de los rayos luminosos no son las mismas para un espectador en movimiento, que para otro en reposo. Aunque la luz se propaga con la velocidad enorme de 75,000 leguas por segundo y podemos considerar su propagacion como instantánea para todas las aplicaciones terrestres, no ocurre lo mismo en los problemas astronómicos, en que tratándose de millones de leguas, hay necesidad de proceder con mayor escrupulosidad. Un ejemplo bien sencillo servirá para demostrar este punto; si aceptamos que la distancia de nuestro planeta al Sol sea de 37 millones de leguas, una sencilla operacion aritmética nos demostrará que caminando la luz 75 mil leguas por segundo, el tiempo que tardan en llegar hasta la Tierra los rayos solares es igual á $8^m\ 13^s,3$, por manera que al mirar al Sol en un momento dado, no lo vemos como brilla en aquel instante sino como brillaba $8^m\ 13^s,3$ antes. Estas diferencias son mucho mas considerables y pueden elevarse hasta siglos cuando se trata de las estrellas, segun tuvimos ocasion de ver en lugar oportuno.

Si la Tierra se encontrara en reposo, este fenómeno seria inmaterial, pero toda vez que nuestro planeta se mueve, se deduce que cuando los rayos solares hieren la vista de un habitante colocado en su superficie, se encontrará este separado algun tanto del punto del espacio que en el momento en que el rayo luminoso partió del Sol; por consecuencia, verá á este luminar mas allá del verdadero lugar que ocupa cuando el rayo penetra en su ojo. En el espacio de $8^m\ 13^s,3$ habrá caminado la Tierra en su órbita unos 20″ y esta cantidad se llama *la constante de aberracion*. Puede definirse la aberracion diciendo que es un fenómeno que resulta del efecto combinado de la propagacion de la luz y del movimiento de la Tierra en su órbita.

Una persona expuesta á un aguacero,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que suponemos cae perpendicularmente en una perfecta calma, si permaneciese en pié é inmóvil, recibiria la lluvia en el sombrero, que podria servirle en tal caso de completo abrigo; mas si echase á correr en

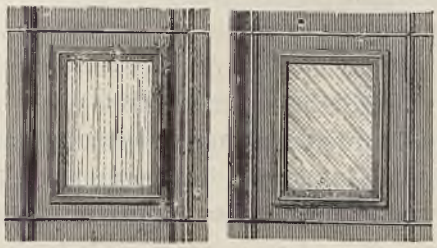


Fig. 95.—Explicacion de la aberracion

cualquiera direccion, ya el agua le daria en la cara, del mismo modo que si manteniéndose parado, se hubiera levantado un vien-

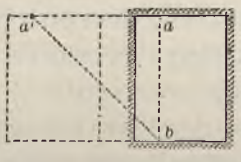


Fig. 96. — Desviacion aparente de las gotas de lluvia

to de igual velocidad que la hubiese impelido en aquella direccion. Supongamos que en un coche de ferro-carril, observamos

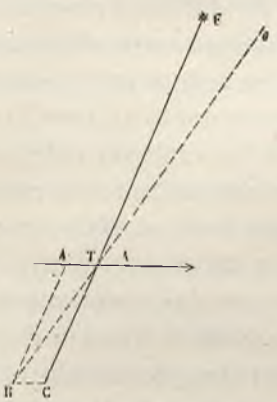


Fig. 97.—Teoría de la aberracion

por la ventana las gotas de una lluvia vertical; si el coche está inmóvil, parecerá que todas las gotas se mueven en su direccion real, esto es, verticalmente. Pero si el tren está en marcha y si mientras la gota *a* se mueve de *a* á *b*, camina el coche con una velocidad determinada, parecerá que la gota ha seguido la direccion *a' b*, y veremos que la lluvia cae oblicuamente en la apariencia, siendo tanto mas considerable la oblicuidad, cuanto mayor sea la velocidad del tren.

Un observador que mirase la estrella E desde la estacion inmóvil T, veria el punto luminoso en la direccion real del curso seguido por los rayos de luz que emanan á cada instante, es decir, en la direccion T E; pero las cosas pasan de otro modo, si el observador se mueve en la direccion de la tangente T A á la órbita de la Tierra. Este movimiento se combina con el de las moléculas luminosas y el resultado es el mismo que si el observador permaneciese inmóvil, y el rayo de luz estuviese animado de un movimiento T A' igual y contrario al de la Tierra. Para averiguar la direccion en que se ve la estrella, es preciso segun las reglas de la mecánica, construir un paralelógramo T C B A', cuyos lados T C y T A' se encuentran en la relacion de 10,000 y 1, es decir de las velocidades de la luz y de la Tierra; la diagonal B T *e* indicará la direccion del lugar aparente de la estrella, y el ángulo E T *e* será el ángulo de aberracion.

Ahora bien, si se hace una construccion análoga para cada posicion de la Tierra en su órbita, T T' T'' T''' (fig. 98) se nota que la estrella E parece ocupar las posiciones *e e' e'' e'''* en una curva semejante á la órbita terrestre, es decir, en un círculo cuyo plano es, poco mas ó menos, paralelo al de la eclíptica. Este círculo se proyecta en la esfera celeste segun una elipse cuyo semieje mayor es constantemente igual á 20″45 y cuyo eje menor es tanto mas pequeño, cuanto mas débil es el valor de la latitud de la estrella, número que ya dijimos se llamaba la constante de aberracion.

Segun esto, el efecto uranográfico de la aberracion consiste en desfigurar el aspecto del cielo, haciendo que todas las estrellas se agolpen, digámoslo así, en la direccion de un punto de él, que es el punto evanescente de todas las líneas paralelas á

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

aquella, en que por el momento se verifica el movimiento de la Tierra. Y como esta se mueve al rededor del Sol en el plano de la eclíptica, aquel punto debe caer en dicho plano con un adelanto de 90° en longitud

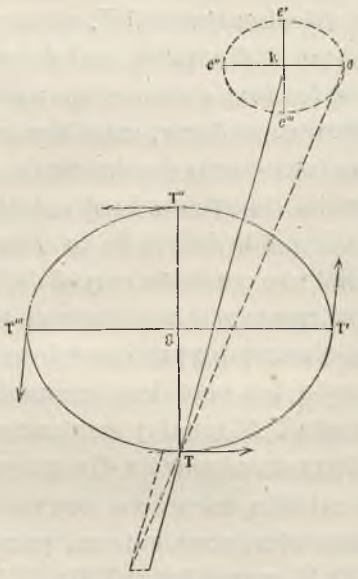


Fig. 98. — Eclipse anua descrita por una estrella en virtud de la aberracion

respecto de la Tierra, ó igual atraso respecto del Sol y por de contado variar contínuamente de posicion, describiendo la circunferencia de la ecliptica en un año, y como hemos demostrado, el efecto en cada estrella de por sí, será hacerle describir aparentemente en el cielo una pequeña eclipse, cuyo centro corresponde al punto en que se veria la estrella, si la tierra estuviese en reposo.

III

Sistemas astronómicos

Tenemos todavía en nuestras bibliotecas un libro, que durante catorce siglos fué una especie de Biblia astronómica, puesto que nada se le agregaba, ni se discutia ninguna de sus proporciones. Nos referimos al *Almagesto* de Ptolemeo, compuesto á mediados del segundo siglo de nuestra era, y todo cuanto hemos llegado á saber acerca de la astronomía de los antiguos, lo debemos á este libro en mas de un concepto estimable. No ignoramos que han llegado hasta nosotros varios fragmentos de antiguos autores y que en casi todos los escritos de los poetas y filósofos de Grecia, y aun de Roma, se leen algunas alusiones mas ó menos vagas respectivas á los fenómenos celestes, y siempre que nos ha parecido oportuno, las hemos mencionado en nuestro trabajo; pero la obra de Ptolemeo es el único compendio completo que poseemos de la ciencia astronómica de lo pasado. Y aunque su sistema es erróneo en muchos y muy importantes puntos, sin embargo, representa los caractéres mas notables de los movimientos aparentes de los astros con completa exactitud.

La doctrina fundamental del sistema ptolemáico consiste en suponer que los cielos tienen una forma esférica y que todos los movimientos se efectuan en círculos ó esferas, que la Tierra es esférica asimismo y se halla situada en el centro de los cielos ó esfera celeste, donde permanece fija, y que su magnitud es la de un punto, en comparacion con la esfera de las estrellas. Trataremos de presentar las ideas de Ptolemeo del modo mas claro posible, en su órden natural y mencionaremos tambien las pruebas en que fundaba sus proposiciones.

1.° *Los cuerpos celestes se mueven en círculos.* Aquí se refiere principalmente Ptolemeo, al movimiento diurno, por el cual cada uno de los cuerpos celestes se ve en la apariencia arrastrado al rededor de la Tierra, ó mas bien, al rededor del polo de los cielos, en un círculo diario. Mas todos los astrónomos de la antigüedad y de la Edad media, hasta la época de Keplero, aceptaban la idea de que siendo el círculo la figura plana mas perfecta, todos los movimientos celestes deben efectuarse en círculos; y como se notó que los movimientos no eran nunca uniformes, supusieron que tales círculos no eran concéntricos á la Tierra. Cuando no bastaba un solo círculo para explicar el movimiento, introducian una combinacion de movimientos circulares de los que hablaremos en seguida.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

2.° *La Tierra es una esfera.* Que la Tierra es redonda de Este á Oeste lo demostraba Ptolemeo por el hecho de que el Sol, la Luna y las estrellas, no salen y se ponen á la vez para todos los habitantes de la Tierra. Por las comparaciones de los tiempos en que los eclipses de Luna se ven en diferentes países, se dedujo que, mientras mas al oeste se encuentra el observador, mas temprano se verifica el fenómeno despues del ocaso del Sol. Como el tiempo es el mismo en todas partes, claro está que el Sol se pone mas tarde mientras mas nos alejamos en direccion del oeste. Además, si la Tierra no fuera redonda de norte á sur, una estrella que pasara por el meridiano en el horizonte del norte ó del sur, siempre permaneceria en el mismo punto por mucho que el viajero caminase hácia el sur ó hácia el norte. Esto demuestra que el horizonte mismo cambia de direccion segun camine el observador. Finalmente, en cualquier sentido en que nos aproximemos á un objeto elevado viniendo del mar, vemos que su base siempre queda oculta por la curvatura del agua, á menos de que nos acerquemos mucho á él.

3.° *La Tierra es el centro de la esfera celeste.* Si la Tierra fuese separada de su centro, se notarian varias irregularidades en el movimiento diurno aparente de la esfera celeste y pareceria que las estrellas se movian con mas rapidez en la region en donde la Tierra se encontrase. Si se trasportase hácia el este, nos encontrariamos mas cerca de los cuerpos celestes en su orto, que en su ocaso, moviéndose tambien con mas rapidez en la primera situacion, de modo que las mañanas serian mas cortas que las tardes. Y como tales anomalías no se observan, pues el movimiento diurno es perfectamente uniforme, claro es que la Tierra debe encontrarse en el centro de movimiento.

4.° *La Tierra carece de movimiento de traslacion.* Porque de tenerlo se apartaria del centro hácia uno de los lados de la esfera celeste y la revolucion diurna de las estrellas dejaria de ser uniforme en todas sus partes. Pero la uniformidad de movimiento que acabamos de describir y que se observa un año tras otro, nos obliga á aceptar que la Tierra conserva su posicion en el centro de la esfera.

No deja de presentar interés el análisis de estas proposiciones de Ptolemeo, para averiguar lo que contienen de falsas y de verdaderas.

La primera proposicion, de que los cuerpos celestes se mueven en círculos, ó expresado en sentido mas literal, con movimiento esférico, es cierta, en cuanto concierne al movimiento diurno aparente. Lo que Ptolemeo ignoraba era que este movimiento no es mas que aparente y que lo origina la rotacion de la Tierra sobre su eje.

La segunda proposicion es exacta y las pruebas aducidas por Ptolemeo en favor de la redondez de la Tierra, las hemos presentado en otro lugar de esta obra, esto es, que al cabo de diez y siete siglos, todavía hay que mencionarlas en un tratado de astronomía. Mas curiosa, sin embargo, es la mezcla de verdad y de error que encierran las otras dos proposiciones, relativas á la inmovilidad de la Tierra; y no podemos calificarlas de falsas en absoluto, porque en cierto sentido, esto es, en el único sentido en que puede aceptarse que haya una esfera celeste, la Tierra permanece en su centro. Lo que Ptolemeo no sabia es que esta esfera no tiene existencia real y que el espectador la lleva consigo á donde quiera que se trasporte. Su demostracion de que el centro de revolucion de la esfera es la Tierra, puede hasta cierto punto aceptarse como exacta, pues lo que realmente prueba es que nuestro globo gira sobre su propio eje.

En el sistema ptolemáico todos los movimientos celestes se representan por círculos. Hemos explicado ya los movimientos del Sol y de la Luna á través de las estre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

llas, y sabemos que el primero de estos luminares describe un círculo completo en los cielos de occidente á oriente en un año, y que el segundo efectúa un circuito análogo en el curso de un mes; aunque estos movimientos no son uniformes, se presentan como directos, es decir, siempre en un mismo sentido hácia adelante. Mas no ocurre lo mismo con los cinco planetas (no olvide el lector que suponemos que habla un partidario de Ptolemeo) Mercurio, Vénus, Marte, Júpiter y Saturno, pues estos cuerpos se mueven unas veces hácia el oeste y hácia el este otras, permaneciendo tambien estacionarios; en totalidad, no obstante, predomina el movimiento oriental y el planeta en realidad oscila en torno de un punto medio que á su vez está dotado de un movimiento regular hácia el oriente. Fijémonos en Marte, v. gr.; supongamos cierto Marte ficticio, que efectúa un circuito en el cielo á través de las estrellas en un período de dos años, con un movimiento regular hácia oriente, del propio modo que el Sol verifica su revolucion en un año; en este caso se notará que el verdadero Marte oscila como un péndulo á ambos lados del planeta ficticio, sin apartarse de él nunca, mas de 21°; el movimiento occidental ó hácia atrás se llama retrógrado y el oriental ó hácia adelante directo; se dice que el movimiento occidental es retrógrado, porque se efectúa en direccion opuesta á la del Sol, y á la que por término medio siguen todos los planetas. Hiparco, que floreció tres siglos antes que Ptolemeo, observó que este movimiento oscilatorio podia representarse suponiendo que el planeta real describiese un círculo en torno del ficticio, en el curso de un año, y á esta órbita se dió el nombre de *epiciclo*.

Hemos visto que Ptolemeo profesaba la doctrina de la redondez de la Tierra, y que conocia su magnitud, que en comparacion con la de los espacios ó esfera de los cielos, puede considerarse como un simple punto; de modo que contaba con elementos suficientes para atribuir el movimiento de los cielos á una ilusion óptica producida por la rotacion de nuestro globo; sin embargo, rechazó esta teoría fundándose en argumentos físicos muy confusos, cuya falsedad le hubieran demostrado algunos sencillos experimentos. Y aunque la doc-

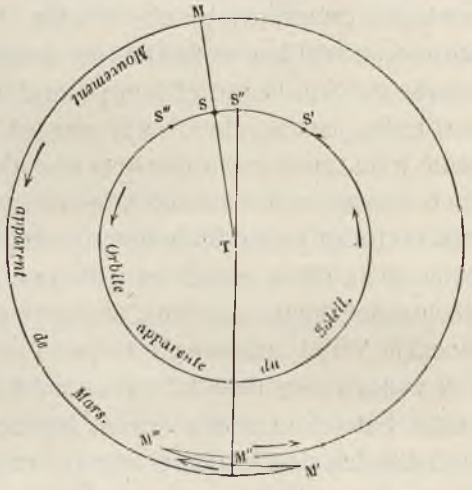


Fig. 99. — Movimientos directos y retrógrados de Marte en el sistema de Ptolomeo

trina del movimiento de la Tierra era sustentada por otros astrónomos de su época, principalmente por Timocaris, con todo esto, fué tan grande el peso de su autoridad, que durante catorce siglos prevalecieron sus opiniones con mengua de la razon y de la verdad.

La historia de la astronomía en estos siglos, apenas ofrece interés alguno; tan solo los árabes hicieron varias series de observaciones sistemáticas, que la posteridad ha sabido utilizar; estos astrónomos, principalmente en España, inventaron métodos mas perfectos para observar las posiciones de los cuerpos celestes, mejorando así las tablas de sus movimientos; midieron la oblicuidad de la eclíptica y calcularon los eclipses de Sol y de Luna con mas precision que los antiguos griegos. Adelantó la ciencia en cuanto á la exactitud de las predicciones, pero en lo respectivo á la verdadera naturaleza del movimiento aparente de los cielos, no se dió un solo paso.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El honor de ser el primero que demostrase al mundo la verdadera teoría de los movimientos celestes, pertenece al inmortal Kopérnico; es verdad que tenemos algun motivo para creer que Pitágoras enseñaba que el Sol, y no la Tierra, era el centro de movimiento, y que por lo tanto, fué el primero en resolver el gran problema, pero no profesó su doctrina en público y las vagas relaciones de su enseñanza privada sobre este punto que han llegado hasta nosotros, se encuentran tan enlazadas con las especulaciones que los filósofos griegos sostenian acerca de los fines de la naturaleza, que es difícil decidir si Pitágoras llegó en efecto á averiguar la verdad del problema. Es indudable, que ningun astrónomo moderno admitiria como exacta la explicacion de un fenómeno cualquiera, si no le daban pruebas mas convincentes, que las que, segun es de presumir, podia ofrecer Pitágoras á sus discípulos.

El gran mérito de Kopérnico consiste en haber adivinado la verdad, y en consagrar la mayor parte de su vida á buscar pruebas para apoyarla, hasta tal punto, que en último extremo se imponia de un modo inevitable; pocos libros hay, de los que pueda decirse que encierran la vida de un hombre, mas importantes que su gran obra *De Revolutionibus Orbium Cœlestium.*

Nació Kopérnico en 1473, diez y nueve años antes del descubrimiento de América, cursando sus estudios en la Universidad de Cracovia; abrazó el estado eclesiástico, permitiéndole su posicion dedicarse por completo á sus aficiones favoritas. Se dice que ya en 1507 habia concebido su teoría del verdadero sistema del mundo, pero durante muchos años solo se ocupó de comprobar las observaciones necesarias para perfeccionar su sistema, consultando frecuentemente con sus amigos, y dándoles cuenta de sus opiniones, sin atreverse á publicarlas, temiendo á las preocupaciones del vulgo. En 1540, Retico, uno de sus amigos, dió á luz un opúsculo, escrito con arreglo á algunas de las ideas de Kopérnico, que fué recibido de un modo favorable, por lo cual consintió este en la publicacion de su grande obra. El primer ejemplar fué puesto en sus manos pocas horas antes de su muerte, que tuvo lugar en el mes de mayo de 1543.

Los principios fundamentales del sistema de Kopérnico se encuentran comprendidos en dos proposiciones distintas que han de ser probadas separadamente, pudiendo ser la una verdadera y la otra falsa, y vice-versa, pues como decimos, son en un todo independientes.

1.ª La revolucion diurna de los cielos es tan solo aparente y causada por el movimiento diurno de la Tierra sobre un eje que pasa por su centro.

2.ª La Tierra es uno de los planetas y todos giran al rededor del Sol como centro del movimiento; el verdadero centro de los movimientos celestes, no es por lo tanto la Tierra, sino el Sol. Por esto se llama tambien este sistema, teoría heliocéntrica.

Kopérnico principió por probar la primera proposicion, explicando cómo puede resultar un movimiento aparente, del que en realidad tenga una persona; demostró tambien, que siendo los cielos en proporcion con la Tierra, de dimensiones enormes, si nuestro globo permaneciera fijo, debieran girar los astros con una velocidad infinita, y que era mas natural admitir que la Tierra girase, toda vez que hay que estimarla como un punto imperceptible del Universo, que no el Universo mismo.

En la teoría de la inmovilidad de la Tierra, habia que acudir á los epiciclos para explicar las estaciones y retrogradaciones de los planetas, tanto superiores como inferiores; por ejemplo, sea S el Sol, V V_1 V_2.... la órbita circular que Vénus describe en unos 225 dias al rededor del astro central; cuando Vénus se encuentra en su conjuncion inferior, V_2, una misma recta une los centros del planeta del Sol y de la Tierra. Permaneciendo fijo nuestro globo, y giran-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

do Vénus de occidente á oriente ó en el sentido de la flecha, es claro que para un observador terrestre, pareceria que Vénus se iba alejando del Sol; mas como los arcos que describiria se verian sucesivamente con mayor oblicuidad, su velocidad, que es constante, disminuiria poco á poco, hasta que llegase al punto V_3 en donde el rayo visual T V_3 es tangente á la órbita; en este punto pareceria nula su velocidad, y el arco V_2 V_3 descrito en sentido opuesto al movimiento del Sol, seria retrógrado.

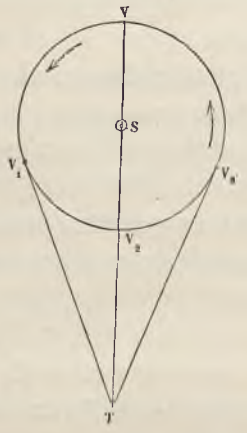


Fig. 100.—Movimiento de un planeta inferior en la hipótesis de la inmovilidad de la Tierra

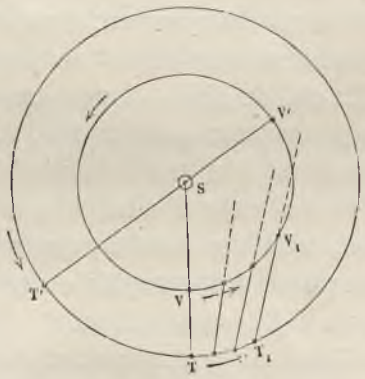


Fig. 101.—Explicacion de los movimientos aparentes de un planeta inferior segun la hipótesis de la movilidad de la Tierra.

De V_3 á V, por el contrario, pareceria directo el movimiento de Vénus y su velocidad aparente creceria hasta V en donde alcanzaria su máximo. Pero entonces se hallaria el planeta otra vez en línea recta con el Sol y la Tierra, ó sea en conjuncion superior. De V á V_4 continúa el movimiento directo, al paso que la velocidad decrece gradualmente, y en V_4 se halla Vénus de nuevo estacionario, comenzando su movimiento en sentido retrógrado, y aumentando su velocidad.

En el sistema de Kopérnico, se mueve la Tierra en su órbita en el mismo sentido que Vénus en la suya, pero con menor velocidad; el arco que describe nuestro globo en un tiempo dado es menor angularmente, y en valor absoluto, que el descrito por Vénus en el mismo intervalo.

El rayo visual hace siempre que Vénus aparezca al occidente del Sol, pero alejándose menos de este astro, que si la Tierra permaneciese inmóvil; mientras subsista esta divergencia, se alejará Vénus del Sol, pero á causa del movimiento de la Tierra, que se efectúa en el mismo sentido que el del planeta, se comprende que este alcanzará mas tarde el punto de su elongacion máxima, del propio modo que el estacionario, lo cual tendrá lugar cuando los rayos visuales conserven su paralelismo en las posiciones T, y V, de ambos astros.

Por igual motivo, la época de la conjuncion superior, y de la estacion siguiente se retardarán, pero el sentido del movimiento y la distancia variable del planeta al Sol conservarán las mismas apariencias que en el sistema ptolemaico.

Ptolemeo y Kopérnico admitian que las órbitas planetarias no eran rigorosamente concéntricas al Sol, sino que presentaban una ligera dislocacion que llamaban excentricidad. Este último astrónomo, sabia, pues era doctrina admitida, que la hipótesis de un movimiento uniforme en un círculo excéntrico, aunque da cuenta de las irregularidades del movimiento angular planetario, obliga á duplicar el valor verdadero de los cambios de distancia; adoptó por lo tanto, por valor de la excentricidad, un promedio, entre el que satisfacia al movimiento en longitud, y el correspondiente á los cambios de distancia, agregando un pequeño epiciclo de esta excentrici-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dad; suponiendo además que el planeta efectuara dos revoluciones en este epiciclo por cada revolucion al rededor del Sol, llegaba á representar ambas irregularidades.

La obra de Kopérnico hizo avanzar á la astronomía en poco tiempo, de un modo prodigioso, á pesar de estar basada en muchos puntos, en ciertas doctrinas de Ptolemeo y de los antiguos filósofos, puesto que con ellos admitia que tanto los cielos como la Tierra eran esféricos, y que todos los movimientos celestes eran circulares ó compuestos de círculos. Mas con todo eso, poco hubiera sido el adelanto de la ciencia, sin un conocimiento mas perfecto de las leyes de los movimientos celestes y sin observaciones mas exactas de las posiciones de los astros. En esta última direccion se inició primeramente el progreso, gracias al genio y á la fuerza de voluntad de Tycho Brahe.

Nació este astrónomo en 1546, tres años despues de la muerte de Kopérnico; la observacion de un eclipse de Sol ocurrido el 21 de agosto de 1560, le hizo aficionarse á la astronomía, asombrado de que tal fenómeno pudiera anunciarse, consagrándose por completo al estudio de esta ciencia admirable. En 1576 fundó el rey de Dinamarca el famoso observatorio de Uraniberg, en el que Tycho, por espacio de veinte años consecutivos, estudió las posiciones de los cuerpos celestes, empleando los instrumentos mas perfectos que podian construirse en aquella época. Por desgracia, aun no se habia inventado el anteojo, y este astrónomo hizo todas sus observaciones á la simple vista, de modo que su importancia y celebridad se deben principalmente á que suministraron á Keplero los medios de descubrir sus inmortales leyes de los movimientos planetarios.

Como astrónomo teórico fué Tycho poco afortunado; rechazó el sistema de Kopérnico apoyándose en una razon que en su tiempo no dejaba de tener alguna fuerza, esto es, la increible distancia á que habia que suponer situadas las estrellas fijas, para que pudiera ser aceptable el movimiento de traslacion de la Tierra. Hemos visto que segun el sistema del canónigo de Thorn, los planetas superiores parecen describir una revolucion anual en un epiciclo, en consecuencia del movimiento de traslacion de la Tierra al rededor del Sol; las estrellas fijas, que están situadas fuera del sistema solar, debieran presentar el mismo movimiento si la hipótesis fuese verdadera, movimiento que no revelaban ni las observaciones de Tycho, ni las de sus predecesores.

A esto hubieran debido replicar los defensores de Kopérnico, que las estrellas fijas están demasiado léjos para que fuese posible percibir estos movimientos; los astrónomos de aquella época admitian como axiomático que la naturaleza no podia dilapidar el espacio hasta el punto de que entre la órbita de Saturno, último planeta conocido entonces, y las estrellas fijas, hubiera una distancia cien veces mayor que la de este planeta al Sol. Pero al mismo tiempo, las pruebas que aducia Kopérnico en favor de la teoría heliocéntrica eran demasiado poderosas para que fuese posible destruirlas; Tycho, por lo tanto, adoptó un sistema intermedio entre el de Ptolemeo y el de Kopérnico. Supuso que los cinco planetas giraban al rededor del Sol, como centro de sus movimientos, que el Sol tambien giraba en una órbita ánua en torno de la Tierra y que esta, inmóvil, era el centro del universo.

Tal vez fué una circunstancia favorable para la admision del sistema de Kopérnico, que los instrumentos astronómicos de Tycho Brahe ofreciesen una inferioridad tan marcada con los de nuestro siglo, pues si le hubieran permitido averiguar con toda exactitud que las estrellas no presentan en absoluto paralaje de ninguna especie, y que por lo tanto, de ser cierto el movimiento de traslacion de la Tierra, debieran encontrarse, cuando menos, á una distancia

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

200,000 veces superior á la del Sol, es bien seguro que los astrónomos hubieran dado la preferencia al sistema ptolemaico.

Tycho no adujo en favor de su hipótesis ninguna clase de pruebas, y es difícil averiguar cómo hubiera podido destruir las numerosas objeciones que contra su absurdo sistema pueden formularse. Nunca tuvo ningun discípulo notable, salvo entre los eclesiásticos, y el invento del anteojo disipó las pequeñas dudas que algunos abrigaban sobre la exactitud del sistema de Kopérnico.

Nació Keplero en Wurtemberg el año 1547; durante algun tiempo ayudó á Tycho Brahe en sus cálculos, pero tenia demasiada penetracion para adoptar el absurdo sistema de su maestro; comprendiendo la verdad de la teoría de Kopérnico, trató de determinar por sí mismo las leyes de los movimientos de los planetas al rededor del Sol. Hemos visto que el mismo Kopérnico adoptó la antigua teoría de que los cuerpos celestes se movían uniformemente en órbitas circulares y que por ello tuvo que admitir la existencia de un pequeño epiciclo para explicar las irregularidades de los movimientos.

Las observaciones de Tycho, mucho mas exactas que las de sus predecesores, demostraron á Keplero la insuficiencia de esta teoría para representar los verdaderos movimientos de los planetas en torno del Sol; el cuerpo mas favorable para esta investigacion era Marte, por estar muy cerca de la Tierra, presentando al propio tiempo una órbita de gran excentricidad. El único medio de que podia valerse Keplero para sus investigaciones consistia en formular varias hipótesis respecto de la órbita en que se movia el planeta y por estas hipótesis calcular sus posiciones y movimientos segun se viera desde la Tierra, tratando de comparar las posiciones calculadas con las observadas para averiguar si concordaban ó no. Como Keplero desconocia el uso de los logaritmos, inventados poco despues, que de tal manera abrevian los cálculos, cada investigacion de una de sus hipótesis costaba al ilustre astrónomo un trabajo inmenso.

Por fin averiguó que la forma de la órbita no era circular, sino elíptica, y trató de investigar qué efecto produciria el Sol colocado en uno de los focos de la elipse; en este caso el movimiento del planeta satisfacia á la hipótesis, si su velocidad se consideraba variable y mayor, cuanto menos distase del Sol. De este modo y paso á paso llegó á formular sus tres leyes inmortales sobre los movimientos de los planetas, y que dicen así:

1 La órbita de cada planeta es una elipse y el Sol ocupa uno de los focos.

2 A medida que el planeta se mueve al rededor del Sol, su radio vector ó línea que lo une al astro central, recorre espacios ó áreas iguales, en tiempos iguales.

Antes de explicar estas leyes veamos la manera fácil de trazar una elipse.

Tírese una recta indefinida (fig. 101) y sobre ella clávense dos puntas ó alfileres á los que se amarran los extremos de un hilo, cuidando de que la parte comprendida entre los dos clavitos sea mas larga que la distancia que haya entre estos. Por medio de un lápiz, y tesando el hilo como muestra el grabado, se traza la mitad de la elipse y echando el hilo al otro lado se acaba de cerrar; los dos puntos F F son los focos de la elipse, las dos porciones del hilo los radios vectores y la distancia O F del centro á uno de los focos la excentricidad. La primera ley apenas exige explicacion.

Veamos ahora qué quiere decir la segunda ley. Supongamos que á contar de P (figura 102) marcamos en la órbita de un planeta sus diversas posiciones en varios intervalos de tiempo iguales, como de 30, 60, 90 ó mas dias. Si de P y P_1 tiramos dos líneas que se encuentren en S, y hacemos lo mismo de P_2 y P_3 y de P_4 y P_5, resultarán tres espacios triangulares iguales recorridos por el radio vector en intervalos de tiempo idénticos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La antigua teoría de que los movimientos de los cuerpos celestes debian de ser circulares y uniformes, ó cuando menos, compuestos de elementos circulares y constantes, quedó destruida, sustituyendo la elipse al círculo, y al movimiento uniforme el movimiento variable.

Otra ley planetaria, no menos importante que las dos anteriores, fué poco despues descubierta por Keplero. Sabia Kopérnico, que mientras mayor era la distancia de un planeta, mas tiempo necesitaba para efectuar su revolucion al rededor del Sol, no solo porque su órbita fuese de desarrollo

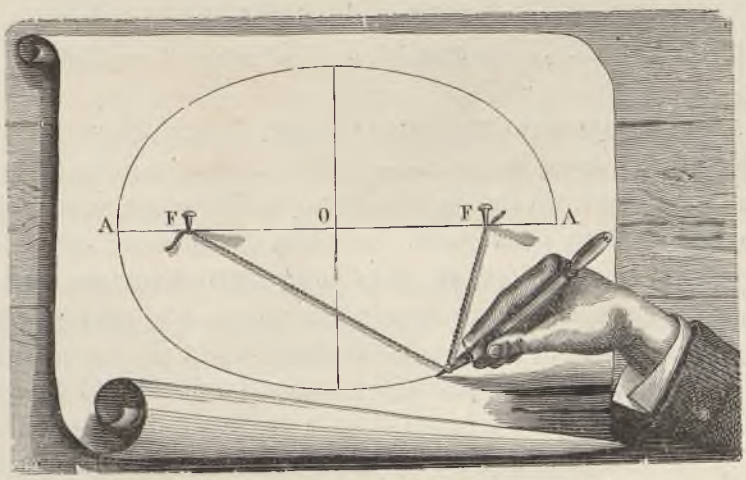


Fig 102 — Método para trazar una elipse

mas considerable, sino tambien por ser su movimiento real mas lento. Por ejemplo, Saturno está unas 9 $^1/_2$ veces mas distante que la Tierra, y si caminase con la misma velocidad que nuestro globo, efectuaria su revolucion en nueve años y medio, y

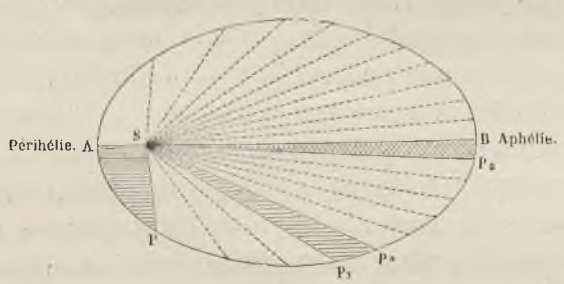


Fig. 103.—Demostracion de la segunda ley de Keplero

sin embargo, invierte en ella de 29 á 30 años. Kopérnico no se fijó jamás en las relaciones que existen entre las distancias de los planetas y sus periodos de revolucion, pero Keplero, como decimos, descubrió despues de largos cálculos su tercera ley.

3 El cuadrado del tiempo de revolucion de cada planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Esta ley se demuestra en la siguiente tabla; la primera columna indica el nombre del planeta; la segunda, su distancia media segun se conocia en tiempo de Keplero, expresada en unidades astronómicas; unidad astronómica se llama á la distancia media de la Tierra al Sol. La tercera, el cubo de esta cantidad; la cuarta el periodo de revolucion en años y la quinta el cuadrado de este tiempo. Es muy de notar la concordancia de las cantidades comprendidas en la tercera y quinta columnas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Planetas	Distancia	Cubo de la distancia	Periodo (años)	Cuadrado del periodo
Mercurio	0,387	0,058	0,241	0,058
Vénus	0,723	0,378	0,615	0,378
La Tierra	1,000	1,000	1,888	1,001
Marte	1,524	3,540	1,881	3,538
Júpiter	5,203	140,800	11,860	140,660
Saturno	9,539	868,000	29,460	867,900

Puede decirse, que en cuanto concierne á la determinacion de las leyes de los movimientos planetarios deducida de las observaciones, no dejó Keplero nada por hacer; dada la posicion y magnitud de la órbita elíptica en que se mueve un planeta y el punto de esta órbita en que se encuentra en determinado momento, es posible calcular la posicion que ocupará en cualquiera otra fecha. No es esto, empero, rigorosamente exacto, y si Keplero hubiera tenido á su disposicion observaciones tan precisas como las que se efectúan en nuestra época, pronto habria echado de ver que sus leyes no representaban con toda fidelidad los movimientos de los planetas; no solo hubiera observado que la órbita elíptica variaba de posicion de un siglo á otro, sino tambien que los planetas se apartaban de ella, primero en una direccion y luego en la opuesta, siendo asimismo desiguales las áreas descritas por el radio vector.

¿Qué razon hay para que los planetas se muevan en órbitas elípticas? ¿Por qué describe el radio vector áreas proporcionales á los tiempos? ¿Por qué ha de existir esta relacion exacta entre sus distancias y los tiempos de sus revoluciones?

Mientras no se halló la respuesta á estas preguntas, fué imposible decir por qué no se ajustaban con todo rigor los planetas á las leyes enunciadas por Keplero; para ello era necesario descubrir las leyes generales del movimiento, desconocidas por completo en tiempo del gran astrónomo.

Al ilustre contemporáneo de Keplero, á Galileo, se debe el primer paso importante dado en el descubrimiento de estas leyes. Siguióle Descartes, gran matemático y mecánico; este filósofo fué el primero que trató de reducir á una ley general los movimientos de los cuerpos celestes, en su famosa teoría de los vórtices, que por algun tiempo disputó el campo á la hipótesis de la gravitacion universal de Newton. Segun Descartes, el Sol se halla sumergido en una masa flúida inmensa, que se extiende indefinidamente en todas direcciones; por su rotacion, hace girar tambien las porciones inmediatas del flúido, que á su vez trasmiten el movimiento á las otras partes mas lejanas, y así sucesivamente, hasta que toda la masa se encuentra en rotacion como un inmenso torbellino, dentro del cual circulan los planetas. De estos, los que se encuentran mas distantes, se mueven con mayor lentitud porque el éter experimenta menor influjo de la rotacion solar á causa de la distancia misma. En el gran vórtice del sistema solar habia otros mas pequeños, pues cada planeta ocupaba el centro de uno, y de este modo, flotando los satélites en el éter, eran arrastrados en torno del cuerpo primario. Si hubiera llegado á demostrar Descartes, que las secciones de estos vórtices estaban dotadas de movimiento elíptico, que el Sol se hallaba situado en uno de los focos de la elipse, y que describian áreas iguales en tiempos iguales disminuyendo la velocidad segun crecia la distancia al Sol, con arreglo á la tercera ley de Keplero, la teoría de los torbellinos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ó teoría cartesiana habria sido admitida por todos los sabios. Mas como nada de esto era cierto, antes hay que considerar la hipótesis de Descartes como un retroceso, que no como un verdadero adelanto de la ciencia; sin embargo, la reputacion de este filósofo hizo que su teoría encontrara muchos partidarios, entre los que hay que contar á su discípulo, el famoso Bernouilli.

El gran matemático Huyghens descubrió posteriormente las leyes de la fuerza centrífuga, y de haberlas aplicado al sistema solar, hubiese llegado á averiguar que los planetas están retenidos en sus órbitas por una fuerza que varia en razon inversa del cuadrado de su distancia al Sol; de aquí á la teoría de la gravitacion, apenas hay un paso, pero el gran descubrimiento necesitaba un espíritu superior para manifestarse, y este fué el del inmortal Newton.

Aunque son muchos los que se admiran de la verdadera significacion del gran descubrimiento de Newton de la gravitacion universal, pocos llegan á comprender su verdadera significacion. En general se considera la gravitacion como una fuerza misteriosa, que solo ejerce su influjo entre los cuerpos celestes, y que fué descubierta por el eminente matemático inglés; pues aun en este caso no seria tan admirable el descubrimiento de Newton, como lo es en realidad. La gravitacion es un fenómeno, que en esfera mas reducida, conoce todo el mundo, pues se reduce sencillamente á la fuerza que hace caer todos los cuerpos hácia el suelo, ó mejor dicho, hácia el centro de la Tierra; todo el que haya visto caer una piedra ó haya tratado de suspender un peso cualquiera, tiene conocimiento de la existencia de la gravitacion. Newton lo que hizo fué demostrar que los movimientos de los planetas se debian á una fuerza universal, que lo mismo obra sobre la manzana desprendida del árbol, que sobre los gigantescos mundos del espacio, despojando así de su carácter maravilloso al mecanismo de los cielos. El perpetuo movimiento de los planetas en círculos ó elipses, era para sus antecesores fenómeno en un todo diferente de los movimientos que se observaban en la superficie de la Tierra, sin que pudieran sospechar que se hallaban regidos por unas mismas leyes.

No se debe á Newton, como generalmente se cree, la primera idea acerca de una fuerza cósmica, que emanando del Sol ó de la Tierra, fuese orígen de los movimientos de los astros. Hemos visto que el mismo Ptolemeo llegó á obtener alguna idea de una fuerza que, obrando siempre hácia el centro de la Tierra, ó lo que para él era lo mismo, hácia el centro del universo, no solo obligaba á caer á los cuerpos pesados, sino que al propio tiempo ligaba todos los astros. Esta era tambien la opinion de Keplero, quien sostenia que la fuerza que impulsaba á los planetas residia en el Sol; mas ni Ptolemeo, ni Keplero, pudieron presentar ninguna explicacion adecuada de la fuerza, fundada en las leyes mecánicas que se refieren á los cuerpos y fenómenos que nos rodean, ni era tampoco posible formar un juicio acertado de su verdadera naturaleza, sin conocer las leyes generales del movimiento y la fuerza, cuyo conocimiento jamás alcanzaron estos astrónomos.

Hasta la época de Galileo se creia generalmente, que era necesaria la accion de una fuerza contínua, para que un cuerpo conservase su movimiento; que el mismo Keplero participaba de esta idea se demuestra por el hecho de que aceptaba ó concebia que una fuerza cuya accion se ejerciese únicamente en la direccion del Sol, era insuficiente para sustentar los movimientos planetarios, y que era menester otra fuerza suplementaria que empujase los planetas hácia adelante; esta segunda fuerza tenia su orígen en la rotacion del Sol sobre su eje. Difícil es afirmar quién fué el primero que claramente comprendió, que esta suposicion era por todo extremo inexacta, y que un cuerpo, puesto una vez en movimiento, sin que obre sobre él fuerza algu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

na, jamás vuelve á su estado de reposo; poco á poco, empero, se fué extendiendo esta idea, puesto que Leonardo de Vinci la conocia, y se encuentra contenida implícitamente en las leyes de Galileo sobre la caida de los cuerpos y en la teoría de Huyghens de las fuerzas centrales; mas, sin embargo, ninguno de estos físicos parece haberla expuesto con completa claridad y precision. A Newton, pues, se debe atribuir su verdadera demostracion, que enunció en las tres leyes siguientes sobre el movimiento, bases de su descubrimiento inmortal.

Primera ley. Un cuerpo en movimiento, que no se halle sujeto á fuerza alguna, caminará eternamente en línea recta y con velocidad uniforme.

Segunda ley. Si sobre un cuerpo en movimiento, obra una fuerza cualquiera, su desviacion de la línea recta ó del movimiento definido en la primera ley, tendrá lugar en la direccion de la fuerza secundaria y será proporcional á ella.

Tercera ley. La potencia y la resistencia son iguales y de direcciones opuestas, esto es, que cuando un cuerpo cualquiera ejerce una fuerza sobre otro, el segundo produce sobre el primero un efecto igual pero en direccion contraria.

La primera de estas leyes es la fundamental; si por tantos siglos erraron los hombres sobre este punto y si tanto se tardó en descubrirla, se debe á que no hay en la superficie de la Tierra cuerpo alguno sobre el cual no tenga efecto tal ó cual fuerza, y por lo tanto, no es posible hallar un ejemplo de un cuerpo que se mueva continuamente en línea recta. Cualquier cuerpo que se hubiese elegido para efectuar el experimento se encontraria sujeto, cuando menos, á la accion de la gravedad terrestre, es decir, á su propio peso, y por consecuencia pronto hubiera vuelto á caer en la superficie del suelo. Otras fuerzas contrarias al movimiento, y que tambien hay que llevar en cuenta, son el rozamiento y la resistencia del aire.

Ahora nos hallamos en aptitud de comprender, de qué modo ensanchó Newton sus teorías de lo que vió en la Tierra, hasta llegar al descubrimiento del principio inmortal á que su nombre va unido. Vemos que existe una fuerza que constantemente obra en la Tierra, por lo cual todos los cuerpos tratan de dirigirse hácia su centro; esta fuerza se extiende sin diminucion sensible hasta la cresta de las mas empinadas montañas. Pero ¿cuáles serán sus límites? ¿Por qué no se extenderá hasta la Luna? Si así es, tratará nuestro satélite de caer hácia el centro de la Tierra, del propio modo que la piedra abandonada en el aire. Y en tal caso, ¿por qué no ha de ser esta sencilla fuerza de gravedad, la que mantiene á la Luna en su órbita y le impide que se aparte de ella caminando en línea recta en virtud de la primera ley?

Para contestar á esta pregunta era necesario calcular la fuerza que se necesitaba para mantener á la Luna en su órbita, comparándola al propio tiempo con la gravedad; en aquella fecha sabian los astrónomos que la distancia de la Luna á la Tierra era igual á unos sesenta semidiámetros terrestres. Al principio supuso Newton que el diámetro de la Tierra era inferior á 7,000 millas (2816 leguas) y por consecuencia sus cálculos le condujeron á un resultado inexacto; en esta época tenia Newton 23 años. Durante veinte años dejó abandonados sus trabajos, mas al saber que las medidas de Picard en Francia demostraban que la Tierra era una sexta parte mayor de lo que se suponia, volvió á ocuparse del asunto. Sus cálculos le demostraron que las desviaciones de la órbita de la Luna respecto del movimiento rectilíneo, eran comparables á una caida de $4^m\,88$ en un minuto, distancia igual á la que recorre un cuerpo cualquiera en un segundo, en la superficie de la Tierra. Siendo la distancia recorrida proporcional al cuadrado de los tiempos, se deduce que la fuerza de gravedad en la superficie de nuestro globo es 3,600 veces

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mayor, que la fuerza que retiene y sujeta á la Luna en su órbita. Este número es el cuadrado de 60 que expresa cuántas veces mas que nosotros dista la Luna del centro de la Tierra. Luego la fuerza que mantiene á la Luna en su órbita es la misma que produce la caida de una piedra, con la diferencia de hallarse disminuida en razon inversa del cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Los planetas se mueven en torno del Sol del propio modo que la Luna gira al rededor de la Tierra y deben, por lo tanto, poseer cierta tendencia á caer en aquel luminar; la fuerza que produce este fenómeno tiene que ser precisamente la gravitacion misma del Sol. Un cálculo muy sencillo, fundado en la tercera ley de Keplero, demuestra que la fuerza con que cada planeta gravita hácia el Sol, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia media del planeta.

Debemos ahora completar nuestro estudio, investigando qué clase de órbita ha de describir un planeta, hallándose solicitado por una fuerza que se dirige hácia el centro del Sol, en proporcion inversa al cuadrado de su distancia. Una demostracion muy sencilla prueba que, independientemente de las leyes de la fuerza, si esta se dirige hácia el Sol, el radio vector del planeta recorrerá áreas iguales en tiempos iguales. Y, por el contrario, si la fuerza obra en cualquiera otro sentido, no recorre el radio vector áreas iguales en tiempos iguales, de donde se deduce, por la segunda ley de Keplero, que la fuerza obra hácia el centro del Sol.

En la época de Newton eran muy pocos los matemáticos que estaban en condiciones de poder acometer el problema de determinar la forma de la órbita descrita por un planeta. El ilustre astrónomo inglés probó, por medio de una demostracion rigorosa, que la órbita podia ser eliptica, parabólica ó hiperbólica, segun las circunstancias, ocupando el Sol uno de los focos, lo que tratándose de una elipse, era la primera ley de Keplero. De esta suerte desaparecia toda clase de misterio en los movimientos celestes, demostrándose que los planetas eran cuerpos pesados que circulaban en virtud de las mismas leyes que rigen á nuestra vista los movimientos de los objetos situados en la superficie terrestre. La sencilla ley de la gravitacion hácia el Sol, comprendia las tres leyes de Keplero, segun una fuerza que obraba en razon inversa del cuadrado de la distancia.

El principio de la gravitacion explica de un modo concluyente la tercera ley de Keplero. Hemos visto, que si tomamos los cubos de las distancias medias de varios planetas y los dividimos por el cuadrado de los tiempos de revolucion, el cociente será uno mismo para cada planeta del sistema. Si del propio modo tratamos los satélites de Júpiter, cubicando la distancia de cada uno de ellos al cuerpo primario, y dividimos el cubo por el cuadrado del tiempo de revolucion, el cociente será igual para cada satélite, pero distinto del que corresponde á los planetas. Este cociente, en una palabra, es proporcional á la masa ó peso del cuerpo céntrico. En el caso de los planetas es 1,050 veces mayor que cuando se trata de los satélites de Júpiter, lo cual demuestra que el Sol pesa 1,050 veces mas que el planeta Júpiter. Así, pues, nos encontramos con un método muy conveniente para averiguar la masa ó peso de los planetas que estén acompañados de satélites, midiendo las órbitas de estos últimos y determinando los tiempos de sus revoluciones, si bien el peso no se expresa en toneladas, sino en fracciones de la masa solar.

Aun tenemos algo que investigar, pues la ley es incompleta hasta la presente; á causa de la tercera ley del movimiento, debe ser mutua la atraccion entre el Sol y los planetas. Si la Tierra atrae á la Luna, siendo general la ley, debe atraer tambien á los planetas, y estos deben asimismo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

atraerse mutuamente, alterándose por tal causa sus movimientos al rededor del Sol; ahora bien, las observaciones han demostrado que los planetas no se mueven precisamente como indican las leyes de Keplero, de modo que la cuestion final se reduce á saber si las atracciones mutuas de los planetas dan cuenta exacta y precisa de las desviaciones. Este asunto fué resuelto por Newton de un modo imperfecto á causa de su extremada complicacion, y del atraso relativo de las ciencias matemáticas; pudo empero demostrar, que la atraccion del Sol debia producir ciertas desigualdades en el movimiento de la Luna, de igual naturaleza que las reveladas por la observacion, mas le fué imposible calcular su verdadero valor.

No basta para explicar la teoría de Newton, decir sencillamente que el Sol, la Tierra y los planetas, se atraen unos á otros; si dividimos la materia tan finamente como nos sea posible, veremos que siempre conserva su poder de atraccion, lo cual se debe á que tiene peso, y puesto que la Tierra atrae las partículas mas ténues que podemos imaginar, estas, en virtud de la tercera ley del movimiento, deben atraer tambien á nuestro globo con igual fuerza; de donde se deduce que la fuerza de atraccion reside, no en la Tierra como un todo, sino en cada partícula individual de la materia de que se compone, esto es, que la atraccion de la Tierra sobre una piedra, es simplemente la suma total de las atracciones entre la piedra y todas las partículas que componen el globo terrestre.

No se conoce límite alguno á la fuerza de gravitacion, que se extiende á todas las distancias imaginables, al menos en el mundo solar; la atraccion del Sol sobre los planetas mas lejanos como Urano y Neptuno, demuestra que la ley de Newton no sufre modificacion alguna sensible, pero debido á la rápida diminucion que experimenta á causa de los cuadrados inversos, cuando se trata de distancias tan enormes como las que nos separan de las estrellas fijas, llega á ser tan pequeña aun la gravitacion del Sol, que seria necesario un período de un millon de años, para producir un efecto apreciable. Hénos aquí ahora en disposicion de formular, para concluir este párrafo, la gran ley de la gravitacion universal:

Todos los cuerpos del universo, grandes ó pequeños, se atraen mutuamente con una fuerza que está en razon directa de sus masas é inversa del cuadrado de la distancia que medie entre ellos.

IV

Distancia de la Tierra al Sol deducida de los pasos de Venus

El método mas famoso que se ha empleado para la determinacion de la paralaje del Sol, ha sido el de los pasos de Vénus por delante del disco del gran luminar, método que permite averiguar la diferencia de paralaje de ambos cuerpos. Las tablas astronómicas nos enseñan que el fenómeno de los pasos se verifica segun un ciclo periódico, cuatro veces cada 243 años; este ciclo se compone de cuatro intervalos, cuyas longitudes son, en órden regular, 105 ½ años, 8 años, 121 ½ años, 8 años, despues de lo cual se repiten los mismos intervalos. Las fechas en que el fenómeno se ha verificado y ha de tener lugar en un período de ocho siglos son las siguientes:

1518	2	de Junio	1882	6	de Diciembre
1526	1	» »	2004	8	de Junio
1631	7	de Diciembre	2012	6	» »
1639	4	» »	2117	11	de Diciembre
1761	5	de Junio	2125	8	» »
1769	3	» »	2247	11	de Junio
1874	9	de Diciembre	2255	9	» »

Tan solo en época reciente ha podido predecirse y observarse el fenómeno, pues ni en 1518 ni 1526 parece que á ningun astrónomo se le ocurrió el partido que era dable sacar de un paso de Vénus por el disco del Sol. En el siglo siguiente nació Keplero, quien de tal manera perfeccionó

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las tablas planetarias, que llegó á predecir un paso para el 6 de diciembre de 1631, si bien este comenzaba despues de la puesta del Sol en Europa y concluia antes de su orto al dia siguiente, por manera que de nadie fué percibido. Desgraciadamente, distaban mucho las tablas de ofrecer una completa exactitud, así que el mismo astrónomo no pudo predecir el siguiente paso de 8 años despues, anunciando Keplero que el fenómeno no se repetiria hasta 1761. El paso de 1639, por lo tanto, como todos los anteriores, hubiera sido inútil para los progresos de la ciencia, sin el talento y entusiasmo de Horrox, quien, como en otro lugar hemos referido, lo observó con gran dificultad.

Durante el intervalo trascurrido entre

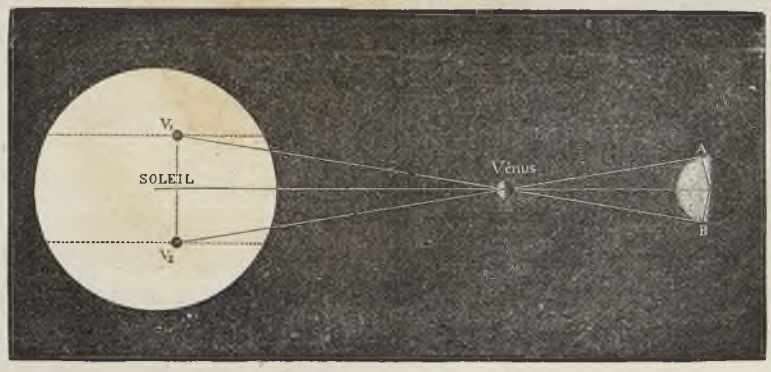


Fig. 104.—Determinacion de la distancia del Sol por los pasos de Vénus

este paso y el siguiente de 1761, progresó rápidamente la astronomía en cuanto á la exactitud de sus métodos, gracias al descubrimiento de la ley de la gravitacion y á la aplicacion del anteojo á las medidas celestes. El descubrimiento de Halley de que la observacion del paso de Vénus desde distintos puntos de la Tierra podia servir para determinar la distancia del Sol, prestó al asunto mayor interés.

Sin entrar aquí en los pormenores del cálculo de este problema, que son sumamente complicados, por razon del gran número de circunstancias á que es preciso atender, explicaremos su principio, que es muy sencillo y obvio en abstracto. En la fig. 104, aunque con proporciones exageradas, se representa el Sol, Vénus y la Tierra; supongamos que A y B sean dos espectadores situados en los extremos opuestos del diámetro terrestre, perpendicular á la eclíptica; y para evitar complicaciones, dejaremos de llevar en cuenta la rotacion de la Tierra, suponiendo que A y B permanecen en la misma situacion durante todo el fenómeno. Segun esto, en cualquier momento en que el espectador A ve el centro de Vénus proyectado en V_2 sobre el disco del Sol, el de B lo verá proyectado en V_1. Si, pues, uno de los espectadores pudiera trasladarse en un instante desde A á B, veria á Vénus variar repentinamente de posicion sobre el disco del Sol desde V_2 á V_1; y si tuviese algun medio de fijar con exactitud el lugar del planeta sobre el disco del Sol, ó por medidas micrométricas entre sus respectivos márgenes, ó de cualquier otro modo, podria determinar la medida angular de V_1 V_2 cual aparece desde la Tierra. Y como por ser A V_2 y B V_1 líneas rectas, son iguales los ángulos opuestos que forman en Vénus, tendremos que V_1 V_2 será á A B, como la distancia de Vénus al Sol es á la distancia del planeta á la Tierra, ó como 68 á 27, ó próximamente como $2\,^1/_2$ á 1; por consiguiente V_1 V_2 ocupa sobre el disco del Sol un espacio, que es igual á $1\,^1/_2$ veces el diámetro de la Tierra, y su medida

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

angular es igual por la misma razon á 2 $^1/_2$ veces el diámetro aparente de la Tierra visto desde el Sol, ó lo que es lo mismo, á cinco veces la paralaje horizontal del Sol. Por tanto, cualquiera error que pueda cometerse en la medicion de V_1 V_2, solo entrará por una quinta parte en el valor de la paralaje horizontal que de ella se deduzca.

Lo que hay, pues, que averiguar, no es mas ni menos en realidad, que el ancho de la zona comprendida entre las líneas extremas que aparentemente describe Vénus sobre el disco del Sol, desde que entra por uno de sus márgenes hasta que sale por el otro. Y así, todo el trabajo de los observadores en A y en B, viene á reducirse á fijar con el mayor esmero y exactitud asequibles, esta línea ó senda, es decir, el punto por donde entra en el disco solar, el punto por donde sale, y el segmento que en él determina.

Ahora bien, uno de los modos mas exactos (juntamente con las escrupulosas medidas micrométricas) de conseguir este objeto, es observando el intervalo de tiempo que dura todo el paso; porque conociéndose de hecho con la mayor puntualidad el movimiento angular relativo de Vénus, por sus tablas, y siendo su curso aparente casi rectilíneo, dan estos intervalos una medida extraordinariamente amplificada, del largo de las cuerdas de dichos segmentos; y como por otra parte se conoce tambien con gran exactitud el diámetro del Sol, puede averiguarse por medio de una sencilla fórmula, el ancho de la zona que se busca. Para obtener correctamente estos intervalos, debe cada observador determinar los instantes del ingreso y del egreso del centro del planeta para lo cual tiene que anotar: 1.° el instante en que se hace la primera impresion ó mordedura sobre el márgen del disco, que es el primer contacto externo; 2.° el momento en que el planeta acaba de internarse, y se restablece la interrumpida redondez del disco solar, que es el momento del primer contacto interno; y finalmente tiene que hacer las mismas observaciones á la salida del planeta. El promedio de los contactos interno y externo da el instante del ingreso y del egreso del centro del planeta.

Las modificaciones que en este procedimiento obligan á introducir la rotacion de la tierra sobre su eje, y la variedad de posiciones geográficas de los observadores, siempre distintas de las que aquí hemos supuesto, son semejantes en su principio á las que entran en el cálculo de un eclipse solar, ó de una ocultacion de estrella por la Luna, sin mas diferencia que estar llevadas á mayor grado de escrupulosidad y delicadeza. Toda consideracion sobre ellas nos alejaria de los límites de una obra como la presente; pero aun así, expuesta en globo, ofrece la materia un ejemplo admirable de cómo los elementos de la astronomía, por mas diminutos que sean, pueden aparecer amplificados en sus efectos, y sometidos en punto mayor á la medicion, ó sustituida la medida del tiempo á la del espacio llegando á determinarse con el grado de precision adecuado al objeto que se pretende, con solo aprovechar las oportunidades favorables, y sacar partido de la acertada combinacion de las circunstancias.

Varias, como en otro lugar dejamos apuntado, fueron las expediciones equipadas por distintos gobiernos para observar el paso de 1769; con liberalidad no menor, las naciones mas cultas de Europa y América, en nuestros dias mismos, esto es, en 1874, enviaron de igual modo á los confines del mundo, expediciones astronómicas para observar este último paso. Los rusos observaron al Norte del lago Baikal en la Siberia; en ese clima y en diciembre, solo los moscovitas podian desafiar los rigores de la estacion. Lord Lindsay, opulento y entusiasta astrónomo, equipó á su costa una expedicion particular que se estableció en la isla Mauricio; los observadores oficiales ingleses fueron á Egipto, Australia, China

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y el Japon; á este país y á la isla de San Pablo, peñasco volcánico del hemisferio austral, los franceses; los americanos observaron en Pekin, en el Japon, en Nueva Zelandia y otros puntos; los italianos en la India y los alemanes tambien se esparcieron por todos estos países tan remotos.

En este paso se hizo uso de varios métodos astronómicos; del de Halley que hemos explicado, del de Delisle y de la fo-

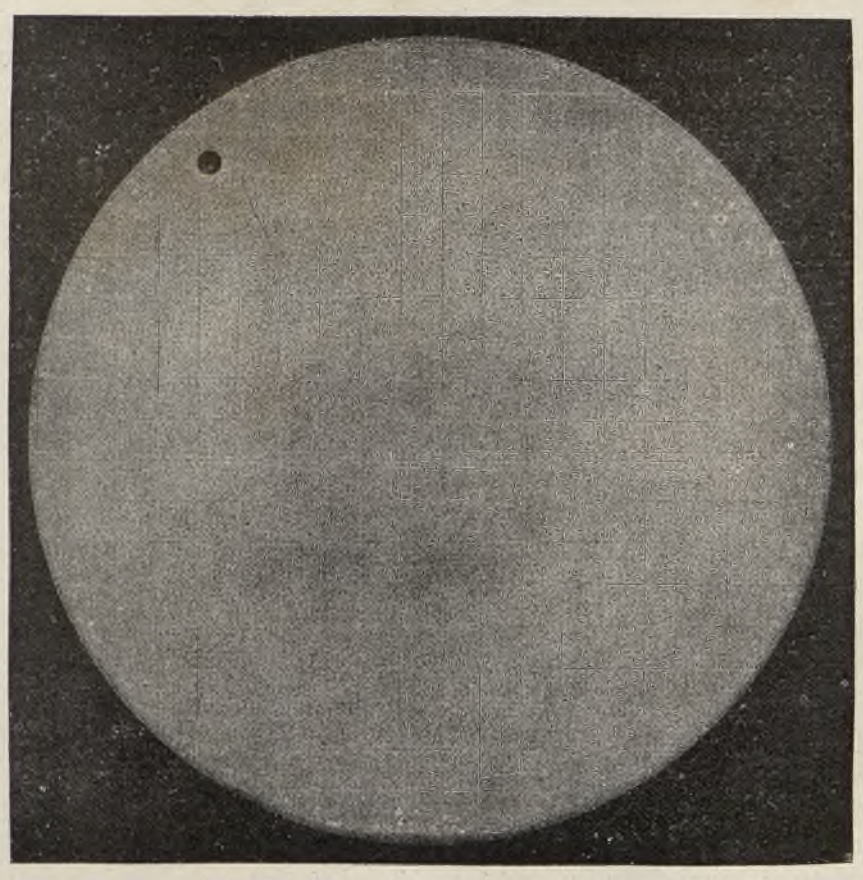


Fig. 105.—Paso de Vénus de 1874; facsimile de una fotografía de Janssen

tografía; este último y novísimo procedimiento exige unas medidas é investigaciones ulteriores, tan minuciosas y delicadas, que hasta la presente poco se ha publicado que podamos referir al lector, en lo relativo al menos, á la parte mas interesante del asunto, ó sea de la paralaje solar.

Como resultados físicos se han obtenido unas colecciones fotográficas de inestimable valor. La fig. 105 es una reproduccion de una fotografía obtenida por Janssen durante el último paso; en torno del círculo negro de Vénus se percibe un anillo nebuloso que se proyectaba sobre el disco solar en el momento de la inmersion, y que indica que el planeta está rodeado por una atmósfera en extremo densa.

El conocimiento exacto de los cuerpos celestes permite que de antemano puedan calcularse los momentos en que el centro de Vénus parece que entra en el disco del Sol, ó que de él sale, en el supuesto de que el observador se encuentre situado en el centro mismo de la Tierra.

El próximo paso, único que queda que observar á la generacion presente, tendrá lugar el 6 de diciembre de 1882, principian-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

do á 1^h 36^m de la tarde y concluyendo á 7^h 33^m; su duracion total es de poco mas de seis horas. Estos momentos se refieren únicamente á los dos puntos de la Tierra que tengan el Sol en el zénit en el instante del suceso, bien á la entrada, ora al egreso de Vénus. En otros lugares de la Tierra variarán las horas, en adelanto ó en atraso, respecto de la hora dada para el centro, siendo las observaciones mas convenientes mientras mayores sean las diferencias.

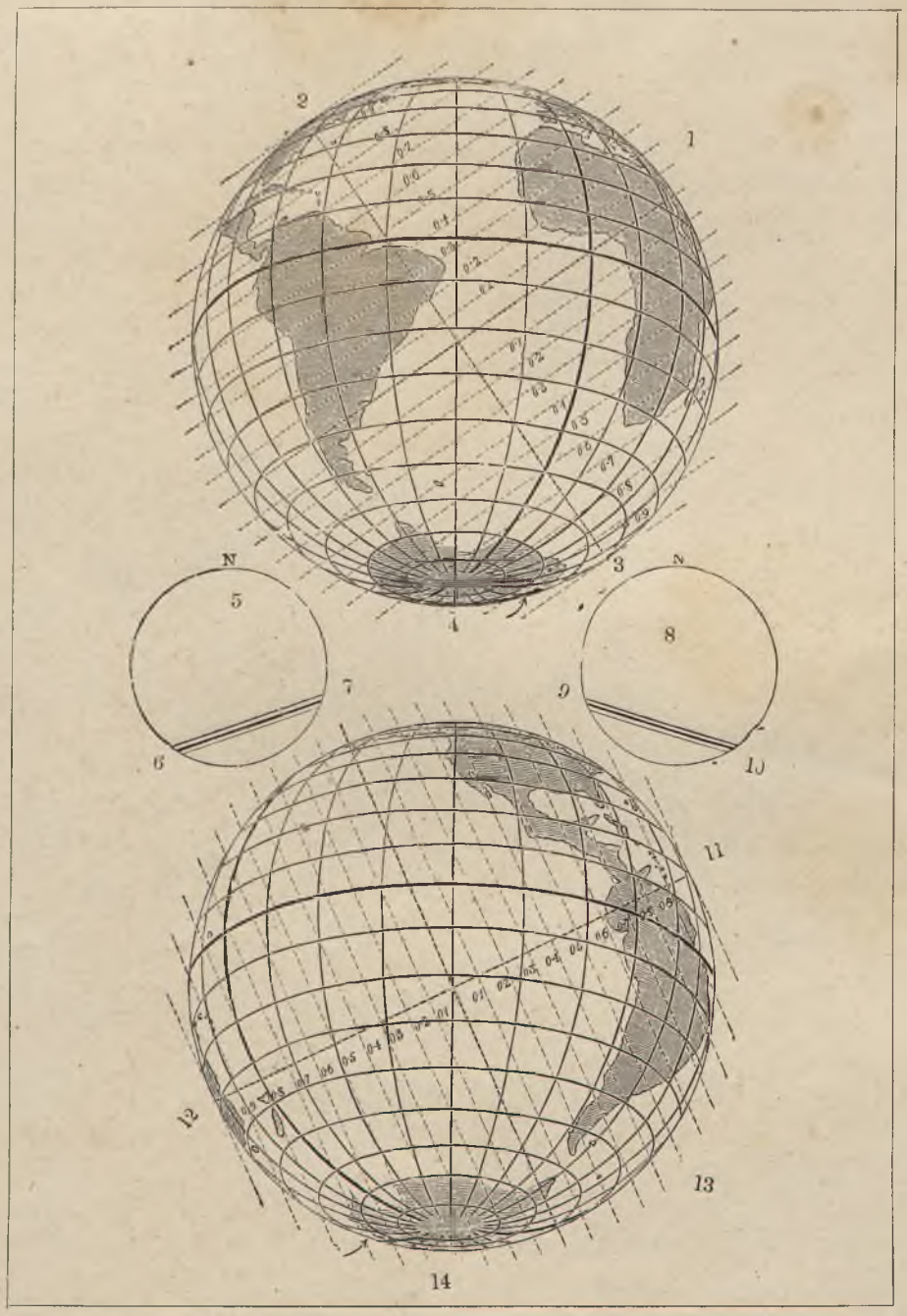
La lámina adjunta representa los dos hemisferios iluminados de la Tierra, el primero en el momento del ingreso de Vénus y el segundo en el instante de su salida del disco solar. Los centros de ambos hemisferios indican los dos puntos de la Tierra, en los que por tener el Sol en el zénit en el momento del ingreso y del egreso, es posible observar estos fenómenos á las horas calculadas para el centro de la Tierra. Las diversas líneas de puntos, paralelas entre sí, indican los lugares en que el fenómeno se verificará con adelanto ó con atraso. Entre las dos líneas extremas, es la diferencia del adelanto al atraso de 2,00 y en las dos líneas de puntos consecutivas de 0,1, lo cual se manifiesta por las cifras 0,1 0,2, etc., que acompañan á las líneas en el grabado. Del punto central del hemisferio en que son nulos el adelanto y el atraso, difieren cada vez mas los momentos de la entrada de Vénus en el disco solar, por manera que entre los puntos extremos la discrepancia será de unos 13 minutos próximamente.

Otro tanto puede decirse respecto de los momentos del egreso, y en el segundo hemisferio se marca el adelanto y el atraso del fenómeno calculado para el centro de la Tierra.

El paso de que nos ocupamos será visible en los Estados-Unidos de la América del Norte, y en el Sur, en las regiones comprendidas entre la tierra de Sabrine y la bahía Repulse, parajes estos últimos, á no dudar, de difícil acceso en el invierno, á causa de los hielos; pero estaciones muy adecuadas para la aplicacion del método de Halley, ó sea de las diferencias de duracion de los pasos. El método de Delisle puede utilizarse con provecho en las islas Mauricio, Kerguelen y Borbon, por estar situadas favorablemente para acelerar el momento del ingreso del planeta; en los Estados-Unidos se atrasa este momento, y en la Australia oriental, la Nueva Zelandia y la Nueva Caledonia habrá tambien atraso, y adelanto, en las Antillas y costa de la América del Sur hasta Buenos-Aires.

En España se vé el principio del paso y el Sol se pone con Vénus en su disco.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



PASO DE VÉNUS POR EL DISCO DEL SOL EL 6 DE DICIEMBRE DE 1882.
CUERDA DESCRITA POR EL PLANETA SOBRE EL DISCO SOLAR

1: Lado iluminado de la Tierra en el ingreso: 6 diciembre 2 h. — 2: Ingreso retrasado.— 3: Ingreso adelantado.—4: Tierra Sabrina.—5: Disco del Sol como se ve desde la Tierra.—6: Ingreso.—7: Salida.—8: Disco del Sol invertido — 9: Salida.—10: Ingreso.—11: Salida adelantada.—12: Salida retrasada.—13: Lado iluminado de la Tierra en la salida: 6 diciembre 8 h.—14: Tierra Sabrina.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO IV

GNOMÓNICA.—EL CALENDARIO

I

Teoría y principios de los relojes de Sol ó cuadrantes solares

Es fácil de determinar la hora de un punto terrestre, cuya longitud sea conocida, por la observacion del paso por el meridiano de una de las estrellas llamadas fundamentales; el momento de este paso, segun llevamos explicado, indica el tiempo sidéreo, que sin mayor dificultad se transforma en tiempo solar. Los marinos y geógrafos se valen tambien de otros métodos, pero todos ellos exigen instrumentos especiales, para los antiguos desconocidos, y que, aun hoy dia, no se encuentran al alcance de la mayor parte de las gentes que tienen necesidad de arreglar sus relojes de un modo exacto, ó al menos, con errores de poca monta.

Valíanse con tal objeto los antiguos astrónomos, de unos instrumentos fijos llamados *gnómones*, de una voz griega que significa *estilo recto* ó *regla recta*. En la actualidad se hace uso con mas ventaja de los relojes de sol ó cuadrantes solares cuyo orígen se pierde en la noche de los tiempos, y que, así como los gnómones ó esciaterios, señalan la hora por medio de las sombras proyectadas por un eje fijo sobre un plano, al lado contrario al Sol.

Gnomónica es la ciencia que enseña á construir los instrumentos que sirven para averiguar la hora por medio del Sol ó de la Luna.

Exige la construccion de un cuadrante solar, que primeramente se trace la meridiana del lugar en que se va á erigir el instrumento; esta línea, por decirlo así, forma parte esencial de todo gnomon. Principiemos, pues, por indicar los medios que sirven para el trazado de la meridiana.

Hemos visto que se da el nombre de meridiana al trazo ó proyeccion del meridiano sobre el horizonte, y que á medio dia verdadero, cuando el Sol alcanza su mayor altura, se encuentra su centro precisamente en el meridiano. De modo que, si en este instante, se fija verticalmente una regla en el plano horizontal en que queremos trazar la meridiana, la sombra que proyecte la regla sobre este plano, se encontrará asimismo en el plano vertical que pasa por el centro del Sol, y coincidirá, sin duda alguna, con la meridiana que se busca. Como el Sol obtiene entonces su altura máxima, la sombra del estilo será lo mas corta posible, pero esta circunstancia no permite que se trace la meridiana con gran precision puesto que el Sol camina en este punto con gran lentitud y un poco antes, ó algo despues del medio dia, la longitud de la sombra varia casi de un modo insensible y en cantidad pequeñísima.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Ha sido menester, por tanto, buscar otro método fundado en la igualdad longitudinal de las sombras proyectadas por el estilo, cuando el Sol se encuentra, antes y despues del medio dia, en planos verticales que formen un ángulo igual con el plano meridiano. Esta igualdad es rigorosa, sobre todo, en la época de los solsticios de verano y de invierno, pues entonces varía la declinacion del Sol de un modo inapreciable en el curso del dia.

Para trazar la meridiana en un plano horizontal, ya con anterioridad establecido por medio del nivel, se clava ó fija en el centro una regla metálica ó de madera, en una posicion rigorosamente vertical, posicion que se comprueba haciendo uso de la plomada. Del pié del estilo se describe una serie de circunferencias concéntricas, y luego, antes y despues del medio dia, se marcarán los puntos de estas circunferencias en que termine la sombra de la punta de la regla; los ángulos que forman los radios tirados á los dos puntos de cada circunferencia se encontrarán precisamente divididos en dos partes iguales, por la meridiana que se busca; bastará, pues, efectuar esta division por los procedimientos geométricos para obtener la direccion de esta línea, sirviendo de comprobacion mutua los diversos resultados que se obtengan.

Es preferible, en vez de usar una varilla ó regla terminada en punta, colocar una placa agujereada en el extremo superior del estilo, pues de esta suerte, se forma sobre el plano horizontal una imágen redonda del Sol, y su centro se elige para marcar los puntos de las circunferencias.

Un gnomon es en esencia, llámese obelisco de Luxor ó aguja de Cleopatra, ni mas ni menos que el aparato que acabamos de describir.

Los antiguos empleaban por lo comun un gran obelisco, pirámide de escasa base ó columna, erigida en un lugar descubierto; en su vértice colocaban una esfera ú otra figura, cuya sombra proyectada en el suelo señalaba las horas segun las diversas posiciones que venia ocupando en el trascurso del dia.

Servian por lo comun los gnómones para medir la altura meridiana del Sol en las distintas épocas del año; en efecto, el centro M de la imágen del Sol, el centro S del orificio de la placa y el pié P de la vertical

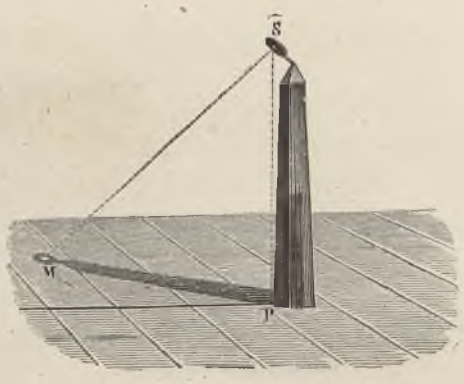


Fig. 106. — Gnómon; determinacion de la altura meridiana del Sol

bajada de este último punto sobre el suelo, son los tres vértices de un triángulo rectángulo cuyos dos lados S P y M P se conocen. La longitud de S P se determina de una vez para siempre y la longitud M P se mide facilmente el dia en que se efectua la observacion. El ángulo S M P ó sea la altura angular del Sol sobre el horizonte, se deduce sin dificultad.

Por tal medio determinaron los antiguos astrónomos la oblicuidad de la eclíptica; para ello median valiéndose del gnómon, la altura mínima del Sol, el dia del solsticio de invierno y su altura máxima el dia del solsticio de verano; la semi-diferencia de ambas alturas indicaba evidentemente el ángulo de los planos de la eclíptica y del ecuador.

El gnómon sirve para medir la altura del Sol en una hora cualquiera del dia, la cual puede calcularse, conociendo la altura meridiana ó la declinacion del Sol, el dia de la observacion.

Tambien puede trazarse la meridiana por enfilaciones nocturnas con las estrellas; basta para ello conocer á qué hora pasa por

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el meridiano la polar, determinando en este momento el plano vertical que la contiene, por medio de dos plomadas. El Anuario del Observatorio de Madrid da la hora de este paso en tiempo medio, de cinco en cinco dias, pero con una tablita auxiliar puede hallarse el paso para cada dia del año. Es muy fácil reducir la hora que señala el Anuario á la correspondiente de cualquiera otro punto cuya longitud sea conocida.

Sentados estos preliminares, indicaremos cuál es el principio de los relojes de Sol y de qué manera se procede para el establecimiento de los aparatos mas corrientes de su clase.

En el intervalo de un dia describe el Sol, como es sabido, poco mas ó menos, un paralelo con movimiento uniforme; de tal modo, que su centro viene á coincidir sucesivamente con los círculos de declinacion que han recibido el nombre de círculos horarios, describiendo arcos de 15° de amplitud por hora de tiempo. Claro está que si se pudiese determinar en un momento cualquiera del dia la posicion del círculo horario en que el Sol se encuentra en este instante, se conoceria la hora por una sencilla transformacion de los grados, minutos y segundos de arco, en horas, minutos y segundos de tiempo, á razon de 15 grados por hora.

El objeto que llenan los cuadrantes solares es sustituir á este cálculo por demás sencillo, la construccion geométrica de las líneas que marcan el trazo de los círculos horarios sobre un plano determinado, averiguándose la hora por la coincidencia de la sombra del estilo, con los trazos mencionados.

Nos limitaremos á señalar el trazado de tres diversos modelos ó géneros de cuadrantes solares, por ser los mas sencillos y usuales, es á saber, el cuadrante solar equinoccial ó ecuatorial, el cuadrante solar horizontal y el cuadrante solar vertical.

II

Construccion y trazado de los cuadrantes solares

Cuadrante ecuatorial.—Supongamos un plano fijo paralelo al ecuador celeste; su trazo sobre un plano horizontal será la línea E O (fig. 107) perpendicular á la meridiana N S terminando por consecuencia en los dos puntos Este y Oeste del horizonte. El trazo del plano meridiano sobre este plano será una línea N H perpendicular á E O y que formará con la meridiana un ángulo igual al complemento de la latitud del lugar (49° 35′ 30″ para Madrid).

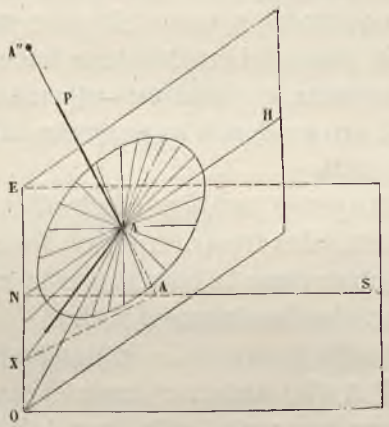


Fig. 107.— Cuadrante solar ecuatorial

En un punto A del plano dado, se levanta un estilo que le sea perpendicular y paralelo por tanto al eje del mundo; su inclinacion sobre el horizonte será, pues, igual á la latitud del lugar (40° 24′ 30″ para Madrid). Describamos del pié del estilo tomado como centro, una circunferencia y dividámosla, partiendo del diámetro N H en 24 sectores iguales, por radios equidistantes. Es evidente que estos radios no serán mas que los trazos de los 24 círculos horarios sobre el plano paralelo al ecuador; pero como el estilo se encuentra asimismo en cada uno de estos planos, y en la interseccion comun de todos, cuando el Sol coincida con uno de ellos, coincidirá la sombra del estilo con el radio que forma su trazo y marcará, por tanto, la hora verdadera del momento de la observacion.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La línea N H es la hora en que el Sol se encuentra en el meridiano, es decir, medio dia verdadero; se marcará, pues, XII^h. Los radios situados al oeste de esta línea indican las horas de la mañana, y los de la parte contraria ó sean los del este, las horas de la tarde; el diámetro horizontal da las VI^h de la mañana y las VI^h de la tarde.

Es evidente que durante la primavera y el verano, la sombra la producirá la parte superior del estilo, proyectándose en la cara superior del cuadrante, toda vez que entonces es boreal la declinacion del Sol. En otoño y en invierno, caerá la sombra en la cara inferior. Por último, en la época de los equinoccios, como el Sol se encuentra en el plano del cuadrante se hace necesario levantar en este una especie de reborde ó aro en donde se proyecte la sombra del estilo.

Construyense tambien cuadrantes solares ecuatoriales trasparentes en los cuales puede observarse la hora sobre la misma cara en todas las épocas del año.

Cuadrante horizontal.—Prolonguemos el estilo P A (fig. anterior) hasta el punto A' del plano horizontal, y la línea A P de las X^h, hasta el trazo E O; unamos en seguida A' X, y evidentemente, esta última línea será el trazo del círculo horario de X^h sobre el plano horizontal. La sombra del estilo coincidirá, pues, en tal hora, con la línea A X; una construccion análoga nos dará los trazos horizontales de los demás círculos horarios y su conjunto formará el cuadrante solar horizontal, cuyo estilo, como vemos, es siempre una línea paralela al eje del mundo ó línea de los polos.

Por lo general se instalan los relojes de Sol en una ventana ó sobre un pilar en un jardin ó terrado (fig. 108); mas tambien se construyen portátiles y para utilizarlos es necesario ante todo saber orientarlos, es decir, determinar la meridiana del lugar en que se observa.

Cuadrante meridional vertical.—Si por la línea O E (fig. 107) se levanta un plano vertical, el estilo del cuadrante ecuatorial vendrá á cortarlo en un punto A''. Uniendo este último punto con todos los que mar-

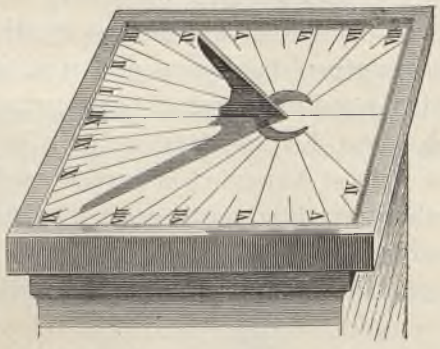


Fig 108 — Cuadrante solar horizontal

can las intersecciones de las líneas horarias con O E, cada línea de las obtenidas nuevamente se encontrará en el círculo

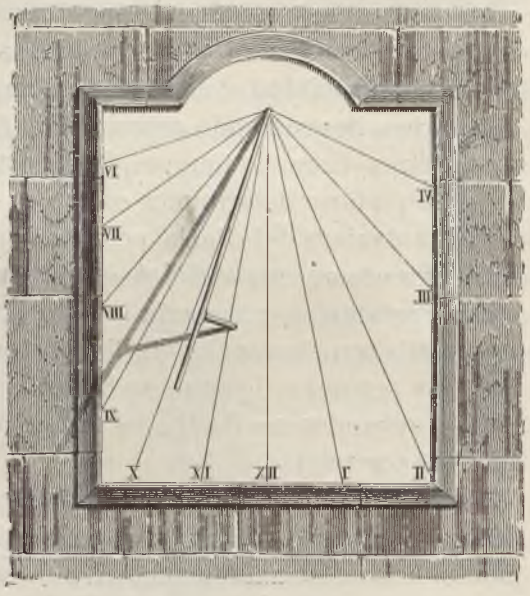


Fig. 109.—Cuadrante solar vertical declinante

horario correspondiente, de modo que la sombra del estilo vendrá á coincidir con esta última al encontrarse el Sol precisamente en este círculo. Habremos, pues, construido un cuadrante solar vertical, y como su plano mira hácia el Sur, será un cuadrante vertical meridional.

Fácil es ver que semejante reloj no podrá señalar las horas sino desde las 6 de la mañana á las 6 de la tarde, por manera

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que sus indicaciones se contraerán á las estaciones de otoño é invierno. Un cuadrante que mire hácia el norte completaria estas indicaciones marcando las horas que preceden á las 6 de la mañana ó posteriores á las 6 de la tarde, en la primavera y verano.

Los cuadrantes verticales se trazan por lo comun en las paredes de las casas ó de los edificios públicos, pero como es raro

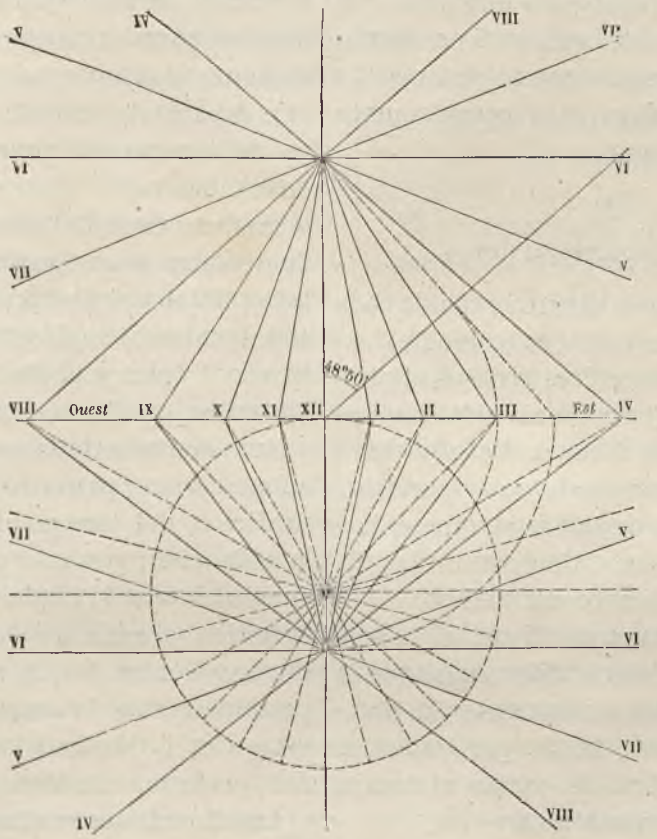


Fig 110.—Construccion de los cuadrantes solares verticales ú horizontales

que estos muros se encuentren en una direccion perpendicular al meridiano, se trazan, siguiendo siempre los mismos principios, cuadrantes verticales que en este caso se llaman declinantes. La fig. 109 representa uno de estos relojes trazado en un muro vertical que forma un ángulo de 18 grados con la línea este-oeste.

Marcan los cuadrantes solares las horas indicadas por el Sol, esto es, el tiempo verdadero; si se trata de utilizarlos para arreglar los relojes, hay necesidad de aplicar á sus indicaciones una correccion que es la ecuacion de tiempo, en otro lugar de este libro explicada, respectiva al dia de la observacion, obteniéndose de tal modo el tiempo medio.

En la figura anterior presentamos el cróquis de la construccion geométrica de las líneas horarias de un cuadrante horizontal y de un cuadrante vertical meridional, deducidas de la supuesta construccion de un cuadrante solar ecuatorial. Claro está que no hay necesidad de realizar esta última de un modo material y que basta para el caso saber la latitud del lugar en que va á instalarse el reloj. Las líneas de puntos de la mitad inferior del cróquis no son sino las líneas horarias del cuadrante ecuatorial rebatidas sobre el plano horizon-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tal; una vez trazadas dan por sus intersecciones con la línea este-oeste los puntos que hay que unir con el pié del estilo, bien en el plano horizontal, ya en el vertical, para obtener las líneas horarias de cada reloj. Finalmente, la posicion del pié del estilo se obtiene rebatiendo una línea que pase por el centro del cuadrante ecuatorial y que forme un ángulo con el plano vertical, del mismo valor que el complemento de la latitud del lugar.

III

Primeras divisiones del tiempo

Daban los romanos al primer dia de cada mes el nombre de *calendas* (calendæ) escribiéndolo con caractéres gruesos al principio del cuadro que contenia todos los dias de este período de tiempo. De aquí tuvo orígen el nombre de *calendario* para designar el conjunto de tablas en que se hallan señaladas en su órden natural las divisiones y subdivisiones del tiempo.

La palabra almanaque tiene la misma significacion, con corta diferencia, que la de calendario, y los etimologistas la derivan del árabe *man*, Luna, por tener los orientales costumbre de contar el tiempo por lunaciones ó meses lunares.

El calendario moderno, generalmente adoptado por las naciones de Europa y América, está basado en la longitud del dia medio que es la unidad fundamental del tiempo, y en la duracion del año trópico que vale algo menos de 365 dias medios y $^1/_4$. Son, pues, los movimientos de la Tierra, de rotacion diurna y de revolucion ánua, los que sirven para determinar la unidad principal en la medicion del tiempo y su múltiplo mas importante. En este punto nos vemos obligados á entrar en ciertas consideraciones. Así el tiempo como la distancia, pueden medirse comparándolos con cualesquiera patrones ó unidades fundamentales; y todo lo que se requiere para averiguar correctamente la extension de un intervalo, es poderle aplicar aquella unidad por todo su largo, sin que haya sobreposicion por una parte, ó se dejen huecos sin medir por la otra; de forma que se tenga determinado, sin que quepa el error de una unidad, el número de patrones enteros que el intervalo admite entre sus dos términos de principio y fin, no quedando despues para el completo de la operacion, mas que averiguar con exactitud la fraccion ó parte de unidad, que en su caso haya de agregarse al número de enteros ya determinado.

Mas aun cuando todas las unidades fundamentales sean igualmente aplicables á la medicion del tiempo en teoría, no todas son igualmente aplicables en la práctica. El año trópico y el dia solar son unidades naturales, que las necesidades del hombre y las relaciones de la sociedad le obligan á adoptar como patrones extremos, para la medicion del tiempo en todos los usos de la vida civil; y esto, á pesar de los inconvenientes, que si cupiera eleccion, pronto le harían abandonar el uno ó el otro. Los inconvenientes á que aquí aludimos son principalmente la *inconmensurabilidad* de estas dos unidades y la falta de uniformidad perfecta, á lo menos en una de ellas.

Las duraciones medias del dia y del año sidéreos, cuando se han deducido por un promedio de resultados parciales en bastante número para compensar las fluctuaciones procedentes de la nutacion en la una, y de las desigualdades de configuraciones en la otra, son las dos cantidades mas invariables que la naturaleza nos presenta; la primera, á causa de la uniformidad de la rotacion diurna de la Tierra, la segunda por razon de la invariabilidad de los ejes de las órbitas planetarias; circunstancias que hacen asimismo que el dia solar medio sea tambien invariable. Mas no así el año trópico, porque el movimiento de los puntos equinocciales, no solo varía por la retrogradacion del ecuador sobre la eclíptica, sino tambien, en parte, por la de la eclíptica respecto de las órbitas de todos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

los demás planetas, que ni una ni otra son, como hemos visto en lo explicado ya, rigorosamente uniformes; y la variacion que de aquí se origina en dicho movimiento, remanece en la duracion del año trópico, dependiente, como sabemos, de la cantidad que retrograda el equinoccio.

El año trópico medio es actualmente sobre 4 minutos mas corto que en tiempo de Hiparco. Esta falta del requisito mas esencial de un patron, á saber, la invariabilidad, hace preciso que, no pudiendo menos de emplear el año trópico en nuestra cuenta del tiempo, le asignemos un valor arbitrario ó artificial, tan próximo al verdadero, que la acumulacion del error en varios siglos no pueda producir inconveniente alguno práctico, y deje así satisfechas las exigencias ordinarias de la vida civil; en tanto que para los usos científicos, el año trópico así adoptado, solo se considera como el signo representativo de cierto número de dias enteros y de una fraccion de otro, de suerte que en realidad el dia es el único patron de que se hace uso. El caso es bastante análogo al modo de computar los valores en monedas de oro y plata, á las cuales señala la ley una relacion artificial, que aunque aproximada, difícilmente puede coincidir nunca con la natural que determinan las varias circunstancias del precio relativo de estos dos metales en el comercio; y cualquiera de ellos, el que realmente sea mas invariable, ó el mas usado entre las demás naciones, puede tomarse como patron teórico de los valores.

El otro inconveniente de los patrones de que vamos tratando es su inconmensurabilidad. En nuestras medidas lineales todas las subdivisiones se hacen en partes alícuotas; una vara tiene tres piés, un metro diez decímetros, una legua tres millas, etc. Pero el año no consta de un número cabal de dias, ni de un número entero con una fraccion comun, de un tercio ó un cuarto mas, sino que el exceso es una fraccion inconmensurable, compuesta de horas, minutos, segundos, etc : la cual ocasiona en la cuenta del tiempo la misma clase de inconveniente que se tocaría en la del dinero, si tuviésemos monedas de oro de valor de diez y siete duros, con un número impar de reales y maravedises, y no céntimos, con alguna fraccion de maravedi por añadidura. Para esto no se halla otra clase de remedio, mas que llevar una cuenta exacta de las fracciones excedentes y agregarla á la de los dias enteros cuando lleguen á componer uno.

El verificarlo del modo mas sencillo y cómodo, es el objeto de un calendario bien arreglado. En el gregoriano que seguimos, se efectua esto con una sencillez y claridad notables, dando alguna mas extension de lo que arriba hicimos, al principio de un año ficticio ó artificial y adoptando dos años de estos, ambos compuestos de un número cabal de dias, á saber, uno de 365 y otro de 366 y estableciendo una regla simple y fácil de retener, para el órden en que hayan de sucederse uno á otro estos años en la cuenta civil del tiempo, de modo que durante el trascurso de algunos miles de años, cuando menos, la suma de años enteros artificiales, ó gregorianos, que hayan trascurrido no difiera del mismo número de años trópicos, en un dia entero. Con este artificio caerán siempre los equinoccios y los solsticios en dias situados de un modo semejante, y que lleven el mismo nombre en cada año gregoriano; y las estaciones corresponderán constantemente á los mismos meses en lugar de rondar por todo el año, como era preciso que sucediese en cualquiera otro sistema de cuenta, y de hecho sucedia antes de que este se adoptase.

En efecto; los antiguos no averiguaron con exactitud la duracion del año, pues por muchos siglos la fijaron en 360 dias que equivalen á 12 lunaciones si se asignan 30 dias como duracion de este último período; esta diferencia de mas de 4 dias por año debia producir en poco tiempo un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cambio completo en las relaciones que ligan las estaciones con unas mismas épocas del año. Así los egipcios agregaron 5 dias á los 360 de que constaba su año, lo que limitó el error anual á $^1/_4$ de dia próximamente. Mas este error era aun considerable, puesto que equivalia á la pérdida de un dia cada cuatro años ó de unos veinticinco dias por siglo.

Sin embargo, hasta la época de Julio César no recibió el calendario la correccion exigida por la acumulacion de estas diferencias; en su doble calidad de soberano pontifice y de dictador, quiso poner remedio á la confusion que presentaba el calendario romano arreglado por los pontífices del tiempo de Numa. Dirigióse al astrónomo Sosígenes, el cual comenzó por agregar 67 dias al año en que tuvo lugar la reforma, esto es, en el año 707 de Roma ó 47 antes de J. C. Concertóse luego, que de 4 años, fuesen los 3 primeros comunes de 365 dias y que el cuarto tuviera un dia de mas, ó 366 á causa de las seis horas en que la duracion real del año superaba al número entero de dias de un año comun.

Intercalóse este dia despues del 24 del mes de febrero que es el sexto de las calendas de marzo, y se le llamó *bis sexto*. El cuarto año se llamó asimismo *bis sextus*, orígen de la denominacion actual de *año bisiesto* para el que consta de 366 dias.

Con todo eso, era insuficiente la reforma juliana, pues como sabemos, la duracion del año trópico es igual á $365^d242217$ y Sosígenes lo suponia superior, esto es, de 365^d25; cada año juliano superaba, por tanto, á la duracion real del año astronómico de una fraccion de dia igual á 0,007783, ó poco mas ó menos, 11 minutos.

Por pequeña que parezca esta fraccion, llegó á acumularse con el trascurso de los siglos, llegando á ser en 1582 de 12 dias y $^3/_4$ ó de 10 dias despues del concilio de Nicea, por manera que el equinoccio, en vez de caer el 21 de marzo, como en esta última fecha, tuvo lugar el 11 del propio mes. Consultó el papa Gregorio XIII á los astrónomos de su época, resolviendo reformar el calendario juliano, corrigiendo el error de los diez dias acumulados y evitando la acumulacion del mismo error para lo futuro. En consecuencia, se decidió ante todo, que el 5 de octubre del año 1582 recibiria inmediatamente la fecha del 15.

Además, siendo el año juliano demasiado largo en una fraccion de 0^d0075 próximamente, llegaba á dar al cabo de un siglo, un exceso de 0^d75, ó en cuatro siglos, un sobrante de tres dias completos. De aquí la necesidad de suprimir á cada 400 años, el 366 avo dia de tres años bisiestos. Se convino en que esta supresion se efectuaria en las milésimas de los últimos años de los siglos XVI, XVII y XVIII. Los años 1700, 1800 y 1900 no son, pues, bisiestos; lo fué el 1600 y lo será el 2000.

La regla gregoriana es bien sencilla. Los años se cuentan desde el nacimiento de Jesucristo, segun una determinacion cronológica de este suceso. Todo año cuyo número no es divisible por 4 sin resíduo, consta de 365 dias; todo año divisible exactamente por 4, pero no por 100, consta de 366; todo el que es divisible por 100, pero no por 400, será de 365, y todo el que es divisible por 400, será de 366. Por ejemplo, el año de 1879, como no es divisible por 4, constará de 365; 1880, de 366; 1800 y 1900, de 365 cada uno; pero 2000, de 366. A fin de formar juicio de la aproximacion de esta regla, veamos qué número de dias contendrán 10,000 años gregorianos, empezando con el año 1. En 10,000 los números no divisibles por 4 serán los $^3/_4$ de esta cantidad, ó 7500; los divisibles por 100, pero no por 400, serán por el mismo órden los $^3/_4$ de 100, ó 75; de forma que en los 10,000 años elegidos 7,575 constarán de 365, y los restantes 2,425 de 366, componiendo en todo 3.652,425 dias, que dan por valor medio del año, ó uno con otro, 365^d2425.

El error de la regla gregoriana en 10,000 de los presentes años trópicos, asciende á

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

$2^{d}6$ ó á $2^{d}\,14^{h}\,25_{m}$, es decir, á menos de un dia en 3,000, lo cual es mas que suficiente para todas las necesidades del hombre, no contando con el astrónomo, que no corre riesgo de equivocarse por esta causa. Aun este error pudiera evitarse, extendiendo los preceptos de la regla gregoriana un paso mas de lo que sus inventores sin duda creyeran que merecia darse, á saber; declarando que los años divisibles por 1000 constasen de 365 dias. De este modo, habria dos dias cabales menos en el número arriba calculado, y 25 en una suma de diez veces mayor, de forma que la suma de dias en 10,000 años gregorianos, ascenderia á 36.524,225, que solo difiere en un dia de la de 100,000 años trópicos, calculada por la duracion que actualmente le asignan las observaciones.

La correccion gregoriana se adoptó inmediatamente en todos los paises católicos, y tambien en los protestantes, aunque con alguna lentitud. En Inglaterra, la mudanza de estilo, que así fué llamada, tuvo lugar despues del 2 de setiembre de 1752, suprimiendo once dias nominales; de forma que siendo el último dia del estilo antiguo el 2, el primero del estilo nuevo (el inmediato siguiente) se contó el 14 en lugar del 3, no sin que esta supresion dejase de dar lugar á motines, pues la plebe no queria que le quitasen esos once dias de vida.

La Rusia y la Grecia son ahora los únicos paises de Europa, que por no estar conformes con el papa, prefieren contar mal el tiempo, y conservan todavia el estilo antiguo; y como ya haya trascurrido otro año secular, la diferencia entre las fechas europeas y las de aquellos paises, asciende actualmente á 12 dias; así, por ejemplo, á nuestra fecha del 20 de enero, corresponde para ellos el 8 del mismo mes, estilo antiguo.

El orígen del año ha estado tambien sujeto á grandes variaciones; para concretarnos únicamente á las naciones europeas, diremos que el comienzo del año se alteraba con gran frecuencia, segun les parecia conveniente á los monarcas, obispos ó gobernadores, sin que hubiese tampoco mayor armonía entre los puntos de partida, digámoslo así, oficiales, y los empleados por los cronistas é historiadores.

Los romanos daban principio al año el 1.° de enero y este fué el uso tambien en España hasta llegar al siglo XII en que se introdujo la era de la Encarnacion y el orígen del año el dia 25 de marzo; hay autores que sostienen que el dia inicial del año no tuvo variacion.

Al establecer Dionisio el Exiguo la era cristiana, fijó el principio del año en el dia 25 de marzo. En el siglo XIV se adoptó en España el uso de empezar el año en Navidad. Los Capetos de Francia dieron principio al año con la celebracion de la Pascua, ya cayese esta en marzo ó en abril. Cárlos IX por un edicto de 1564 mandó que el año comenzase de nuevo el primer dia del mes de enero.

Los dinamarqueses abrian el año el dia de San Tiburcio, patron de Dinamarca, fiesta que cae el 12 de agosto. En algunos puntos y cantones de la Suiza era el dia inicial del año el 15 de mayo.

En la época en que se inauguró en Francia el nuevo sistema métrico de pesas y medidas, resolvieron los sabios que componian la comision, conciliar el año civil con el astronómico, fijando el dia del equinoccio de otoño como primero del año, de modo que este dia era al mismo tiempo el del aniversario de la fundacion de la república.

IV

Divisiones del año

Digamos algo ahora de las divisiones del año; las principales son dos, la semana y el mes.

El mes y la semana tienen su orígen, á no dudar, en el movimiento de la Luna, opinion que confirma la etimología, pues, mes viene del latin *mensis*, voz que á su

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vez se deriva de un vocablo griego que significa luna. La lunacion es, en efecto, de 29^d53 y la duracion media del mes de 30 dias. Cada una de las fases lunares vale 7 dias, que es la duracion de la semana, segun se conoce desde la mas remota antigüedad.

Debido á que ninguno de estos períodos lunares comprende un número cabal de dias, han resultado desigualdades muy notables entre la manera de subdividir el tiempo y los fenómenos astronómicos de que se dedujeron estas subdivisiones. A esta causa hay que atribuir las confusiones que se observan al comparar entre sí los calendarios de diversos pueblos en épocas anteriores, y aun en parte, si bien en menor grado, en la fecha presente.

El año civil consta, como es sabido, de doce meses, cuyos nombres y duracion son:

Enero	31	dias.
Febrero	28 ó 29	»
Marzo	31	»
Abril	30	»
Mayo	31	»
Junio	30	»
Julio	31	»
Agosto	31	»
Setiembre	30	»
Octubre	31	»
Noviembre	30	»
Diciembre	31	»

La irregularidad salta á la vista; y en cuanto á las denominaciones, solo la costumbre nos hace encontrarlas pasaderas; así, pues, enero, marzo, mayo y junio, tienen su orígen en los nombres de las divinidades á quienes dedicaron los romanos estos meses. Julio y agosto estaban consagrados á Julio César y á Augusto. Respecto de los cuatro últimos meses, que en otro tiempo eran los séptimo, octavo, noveno y décimo del año, resultan ahora con nombres impropios, puesto que en el calendario moderno ocupan lugar distinto y posterior.

Consagraron los romanos la primera hora de cada dia, á uno de los planetas, y este es el orígen de los nombres de los dias de la semana, excepcion hecha del domingo.

Lúnes,	dia	de la	Luna.
Mártes,	»	»	Marte.
Miércoles,	»	»	Mercurio.
Juéves,	»	»	Júpiter.
Viérnes,	»	»	Vénus.
Sábado,	»	»	Saturno.

En el calendario republicano de Francia, eran de igual longitud todos los meses del año y se componian invariablemente de 30 dias, divididos en tres semanas de 10 dias cada una. Los nombres de estos estaban formados de los respectivos á los diez primeros números, á los cuales se agregaba la terminacion *di*, que significa dia. De este modo:

Primidi.	Sextidi.
Duodi.	Septidi.
Tridi.	Octidi.
Cuartidi.	Nonidi.
Quintidi.	Decadi.

Doce meses de 30 dias solo producen 360 dias; era necesario, pues, para completar los años comunes, agregar cinco dias complementarios, y seis, para los años bisiestos; se intercalaban entre el dozavo mes y el principio del año siguiente, hallándose consagrados á solemnizar ciertas fiestas nacionales.

Hacia la coincidencia de principiar el año con el equinoccio, que tres meses completos correspondiesen, con corta diferencia, á cada una de las estaciones del año, distinguiéndose por la terminacion de sus denominaciones, los meses, que pertenecian á esta ó la otra estacion. Los nombres de los meses se derivan, ó toman su orígen, de la meteorología ó de las principales faenas de la agricultura, tales como se practican ó se verifican los fenómenos en la zona templada del hemisferio boreal. Hé aquí los nombres:

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Otoño.	*Invierno.*
1 Vendimiario.	4 Nivoso.
2 Brumario.	5 Pluvioso.
3 Frimario (glacial).	6 Ventoso.

Primavera.	*Verano.*
7 Germinal.	10 Mesidor.
8 Floreal.	11 Termidor.
9 Pradial.	12 Fructidor.

Hállanse por lo comun en los almanaques, además de la nomenclatura de los dias de cada mes, divididos por semanas, las horas de la salida, postura y paso por el meridiano, de la Luna y del Sol; el momento exacto de las fases de nuestro satélite, como tambien las épocas de los equinoccios y solsticios, es decir, de los principios de las estaciones astronómicas. El *Anuario del Observatorio de Madrid*, interesante publicacion por mas de un concepto, de mérito sólido, aunque por desgracia no debidamente apreciada, es el almanaque mas completo que existe en España, excepcion hecha del *Almanaque Nautico del Observatorio de San Fernando*, cuya índole especial, empero, limita su uso á corto y particular número de personas.

La distribucion de los dias que forman cada mes es tan arbitraria, que pocos son los individuos que sin vacilar recuerdan qué meses tienen 31 dias, y cuáles constan de 30. Con este motivo nos parece oportuno indicar un medio mnemotécnico, que, como todos los procedimientos de este género, sustituye á un trabajo de memoria bastante fácil, una regla, que quizás no lo es tanto. Se reduce á cerrar la mano izquierda, y llevando luego el índice de la mano derecha sobre los huesos salientes de las primeras falanges ó articulaciones de los dedos y sobre los huecos que quedan entre estos, se principia á contar por el meñique. De este modo se obtienen los siete primeros meses del año; cada resalte, digamos asi, corresponde á un mes de 31 dias. Volviendo en seguida en sentido inverso, comenzando de nuevo por el hueco saliente del dedo meñique, se nombran los cinco meses restantes, correspondiendo de igual modo los resaltes á los meses de 31 dias y los huecos á los de 30.

Terminaremos lo que nos queda que decir del calendario, explicando varios de los términos que se encuentran en las primeras páginas de los almanaques, y que forman lo que se llama el *cómputo eclesiástico*.

Si se multiplica el período de la lunacion, que es de 29d53, por 235, se obtiene como producto 6939d55, que equivale á 19 años trópicos; de esto resulta que, cada 19 años, caen los novilunios en idénticos dias. Llámase este período *ciclo lunar*, distinto como vemos del período de Saros con el que hay que cuidar de no confundirlo, pues este último consta únicamente de 223 lunaciones, ó de 18 años 11 dias. Metau, astrónomo ateniense, descubrió esta concordancia el año 430 antes de Jesucristo, y tanto hubieron de admirarse sus compatriotas de la belleza de este descubrimiento, que hicieron esculpir el cálculo en letras de oro, de donde viene la denominacion de *áureo número*, con el cual aun en el dia se conoce.

El primer año del ciclo es el de la Luna nueva que cae en 1.° de enero, y los siguientes se marcan de un modo sucesivo hasta llegar al número 19; así, pues, el año 1867 tuvo por áureo número el 6, porque fué el sexto año del ciclo, por manera que en 1862 cayó la Luna nueva en el dia primero de enero.

El año 2 de nuestra era tuvo por áureo número el 1, de donde se deduce una regla bien sencilla para averiguar el que puede corresponder á un año cualquiera, y es como sigue; á la milésima se agrega 1, se divide la suma por 19 y el resíduo de la division será el áureo número del año pedido. Por ejemplo, 1879 + 1 = 1880 : 19, da 18 por resíduo.

El áureo número sirve para determinar las fechas de las festividades eclesiásticas.

La epacta es el número que expresa la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

edad de la Luna el dia 1.º de enero de cada año; se indica con caractéres romanos, de modo que la epacta, v. gr., del año 1879, es el número VII.

Cuando es conocido el áureo número de un año, con facilidad se determina la epacta. En efecto, toda vez que la Luna nueva cae en el dia 1.º de enero del año que da comienzo al ciclo lunar y que la duracion de las lunaciones se conoce asimismo, no hay dificultad en calcular el dia en que debe ocurrir la Luna nueva de la décimatercera lunacion, y que corresponde á la 355 del primer año del ciclo. En el cuadro siguiente se insertan las epactas de los 19 años que componen el ciclo lunar.

Aureo numero.	Epactas
1	
2	XI
3	XXII
4	III
5	XIX
6	XXV
7	XVI
8	XVII
9	XXVIII
10	IX
11	XX
12	I
13	XII
14	XXIII
15	IV
16	XV
17	XXVI
18	VII
19	XVIII

Cuando se conoce la epacta de un año, puede averiguarse sencillamente la del año inmediato, pues basta para ello agregar el número 11; si la suma es menor de 30, indica la epacta; si es mayor, se le rebaja precisamente el número 30, y la resta es tambien la epacta. Tan solo forma excepcion de la regla el año 19 del ciclo, á cuya epacta hay que sumar 12; la suma es 30 y la epacta siguiente 0 ó *. Esta diferencia corrige precisamente lo que hay de inexacto en la hipótesis de que 12 lunaciones forman 355 dias y de que el año consta de 365 nada mas.

En los calendarios perpetuos eclesiásticos, se señalan los siete primeros dias del año con las letras A B C D E F G, que de igual modo se reproducen á continuacion en el calendario para todos los demás dias del año.

No indican tales letras los dias de la semana á que corresponden, puesto que estos dias varian de un año al siguiente, y para obviar esta dificultad se ha dado el nombre de *letra dominical* á aquella de las siete que designa el primer domingo de enero; una vez conocida para un año determinado, fija la letra dominical necesariamente los dias de la semana que corresponden á fechas sucesivas del calendario perpetuo. Así el año 1879 tiene por letra dominical E, porque el primer domingo de enero de 1879 ha sido el quinto dia del año. Como en 365 dias hay 52 semanas y un dia, es claro que si 1879 ha principiado por miércoles, 1880 comenzará por juéves. La letra dominical de 1880 retrogradará, pues, un lugar, y el primer domingo del año caerá al cuarto dia, correspondiéndole la letra dominical D.

Cuando el año es bisiesto consta de 52 semanas y 2 dias y la letra dominical retrograda dos lugares, lo que se expresa dándole la letra que le corresponda y la anterior.

Es fácil, como vemos, con auxilio de esta hipótesis y valiéndose de un calendario perpetuo, construido del modo indicado, determinar en una fecha cualquiera el dia de la semana correspondiente; así, pues, en 1879, todas las fechas marcadas E son domingos, todas las F lúnes, todas las G mártes, etc.

En la actualidad que los almanaques de cada año contienen los calendarios correspondientes calculados con toda escrupulosidad, estas reglas apenas tienen uso en la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

práctica comun, por mas que siempre conviene saberlas.

La *indiccion romana* es otro período de 15 años que se emplea en el calendario eclesiástico, de importancia puramente cronológica.

Por último, el *ciclo solar* es un período de 28 años, en que vuelven á corresponder los dias de la semana con iguales dias del mes.

No tiene relacion alguna con el curso del Sol y su denominacion proviene de que el domingo era, como hemos visto, el dia de este luminar. Para obtener el ciclo solar de un año, se agregan 9 á la milésima, se divide la suma por 28 y el resíduo de la division es el ciclo del año que se propone; si el resíduo es 0 el ciclo es 28. Por ejemplo, 1879 + 9 = 1888 que dividido por 28 nos dá 12, que es el ciclo solar de este año. Los años de dos ciclos solares tienen necesariamente las mismas letras dominicales que se suceden en órden igual.

Tales son las principales aplicaciones de la astronomía á la medida y division del tiempo; los progresos de la óptica y de la relojería han contribuido á dar á esta parte de la ciencia una perfeccion difícil de superar, mas debemos de tener presente que los fenómenos de los cielos son los verdaderos reguladores de los mejores instrumentos, por manera que es difícil decir quiénes son los que mayor parte han tomado en la construccion del gran monumento de la astronomía moderna, si los que trabajaron en la elaboracion de las teorías, ó los que hicieron posible la práctica y exactitud de las observaciones.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

SEGUNDA PARTE

EL ANALISIS ESPECTRAL

INTRODUCCION

Hace unos treinta años, daba el Dr. Lardner en Inglaterra varias conferencias científicas sobre diversas materias, á las que asistia con empeño un público numeroso y escogido. En una de ellas, que versaba sobre astronomía, eligió como asunto el sabio y popular profesor, con objeto de maravillar á sus oyentes, el problema de averiguar el peso de los planetas, en la persuasion de que sus palabras y deducciones habian de ser acogidas con marcadas muestras de incredulidad. En efecto, que el hombre pueda desde el planeta que habita, medir la distancia que lo separa de los demas cuerpos que componen el séquito del Sol, aunque problema arduo y asombroso, casi no parece del todo imposible de realizar; pero difícilmente se encuentran personas que admitan de buen grado y como verdad asequible, que los astrónomos hayan llegado á pesar, no solo nuestro propio mundo, sino tambien los planetas, la Luna y aun el mismo Sol.

Mas si uno de los oyentes del ilustre profesor hubiese dicho á este que el hombre llegaria tambien á determinar los componentes químicos del Sol y las estrellas, averiguando qué astro tiene hierro ó carece de él, cuál hidrógeno, sodio ó plata ó cualesquiera otros cuerpos elementales, casi es seguro que el profesor hubiera rechazado el aserto fundándose en que superaba los límites de su propia credulidad, puesto que así como veia claramente cómo se median y pesaban los planetas en virtud de principios fijos y demostrados, no podia considerar la determinacion de sus elementos constitutivos mas que como una especulacion atrevida y sin fundamento sólido.

Y sin embargo, tal cosa ha llegado á efectuar el hombre, valiéndose sencillamente de un pedazo de cristal de forma triangular; no hay que extrañarlo, pues rara vez ocurre que un descubrimiento importante permanezca aislado y estéril y casi siempre es orígen de nuevos descubrimientos. La observacion de que un cuerpo magnético, suspendido libremente, se dirige segun la línea norte-sur, ha contribuido en proporcion inmensa al desarrollo del comercio y de los descubrimientos geográficos, siendo la piedra fundamental de la gran teoría del magnetismo terrestre. Del propio modo el telescopio y el microscopio han dado orígen en los dominios de la astronomía, de la anatomía y de la fisiología de los séres infinitamente pequeños, á descubrimientos importantes, imposibles de realizar sin el auxilio de estos preciosos instrumentos.

En esta parte de nuestro trabajo vamos á exponer los adelantos y progresos que ha hecho la astronomía, gracias al nuevo y po-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

deroso instrumento que llamamos espectroscopio, admirable aparato con el que en ciertos casos, podemos reconocer á millones de leguas de distancia, la naturaleza química de los cuerpos y aun su estado físico. Han sido tan inesperados é importantes los resultados obtenidos de la aplicacion del análisis espectral al estudio de los astros, que bien puede decirse que este método de observacion ha hecho nacer una rama nueva y distinta en la ciencia astronómica.

La *Astronomia física*, monumento imperecedero que con creciente majestad se levanta á la memoria de Newton, puede definirse diciendo que es la extension á los cielos de las leyes de la dinámica terrestre, pues que trata de explicar el movimiento de los cuerpos celestes, en el supuesto de la universalidad de una fuerza atractiva semejante á la que vemos obrar constantemente en la superficie de la Tierra.

La nueva rama de la ciencia astronómica que podemos decir nacida del análisis espectral, tiene por objeto la extension y ensanche de las leyes de la física terrestre á los otros fenómenos de los cuerpos celestes, y se apoya en el hecho nuevamente establecido, de que en el mundo estelar existen materias de naturaleza idéntica á las de la Tierra y sujetas á las mismas leyes.

La importancia particular que reviste para la astronomía el descubrimiento de Kirchhoff es evidente, si se considera la posicion que ocupamos respecto de los cuerpos celestes. La gravitacion y las leyes que rigen nuestro sér, nos impiden que abandonemos la Tierra, y por consecuencia, tan solo por el estudio de la luz podemos adquirir algunas nociones sobre el enjambre numeroso de los astros del cielo, que nos envuelven por todas partes, y que majestuosos circulan por las profundidades de los espacios cósmicos. La luz del cielo estrellado es el único medio de que podemos disponer para especular acerca de las condiciones de la materia extra-planetaria, y en este océano luminoso, cada punto brillante es el signo de una actividad inmensamente vasta y al propio tiempo eminentemente lejana.

Hasta hace muy poco tiempo, ayer como quien dice, la luz de las antorchas del firmamento, aun condensadas en el foco de los telescopios de mayor potencia, apenas nos habian enseñado cosa de mayor valer; difícilmente, y en pocos casos, llegábamos á saber por su medio, cuál era la forma y cuáles las dimensiones y colores de los cuerpos que contemplamos. El descubrimiento admirable del análisis espectral nos coloca en situacion favorable para interpretar los símbolos y las indicaciones que, latentes en la luz misma, nos suministran datos exactos sobre la condicion química, y tambien, en cierto límite, sobre la condicion física de los remotísimos cuerpos de donde emanó la luz, hace millares de años.

A Newton somos deudores del conocimiento de que los hermosos colores del arco íris son los componentes comunes y necesarios de la luz solar; descubrió este gran genio, que cuando se hace que la luz blanca pase á través de un prisma ó cuña de vidrio, se descompone en las dulces é inimitables tintas que nos ofrece el arco íris. Cuando estos colores se separan y dividen, forman el espectro luminoso.

Wollaston y Fraunhofer descubrieron que cuando la luz del Sol es descompuesta por el prisma, no son continuos los colores del arco íris que forman el espectro, sino que se hallan interrumpidos por un número considerable de rayas oscuras; y estas rayas son, precisamente, los símbolos que indican la composicion química del Sol.

En epoca mas reciente nos reveló el mismo Kirchhoff la verdadera naturaleza de estas líneas negras, y aplicando inmediatamente su método á la interpretacion de las rayas del espectro solar, obtuvo como recompensa el descubrimiento capital, de que varios de los elementos químicos que existen en la Tierra, entran á formar parte de la constitucion de la atmósfera del Sol, de Vénus, de Marte y de muchas estrellas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Luego, han sido tantos los descubrimientos y tan numerosos los observadores, que apenas podemos mencionar mas que los nombres de Secchi, Donati, Janssen, Rayet, Vogel, Zollner, Lockyer, Huggins, pues de mentarlos todos, se haria la lista interminable.

El eclipse total de Sol observado en la India el 18 de agosto de 1868, produjo, por sus revelaciones, gran emocion en el mundo científico, dando orígen á que los gobiernos de varias naciones de Europa, de las menos atrasadas, se dispusiesen á contar sin repugnancia sumas considerables con objeto de que el nuevo método de análisis, llamado espectral, pudiera aplicarse al estudio de los misteriosos fenómenos que de un modo invariable presentan los eclipses totales solares, y cuya naturaleza y carácter, como hemos visto en la Primera parte de esta obra, era imposible descubrir con el limitado auxilio del telescopio. Los brillantísimos resultados obtenidos en este eclipse, plenamente confirmados en los eclipses sucesivos, en particular en las afecciones de este género observadas en la América septentrional el 7 de agosto de 1869 y en España, Italia y Africa en 22 de diciembre de 1870, con toda evidencia demostraron la superioridad y delicadeza del método espectrométrico.

Este motivo, entre otros, ha hecho que la atencion de las personas cultas se fije en el nuevo método de investigacion, deseando muchos conocer el mecanismo y detalles de procedimiento tan maravilloso. Como vamos viendo, no se entiende en física por *espectro*, la aparicion temerosa de algun fantasma ó alma del otro mundo, como en lenguaje vulgar pudiera creerse, sino la imágen hermosa del arco íris, con sus brillantes colores, que se produce siempre que la luz del Sol ó de algun otro cuerpo luminoso, pasa á través de un prisma de materia refringente.

A la simple vista no es posible percibir diferencia alguna entre la luz de los cuerpos celestes y la de diversas fuentes artificiales, fuera parte de las variaciones de color y brillo, pero no ocurre lo propio cuando examinamos la luz á través del prisma, pues entonces se forman unas imágenes coloreadas de indescriptible belleza, que llamamos espectro, cuyo aspecto y constitucion dependen de la naturaleza de la sustancia que emite la luz. Tan característico es el aspecto que ofrecen estas imágenes de color, que á cada sustancia reducida al estado de gas luminoso corresponde un espectro particular que pertenece única y exclusivamente á tal ó cual sustancia determinada.

Se deduce, por lo tanto, que cuando se han determinado los espectros de sustancias diversas de una vez para siempre, por investigaciones exteriores, y se han trazado en mapas ó impreso en la memoria, es fácil en las investigaciones posteriores reconocer de seguida por la forma y disposicion del espectro que ofrece un cuerpo desconocido, las sustancias particulares de que se componga.

Esta es, para decirlo en términos generales, la verdadera naturaleza del análisis espectral, que permite averiguar los elementos de los cuerpos, sin acudir como el químico á los alambiques, retortas y reactivos, sino por medio del espectro propio que emite cada sustancia en estado de luminosidad excesiva.

No quiere esto decir, ni por asomo, que el análisis espectral anule los procedimientos del análisis química, hasta la presente usados; puesto que su funcion no es descomponer ni cambiar los cuerpos, sino mas bien reconocer un territorio ignorado, indicando al físico, al químico y al astrónomo, la presencia de cualquiera sustancia que cae bajo su dominio; y es tanta la delicadeza y penetracion de este nuevo método de ensayo, que cuando permanecen mudos é impotentes los reactivos, el microscopio y la balanza, una simple ojeada con el espectroscopio basta en el mayor número de casos para revelar la presencia de un cuer-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

po. Si dividimos una libra de sal comun en 500,000 partes, el peso de cada una de estas porciones será de un miligramo; el químico puede determinar el peso de una de estas partículas, valiéndose de los métodos mas delicados de su ciencia y empleando todo su talento y habilidad manual, pero en este mismo punto termina su poder y llega á los límites de sus dominios, si bien, además del peso, le es dado determinar la presencia del cloruro sódico, principal elemento de la sal comun. Pero si dividimos este pequeño miligramo en tres millones de partes, llegamos á unas partículas tan diminutas que son ineficaces todos los medios que para analizarlas se empleen, y sin embargo, para reconocer la presencia del sodio en esta partícula por medio del prisma, aun nos sobra sustancia. Basta cerrar con violencia las hojas de un libro, ó dar varias palmadas poniendo en agitacion el aire, para que inmediatamente aparezca una hermosa línea amarilla en el campo de un espectroscopio colocado á moderada distancia, indicio cierto y evidente de la presencia del sodio en la atmósfera que respiramos.

Habia motivos para esperar que un medio de investigacion tan sensible, de cuya penetracion no se libra sustancia alguna, revelara la existencia de nuevos elementos que, hasta entonces, hubiesen permanecido ignorados, ora á causa de su rareza en el reino natural, bien porque sus caracteres se distinguiesen tan poco de los de otras sustancias, que los métodos imperfectos de la química no eran suficientes para separarlos.

Esta esperanza se realizó plenamente desde que se dieron los primeros pasos en esta direccion. Dos profesores de la Universidad de Heidelberg, los famosos Bunsen y Kirchhoff á los que, como acabamos de manifestar, se debe el descubrimiento del análisis espectrométrica y su aplicacion práctica á la ciencia, bien pronto descubrieron con el nuevo instrumento dos metales desconocidos, el *cesio* y el *rubidio* á los que luego se agregaron el *talio*, *iridio*, *galio*, etc.

Desde 1859 empezó á hacerse uso del análisis espectral en la astronomía y los descubrimientos y revelaciones que hemos obtenido son, en efecto, para causar el mayor asombro. Por medio del prisma es posible descomponer en sus partes constitutivas la luz del Sol, de los planetas, de las estrellas fijas y de los cometas y nebulosas, y de esta suerte obtener sus espectros del propio modo que el de las sustancias terrestres luminosas. Comparando cuidadosamente el espectro de las estrellas con el ya conocido de las sustancias terrestres, puede determinarse, por su concordancia ó desemejanza, con certeza igual á la de la exactitud matemática, si tales ó cuales sustancias existen ó no en los lejanos cuerpos celestes.

Los párrafos que anteceden presentan en términos generales la naturaleza y esencia del análisis espectral; su punto de partida es el espectro de cada sustancia particular, y para obtenerlo es requisito indispensable que la sustancia no solo sea luminosa, sino que emita una cantidad *suficiente* de luz; los cuerpos oscuros no son á propósito para el análisis por medio del prisma y para poderlos investigar es preciso, ante todo, ponerlos en condiciones de que emitan una gran luz.

Para evitar digresiones y no repetir varias veces una misma cosa, antes de entrar en la teoría y práctica del análisis espectral, nos parece conveniente hacer una ligera descripcion de los medios que nos ofrecen la química y la física para hacer luminosas todas las sustancias sólidas ó gaseosas y hasta los metales menos fusibles.

A esta descripcion seguirán algunas nociones de óptica, indispensables para comprender bien el asunto y para que el lector se forme una cabal idea del método espectrométrico.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO PRIMERO

EL CALOR Y LA LUZ EN EL LABORATORIO

CAPÍTULO PRIMERO

I

Potencia lumínica de la llama.

Con ser tan grandes los progresos realizados en las ciencias físicas, aun se desconoce la causa inmediata de la potencia luminosa de la llama, por mas que las investigaciones de los sabios en esta direccion han sido en extremo numerosas. En general, siempre que dos cuerpos se combinan, hay desprendimiento de calor, v. gr., la mezcla del agua y del ácido sulfúrico, ó del agua y cierta cantidad de cal viva, va acompañada de una elevacion de temperatura bastante considerable, si bien no lo suficiente para producir fenómenos luminosos. Con gran frecuencia, la combinacion del oxígeno, que es uno de los gases constituyentes del aire, con ciertos cuerpos simples, sólidos ó gaseosos, origina un desprendimiento muy intenso de calor, al cual se debe la determinacion de la combustion viva; pero para que pueda arder un cuerpo combustible, ora al aire libre, ya en el oxígeno puro, es necesario, ante todo, dar á uno cualquiera de sus puntos una temperatura elevada, ó en otros términos, hay que encenderlo. Una vez principiada la combinacion, se propaga progresivamente el calor que desprende, hasta que el gas comburente se consuma ó hasta que el cuerpo con el cual se combina se agote.

Este es el medio que empleamos para obtener fuego en nuestras chimeneas y fogones y para producir la luz de nuestras lámparas y bujías; por experiencia propia sabemos que estas fuentes de calor y de luz no duran mas tiempo que el que se emplea en alimentarlas, es decir, mientras tienen los dos elementos propios de la combustion. Es esta mucho mas viva en el oxígeno puro que al aire libre; si se llena de este gas, hasta hace pocos meses considerado como permanente, una campana de vidrio, y se introduce en ella un pedazo de fósforo inflamado, arde con gran energía, despidiendo una luz vivísima; si en la misma campana se coloca un muelle de acero con una pajuela encendida en uno de sus extremos (fig. 111), se determina la incandescencia del metal, que en todas direcciones proyecta infinitas chispas brillantes.

Si, por el contrario, se inflama al aire libre una corriente de gas hidrógeno, arderá con una llama apenas perceptible; las llamas producidas por el aceite, el petróleo y el carbon de piedra son muy brillantes, mientras que la del espíritu de vino, por ejemplo, es en extremo débil.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

¿En qué consiste esta diferencia?

Digamos algo acerca del complexo fenómeno de la combustion, sin analizarlo, ni mucho menos, en todos sus detalles. En la llama hay que distinguir las partes gaseo-



Fig. 111 — Combustion de un alambre de acero en una atmósfera de oxigeno puro

sas de las partes sólidas incandescentes; para que un cuerpo arda con llama, es menester que haya desprendimiento de deter-



Fig 112.— Diversas regiones de la llama de una bujía

minados gases bajo el influjo de una temperatura elevada y estos gases precisamente, hechos luminosos, son los que producen la luz móvil de que nos ocupamos; en la llama de una bujía ó de un mechero de gas, hay tres regiones distintas en las que el calor y la luz se encuentran asociados en diversas proporciones. La parte externa es la zona de la combustion mas viva, siendo en ella tambien mas alta la temperatura, pero la luz es poco intensa; viene en seguida una capa muy luminosa, en la que, sin embargo, es menos completa la combustion y mas débil el calor, pero que brilla con gran esplendor á causa de las partículas de carbon, en extremo tenues, que se encuentran en estado incandescente. Por último, en la parte interna de la llama hay un espacio oscuro, de temperatura mucho mas baja, porque el oxígeno del aire no puede penetrar en esta zona, y por lo tanto, dejan de quemarse las materias gaseosas que la forman, y tan solo cuando llegan al vértice de la llama arden, convirtiéndose en humo la parte que deja de quemarse.

Si se sopla con fuerza á la llama de una bujía, se apaga instantáneamente; la razon es obvia. Al soplar se introduce aire frio en el gas inflamable, que, por otra parte, se enfria al extenderse en una masa de aire mayor y baja lo suficiente la temperatura como para que cese la combustion; si despues de haber apagado la llama, queda el pábilo incandescente, volviendo á soplar con moderado esfuerzo, se reanima y enciende de nuevo, lo cual tambien se explica con igual facilidad, recordando que de este modo lo que hacemos es renovar la cantidad de oxígeno necesaria á la combustion, despréndese mas gas y se inflama en contacto con las partes sólidas incandescentes.

El proceso químico de la combustion del fósforo y del hidrógeno, ó de cualquiera otra llama, es igual, pues que consiste en la combinacion de estas sustancias con el oxígeno. La cantidad de calor desarrollada tampoco presenta gran discrepancia y mas bien parece que las diferencias dependen únicamente de la naturaleza de los productos de la combustion; en el caso del fósfo-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ro, aparece este producto como un cuerpo sólido, bajo la forma de una nube blanca y densa, compuesta de ácido fosfórico; cuando la llama es de hidrógeno, el producto de la combustion es invisible, toda vez que lo que se forma es vapor de agua.

Esta observacion es aplicable, con cortas excepciones, á toda combustion efectuada á temperaturas muy altas; una llama que no contenga ni materia sólida como producto de la combustion, ni cuerpos sólidos extraños en estado de incandescencia, es poco luminosa, aunque la temperatura de la combustion sea muy elevada; por lo tanto, cualquier cuerpo sólido ó líquido emite mucha mayor cantidad de luz que una sustancia gaseosa al mismo grado de temperatura, y la imperceptible llama del gas hidrógeno se hace inmediatamente luminosa, si en ella se caldea un cuerpo sólido hasta ponerlo incandescente. Puede demostrarse este fenómeno introduciendo en una llama de gas un alambre de platino, que caldeándose progresivamente, emite una luz blanca y deslumbradora, lo cual prueba que la luz no se debe al hidrógeno inflamado, sino al metal que se encuentra á la temperatura del blanco. El calor desarrollado por la combinacion química del hidrógeno del mechero y el oxígeno del aire, produce la incandescencia del platino, y como decimos, al alambre se debe la intensa luz emitida y no á la llama, de por sí débil y casi invisible.

Si introducimos un granito de sal comun en la llama, aparece esta brillantísima y de un hermoso color amarillo; la sal se divide en millares de partículas pequeñísimas, que todas brillan al mismo tiempo sin que sea posible percibirlas individualmente, de modo que parece que la llama de hidrógeno es la que resplandece por sí misma. No es necesario para demostrar este punto hacer uso de ningun aparato particular, pues basta observar la llama del gas comun que, á causa de su poder luminoso, tiene en nuestro siglo un empleo casi universal; el gas del carbon de piedra es un compuesto de hidrógeno y carbono, si bien suele estar acompañado mas de lo que fuera menester, de otras sustancias, por defecto de los aparatos de purificacion.

El carbono es, despues del oxígeno, al cual no es posible negar la supremacía, una de las sustancias mas preciosas de la naturaleza, tanto en su seductora forma de diamante, como con su sucio aspecto de hulla; no se le distingue en el gas comun, pues por su combinacion con el hidrógeno pierde sus brillantes destellos al mismo tiempo que su negro color, apareciendo como gas transparente combinado con el hidrógeno, tomando el nuevo compuesto los nombres de carburo de hidrógeno, hidrocarburo é hidrógeno carbonado, segun los pueblos ó las tendencias de los químicos que de él se ocupan.

Si encendemos este cuerpo tal como sale de un mechero corriente, en contacto con la atmósfera, la mayor parte del oxígeno de esta se combina con el hidrógeno del gas, y una cantidad considerable de carbon, para la cual no alcanza el oxígeno atmosférico, se disipa por el aire; la combustion tiene lugar casi en el borde ó canto de la llama, en donde se halla en contacto con el oxígeno del aire; en el medio, se descompone el gas meramente por el calor de la combustion, y en este calor se encuentran en estado incandescente y brillantísimo las finas y diminutas partículas de carbon que se han precipitado; á estas partículas, precisamente, debe la llama del gas su poder de iluminacion. Para comprobar la existencia de estos polvos tenues de carbon, basta colocar en la parte brillante de la llama un cuerpo frio, como un platillo de porcelana, que en seguida se cubre de una fina capa de negro de humo ó carbon muy dividido.

El mismo fenómeno tiene lugar en la combustion de la estearina, sebo, aceite ó petróleo; en las lámparas y bujías, se descompone primero la sustancia combusti-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ble, y luego, por influjo del calor de la combustion, se producen combinaciones de hidrógeno carbonado en forma de gas; cuando es insuficiente la cantidad de oxígeno, tan solo arde inmediatamente una pequeña porcion de carbono, y para esto, en el mismo borde de la llama donde se desarrolla una temperatura muy elevada; en esta zona tambien es gaseoso el producto de la combustion (ácido carbónico), y por lo tanto, el borde de la llama tiene poca potencia luminosa; en la parte interna, no obstante, donde hay escasez de oxígeno, adquieren las partículas de carbon la temperatura del blanco, y únicamente se consumen al llegar á ponerse en contacto con la capa externa, de modo que las partículas sólidas de carbon incandescente son las que dan á la llama su poder de iluminacion.

Con la misma facilidad con que podemos dar brillantez á una llama no luminosa, es posible privar de su brillo á otra llama de gas demasiado resplandeciente; y para esto tan solo es necesario mezclar una cantidad de oxígeno ó de aire atmosférico con el gas antes de que se inflame, de modo que el cuerpo comburente penetre en el interior de la llama y queme todo el carbon que el gas pueda contener. En este caso, deja de ser luminosa la llama instantáneamente, encontrándose en iguales condiciones que una llama de hidrógeno puro; si la cantidad de oxígeno es suficiente, la combustion del hidrógeno y del carbon es completa y toda la llama arde con igual rapidez; por manera, que debido al extraordinario desarrollo de calor que de esta suerte se obtiene, la llama no luminosa posee una temperatura mucho mas elevada que la brillante, pasando á ser, de foco luminoso, foco calorífico. En oposicion á estos hechos podemos presentar otros que prueban que la presencia de las partículas sólidas en la llama no es de necesidad absoluta para que adquiera gran poder luminoso. Frankland demostró que al quemarse el hidrógeno en el oxígeno, bajo una presion que gradualmente fuese en aumento hasta llegar á veinte atmósferas, crece en proporcion la débil luminosidad de la llama, de tal modo, que á la presion de diez atmósferas posee bastante brillo como para permitir la lectura de un periódico á una distancia de cincuenta centímetros del foco. En la combustion del gas óxido de carbono se observa un aumento de esplendor análogo, segun que crece la presion del oxígeno ó cuerpo comburente; en estas condiciones, tambien arde en el oxígeno el bisulfuro de carbono, ó en el gas óxido nítrico, con luz intensa, por mas que no existan en la llama partículas sólidas.

Afirma Frankland, con este motivo, que la luminosidad de la llama del hidrógeno carbonado, no se debe á la presencia de las partículas sólidas de carbon incandescentes, y que el negro de humo ú hollin que se deposita en el platillo de porcelana, no es carbon sólido, sino un conglomerado de los hidrocarburos luminosos mas densos. Demostró asimismo el sabio profesor, que la llama del gas de hulla es por completo transparente, fundándose en que habia hecho pasar á través de la llama una intensa luz eléctrica proyectándola sobre la pantalla, sin percibir el menor indicio de esas supuestas partículas de carbon.

Pero si Frankland supone que la luminosidad de la llama depende principalmente de la densidad del gas combustible, Sainte Claire Deville la atribuye á la temperatura de la combustion, dependiente á su vez de la densidad del gas. Sea la que quiera la causa de la luminosidad de un cuerpo incandescente, es un hecho cierto, que los sólidos y líquidos en estado de incandescencia poseen un brillo mucho mayor y emiten una luz mucho mas intensa que los gases luminosos á la presion ordinaria, y que el poder luminoso de estos crece en razon de la presion á que se hallan sometidos, que redunda asimismo en un aumento de densidad, aproximándose de esta suerte á las condiciones de los flúidos.

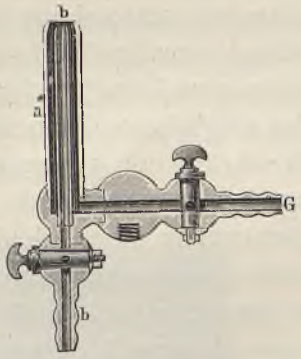
© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

II

El mechero de Bunsen y la luz de magnesio

La lámpara ó mechero de Bunsen, indispensable en todas las investigaciones de análisis espectral, sirve para demostrar la exactitud de las anteriores afirmaciones. Esta clase de boquilla permite una combustion rápida de las partículas de carbon de la llama de gas, desarrollando un alto grado de calor, lo cual se consigue sencillamente, haciendo que el gas se mezcle por completo con el aire atmosférico, antes de empezar á arder en el extremo del tubo que constituye el aparato. La llama no produce luz, pero su temperatura es muy considerable; la boquilla lleva en su parte inferior una cámara ó receptáculo que da acceso al aire, y si se tapan con los dedos los orificios que permiten el ingreso de la atmósfera, en seguida adquiere la llama su potencia lumínica, depositándose en la





Figs. 113 y 114.— Soplete de Bunsen

porcelana una abundante capa de hollin, lo cual no ocurre con la llama oscura y calorífica.

Un solo mechero puede servir para obtener una llama luminosa ó calorífica, segun la voluntad del operador, haciendo girar simplemente un anillo de metal colocado en la base del instrumento, artificio importantísimo para todos los trabajos de análisis espectral; una posicion del anillo permite la entrada del aire, produce una llama de alta temperatura y ningun poder luminoso; y cerrando con un ligero movimiento los orificios de esta pieza, cesa la entrada del aire y la llama adquiere las propiedades ordinarias de una luz de gas.

Tan intenso es el calor de esta llama, que fácilmente convierte en gas cualquiera sustancia que se desee examinar con el espectroscopio, obligándola á emitir luz suficiente como para producir un espectro perceptible. Pero aun puede conseguirse una temperatura mucho mayor, si en vez de dejar que el aire atmosférico se mezcle por sí mismo con el gas, se le obliga á hacerlo con mas energía por medio de un soplete poderoso. Un aparato de esta clase es el que muestran las figs. 113 y 114; el gas viene por el tubo G y entra en un cilindro de mayor diámetro *a*, cerrado con una llave por su extremo inferior, pudiendo girar el instrumento sobre la columnita ó pié que lo sustenta; el gas atraviesa el cilindro y sale por el extremo superior. Por el centro del cilindro *a* pasa un tubito de poco calibre *bb*, que es el que conduce el aire atmosférico inyectado por el orificio inferior, por medio de un tubo de goma y de un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fuelle grande como de fragua. La llama de gas recibe tanto oxígeno de este modo, no solo por sus bordes, sino tambien en el centro, que se desarrolla una temperatura enorme á causa de la combustion completa del hidrógeno y el carbono. En la misma boquilla hay otro tubito de corredera, con cuyo juego y el de las llaves de admision, puede regularse á voluntad el grado de calor de la llama para cada experimento particular; mientras mayor sea la cantidad de gas que pueda quemarse en un espacio dado, y la fuerza y rapidez de la combustion, mas considerable será tambien la cantidad de calor que se desarrolle. Por esta razon, en los grandes laboratorios se acumula en un gasómetro el aire atmosférico por medio de una bomba de compresion y se le conserva á una presion de una y media ó dos atmósferas; dispuesto el soplete de esta suerte y con una mezcla perfecta de gas y de aire comprimido, adquiere tal temperatura la llama, debido á lo completamente que se verifica la combustion de tan gran cantidad de hidrógeno carbonado, que en pocos instantes funde y derrite un kilógramo de platino que es el metal mas poco fusible que se conoce.

Hay varias sustancias como el potasio, sodio, etc., que tienen tan grande afinidad por el oxígeno, que lo separan de las combinaciones mas íntimas, con objeto de formar con él un cuerpo nuevo, proceso al que acompaña, como en todas las reacciones químicas, un desprendimiento de luz y calor. Distínguese particularmente entre estas sustancias, el magnesio, por el extraordinario desarrollo de luz y calor que produce; este metal es blanco como la plata y de notable brillo metálico; es muy ligero, si bien algo mas denso que el agua, de modo que no puede flotar en su superficie; cuando se calienta en el aire á cierto grado de temperatura, arde á expensas del oxígeno atmosférico, con luz blanca y deslumbradora, y con tal intensidad, que es imposible contemplar su llama.

Se quema el magnesio con mucha rapidez, y el producto de la combustion, que es magnesia incandescente, brilla con luz muy intensa; parte se eleva en el aire en forma de humo blanco y parte cae á tierra como polvo blanco tambien. Aunque la potencia lumínica del Sol viene á ser unas 524 veces mayor que la de la luz del magnesio, la actividad de los rayos químicos del luminar del dia tan solo en cinco veces supera á la del magnesio incandescente. Es, por lo tanto, esta luz, muy á propósito para la representacion fotográfica de los objetos débilmente iluminados por el Sol, como las obras de arte de los templos y museos, ó de los edificios subterráneos, ó grutas y cavernas de interés científico. Es sabido que las catacumbas de Roma y los sepulcros de las Pirámides han podido fotografiarse con toda perfeccion, gracias al auxilio de la luz de magnesio. Por desgracia, el precio de este costoso metal es aun muy elevado (una peseta el gramo); puede calcularse que el alambre ordinario de magnesio arde á razon de un decígramo por minuto ó sean diez céntimos de peseta y desarrolla una luz igual en intensidad á setenta y cuatro bujías de estearina, de las de diez en kilógramo; por este dato experimental, fácilmente puede calcularse que la *unidad de luz* en la combustion del magnesio no cuesta mucho mas que su equivalente en velas esteáricas.

Para que la luz de magnesio tenga utilidad práctica, es necesario que el operador regule á voluntad la combustion y que los rayos luminosos puedan concentrarse sobre un punto determinado y en la direccion que se desee. En la figura 115 se representa una lámpara que llena cumplidamente estas condiciones; se compone de un mecanismo de relojería encerrado en un cilindro de metal, al que se da cuerda por medio de la llave *c*, y una vez puesto en movimiento, hace girar dos pequeños rodillos, colocados uno sobre otro. El hilo de magnesio entra en el aparato por el ori-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ficio *o* al desenrollarse del carrete en que está envuelto, pasa entre los dos cilindros y es empujado hácia adelante con una velocidad uniforme, saliendo por el tubito de bronce *p q*. El orificio *q* de este tubo se encuentra en el foco de un espejo plateado cóncavo, de modo que al inflamarse el alambre, toda su luz se proyecta hácia la parte anterior; el mango *b* permite dar á la lámpara la posicion que se desee, con la mayor comodidad. El volante *R*, cuyas aspas son movibles á voluntad, sirve para regularizar la marcha del reloj; una palanquilla *a* deja en libertad el mecanismo si se oprime hácia abajo y pára el movimiento empujándola en sentido contrario.



Fig 115. — Lámpara de magnesio

Con objeto de desalojar rápidamente la magnesia que se forma por la combustion del magnesio, se dispone un tiro artificial, cerrando con un vidrio la parte anterior de la lámpara y colocando una chimenea encima del mechero; el aire penetra por una abertura inferior; los vapores de magnesio salen por la chimenea, y de este modo la cámara formada por el cristal y el reflector donde tiene lugar la combustion, queda sin humo perjudicial á la transparencia y pureza de la luz.

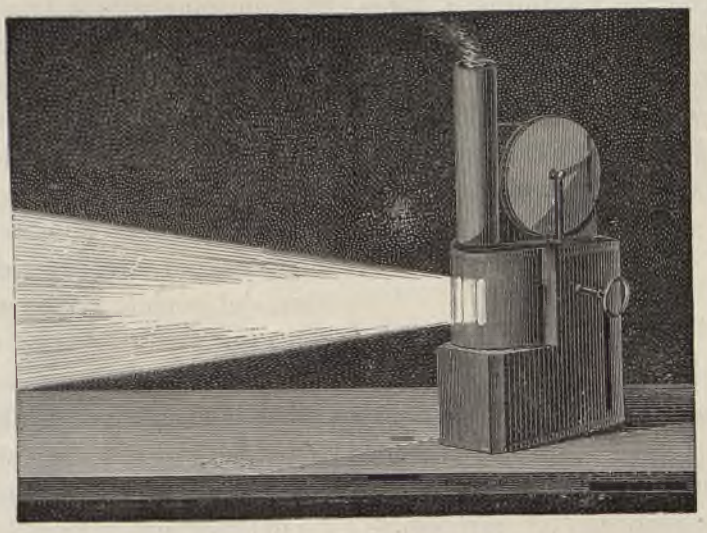


Fig. 116.—Lámpara de magnesio del profesor Morton

Otra lámpara excelente de esta clase es la que ideó el profesor Morton, de Filadelfia, representada en la figura 116; la máquina de reloj se coloca en la parte baja que sirve de pedestal y hácia atrás, y sobre ella se ve una rueda ó carrete, que es el depósito de alambre; en la parte anterior de la caja se fijan dos cilindros por los que pasa el hilo de magnesio, y á medida que funciona el mecanismo de relojería, se quema en el extremo del mechero, colocado precisamente debajo de la chimenea; el aire atmosférico penetra libremente por las uniones del aparato, estableciéndose una corriente bastante poderosa que arrastra por la chimenea los vapores de magne-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sia. En la parte inferior de la chimenea, y debajo de la luz, se mueven unas excéntricas que de cuando en cuando retiran las cenizas de magnesia formadas por la combustion. En la chimenea se coloca un tubo de estaño encorvado, de uno á dos metros de largo, y con un velo ó saco de muselina, que sin presentar obstáculo alguno á la corriente del aire, impide que el polvo de magnesia vuelva á caer en la lámpara. Con tal artificio se consigue que la luz conserve toda su pureza, siendo en intensidad muy superior á la que produce la lámpara que antes explicamos.

Nos hemos extendido algun tanto en la descripcion de estos aparatos, porque el magnesio juega un papel muy importante en el análisis espectral, si bien la temperatura desarrollada por su combustion no puede emplearse para volatilizar otras sustancias y hacerlas luminosas, pues á causa de su excesivo resplandor, supera y eclipsa al brillo de los cuerpos volatilizados. Tenemos, pues, necesidad de buscar una llama, que, con el menor resplandor posible, desarrolle bastante calor como para fundir la mayor parte de los metales; la química nos proporciona para este objeto el soplete oxhídrico.

III

La llama oxhídrica

Hemos visto que la combustion en el mechero de Bunsen se verifica de un modo incompleto y con cierta lentitud; depende esta última circunstancia de que la combinacion del hidrógeno con el carbono se efectúa en cortas cantidades, y es incompleta porque ambos gases no se mezclan en la proporcion debida, siendo para ello obstáculo la presencia del nitrógeno atmosférico; si, por el contrario, se mezcla préviamente el gas hidrógeno puro con tal cantidad de oxígeno puro tambien, como para que se verifique la combustion completa (dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno) se obtiene el gas oxhídrico, que al arder detona con gran estruendo, ocasionando á las veces la rotura de los aparatos y aun mas graves accidentes. El calor desarrollado por esta combustion es el mas elevado que puede conseguirse en nuestra época por medios químicos, y basta para fundir algunos metales que, hasta aquí, habian resistido á la temperatura de los hornos mas poderosos.

Para poderse servir de esta llama sin correr los riesgos de una explosion, es necesario que no se mezclen los gases antes de arder, ni que salgan tampoco de un mismo gasómetro ó depósito, pues en este último caso puede la llama volver hácia atrás y pegar fuego á la mezcla detonante. Hay que disponer de tal suerte el aparato, que los gases lleguen al tubo de emision por distintos conductos, reuniéndose únicamente en la inmediata vecindad del orificio del soplete.

La disposicion mas sencilla de esta clase es muy semejante á la del soplete de hidrógeno que ya describimos, con la diferencia, sin embargo, de que las secciones de ambos tubos han de estar muy aproximadamente en la razon de dos á uno. Los gases se almacenan en dos sacos distintos (fig. 117) capaces de soportar una presion moderada; el tubo exterior ó de mayor calibre del soplete, debe unirse al tubo de goma que parte del saco del hidrógeno, y el tubito interno al saco que sirve de depósito del oxígeno. Ambos tubos deben llevar en su interior un diafragma de tela metálica que sirve para impedir que la llama del mechero retroceda hasta los sacos por dentro de los tubos, ó que los gases pasen de uno á otro tubo por una causa cualquiera, como la diminucion de presion de uno de los sacos ó depósitos.

Es muy conveniente la disposicion de la lámpara oxhídrica ó soplete que indica la figura 118; el mechero C va fijo á un soporte ó peana con dos tubos S y W, por los cuales entran el oxígeno y el hidrógeno; la parte superior del mechero C está

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

inclinada y unida de tal suerte con el pedazo inferior, que puede girar en todas direcciones. Adaptando á la pieza E un brazo de metal, giratorio, con un soporte en el que se puedan insertar diversos objetos, como pinzas, etc., y si además, por medio de una barra dentada con su piñon, se da movimiento en sentido vertical á la parte superior de la pieza E, se obtiene un aparato que lo mismo puede emplearse

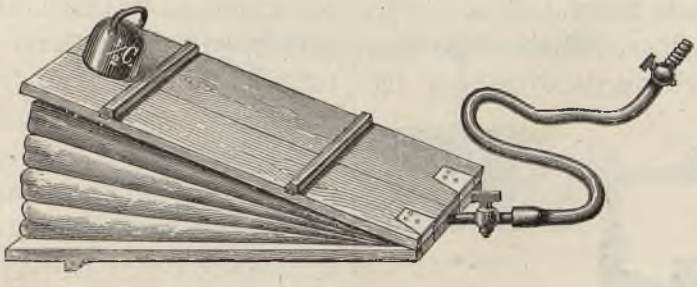


Fig. 117.—Saco para gas

para producir una temperatura muy elevada, como una luz brillantísima, y que debido á la sencillez de su manipulacion

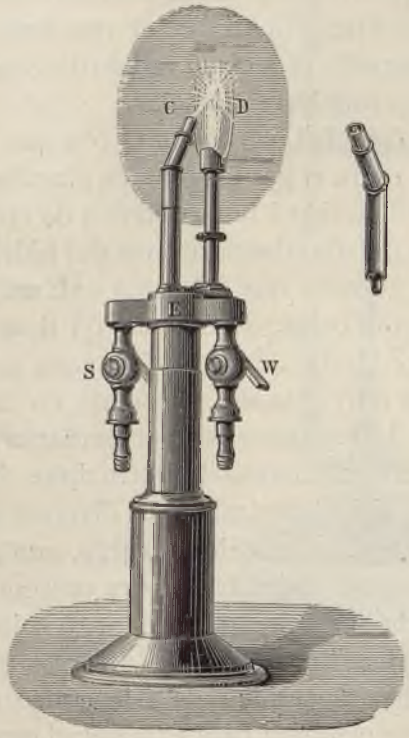


Fig. 118.—Soplete oxhídrico

tiene en la práctica multitud de aplicaciones.

Para producir la llama oxhídrica, es necesario abrir primero la llave W dando entrada al hidrógeno durante unos cuantos segundos antes de inflamarlo, con objeto de que expulse la pequeña cantidad de aire atmosférico que pudiera contener el tubo elástico; arde el hidrógeno á la presion que se dé al saco ó depósito y que suele ser de unos 50 kilógramos, con una llama larga y escasamente luminosa; entonces puede abrirse la llave S del oxígeno, con cierta precaucion, para que el estampido que se produce al mezclarse ambos gases sea muy débil, y gradualmente se deja entrar mayor cantidad de oxígeno en la llama de hidrógeno, que cada vez se acorta mas haciéndose mas puntiaguda, hasta que cesa casi por completo su poder luminoso; si se evita la corriente de hidrógeno que pudiera haber de exceso, cerrando parcialmente la llave W, en el acto se formará la llama corta, puntiaguda y nada luminosa del soplete oxhídrico.

Nos llevaria mas allá de nuestro objeto la descripcion de los experimentos diversos que se hacen con la llama del soplete de hidrógeno y oxígeno, y solo mencionaremos algunos de los mas notables. Un alambre grueso de platino, que resiste al fuego de forja mas intenso, se derrite como cera en la llama oxhídrica; si se introduce un muelle de acero, de reloj, en la misma llama, se ven infinitas chispas de hierro incandescentes que producen una lluvia de fuego admirable, cayendo al suelo esferitas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de hierro derretido de tamaño bastante regular. Con el aparato que representa la figura 119 obtuvieron los químicos franceses Sainte Claire Deville y Debray, la fusion de considerables masas de platino; para fundir un kilógramo de este metal y mantenerlo en estado de fusion todo el tiempo necesario para afinarlo, hace falta una combustion de 70 litros de oxígeno y 120

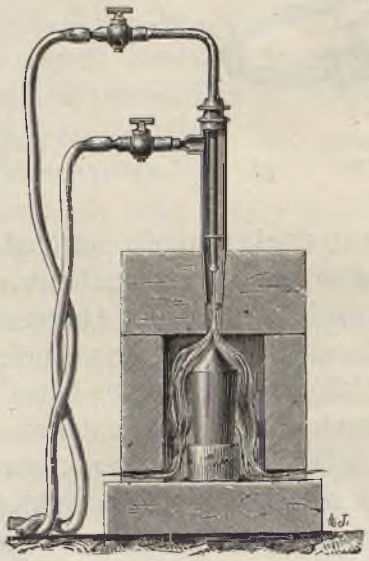


Fig. 119.—Soplete y crisol de gas oxi-hidrógeno

de hidrógeno. Se calcula que el calor de la combustion del hidrógeno, que es el mas intenso que se conoce, corresponde á una elevacion de temperatura de 6,800 grados.

Para producir un foco luminoso de gran potencia, se coloca en el soporte del soplete oxhídrico un cilindro de cal D (figura 118) y se dirige la llama hácia su extremo superior; la luz de oxi-hidrógeno ó de Drummond, así llamada del nombre de su inventor, se hace aun mucho mas intensa sustituyendo al cilindro de cal un pedazo de magnesia ó de zirconio, disposicion adoptada en Paris para alumbrar algunos paseos públicos en tiempo de festejos. El cilindro cálcico se consume lentamente en la lámpara oxhídrica, por manera que hay necesidad de presentar á la llama constantemente nuevas porciones de la superficie, pero el zirconio no se gasta, por mas que se lleve al último límite de la incandescencia.

Tanto la luz como el calor de la llama de oxi-hidrógeno dependen de la cantidad de gas que arde, por lo cual es difícil estimar con exactitud su temperatura; en una lámpara cuyo tubo externo ó del hidrógeno tenga 14 milímetros de diámetro, y el interno ó del oxígeno 5 milímetros, viene á ser la potencia luminosa igual, cuando menos, á 180 bujías esteáricas.

Las luces de magnesio y la oxhídrica se emplean con gran frecuencia y buen éxito no solo en las iluminaciones públicas, sino tambien en los teatros, en la fantasmagoría y cuadros disolventes y en las aplicaciones del microscopio; del propio modo, la llama no luminosa del aparato oxhídrico es utilísima para los estudios de análisis espectral, por el extraordinario calor que desarrolla que permite reducir al estado de vapor luminoso muchas sustancias.

La facilidad y economía con que se fabrica ahora el gas oxígeno en grandes cantidades, unido á la posibilidad de emplear el gas del alumbrado en vez del hidrógeno puro, permite que la llama oxhídrica sea un medio barato de obtener un desarrollo extraordinario de calor y luz, nada peligroso y sí muy cómodo, suficiente en la mayoría de los casos para presentar ante un auditorio numeroso los principios físicos del análisis espectral y sus diversos métodos de aplicacion. Sin embargo, aunque la lámpara oxhídrica basta para presentar en la pantalla del aparato de proyeccion las fotografías iluminadas de diversos espectros, hay necesidad de hacer uso de la lámpara eléctrica para exponer el espectro de los metales; pasaremos, en consecuencia, á describir estos instrumentos.

IV

La chispa eléctrica y el carrete de induccion

Para obtener, por lo tanto, la mayor cantidad de luz y de calor que es posible pro-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ducir en nuestros dias, tenemos que abandonar los dominios de la química con sus procedimientos de combustion y volver la vista á la electricidad y sus agentes.

Cuando la chispa eléctrica se desprende de la nube tempestuosa y descarga en la tierra, se ilumina todo el espacio que abarca nuestra mirada, con luz deslumbradora; derritiendo á su paso hasta los metales menos fusibles; no hay agente mas lumi-

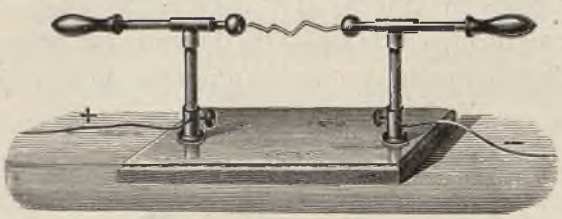


Fig 120 — La chispa eléctrica

noso ni calorífico que el rayo, pero su potencia misma nos impide utilizar esta clase de descarga eléctrica y apenas está en nuestras manos el libertarnos de su influjo destructor, encaminando el curso de la chispa, desde la nube al suelo. Debemos,



Fig 121.— Chispa eléctrica amplificada con un condensador

pues, limitarnos á hacer uso de las descargas eléctricas producidas por medios artificiales.

Además de las conocidas máquinas que desarrollan electricidad por el rozamiento de un disco de vidrio, se ha inventado en época reciente un aparato llamado carrete de induccion y en lenguaje gálico *bobina de Ruhmkorff*, dotado de gran fuerza eléctrica y que produce una chispa de extraordinario brillo. En todos los motores eléctricos dispuestos para la produccion de la luz, se forman las chispas entre dos polos metálicos ó pedazos de alambre puestos en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

contacto con las partes de la máquina (figura 120) que acumulan la electricidad positiva y negativa. Por la atraccion mútua de ambas electricidades y debido tambien á la tendencia que manifiestan para reunirse, se desarrolla una gran tension eléctrica en los extremos de los polos metálicos, al tiempo de separarlos uno de otro; si la tension es tan considerable que puede vencer el obstáculo que presenta la capa de aire interpuesta entre ambos polos, se reunen instantáneamente las dos clases de flúido, y la union tiene lugar bajo forma de luz y calor, produciéndose la chispa eléctrica ó arco voltaico.

La cuantía del calor que así se desarrolla depende del grado de tension y de las cantidades de electricidad por cuya reu-

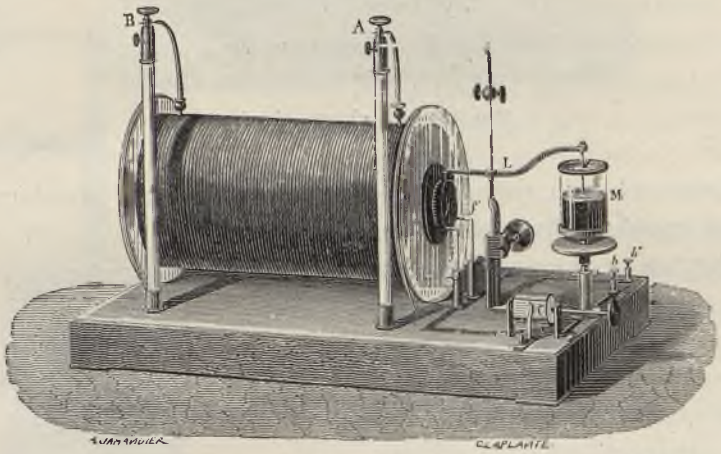


Fig. 122.—Maquina de induccion de Ruhmkorff

nion se produce; pero en muchos casos es tan considerable, que se volatilizan pequeñas partículas de los conductores, haciéndose luminosas. El vapor metálico toma el color de la chispa, que aparece diversamente matizada segun el metal de que se componen los conductores; esta condicion es de utilidad suma en los estudios de análisis espectral, pues en ella encontramos un procedimiento sencillo y eficaz de volatilizar elevando á un alto grado de temperatura y luminosidad casi todos los metales y otras sustancias conductoras del flúido eléctrico. Para obtener un resultado igual con los líquidos, tan solo es menester, como mas adelante se dirá mas detalladamente, insertar uno de los polos metálicos en el líquido que se desea examinar, colocando el otro bastante cerca de la superficie, de modo que la chispa descargue á través de la sustancia; el calor de la chispa volatiliza una corta porcion del líquido, que en el trayecto se hace luminosa.

En caso de que la chispa de la máquina sea insuficiente y se desee una temperatura superior, se emplea un aparato para darle mayor intensidad como la botella de Leyde ó condensador, que se coloca entre los dos conductores metálicos A B (fig. 121); la chispa pasa de A á B únicamente cuando se ha cargado el condensador, y el calor desarrollado está en proporcion de la cantidad de electricidad acumulada en la botella.

Tambien se hacen luminosos los gases por medio de la chispa eléctrica, encerrándolos en unos tubitos de cristal y dejando pasar á través de ellos una descarga proporcionada, la cual toma distintos colores segun la naturaleza del gas; en el hidrógeno aparece rojo de púrpura, verde en el cloro, violeta en el ázoe y en el oxígeno blanco; pero este método no es por lo general de resultados seguros, debido á que el calor de la chispa es insuficiente á la presion ordinaria para producir fenómenos lumi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nosos en una cantidad grande de gas; de aquí á poco veremos cómo se ha obviado esta dificultad encerrando los gases en cierto estado de enrarecimiento.

Uno de los motores eléctricos mas poderosos que se conocen es el ingenioso aparato llamado carrete de induccion, en el cual una corriente eléctrica relativamente débil, adquiere una gran fuerza y produce chispas eléctricas de tal longitud y tension, que casi pueden compararse con el mismo rayo. En la fig. 122 se representa la máquina de induccion de Ruhmkorff; se compone de dos carretes, uno interior cuya hélice está formada por un hilo de cobre de un diámetro algo grueso (2 á $3^m/_m$), pero de moderada longitud, 50 á 60 metros, por ejemplo, que se llama carrete inductor; los extremos del hilo inductor se ven en f y f', que terminan en unos pomitos de laton. El carrete inducido envuelve al primero, alojado concéntricamente en su cavidad interior; su hélice la forma un alambre mucho mas delgado, como de 3 décimos de milímetro, y de una longitud que puede llegar á 30 y mas kilómetros; los dos extremos del hilo inducido rematan exteriormente en otros dos pomos metálicos A y B soportados por unas columnitas aisladoras de vidrio. Finalmente, en la parte interna del carrete inductor hay un haz cilíndrico de gruesos hilos de hierro dulce reunidos en sus extremidades por dos abrazaderas del mismo metal.

Siempre que la corriente de un electromotor, de una pila v. gr., se dirija al hilo inductor entrando por f y saliendo por f', nacerá una corriente inducida en el hilo del carrete externo, por el doble influjo de la hélice inductora y de la imanacion del haz central de hierro dulce. Siempre que se interrumpa la corriente inductora, nacerá en la hélice inducida una nueva corriente de sentido contrario á la primera; multiplicando los pasos de corriente y las interrupciones, se llega á producir una serie de corrientes tan inmediatas é intensas, que el efecto resultante será superior al de las baterías mas poderosas. Tenemos que decir ahora cuál es el mecanismo que se emplea para obtener estas interrupciones sucesivas.

En *L* se ve una palanca metálica de dos brazos, uno de los cuales lleva una punta que roza ligeramente con la superficie del mercurio contenido en el vaso M, mientras que la otra termina en una masa de hierro dulce, colocada en tal disposicion que puede llegar, á tocar el haz de alambres del carrete inductor; cuando toca la punta en la superficie del mercurio, cesa el contacto del martillo y del haz de alambre, y recíprocamente, si este último contacto tiene lugar, no llega al mercurio la punta metálica. Partamos de la primera hipótesis y observemos lo que sucede en el aparato. La corriente de la pila pasa entonces por la columna que soporta el vaso de mercurio, sigue por el líquido, por la punta que con él está en contacto, por el brazo L de la palanca, baja por la columna de metal que la sostiene y por una cinta metálica se dirige al hilo f' del carrete inductor. Pasa, pues, la corriente á la hélice inductora, sale por f y vuelve al otro reóforo de la pila. El contacto de la punta y el mercurio deja paso á la corriente inductora, pero en el momento de principiar se imana el haz de hierro dulce, atrae el martillo de la palanca, de donde resulta la separacion del brazo que lleva la punta; abandona esta la superficie del mercurio y queda rota la corriente; entonces cesa la imanacion del haz de hierro y con ella el contacto con el martillo y vuelve á sumergirse en el mercurio la punta metálica. Se reproducen nuevamente los mismos fenómenos, mientras tanto que la hélice inductora se encuentre en comunicacion con la pila.

Este aparato, descubierto por el malogrado físico francés Foucault, se llama interruptor de mercurio.

Nada hemos dicho todavía del conmutador *c*, debido al constructor Ruhmkorff

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuyo nombre lleva; su oficio es cambiar el sentido de la corriente inductora y aun suprimirla por completo. Lo forma un cilindro de boj ó vidrio, cuya superficie convexa se encuentra en parte cubierta por dos láminas de laton ó cobre c c'(fig. 123) mas gruesas en el centro que en los bordes;

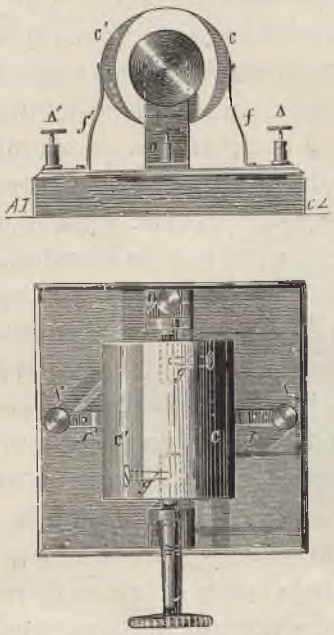


Fig. 123.—Conmutador del carrete de induccion; elevacion y planta

dejan en descubierto estas placas entre sí, dos partes de la superficie del cilindro aislador; á cada lado hay dos muelles f f' que se apoyan lateralmente contra el cilindro cuando se le hace girar de manera que presente á los resortes las piezas de metal. Si por medio del boton que lleva en su eje, se hace girar el cilindro unos 90 grados, las planchuelas de los muelles se encuentran de frente al vidrio, pero sin tocarlo; en la primera posicion pasa la corriente, quedando interrumpida en la segunda; en efecto, la corriente de la pila llega al pomo *A*, de aquí, por el resorte f, pasa á la planchuela de cobre C. Esta última comunica por un tornillo *g* á uno de los muñones del cilindro, luego al boton D, y recorre el circuito, pues una de sus extremidades se halla fijada en este punto; vuelve por el otro extremo al boton D', al segundo muñon del cilindro y por el tornillo á la placa C' y finalmente por el muelle f' al pomo A' de donde vuelve á la pila. Si los resortes f f' dejan de tocar á las planchuelas c c' no pasa la corriente, de modo que el aparato es tambien un interruptor ó reótomo. Pero cuando pasa la corriente, como acabamos de decir, basta que el boton gire 180 grados para cambiar su direccion, pues en este caso, la placa C' toca en el resorte f y la corriente irá de D' á D en lugar de pasar de D á D'; por manera que el pequeño aparato de Ruhmkorff es á la vez conmutador ó reótropo; forma parte del carrete de induccion, pero se comprende sin mayor esfuerzo, que tambien se le puede utilizar de un modo independiente, siempre que sea necesario variar el sentido de una corriente eléctrica ó interrumpirla por completo.

Puesta en funcion la máquina de Ruhmkorff, basta aproximar los dos extremos del hilo inducido para que aparezca una serie de chispas que se suceden con tal rapidez, que el surtidor luminoso parece contínuo; es digno de observarse que de las dos corrientes inducidas de sentido contrario que nacen por las interrupciones sucesivas de la corriente inductora, tan solo produce chispas la corriente directa; la tension de la corriente invertida no tiene bastante fuerza para atravesar el aire.

Con los primeros carretes solo alcanzaba la chispa una longitud máxima de 8 milímetros; poco á poco se realizaron grandes mejoras entre las cuales debemos contar la de Fizean, que consiste en interponer una botella de Leyde en el circuito, obteniendo por tal medio chispas mucho mas largas y así como de 10, 20 y 30 centímetros. Dando á la hélice inducida un hilo de 100 kilómetros de longitud ha podido Ruhmkorff obtener chispas de 50 centímetros de largo, y tan poderosas, que con ellas ha podido perforar bloques de vidrio de 10 centímetros de lado. Los efectos físicos que se consiguen con esta potente máquina son por todo extremo no-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tables y se utilizan en la carga de los condensadores; así pudo Jamin, con una batería de 120 botellas de Leyde con cuatro carretes pareados, alimentados cada uno por dos elementos de Bunsen, fundir y volatilizar alambres de hierro, plata y cobre de mas de un metro de largo.

En un pliego de papel engomado se echan unos cuantos puñados de limaduras de cobre de modo que se forme una especie de liga, y cuando esté seco, se pone en contacto con uno de los polos del carrete de induccion; pasa la corriente de una á otra partícula metálica con tal rapidez, que todo el papel parece un ascua ó relámpago perenne; por este medio puede darse á las chispas una longitud de 3 á 4 metros, que por su brillo, color y estampido presentan una estrechísima semejanza con el rayo.

Basta para las principales investigaciones del análisis espectral con una máquina de Ruhmkorff de fuerza moderada; sus polos se fabrican de platino porque este metal puede soportar el calor de las chispas, que al funcionar el aparato, pasan entre ellos con ruido estridente y en sucesion velocísima como un chorro ó surtidor luminoso de brillo incomparable.

Como el carrete de induccion puesto en marcha una vez, sigue funcionando por sí mismo, es mucho mas adecuado á las necesidades del análisis espectral que las otras máquinas eléctricas que solo producen flúido mientras gira el disco de cristal.

V

Iluminacion de los gases; tubos de Geissler.

Para estudiar los efectos que produce la descarga eléctrica en los medios gaseosos enrarecidos, se emplea el aparato representado en la fig. 124 que se llama huevo eléctrico.

Dos varillas metálicas terminadas cada una por una bola y que comunican con las guarniciones, conductoras asimismo, del aparato, pueden acercarse ó alejarse á voluntad. Tambien se separa el huevo de su pedestal para atornillarlo en la máquina pneumática, de modo que es posible rarificar el aire, hacer el vacío é introducir otro gas, segun el gusto del operador.

En el aire á la presion ordinaria, salta la



Fig 124.—Huevo electrico

chispa entre las dos bolas y es en un todo igual á la que acabamos de describir; pero á medida que el aire se enrarece, cambia el aspecto de la luz y sale en forma de penacho rameado de la bola positiva; á la presion de 60 milímetros presenta la apariencia de la fig. 125. Vemos que en este caso se compone de varios rastros luminosos de color púrpura, que unos divergen lateralmente y otros terminan en la bola negativa, que á su vez se encuentra envuelta por una capa de luz violada ó cerúlea; cuando se disminuye la presion á unos cuantos milímetros, se reunen las bandas en un penacho de forma de huso.

Si se rarifica el aire contenido en el huevo eléctrico hasta la presion de dos milímetros de mercurio, v. gr., y si se ponen en comunicacion las bolas interiores con los polos de un carrete de Ruhmkorff, se ve saltar en el acto un magnífico penacho luminoso, de color rojo en la bola positiva,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mientras que la varilla y la bola negativa están rodeadas de una capa de luz azulado-



Fig. 125.—Luz eléctrica en el aire rarificado; bandas purpúreas



Fig. 126.—Penacho luminoso en el aire enrarecido; descarga de la corriente de induccion

rojiza. Si se invierte la direccion de la corriente por medio del conmutador, cambia la posicion de las luces instantáneamente; el penacho arranca entonces de la bola inferior y la aureola violeta se desarrolla en la bola opuesta.

Si antes de rarificar el aire se introducen en el huevo vapores de diversas sustancias como, por ejemplo, de alcohol, fósforo ó esencia de trementina, toma el penacho luminoso un aspecto particular, descubrimiento que realizaron simultáneamente Ruhmkorff, Grove y Quet. La luz roja del penacho se interrumpe transversalmente



Fig. 127.—Estratificacion de la luz eléctrica en un gas enrarecido

por bandas oscuras, muy próximas, de suerte que está formada por estratos brillantes y estratos oscuros; desde el medio del penacho, en donde las hojas son rectilíneas, comienzan á encorvarse en sentido opuesto, de modo que su concavidad se dirige á la bola mas próxima. A este fenómeno se ha dado el nombre de estratificacion de la luz eléctrica.

Se ha simplificado considerablemente el estudio de estos fenómenos desde que el doctor Geissler, de Bona, por un nuevo procedimiento de rarificar el aire, llegó á

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

producir el vacío en tubos de vidrio, en los que se encierran los gases que se han de investigar, en estado de enrarecimiento extraordinario, y que pueden recibir la corriente de induccion con auxilio de alambres de platino fijos en las extremidades. Es muy vario el carácter de estos fenómenos, segun la forma y composicion de cada porcion del vidrio de que se hace el tubo, pero en particular, segun la

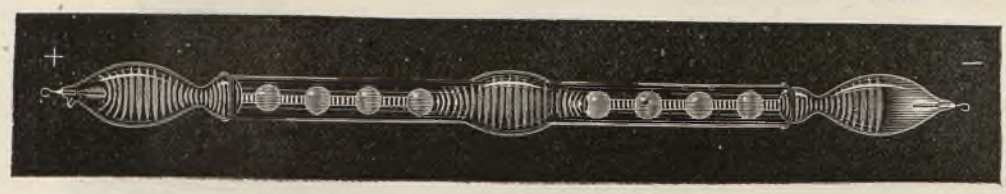


Fig. 128.—Tubo de Geissler

naturaleza de los gases que contienen y su grado de enrarecimiento. La figura 128 representa un tubo de Geissler combinado, y



Fig. 129.—Tubo de Plücker

de la clase á que nos referimos; puesto en comunicacion con los polos del carrete de Ruhmkorff, se hace luminoso el gas por el paso de la corriente eléctrica, con la particularidad que las porciones del tubo llenas de aire atmosférico rarificado, ó de nitrógeno, emiten una luz roja muy hermosa; el ácido carbónico y los carburos de hidrógeno dan tonos verdes y blancos; en la oscuridad presentan estos tubos un espléndido espectáculo por los estratos alternados de las zonas blancas y brillantes, la pureza de los colores y la diversidad de formas que el caprichoso artista supo dar al vidrio.

Aunque los tubos de Geissler son muy convenientes para hacer luminoso un gas cualquiera, presentan la dificultad de que la luz que emiten es demasiado tenue para que pueda utilizarse con provecho en los estudios de análisis espectral. El profesor Plücker, de Bona, uno de los físicos mas distinguidos que se conocen y que con singular empeño ha perfeccionado los procedimientos de este nuevo método de análisis, al hacer sus importantes estudios sobre el espectro de los gases, ideó concentrar la debilísima luz que emiten, modificando la forma de los tubos ordinarios; para esto construyó unos tubos con un cuello capilar, lleno de gas rarificado, á cuyo través pasa la chispa eléctrica.

Examinemos una serie de tubos de Plücker preparados para el análisis espectral; el primero de todos está casi reducido al vacío absoluto, ó cuando menos, la cantidad de aire que debe contener no ha de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

producir una presion superior á 6 décimas de milímetro de mercurio; el segundo tubo (fig. 129) cuya parte central *a b* es capilar, contiene gas hidrógeno en un estado de enrarecimiento grande; el tercero, nitrógeno, y los restantes, oxígeno, cloro, ácido carbónico y vestigios de vapores de iodo, azufre, mercurio, selenio, etc. Si se unen sencillamente estos tubos con el carrete de induccion, de suerte que la corriente pase entre los hilos de platino A y B, produciendo la iluminacion del gas, no muestra el primer tubo indicio alguno de claridad, aunque apenas hay entre los hilos una distancia de seis milímetros, y por mas que al aire libre la chispa eléctrica salve un espacio de 6 ú 8 milímetros. Se deduce de aquí, por lo tanto, que la corriente eléctrica necesita un conductor material para poderse transmitir de un hilo al otro y que no pasa donde no existen trazas de gases ó vapores, es decir, en el vacío absoluto. En los demás tubos, sin embargo, pasa la luz á través de la estrecha porcion *a b*, con intensidad considerable, percibiéndose á cierta distancia como una delgada línea de luz, del color particular del gas encerrado.

VI

La luz eléctrica

Será conveniente que dirijamos ahora nuestra atencion, por algun tiempo, á la fuente de electricidad que permite el desarrollo del calor en grado elevadísimo y con luz intensa, esto es, al arco voltaico.

Por el año 1800 publicó Volta el descubrimiento de la pila que lleva su nombre, descubrimiento que con razon se considera como el mas importante de la física moderna y el que ha tenido la mas decidida influencia sobre sus adelantos dando ocasion á las mas diversas é interesantes aplicaciones.

Veamos en qué consiste este aparato tan sencillo y maravilloso.

Dos discos superpuestos, de cobre el uno y el otro de zinc, forman lo que Volta llamó un *par electro-motor;* un número determinado de estos pares se colocan unos so-

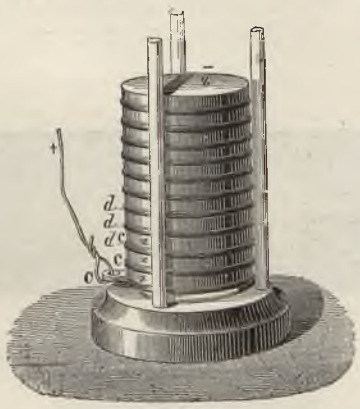


Fig 130.—Disposicion de los pares de la pila de Volta

bre otros, de modo que los dos metales se encuentren siempre dispuestos en el mismo órden, debajo el cobre y el zinc enci-

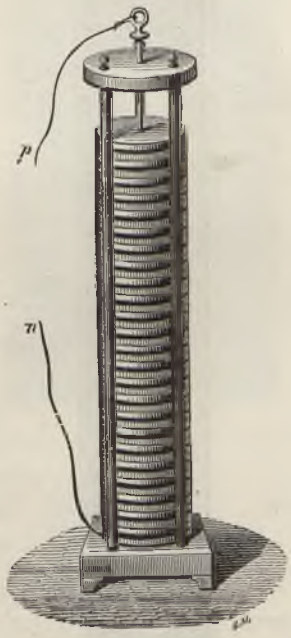


Fig. 131.—Pila de Volta ó de columna

ma; además, estos pares van separados por una rodaja de paño *d* (fig. 130) empapada en agua acidulada; el conjunto de estos pares forma una columna cilíndrica ó pila, sujeta por tres varillas de vidrio y que se apoya por su parte inferior en un disco de cristal asimismo, que á su vez descansa en una peana de madera.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Tal es la pila que construyó el gran físico italiano y que aun se construye en nuestros dias, salvo una modificacion de que hablaremos en seguida.

Sus propiedades son las siguientes:

Cada par, de un extremo á otro de la columna, se carga de electricidad positiva en el zinc y negativa en el cobre; pero la tension eléctrica varia segun la distancia de cada par á los extremos de la pila; en el centro es nula la tension, y á partir de este punto, crece la tension negativa hasta llegar al par inferior y la tension positiva crece del propio modo hasta el par superior. Mientras mayor es el número de pares, mas considerables son las tensiones eléctricas en las extremidades de la pila.

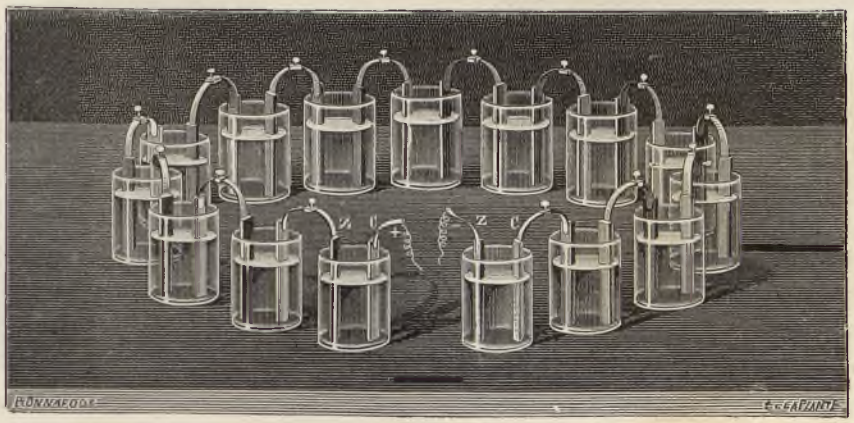


Fig. 132.— Pila de corona

En la pila que Volta construyó, dispuesta del modo que acabamos de decir, forma la extremidad inferior un disco de cobre, terminándose la superior en un disco de zinc. En las pilas modernas se suprimen ambos discos, por la razon siguiente: creia Volta que el verdadero par electro-motor dependia del contacto de ambos metales, zinc y cobre, y que la rodaja de paño acidulado obraba simplemente como cuerpo conductor. Hoy dia está demostrado que la fuerza electro-motora se origina en la superficie de contacto del paño húmedo y del zinc, por el influjo de la combinacion química del metal y el ácido; el verdadero par lo forman, pues, el zinc y el cobre separados por el líquido que moja el paño; en este caso son inútiles los discos de cobre y zinc que respectivamente sirven de extremos de la pila en la parte inferior y en la superior. Pero hecha la supresion, permanecen distribuidas las tensiones como antes, es decir, que la tension negativa se encuentra en el zinc inferior y la positiva en el cobre superior, de donde vienen los nombres de *polo negativo* y *polo positivo* que se da á las extremidades de la pila.

La pila de Volta ha recibido formas muy diversas, ideadas con objeto de que fuese su uso mas cómodo y principalmente para aumentar su energía; en la primitiva pila de columna, disminuia la potencia, porque el líquido de las rodajas de paño se rezumaba á causa del peso de los pares, produciendo en la cara externa de la columna unas corrientes secundarias á costa de la corriente principal; pero en todas las pilas que vamos á enumerar es igual el principio al de la primitiva de Volta.

Este mismo físico discurrió la pila de corona de tazas, cuya figura damos aquí (fig. 132).

Un cierto número de vasos colocados á continuacion unos de otros y dispuestos circularmente contienen agua acidulada;

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

los vasos comunican necesariamente unos con otros por medio de arcos metálicos formados de una hoja de zinc soldada á una hoja de cobre; la comunicacion se verifica en cada vaso de la misma manera, es decir, que á contar de una de las extremidades de la cadena, el arco entra por su cobre en el elemento que precede, y por su zinc en el elemento que sigue. Los dos vasos que forman la extremidad de la serie reciben, el uno una lámina de zinc, el otro una lámina de cobre, provistas cada cual de un hilo conductor: al primero corresponde el polo negativo, al segundo el positivo.

En estas pilas y otras fundadas en igual principio, es muy variable la corriente eléctrica; al principio, su intensidad llega al máximo, pero su energía disminuye progresivamente por causas muy diversas. Al influjo de la corriente, se descompone parcialmente el agua; el hidrógeno, que es uno de los gases de que se forma, se desprende, y cargándose el aire de partículas ácidas, hace que al cabo de poco tiempo sea la atmósfera irrespirable; ese hidrógeno, además, forma sobre la lámina de cobre una capa que presenta á la corriente una gran resistencia y disminuye notablemente su intensidad; se forman tambien corrientes parciales que absorben una porcion mas ó menos grande de la electricidad producida, debilitando, en consecuencia, la corriente inter-polar. Por último, debido á las mismas reacciones químicas, se combina el óxido de zinc con el ácido sulfúrico, produciendo una sal, el sulfato de zinc, y es evidente que el líquido se empobrece en la cantidad de ácido que debe contener.

Se ha tratado, pues, de hacer constantes las corrientes de las pilas modificando la construccion de los pares electro-motores. De aquí han nacido las pilas de corriente constante, que se distinguen de las de corriente variable por la disposicion que consiste en poner cada elemento del par en contacto con un líquido especial, de modo que evite la formacion de los depósitos heterogéneos en cada uno de ellos. Nos limitaremos á describir los pares mas usados,

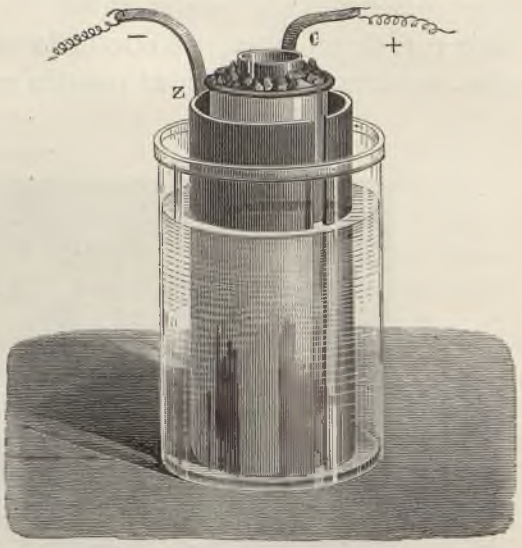


Fig 133.—Par de la pila de Daniell

que son los de Daniell, de Bunsen y de bicromato de potasa.

El elemento de Daniell se compone de

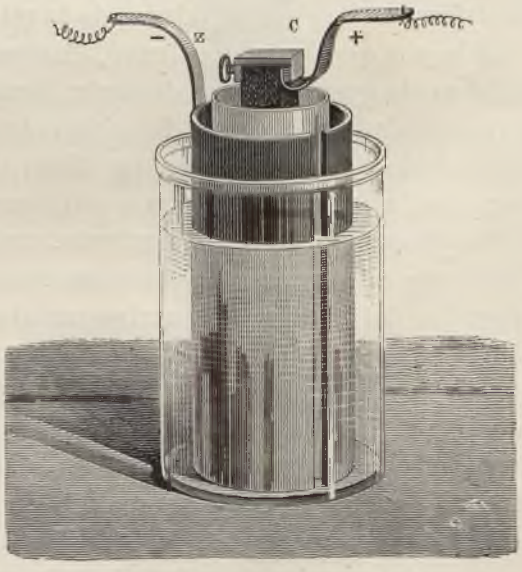


Fig. 134.—Par de la pila de Bunsen

un vaso exterior (fig. 133), que contiene agua acidulada, en el que entra un ancho cilindro de zinc Z. En lo interior de este cilindro se halla un vaso de tierra porosa que contiene una disolucion de sulfato de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cobre, en la cual entra un cilindro de cobre C; al hilo conductor fijo en el zinc corresponde, como lo muestra la figura, el polo negativo del elemento. Si se reune sucesivamente el cobre de un elemento con el zinc del elemento siguiente se formará una pila.

Fácil es ver que en esta disposicion, no existe la capa de hidrógeno que hace un oficio tan pernicioso en las pilas ordinarias; con efecto, el sulfato de cobre se descompone, y el metal, siguiendo el mismo camino que la electricidad positiva, acude á la lámina de cobre, con lo que el desprendimiento de hidrógeno es, digámoslo así, reemplazado por un desprendimiento de cobre, lo que en nada altera la condicion física del sistema. Veamos ahora cómo



Fig. 135.—Batería de pilas de Bunsen

se verifica el desprendimiento de las dos electricidades en el cobre y en el zinc. El agua se descompone: su oxígeno ataca al zinc, y se forma óxido de zinc, que se combina con el ácido sulfúrico del líquido del vaso exterior; el zinc toma tension eléctrica *negativa;* el hidrógeno del agua atraviesa el vaso poroso, ataca el sulfato de cobre, cuyo óxido se descompone, y se precipita cobre al estado metálico en el cilindro del mismo metal, que adquiere tension eléctrica *positiva*. Cada reaccion engendra una corriente, la primera del zinc al ácido, la segunda del cobre á la solucion que le rodea. La fuerza electro-motriz del par de Daniell es la resultante de estas dos fuerzas opuestas. La corriente final no tiene mucha energía, pero es sensiblemente constante, si se tiene cuidado de depositar unos cristales de sulfato de cobre en el interior del vaso poroso.

La pila de que hoy se hace uso casi exclusivamente en los gabinetes de física lleva el nombre de *pila de Bunsen* y data del año 1843. Menos regular que la pila de Daniell, y menos exenta que esta última del grave defecto de alterar el aire ambiente, es sobre todo notable por su intensidad, y en este concepto fué en el que excitó su aparicion el mas vivo interés. La figura 134 muestra su disposicion; en un vaso exterior que contiene agua acidulada, entra una ancha hoja de zinc lo mismo que en el elemento de Daniell, pero en el vaso de tierra porosa se pone ácido nítrico á 40 grados y se hace entrar en él un prisma de carbon conductor; puede emplearse, por ejemplo, el que lleva el nombre de *carbon de retorta*, y se forma en la parte superior de los aparatos donde se produce el gas del alumbrado. Para formar una batería de pilas, se reune necesariamente con unas pinzas el carbon (fig. 135) de un elemento con el zinc del elemento que sigue; el polo positivo corresponde evidentemente al último carbon y el polo negativo al último zinc.

En la pila de Bunsen, el hidrógeno procedente de la descomposicion del agua descompone á su vez todo el ácido nítrico

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que baña el carbon, de que resulta ácido hiponítrico que se disuelve gradualmente, sin que nunca se manifieste bajo la forma



Fig. 136.—Pila de bicarbonato de potasa

de burbujas gaseosas. De esta suerte se ha conseguido, pues, el mismo resultado que en la pila de Daniell, pero es de advertir que ese ácido hipoazótico disuelto, se desprende ulteriormente en la atmósfera que resulta así viciada al cabo de cierto tiempo.

Justo es observar, desde el punto de vista histórico, que la pila de Bunsen no es mas que una modificacion de la de Grove, que fué construida muchos años antes. En esta pila, en lugar del carbon se halla una lámina de platino, mas como el gran coste de este metal viniese á hacerle casi inaplicable, algunos constructores pensaron en reemplazarle con carbon, y ya existian en el comercio algunos elementos de este género cuando el aleman Bunsen publicó su pensamiento.

Muchos modelos de pilas se han discurrido, cuya descripcion ofrece escaso interés; únicamente mencionaremos la pila de bicromato de potasa, que frecuentemente se emplea en los cursos de química y física para animar diversos aparatos eléctricos y en particular en el análisis espectral. El elemento está formado (fig. 136) de un globo que contiene una disolucion al vigésimo, de bicromato de potasa, adicionada con ácido sulfúrico en cantidad igual á la del bicromato; en el líquido entra una doble lámina de zinc en cuyo interior se halla dispuesta una hoja de carbon; á este último corresponde el polo positivo. Cuando se quiere suspender la accion de la pila, se levanta la lámina de zinc á fin de suprimir su contacto con el líquido. Suelen construirse estas pilas de todos tamaños y algunas pueden contener de 20 á 30 litros de disolucion de bicromato potásico.

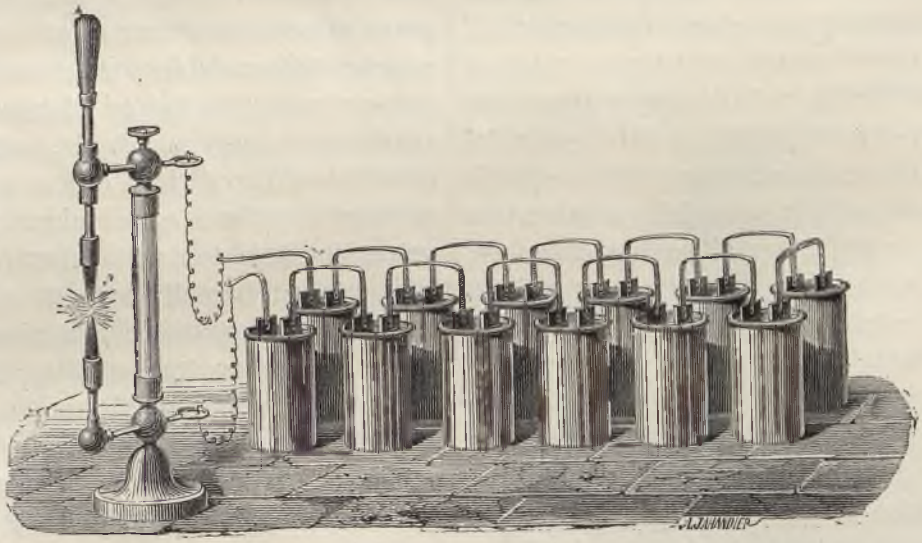


Fig. 137.—Luz eléctrica

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Enterados de los generadores de electricidad de que podemos disponer, volveremos á ocuparnos del foco luminoso de gran intensidad que nos conviene emplear en nuestras investigaciones de análisis espectral. Si unimos los polos C Z de una batería voltaica poderosa de cincuenta ó mas pares de Bunsen por medio de dos reóforos metálicos, á las piezas de carbon *a b* (figura 137), y ponemos á estas en contacto, descargará la electricidad de la batería entre las puntas, produciéndose un destello luminoso de una intensidad deslumbradora. Una vez establecido el contacto, se pueden apartar uno de otro los carbones hasta una distancia mas ó menos considerable, segun la intensidad de la corriente, pero que puede llegar á ser hasta de 10 á 12 centímetros; el espacio que los separa continúa ocupado por una luz que es lo que se llama el arco voltaico, cuyo brillo y temperatura exceden á cuanto puede obtenerse por los medios conocidos. Este brillante experimento se hizo por primera vez á principios del siglo por Humphry Davy con una pila de artesas de 3,000 pares.

El arco voltaico no debe confundirse con la serie de chispas que se obtendria aproximando uno á otro dos cuerpos cargados, el uno de electricidad positiva y el otro de electricidad negativa; es un verdadero circuito conductor formado de partículas volatilizadas, transportadas de un polo al otro y que forman parte de la corriente, con igual título que un alambre enrojecido por la accion voltaica.

No deja de haber cierto peligro en exponer la vista á la luz de este foco deslumbrador y siempre deben emplearse en estos trabajos gafas de cristales muy oscuros; y para ver el transporte de partículas en los carbones, es mejor proyectar su imágen en una pantalla, pudiéndose así hacer visible el fenómeno para un gran número de espectadores, bastando para efectuar la proyeccion, disponer el arco voltaico en una caja cerrada, una de cuyas paredes presenta un vidrio en forma de lenteja.

Siguiendo el experimento durante algun tiempo, se pueden ver directamente partículas de carbon candente atravesar la longitud del arco, ya en un sentido, ya en otro, pero mas frecuentemente, sin embargo, en el sentido mismo de la corriente; esta circunstancia explica la diferente forma de los dos carbones. El carbon positivo se ahueca por efecto de la pérdida de materia que experimenta, al paso que la extremidad negativa parece como que se abulta. Operando en el vacío, el fenómeno es mucho mas patente; en el carbon negativo se forma una especie de cono, mientras que en el carbon positivo se hace una cavidad cuya forma parece reproducir la de la materia transportada al lado opuesto; la combustion es lo que impide que esas apariencias sean tan marcadas cuando se opera al aire libre.

Cuando las puntas de los carbones se han separado tanto, que la corriente voltaica experimenta alguna dificultad en pasar trasportada por las partículas incandescentes, á través del aire de uno á otro polo, la fuerza de la corriente disminuye repentinamente, y en igual proporcion comienza á decrecer la intensidad de la luz. Por último se extingue, á causa de que la corriente eléctrica no puede franquearse un puente con las partículas brillantes, debido á la distancia, quizás de tres centímetros, que media entre las puntas de carbon.

Es evidente, por lo que llevamos dicho, que la luz eléctrica es de intensidad excepcional, pero tambien muy poco segura, y que hay necesidad de valerse de ciertos artificios para que el arco eléctrico llegue á ser un manantial de luz contínua y tranquila. Con objeto de adaptarla á diversas investigaciones ópticas como, v. gr., á la proyeccion de imágenes en la pantalla, para que sean visibles por un gran número de espectadores, de igual manera que se hace con la luz solar ó con la oxhídrica,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hay que agregar otro aparato que asegure la estabilidad y fijeza de la luz, manteniendo los carbones á pesar de su consumo constante, no solo á la misma distancia uno de otro, sino tambien en la misma posicion relativa respecto de las lentes que forman la imágen.

Han llegado los físicos y fabricantes á fuerza de perseverancia y talento, á vencer todas estas dificultades, construyendo varios modelos de aparatos en los que el punto luminoso entre los carbones se conserva fijo en un mismo lugar durante muchas horas, con tal que los carbones que se empleen sean bastante puros, y medianamente uniforme la fuerza de la batería de pilas. Pero todas estas lámparas, entre las que hay que contar los modelos de Foucault y Serrin como de los mejores, son en extremo complicadas y necesitan una vigilancia constante mientras están funcionando, debiéndose esto, en gran parte, á la dificultad de obtener barras de carbon de la pureza suficiente. La luz del arco voltaico, tiene, por lo demás, un brillo deslumbrador, y aunque hace mucho tiempo que se trata de utilizarla en los usos comunes de la vida, hasta ahora se han malogrado todas las tentativas hechas con tal objeto; tan mal resultado no es debido únicamente á la inferioridad económica de este sistema de alumbrado, sino tambien á las fatales propiedades de la misma luz eléctrica, la cual, con efecto, tiene un carácter agudo que lastima el órgano de la vision y hasta puede dar orígen á accidentes neurálgicos mas ó menos graves. Además, su potencia para alumbrar no está en relacion con su brillo, *brilla mas que alumbra*, y sobre todo es difícil de dividir y no adquiere verdaderamente intensidad sino cuando es ya demasiado viva. Una aplicacion hay, sin embargo, en la que estos defectos no tienen influencia alguna y en que la luz eléctrica halla un empleo apropiado á su naturaleza, y es la relativa á los faros. Aquí, en efecto, la luz no necesita alumbrar, bastándole solamente ser vista, y bajo este concepto la luz eléctrica parece tener, en los tiempos cerrados una penetracion superior á la que proporcionan las lámparas de aceite.

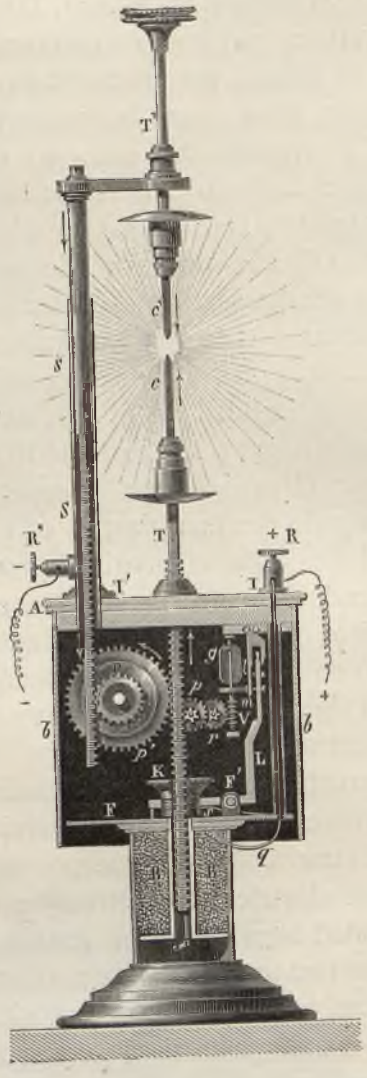


Fig. 138.—Regulador eléctrico de Duborcq

Fuera de esta aplicacion se utiliza la luz eléctrica en los cursos de física para reemplazar la luz solar en los experimentos de proyecciones; se emplea mucho en el teatro para la produccion de efectos luminosos muy diversos, y algunas veces se ha usado con buen éxito para el alumbrado de los grandes trabajos nocturnos. Como los carbones se gastan por su combustion, conviene hacer uso en estas diversas circunstancias de los aparatos reguladores

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que enunciamos y que ahora nos toca describir brevemente; nos limitaremos á los de Duboscq y de Foucault.

Compónese el del primero de un rodaje de relojería (fig. 138) animado por un resorte motor encerrado en el tambor V y regularizado por el volante de aletas *g*. Por la accion de este rodaje las dos barras dentadas S T se ponen en movimiento, la primera por medio de un piñon adherente al tambor, la otra por medio de una rueda dentada concéntrica, de dentadura igual y de doble radio; de esta suerte la barra dentada T se eleva, S baja, pero la primera se mueve con doble rapidez; sostiene el carbon positivo *c* y la pieza T' que se mueve con la barra dentada S' lleva el carbon negativo *c'*. Se sabe por experiencia, que el carbon positivo se consume con doble rapidez que el negativo, por cuya razon se le hace andar doble camino, pero si en vez de la pila se empleasen máquinas electromagnéticas en las que la corriente cambia de sentido á cada revolucion, los carbones serian alternativamente positivos y negativos y en este caso hay que hacerlos andar con la misma rapidez. La corriente desarrollada por la pila entra por el boton R, anima el electro-iman B B, de donde pasa á la barra dentada T y de allí al carbon positivo *c*; del carbon negativo *c'* pasa á la barra dentada S y sale por el boton R'. El núcleo de hierro dulce del electro-iman atrae un contacto móvil K cada vez que la corriente circula en el carrete; al contacto va unida una palanca acodada L móvil en F' al rededor de un eje horizontal: le empuja el resorte antagonista *s* y se apoya superiormente en una palanca mas corta *l* móvil al rededor del eje *o*. Esta pequeña palanca tiene en su parte inferior un pico de acero *m* destinado á parar una rueda dentada colocada en la parte inferior del moderador *g*. Supongamos que estando los dos carbones colocados á la distancia necesaria, se lanza la corriente en el aparato; el contacto baja y el rodaje queda parado por el pico inferior de la palanca *l*; á medida que los carbones se gastan, se va haciendo cada vez mayor la resistencia y llega un momento en que la intensidad de la corriente es bastante débil como para que el muelle antagonista produzca su efecto; el rodaje queda libre, los carbones se acercan, el contacto es atraido de nuevo y se produce una nueva detencion del rodaje que pronto comienza á funcionar otra vez y así sucesivamente. Una pequeña palanca, móvil á mano, sirve para parar cuando se quiera el movimiento del aparato; el contacto además, está provisto de un paso de rosca que permite acercarle mas ó menos al electro-iman segun la fuerza de la pila que se emplea. Por último, el conjunto del rodaje y de la palanca está encerrado en una caja metálica de la que una parte lateral puede quitarse para dejar descubierta la porcion inferior del mecanismo.

El otro regulador que hemos de describir es el de Foucault; su carácter principal reside en la existencia de un doble rodaje motor capaz de producir, segun las circunstancias, ó el avance ó el retroceso de los carbones; de esta suerte se puede evitar el arreglo á mano que tiene por objeto, al principio, colocar directamente los carbones á la distancia mas conveniente; tambien se precave la extension que provendria de su llegada accidental al contacto.

La figura 139 representa el conjunto del aparato; únicamente se han suprimido algunas piezas intermedias de las ruedas. E es un tambor con un muelle motor cuyo movimiento se comunica, por una serie de móviles, al volante *o;* L es el segundo tambor que contiene un muelle mas recio y cuyo movimiento se comunica al volante *a;* las barras dentadas porta-carbones se ponen en movimiento por medio de ruedas dentadas que forman cuerpo con el tambor E; la rueda que lleva el carbon positivo tiene un diámetro doble, si se emplea la pila, para que su velocidad sea asimismo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

doble. Si la corriente proviene de una máquina electro-magnética, una pequeña adicion permite igualar las velocidades. La corriente llega por el boton C, recorre el alambre del electro-iman y por la parte

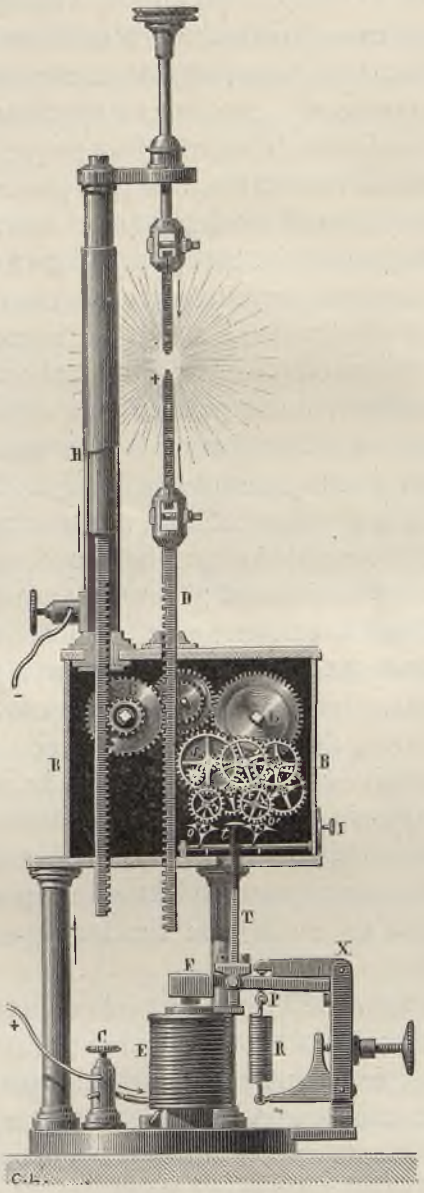


Fig. 139.— Regulador eléctrico de Foucault

metálica del aparato llega á la barra dentada D que sostiene el carbon positivo, atraviesa el arco voltaico, llega al carbon negativo en la horquilla H y á un boton donde se halla fijo el reóforo negativo de la pila. Estando atraida la armadura F del electro-iman, se levanta su parte posterior, y este movimiento se equilibra por el muelle antagonista R; pero este, en vez de obrar directamente sobre la parte posterior, obra en la extremidad de una palanca colocada encima y móvil al rededor del punto N. Esta palanca presenta en su parte inferior un perfil curvilíneo, por manera que su punto de contacto con la armadura cambia y el muelle obra con un brazo de palanca variable segun la intensidad de la corriente. El resultado de esta disposicion, conocida con el nombre francés de repartidor de Roberto Houdin, es que la armadura, en vez de ser simplemente ó atraida ó repulsada, segun de ordinario sucede, toma á cada instante una posicion determinada en relacion con la intensidad de la corriente. En estos diversos movimientos, el martillo T sujeto á la armadura en la inmediacion de su punto fijo, experimenta oscilaciones correspondientes. Si la corriente flaquea, la cabeza *t* se mueve hácia la derecha, se para el volante del tambor L y pasa en libertad á *o;* los carbones avanzan entonces uno hácia otro. Si la corriente adquiere demasiada intensidad, *o* es la que se para y el tambor L funciona á su vez produciendo el retroceso. Cuando el martillo T está exactamente vertical, los dos volantes *o* y *o'* quedan parados y los carbones están fijos. Como la curva de la palanca sobre la cual obra el muelle es muy débil, las oscilaciones de la armadura son muy pequeñas; lo mismo sucede con las del enlazador, y por lo tanto, á pesar de las variaciones de la corriente no avanzan ni retroceden mas que cantidades sumamente pequeñas, lo que da al foco luminoso un carácter muy notable de fijeza, condicion importantísima en los trabajos de análisis espectral.

Para impedir que los dos sistemas de adelanto y retroceso se contrarien en su accion sobre las barras dentadas, Mr. Foucault ha hecho uso de un órgano mecánico sumamente ingenioso y aplicado antes en algunas circunstancias, que es un roda-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

je planetario formado de cinco ruedas montadas sobre el mismo eje; entre los dos piñones y formando cuerpo con el eje, se halla la rueda señalada *s* en la figura. Cerca de su borde está atravesada por un eje provisto, en cada una de sus extremidades, de un piñon satélite que engarganta con el piñon correspondiente de los rodajes motores. Supongamos, esto sentado, que el rodaje de retroceso sea enlazado, la rueda *s* gira en el sentido que le imprime el muelle, pero su piñon correspondiente al segundo rodaje no hace mas que girar al rededor del piñon con que engargantasin poner en movimiento la rueda. Supongamos, por el contrario, que el rodaje de retroceso sea el que funcione, estando el otro enlazado; su movimiento se trasmite á la rueda *s* por medio de su piñon excéntrico; esta rueda gira, pues, en sentido contrario al de poco antes, y por medio del segundo piñon, se trasmite este movimiento al primer rodaje que de esta suerte se vuelve á poner en movimiento por la accion del segundo muelle. Para poder desempeñar tal oficio, tiene este último resorte una fuerza mucho mayor que el primero.

Tanto en esta complicada cuanto ingeniosa lámpara, como en todaslas demás de distinta clase, depende la intensidad de la luz y calor del arco voltaico de muchas circunstancias, siendo la principal la cantidad de electricidad desarrollada, ó lo que viene á ser lo mismo, del número de elementos de que se componga la batería; tambien es un elemento muy importante la pureza de los carbones que forman la luz. Con una batería de mediano tamaño compuesta de 50 á 60 elementos de Bunsen ó de Grove, varia la potencia de la luz entre 400 á 1,000 bujías de estearina, llevando en cuenta la distancia que media entre las puntas de carbon y su buena calidad. Fizeau y Foucault han comparado la potencia química de la luz eléctrica con la del sol, valiéndose de placas argento-iodadas, y hallaron que la luz eléctrica de una batería de Bunsen compuesta de 46 pares podia expresarse por el número 235, en el supuesto de que la luz del sol de medio dia, en el mes de agosto, se representase por 1,000.

La luz de una batería de 100 elementos produce gran malestar en la vista; segun Despretz, una sola ojeada rapidísima á una luz de 600 pares causa graves daños al aparato visual y un violento y contínuo dolor de cabeza. Aunque no se empleen mas que 60 elementos conviene siempre que se trabaje con la luz eléctrica proteger la vista con gafas de cristales muy oscuros.

Nos encontramos ya en posesion de todos los focos luminosos y caloríficos necesarios para la exposicion completa de las leyes y fenómenos que tienen relacion con el análisis espectral de las sustancias terrestres y de los astros del cielo; en nuestra descripcion emplearemos, segun la naturaleza del asunto, unas veces el mechero de Bunsen, otras la luz oxhídrica ó de Drummond, en tal caso el carrete de induccion y los tubos Geissler y de Plucker y en tal otro el arco voltaico. Los fenómenos del análisis espectral pueden demostrarse fácilmente y por medios reducidos á un corto número de personas, cuando estas se encuentran cerca del operador y de su mesa de experimentos; pero ante un auditorio numeroso, compuesto de cientos y aun millares de individuos, las dificultades crecen de un modo extraordinario y hay entonces que hacer uso de la luz mas potente y de los medios mas poderosos de producir calor con que cuenta la ciencia moderna.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO II

LA LUZ; SU ANALOGÍA CON EL SONIDO

I

La luz; su analogía con el sonido

Aunque la teoría de la luz se conoce hoy dia con tal perfeccion que es posible explicar satisfactoriamente los mas complicados fenómenos de la óptica, sin embargo, es muy difícil contestar á esta sencilla y elemental pregunta ¿cuál es la naturaleza de la luz? Apreciamos los procedimientos de esta fuerza natural en todos sentidos y direcciones; el Sol v. gr., derrama al hallarse esplendente en medio del cielo sus blancos rayos, de un solo color, sobre la Tierra, y sin embargo, cada objeto particular se ofrece á nuestra vista con un color propio: ¿qué son estos colores? ¿Cómo se desarrollan y generan de la luz blanca que emiten el Sol y otros cuerpos?

No es menester que tratemos de buscar la manera de eludir la contestacion á estas preguntas, si conseguimos llegarnos á formar una idea clara de los fenómenos del análisis espectral, pues ya indicamos, que el mundo de los colores es el territorio particular de este nuevo método de investigacion.

Los senderos de la ciencia se encuentran á menudo obstruidos con proposiciones extrañas y en la apariencia contradictorias, que para el néofito son como los espectros que disputaban el camino á Dante y su celeste guia cuando descendieron á la mansion de los muertos; con algun valor, empero, podemos atravesar esta temible vereda apoderándonos de estas inofensivas apariciones, trabando amistad con ellas, una á una, y á medida que se nos presenten.

Segun la teoría admitida hoy generalmente, el universo es un inmenso océano de materia de una tenuidad extraordinaria, imperceptible á nuestros sentidos, en el cual se mueven los cuerpos celestes sin obstáculo aparente. Este flúido, que se llama éter, llena todo el espacio y todos los cuerpos, lo mismo los intervalos infinitos que hay entre los astros, como los poros ó intersticios que separan las moléculas de los cuerpos; las menores partículas de esta materia sutil están en movimiento vibratorio constante; cuando se comunica este movimiento á la retina del ojo, produce, si la impresion sobre los nervios es bastante fuerte, una sensacion que llamamos *luz*.

Toda sustancia, por lo tanto, que imprime al éter una vibracion potente es luminosa; las vibraciones fuertes se perciben como luz intensa y las débiles como luz escasa, pero entrambas proceden del objeto luminoso con la extraordinaria velocidad de 75,000 leguas por segundo, disminuyendo necesariamente su fuerza en proporcion que se extiende por un espacio mayor.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

No es, pues, la luz, una sustancia distinta, sino solo la vibracion de una sustancia, que, segun sus diversas formas de movimiento, genera luz, calor ó electricidad. Deja de ser sorprendente esta manera de representar la naturaleza de la luz, cuando llegamos á comparar las vibraciones del éter con las del aire atmosférico y establecemos un paralelo entre la luz y el sonido, entre el ojo y el oido.

Una cuerda tirante que vibra, produce en el aire que la rodea una compresion y un enrarecimiento; en su frente se comprime y condensa el aire, y detrás se forma un vacío que ocupa en el acto el aire inmediato, rarificándose por el momento. Este movimiento periódico del aire se transmite á nuestros oidos con la velocidad de 335 metros por segundo, poco mas ó menos; choca contra la membrana del tímpano, y ocasiona por su impulso en los nervios auditivos y el cerebro la sensacion que llamamos sonido. El aire en movimiento, por su influencia en los órganos de la audicion, es, pues, la causa de los ruidos; el éter en movimiento por su influencia en los órganos de la vista es la causa de la luz. Sin aire ó sin algun otro medio por el cual pudieran propagarse las vibraciones de los cuerpos hasta llegar á nuestros oidos, no hay sonido posible. Así como un cuerpo sonoro no emite sustancia efectiva de sonido, al modo de una flor que exhala un perfume, sino que tan solo produce una vibracion en el aire, de igual manera un cuerpo luminoso no esparce al exterior sustancia alguna luminosa, y únicamente da un impulso al éter y lo hace vibrar.

Un sonido musical se diferencia del simple ruido, porque se produce únicamente cuando las conmociones del aire llegan al oido con intervalos regulares; si los intervalos entre los impulsos no son suficientemente regulares se produce un silbido, un murmullo ó un zumbido, mas para que se produzca un sonido musical es indispensable que haya regularidad perfecta en la sucesion de los impulsos ó vibraciones.

La altura ó tonalidad de un sonido ó nota musical depende del número de vibraciones ejecutadas por el cuerpo sonoro en un espacio de tiempo dado, por ejemplo, en un segundo; mientras mayor sea el número de vibraciones, mas aguda será la nota producida; cuando las vibraciones son inferiores á 16 ó pasan de 40,000 por segundo, deja de percibir el oido sonidos musicales; en el primer caso solo se advierte una especie de zumbido sordo; en el segundo la sensacion que se experimenta es casi dolorosa. Los sonidos mas graves empleados en música son los de los cañones de órgano cerrados, de unos cinco metros de largo; corresponden á 32 vibraciones por segundo. En los sonidos agudos nunca se pasa de la triple octava del *la* del diapason, que da 6,960 vibraciones por segundo.

La nota musical mas alta que puede oirse en una orquesta es la del flautin y corresponde á 4,739 vibraciones; algunos buenos pianos dan como nota mas grave un *la* de 27 $^1/_2$ vibraciones y como mas alta otro *la* de 3,520. La voz humana, segun las organizaciones, puede formar notas colocadas en diferentes puntos de la escala musical y dispuestas en una extension de sobre dos octavas. El *fa* inferior del bajo es de 174 vibraciones por segundo, el *sol* superior de la tiple de unas 1,550, pero estos límites pueden quedar muy atrás en algunas voces excepcionales.

El número de vibraciones en un segundo que da un diapason normal ha sido determinado en varias épocas y países; el *la* de orquesta se fijó en Francia en 1859, en 870 vibraciones por segundo; el *la* aleman consta de 880; el inglés de 888 y el español de 870. Se demuestra la exactitud de las afirmaciones que acabamos de hacer del modo siguiente; la figura 140 representa un aparato para medir el número absoluto de vibraciones de un sonido dado; fué in-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ventado este instrumento por Cagniard-Latour, quien le dió el nombre de sirena; se compone de un tambor cilíndrico cuya faz superior presenta 25 agujeros dispuestos circularmente. Encima se halla á corta distancia, una chapa móvil al rededor de un eje que pasa por el centro de la cara superior del tambor y que presenta tambien 25 agujeros dispuestos circularmente. Las aberturas del tambor y de la chapa móvil no son perpendiculares á las faces ó caras, sino dirigidas algo oblicuamente, y, como se ve en la segunda parte de la figura, sus direcciones son inversas. Resulta

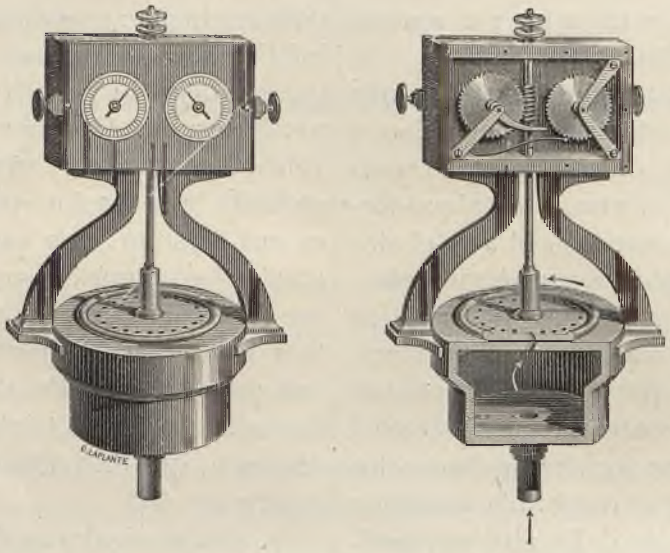


Fig. 140.—Sirena de Cagniard Latour, vista exterior y corte

de esta disposicion que si llega aire al tambor por el tubo colocado en la parte inferior del aparato, en el momento en que las aberturas estén una frente á otra, el aire saldrá produciendo un impulso sobre las paredes de las aberturas de la chapa que tendrá por efecto poner á esta en movimiento. Por consecuencia de esta rotacion, se producirá en el aire una serie de choques, tanto mas rápidos cuanto mas considerable sea la velocidad de rotacion, de que resultará un fenómeno sonoro. La sirena puede funcionar en el agua cuando se hace llegar al tubo inferior este líquido sometido á una carga muy fuerte; á esta circunstancia se debe el nombre del instrumento.

Cuando la sirena habla, es fácil de evaluar el número de vibraciones del ruido producido; con efecto, en una vuelta del platillo la salida del aire se verifica 25 veces y se para otras 25 veces, lo cual constituye 25 compresiones del aire y 25 dilataciones, total 50 vibraciones simples. Esta observacion permite aplicar la sirena á la medida del número de vibraciones de un sonido dado. A este efecto está provista la sirena de un contador representado en la figura. El eje del platillo lleva en su parte superior una rosca sin fin que encaja con una rueda dentada de 100 divisiones, cuyo eje sustenta una aguja móvil sobre un cuadrante; esta aguja anda una division por cada vuelta del platillo y vuelve á su punto de partida al cabo de 100 vueltas. Una segunda rueda dentada, que sustenta tambien una aguja, se pone en movimiento por un rastrillo fijo en la primera, de modo que la aguja correspondiente señale las centenas de vueltas; añadamos que empujando un boton colocado á un lado del contador, se determina el ajuste de la rosca sin fin y de la rueda dentada; un boton colocado al lado opuesto produce el desencaje.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Esto sentado, supongamos que se quiere medir el número de vibraciones de un sonido cualquiera; se coloca la sirena en relacion con los fuelles de un órgano, estando el contador desencajado, y se da viento hasta que el sonido producido esté al unísono del sonido dado; se procura conservar este unísono durante algunos instantes y se empuja el boton de ajuste al mismo tiempo que se observa un cronómetro. En el momento en que se da fin á la observacion empujando el boton de desencaje, se consulta de nuevo el cronómetro y así se obtiene la duracion del experimento. Una

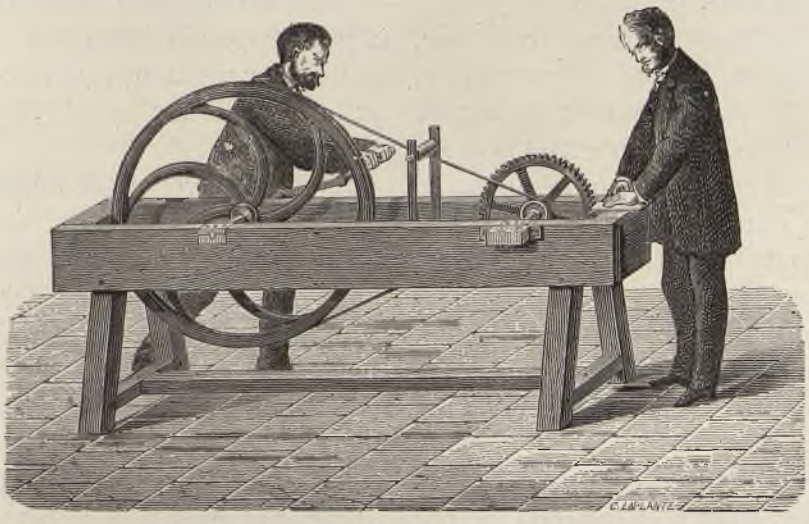


Fig 141.—Rueda dentada de Savart; el número de vibraciones de un sonido crece con su altura

sirena de dimensiones dadas no puede suministrar mas que sonidos comprendidos en límites bastante estrechos; para poder variar los experimentos, seria preciso recurrir á sirenas de diferentes modelos, ó bien emplear diversos juegos de aberturas que pueden ponerse en accion como se quiera.

El oido no percibe los impulsos ó vibraciones individuales cuando no pasan de 16 por segundo, pues las impresiones que producen se ligan unas á otras tan instantáneamente, que la sensacion en el oido es la de una vibracion continua.

Vemos, pues, que la altura de una nota depende en absoluto del número de impulsos sucesivos ó vibraciones que se suceden con uniformidad constante; la intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones, y si se esfuerza la voz ó el aire de un instrumento, ó se pisa con mas energía la tecla de un piano, aumenta el volúmen del sonido, pero el tono de la nota permanece invariable aunque se haga penetrante. Cierto es que la causa del sonido no es igual en todos los instrumentos músicos; unas veces depende de la vibracion de las cuerdas ó cuerpos elásticos ó de membranas extendidas, y tambien de columnas de aire confinado en tubos que producen en períodos regulares una condensacion y una rarificacion del aire; pero en todo caso una nota se produce solo por los impulsos ó vibraciones regulares de un cuerpo que el aire trasmite al aparato auditivo.

Savart se valió de otro mecanismo para demostrar la causa del sonido, no menos instructivo que el que acabamos de indicar. En vez del disco agujereado de la sirena empleó una rueda dentada con la cual es posible contar el número de vibraciones que corresponden á un sonido dado; se produce en este aparato el sonido por el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

choque de un naipe contra los dientes de una rueda; cuando es pequeña la velocidad de esta solo se oye una serie de ruidos aislados, cuyo conjunto no llega á producir, hablando con propiedad, ningun sonido y cuya altura es, por consecuencia, inapreciable; pero á medida que crece la velocidad de la rueda (fig. 141) las vibraciones multiplicadas del naipe se trasmiten al aire produciendo un sonido continuo, mucho mas agudo, mientras mayor es la velocidad; á la rueda dentada se agrega un contador, que da á conocer el número de vueltas de la rueda en un segundo de tiempo; este número multiplicado por el de los dientes da la mitad del número total de vibraciones, pues es evidente que el naipe, doblado primero en un sentido, vuelve á recobrar su primera forma, dando dos vibraciones simples por cada diente que pasa.

Savart obtuvo de una rueda de 600 dientes hasta 40 vueltas por segundo, y por consecuencia, 48,000 vibraciones en igual período de tiempo; lo que corresponde á un sonido en extremo agudo.

Despues de estas explicaciones, nos será mas fácil comprender el movimiento del éter y su modo de obrar sobre el órgano de la vista; el éter, de igual manera que el aire, puede sufrir vibraciones regulares y hasta tal extremo que sus fases de condensacion y rarificacion se repitan en períodos de tiempos regulares. La diferencia entre las vibraciones del aire y las del éter se debe á la extremada delicadeza y elasticidad del último, que no solo permite una rapidez mayor en la propagacion del movimiento de la que es posible obtener con las bastas y pesadas partículas del aire, si que tambien hace que el número de vibraciones por segundo sea inmensamente mayor, así que es necesario contarlas por billones.

Los colores son para los ojos lo que las notas musicales para el oido; un cierto número de vibraciones del éter en un segundo es indispensable para herir la retina del ojo; si el número de estas ondas pasa de cierto límite ó no llega á él, deja el ojo de poseer sensibilidad para percibirlas.

La primera sensacion de estas vibraciones en el ojo, empieza por unos 450 billones de impulsos en un segundo y el ojo deja de percibirlas cuando llegan al doble casi de este número ó sean 800 billones; en el primer caso la impresion producida es la del color rojo muy oscuro ó mas bien de un negro rojizo, y en el último de violeta oscuro.

Mientras mayor es el número de vibraciones en un tiempo dado, con mas rapidez se suceden; podemos deducir, por lo tanto, que los diferentes colores se producen únicamente por los distintos grados de rapidez de que están animadas las vibraciones del éter, de igual manera que las notas musicales dependen de la rapidez de sucesion de las vibraciones del aire; las vibraciones mas lentas, esto es, las que importan á lo menos 450 billones por segundo, producen la sensacion del rojo; las que siguen en rapidez dan el amarillo, y si se aumenta su número de un modo sucesivo, cambia la sensacion en verde, azul y violeta, color que sirve de límite á la sensibilidad del ojo humano, sin que este límite sea el de las vibraciones del éter que se extienden todavía mucho mas.

La gradacion de los colores del rojo al amarillo, verde, azul y violeta, es para el órgano de la vista lo que la gama ó escala musical es para el oido, y no sin razon, por tanto, hablamos del tono y armonía de los colores; para el físico, las palabras color y tono no son mas que distintos modos de expresar fenómenos semejantes y estrechamente enlazados, esto es, la percepcion de movimientos regulares que se verifican en períodos iguales de tiempo, y que en el éter producen los colores y en el aire los sonidos músicos; en el primer caso por medio del órgano de la vista, y en el segundo por el del oido, se nos hacen percepti-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

bles los rapidísimos movimientos del éter y los mas moderados del aire.

Pero se preguntará ¿qué se hace de esas vibraciones que se encuentran mas allá de los límites superior é inferior de sensibilidad que tiene el ojo humano para apreciar la luz y el color? ¿Vagan por el espacio sin objeto ni aplicacion y completamente desapercibidas? Nada de eso; se demuestra de un modo que no deja lugar á duda la existencia de ciertas fuerzas en los rayos del sol y otros potentes cuerpos luminosos, que dejan de ser percibidos por el ojo. Las vibraciones mas lentas, que aun contadas por billones no pasan de 450 de estas unidades por segundo, parecen destinadas á producir la sensacion del calor, que tambien resulta de un movimiento ondulatorio, propagándose el calor radiante como la luz, sin auxilio de ningun cuerpo extraño. Por otra parte, las vibraciones de una velocidad superior á las que producen el color violeta, punto en que cesa la susceptibilidad de la vista, se revelan por su poderosa potencia química; se suceden con demasiada rapidez para que los nervios visuales adquieran conocimiento de sus impulsos, pero tienen la facultad de provocar reacciones químicas, y la descomposicion de diversas sustancias se manifiesta de un modo indudable por la accion de estos rayos invisibles. Un físico inglés eminente ha conseguido, moderando la excesiva velocidad de estas vibraciones por medio de determinadas sustancias, hacer visibles algunos de estos rayos de exclusiva accion química.

Dove describe el modo ingenioso de que se valió para que las vibraciones produjesen sucesivamente sonido, calor y luz, en los términos siguientes:

«En medio de una habitacion bastante espaciosa y completamente á oscuras, se colocó una varilla capaz de vibrar y enlazada con un mecanismo que permitia aumentar continuamente la velocidad de las vibraciones. Entré en el cuarto cuando la varilla vibraba cuatro veces por segundo. Ni el ojo ni el oido me indicaron su presencia y solo por el tacto de la mano supe que el aparato funcionaba. Se hicieron mas rápidas las vibraciones hasta llegar á treinta y dos por segundo, hiriendo mi oido un zumbido grave. Subió continuamente la altura del tono pasando por todos los grados intermedios hasta el mas elevado; luego volvió á reinar el silencio mas profundo. Lleno de asombro por lo que habia oido, sentí de repente (por la creciente velocidad de la varilla vibratoria) un agradable calor semejante al de una sustancia combustible colocada en el sitio de donde procedió el sonido. Todo permanece aun en la oscuridad mas completa. Crecen en rapidez las vibraciones y aparece un debilísimo resplandor rojizo que gradualmente aumenta de brillo hasta que la varilla adquiere una luz roja y de bastante intensidad; pasa al amarillo y cambia de color otra vez recorriendo todos los matices hasta el violeta, volviendo despues á quedar el cuarto sumergido en las tinieblas. Así habla la naturaleza de un modo sucesivo á los diversos sentidos; al principio una débil palabra, audible solo en inmediata vecindad, luego un ruido mas fuerte que se percibe á mayor distancia, hasta que por último es su voz transportada en alas de la luz desde las regiones del espacio inconmensurable.»

II

Propagacion y velocidad de la luz

La luz se propaga tambien á través del vacío y á través de algunos cuerpos ó medios sólidos, líquidos ó gaseosos. Al decir *vacío*, entendemos, segun los físicos, no el vacío absoluto, sino un espacio por completo desprovisto de toda sustancia tangible, como los espacios interplanetarios, la cámara barométrica ó la campana de la máquina neumática despues de haber extraido el aire. La luz que recibimos del Sol y de las estrellas, y la que atraviesa los re-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cipientes vacíos de nuestros laboratorios, nos demuestra que este movimiento no necesita para propagarse un medio ponderable, como exige el sonido. En cuanto á la propagacion de la luz á través del aire y los gases, del agua y de los cuerpos sólidos como el vidrio, el talco etc., apenas hay necesidad de demostrarla con experimentos, por ser cosa que vemos diariamente.

Sabemos tambien, que los cuerpos luminosos por sí propios no son los únicos que producen en nuestros sentidos la sensacion de la luz, y que sirven asimismo para iluminar otros cuerpos haciéndolos visibles. Los cuerpos iluminados de esta suerte se convierten en focos luminosos secundarios, de los que emana la luz para propagarse en los medios que hemos indicado, de igual manera que la luz directa.

Podemos, pues, clasificar los cuerpos bajo el punto de vista de la propiedad que tienen de emitir, recibir y reflejar la luz, en varias categorías: cuerpos luminosos trasparentes y cuerpos no luminosos ú opacos.

La transparencia de los gases, del aire atmosférico, v. gr., cuando está puro y tranquilo, es mucho mas considerable que la de los demás cuerpos; de un punto elevado como la cúspide del monte Blanco se extiende la vista por un panorama inmenso, distinguiéndose los objetos á larguísimas distancias; segun Martin, la parte de la superficie de la Tierra geométricamente visible desde el monte citado tiene por radio 52 leguas, por manera, que si la transparencia del aire fuese absoluta, se podria distinguir el golfo de Génova, pero á mayor distancia de 25 leguas se confunden y disipan los objetos á causa de los vapores terrestres; hasta las 15 leguas es fácil columbrar con distincion todo lo observable por sus dimensiones. Sin duda alguna podrian verse señales luminosas durante la noche en el mismo límite de visibilidad; tal al menos era la opinion de Martin y los sabios que le acompañaban.

Además de los cuerpos transparentes ó diáfanos, hay otros no mas que traslúcidos, que dejan pasar la luz sin que sea posible distinguir los colores ni contornos de los objetos, como v. gr., el cristal limado, el papel, el alabastro y ciertos líquidos como la leche y otros. Humedeciendo el papel ó dándole una ligera capa de aceite, aumenta su translucidez que se convierte hasta en transparencia si el papel es bastante delgado.

Aun los cuerpos que pudiéramos considerar sin mas exámen como opacos en absoluto, dejan pasar cierta cantidad de luz si se les reduce á hojas de espesor escasísimo; así las piedras, maderas, metales y otra porcion de sustancias que tenemos por opacas, dejan pasar la luz en condiciones adecuadas; una hoja de oro en panes de las que emplean los doradores y de las que se necesitan 10,000 para formar el grueso de un milímetro, vista por transparencia, esto es, colocándola entre el ojo y un reflejo de la luz solar, aparece de un hermoso color verde, lo que indica que la luz pasa á través de la sustancia del metal y no por los intersticios que hubiera producido el batido.

Cuando la luz emitida por un foco luminoso ó por un cuerpo iluminado llega á nuestro ojo, tiene que atravesar medios diáfanos ó traslúcidos. ¿Qué camino sigue, pues, en su propagacion y qué ocurre si en su trayecto encuentra un cuerpo de tal ó cual opacidad? Son estos problemas bien sencillos cuya solucion puede obtenerse con solo interrogar la naturaleza. El caso menos complicado es aquel en que la luz atraviesa un medio transparente perfectamente homogéneo, es decir, que tenga la misma densidad é igual composicion en todas sus partes, y llega directamente al ojo. Varios experimentos demuestran que en este caso se propaga en línea recta.

Si entre la llama de una bujía y el ojo interponemos unas pantallas opacas, perforadas con un agujero pequeñito, habre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mos de reconocer que para percibir la luz es preciso que todos los agujeros estén en línea recta; tampoco podemos ver la luz del dia á través de un largo tubo como este no sea recto, ó cuando menos si su curvatura no es bastante pronunciada como para que

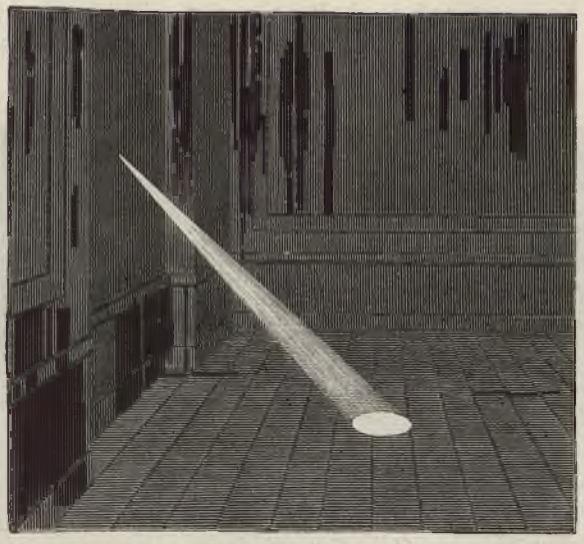


Fig. 142.—Propagacion de la luz en línea recta

una línea recta no lo atraviese de un extremo á otro sin tocar en sus paredes. Si nos encerramos en un cuarto oscuro y dejamos que solo penetre la luz del Sol por un orificio practicado en la ventana, percibiremos un cono luminoso en el aire, que



Fig. 143.—Propagacion rectilínea de la luz

indica el curso de la luz, curso rectilíneo como los lados del cono. En este caso no es el aire el que se ve, sino los corpúsculos flotantes que tiene en suspension, iluminados al pasar la luz.

Tambien se puede demostrar la propagacion de la luz en línea recta cuando ocultado el Sol por un grupo de nubes lanza sus rayos á través de los intersticios de las mismas masas de vapores; se ve entonces cómo se proyectan en la atmósfera rastros mas ó menos luminosos que afectan, á no

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dudar, una direccion rectilínea Pero como en otra parte de esta obra explicamos, la atmósfera se compone de capas de distinta densidad, y la luz que las atraviesa sufre diversas inflexiones. En la superficie de la Tierra, para que este movimiento sea rigorosamente rectilíneo es necesario que el medio transparente, esté dotado de una homogeneidad completa, trátese del aire atmosférico ó de un gas cualquiera, ó del agua, el vidrio, etc.

Debemos decir, antes de pasar mas adelante, lo que entienden los físicos por *rayo* y por *haz luminoso*.

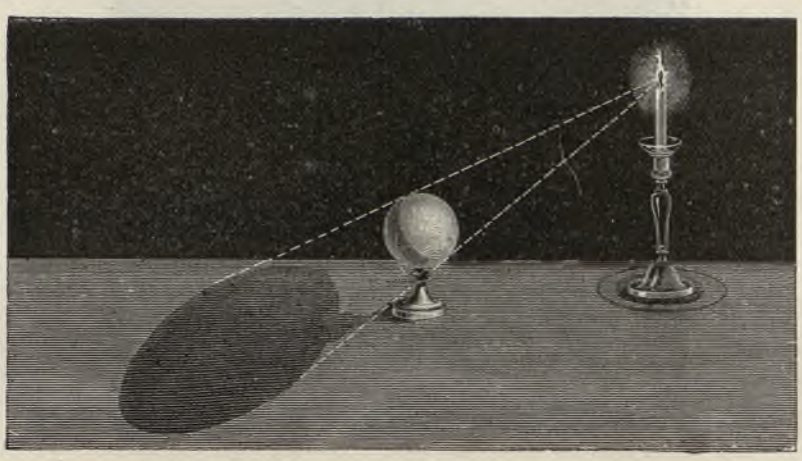


Fig. 144.—Cono de sombra de un cuerpo opaco; sombra arrojada

La luz emana ó irradia de los cuerpos luminosos en todas direcciones y se propaga en línea recta, como acabamos de ver, en los medios homogéneos; se llama rayo luminoso la serie de puntos considerados simultánea ó sucesivamente de que se compone cualquiera de las lineas seguidas por la luz; haz luminoso es la reunion de varios rayos paralelos.

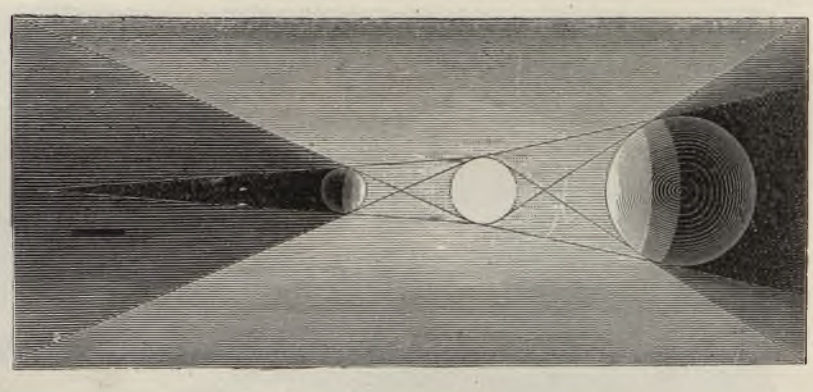


Fig. 145.—Conos de sombra y de penumbra

Si no hubiese en la naturaleza mas que cuerpos luminosos por sí mismos, y medios de absoluta transparencia, únicamente los primeros serian visibles para nosotros; pero no solo dista mucho esta transparencia de ser perfecta, sí que tambien una multitud de cuerpos se oponen al paso de la luz, la rechazan en todos sentidos y se hacen iluminados ó visibles. De aquí nacen la oscuridad y las sombras.

Un cuerpo opaco en presencia de un punto luminoso y á cierta distancia de este, se ilumina por su parte anterior, permane-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ciendo sin recibir un solo rayo de luz en la parte opuesta que se encuentra, pues, en la sombra. Además, una porcion del espacio situado hácia el lado de la superficie oscura del cuerpo tampoco recibe ninguna luz, de lo cual es fácil convencerse colocando una pantalla detrás del cuerpo, y observando la sombra arrojada sobre ella. En este caso, el punto luminoso está en el vértice de un cono tangente á los contornos del cuerpo opaco, luminoso en su parte anterior y oscuro en su prolongacion, que se llama entonces cono de sombra. En este caso, que jamás tiene lugar rigorosamente, la porcion del cuerpo opaco no iluminada, es totalmente invisible; y la línea de separacion de la sombra y la luz se encuentra perfectamente señalada (fig. 142).



Fig 146 —Siluetas; efectos de sombra y penumbra

No ocurre lo mismo cuando el foco es un cuerpo luminoso de dimensiones finitas; la fig. 143 demuestra claramente que la superficie del cuerpo iluminado se divide en tres partes; una cuyos puntos están á la vez iluminados por toda la superficie luminosa; otra que no recibe rayo alguno; y la tercera intermediaria entre las otras dos, solo recibe una fraccion de la luz total y constituye lo que se llama la penumbra. El espacio situado detrás del cuerpo opaco al lado contrario del foco luminoso se divide análogamente en un cono de sombra absoluta y en un cono envolvente al rededor del primero, que es el cono de penumbra. Fuera de este doble cono, se encuentra el espacio enteramente iluminado. Si el cuerpo luminoso es mayor que el opaco, es limitado el cono de sombra; si los dos cuerpos son iguales, toma la sombra la forma cilíndrica, y si el cuerpo opaco es mayor que el brillante, el cono es divergente.

La penumbra da á los contornos de los cuerpos iluminados y de formas redondas,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

este tinte gradual que hace menos duro el contraste de las sombras y la luz; como el cono de penumbra va ensanchándose cada vez mas, resulta que las sombras arrojadas por un cuerpo opaco iluminado, son tanto menos vivas y detalladas, cuanto mayor es su distancia á la pantalla, lo cual está en nuestra mano comprobar con poco trabajo. Los retratos y dibujos de papel cortado que sirven de juguete á los niños, son una aplicacion del efecto de claro-oscuro que producen las penumbras. Cuando el papel cortado está muy cerca del muro ó de la pantalla en donde se proyecta la sombra, son los perfiles muy duros y vigorosos, y no se consigue el efecto que se propuso el artista, de modo que hay que colocar el retrato á una distancia conveniente (fig. 146) para producir el efecto deseado; si la distancia es demasiado grande aparece la imágen muy confusa.

La propagacion rectilínea de la luz explica los fenómenos que se observan en la cámara oscura.

Dispongamos una habitacion á oscuras de tal modo, que solo puedan penetrar en ella los rayos del Sol á través de un agujero pequeño hecho en una tabla delgada de una de sus ventanas; coloquemos entonces una pantalla blanca á cierta distancia del orificio, y aparecerá una mancha luminosa de forma circular ó elíptica tanto mayor cuanto mas diste la pantalla del agujerito; la mancha blanca es la imágen del Sol. Si, en vez de la luz solar, se hace uso de la de una bujía, se verá reproducida en la pantalla la imágen de la vela y de la llama, pero invertida. La explicacion de este fenómeno es bien sencilla. Los rayos que parten de la extremidad superior de la llama pasan por el agujerito, siguen su camino en línea recta en la cámara oscura y producen un punto luminoso en la parte inferior de la pantalla. Los que por el contrario, parten de la base de la llama, van á formar su imágen en un punto mas elevado; los rayos intermedios forman trazos luminosos entre ambos puntos, por lo tanto, la imágen tiene que aparecer invertida, explicándose al mismo tiempo por qué existe la imágen y por qué ofrece esta disposicion particular. Un naipe ó tarjeta en que se hace un agujerito muy fino, v. gr. con una aguja, da en la pantalla la imágen invertida de la bujía (fig. 147).

La forma del agujerito es por otra parte indiferente: redonda, cuadrada ó triangular, siempre reproduce la imágen del foco con su forma rigorosamente semejante. Supongamos, en efecto, que la abertura tenga la forma triangular y hagamos que penetren los rayos del Sol de modo que se les pueda recibir en una pantalla colocada perpendicularmente á su direccion; cada punto del disco dará un haz de luz que, penetrando por el agujero, se cortará en la pantalla segun una seccion de forma igual á la de la abertura, esto es, triangular. Todos estos elementos se superponen, y como no hay punto alguno del contorno del disco que no dé el suyo, resulta que la forma de la imágen será circular como la del Sol.

Así se explica por qué en la sombra arrojada por un árbol, la luz que penetra entre los intervalos de las hojas, tiene siempre la forma circular ó elíptica, segun que los rayos caen perpendicular ú oblicuamente sobre el suelo. Durante los eclipses de Sol puede observarse que estas imágenes del astro afectan la forma de una media luna luminosa.

Si la ventana de la cámara oscura cae ó da frente á un paisaje iluminado por el Sol, y aun por la luz difusa reflejada por un cielo despejado, cada objeto viene á pintar su imágen en la pantalla; imágen invertida, por supuesto, como acabamos de ver, y de este modo se obtiene una reproduccion fiel del paisaje (fig. 149). Si la pantalla es muy blanca aparecerán pintados todos los objetos con sus matices y colores, de una manera admirable, siendo mas ricos y delicados los detalles mientras mas pequeña sea la abertura.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Al decir que la luz se propaga, se admite implícitamente que no se trasmite de un modo instantáneo de un punto á otro y que invierte cierto tiempo en recorrer la dis-



Fig. 147.—Imagen invertida de una bujía



Fig. 148.—Imágenes del Sol á través de los intersticios de las hojas

tancia que separa el objeto luminoso del ojo. Es esta una verdad de que ya tuvieron alguna sospecha los antiguos filósofos, pero cuya demostracion solo cuenta dos siglos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

escasos; la velocidad de la luz es tan grande, que puede considerarse como infinita, en la superficie de la Tierra á lo menos. En un segundo recorre un espacio de 75,000 leguas, de modo que en menos de 1^{s},3 viene de la Luna á nuestro planeta; es 900,000 veces superior á la del sonido en el aire á 0° y camina 10,000 veces mas de prisa que la Tierra en su órbita.

¿Cómo ha sido posible medir un movimiento tan rápido? Esto es lo que vamos á tratar de explicar al lector.

Supongamos que un fenómeno luminoso, la inflamacion de un poco de pólvora, por



Fig. 149.—Cámara oscura; imágen invertida de un paisaje

ejemplo, se reproduzca periódicamente á intervalos iguales con todo rigor, como de 10 en 10 minutos. Sea la que quiera la distancia del observador al punto en que tiene lugar el fenómeno, es evidente que empezando á contar desde la primera explosion, se suceden todas las demás con intervalos sucesivos de 10 minutos, sea la velocidad de la luz pequeña, considerable, ó infinita, con tal que el observador permanezca á una distancia constante del punto en que se efectuan las explosiones.

Pero si se aleja el observador á partir del instante en que vió la primera explosion, no hay duda de que percibirá un retardo á cada una de las explosiones siguientes, el cual irá aumentando, y se deberá al tiempo que la luz emplea en recorrer el camino indicado por las nuevas distancias. A la dozava explosion, por ejemplo, si se ha alejado 20 kilómetros y ha notado un retardo de 2 segundos, deducirá que la luz recorre 10 kilómetros por segundo. La misma consecuencia puede obtenerse de un experimento análogo, si en vez de la aparicion de un punto luminoso se observara la extincion periódica de una luz.

Ahora bien, un fenómeno de este último género se verifica en el cielo; como sabemos ya, al planeta Júpiter acompañan en su eterno viaje cuatro satélites ó lunas que giran periódicamente á su alrededor; los planos de sus órbitas coinciden, ó poco menos, con el de la órbita de Júpiter, y como este cuerpo es opaco, proyecta tras sí un cono de sombra cuyo eje ofrece cierta inclinacion respecto del plano de su órbita; de aquí resulta, que los satélites en sus

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

revoluciones sucesivas en torno del cuerpo primario suelen atravesar este cono en la época de sus oposiciones. Durante todo el tiempo que invierten en recorrer la sombra, queda interceptada la luz que reciben del Sol y sufren por tanto un eclipse.

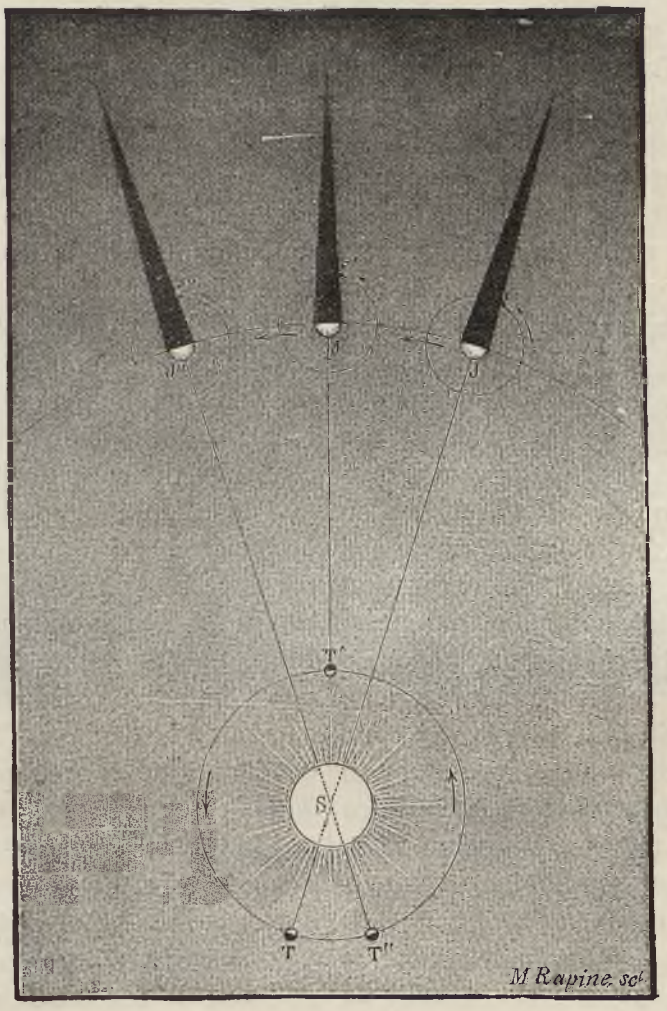


Fig. 150.—Determinacion de la velocidad de la luz por los eclipses de los satélites de Júpiter

Hemos visto en otra parte de esta obra, que los eclipses de los satélites de Júpiter son muy frecuentes, en particular los de los tres que distan menos del cuerpo primario, y que desde la Tierra es fácil observar sus inmersiones y emersiones, valiéndose de un anteojo de mediana potencia. Cuando el punto luminoso arrastrado por su movimiento de revolucion al rededor del planeta, penetra en el cono de sombra, se apaga su luz; este es el instante de la inmersion. Continua su curso en la sombra hasta el momento en que al salir del cono vuelve á aparecer la luz; este es el momento de la emersion. Desde la Tierra no son visibles estos dos fenómenos en un mismo eclipse, en cuanto á los dos satélites mas cercanos á Júpiter, pues el cuerpo del planeta los oculta tanto en el momento de la inmersion como en el de la emersion. Además, no se les puede observar en manera alguna en la época de la conjuncion ni de la oposicion, porque entonces el cono de sombra se halla completamente oculto por el disco del planeta como demuestra la figura 150. Tambien se comprende con no me-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nos facilidad, por qué son visibles para nosotros las inmersiones desde la época de la conjuncion á la de la oposicion siguiente, al paso que las emersiones, por el contrario, son visibles de la oposicion á la conjuncion.

Con efecto, Júpiter camina en el mismo sentido que la Tierra, pero con lentitud mucho mayor; cuando la Tierra está en T, y Júpiter en J en la prolongacion del radio vector T S, es la época de la conjuncion; á contar de este instante, describe la Tierra un cierto arco en su órbita y Júpiter otro arco de menor amplitud en la suya, de modo que el observador se encuentra transportado hácia la derecha del cono de sombra de Júpiter y desde este momento puede ver las inmersiones de los satélites. Las mismas circunstancias se reproducen hasta el instante en que se halla la Tierra en T' y Júpiter en J', en la prolongacion del radio como antes, pero al lado opuesto al Sol, es decir, hasta la oposicion. Entonces, debido á los movimientos simultáneos de la Tierra y Júpiter, se dirige el primero de estos planetas hácia la izquierda del cono de sombra proyectado por el segundo, y en este caso, son visibles las emersiones de los satélites hasta la nueva conjuncion T'' J''.

Comprendidos estos preliminares, vamos á explicar de qué modo tan fácil han podido los astrónomos deducir la velocidad de la luz por las observaciones de los eclipses de que acabamos de hablar.

Consideremos, por ejemplo, el primer satélite, esto es, el que se encuentra mas cerca del planeta; su movimiento de revolucion se conoce con bastante exactitud como para poder calcular fijamente los intervalos que separan ó dos inmersiones, ó dos emersiones consecutivas. Ahora bien, la observacion indica que las duraciones de estos intervalos no son constantes; parece que se acortan á medida que la Tierra se acerca á Júpiter, aumentando por el contrario cuando se aleja; en las épocas en que la distancia de ambos astros tiene poca variacion, permanecen sensiblemente iguales los períodos. Si se calcula, pues, segun la duracion media de los intervalos que separan dos inmersiones consecutivas, la época de una inmersion futura, y se compara el resultado del cálculo con el que se obtiene de la observacion, se nota que el fenómeno parece retardarse si la Tierra se aleja de Júpiter, y parece que se disminuye si por el contrario se acercan ambos cuerpos. Por otra parte, el atraso y el adelanto están siempre en proporcion exacta del aumento y de la disminucion de la distancia de los planetas.

No es dudoso que la diferencia entre el resultado del cálculo y el de la observacion proviene del tiempo que invierte la luz en recorrer las distancias desiguales de que acabamos de hacer mencion. Se ha notado que de la conjuncion á la oposicion ó de la oposicion á la conjuncion, las acumulaciones sucesivas de estas diferencias producen un adelanto ó un atraso total de unos 16 minutos 30 segundos, poco mas ó menos. Ahora bien, las distancias T J, T'' J'', superan á la distancia T' J' en una misma cantidad, que es precisamente el diámetro de la órbita terrestre. Luego la luz necesita $16_m\ 30_s$ para recorrer la longitud de este diámetro, ó si se quiere, $8^m\ 15^s$ para recorrer la mitad que es la distancia del Sol á la Tierra, igual, poco mas ó menos, á 38 millones de leguas; de aquí se deduce la velocidad que antes indicamos de 75,000 leguas por segundo.

El descubrimiento de la velocidad de la luz por los eclipses de los satélites de Júpiter se debe al astrónomo dinamarqués Roemer, quien lo expuso en una Memoria presentada á la Academia de Ciencias de Paris en 1675. El descubrimiento de la aberracion por Bradley vino á confirmar al propio tiempo el movimiento de traslacion de la Tierra y la propagacion sucesiva de la luz en el espacio.

Como vemos, por otra parte, la exactitud del número que mide la velocidad de la luz depende en este caso del conocimiento de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la distancia del Sol, y lo mismo puede decirse cuando se deduce la velocidad de la aberracion. Pero, en el primer caso, se trata de la velocidad en el vacío de los espacios celestes, mientras que en el segundo nos referimos á la de la luz en el aire; ambos métodos han dado resultados muy semejantes.

En estos últimos años varios sabios, todos franceses, Fizeau, Foucault y Cornu han determinado directamente la velocidad de la luz, por medios puramente físicos; vamos á exponer brevemente en qué consiste el método ideado por Fizeau.

Por medio del aparato que representa la figura 151 se envia un haz de rayos luminosos emanados de una lámpara, de Madrid á Leganés, v. gr., en cuya última estacion se dispone un espejo que refleje la luz y la devuelva al punto de partida precisamente. La luz de la lámpara viene á herir despues de atravesar un sistema de

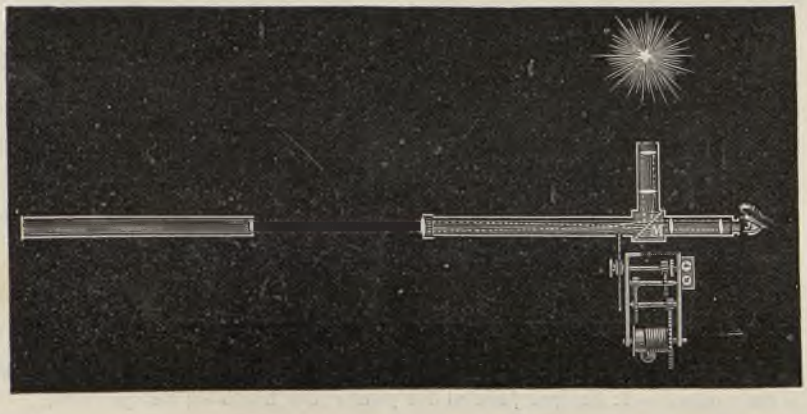


Fig. 151.—Aparato de Fizeau para determinar la velocidad de la luz

dos lentes, el espejo M, compuesto de un pedazo de luna sin azogar inclinado 45° respecto de la direccion de los rayos luminosos. Aquí se refleja en ángulo recto, y despues de atravesar el objetivo de un anteojo que da paralelismo á los rayos, recorre la distancia que separa las dos estaciones. Al llegar á Leganés, atraviesa el haz el objetivo de otro anteojo y va á encontrarse en un espejo que lo refleja segun la misma direccion que traia, sobre el primer espejo inclinado, atraviesa la luna sin azogar y el observador puede examinarlo provisto de un ocular. Como vemos, por medio de esta disposicion, es posible observar desde Madrid la imágen de una luz colocada al lado del observador, despues de haber recorrido sus rayos el doble trayecto que hay desde Madrid á Leganés.

Toda la cuestion se reduce á determinar el tiempo que emplea la luz en franquear este doble intervalo; para conseguirlo se coloca en el trayecto de los rayos, algo hácia adelante del espejo M y en el punto en que los rayos emanados de la lámpara forman su foco, los dientes de una rueda R á la cual imprime un movimiento de rotacion muy rápido y uniforme, un aparato de relojería.

Siempre que el movimiento de la rueda coloca un diente en el curso del haz, obrando como una pantalla ú obturador, queda la luz interceptada, al paso que atraviesa libremente el espacio que separa un diente de otro, cuyo efecto total viene á ser, como si alternativamente se bajara y levantara una pantalla opaca en el curso del haz luminoso. Supongamos que al principio de la rotacion, inmóvil aun la rueda, ofrece uno de sus vacíos al paso de la luz: la imágen reflejada del punto luminoso se distingue sin dificultad por el observador; si enton-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ces gira la rueda, pero con tal velocidad que cada diente emplee para venir á ocupar el sitio del vacío que le sigue, mayor espacio de tiempo del que necesita la luz para ir á Leganés y regresar á Madrid, sucederá que al volver el rayo luminoso hallará aun libre el camino por el mismo vacío que atravesó en su viaje de ida; el punto luminoso permanecerá visible, pero á medida que aumenta la velocidad de rotacion, disminuye la intensidad de la luz, porque de todos los rayos luminosos que atraviesan cada uno de estos intervalos, hay un número creciente que, á su vuelta, hallan interceptado el paso. Si, por último, llega á ser tanta la velocidad de la rueda que el tiempo que emplea un diente en venir á ocupar el puesto del vacío que le precede, es precisamente igual al que invierte la luz en recorrer la doble distancia que hay entre ambas estaciones, no hay un solo rayo de luz que atravesando la rueda á la ida, deje de encontrar cerrado el paso á la vuelta; habrá, por tanto, un eclipse continuo del punto luminoso, mientras persista la velocidad de que hablamos.

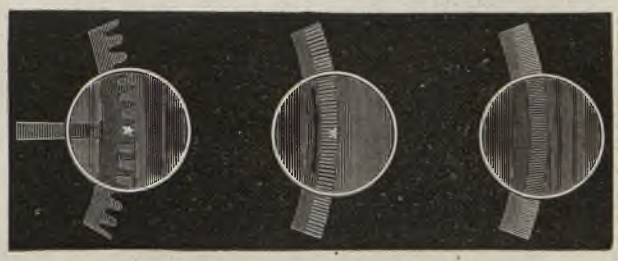


Fig. 152. – Medicion de la velocidad de la luz.— 1: El punto luminoso visto á través de los dientes de la rueda inmóvil.—2: Eclipse parcial del punto luminoso.—3: Eclipse total

Con esto basta, pues un contador adaptado á la rueda da á conocer el número de vueltas que efectua por segundo; el número de dientes y de los espacios vacíos tambien se conoce, y asimismo conocemos el tiempo que emplea un diente en ocupar el sitio de un vacío, que como acabamos de ver, es rigorosamente igual al que invierte la luz en recorrer dos veces los metros que separan ambas estaciones. Por este procedimiento halló Fizeau que la velocidad de la luz era de 315,000 kilómetros por segundo, número que se aproxima mucho al obtenido de los eclipses de los satélites de Júpiter, cuando se adopta la distancia del Sol deducida de la antigua paralaje de este astro.

Algun tiempo despues del experimento de Fizeau, en mayo y junio de 1850, con otros aparatos fundados en el principio de los espejos giratorios empleados por Wheatstone para medir la velocidad de la electricidad, se pudo comprobar que la luz se mueve con mayor rapidez en el aire que en el agua, midiendo la relacion de ambas velocidades.

En 1862 modificó Foucault el aparato primitivo, perfeccionándolo hasta tal extremo, que pudo medir el tiempo que invierte la luz en recorrer la corta distancia de 20 metros, tiempo que equivale á la 150 millonésima parte de un segundo. Segun los últimos experimentos de Foucault, la velocidad de la luz en el espacio es de 298,000 kilómetros por segundo, número algo menor que el que obtuvo Fizeau, pero que concuerda con el deducido de las observaciones de los eclipses de los satélites de Júpiter en la hipótesis de la nueva paralaje del Sol.

En 1874 se ocupó de este problema M. Cornu, pues parece que nadie mas que los franceses tienen interés en averiguar la velocidad de trasmision de la luz; en es-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta última serie de mediciones fué su estacion el Observatorio de Paris, hallándose instalado el espejo reflector en la torre de Monthléry á una distancia aproximada de 4 leguas; el telescopio empleado para enviar y recibir los destellos luminosos tenia sobre 10 metros de distancia focal y 42 centímetros de diámetro; la velocidad de la rueda dentada podia llegar á ser de 1600 vueltas por segundo, y por medio de un electro-cronógrafo que registraba esta velocidad, podia determinarse el tiempo dentro de la milésima de segundo. En Monthléry se hallaba, como decimos, el espejo reflector colocado en el foco de un anteojo de 15 centímetros de diámetro, cuyo tubo de acero empotrado en el muro de la torre, carecia de movimiento. De una serie considerable de experimentos dedujo M. Cornu que la velocidad de la luz en el aire era de 300,330 kilómetros por segundo, y en el vacío de 300,400, esto es, de 75,082 leguas en el primer caso y de 75,100 en el segundo.

III

Reflexion de la luz

Cuando un rayo luminoso se mueve en un medio homogéneo, se propaga siempre en línea recta, lo cual hemos demostrado experimentalmente en el párrafo anterior, en cuanto se refiere al menos á los rayos de luz que se propagan en una capa de aire limitada, y por lo tanto, de densidad igual en todas sus partes. Es probable que los rayos de luz emanados del Sol ó de los demás astros, se propaguen tambien en línea recta en el espacio interplanetario, en aquellas regiones que podemos considerar vacías de materia ponderable.

Pero en cuanto llega á la Tierra el rayo luminoso en la zona de separacion de ambos medios, esto es, del medio en que su propagacion era rectilínea y de este otro de densidad y naturaleza distinta, se aparta de su camino, dividiéndose en dos porciones distintas. Una parte es devuelta por la superficie hácia el primer medio; se dice entonces que ha sido reflejada; otra parte penetra en el nuevo medio en el cual se refracta, si es de naturaleza á propósito para que se propague la luz, es decir, si es trasparente ó traslúcido.

La reflexion de la luz en la superficie de los cuerpos varia segun diversas circunstancias, entre las que debemos considerar en primer lugar, la naturaleza misma de la superficie reflectora. Si se trata de cuerpos cuya superficie sea naturalmente plana y pulimentada, como los líquidos en reposo, v. gr., el mercurio, ó susceptibles de adquirir esta cualidad por procedimientos mecánicos como el vidrio, la mayor parte de los metales, etc., la reflexion de la luz en su superficie hará ver, no estos mismos cuerpos, sino los objetos iluminados ó luminosos que se encuentran ante ellos. La luz reflejada de esta suerte produce unas imágenes de estos objetos cuyas dimensiones y forma dependen de la que tenga la superficie reflectora, conservándose el color y cantidad de la luz mejor, segun que sea mas perfecto el grado de pulimento. A esto llaman los físicos reflexion regular ó especular.

Veamos ahora la marcha que sigue un rayo luminoso que se refleja en un punto de una superficie plana y pulimentada; si suponemos que el medio á donde vuelve el rayo reflejado es homogéneo, se concibe que seguirá propagándose en línea recta; solo nos queda, pues, que examinar la exacta direccion del rayo reflejado.

Tomemos como superficie reflectora un baño de mercurio, y por objeto luminoso una estrella cuyos rayos, en virtud de la inmensa distancia de su orígen, pueden considerarse como rigorosamente paralelos. Examinemos uno de estos rayos S I (fig. 153) que toca en el punto I de la superficie del baño de mercurio. I N es la vertical del mismo punto ó la normal á la superficie reflectora, y el ángulo S I N se llama ángulo de incidencia. El rayo S I se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

refleja segun la direccion I R, de modo que, colocando el ojo en esta direccion, se verá la imágen de la estrella en el baño de mercurio. El ángulo del rayo reflejado en la normal I N se llama ángulo de reflexion, y podemos comprobar por nosotros mismos en vista de esto las dos leyes siguientes:

1.ª El rayo incidente, el reflejado y la normal al punto de incidencia se encuen-

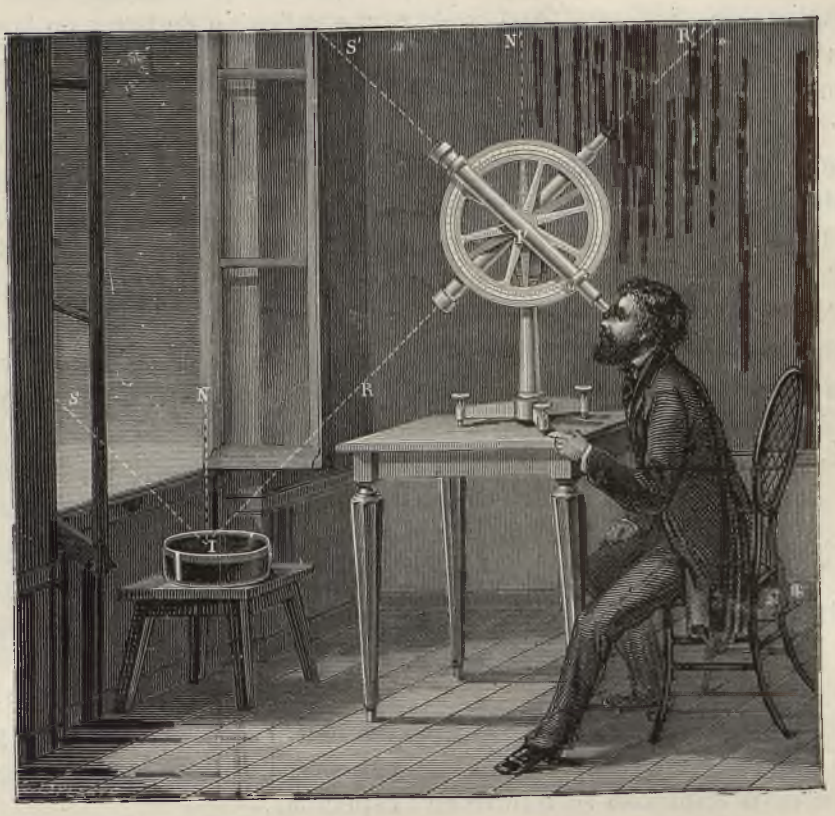


Fig. 153.—Estudio experimental de las leyes de la reflexion de la luz

tran en un mismo plano, luego este plano es siempre perpendicular á la superficie reflectora.

2.ª El ángulo de incidencia y de reflexion son iguales entre sí.

La comprobacion de estas dos leyes puede hacerse con auxilio del instrumento que indica la figura; se compone de un círculo metálico dividido y de dos anteojos fijos en el centro del limbo y que pueden girar en un plano; este círculo se coloca en posicion perfectamente vertical. Con uno de los anteojos y haciéndolo girar del modo oportuno el limbo sobre su eje vertical se enfila el baño de mercurio de modo que se vea la imágen reflejada de la estrella; en este momento, coincide el rayo reflejado con el eje del anteojo y el ángulo N' I' R' es igual al ángulo N I R, es decir, al ángulo de reflexion.

Si ahora, utilizando el otro anteojo, lo enfilamos directamente con la estrella, se demuestra que no hay que cambiar la posicion del instrumento; el rayo incidente S' I' se halla en el mismo plano vertical que el rayo reflejado, lo que prueba la primera ley, puesto que S I es paralela á S' I'. Además el ángulo S' I' N' es rigorosamente igual al ángulo de incidencia, puesto que los lados de estos ángulos son paralelos, y como al contar en el limbo en grados, minutos y segundos la posicion de ambos anteojos, se observa que los arcos comprendidos entre la normal I' N' y sus

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

direcciones son iguales entre sí, resulta que hay igualdad entre los ángulos de reflexion y de incidencia, con lo que queda demostrada la segunda ley.

Estas dos leyes que no pueden ser mas sencillas bastan, sin embargo, para explicar los fenómenos mas complexos y la teoría de los instrumentos ópticos mas diversos, siempre que unos y otros tengan relacion con la reflexion de la luz en la superficie de un cuerpo cualquiera.

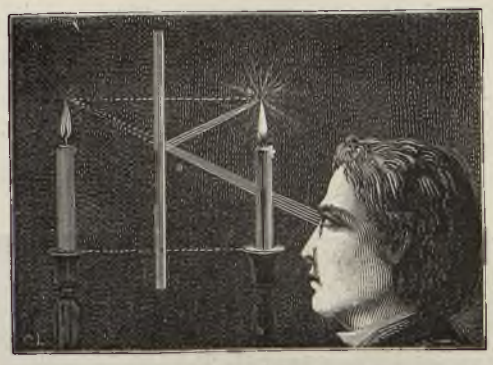


Fig. 154.—Reflexion en un espejo plano; forma y posicion de las imágenes

En los espejos planos como las lunas, la superficie de los líquidos en reposo, etc., se forman unas imágenes que son la representacion fidelísima de los objetos que reflejan. Las dimensiones, la forma, el color, todos estos accidentes se reproducen con completa exactitud, tan solo que la imágen es siempre simétrica del objeto, de modo que la derecha de este corresponde á la izquierda de aquella y vice-versa. Además, la distancia aparente de la imágen al lado opuesto del espejo es precisamente igual á la distancia del objeto.

La figura 154 demuestra estas propiedades con toda claridad. En efecto, los haces luminosos que la extremidad de la llama de una bujía lanza sobre un espejo plano, divergen en todos sentidos despues de reflejarse en la superficie del espejo; pero la igualdad de los ángulos de incidencia y de reflexion hace que todos los rayos se reunan detrás del espejo en un mismo punto, simétricamente situado respecto de los haces luminosos. Para el ojo que recibe uno de estos haces, parecerá que el objeto luminoso está situado en el punto de convergencia y en él verá la imágen. Sea, pues, la que quiera la posicion del observador delante del espejo, permanecerá invariable la posicion de la imágen aunque parezca que ocupa puntos distintos en el espejo. La extremidad inferior de la bujía formará su imágen de igual manera, y lo propio ocurre con todos los puntos intermedios, de donde se deduce que la imágen de un objeto luminoso cualquiera estará formada punto por punto, por todas las imágenes parciales simétricamente colocadas detrás del espejo, á distancias de su superficie iguales á las distancias particulares de cada uno de los puntos del objeto.

Cuando en vez de reflejarse la luz en una superficie plana viene á herir una superficie curva pulimentada, permanecen inalterables las leyes de la reflexion para cada uno de los puntos del espejo, es decir, que los ángulos de reflexion y de incidencia son siempre iguales á un lado y otro de la perpendicular al plano tangente á este punto, ó como se dice, de la normal á la superficie del punto de incidencia; además el rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano. Pero la curvatura de la superficie modifica la convergencia ó divergencia de los haces luminosos que despues de la reflexion vienen á herir el ojo; esto da orígen á fenómenos particulares de los objetos luminosos y de la formacion de las imágenes, cuyas distancias y posiciones varian con la forma de los espejos y segun las dimensiones y distancias de los objetos.

Tratemos de determinar la marcha de un rayo luminoso que caiga y se refleje en un punto de la superficie de un espejo cóncavo. Pueden ocurrir dos casos: ó el rayo incidente pasa por el centro de curvatura del espejo, ó pasa á cierta distancia del centro. En el primer caso la incidencia es normal, y el rayo reflejado

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

debe serlo tambien, esto es, que el rayo de luz vuelve por el mismo camino que trajo, confundiéndose en uno solo el rayo incidente y el reflejado. En el segundo caso, sea C el centro del espejo, S I el rayo in-

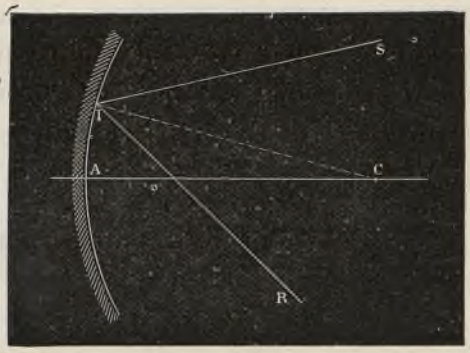


Fig. 155.—Curso de un rayo luminoso en la superficie de un espejo cóncavo

cidente (fig. 155). Si trazamos el radio de la esfera I C, tendrá lugar la reflexion en el plano S I C, puesto que este plano es normal al espejo; por otra parte, la direccion del rayo reflejado I R será tal, que habrá igualdad entre los dos ángulos S I C y S I R.

Bastan estas dos reglas para averiguar las posiciones relativas de todos los rayos ó haces luminosos incidentes y reflejados, sea la que quiera, por otra parte, su situacion respecto del espejo. Por ejemplo, la figura 156 nos muestra un haz de luz formado de rayos paralelos á un eje principal C A, del espejo cóncavo, lo que equivale á suponer que estos rayos emanan de un punto luminoso situado en el eje á una distancia infinita, ó por lo menos bastante considerable para que pueda considerársele tal. Esto ocurre con la luz que llega del Sol y de las estrellas.

La geometría y la observacion demuestran que todos los rayos reflejados cortan el eje principal en un mismo punto, situado á igual distancia entre el centro C y el vértice A del espejo. Su reunion produce en F, foco principal, una imágen del punto que percibiria el ojo en el propio sitio, toda vez que el haz divergente que penetra en nuestro órgano producirá el mismo efecto que si un objeto luminoso real, situado en el foco, nos enviase un haz semejante. El fenómeno se efectúa con mayor exactitud mientras mas pequeña es la abertura del espejo, es decir, que el ángulo del cono que tiene por vértice el centro C del espejo y por base el espejo mismo, sea de menor valor; no debe pasar en realidad de 8 á 10 grados.

Por lo demás, siendo esférico el espejo, es una misma la curvatura en todos sus puntos; los rayos reflejados seguirán pues una marcha semejante respecto de los ejes secundarios, esto es, respecto de las líneas rectas indefinidas que unen cada uno de los puntos del espejo con el centro. De mo-

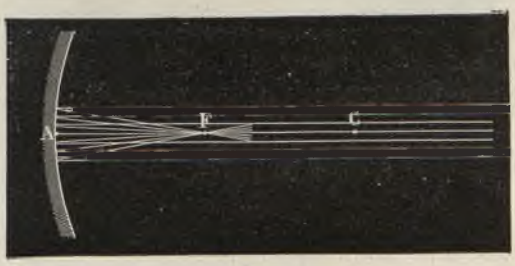


Fig. 156.—Espejo cóncavo; curso de los rayos paralelos. Foco principal

do que hay una infinidad de focos secundarios en estos ejes, situados, como el foco principal, á igual distancia del centro que del espejo.

IV

Refraccion de la luz

Cuando sumergimos un palo recto en el agua transparente, parece que la parte vista á través del líquido no es continuacion en línea recta de la porcion que queda fuera del agua; se diria que el palo se quiebra en la superficie del líquido y tambien que el pedazo sumergido es mas corto de lo que debiera. Si colocamos el palo verticalmente, ó si el ojo recibe los rayos visuales en una direccion que lo haga aparecer como si estuviera vertical, entonces no se ve quebrado el palo, sino sencillamente mas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

corto. Este experimento puede hacerse con toda facilidad sumergiendo un lápiz en un vaso de agua clara.

Si antes de llenar el vaso del líquido transparente, se observa el fondo por encima de los bordes desde un punto fijo, y luego, sin cambiar de postura, se vierte el agua progresivamente, se ve que el fondo se eleva poco á poco y que al fin aparece mucho mas alto de lo que al principio indicaba la simple perspectiva. Para que el experimento sea mas sensible se coloca una moneda en el fondo del vaso de manera que los bordes la oculten á la vista; á medida que sube el nivel del agua, se hace visible el objeto y toma la posicion aparente que indica la figura 158.

Tambien es un fenómeno conocido de



Fig. 157.—Fenómeno de refraccion de la luz

todo el mundo que los objetos vistos á través de una botella llena de agua aparecen deformados, de mayor tamaño y fuera de su posicion natural; al seguir con la vista los movimientos de los peces de una redoma de forma esférica, llama la atencion que estos animales aparezcan en ocasiones de un tamaño enorme, que luego disminuyen hasta el punto de presentarse de un tamaño natural y que á veces llegan á desaparecer por completo. Todos estos fenómenos se deben á lo que los físicos llaman *refraccion* de la luz, es decir, á la desviacion que experimentan los rayos luminosos al pasar de un medio á otro, por ejemplo, del aire al agua.

Cuando la luz parte de un objeto luminoso ó iluminado, se mueve en línea recta como ya sabemos, siempre que el medio que atraviesa sea homogéneo; así, pues, el haz que llega á nuestro ojo desde la extremidad de un palo sumergido en el agua, es rectilíneo en su curso por el agua, que es un medio homogéneo. El camino que sigue el mismo haz para llegar de la superficie del agua al ojo, es asimismo rectilíneo porque se efectúa en el aire que es otro medio homogéneo. Pero el segundo haz no es prolongacion del otro y el camino total seguido por los rayos luminosos forma una línea quebrada cuyo ángulo tiene su vértice en el punto comun de incidencia en la superficie de separacion de ambos medios.

Fenómenos semejantes tienen lugar en toda clase de líquidos, en los sólidos trasparentes como el cristal, y de igual manera en los gases, con la diferencia, no obstante, de que la desviacion varia segun los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

medios. Hace ya mucho tiempo que se demostraron los principales efectos de la refraccion de la luz, y el aspecto de los objetos á través de un agua límpida sirvió sin duda para esclarecer en este punto las ideas de los sabios de la antigüedad. Los

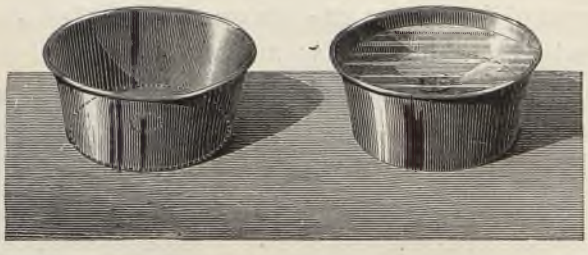


Fig. 158.—Refraccion de la luz; elevacion aparente del fondo de los vasos

antiguos astrónomos, como nos cuenta Ptolemeo, conocian los efectos de la refraccion atmosférica ó desviacion que sufren los rayos luminosos de los astros al pasar del vacío de los espacios planetarios á las capas cada vez mas densas de la atmósfera; sin embargo, hasta principios del siglo XVII no se descubrió la causa de esta desviacion y las leyes que rigen el curso de un rayo luminoso cuando pasa de un medio homogéneo á otro tambien homogéneo. Este descubrimiento se debe á dos grandes genios, Snell y Descartes.

Veamos en qué consisten estas leyes.

Un rayo ó haz luminoso se propaga de un medio homogéneo á otro medio tambien homogéneo pero de distinta densidad que el primero; llega á un punto de la superficie de separacion, formando con la línea perpendicular ó normal á esta superficie, un ángulo determinado que se llama *ángulo de incidencia*. Al penetrar en el segundo medio, continúa su camino en línea recta, pero siguiendo una direccion mas ó menos distinta de la primera y formando con la normal un ángulo que se llama *ángulo de refraccion*, y que por lo comun, no es igual al de incidencia. ¿En qué relacion se encuentran ambos ángulos? ¿cuál es la direccion del haz ó rayo refractado respecto del haz ó rayo incidente? A estas preguntas responden los enunciados de las leyes de la refraccion simple.

Para demostrar experimentalmente estas leyes, podemos valernos del aparato que representa la figura 159; se compone, como vemos, de un círculo graduado en cuyo centro hay un vaso fijo de vidrio de forma cilíndrica, que se llena hasta la mitad de

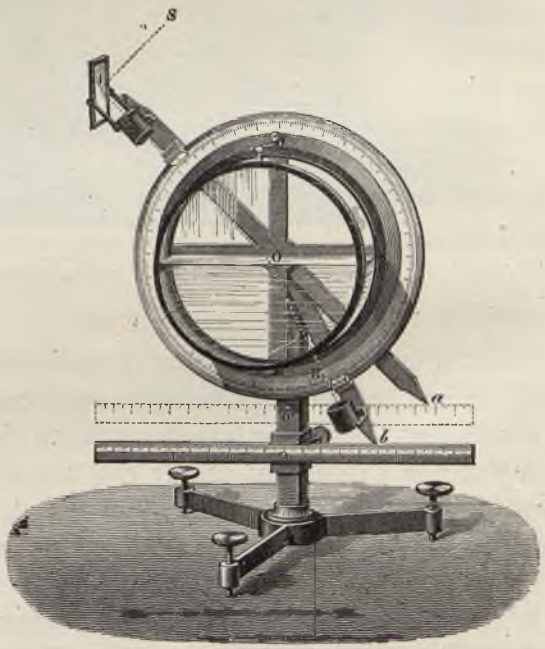


Fig. 159.—Demostracion experimental de las leyes de la refraccion

agua ú otro líquido; si se coloca el aparato de tal suerte que se halle el círculo en posicion vertical, la superficie del líquido tranquilo que es horizontal, será perpendicular al diámetro vertical del círculo, diámetro que coincide con el cero de las divisiones del limbo.

Se hace caer entonces un rayo incidente

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que provenga del Sol, v. gr., en el punto I de un espejo que se inclina de modo que refleje el rayo en la direccion del centro O del círculo á través del agujerito de un diafragma fijo, como el espejo, á una alidada móvil al rededor del centro. El rayo penetra entonces en el líquido y sale por el contorno del cilindro de cristal, y observamos, que si el rayo luminoso incidente entra en el líquido segun la direccion de la vertical, sale sin desviarse, lo cual se demuestra recibiéndolo en el centro de otro diafragma fijo en una segunda alidada móvil; de modo que cuando la incidencia es normal no hay refraccion.

Si se hace variar el ángulo de incidencia, se observa que el de refraccion varia tambien, pero en todo caso y en todas las posiciones de la alidada por donde llega el rayo incidente, el rayo refractado despues de su salida del cilindro, la cual se efectúa sin nueva desviacion, coincide siempre en direccion con el eje de la segunda alidada. Este resultado que demuestra la segunda ley se enuncia del modo siguiente: Cuando un rayo luminoso pasa de un medio á otro se quiebra, y el rayo incidente y el refractado permanecen en un mismo plano perpendicular ó normal á la superficie de separacion de los medios.

Hay que tratar ahora de hallar la ley de variacion de los ángulos de refraccion y de incidencia; por medio de la primera alidada provista de una punta en su extremidad opuesta, se obtiene la direccion del rayo incidente y es posible medir la línea *o a* en una regla dividida horizontal, capaz de moverse paralelamente á sí misma. Esta línea, ó mejor dicho su relacion con la longitud del radio *a O*, es lo que llaman los geómetras *seno del ángulo de incidencia*. La segunda alidada, provista igualmente de un diafragma agujereado recibe el rayo luminoso refractado despues de pasar por el agua, y se mide *o b* en la regla, lo que da el *seno del ángulo de refraccion*. Recordaremos que al salir del agua el rayo para volver á pasar al aire, no sufre ninguna nueva refraccion, puesto que sale por una incidencia normal á la superficie del vaso cilíndrico. Pues bien, supongamos que una primera observacion haya dado dos senos tales, que dividiendo el de incidencia por el de refraccion, el cociente ó relacion sea el número 1,335. Y lo mismo sucederá mientras que los medios sean el aire y el agua; pero este número que se llama *índice de refraccion* varia cuando cambia uno de los medios ó cuando cambian ambos; así, pues, el índice de refraccion del aire al vidrio no es igual al del aire al agua. Por esta causa se calculan los índices de refraccion de todos los cuerpos trasparentes suponiendo que la luz pasa del vacío á cada uno de ellos y entonces se obtienen los índices absolutos. Por lo comun es tanto mayor la refraccion cuanto mas denso es el medio, si bien hay algunas excepciones, de modo que la refringencia del medio crece con su densidad.

Las leyes que acabamos de estudiar indican el camino ó direccion que sigue la luz, cuando el haz luminoso pasa de un medio á otro; pero esta marcha, como demuestran el raciocinio y la práctica, es igual si

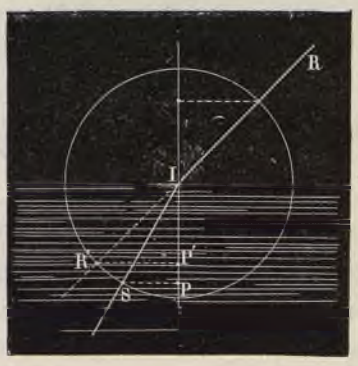


Fig. 160.—Ley de la refraccion

la luz pasa del segundo medio al primero. Entonces el rayo incidente viene á ser el refractado y recíprocamente. Por ejemplo, si el punto luminoso está en el agua, en S, el rayo que cae en el punto I de la superficie se desviará de la perpendicular segun

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la direccion I R; la direccion S I R será la misma en sentido inverso si el rayo incidente hubiera sido R I, por manera que

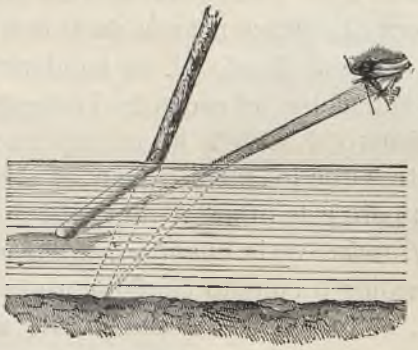


Fig. 161.—Apariencia que presenta un palo metido en el agua

los ángulos de incidencia y de refraccion tienen los senos inversos, pero su relacion permanecerá siempre constante.

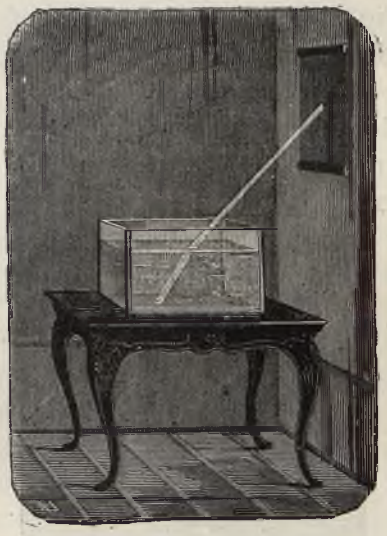


Fig. 162.—Refraccion de un rayo luminoso

Estas leyes permiten que podamos darnos cuenta de los fenómenos que antes indicamos. El ojo que examina la extremidad de un palo sumergido en el agua, lo ve por el haz luminoso que envia esta extremidad á la superficie, haz que se refracta y cuyos diversos rayos, tanto mas desviados cuanto mas oblicua es su incidencia, penetran en el ojo (fig. 161) divergiendo.

El fenómeno es, pues, el mismo que si el punto luminoso estuviese en el punto de convergencia de estos rayos, y el ojo ve en efecto, la extremidad del palo en este punto. Se patentiza tambien este fenómeno haciendo penetrar en una estancia oscura (fig. 162) un haz de luz solar y recibiéndole en la superficie de una masa de agua contenida en una tina de vidrio; así se ve que



Fig. 163.—Explicacion de la elevacion aparente del fondo de los vasos

en el punto mismo de la superficie del líquido el haz cambia de direccion, y puede seguirse su marcha en el líquido, en razon á estar iluminadas las partículas que se encuentran en su trayecto.

La misma explicacion da cuenta de la elevacion del fondo de un vaso lleno de líquido; al mirar al fondo aun cuando sea en direccion perpendicular, se produce igual efecto (fig. 163) porque no recibe el ojo un rayo único, sino un haz cuyos componentes divergen mas al pasar al aire, á causa de la refraccion, que en el líquido, apareciendo el punto O en O', esto es, mas cerca de la superficie.

De las leyes de la refraccion resulta un fenómeno singular, que confirma la experiencia, y que ha recibido el nombre de *reflexion total*; este fenómeno se observa en circunstancias muy conocidas; así, por

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ejemplo, si se mete una cuchara en un vaso con agua (fig. 164) y se le levanta encima del ojo, se ve la superficie del líquido brillante como un metal bruñido en su parte inferior, y una porcion de la cuchara forma en él su imágen como en un espejo.

En los acuarios, hoy tan generalizados, la reflexion total entra por mucho en el interesante aspecto del aparato. En la superficie superior del líquido se muestran con



Fig. 164.—Fenómeno de reflexion total

efecto las imágenes de los peces y de los diferentes objetos que contiene el acuario; cuando este está oportunamente colocado con relacion al ojo del observador, y los musgos, las plantas marinas y las conchas están dispuestas con cierta simetría, el conjunto de estos diversos objetos y de su imágen en la superficie del líquido puede producir un efecto agradabilísimo.

Cuando se examina un objeto á través de una lámina trasparente, v. gr., de vidrio, cuyas dos caras sean paralelas, si el ojo y el punto están en una misma línea perpendicular á la lámina, se ve el punto luminoso en la direccion exacta en que se observaria sin interposicion de ningun medio refringente; lo cual consiste en que no hay refraccion para los rayos normales.

Pero no puede decirse lo mismo de la incidencia oblicua, pues en este caso se desvia el punto luminoso. Nada mas fácil que demostrar experimentalmente esta desviacion; para ello se toma una lámina de vidrio y se coloca sobre un papel en el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que de antemano se trazan varias líneas rectas y curvas, de tal modo que la lámina solo las cubra parcialmente. Mirando en direccion perpendicular, se observa que las líneas vistas por trasparencia son continuacion de las líneas vistas directamente. Si se mira en direccion oblicua, se nota una desviacion, una solucion de continuidad mas marcada cuanto mas oblicua sea la incidencia de los rayos luminosos. Esta

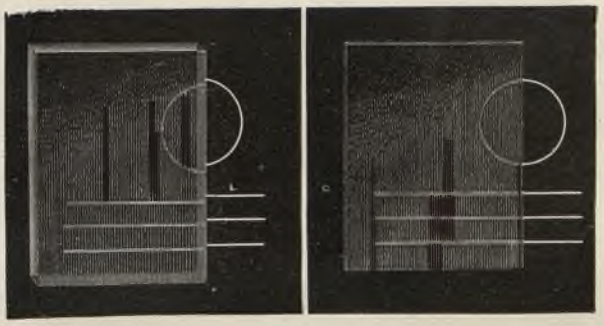


Fig 165.—Refraccion á través de una lámina de caras paralelas

desviacion se debe á la refraccion y crece tambien con el grueso de la lámina trasparente.

De aquí resulta con toda evidencia, que las láminas trasparentes como los vidrios y cristales con que se cubren los grabados, etc., de los cuadros, deforman las imágenes, si bien este defecto es casi insensible y pocas son las personas que lo notan.

Por lo demás, cuando hablamos de desviacion, mejor debiéramos decir dislocacion lateral, pues el rayo luminoso que atraviesa una ó mas láminas de caras paralelas conserva despues de su emergencia una direccion paralela á la del rayo incidente, como demuestra la figura 166. Esta propiedad es consecuencia del paralelismo de las normales en los puntos de incidencia y emergencia y tambien de las leyes de la refraccion para dos medios de refringencia dada. Sea, por ejemplo, un rayo incidente S I (fig. 166) que cae sobre la lámina bajo un ángulo de incidencia S I N; ese rayo se refracta y toma la direccion I R. En el punto R, siendo el ángulo de incidencia para salir al aire el mismo que el ángulo de refraccion en I, resulta del principio que antes indicamos, que la imágen de emergencia S' R N' es igual á S I N, es decir, que el rayo emergente R S' es paralelo al rayo incidente S I, pero no está sobre su prolongacion.

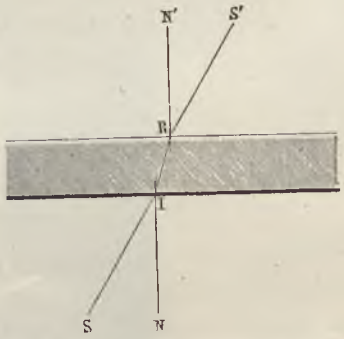


Fig. 166.—Marcha de un rayo luminoso á través de una lámina de caras paralelas

Sea, esto sentado (fig. 167), un punto luminoso S que envia á una lámina de caras paralelas un haz de rayos luminosos; este

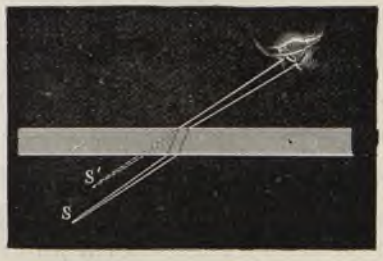


Fig. 167.—Vision al trasluz de una lámina de caras paralelas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

haz atraviesa la lámina y los rayos emergentes son paralelos á los rayos incidentes, pero como han experimentado un cambio de posicion, su punto de concurso S' resulta cambiado y en este punto es donde el ojo ve el punto S; este cambio de posicion depende juntamente del índice de refraccion de la sustancia y del grueso de la lámina, pero en perfecta igualdad de circunstancias depende únicamente del índice de refraccion.



Fig. 168.— Imágenes múltiples producidas por la refraccion en las láminas de caras paralelas

Si se coloca una bujía delante de un espejo azogado y nos situamos para ver la imágen algo oblicuamente, distinguiremos una primera imágen algo empañada debida á la reflexion sobre la superficie del vidrio; otra segunda, mucho mas brillante, debida á la reflexion sobre el azogue, y una serie de ellas cuyo brillo va decreciendo, procedentes de las reflexiones sucesivas en la superficie del azogue.

Si el punto luminoso está á una distancia infinitamente grande, si es una estrella, por ejemplo, todas las imágenes deben confundirse en una sola cuya posicion es absolutamente invariable, cualquiera que sea el haz particular que llegue al ojo, siempre que la lámina tenga las caras rigorosamente paralelas. Este experimento da precisamente el medio de verificar si esto es así; se coloca la lámina sobre tres puntos, se mira la imágen con un anteojo provisto de una retícula, y se adquiere la seguridad de que durante el movimiento de la lámina la imágen permanece absolutamente inmóvil.

La figura 169 que da la marcha sucesiva de los rayos en el primer caso que hemos considerado, explica fácilmente el fenómeno; imaginemos un punto luminoso S colocado delante de una lámina trasparente de caras paralelas; los rayos emanados de este punto experimentan en la cara superior una reflexion que da orígen á la imágen S'; penetran en la lámina, se reflejan en la cara inferior y dan orígen á una segunda imágen S''; vienen á reflejarse luego en la faz superior, y de aquí por segunda vez en la faz inferior, lo que da orígen á la imágen S_1, así sucesivamente; por manera que un ojo colocado á cierta distancia del punto S, de modo que se puedan separar suficientemente las imágenes, verá una serie de ellas cuyo brillo por otra parte disminuye rápidamente á causa de la pérdida debida á las reflexiones.

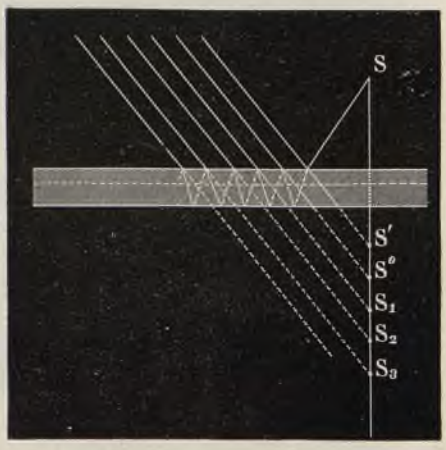


Fig. 169.— Imágenes debidas á las reflexiones múltiples en un espejo de caras paralelas

Ante un auditorio numeroso se puede demostrar la refraccion de la luz de la manera siguiente, haciendo uso de la lámpara oxhídrica: los rayos emitidos por el cilindro de cal K (fig. 170) forman un haz por medio de la lente L, colocada en la parte interior de la linterna, con el único objeto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de que los rayos luminosos salgan paralelos; en esta forma pasan por el anillo R, cruzado por una flecha metálica; por medio de otra lente L_1, colocada á la misma altura que la flecha, pero á cierta distancia, se obtiene en la pantalla una imágen

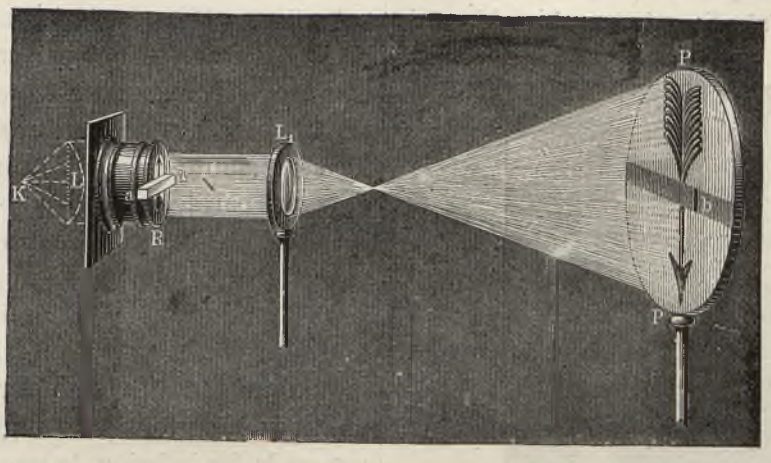


Fig. 170.—Fenómeno de refraccion

invertida P P de mayores dimensiones, imágen á que se puede dar gran detalle enfocando las lentes de un modo adecuado. Se coloca entonces contra la flecha un paralelepípedo rectangular de cristal *a a*, de manera que los rayos paralelos de luz que

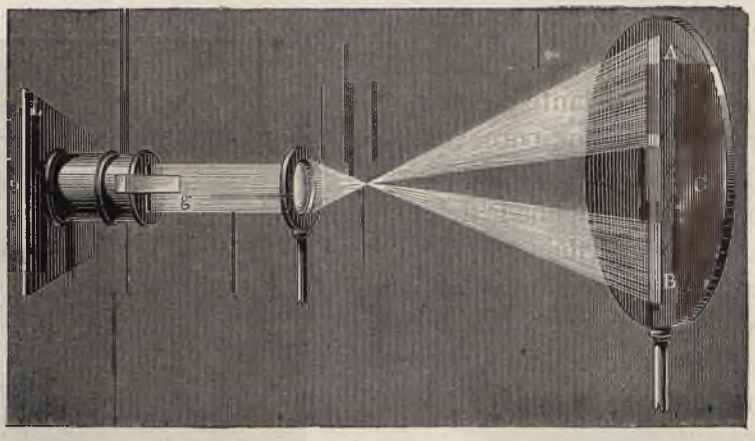


Fig. 171.—Proyeccion de la ranura y dislocacion de los rayos por refraccion

pasan á través del anillo sean perpendiculares á las caras del cristal; con esto no se produce modificacion alguna en el aspecto de la flecha; tan solo la zona en que se proyecta la barra de cristal parece algo menos iluminada que el resto de la pantalla, lo que se debe á la absorcion de una parte de la luz al pasar á través del cristal; de este modo se demuestra lo que antes enunciamos, que los rayos luminosos que caen perpendicularmente sobre un medio diáfano no sufren desviacion alguna en su marcha.

No obstante, si se coloca la barra de vidrio oblicuamente á la flecha, dejan de seguir los rayos luminosos en línea recta

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

entre la flecha y la lente L_1 y se desvian hácia uno de los lados, segun puede observarse en la region correspondiente á la imágen de la flecha *b* que aparece desviada lateralmente respecto del eje.

Igual fenómeno se observa si en vez de una flecha opaca, se inserta un disco con una ranurita vertical, en frente de la linterna. A B en la figura 171 representa la imágen aumentada de la ranura sobre la pantalla, como una línea brillante bien detallada. Si la barra de cristal g se sostiene paralelamente contra el disco, de modo que los rayos de luz que pasan por la ranura sean perpendiculares á las caras del vidrio, solo aparece una ligera sombra en la region correspondiente C de la imágen, á consecuencia de la absorcion parcial de la luz por el mismo vidrio. Si se inclina la barra hácia la ranura, la porcion correspondiente de la imágen se disloca hácia la derecha ó hácia la izquierda, segun el valor de la inclinacion, y la imágen de la ranura aparece quebrada. Repitiendo el experimento con un cubo de vidrio de doble grueso que la barra, es mucho mas patente la absorcion de la luz y el cambio de lugar de las imágenes.

V

Refraccion en los prismas

Examinemos ahora los fenómenos que



Fig. 172.—Forma geométrica del prisma

dependen de la refraccion de la luz cuando atraviesa un medio refringente cuyas caras planas no son paralelas, esto es, en los prismas. La figura 172 representa en pers-

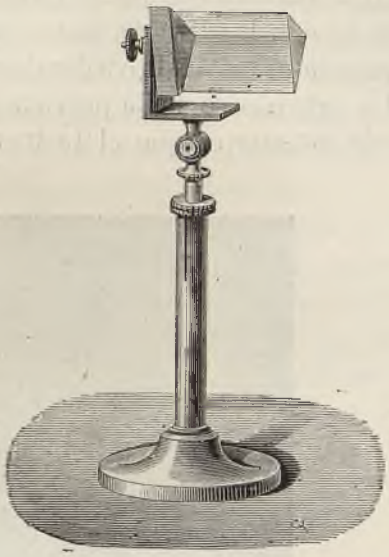


Fig. 173.—Prisma montado sobre un pié

pectiva y en corte la forma geométrica del

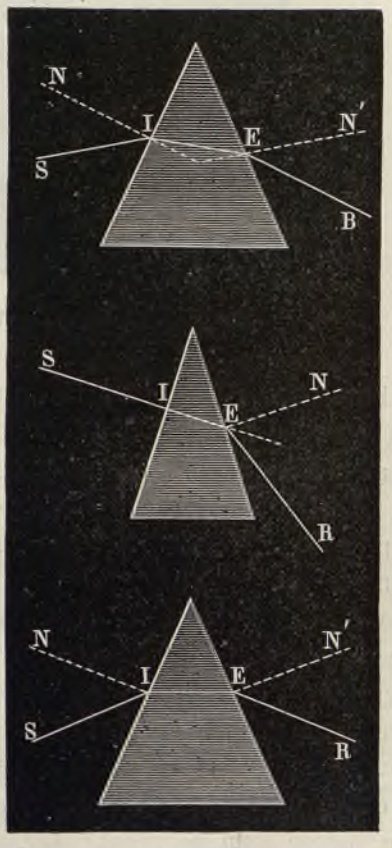


Fig. 174. — Desviacion de los rayos luminosos á través de los prismas

prisma tal y como se usa en óptica; para

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

efectuar los experimentos con mayor comodidad se le suele montar sobre un pié (fig. 173) de manera que pueda girar al rededor de su eje; la pieza de metal que sujeta el prisma es móvil al rededor de un eje vertical y además se halla provista de un gozne, de tal suerte, que el instrumento puede colocarse en todas las posiciones imaginables respecto de los planos vertical y horizontal.

El efecto de un prisma sobre un rayo luminoso que penetra por una de sus caras, lo atraviesa y sale por la otra cara, consiste en desviar el rayo hácia la parte

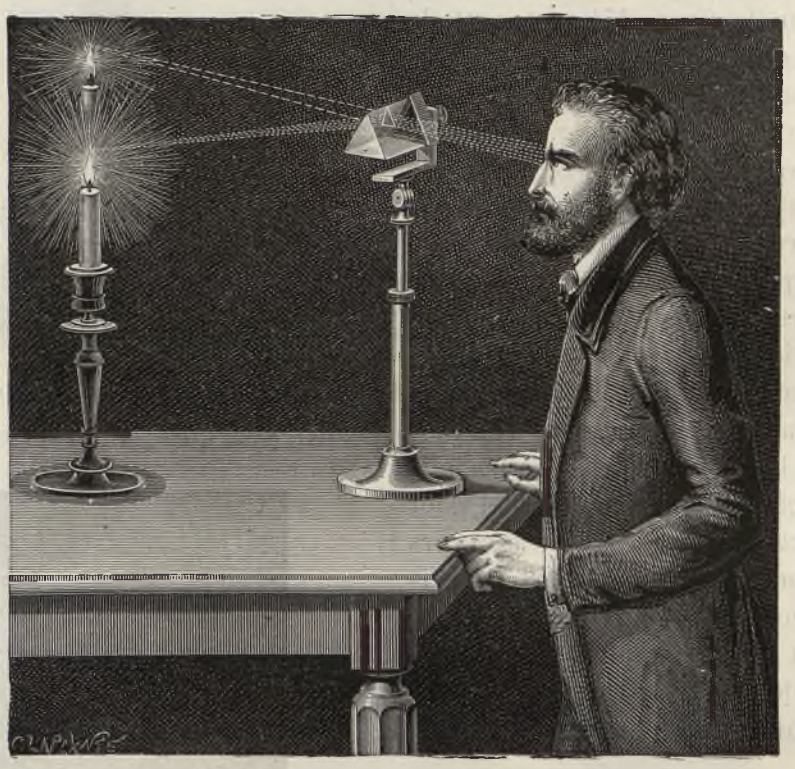


Fig. 175.—Vision á través de un prisma

de la base; basta examinar la figura 174 que da la marcha de los rayos incidentes y refractados para hacer evidente este fenómeno; el rayo incidente S I, despues de sufrir una primera refraccion, recorre en el prisma el curso I E, se refracta de nuevo al salir del prisma y por fin emerge en la direccion E R, lo cual se confirma por la observacion; en las tres figuras las líneas de puntos I N y E N' son perpendiculares á las caras de los vidrios; el rayo es desviado en el medio mas denso, que es el prisma, hácia esta perpendicular, al paso que se dobla en sentido contrario en el medio menos denso, ó sea el aire, así que el ángulo que forma con la perpendicular es siempre mayor en el aire que en el vidrio.

En la figura, el rayo incidente S I pasa sin refractarse á través del prisma en la direccion I E, porque S I es perpendicular á la cara del prisma. En la figura tercera el rayo incidente S I y el emergente E R, forman un mismo ángulo con las superficies del prisma, en cuya posicion tiene lugar la divergencia mas pequeña del rayo incidente I S, por lo cual se llama esta posicion, de desviacion mínima.

Es bien sabido que un punto luminoso se ve siempre, en la apariencia, en la direccion de los rayos que penetran en el ojo en el sitio de convergencia; si como

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

acabamos de decir, diverge el haz aproximándose á la base del prisma, tendrá lugar su convergencia hácia la parte del vértice y el ojo verá el punto elevado ó depreso segun que la base se encuentre encima ó debajo de la arista (fig. 175).

La desviacion es tanto mayor cuanto mas considerable es el ángulo del prisma, si permanece constante el ángulo de incidencia de los rayos. Para un mismo prisma, á medida que el rayo incidente se aproxima á la normal, crece el ángulo de emergencia, y hay una direccion en la cual se alcanza el ángulo límite de la reflexion total. En este caso ya no hay emergencia, lo cual depende, por otra parte, de la sustancia de que se componga el prisma; si se trata de un prisma de vidrio de 45°, todo rayo luminoso que caiga por debajo de la normal hácia el lado de la base, no puede salir; pero los que caen hácia el lado de la arista dan rayos emergentes.

Mas adelante nos ocuparemos de los fenómenos de coloracion que se observan en los haces luminosos desviados por los prismas, y con los elementos de que disponemos vamos á empezar ahora el estudio de los anteojos y telescopios.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO III

ANTEOJOS Y TELESCOPIOS

I

Refraccion de las lentes

Si se corta de un pedazo de vidrio ó de otra sustancia transparente un disco cuyas dos caras sean convexas y tengan la forma rigorosa de dos porciones de esfera, se obtiene lo que se llama una lente; hay de ellas varias clases, pero la que acabamos de describir forma el instrumento llamado cristal de aumento, de tanto uso entre los naturalistas, relojeros, grabadores, etc., y en general entre todas las personas que tienen precision de ver con mayor número de detalles las partes mas diminutas de los objetos.

Parece indudable que las lentes de vidrio y sus efectos amplificadores se conocen desde hace mucho tiempo; se han encontrado objetos análogos cuyo empleo óptico no deja lugar á duda, en las excavaciones de Nínive, y de Pompeya y Herculano. En Europa se usan las lunetas ó anteojos desde principios del siglo XIV; nos referimos á los espejuelos ó gafas. Pero tan solo hace unos doscientos y tantos años que han podido los ópticos, gracias al conocimiento de las leyes rigorosas de la refraccion, emprender la construccion de los vidrios combinados de modo que se obtuviera el efecto tal ó cual que se desease.

Por extension han dado los físicos el nombre de lentes á todas las masas trasparentes terminadas, por una cara al menos, por superficies curvas, esféricas, cilíndricas, etc., y aun en el caso de que estas superficies sean cóncavas y no convexas, como las del cristal de aumento. Por lo comun, y á menos que se diga expresamente lo contrario, las dos superficies de las lentes son esféricas; pero todas ellas pueden agruparse en dos clases segun la marcha que sigue la luz que las atraviesa. Unas, como las de aumento, son convergentes, es decir, que los rayos luminosos se encuentran mas próximos despues que antes de la refraccion. Las otras se llaman divergentes porque, al contrario, los rayos se separan unos de otros ó divergen, sea al entrar, bien al salir del medio refringente de que está hecha la lente. Hay por lo demás un medio muy sencillo de distinguirlas unas de otras y á primera vista; las lentes convergentes son todas mas gruesas en el centro, de modo que sus bordes terminan en filo; las lentes divergentes son mas delgadas en el centro que en los bordes.

Veamos la marcha de la luz á través de una lente biconvexa; para esto la colocaremos al sol, de tal manera, que le presente una de sus caras; luego, recibiendo la luz que emerge de la lente sobre una pantalla colocada al lado opuesto y á cierta dis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tancia, distinguiremos un círculo luminoso, cuya pureza y dimensiones dependen de la distancia de la pantalla á la lente; alejándola ó aproximándola poco á poco, se llega á encontrar una posicion tal, que el brillo de la imágen alcanza su esplendor máximo, siendo al propio tiempo muy perfecta su forma, y mínimas sus dimensiones; este seria un punto matemático si la fuente luminosa fuese asimismo un punto.



Fig. 176.—Lente de caras convexas ó cristal de aumento

Se le da el nombre de foco principal de la lente y en él concurren todos los rayos paralelos despues de la refraccion; la distancia F A del foco á la lente se llama distancia focal principal y depende á la vez de la sustancia de que esté compuesto el medio y de la curvatura de sus superficies; mientras mas pronunciada es esta última, menos considerable es la distancia focal, lo que se expresa diciendo que la lente es de foco corto.

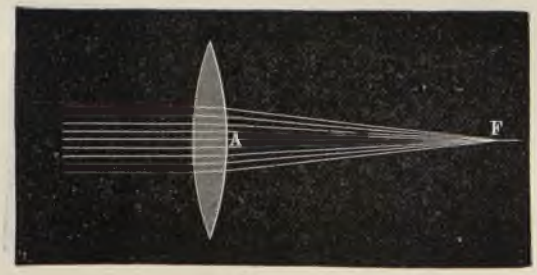


Fig 177 — Marcha de los rayos paralelos al eje; foco principal

Si se coloca la lente en la rendija de la cámara oscura, puede seguirse en el aire el curso convergente de los rayos, pues el cono luminoso se revela por la iluminacion de las partículas flotantes de polvo.

La convergencia de los rayos luminosos producida por las lentes biconvexas se explica sin dificultad, comparándola con la marcha de la luz refractada á través de un prisma; sabemos que el efecto que produce este último medio consiste en desviar el

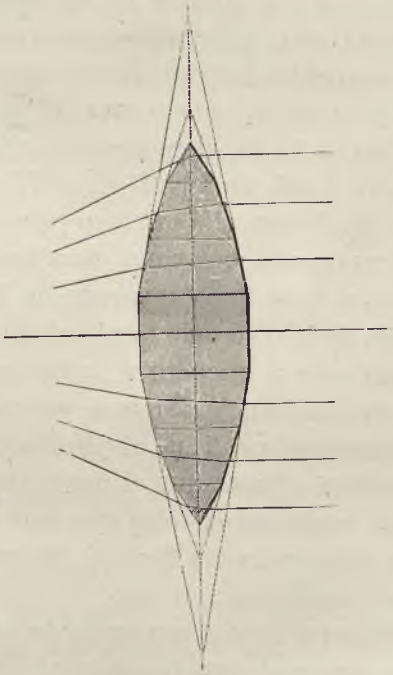


Fig. 178.—Formacion de una lente con secciones prismáticas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rayo luminoso hácia la base del cuerpo óptico. Ahora bien, una lente biconvexa puede considerarse como formada por una serie de prismas superpuestos, cuyo ángulo es mas agudo cuanto mas se aproximan al eje principal; la desviacion es mas considerable tambien segun que el ángulo es de mayor abertura. La figura 178 basta para dar cuenta de la convergencia, y el experimento y la teoría demuestran que el punto de reunion se encuentra en el eje principal siempre que los rayos pasen muy cerca del eje.

Examinemos los diversos fenómenos que

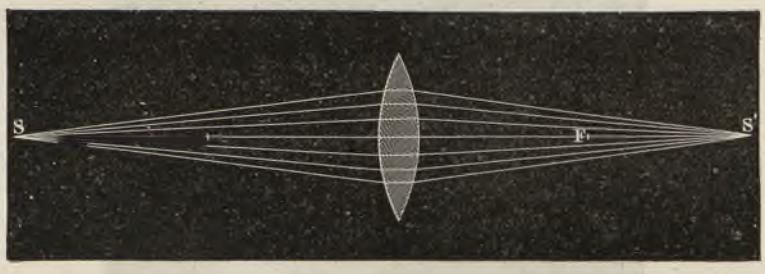


Fig. 179.—Focos conjugados de una lente convergente

se producen cuando el punto luminoso S, se aproxima á la lente en el eje principal; la explicacion es la misma cuando los rayos luminosos en vez de partir de un punto situado á una distancia infinita, provienen de una luz situada en el eje á una distancia finita. Solamente que en este caso, no coinciden los rayos en el foco principal. Mientras se encuentra este punto hácia un lado de la lente, mas allá de la distancia focal, su foco S' (fig. 179) se forma en el eje mas allá del foco principal, y mientras mas se aproxima, mas se aleja el foco. Cuando se halla separado de la lente el doble de la distancia focal, el foco correspondiente se encuentra precisamente á la misma distancia. Si aun es mayor la aproximacion, continua alejándose el foco rápidamente, hasta que el punto luminoso llega á la distancia focal con toda exactitud, y desaparece su foco, ó, lo que es lo mismo, se aleja al infinito.

Hasta aquí la convergencia de los rayos luminosos se efectua realmente despues de salir de la lente; el foco es real, de lo que podemos cerciorarnos con facilidad recibiendo el cono luminoso en una pantalla, donde los rayos concentrados producirán una imágen del objeto, un punto luminoso, que marca el nuevo foco. Por esto los físicos dan á tales puntos, que el cálculo determina cuando se conoce la distancia focal principal, el nombre de focos conjugados.

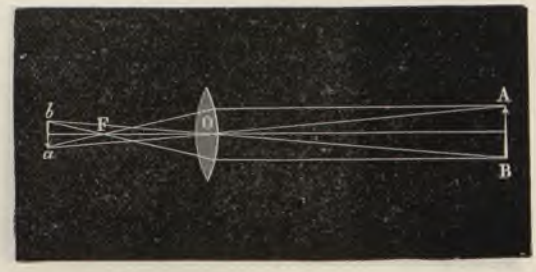


Fig. 180.—Imágen real, invertida y mas pequeña que el objeto

Hemos visto ya cómo se forma la imágen de un objeto cuya distancia puede considerarse como infinita y que envia á la lente un haz de rayos paralelos; por esto el Sol da una imágen en el foco principal de la lente. Si el objeto A B está á una distancia finita pero superior al doble de la distancia focal principal, la imágen A B se formará mas allá del foco; será real, invertida y mas pequeña que el objeto.

Consideremos ahora cómo se forman las imágenes; si tomamos una bujía para hacer el experimento y recibimos la imágen

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sobre una pantalla que aproximamos ó alejamos de la lente, hasta que adquiera todo su brillo y perfeccion, se notará que en relacion con la distancia de la bujía es la imágen real siempre, y que á menor distancia de la vela corresponde una imágen mas lejana y mayor hasta que llega á ser igual al objeto; en este instante, si se miden las distancias que hay de la lente á la pantalla y á la bujía, se ve que son iguales entre sí,



Fig. 181.—Imágenes conjugadas

y doble cada una de ellas de la distancia focal principal; si se continua aproximando la bujía á la lente, se agranda y aleja la imágen real, así que sus dimensiones son superiores á las del objeto (fig. 181); hay necesidad de separar la pantalla cada vez mas para recibir la imágen con pureza, notándose entonces una disminucion en su brillo, que se explica por la dispersion de los rayos luminosos que emergen de la lente, en una superficie que crece con mas rapidez que la cantidad de luz que recibe.

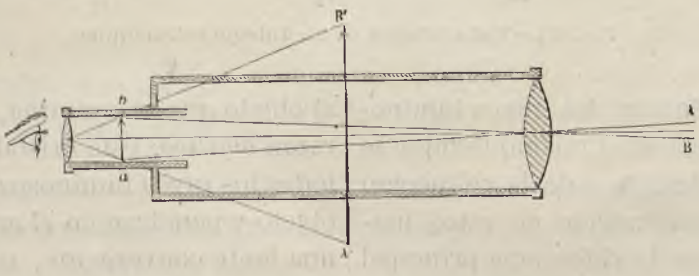


Fig. 182.—Seccion de un anteojo astronómico

II

Los refractores

Es muy difícil, por no decir imposible, determinar con seguridad á quién debe atribuirse la invencion del anteojo, pues como ocurre con otros muchos instrumentos, su historia ha sido una sucesion de mejoras y perfecciones. Dejemos á los eruditos la tarea de investigar si corresponde la gloria del invento á Jansen, Bautista Porta, Galileo ó á otros sabios desconocidos, y concretémonos á describir el tubo óptico, como se llamó al principio el anteojo.

Si atendemos á la etimología del vocablo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

telescopio, compuesto de las voces griegas *tele*, de léjos, y *skopeo*, yo veo, este nombre convendria perfectamente á todos los aparatos destinados á amplificar los objetos haciéndolos aparecer menos distantes; sin embargo, los españoles damos el nombre de anteojos á los instrumentos que amplifican los objetos lejanos por refraccion, y el de telescopio lo reservamos para los que producen el aumento por reflexion.

Los anteojos se componen de una combinacion de lentes á través de las cuales

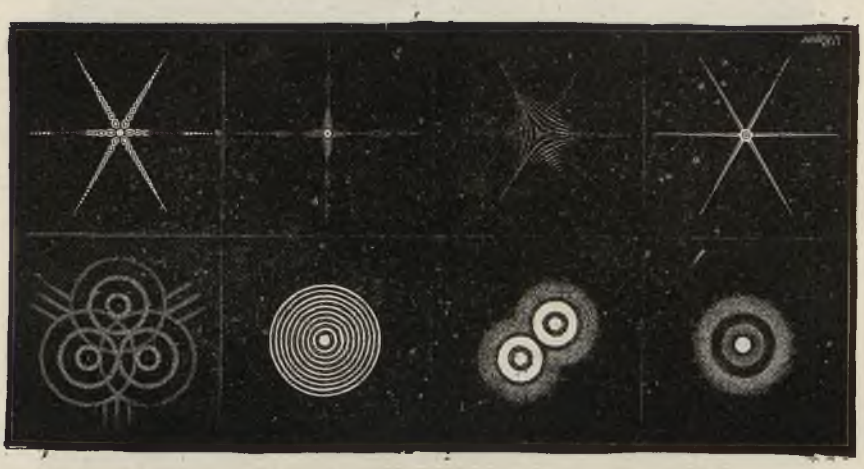


Fig. 183 —Efectos de difraccion en los anteojos; experimentos de Herschel

pasan los rayos luminosos emanados del objeto que se trata de examinar; el principio de esta combinacion es el fenómeno físico de la refraccion explicado poco ha. En los telescopios, además de ciertas lentes combinadas, hay un espejo en cuya super-



Fig. 184 —Vista interior de un anteojo astronómico

ficie vienen á reflejarse los rayos luminosos, de suerte que á un mismo tiempo se dispone de la reflexion y de la refraccion de la luz en la construccion de estos instrumentos. Esta es la diferencia principal que hace de ambas clases de aparatos, dos géneros distintos. Pero la siguiente descripcion permitirá al lector diferenciar los caractéres específicos que acabamos de señalar de un modo general.

El anteojo astronómico se compone de (fig. 182) dos sistemas de lentes ó mas sencillamente aun, de dos lentes dispuestas en las dos extremidades de un tubo cilíndrico; uno de los vidrios, el mas próximo al objeto que se examina, se llama por esta razon *objetivo;* este cristal es el que recibe todos los rayos luminosos que parten del objeto y penetran en el anteojo, y como es una lente convergente, todos los rayos se reunen en el foco principal donde forman una imágen exacta del objeto observado; esta imágen *a b* se examina entonces con un cristal de aumento, de igual manera que el relojero examina las pequeñas piezas de una máquina; al mirar el ojo la imágen á través de este cristal la ve muy abultada, A' B' y es posible examinar los detalles que antes eran invisibles; á esta segunda lente se da el nombre de ocular.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Tal es, en principio, la construccion de un anteojo astronómico y su mecanismo óptico reducido á su menor expresion; se observará que no es el objeto mismo el que se ve directamente por medio del cristal de aumento ú ocular, sino su imágen, la cual es únicamente la que se amplifica.

Siendo mas grande la abertura del anteojo, es decir, la superficie del objetivo que la de la pupila, se forma la imágen por un mayor número de rayos de luz emanados del objeto, y es mas luminosa cuanto mayores son las dimensiones del objetivo. El aumento ó amplificacion aparente que

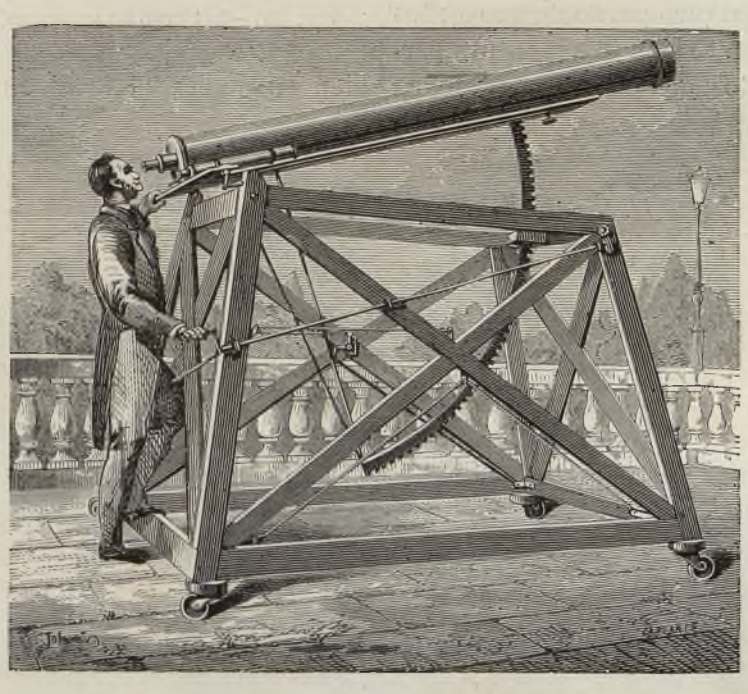


Fig. 185.—Vista exterior de un anteojo astronómico

depende, para un objetivo determinado, de la pequeñez de la distancia focal del ocular, hace perceptibles multitud de detalles que no pueden distinguirse á la simple vista, ó que todo lo mas se perciben de un modo confuso.

Los objetivos de los buenos anteojos están compuestos de dos lentes yuxtapuestas, una convergente y divergente la otra; la primera de *crown* (vidrio ordinario) y la segunda de *flint* (cristal en cuya composicion entra cierta cantidad de plomo); esta disposicion se llama acromática porque evita los colores irisados que en otro caso se formarian al rededor de las imágenes; el ocular se compone tambien de dos lentes cuya combinacion tiene por objeto, sobre todo, agrandar el campo del anteojo sin perjudicar á su potencia óptica.

Herschel obtuvo unos efectos curiosos debidos á la difraccion, colocando delante del objetivo de los anteojos astronómicos, diafragmas de formas variadas y observando con este artificio distintas estrellas simples y binarias. Con una abertura anular vió unos anillos colorados en torno de las imágenes de los puntos luminosos, que entonces presentaban discos semejantes á los de los planetas. Los diafragmas triangulares daban, por el contrario, estrellas de seis radios; una abertura formada por doce cuadrados concéntricos, daba una estrella de cuatro radios; finalmente, cortando en el diafragma de un modo regular triángulos equiláteros, obtuvo una serie de discos circulares dispuestos en seis líneas, que divergen á partir del disco central incoloro y muy brillante; cada uno de ellos está ro-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

deado de un anillo mas ó menos coloreado y se prolongan como espectros á medida que se alejan del centro.

La fig. 184 reproduce la seccion exacta ó vista interior de un anteojo astronómico. Cuando estos instrumentos son de dimensiones moderadas, suelen montarse en piés de bronce portátiles, que pueden colocarse sobre una mesa ú otro punto de apoyo; los de mayor tamaño exigen una montura particular; uno de los modelos mas cómodos es el que representa la fig. 185; pero cuando las dimensiones son extraordinarias ó



Fig. 186.—Reticulo de un anteojo astronómico

bien se dedica el instrumento á trabajos

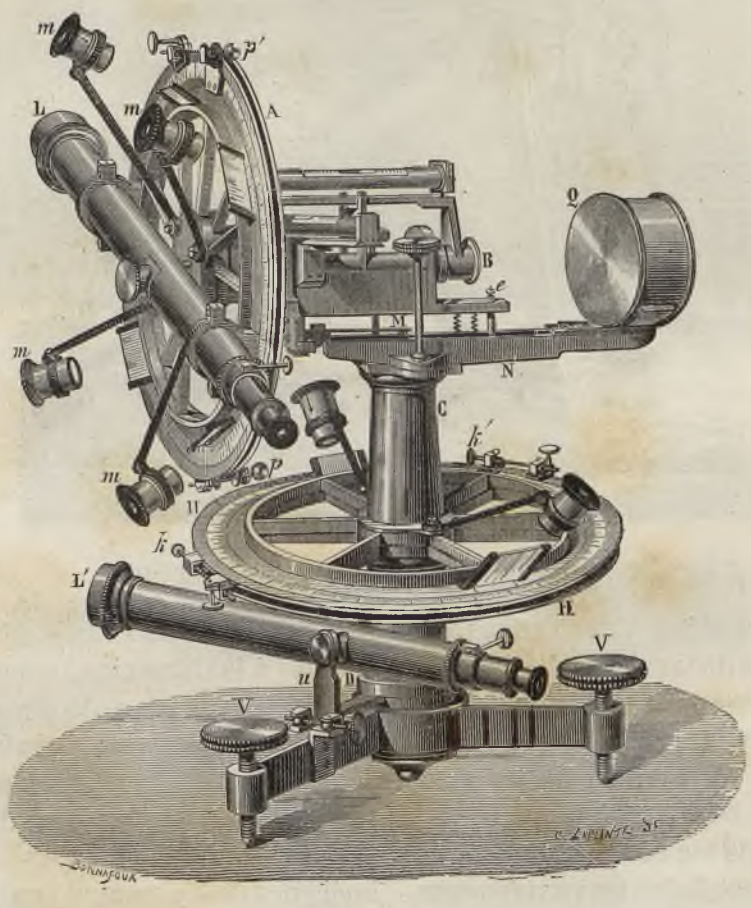
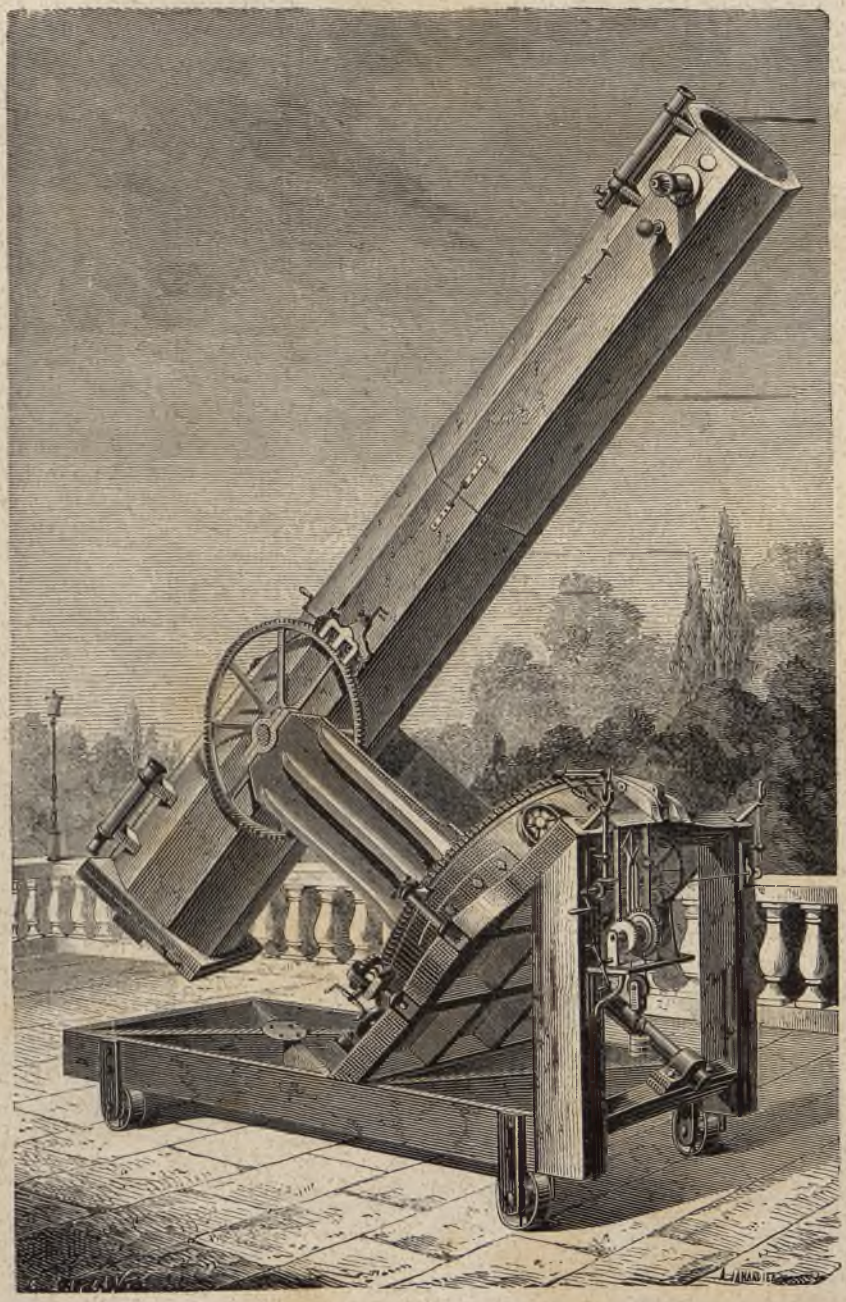


Fig 187.—Teodolito

particulares, se monta sobre un pié llamado ecuatorial, que permite seguir el movimiento de los astros con toda comodidad, mayor aun si se le agrega una máquina de reloj que parezca anular el movimiento diurno. En la lámina adjunta puede verse el gran anteojo ecuatorial del observatorio de Paris, y en la lámina siguiente el terrado ó azotea del mismo establecimiento, con las cúpulas ó domos giratorios que sirven para resguardar de la inclemencia del tiempo estos hermosos aparatos, permitiendo el exámen del cielo por unas aberturas al efecto construidas.

Las piezas fundamentales de la ecuatorial son las siguientes: el anteojo; un círcu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

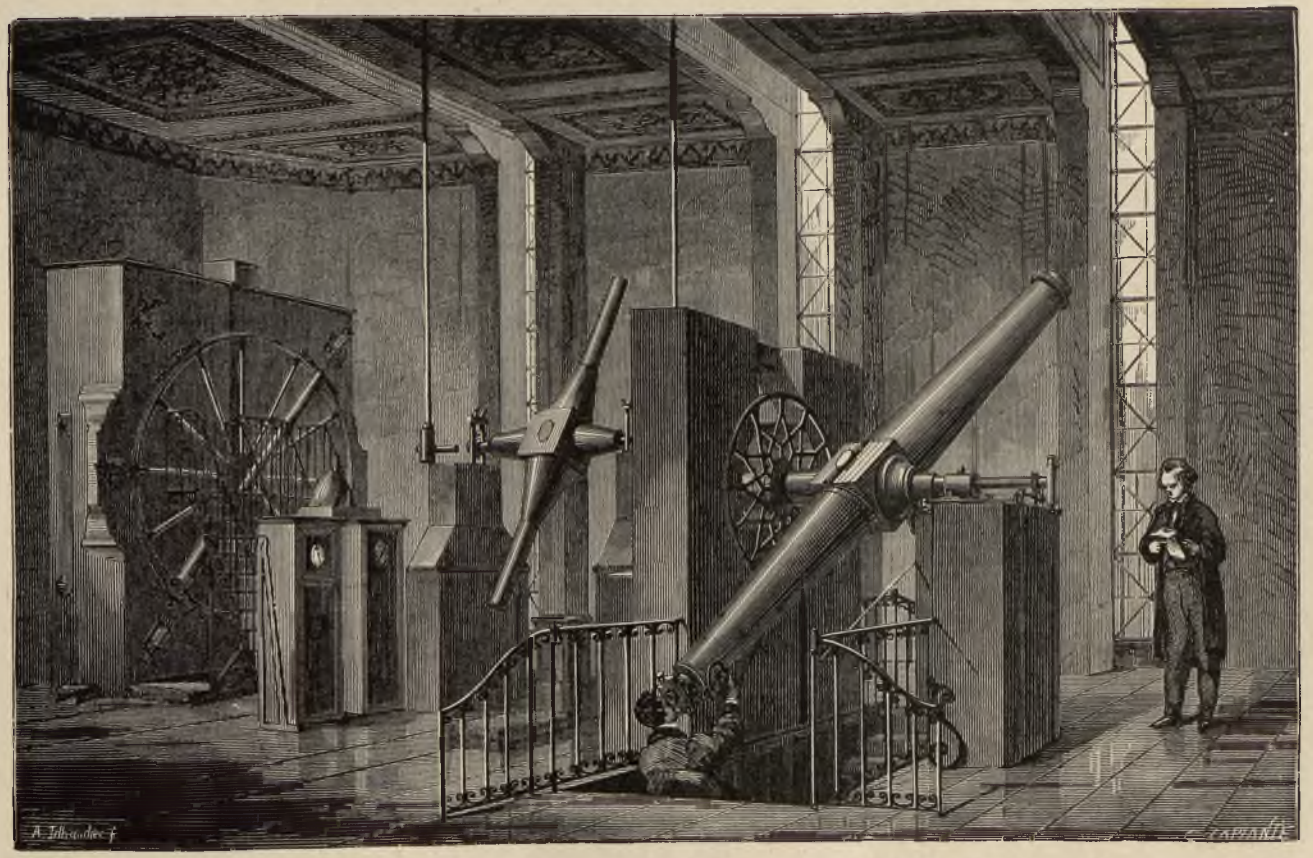


GRAN TELESCOPIO DE ESPEJO PLATEADO

(Existente en el observatorio de Marsella)

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

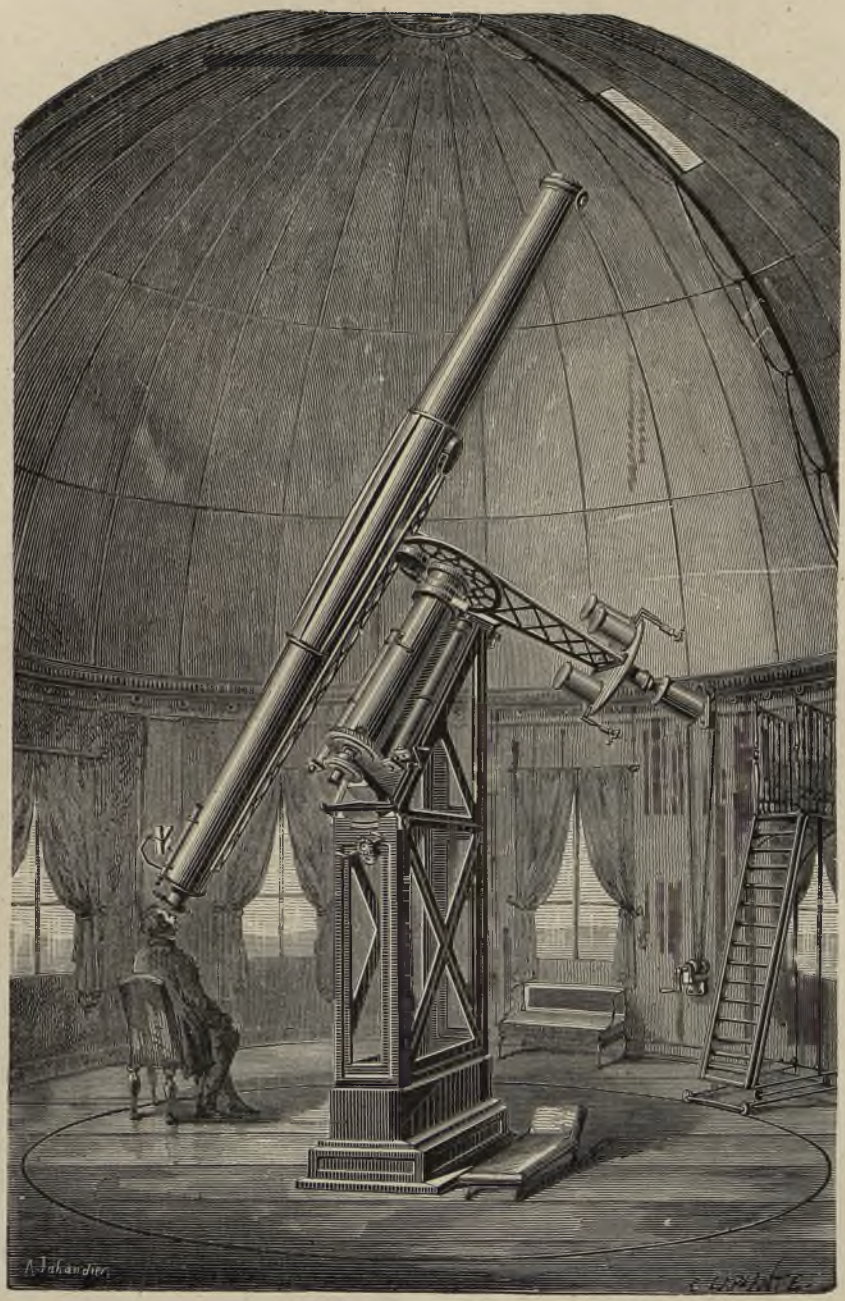
© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



GRAN ANTEOJO MERIDIANO DEL OBSERVATORIO DE PARIS

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

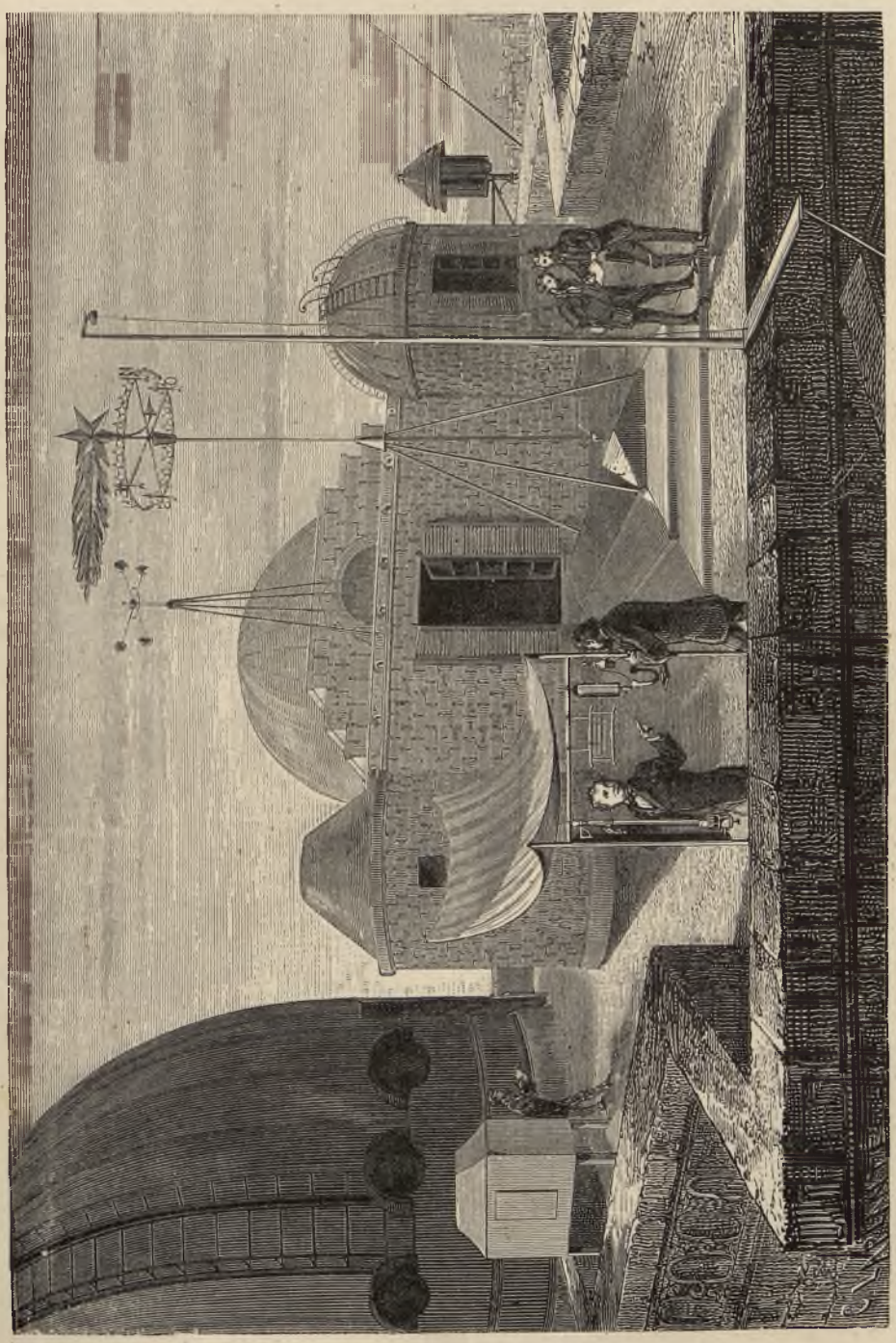
© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



GRAN ANTEOJO ECUATORIAL DEL OBSERVATORIO DE PARIS

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



ASPECTO DE LA AZOTEA DEL OBSERVATORIO DE PARIS

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lo dividido cuyo plano es paralelo al eje del anteojo y que sirve para medir el ángulo que forma este eje con la línea de los polos; muévese este círculo con el anteojo; otro círculo fijo, paralelo al plano del ecuador, y el mecanismo de relojería que ya mencionamos cuyo objeto es hacer girar este último círculo sobre sí mismo de manera que ejecute una revolucion completa en 24 horas.

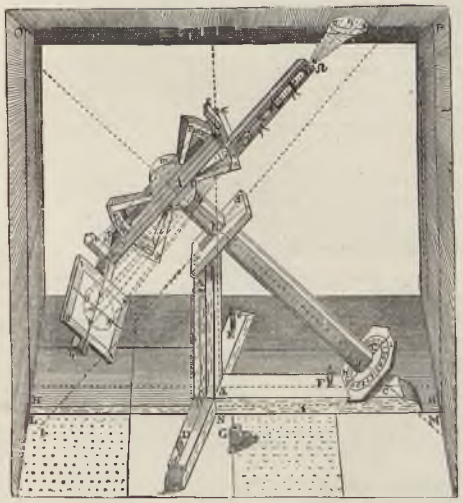


Fig. 188 – Facsímile del Heliotropo de Scheiner

La mayor parte de los instrumentos que se emplean en los Observatorios para el estudio de los astros pertenecen á la clase que acabamos de describir, esto es, son refractores, aplicados á diversos usos. El círculo mural, el anteojo meridiano (véase la lámina) y los teodolitos son refractores; los reflectores se usan únicamente como verdaderos telescopios que permiten ver con claridad los objetos distantes pero no se destinan á la medicion de ángulos absolutos.

La primera idea de la montura ecuatorial se debe al jesuita Scheiner, el famoso rival de Galileo; en la fig. 188 damos una reproduccion del primer instrumento de esta clase que se construyó, sacada de un grabado de la obra *Rosa Ursina*.

III

Los reflectores

Un reflector ó telescopio se compone como los anteojos de un objetivo y de un ocular; el objetivo está destinado á formar una imágen tan detallada y luminosa como sea posible, del astro observado; el ocular sirve para amplificar esta imágen, con la diferencia de que en vez de estar formado el objetivo por una lente ó sistema de lentes como en el anteojo, es el órgano principal del telescopio un espejo cóncavo, es decir, convergente; hasta hace poco se hacian estos espejos de metal, dando á la superficie un pulimento extraordinario; hoy dia los espejos metálicos se reservan para los telescopios de grandes dimensiones.

Fácilmente se comprende que la disposicion de los espejos y del ocular ha de ser distinta que la de los anteojos astronómicos, puesto que el espejo es opaco y que es indispensable que la concavidad mire hácia el cielo. Vamos á presentar tres cortes interiores de varios sistemas de telescopios segun fueron construidos por sus inventores, Newton, Gregory y Herschel.

En el primero de estos instrumentos (fig. 189) los rayos luminosos despues de haberse reflejado una vez en el espejo principal M, se vuelven á reflejar en un espejo pequeño *m*, inclinado 45°, de manera que la imágen se forme á un lado del tubo; en este punto se encuentra el ocular que desempeña, como siempre, su papel de cristal de aumento. Así, pues, en el telescopio de Newton el observador se coloca lateralmente, es decir, en ángulo recto con la direccion de los rayos que emanan del astro.

En el telescopio de Gregory (fig. 190) está agujereado el espejo principal por su centro, cuya abertura da paso al tubo porta ocular, y el espejo pequeño está situado delante del grande, en una posicion paralela. Hay, pues, doble reflexion como en el telescopio de Newton, pero el ojo del observador se sitúa en frente del objeto observado. Esta doble reflexion tiene el inconveniente de apagar un número mayor de rayos luminosos, debilitándose, por consecuencia, la claridad de la imágen.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El telescopio de Herschel no tiene este inconveniente (fig. 191); consta de un solo espejo M, inclinado en el fondo del tubo, de manera que la imágen va á formarse en el borde inferior de la extremidad del tubo mas próxima al objeto; en este punto se

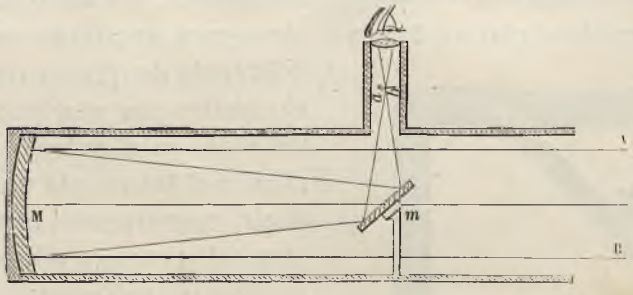


Fig. 189.—Telescopio de Newton; corte teórico

encuentra el ocular que sirve para amplificar las dimensiones; esta disposicion solo es ventajosa para los grandes espejos, porque obligado el astrónomo á volver la espalda al astro para observar, intercepta con su cabeza un gran número de rayos que dejan de penetrar en el instrumento.

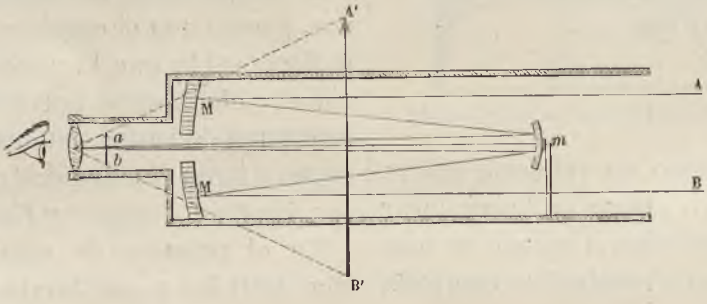


Fig. 190.—Telescopio de Grégory; corte teórico

La pérdida de luz de los telescopios, que proviene de la reflexion en el espejo principal, es superior en mucho á la absorcion que sufren los rayos al atravesar los objetivos de vidrio de los anteojos; así, pues, con dimensiones iguales, es posible obtener mayor aumento con los refractores que con los telescopios.

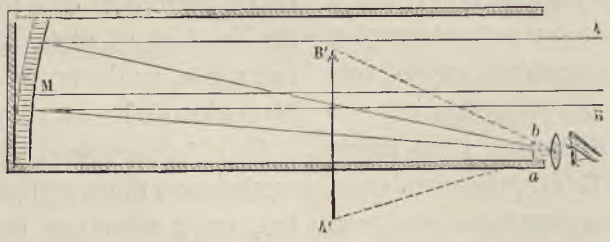
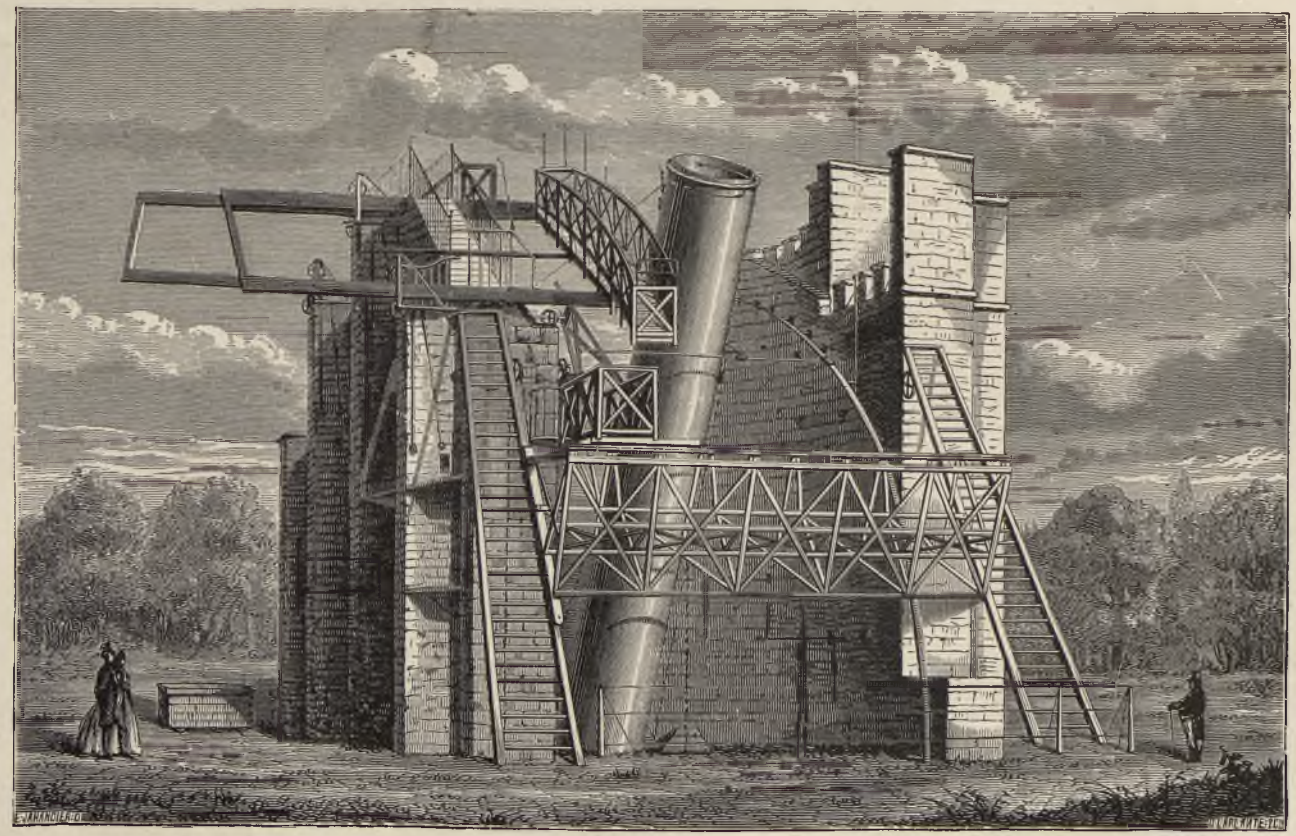


Fig. 191.—Telescopio de Herschel; corte teórico

Hace algunos años que el distinguido físico Foucault, tan famoso por sus notables experimentos, ideó la construccion de unos telescopios cuyos espejos son de vidrio plateado, con lo que se reduce grandemente el precio del instrumento y se hace en extremo fácil el pulimento de los objetivos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



GRAN TELESCOPIO DE LORD ROSSE EN PARSONSTOWN (IRLANDA)

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En la lámina adjunta reproducimos el gran telescopio construido por este sabio para el Observatorio de Marsella. El objetivo mide 80 centímetros de diámetro y $4^m,50$ de distancia focal.

Recientemente se ha instalado en el Observatorio de Paris, un telescopio del sistema Foucault, montado ecuatorialmente, cuyo espejo mide ciento veinte centímetros de diámetro; el tubo tiene $7^m,30$ de largo y su peso total es de 24,000 kilógramos; en su extremidad inferior va colocado el espejo y en la superior hay un círculo giratorio en cuyo centro está el segundo espejo plano que refleja la imágen hácia el ocular. El espejo principal pesa 800 kilógramos. La escalera de observacion gira en torno del telescopio y sobre su propio eje por medio de unos carriles, de modo que el astrónomo colocado en cualquiera de los peldaños puede acercarse al ocular en todas las posiciones del instrumento.

Por desgracia, este telescopio no ha respondido á las esperanzas que en él fundaran los astrónomos franceses; el espejo recibió una curva perfectamente parabólica, pero al colocarlo en el tubo no se pudo evitar que su propio peso lo deformase; en la actualidad se trabaja en remediar este defecto.

El telescopio de lord Rosse es el mayor, si no el mas perfecto que existe en el mundo; el espejo tiene 6 piés ingleses de diámetro ($1^m,83$) y 54 piés ($16^m,45$) de distancia focal y fué fundido en 1842. Una de las mejoras mas importantes realizadas por el conde de Rosse, ha sido la de aplicar una máquina de vapor para el pulimento y curvatura de este gran espejo, proceso de que se vió privado Herschel. El telescopio está montado entre dos muros de cantería que solo le permiten un movimiento de 10° á cada lado del meridiano; en el extremo inferior lleva un eje para que pueda girar azimutalmente. En el plano meridiano se mueve hácia el Norte y el Sur por medio de un mecanismo ingenioso de cadenas, de tal suerte, que sin mayor esfuerzo se dirige hácia la estrella que se desee observar. Entonces se le mueve lentamente hácia el Oeste de modo que siga á la estrella, por medio de un largo tornillo conducido por un mecanismo de relojería gigantesco; comunmente se usa como telescopio newtoniano, colocándose el observador al lado del tubo y en su extremidad superior, para cuyo efecto hay un sistema de plataformas y escalas movibles; una de las plataformas está suspendida al Sur de los pilares en direccion Este-Oeste, pudiéndose elevar por una maquinaria hasta que el telescopio forma un ángulo de 45°; este instrumento se ha empleado principalmente en el estudio de la topografía lunar, del aspecto de los planetas y configuracion de las nébulas. Su amplificacion máxima es de 6,000 veces.

IV

El ojo y la vision

Los diversos fenómenos que acabamos de describir se refieren á la propagacion de la luz en diferentes medios y á las modificaciones que sufre bajo el punto de vista de su intensidad y de su direccion. Hasta aquí no nos hemos preocupado del modo de obrar ó accion de la luz sobre nuestros órganos, ni de la marcha que sigue cuando deja, por decirlo así, de pertenecer al mundo exterior para convertirse en fenómeno interno. ¿Cómo se efectúa este paso? ¿De qué manera un movimiento vibratorio como el de las ondas del éter llega á producir en el hombre y en los animales la sensacion de la vista? ¿Cómo ciertas variaciones en la velocidad ó amplitud de las vibraciones producen cambios correspondientes en la intensidad de la luz y en los colores de los cuerpos? Cuestiones son estas no resueltas aun por la ciencia y que mas pertenecen al dominio de la fisiología que de la física.

Lo que se sabe, lo que la observacion ha demostrado de un modo positivo, es la marcha de los rayos luminosos en el ojo, desde el instante en que penetran en este órgano

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hasta el momento en que llegando á los nervios se trasmite al cerebro la impresion que producen, determinando la sensacion de la vista. En este trayecto, como vamos á ver en seguida, obedecen los rayos luminosos á las conocidas leyes de la propagacion de la luz en medios de forma y densidad variables; en este asunto solo se trata de fenómenos de refraccion simple.

El ojo no es ni mas ni menos que una cámara oscura, cuyo orificio lleva en su parte anterior un vidrio trasparente y en la posterior una lente; el fondo está cubierto por una membrana que sirve de pan-

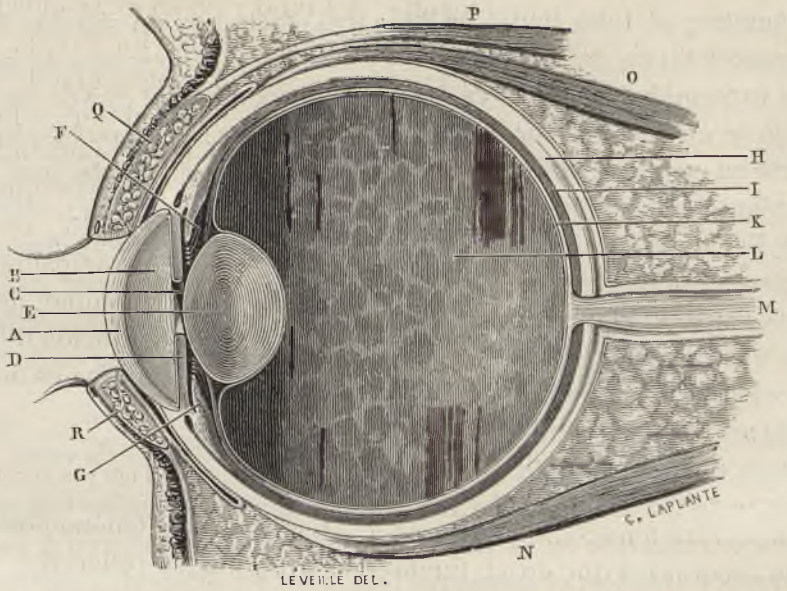


Fig. 192.—Corte diametral antero-posterior del ojo humano

talla en la cual vienen á pintarse invertidas las imágenes de los objetos externos. Describamos con algun detenimiento este importantísimo órgano.

El ojo del hombre, como es sabido, está encajado en una cavidad del cráneo que se llama órbita; su forma es la de un globo casi esférico envuelto por todas partes por una membrana dura y consistente que por su semejanza con el cuerno ha recibido el nombre de *córnea*. La córnea se divide en dos segmentos de extension distinta; el mas pequeño A, colocado delante del ojo, tiene una curvatura mucho mas pronunciada que la del segmento posterior; parece un cristal de reloj, formando cuerpo con el globo del ojo; además es perfectamente trasparente é incoloro, al paso que el otro segmento H es opaco y su color blanco azulado; se les distingue con los nombres de *córnea trasparente* y *córnea opaca*, constituyendo esta última lo que vulgarmente se llama blanco del ojo.

A través de la córnea trasparente se percibe una membrana circular, cuyo color varía segun las personas y las razas, siendo á las veces gris, azul claro ú oscuro, pardo y aun amarillento. Esta membrana D es el íris, especie de diafragma agujereado en su centro circularmente tambien, en el hombre al menos, cuya abertura lleva el nombre de *pupila*. Detrás de la pupila que es la abertura de la cámara oscura, se encuentra una lente sólida E, que es el *cristalino*, cuya cara anterior presenta una curva menos pronunciada que la superficie interna; el cristalino divide la cavidad del ojo en dos partes ó cámaras de dimensiones desiguales como puede verse en la fig. 192. La cámara anterior B comprendida entre la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

córnea trasparente y el cristalino, está llena de un líquido muy parecido al agua pura y dotado de igual poder refringente; llámase este líquido *humor acuoso*. Entre el cristalino y el fondo del ojo se encuentra la cámara posterior llena por completo de una sustancia trasparente, incolora, de consistencia gelatinosa y algo mas refringente que el agua; este es el humor vítreo L.

Un rayo de luz que penetra en el ojo atraviesa, pues, la serie de medios refringentes que vamos á enumerar antes de llegar al fondo del órgano; la córnea trasparente, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. En cada uno de estos medios, sufre una refraccion particular, y es tal el conjunto de sus desviaciones, que su foco va á formarse en la membrana que reviste la cámara posterior del ojo. Debemos decir ahora que toda la superficie interna de la córnea opaca ó *esclerótica* como dicen los anatómicos, está cubierta por una membrana delgada, la *coroide* I, cuya parte cóncava está tapizada de un pigmento negro propio para absorber la luz.

Todas las partes del ojo que acabamos de describir son las que concurren á la formacion de las imágenes de los objetos; sus funciones son, por decirlo así, pasivas. En el punto mismo en donde se producen estas imágenes, tiene lugar la impresion de la luz sobre la parte sensible del ojo, y ahora vamos á explicar la disposicion de esta parte que desempeña un papel tan importante en el fenómeno de la vision. Detrás del globo del ojo están perforadas la coroide y la córnea opaca, con un agujero circular que da paso al haz de nervios ópticos. Este haz M al llegar al interior del ojo se dilata y extiende por toda la superficie de la coroide, formando una membrana que está en contacto directo con el humor vitreo, y es la retina K, pantalla sensible de la cámara oscura del ojo.

Es fácil darse cuenta de la marcha de los rayos de luz que emanan de un objeto AB, y de qué manera va este objeto á formar su imágen en la retina; el sistema lenticular compuesto de la córnea trasparente y del cristalino, separados por el humor acuoso, tiene por centro óptico un punto O situado algo hácia atrás del cristalino (figura 193). Si se tiran los ejes secundarios Ao, Bo, en su prolongacion y en el punto en que encuentran la retina es donde convergen los haces emanados de los puntos *a* y *b*; la imágen *ba* del objeto será, por lo tanto, invertida; este resultado es una consecuencia de las leyes de la refraccion y de la marcha de los rayos en las lentes; pero tambien se ha podido comprobar el hecho directamente por la observacion. Así, tomando el ojo de un animal acabado de morir y quitándole las capas de grasa que envuelven el globo por la parte externa, puede adelgazarse la córnea opaca por su parte posterior hasta que queda traslúcida; preparado el ojo de esta suerte y expuesto á la luz del dia deja ver por trasparencia la imágen reducida de los objetos externos; tambien puede verse la imágen invertida de una bujía, á través de la córnea de los animales albinos, córnea traslúcida naturalmente por la falta de pigmento colorante.

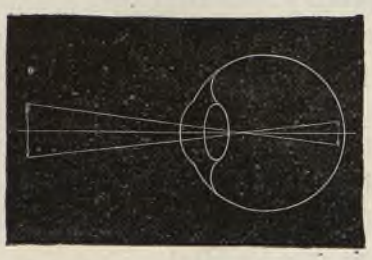


Fig. 193. — Formacion de las imágenes en un ojo normal

Hemos dicho que el iris desempeña las funciones de un diafragma que no deja penetrar en el ojo sino los conos de luz que tienen por base la abertura de la pupila; pero el iris está dotado de la facultad de contraerse y dilatarse espontáneamente, de manera que la pupila disminuye y se agranda. Este movimiento automático se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

produce en el primer sentido cuando crece el resplandor de la luz que recibe el ojo, y se efectúa en sentido contrario cuando el brillo decrece. Lo mismo ocurre cuando el ojo contempla objetos situados á diversas distancias; la pupila se dilata para los objetos lejanos y se contrae para los que están próximos. Esto puede comprobarse con un espejo que se tiene en la mano y en el cual se clava la mirada; á cierta distancia se examina el diámetro de la pupila y aproximando luego rápidamente el espejo sin dejar de fijar la pupila, se observa que esta se contrae con lentitud.

Asimilado el ojo á un sistema de lentes, puede llamar la atencion que sirva para ver con claridad y distincion tal multitud de objetos situados á distancias tan variables; es indudable que para que la vision sea distinta, tiene el objeto que pintarse con claridad en la misma retina; es preciso pues, que cuando cambia la distancia, pueda cambiar tambien el foco, de manera que coincida siempre con la superficie de la membrana nerviosa. Este hecho se expresa diciendo que el ojo se acomoda á las distancias, pero ¿por medio de qué mecanismo conserva el ojo de esta suerte su propiedad de percibir distintamente los objetos? Para las distancias pequeñas por la contraccion de la pupila y para las grandes por un cambio en la forma del cristalino que disminuye su poder convergente; tales son los dos movimientos sometidos á nuestra voluntad, pero que tambien se efectuan sin que tengamos de ello conciencia, con cuyo auxilio explican los físicos la adaptacion de que hablamos.

Tomemos, por ejemplo, un dibujo formado de detalles menudos y delicados; cada individuo particular hallará una posicion en la que esos detalles se distinguirán lo mas claramente posible; si, á partir de una posicion, se aleja el dibujo, la vista no deja de ser clara y limpia, es decir, que no hay perturbacion alguna en la vision, pero la separacion de los detalles es cada vez mas difícil y llega un momento en que no se distingue mas que un fondo uniformemente iluminado. Si se hace mover el dibujo

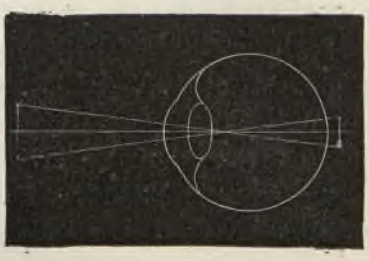


Fig. 194.— Formacion de la imágen en el ojo de un présbite

en sentido contrario acercándole al ojo, la vision resulta cada vez menos firme y notamos como un esfuerzo interior, hasta que llegamos á un punto en el cual es imposible toda vision clara y limpia; este límite es el de la *vision distinta*, que varía segun los individuos y las edades, entre 15 y 20 centímetros; pero para un ojo constituido normalmente no hay límite superior.

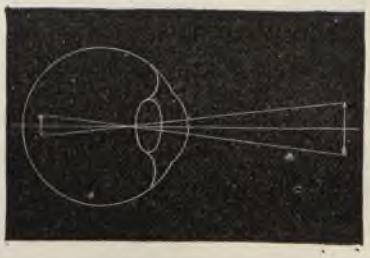


Fig. 195.— Formacion de la imágen en el ojo de un miope

La conformacion del ojo puede ser tal, que el límite de la vision distinta supere al que acabamos de indicar; esta afeccion, comun en las personas de edad, les obliga á separar á cierta distancia el libro que quieren leer; esto depende de que la imágen va á formarse mas allá de la retina, de suerte que la convergencia de los rayos emanados de un punto luminoso no tiene lugar en esta membrana y la impresion es confusa. Alejando el objeto, se aproxima el foco y la vision se hace distinta. Las personas afectadas de este carácter son los *présbites* ó de vista cansada; se atribuye la presbicia á una disminucion del cristalino ó á

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cierta rigidez que no le permite adaptarse á las distancias cortas y tambien á un aplanamiento del globo del ojo de adelante hácia atrás.

Los *míopes* tienen el defecto contrario; la distancia de vision distinta es mucho mas corta para estos que para los individuos dotados de vista normal, y á grandes distancias la vision es siempre confusa, lo cual depende, por razones opuestas á las que producen la presbicia, de que el foco ó la imágen del punto luminoso se forma delante de la retina.

Las causas mas frecuentes de la miopía son una exagerada convexidad del cristalino ó una prolongacion del globo del ojo. Este defecto puede adquirirse por el hábito de mirar con atencion objetos muy menudos y delicados.

Muchos físicos se han ocupado de investigar por qué pintándose las imágenes invertidas en la retina, las vemos en sus posiciones reales, esto es, derechas. Para explicar esta singularidad aparente, se han emitido varias hipótesis mas ó menos ingeniosas, pero que á nuestro juicio, carecen de sentido, puesto que la cuestion en sí no significa nada. En primer lugar, la imágen que se pinta en la retina no es para nosotros un objeto que examinamos como si aun tuviéramos un ojo detrás de la membrana nerviosa; los objetos exteriores, y nosotros mismos, nuestro propio cuerpo, los vemos en sus posiciones relativas exactas; esto es cuanto necesitamos, y cuando decimos que vemos un objeto, un árbol por ejemplo, derecho y no invertido, esto tan solo significa que su cabeza y sus piés nos parecen, la primera, como elevada en el aire, y los otros tocando en el suelo, absolutamente en el mismo sentido que nuestra propia cabeza y nuestros piés en nuestra posicion normal.

Si, por una disposicion particular de nuestro ojo, análoga á la de ciertas lunetas, se formaran derechas las imágenes en la retina, no nos parece dudoso que nuestra percepcion en nada cambiaria; para que otra cosa ocurriera seria necesario exceptuar la imágen de nuestro cuerpo, lo cual no es admisible.

La impresion que hace la luz en la retina dura cierto tiempo; por esto vemos en forma de línea luminosa un punto brillante que se mueve con rapidez, v. gr., un carbon encendido sujeto en el extremo de una cuerda que se hace girar circularmente, aparece como un aro de fuego. De los experimentos de Plateau se deduce que la duracion media de la sensacion es de 8 décimos de segundo; que la luz debe persistir cierto tiempo para que la impresion producida alcance su máximo y que la duracion de este máximo está en razon inversa del destello luminoso; finalmente, que la duracion de la sensacion total es tanto mas larga cuanto mayor es la intensidad de la luz.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO IV

LOS ESPECTROS

I

Refraccion de los diversos colores del prisma

Hasta aquí no hemos fijado nuestra atencion en la naturaleza del rayo de luz, y tan solo nos hemos ocupado de los fenómenos de refraccion comunes á toda clase de rayos. Veamos ahora la marcha que siguen los diferentes rayos colorados en su paso á través de un prisma.

Para esto, coloquemos un diafragma con un agujero en el centro, de un diámetro de 25 milímetros, en frente de la linterna A (figura 196) y cubramos el orificio con un cristal delgado de color rojo *m*, tinte que se le da con óxido de cobre. Interponiendo la lente L, se ve en la pantalla opuesta S S un círculo rojo pequeño A_1, que es la imágen de la abertura A. Si el prisma de cristal *n p o* se inserta en el trayecto de los rayos entre L y A_1, en el lugar indicado en la figura, el círculo rojo de la pantalla se moverá de A_1 á R. La luz de A que cae sobre el prisma en la direccion A B se desvia pues, considerablemente, de su camino recto A A_1 así que el rayo emergente C R se ha apartado mas del vértice *n*, en donde se reunen la dos superficies refractoras, y se ha aproximado á la cara opuesta *p o* que es la base del prisma.

Si se examina la luz de color verde producida por la interposicion de un cristal de esta clase, el rayo emergente cerca de C no cae ya al proyectarse en la pantalla en R, sino en el punto G, que está aun mas cerca de la base del prisma *p o*, de lo cual puede deducirse que la luz verde diverge mas que

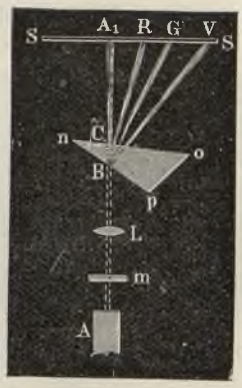


Fig. 196.—Divergencia de los rayos luminosos de color

la roja respecto de la direccion original. Si, por último, colocamos un vidrio violeta delante de la abertura, se refractan los rayos violetas al pasar por el prisma mas aun que los verdes, pues llegan á la pantalla en V. Este experimento puede repetirse con cristales anaranjados, amarillos, azules y de otros colores y siempre se observa que el lugar de la imágen en la pantalla cambia con los tintes; que la luz roja es la que menos refraccion sufre y la que mas la luz violeta; y que la refrangibilidad de los distintos colores sigue aumentando del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rojo al anaranjado, amarillo, verde y azul, hasta el violeta. Vemos, pues, que los distintos colores tienen diversos grados de refrangibilidad. Este principio fué descubierto por Newton, quien operó de la siguiente manera.



Fig. 197.— Desigual refrangibilidad de los diversos colores

Por medio de un prisma examinó un pedazo de papel pintado por mitad de rojo y azul, y disponiendo ambos objetos delante de una ventana como indica la fig. 197, notó que las dos mitades del papel parecian desigualmente desviadas; la porcion

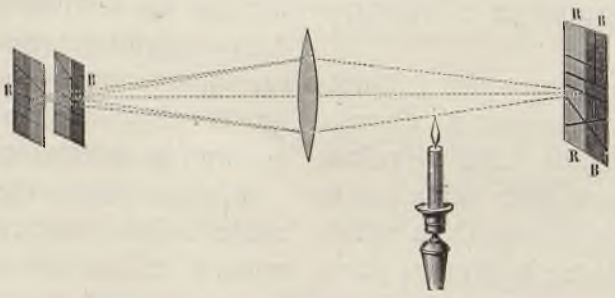


Fig. 198.—Desigual refrangibilidad de los colores simples; experimento de Newton

azul se encontraba transportada algo mas abajo que la parte roja, de manera que el pedazo de papel parecia dividido en dos secciones, siendo la una prolongacion de la otra; lo contrario sucedia si el ángulo del prisma se colocaba en inverso sentido, por manera que el azul era mas refrangible que el rojo.

Recibiendo detrás de una lente y sobre una pantalla de papel blanco las imágenes

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del mismo papel iluminado por una bujía, reconoció Newton que era necesario colocar la pantalla á distintas distancias para obtener imágenes detalladas de la mitad roja y de la mitad azul; un hilo de seda muy negro que daba varias vueltas al papel permitia que con facilidad se hallase el lugar en que la imágen de cada color se formaba con mayor limpieza, pues en los demás puntos aparecian las rayas negras mal terminadas y confusas. Para la mitad azul, la distancia de la imágen á la lente era mas pequeña que para la mitad roja, lo que demuestra otra vez que el azul está dotado de mayor refrangibilidad que el rojo. Estos dos experimentos son los primeros que describe el gran físico y astrónomo inglés en un tratado de óptica.

Estamos ahora en disposicion de anunciar de antemano lo que ocurrirá si un rayo de luz compuesto de varios colores pasa á través de un prisma; se separarán los colores componentes por la primera refraccion que sufren al entrar en el prisma y se dispersarán mucho mas al salir. El rayo incidente se descompondrá en tantos colores como hayan entrado en su formacion, y cada color seguirá su marcha particular desde la primera entrada de la luz en el prisma; pueden distinguirse todos los rayos de color, unos de otros, en la pantalla, pues se agrupan en el órden que ya hemos indicado.

Todos estos experimentos nos demuestran que los rayos luminosos de diversos colores poseen diferentes grados de refrangibilidad; la luz roja no sufre tanta desviacion de la línea recta á causa de la refraccion como la luz violeta; la primera por lo tanto, es menos refrangible que la última. Esta diferencia entre la marcha de los rayos rojos y la de los azules, se demuestra con toda evidencia por la teoría ondulatoria, y es una consecuencia necesaria de la desigual rapidez de las vibraciones del éter, que ya reconocimos como la causa de los diversos colores. En la luz roja el número de vibraciones que hieren el ojo en un segundo es de 450 billones y en el violeta de 800 billones; así como los sonidos graves y agudos de la música se propagan con igual rapidez en un mismo medio, del propio modo caminan los distintos colores con igual velocidad. Si aceptamos que la del último sea de 316,365.000,000 milímetros por segundo, la longitud de cada onda (es decir la distancia entre dos condensaciones sucesivas del éter) de luz roja será de 0,000703 de milímetro y de luz violeta de 0,000395 de milímetro.

El profesor Tyndall, en sus *Notas sobre la luz*, inserta los números siguientes: «La longitud de la onda de luz roja media es próximamente de $^1/_{36000}$ de pulgada; la de una onda de luz violeta media es, poco mas ó menos, de $^1/_{57500}$ de pulgada. Tomando la velocidad de la luz como igual á 192,000 millas por segundo y multiplicando este número por 39,000, obtenemos el número de ondas de luz roja en 192.000 millas; el producto es 474.439,600.000,000 que son las ondas de este color que entran en el ojo en un segundo, y en el mismo intervalo penetran 699.000,000.000,000 de ondas de luz violeta.»

Debemos recordar que la nueva determinacion de la paralaje solar obtenida de las observaciones de Marte, las que concuerdan con los resultados de las observaciodes del penúltimo paso de Vénus calculados nuevamente por Stone y Newcomb, exige que la velocidad de la luz admitida por lo general, se reduzca en una 27.ª parte.

Si, como íbamos diciendo, rayos de diferentes colores pasan de un medio á otro, como v. gr., del aire al vidrio, los rayos de menor longitud de onda, esto es, los violetas, son mas sensibles al influjo del vidrio, que opone mayor resistencia al paso de la luz, y por lo tanto, se refractan mas que los de mayor longitud de onda, esto es, que los azules, verdes, amarillos y rojos.

Como cada color tiene una longitud de onda particular suya, del propio modo tie-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ne su grado particular de refrangibilidad, y por consecuencia, un haz de luz que se compone de varios rayos de color, debe descomponerse por la refraccion en sus colores constitutivos ó individuales, puesto que cada rayo simple se desvia ó refracta en grado distinto; el conjunto de rayos luminosos que marchan por un camino comun, digámoslo así, y aparecen á la vista antes de la refraccion como luz de un solo color, se separan por este medio segun sus diversos grados de refrangibilidad, y luego, continuan sus distintos rumbos, distinguiéndose como colores separados.

Cuando un rayo monocromático, rojo por ejemplo, pasa á través de un prisma, el importe total de su dispersion no depende únicamente de la rapidez de las vibraciones del éter ó longitud de la onda, sino que tambien es influido considerablemente por la naturaleza de la sustancia de que se compone el prisma y por el ángulo que forman las dos superficies á cuyo través pasa la luz. En circunstancias análogas, es mayor la refraccion con un prisma de sulfuro de carbono que con uno de cristal y el poder refractor varia, como hemos visto, con la clase de vidrio del prisma. Para los estudios de análisis espectral se emplean por lo comun prismas de flint pesado con ángulos de 45 á 60 grados; pero si se necesitan grandes propiedades refractoras como las del sulfuro de carbono, es necesario hacer uso de un prisma hueco formado por dos láminas de cristal, de tal modo dispuestas, que pueda llenarse el frasco del líquido que se crea mas conveniente.

La cuestion que ahora se presenta es la de averiguar qué efecto experimenta la luz sin color, la luz blanca, al pasar por el prisma. Es bien sabido que la luz del Sol de medio dia, con cielo claro y despejado, se llama luz pura blanca; esta luz, sin embargo, no la tenemos siempre á nuestra disposicion; nos apresuraremos, por lo tanto, á examinarla antes de empezar nuestros experimentos con las luces artificiales.

II

El espectro solar

Si en el interior de una cámara oscura se recibe directamente sobre una pantalla de papel blanco la luz solar, despues que haya pasado por un agujerito de la ventana, aparecerá en el papel una imágen del sol blanca y redonda. Fuera de la cámara oscura no seria decisivo el experimento, porque podria recibir el papel, además de los rayos solares, los rayos reflejados por la superficie de otros muchos cuerpos. Pero esta luz blanca no es simple. Está compuesta de una multitud de colores ó tintes, cada uno de los cuales es un color simple ó elemental. Hagamos un experimento.

Se coloca en el curso de los rayos solares despues de pasar por el agujerito de la cámara oscura, un prisma triangular de flint, por ejemplo, de modo que sus aristas estén en direccion horizontal, y que el haz luminoso penetre oblicuamente por una de sus caras. Entonces, se percibe en la pantalla, en vez de la imágen redonda y blanca del Sol, y á cierta distancia sobre el punto en que antes se formaba, una faja prolongada luminosa, compuesta de una serie de colores en extremos brillantes; esta faja es lo que se llama el *espectro solar*.

Veamos en qué órden se suceden los colores cuando el prisma presenta su base hácia arriba; en el extremo inferior del espectro aparece un rojo brillante y despejado, al cual sucede una tinta anaranjada, y por gradaciones insensibles, un amarillo paja magnífico; viene luego un verde de una pureza é intensidad notables, y en seguida un tono azul verdoso, despues azul oscuro hasta llegar al añil, terminando el espectro en el tono lívido del violeta. Si invertimos la posicion del prisma cambia tambien la disposicion de los colores. Así, pues, un rayo de luz blanca se compone de la reunion de una serie de rayos coloreados de los que solamente hemos nom-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

brado los principales; pues la degradacion de un color en el inmediato se efectúa de un modo insensible, sin que se perciba de uno á otro cambio brusco, ni solucion de continuidad.

Tal es el fenómeno de la descomposicion ó análisis de la luz, que tambien se llama *dispersion* de los rayos coloreados.

Esta dispersion de la luz blanca por refraccion, se manifiesta diariamente en gran

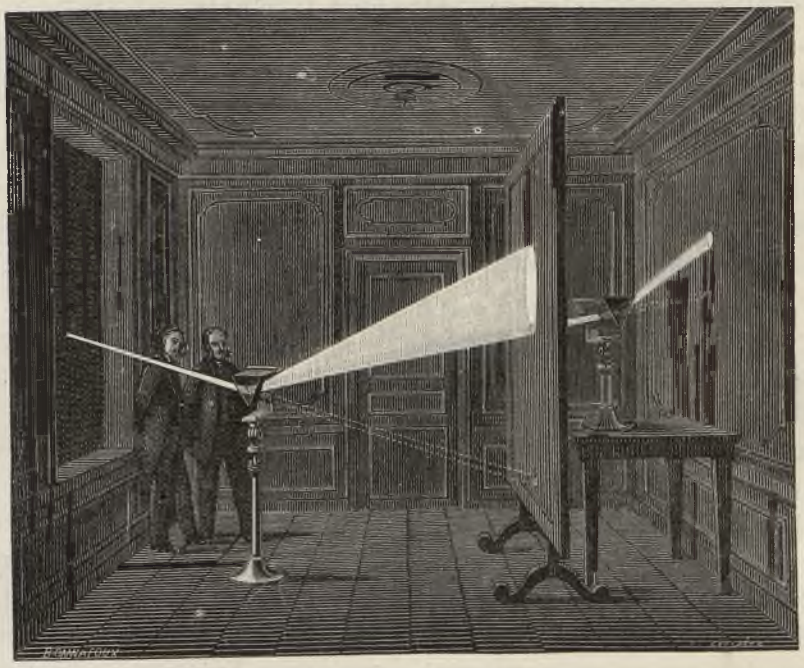


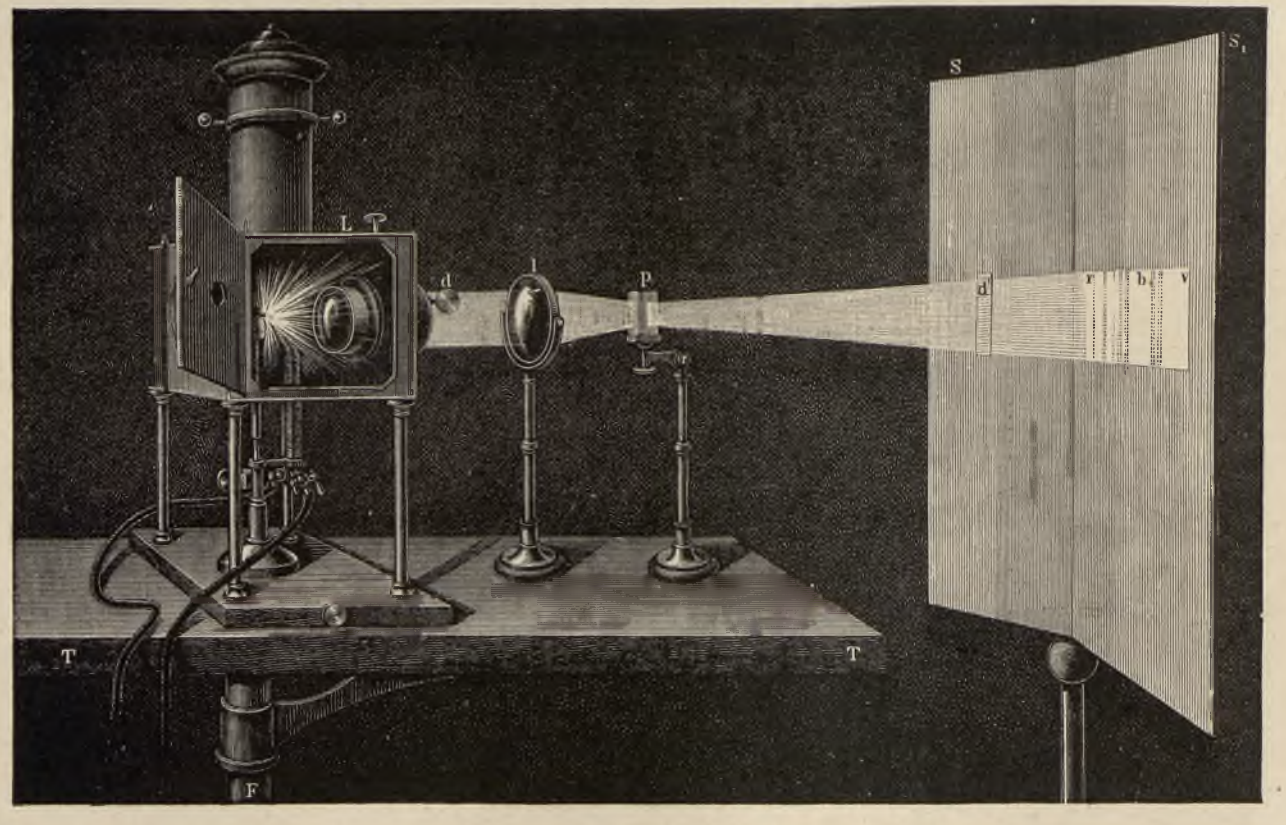
Fig. 199.—Descomposicion de la luz por el prisma; espectro solar

número de fenómenos conocidos por los antiguos, lo mismo que por nosotros, pero cuya causa ignoraban aquellos. Las piedras preciosas, los diamantes, lanzan destellos de diversos colores, siendo una de las mayores bellezas de la codiciada sustancia, la propiedad que tiene de descomponer los rayos luminosos que pasan á través de sus numerosas facetas. El arco íris es un fenómeno que se debe á la misma causa; otro tanto puede decirse de los colores diversos que afectan las nubes y las capas atmosféricas durante los crepúsculos. Finalmente, en los vasos de vidrio llenos de líquidos transparentes y en los pedazos de cristal tallado con que se adornan las arañas, se perciben en ciertas direcciones franjas irisadas que ofrecen en toda su pureza los colores del espectro.

Un segundo experimento prueba á la vez que un rayo de cada uno de los colores del espectro es simple y que su grado de refrangibilidad crece del rojo al violeta. Este experimento consiste en dejar pasar por un pequeño agujero practicado en la pantalla, en el punto en que se forma el rojo, por ejemplo, un rayo de este color. Recibido sobre una segunda pantalla forma una imágen roja en un punto que se señala cuidadosamente. Si en vez de recibirlo directamente sobre esta pantalla, se interpone un segundo prisma, recibe el rayo luminoso una nueva desviacion y su imágen va á formarse en un punto mas elevado que la imágen directa (fig. 199); pero la nueva imágen es roja como la primera y de la misma forma, si se ha situado el prisma de un modo conveniente.

La luz roja del espectro no puede por tanto descomponerse.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



PROYECCION DEL ESPECTRO DE LA LUZ DE CAL

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Ahora bien, repitiendo el mismo experimento con los colores sucesivos se obtienen resultados análogos, luego todos los colores del espectro solar son elementales ó simples.

Pero su refrangibilidad es creciente, pues se observa que las distancias entre las imágenes directas de los colores en la pantalla y la imágen obtenida por la refraccion del segundo prisma, son tanto mayores cuanto mas se aproxima el color á la extremidad violeta del espectro.

Si en lugar de un prisma de flint se emplea otro de diversa sustancia, sólido ó líquido, se obtienen espectros mas ó menos brillantes y mas ó menos alongados; si los prismas son incoloros, se componen los de los mismos colores dispuestos en el mismo órden. Pero su proporcion, los espacios ocupados por cada uno de ellos varian segun la naturaleza de la sustancia, al paso que el órden de los colores permanece constante. El flint-glass es de todos los cuerpos sólidos el que da un espectro de mayor extension, sobre todo en el violeta, y el sulfuro de carbono es el cuerpo mas refringente entre los líquidos.

La descomposicion de la luz blanca en sus rayos elementales se llama *dispersion;* la dispersion de la luz, por lo tanto, ha de distinguirse de la refraccion; la última, como hemos visto, varia para cada color particular y alcanza su valor máximo en el violeta y el mínimo en el rojo. La dispersion, de la cual tendremos motivo para ocuparnos con mas detenimiento al hablar del análisis de la luz solar, se determina por la longitud del espectro, ó en otros términos, por el espacio que hay entre los rayos extremos del violeta y el rojo. Como la naturaleza de la sustancia refringente de que se componga el prisma, v. gr. la clase de vidrio ó cristal, y su ángulo de refraccion, ejercen gran influjo sobre esta última propiedad, de igual manera afectan las mismas condiciones al importe total de la dispersion ó longitud del espectro; debemos, no obstante, de hacer notar aquí, que la refraccion y la dispersion no aumentan ni disminuyen en proporciones iguales.

Los diversos colores que forma el espectro solar no tienen todos una misma extension, y por consecuencia, sus longitudes son muy diferentes. Si se divide en 100 partes iguales la longitud total del espectro solar, las proporciones de los colores son como sigue: rojo 12, anaranjado 7, amarillo 13, verde 17, azul 17, añil 11 y violeta 23.

El brillo desigual de los diversos colores del espectro se nota hasta por el observador menos minucioso, y Fraunhofer halló por mediciones muy delicadas que si la mayor intensidad luminosa que hay entre el amarillo y el verde se expresaba por 1000, á la luz del anaranjado correspondia el número 640, al rojo medio 94, al rojo extremo solo 32, al verde 480, al azul 170, del azul al violeta 31 y á este último únicamente 6.

III

Espectros de las luces oxhídrica y eléctrica

A falta de la luz solar, podemos analizar con el prisma la luz de cal ú oxhídrica de la siguiente manera. Colóquese la linterna L (véase la lámina) descrita antes, en la mesa TT de 2 metros de largo por 50 centímetros de ancho, giratoria sobre el pié F, é introdúzcase la lámpara oxhídrica, insertando en su parte anterior el diafragma *d* provisto de un mecanismo que permite que la luz pase á través de una hendidura estrecha. En frente de la linterna, á una distancia de 4 metros ó poco mas, se colocan dos pantallas de papel S S_1, que formen entre sí un ángulo muy abierto como indica la figura. A oscuras la habitacion y encendida la lámpara hasta conseguir la incandescencia del cilindro de cal, se hace girar la mesa T T lo bastante para que el tubo *d* de la linterna sea perpendicular á una de las pantallas S. Entonces se coloca una lente biconvexa *l*, de 10 centí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

metros de diámetro y 30 centímetros de foco, entre la ranura *d* y la pantalla S á una distancia de 30 centímetros de la ranura, de manera que los rayos que salen de esta última se proyecten en la pantalla S formando una imágen clara y amplificada *d'* de la ranura *d*. Inmediatamente detrás de la lente *l* se inserta un prisma de flint P de 60 grados, de 6 centímetros de alto y 5 de ancho, en la direccion de los rayos precisamente, y en el acto aparecerá en la segunda pantalla S_1 un magnífico espectro de un metro de largo y 40 centímetros de ancho. Debido á la distancia de la pantalla, se encuentra dislocado el espectro de un modo extraordinario respecto del punto *d'* en que caian los rayos antes de interponer el prisma; el color rojo es el que se encuentra mas cerca de esta línea recta, y el violeta el que mas dista; en consecuencia el primero está menos refractado que el segundo. Los colores indivi-

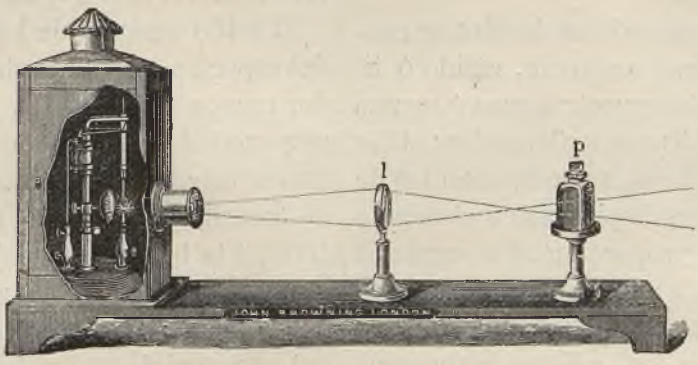


Fig. 200.—Lámpara eléctrica dispuesta para el análisis espectral

duales se suceden unos á otros sin la mas ligera interrupcion; sus límites no se encuentran claramente determinados y se funden unos en otros de un modo insensible, formando un espectro continuo.

Como la linterna L puede interceptar la vista de la pantalla S_1 para algunos espectadores, se hace girar la mesa T T sobre su eje F de modo que el espectro se proyecte en la pantalla S. En vez de hacer girar la mesa, pueden recibirse los rayos coloreados á su salida del prisma *p*, sobre un espejo plano y arrojarse por reflexion en la segunda pantalla, si bien por este procedimiento pierde mucho el espectro en intensidad, puesto que toda imágen reflejada es siempre mas débil que el objeto principal.

Con objeto de obtener un espectro puro se procura que el ancho de la ranura no pase de uno ó dos milímetros, pues si se abre mas, adquirirá el espectro mayor esplendor y brillantez, pero examinándolo cuidadosamente se observa que los colores de la region central no son tan puros ni se encuentran tan bien separados unos de otros como antes, siendo la luz casi blanca en el centro.

En vez de recibir el espectro en la superficie del papel que da frente al auditorio, desde la cual se refleja, puede usarse con ventaja una pantalla transparente detrás de la cual se coloca la lámpara. De este modo se ve toda la pantalla sin interrupcion y sin que produzcan sombras ni la linterna, ni el operador; es muy conveniente emplear en la construccion de esta clase de pantallas papel fino de calcar que tiene por lo comun 2 metros de ancho y un largo indeterminado, cuya transparencia puede acrecentarse humedeciéndolo antes de hacer los experimentos; cuando no hace falta proyectar ninguna imágen y la explicacion versa sobre otro asunto, se enrolla la pantalla en un cilindro de madera de igual modo que los transparentes de ventana.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El espectro de la luz eléctrica se proyecta en la pantalla lo mismo que el de la luz de Drummond; la lámpara descrita anteriormente se sustituye á la de oxi-hidrógeno dentro de la linterna (fig. 200), y las dos puntas de carbon se unen por medio de hilos de cobre á una batería eléctrica de 50 ó mas pares de gran tamaño, de Bunsen ó de Grove. Tan pronto como llega á pasar la corriente entre los carbones, se forma el

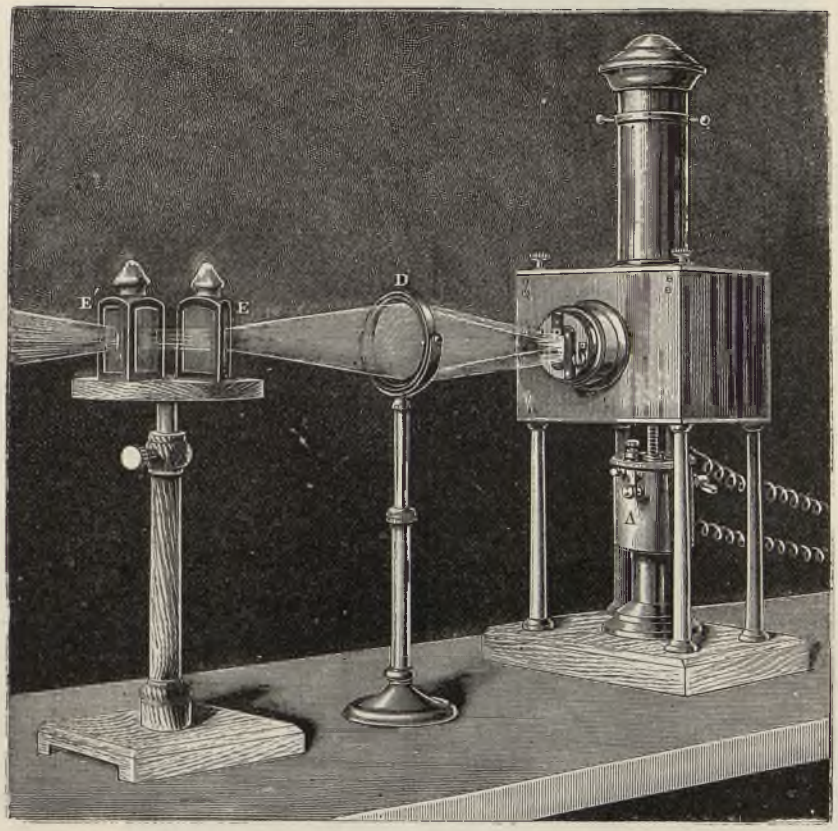


Fig. 201.—Lámpara eléctrica con dos prismas de sulfuro de carbono

arco voltáico y la luz blanca que sale por la ranura se proyecta, despues de condensarse al atravesar la lente *l*, en la pantalla, donde forma una imágen de la misma ranura; insertando en el paso de los rayos luminosos un frasco prismático lleno de sulfuro de carbono se produce un espectro de igual ancho que con un prisma de flint, pero de longitud doble cuando menos. Tambien pueden insertarse dos frascos prismáticos de sulfuro de carbono en el curso de los rayos que salen de la lente condensadora, segun manifiesta la fig. 201. Otra disposicion muy usada es la que representa en parte la fig. 202; en frente de la lente convergente se coloca un prisma de flint p_1 de tal modo dispuesto, que sus rayos caigan sobre un segundo prisma de sulfuro de carbono p y que entre ambos forman un ángulo de 100°; de esta suerte se obtiene un espectro de gran extension, que mide cerca de tres metros ó 90° del rojo al violeta; sin embargo, aunque los colores son bastante vivos con esta combinacion y se distinguen unos de otros con facilidad, pierden mucho en comparacion con el espectro producido con un solo prisma. Lo mismo ocurre con los dos prismas de sulfuro de carbono, puesto que con estos es mayor aun la dispersion. No por

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

eso dejan de emplearse en determinadas investigaciones científicas, cuatro, seis y

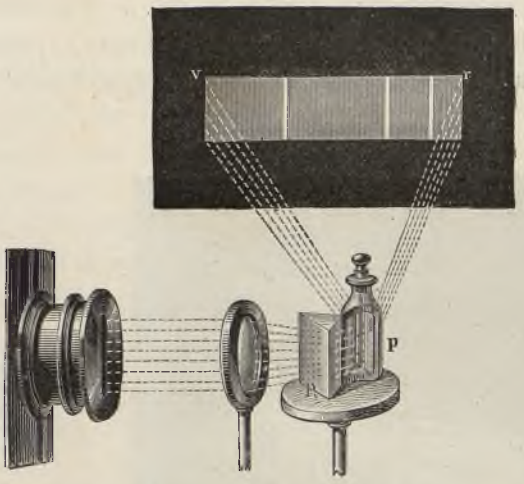


Fig. 202.—Combinacion de dos prismas

hasta ocho prismas, con ángulos que varian de 45 á 60 grados, si bien para todos estos experimentos hay que contar con un foco luminoso de gran potencia.

Desarmando la pieza metálica que forma la ranura de la linterna y colocando en su lugar una serie de lentes, se convierte el aparato en un microscopio foto-eléctrico, utilísimo para la demostracion de multitud de fenómenos.

Si la luz blanca se compone de los colores que contiene el espectro, la recomposicion de estos mismos colores debe reproducir la luz blanca original; el método mas sencillo de realizar el experimento consiste en recibir sobre una lente convergente el espectro solar producido por el prisma; colocando una pantalla de papel blanco en el foco en donde se reunen los diversos rayos de color (que es el foco conjugado del punto de emergencia de los rayos del

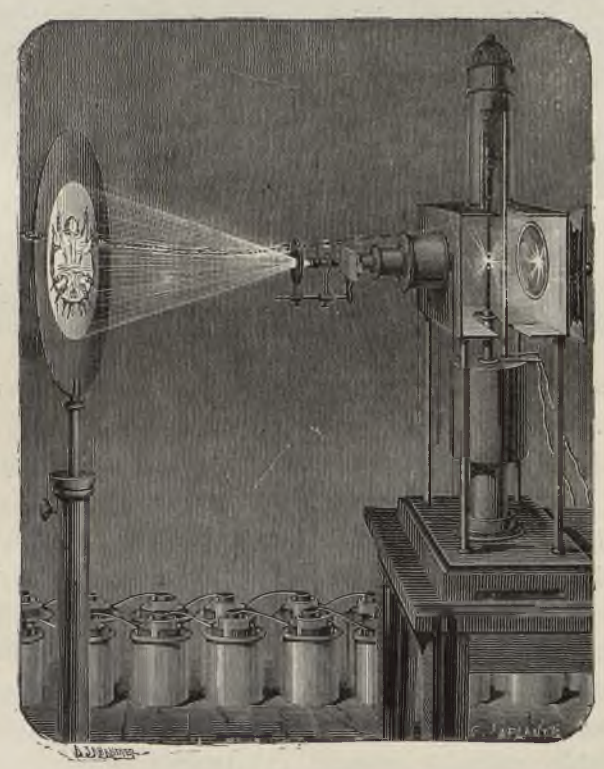


Fig. 203.—Microscopio foto-eléctrico

prisma) se percibe una imágen blanca del Sol (fig. 204). Aproximando la pantalla á la lente, los rayos colorados que aun no se han reunido, reaparecen con gran viveza, sobre todo si la pantalla dista mucho de este foco. Por el contrario, si la pantalla se encuentra á mucha distancia de la lente, á partir del punto de convergencia, reapare-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cen otra vez los colores, de suerte que el rojo, que antes se encontraba en la parte inferior, se encuentra ahora arriba, y el violeta que ocupaba la parte alta está situado abajo.

Valiéndose de dos prismas de igual sustancia y del mismo ángulo, pero en posiciones opuestas, como indica la fig. 205, el haz de luz blanca que cae en el primer prisma se divide en rayos divergentes, di-

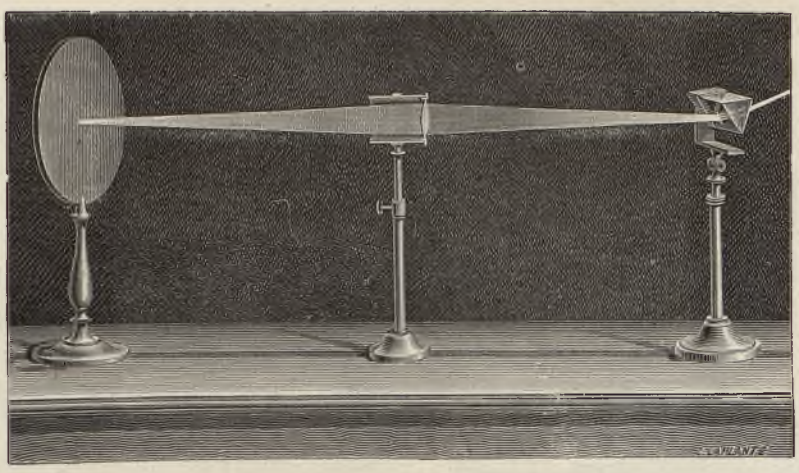


Fig. 204.—Recomposicion de los colores del espectro por una lente

versamente coloreados, pero la refraccion los vuelve á hacer paralelos á su emergencia del segundo prisma, y entonces, en vez de un espectro, se obtiene un haz de luz blanca compuesta por la reunion de los rayos de diversos colores. Tan solo, que el borde superior de la imágen recibida en la pantalla es rojo, y violeta el inferior, lo cual proviene de que entre los rayos de luz blanca que forman el haz, solo los rayos medios ó centrales dan lugar á la formacion de espectros cuyos colores se reunan inmediatamente, al paso que los rayos extremos no se superponen á ningun otro color, no pudiéndose, por tanto, efectuar la recomposicion en estos puntos.

Dos espectros obtenidos por medio de dos prismas diferentes y proyectados en sentido inverso sobre una misma pantalla, producen el color blanco en el lugar en que se superponen todos los colores. Observando el espectro producido por un prisma á través de otro segundo prisma, se encuentra una posicion en la que la imágen aparece redonda y blanca.

Todos estos experimentos y otros muchos sobre la recomposicion de la luz, se deben á Newton quien los describe con

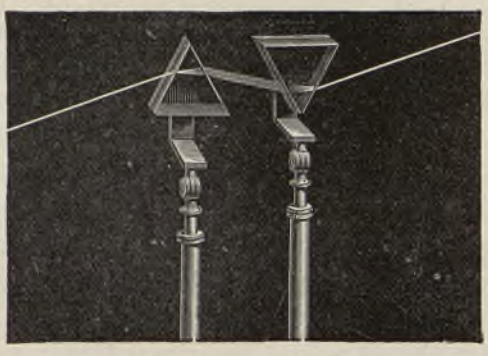


Fig. 205.—Recomposicion de la luz por los prismas

admirable claridad: «Hasta aquí, dice, he producido el blanco mezclando los colores de los prismas. Ahora, para mezclar los colores de los cuerpos naturales, tómese agua de jabon algo concentrada y agítese hasta formar espuma. Si despues que la espuma se ha sentado algun tanto, se la observa cuidadosamente, se verán los colores del espectro en la superficie de cada una de las burbujas; pero si nos alejamos hasta

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el punto de no poder distinguir los colores, toda la espuma se nos presentará blanca. (Optica libro I.)»

Este mismo filósofo trató de obtener el color blanco mezclando en proporciones diversas ciertos polvos colorados. Con oropimente (sulfuro de arsénico de color

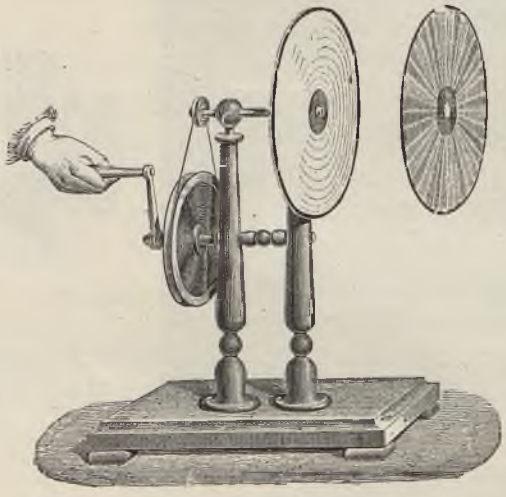


Fig. 206.—Recomposicion de la luz blanca

amarillo anaranjado) mezclado con púrpura, cardenillo y lapislázuli obtuvo una pasta de un gris ceniciento que, expuesta al Sol, y comparada á un pedazo de papel blanco de igual tamaño puesto á su lado, y á la sombra, parecia de un blanco deslumbrador. Newton explica el color gris de las mezclas de esta clase por la absorcion de luz de los elementos, y para obviar á esta disminucion de brillo juzgó conveniente iluminar con mucha fuerza el compuesto, por los rayos solares.

Por último, si se hace girar rápidamente un disco dividido en sectores pintados con los tonos principales del espectro, al rededor de un eje que pase por su centro, á medida que es mas rápida la rotacion, desaparecen los colores de la vista. Toma el disco un tinte tanto mas blanco segun que los colores se hayan dispuesto con mas esmero. Se comprende, que en este caso, las impresiones sucesivas de los distintos colores sobre la retina se confunden, gracias á la rapidez del movimiento, y como los rayos producen su impresion simultáneamente, la sensacion que resulta es la del color blanco.

Todas las luces que emanan del Sol, como la de las nubes, de la atmósfera, de la Luna y de los planetas, presentan iguales fenómenos de descomposicion y recomposicion. Analizadas por medio del prisma producen espectros de brillo variable, pero cuya composicion en rayos coloreados es precisamente la del espectro solar.

IV

Fenómenos de fosforescencia

Allá por el año 1677, un alquimista de Hamburgo llamado Brandt, descubrió por un procedimiento que mantuvo secreto al principio, un nuevo cuerpo dotado, entre otras propiedades singulares, de la facultad de emitir un ligero humo que se renovaba continuamente, cuando se le exponia al aire libre; este vapor aparecia luminoso en la oscuridad, de donde le vino á la sustancia el nombre de fósforo que en griego quiere decir, *llevo luz*. Si con una barra de este cuerpo simple se trazan diversos rasgos en la pared, aparecen en la oscuridad como líneas de fuego que solo pierden su brillo despues que han consumido la materia fosfórica, bien por evaporacion ó por combustion lenta.

Mucho antes del descubrimiento de este cuerpo, se daba el nombre de fósforo á todas las sustancias, que como esta, emiten luz sin acompañamiento sensible de calor, v. gr. la madera podrida por la humedad, los peces en descomposicion sin llegar á estar putrefactos, cuyo resplandor se comunica al agua del mar cuando se le agita durante algun tiempo, y, por último, un gran número de sustancias minerales, cuando se las somete á choques ó rozamientos mecánicos, ó tambien si por largo tiempo han estado expuestas á los rayos del Sol.

A esta emision de luz espontánea ó artificial, llaman los físicos fosforescencia.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Este fenómeno no es peculiar y exclusivo de las materias inorgánicas ó privadas de vida, y á cada paso se encuentran, sobre todo en las cálidas noches de verano, al atravesar los campos, unos puntos luminosos ocultos entre la yerba, que despiden resplandores como otras tantas estrellas terrestres; son las luciérnagas ó gusanos de luz, género de coleópteros cuya larva, como el insecto perfecto, pero en menor grado, goza de la propiedad de emitir una luz de color azul verdoso. Los *fulgores* de la Guyana y los *cucuyos* de Méjico y del Brasil brillan durante la noche con una luz tan viva, que es posible leer con su auxilio. Ciertas flores como la capuchina, la rosa de la India, etc., se han considerado como fosforescentes, y aunque hoy dia esta opinion está desautorizada, no es menos cierto que existen doce ó catorce plantas fanerógamas y seis ú ocho criptógamas que tienen la propiedad de emitir luz; este fenómeno solo se verifica por la tarde, despues de un dia despejado durante el cual han recibido estos vegetales la luz del Sol, de modo que la insolacion parece ser en este caso una condicion esencial de la fosforescencia.

La fosforescencia del mar se debe á millonadas de animálculos que, como las luciérnagas y fulgores, emiten una luz bastante viva para dar á las olas el aspecto de masas inflamadas. Unas veces son infusorios, otras medusas, asterias etc., que esparcen una luz azulada, rojiza ó verde, segun el caso, ó comunican al agua del mar un tinte blancuzco, por lo que se ha dado á ciertos mares los nombres de *mar de nieve*, *mar de leche*, etc.

Las conchas de ostras calcinadas se hacen luminosas cuando se exponen á la luz del Sol; esta propiedad la deben al sulfuro de calcio, de la cual participan, asimismo, los sulfuros de bario y estroncio. Puede desarrollarse tambien la fosforescencia en un gran número de sustancias, por medio de acciones mecánicas ó químicas. El fenómeno que presenta el azúcar, de emitir luz al romperlo en la oscuridad, es muy conocido; efectos semejantes se obtienen frotando enérgicamente dos pedazos de cuarzo, creta, cloruro de cal, etc., ó desprendiendo por esfoliacion láminas de mica.

La elevacion de temperatura determina tambien la fosforescencia. El espato, el diamante y otras piedras preciosas, la creta, los sulfatos de potasa y de quinina, desprenden luz cuando se les pone en contacto con cuerpos calientes. Un fenómeno semejante produce la electricidad en los cuerpos malos conductores.

Tenemos, pues, una serie de fenómenos en los cuales la produccion de la luz no es ni el resultado de una combustion viva á una elevada temperatura, ni el de una iluminacion rápida que desaparece tan pronto como la fuente luminosa deja de estar en presencia del objeto iluminado. Todos los cuerpos que acabamos de enumerar y que por circunstancias particulares se hacen fosforescentes, adquieren, por tiempo limitado, cierto es, pero en ocasiones bastante considerable, la propiedad de ser luminosos por sí mismos y de emitir en la oscuridad una cantidad de luz suficiente para alumbrar los objetos próximos.

La fosforescencia se debe á causas muy distintas; en los séres organizados y vivos el modo de produccion de la luz puede decirse que es desconocido. Solo se sabe que la voluntad del animal juega una parte muy importante; que una temperatura moderada es necesaria para el desprendimiento de luz, de igual manera que la presencia del oxígeno. Un frio demasiado vivo, ó un calor algo fuerte, hacen que tambien desaparezca; en el fósforo, la madera podrida, los peces muertos, es de creer que se deba la produccion de luz á una combustion lenta; en el vacío, en efecto, cesa toda fosforescencia. Finalmente, resulta de los hechos expuestos antes, que la insolacion, la elevacion de temperatura, la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

electricidad y las acciones mecánicas en que la electricidad y el calor desempeñan alguna funcion, son en muchos casos, condiciones favorables al desarrollo de la fosforescencia. En estos últimos tiempos se ha estudiado este modo singular de produccion de luz, por varios físicos franceses é italianos.

Una de las cosas que primero se han reconocido es que la fosforescencia es una propiedad que pueden adquirir momentáneamente un gran número de cuerpos, sobre todo, en el estado sólido y gaseoso; el papel, el ámbar, la seda, y una multitud de materias de orígen orgánico; los óxidos y las sales de los metales alcalinos, de los metales térreos y del uranio; un gran número de gases. Pero ni los demás metales, ni sus compuestos, ni ningun líquido sea de la clase que quiera, ha manifestado hasta aquí el menor indicio de este fenómeno.

Los tonos de la luz fosforescente varian segun la naturaleza del cuerpo; así, pues, las piedras preciosas emiten un resplandor amarillo ó azul. Los sulfuros de estroncio, bario y calcio, dan todas las tintas del espectro, desde el rojo al violeta. La elevacion de temperatura acelera, como hemos dicho, la fosforescencia, pero tambien hace que se gaste mas pronto, durando la luz que se obtiene menos tiempo. Otro de sus efectos es modificar los tintes; el sulfuro de estroncio, que es azul á la temperatura ordinaria, pasa al violeta azulado, al azul claro, al verde, al amarillo y por último al anaranjado cuando se eleva progresivamente la temperatura de 20 grados bajo cero á 150 grados sobre cero.

Presenta grande interés el estudio de la manera que tienen de obrar las diversas radiaciones del espectro sobre los cuerpos, para determinar su fosforescencia, desde los rayos químicos situados en la parte oscura del espectro mas allá del violeta, hasta los rayos caloríficos de la parte de acá del rojo. Para esto se proyecta el espectro sobre fajas cubiertas de diversas sustancias fosforescentes, y luego se examinan en la oscuridad los efectos luminosos producidos á diversas distancias, es decir en las regiones que determinan las rayas prismáticas. De este modo se ha visto, qué rayos eran los que producian efectos luminosos mas intensos. Se ha notado que la accion máxima depende de los cuerpos impresionados, pero que en todo caso, son siempre los rayos químicos mas próximos al violeta y los mas refrangibles por consecuencia, los que producen la fosforescencia; los rayos caloríficos no la excitan, pero están dotados de la propiedad de continuar la accion de los rayos químicos. Estos resultados explican satisfactoriamente la débil accion de la llama de las bujías ó del gas para producir la fosforescencia de los cuerpos, y al contrario, la eficacia de la luz eléctrica; esta última fuente de luz abunda en rayos químicos ó ultra-violetas, mientras que las primeras, ricas en rayos caloríficos, son muy pobres en rayos químicos. Con la luz del magnesio se obtienen fenómenos de fosforescencia muy notables; basta para esto encender la lámpara en presencia de un tubo que contenga sulfuro de calcio, y se observa en la oscuridad una fosforescencia prolongada.

Becquerel imaginó para el estudio de estos fenómenos, un instrumento llamado fosforoscopio (fig. 207). Hé aquí su descripcion.

Dos discos pintados de negro llevan cuatro aberturas en forma de sectores y pueden girar al rededor de un eje comun; pero como las aberturas de uno de los discos no corresponden á las del otro, segun manifiesta la fig. 208, resulta que un rayo de luz no puede nunca atravesar el sistema de los dos discos, sea la que fuese la velocidad de la rotacion. Ambos se encuentran encerrados en una caja dada de negro, que permanece fija y en cuyas paredes se practican dos aberturas; llega la luz solar por una de ellas, cae sobre el cuerpo cuya

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fosforescencia se trata de estudiar y que está fijo entre los dos discos, en el eje de las aberturas ó ventanillas exteriores de la caja, pero como acabamos de decir, no puede pasar al otro lado. La luz fosforescente provocada en el cuerpo pasa, por el contrario, á través de la abertura opuesta, siempre que el movimiento de rotacion coloca una de las ventanillas móviles enfrente de la abertura exterior. La accion de la luz sobre el cuerpo se reproduce, pues, hasta cuatro veces en cada vuelta; si la velocidad es suficiente, la fosforescencia desarrollada es continua, y la sensacion pro-



Fig 207.—Fosforoscopio de Becquerel

ducida en el ojo del observador lo es igualmente.

El fosforoscopio así construido, deja llegar al cuerpo que se observa una cantidad de luz constante, sea cual sea la velocidad de la rotacion; otro tanto ocurre con la cantidad de luz fosforescente que llega al ojo; pero la duracion de la accion continua de la luz sobre el cuerpo varia con esta velocidad, puesto que es igual al tiempo que tarda una abertura en pasar por delante de él; se mide esta duracion, por lo demás, muy fácilmente, cuando se conocen las dimensiones de la abertura y el número de vueltas que da en un segundo el sistema de los discos móviles. En resúmen, mientras mas rápida es la rotacion, mas corta es la duracion del efecto luminoso, pero tambien son mas cortas las interrupciones de este efecto, de modo que hay

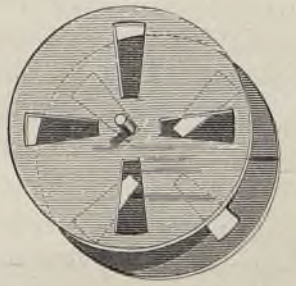


Fig. 208.— Discos de fosforoscopio

una velocidad determinada en la cual se obtiene el brillo máximo.

Por medio del fosforoscopio ha podido obtener Becquerel, además de los resulta-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dos que indicamos, emisiones luminosas en ciertas sustancias, cuya duracion es en extremo débil, puesto que no pasa de la diez milésima parte de un segundo. Otros cuerpos, como los sulfuros verdes de estroncio y de calcio, permanecen fosforescentes por espacio de treinta y seis horas. El diamante luce asimismo mucho tiempo. Tambien pudo estudiar la ley que siguen los cuerpos fosforescentes al perder su luz por emisiones sucesivas.

La luz que emiten diversos vegetales y animales fosforescentes se ha sometido al análisis espectral; pero mas adelante nos ocuparemos de este asunto.

V

Diversas clases de espectros

El espectro de la luz blanca es mas rico y puro de color cuanto menor sea el ancho de la ranura; la exactitud de esta afirmacion se prueba fácilmente del modo que sigue.

El rayo de luz blanca $a\ a_1$ (fig. 209) que cae sobre el prisma P del extremo a de la ranura $a\ b$, produce un espectro completo $r\ v$, que comprende entre r y v ó el rojo y el violeta, todos los colores del espectro. Del mismo modo el rayo $b\ b_1$ procedente del otro extremo de la ranura b presenta

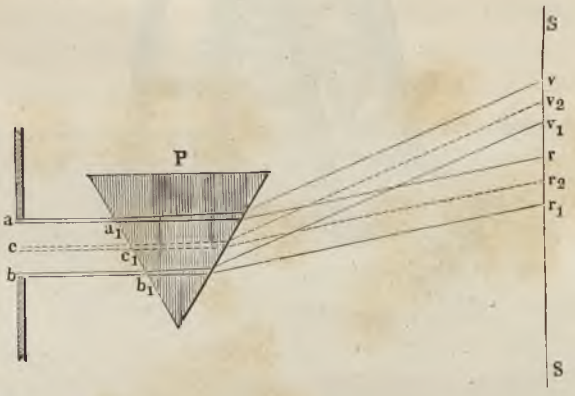


Fig. 209.— Influencia del ancho de la ranura en la pureza del espectro

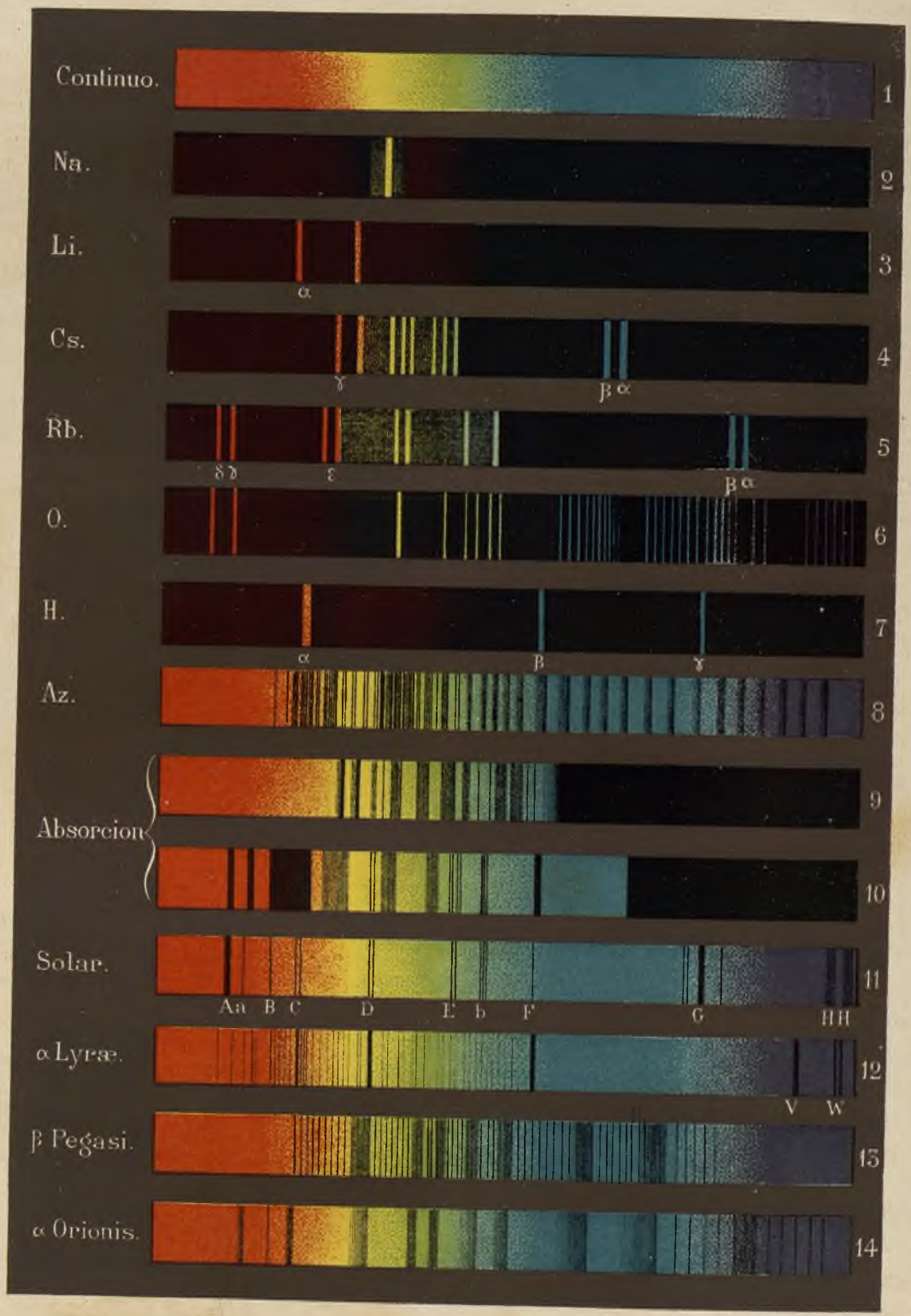
tambien un espectro completo $r_1\ v_1$ con todos sus colores. Entre estas dos extremidades a y b hay otros muchos puntos que emiten luz, cuyo número aumenta segun el ancho de la ranura; escojamos de estos el punto c cuyo rayo $c\ c_1$ forma otro espectro $r_2\ v_2$, comprendido entre los espectros externos $r\ v$ y $r_1\ v_1$ que evidentemente cae en parte sobre los otros dos espectros entre los dos puntos $r_2\ v_2$. Así como en las porciones $v\ v_2$, $r_2\ r_1$ hay partes de espectro puro, formado por los rayos $a\ a_1$ y $b\ b_1$, tambien se encuentran en las porciones $v\ r_2$ del espectro compuesto $v\ r_1$, los colores superpuestos que se deben á toda la ranura; y como no es posible percibirlos separadamente, producen en el ojo la impresion de un tono confuso de varios tintes. El espectro de la luz blanca, por lo tanto, emitido á través de una ranura muy abierta, es puro únicamente, ó de un solo color, en las extremidades, en los rayos rojos y violetas; en el centro se encuentra una tinta mezclada compuesta de todos los grupos de rayos, la cual, por consiguiente, puede descomponerse de nuevo en sus partes constitutivas por medio de un segundo prisma.

Por lo que vemos, es necesario consagrar mucha atencion al ancho que se debe dar á la ranura en todas las aplicaciones prácticas del análisis espectral; como regla que no debe infringirse, diremos que el ancho de la ranura nunca ha de ser superior á lo que exija el brillo de la luz que se examine. Los medios de obtener el ancho

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CUADRO DE ESPECTROS.



© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

regular de la ranura son muy sencillos; la pureza del espectro, sin embargo, no depende exclusivamente del ancho de esta pieza, sino tambien de la regularidad de sus bordes, puesto que las menores partículas de polvo que se encuentren entre las chapas que forman la ranura bastan para producir unas líneas negras á lo largo del espectro que dificultan en gran manera las observaciones.

Cuando las puntas de carbon que se emplean para producir la luz eléctrica están preparadas con esmero y exentas por completo de toda sustancia extraña, la luz es puramente blanca, pues en este caso es emitida en absoluto por las partículas sólidas de carbon en estado de incandescencia; el espectro de esta luz es por consiguiente continuo, como el de la luz de cal, notándose tan solo algunas interrupciones debidas á bandas mas ó menos brillantes ú oscuras.

Todos los demás cuerpos incandescentes sólidos ó líquidos dan un espectro semejante, hallándose distribuidos los colores de un modo regular del rojo al violeta. Si en vez de la luz de cal se emplea la del alambre de platino incandescente, la de magnesio ó la llama de gas en la cual se produce la luz por la incandescencia de las partículas sólidas de carbon, y se analizan con el prisma, siempre se obtiene un espectro continuo, pero con la diferencia de que los varios grupos de color no se hallan constantemente distribuidos en igual proporcion en cada espectro particular, y, por lo tanto, segun la clase de luz empleada, predomina el rojo unas veces y otras el amarillo ó el violeta. Unicamente en algunos casos muy raros, emiten los cuerpos sólidos con algun predominio rayos colorados y particulares, como ocurre con el *erbio*, sustancia rarísima. Es posible, pues, establecer como regla general que todo espectro contínuo en el que no se observan líneas brillantes, ni sombras, y que contenga todos los matices del íris, está producido por un cuerpo sólido ó líquido incandescente.

Los espectros que se obtienen cuando el foco de luz no es un cuerpo sólido ó líquido incandescente son muy diversos, esto es, cuando la luz que se examina proviene de un gas brillante. En vez de la continua y no interrumpida sucesion de colores, presenta el espectro unas bandas brillantes coloradas, separadas unas de otras por espacios oscuros.

Como los gases y vapores en estado luminoso emiten mucha menos luz que los cuerpos sólidos, la exhibicion de sus espectros en una pantalla ante una concurrencia numerosa queda restringida á aquellas sustancias que por su volatilizacion en la llama oxhídrica ó en la lámpara eléctrica, dan un vapor luminoso de suficiente brillo para formar un espectro claramente visible á cierta distancia, á pesar del espacio que media entre la ranura y la pantalla, y la pérdida de luz que ocasiona por la interposicion de la lente y el prisma.

Aunque la luz de la llama de oxi-hidrógeno se usa principalmente en estos experimentos porque apenas emite claridad, sin embargo, la lámpara eléctrica es mas adecuada al objeto, porque desarrolla un grado de calor mucho mas elevado, y por lo tanto, volatiliza mas rápidamente las sustancias que antes mencionamos, elevándolas á mayor grado de luminosidad. Para este objeto se emplea el aparato que indica la fig. 210; el carbon del polo inferior de la lámpara se sustituye por un cilindro de dos ó tres centímetros, *u*, fig. 211, de carbon puro, cuyo extremo superior tiene una pequeña excavacion, y se fija precisamente en el foco de las lentes de la linterna. En la excavacion del cilindro de carbon se coloca un pedazo de zinc del tamaño de un guisante, y el polo superior *o*, se baja hasta que llegue á estar en contacto con el metal, de modo que cuando pasa la corriente eléctrica instantáneamente á través del carbon, el intenso calor que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

desarrolla volatiliza el zinc con rapidez. Si se separa ahora el polo de carbon superior *o*, para formar un arco de la llama, y se eleva mas que en el experimento anterior, de modo que los carbones brillen menos y quede la luz formada exclusivamente por el vapor luminoso de zinc, se verá en la pantalla, en lugar del espectro del metal incandescente, el de su vapor, constituido por el arco de luz que se ex-

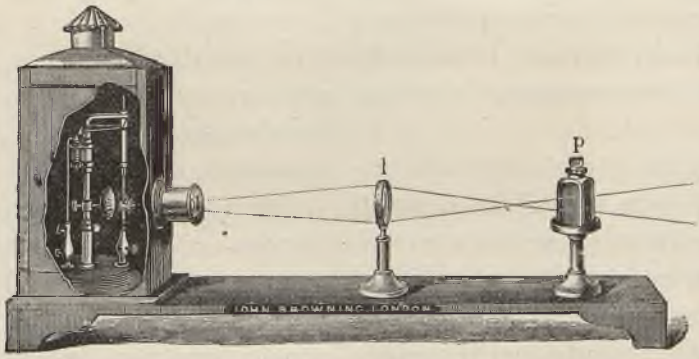


Fig. 210.—Lámpara y linterna eléctrica para la volatilizacion de las sustancias

tiende entre los extremos de los carbones. Se comprenderá de seguida, que este espectro difiere esencialmente del continuo que hemos descrito ya; solo consta de una banda roja y tres azules en extremo hermosas y brillantes; la faja débilmente coloreada que forma como el fondo de estas tres bandas, se debe al resplandor de los carbones, del cual llega á la pantalla alguna luz blanca; al abrir la linterna se ve elevarse el vapor de zinc en forma de nube azul.

El carbon que conserve algunas partículas de zinc debe ser reemplazado por otro nuevo, de igual clase, en cuya cavidad se coloca un pedacito de cobre haciendo pasar la corriente eléctrica; el espectro que aparece es de una clase completamente distinta de la del anterior, y consiste en tres bandas brillantes que no existian en el espectro del zinc, habiendo desaparecido tambien los grupos de líneas azules y el rojo que caracterizaban este último metal.

En vez de cilindros de carbon pueden emplearse varillas gruesas de los metales que se quieran examinar, v. gr. de zinc, cadmio, plomo etc.; los espectros son mas brillantes y vivos, pero de menor duracion, lo cual se debe á que los metales se queman en un momento al ponerlos en contacto con la batería, de modo que queda interrumpida la corriente.



Fig. 211. — Volatilizacion de los metales en el arco voltaico

Las figs. 212 y 213 son unas reproducciones de las fotografías obtenidas por Lockyer, de una porcion del espectro observado cuando se hacia pasar la chispa eléctrica entre los polos de una lámpara formados por varillas de zinc y cadmio y de cadmio y plomo; se observa que con estos vapores metálicos son las líneas brillantes de longitud desigual.

En esta situacion es muy fácil que se nos ocurra la duda de si las ondas etéreas que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

producen los colores en los espectros del zinc y el cobre, sufrirán algun influjo recíproco si se efectúa el experimento con una esferita de bronce, sustancia compuesta de zinc y cobre; ó si cada componente de esta aleacion emite independientemente sus colores peculiares, de modo que el espectro de la sustancia compuesta pueda consistir en los espectros superpuestos de sus elementos constitutivos. Con objeto de

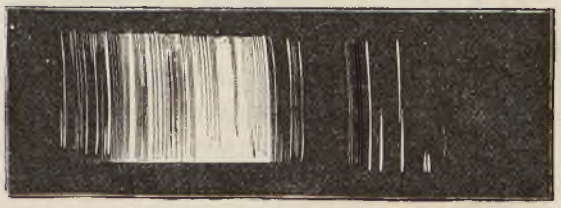


Fig. 212.—Espectros del zinc y el cadmio

satisfacer esta duda, vamos á introducir un pedacito de bronce en la cavidad de un nuevo cilindro de carbon, haciendo pasar la corriente eléctrica. En el acto aparece un espectro magnífico, en el que pueden reconocerse en seguida, no solo la línea

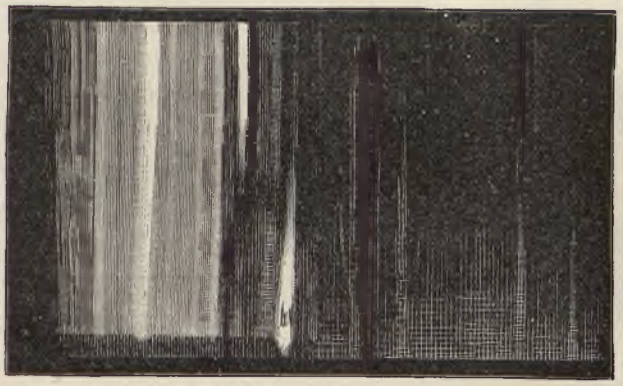


Fig. 213.—Espectros del cadmio y el plomo

roja, sí que tambien las tres bandas verdes del cobre. Los rayos de los constituyentes volatilizados de una aleacion no se mezclan, pues, ni se confunden unos con otros; cada vapor, aun cuando combinado con otros vapores, emite su propio sistema de rayos colorados, que al pasar á través del prisma se separan á causa de su desigual refrangibilidad, y aparecen como un sistema de bandas columnarias desunidas, formando un espectro discontinuo ó cortado.

Para evitar las molestias que ocasiona la operacion de cambiar el cilindro inferior de carbon, dispuso el fabricante Ruhmkorff el aparato que indica la fig. 214, en el cual se suprime el mecanismo de relojería de la lámpara eléctrica, y como durante los breves instantes que exige la volatilizacion de un pequeño pedazo de metal, el arco de luz entre el carbon superior *o* y el inferior *u* se separa ligeramente del foco, lleva el aparato el tornillo *a* que permite que toda la parte superior de la lámpara pueda subirse y bajarse á voluntad, conservando constantemente enfocado el arco voltáico. Se emplean en esta maquinita seis cilindros de carbon en vez de uno solo, dispuestos en círculo sobre una platina que por medio de la pieza G puede girar, de modo que un sencillo movimiento de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rotacion permite que cualquiera de los cilindros inferiores caiga debajo de la barrita permanente *o*. Esta puede subir ó bajar por medio de la cremallera *b*, de modo que si antes del experimento se colocan seis me-

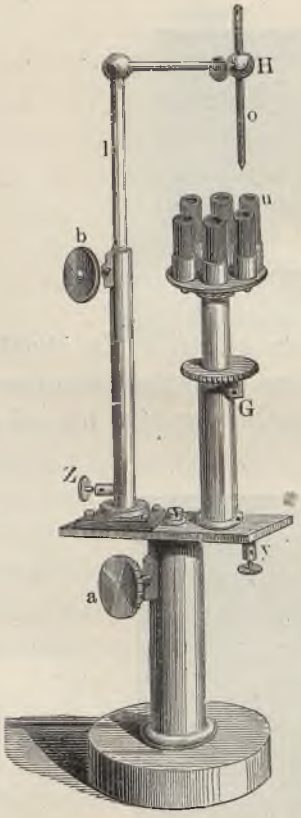


Fig. 214. — Lámpara de Ruhmkorff para análisis espectral

tales distintos en las excavaciones de los cilindros, tan solo con hacer girar la platina y en caso necesario los tornillos *a* y *b*, se pueden volatilizar los metales en el arco de la llama y obtener el espectro de sus vapores luminosos.

El signo característico de los espectros obtenidos de los vapores ó gases luminosos, consiste en la falta de continuidad en la sucesion de los colores, pues estos espectros se componen de distintas bandas coloreadas, dispuestas irregularmente, con espacios oscuros entre ellas, y por este motivo los espectros de los gases son discontinuos y están formados por líneas brillantes.

El vapor de sodio en circunstancias ordinarias y á una temperatura no demasiado elevada, da un espectro que consta de una sola raya de color amarillo ó anaranjado, que se desdobla cuando se emplea un poder dispersivo suficiente. El espectro del vapor luminoso de litio consiste en dos líneas ó bandas coloreadas, una roja brillante y la otra amarilla muy débil; mucho mas completo en el espectro del cesio; á una temperatura suficientemente elevada presenta el vapor luminoso de diez á trece líneas muy perceptibles, de las cuales, tres se distinguen aun á baja temperatura; de estas tres líneas, dos son azules y una amarilla; las líneas restantes amarillas y verdes no aparecen como bandas individuales hasta que la temperatura se eleva lo bastante para que los gases emitan luz suficiente.

Para complementar las observaciones que antes hicimos sobre el espectro del bronce, agregaremos otros experimentos. Coloquemos un grano de sodio en la cavidad del carbon inferior, y hagamos que pase la corriente por todo el aparato. El sodio se volatiliza con rapidez en el arco de la llama y el espectro ya descrito aparece en la pantalla como una sola línea amarilla de notable resplandor; interrúmpase ahora la corriente, introduzcamos dos nuevos carbones y en uno de ellos colóquese un grano de sal comun, restableciendo el circuito. La sal comun se compone de cloro y de sodio y pudiera aguardarse, recordando el experimento del bronce, cuyo espectro estaba formado de los espectros combinados de sus dos componentes zinc y cobre, que el espectro de la sal, de un modo análogo, exhibiese el espectro del cloro gaseoso y del vapor de sodio; no es esto, sin embargo, lo que ocurre, pues únicamente aparece la misma banda amarilla que producia el sodio metálico, ocupando precisamente una posicion idéntica en la pantalla; en cuanto al cloro, que aislado ofrece un espectro muy característico, no presenta en este experimento el menor vestigio.

Otro tanto ocurre con los demás metales

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que se combinan con el cloro, segun se demuestra con los cloruros de litio, bario, magnesio y talio, si se colocan en la cavidad de un cilindro de carbon de mayor diámetro que los anteriores. Al pasar la corriente de un polo al otro se volatilizan estas sustancias en el arco voltáico, y reduciendo un poco el ancho de la ranura, se ven aparecer unas bandas coloreadas muy inmediatas, siendo algunas de ellas, como por ejemplo, la roja del litio y la verde del talio, en extremo brillantes y notables.

Si se interpone un segundo prisma y se da al espectro una longitud de dos metros, pierden las líneas algo de su esplendor, pero se acentúan mas las divisiones que las separan; ensanchando la ranura, aumenta el brillo de las bandas. Los que están familiarizados con el espectro del litio, bario, magnesio y talio, no encuentran dificultad alguna en reconocer cada sustancia separadamente en el espectro compuesto producido por la mezcla de todos estos cuerpos; en este caso, tampoco aparece el espectro del cloro ó á lo menos no es visible.

Si los varios compuestos de estos metales, como el sodio, calcio, etc. v., gr. cloruro de calcio, ioduro de calcio, nitrato de cal, etc., se someten de igual manera al análisis espectral, tan solo se obtiene el espectro del metal y nunca el de los otros cuerpos que entran en la combinacion; los espectros de los vapores de los metales se exhiben con tal brillantez, que los de las demás sustancias no metálicas con los cuales están combinados jamás se distinguen, probablemente por el excesivo resplandor del espectro del metal.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO V

EL ESPECTROSCOPIO

I

El espectroscopio

Quizás se habrá ocurrido á alguno de nuestros lectores, que obtener el espectro de cualquiera sustancia para su exámen analítico, es un problema erizado de dificultades y una operacion larga y laboriosa, que ha de exigir los profundos conocimientos de un físico consumado y la habilidad manual de un químico de gran práctica. Nada de eso; si en nuestras descripciones hemos hablado de poderosas baterías galvánicas, de lámparas eléctricas con platinas giratorias para los carbones y de pantallas de proyeccion de gran tamaño para exhibir los espectros, tan solo ha sido para demostrar cómo por la extraordinaria potencia calorífica y luminosa del arco voltaico, pueden demostrarse los sencillos fenómenos que sirven de fundamento al análisis espectral, ante un público numeroso. Pero cuando la luz de los vapores calientes no necesita ser mayor que lo que exige el estudio de un solo observador, casi todos los aparatos eléctricos son supérfluos, y basta el sencillo mechero de Bunsen; y aun en muchos casos puede emplearse con fruto hasta una lámpara de espíritu de vino para exhibir el espectro de diversas sustancias; en tal caso, pueden reducirse la ranura y el prisma á dimensiones mucho menores; en lugar de la gran pantalla de papel que sirve para reflejar la luz, se recibe el espectro en una superficie mucho mas sensible, en la retina del ojo; y todos los aparatos y máquinas voluminosas se reducen á unas cuantas piezas de manejo cómodo y sencillísimo.

Todo aparato espectroscópico ó espectroscopio, independientemente de la fuente de luz, se compone de una ranura de ajuste, una lente llamada colimadora y cuyo oficio es dar paralelismo á los rayos que salen de la ranura, y un prisma; con objeto de que el instrumento pueda usarse á cualquiera hora del dia, toda luz, con excepcian de la que se va á examinar, debe excluirse del prisma, y por lo tanto, la ranura, las lentes y el prisma van encerrados en un tubo, ó si el prisma es demasiado voluminoso se le adapta una tapadera especial. Además, como el espectro al salir del prisma presenta una longitud escasamente mayor que el ancho de la hendidura, y solo adquiere algun largo á medida que crece la distancia del prisma, se introduce una lente amplificadora con objeto de que el ojo, aun cuando colocado á corta distancia del prisma, vea el espectro de largo suficiente, de modo que en vez de observar á la simple vista se hace uso de un anteojo de poder moderado. Este anteojito no sirve exclusivamente para agrandar el espec-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tro, sino tambien para que el ojo reciba la totalidad de la luz que pasa de la lente colimadora, á través del prisma; sin el anteojo tan solo penetrarian en el órgano visual el número de rayos cuya base fuese la abertura de la pupila.

Ya hemos dicho que los rayos coloreados que componen el espectro forman un ángulo con los rayos incidentes que entran en el prisma. Es necesario, por lo tanto, al observar el espectro, que el tubo del anteojo dirigido á la cara externa del prisma se coloque en distinta direccion que el tubo que contiene la ranura y la lente co-

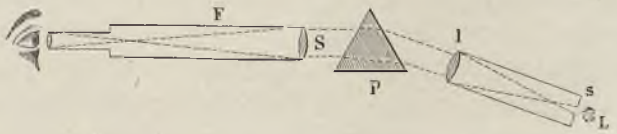


Fig. 215.—Espectroscopio simple

limadora. Un espectroscopio de esta clase es el que indica la fig. 215; la luz emitida por L despues de pasar por la ranura *s* y la lente colimadora *l*, llega al prisma *p*, en rayos paralelos; en este se refracta y descompone á un tiempo mismo, y forma por tanto el espectro S, que se ve con el anteojo F en una direccion muy diferente de la del tubo *s l*. Esta disposicion tiene el inconveniente de que al efectuar un estudio de análisis espectral, no puede mirarse exactamente en la direccion de la luz, y en consecuencia, el espectro no se encuentra sino despues de buscarlo por algun tiempo, haciendo mientras tanto girar el aparato hácia uno y otro lado; de modo que será mucho mas cómodo un espectroscopio que tenga en línea recta la ranura, las lentes, el prisma y el anteojo, pues, con tal disposicion, solo se necesita mirar directamente á la llama que se quiere examinar para distinguir el espectro.

Si recordamos el efecto que producen los prismas en el curso de los rayos luminosos, fácilmente se comprende que los varios rayos coloreados sufren distintas desviaciones segun la posicion del prisma respecto del rayo incidente; se demuestra por el cálculo, sin mayor esfuerzo, que de todos los rayos emergentes, solo uno experimenta la menor desviacion que forma un ángulo igual con el prisma que el rayo incidente forma con la superficie sobre que cae. Cuando se coloca en tal disposicion el prisma, que el rayo de color del espectro que se desvia lo menos posible es al mismo tiempo el que consta de la longitud de onda me-

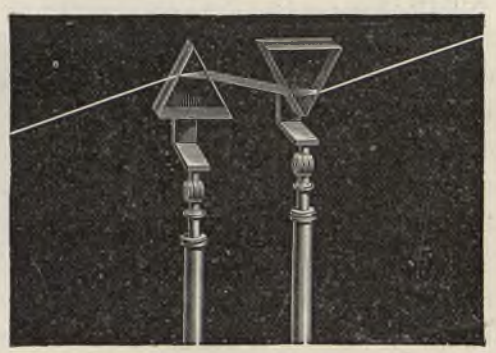


Fig. 216.— Neutralizacion de la refraccion y la dispersion

dia, esto es, poco mas ó menos de 0,000549 de milímetro, que está situada entre el amarillo y el verde, se dice que el prisma se encuentra entonces colocado en su mínimo de desviacion; hablando con toda propiedad, sin embargo, hay que dar al prisma una posicion particular para cada color del espectro, si se quiere obtener el ángulo de desviacion mínima que corresponde á cada uno de ellos. El ángulo formado por este rayo central emergente, con el rayo incidente es la medida de la refraccion ó desviacion del prisma: y la longitud del espectro señala la fuerza descomponente ó poder de dispersion.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Si dos prismas A B (fig. 216) de igual materia y ángulos de refraccion iguales se colocan en posiciones inversas, el rayo incidente E, de luz blanca será refractado por el primer prisma A y descompuesto en sus rayos elementales; el segundo prisma B, no obstante, que refracta en direccion opuesta, anula la primera divergencia y reune los rayos coloreados incidentes, en un solo rayo emergente F, el cual, si se recibe en una pantalla, aparecerá como una imágen blanca, teñida de luz roja en el borde superior y de luz violeta en el borde inferior, por que en estas extremidades no se superponen los colores. En este caso el segundo prisma B neutraliza la refraccion y dispersion del primer prisma y el efecto de ambos es muy semejante al que produciria una lámina de cristal de caras paralelas.

Ahora bien, si el poder dispersivo de un prisma varia en la misma proporcion que su poder de refraccion, se deduce que cualquiera que sea la clase de cristal de que se compongan los prismas colocados en la disposicion indicada en la figura anterior y sus ángulos de refraccion cuando se disponen de modo que esta se neutralice, su poder dispersivo ó propiedad de producir un espectro quedará de igual manera anulada. En otros términos, la formacion de un espectro estará siempre ligada á la desviacion que experimenta la luz de su direccion rectilínea y no será posible recibir en línea recta el espectro de un objeto luminoso, v. gr. de una llama ó una estrella, valiéndose de un sistema de prismas dispuestos del modo que dejamas apuntado.

Afortunadamente, no es esto exacto en todos los casos; el poder dispersivo de los prismas constituidos de diversas sustancias no es proporcional á su poder de refraccion ; un prisma de flint, por ejemplo, da para una refraccion de los rayos centrales igual á la que se obtiene con un prisma de crown, un espectro mucho mas largo que el de esta última sustancia. Es posible, por lo tanto, combinar y disponer en posiciones inversas, dos prismas de diferente ángulo de refraccion, uno de flint y el otro de crown, de modo que se anule por completo la refraccion del rayo incidente, y solo de una manera parcial la dispersion del prisma de flint, así que con el remanente de los rayos se obtiene un espectro que puede examinarse sin dificultad. Si á través de un sistema de prismas de esta naturaleza se examina un objeto brillante en direccion rectilínea, se observará su espectro en la prolongacion de esta misma línea; claro está que los colores no aparecerán tan dispersados como si solo se emplease un prisma de flint y se viera el espectro oblicuamente.

Esta clase de prismas compuestos ó mejor de sistemas de prismas que presentan un espectro cuando se les tiene en línea recta entre el foco luminoso y el ojo del observador, se llaman prismas de vision directa.

Un óptico italiano, Amici, fué el primero que consiguió construir un espectroscopio de esta clase, combinando prudentemente dos prismas de crown con un tercer prisma de flint de 90 grados, interpuesto entre los anteriores. En esta disposicion, los rayos de refrangibilidad media no sufren divergencia, así que un objeto luminoso puede verse en una direccion rectilínea y obtenerse su espectro, porque la dispersion producida por el prisma de flint en una direccion, es mayor que la que ocasionan los dos prismas de crown en la direccion opuesta.

La fig. 217 demuestra otra forma de prisma de vision directa ideada por el Profesor A. Herschel para la observacion de los meteoros. El rayo de luz E experimenta dos reflexiones totales en las caras internas del prisma antes de salir en forma de espectro F, en direccion paralela á E. Sin embargo, la construccion de este prisma ofrece grandes dificultades ; por la necesidad que hay de que para dar la direccion

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

debida á los rayos, presenten las caras del prisma determinadas inclinaciones, y es muy difícil, como decimos, que los ángulos *a* y *e* tengan el valor que les corresponde por el cálculo.

El famoso óptico Browning de Lóndres, ha vencido estas dificultades combinando dos prismas de la misma clase; en el sistema de prismas que podemos llamar de Herschel y Browning (fig. 218) el rayo F

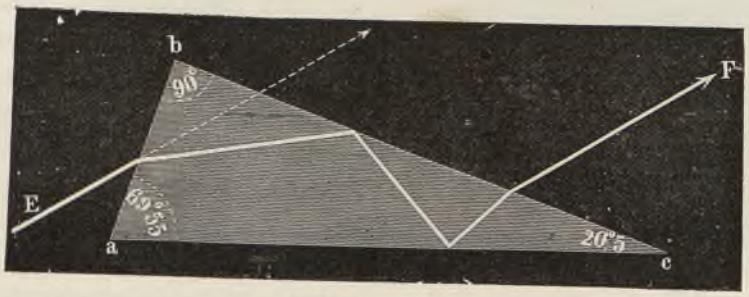


Fig. 217.—Prisma de vision directa de Herschel

que emerge del primer prisma A en direccion paralela al rayo incidente E es reflejado de nuevo hácia atrás por un segundo prisma B en la direccion del rayo incidente, de tal modo, que los rayos centrales coloreados emergentes G, se encuentran

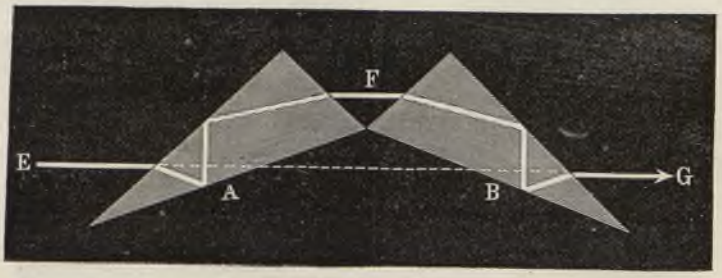


Fig. 218.—Sistema de prismas de Herschel y Browning

en la prolongacion exacta del rayo incidente E.

Janssen, astrónomo francés de gran renombre, adoptó el principio de construccion de Amici y con auxilio del óptico Hofmann de París, llegó á construir un espectroscopio de vision directa que por la facilidad con que puede aplicarse á observaciones muy variadas, por su moderado precio y la gran pureza y longitud del espectro que produce, ha llegado á ser un instrumento indispensable para el químico, el físico y el astrónomo.

El espectroscopio de vision directa de Hofmann (fig. 219) presenta el aspecto de un anteojo comun y puede tenerse á la mano para observar, ó colocarlo en un pequeño pié giratorio si se desea mayor estabilidad; en el dibujo se ven las diversas piezas que componen el aparato en sus posiciones respectivas. En la extremidad que se dirige hacia la luz que ha de examinarse se encuentra la ranura S, formada por dos láminas de acero que pueden separarse ó unirse por medio del tornillo V y de un muelle antagonista; Rutherfurd construye las láminas de la ranura de obsidiana que es una sustancia inalterable. En L va la lente colimadora *l*, cuyo oficio es hacer paralelos los rayos divergentes de la ranura S antes de que penetren en el sistema de cinco prismas *p*. De

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

estos, que en mayor escala se encuentran representados en la fig. 220, el primero,



Fig. 219.—Espectroscopio de vision directa de Hofmann

tercero y quinto son de crown, y el segundo y cuarto de flint, y forman un sistema tan perfecto gracias á la buena disposicion de los ángulos de los prismas, que los rayos coloreados centrales emergentes F, tienen precisamente la misma direccion que el rayo incidente E y por lo tanto pasan en línea recta por el tubo L G M O en el cual ocupan los prismas el espacio comprendido entre L y G. Las lentes *a* y *a'* detrás de G, forman el objetivo y *o' o* el ocular del anteojo que sirve para observar el espectro formado; estas últimas lentes van insertas en un tubo de corredera para que pueda enfocarse el anteojo segun exiga la vista del observador, y segun tambien la region del espectro que se examine. Browning ha construido otro espectroscopio de vision directa con siete prismas, que se recomienda por la excelencia de su elaboracion, la facilidad de su uso y la pequeñez de sus dimensiones, á todo lo cual debe agregarse su módico precio que no pasa de 30 pesetas. Se representa en la fig. 221; la abertura de la ranura ó separacion de los bordes de las láminas

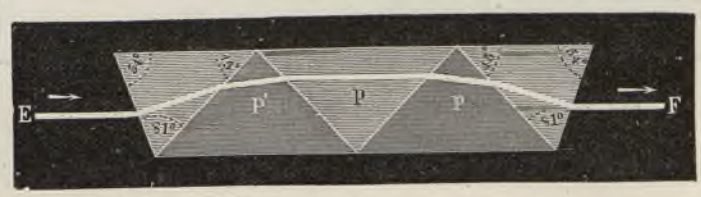


Fig. 220.—Disposicion de los prismas del espectroscopio de Hofmann



Fig. 221.—Espectroscopio en miniatura de Browning

que la forman, se regula haciendo girar un anillo colocado en el extremo del tubo y el espectro se observa directamente sin emplear anteojo alguno. Este instrumento, verdaderamente admirable, tiene de largo unos nueve centímetros y puede con razon llamarse espectroscopio de bolsillo de chaleco.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

II

Métodos de determinar las distancias respectivas de las líneas del espectro

Hemos visto ya que los espectros de los vapores luminosos consisten en una ó mas bandas coloreadas, y que no hay ninguna dificultad en reconocer por la distribucion de estas líneas en la faja espectral, la sustancia que da orígen al espectro. La experiencia enseña que las líneas simples que forman el espectro de una sustancia determinada, nunca caen en el mismo lugar que las de otra sustancia cuyo espectro se proyecta á la vez; pero debido al inmenso número de estas líneas (en el espectro del hierro, por ejemplo, hay cerca de un millar) se encuentran tan próximas unas de otras, en particular si la faja del espectro no es de mucha longitud, que es indispensable que el aparato espectral vaya provisto de algun artificio que permita determinar las posiciones relativas de las líneas simples, y medir con exactitud la distancia que haya entre unas y otras.

El número y posicion relativa de estas líneas es, por lo demás, siempre el mismo en un aparato determinado y para una sustancia dada, por lo menos mientras la temperatura no sufra alteracion, aunque la sustancia que se examine se encuentre en combinacion con otros cuerpos; pero con el empleo de prismas de gran poder dispersivo, ó con un gran número de prismas, ó tambien aumentando su ángulo de refraccion y el tamaño del anteojo, llegan á alterarse estas posiciones, de tal modo, que la separacion que exista entre dos líneas en el espectro de una sustancia varia segun la disposicion del aparato espectral; esta alteracion se extiende hasta las distancias relativas de las diversas líneas en un mismo y solo espectro; cuando el espectro total de una sustancia se amplia, por cualquier medio, hasta hacer que ocupe dos ó tres veces su longitud original, no se separan unas de otras en una misma proporcion las líneas aisladas. En este respecto, una misma sustancia no presenta en espectroscopios diferentes espectros idénticos; el apreciar estas diferencias es, por lo tanto, una de las varias razones que nos obligan á buscar un artificio que nos permita medir la distancia que haya de una á otra de las líneas individuales y determinar sus posiciones relativas.

La disposicion mas sencilla y eficaz que se ha ideado con tal objeto es la que indica la fig. 222. C es como en la fig. 215 el tubo que lleva la ranura *s* y la lente colimadora *l*; *p* es el prisma y F el anteojo analizador; se agrega á esta disposicion un tercer tubo S, que con los demás, va fijo al pié del instrumento, pudiendo girar en un plano horizontal; en la extremidad de este tubo se adapta una escala reducida, dividida en milímetros *m*, fotografiada en una lámina de cristal, teniendo cuidado de que la reduccion sea adecuada al tamaño del aparato y que lleve por consecuencia un número mayor ó menor de subdivisiones. El tubo S está inclinado de tal manera respecto de la superficie del prisma *n* á la cual se dirige el anteojo, que su eje y el del anteojo forman un mismo ángulo con la superficie del prisma; en consecuencia, la escala *m*, siguiendo las leyes de la reflexion de la luz, se refleja en la cara externa y pulimentada del prisma, en la direccion del eje del anteojo F, donde aparece su imágen amplificada al mismo tiempo que el espectro

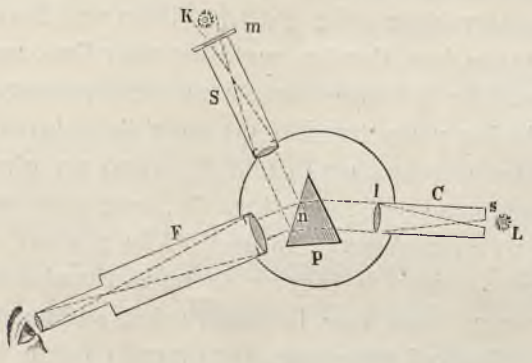


Fig. 222.—Escala graduada del espectroscopio

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la sustancia analizada; la escala *m* se ilumina con una bujía K, ó una pequeña llama de gas, de modo que su imágen se vea con perfecta claridad en todo el largo del espectro, apareciendo sus divisiones negras paralelas á las bandas coloreadas, así que es muy fácil leer en partes de la escala la separacion que haya entre unas líneas y las otras.

En el pequeño espectroscopio de vision directa de Hofmann se coloca una escala en el ocular del anteojo que se proyecta sobre el espectro y con su auxilio se miden las posiciones de las líneas.

Hay otro sistema preferible al de las escalas permanentes, que consiste en una señal fija de tal ó cual clase, como por ejemplo, un alambre delgado ó cruz folar, ó dos puntos opuestos, ó tambien una línea brillante, etc., que pueda correr á lo largo del espectro por la parte interna del tubo, acusando la cabeza de un tornillo por la parte externa el número de divisiones que ha recorrido la señal; esta disposicion es en un todo semejante á la de los tornillos micrométricos que se emplean en los aparatos de física y astronomía. Consiste esencialmente el micrómetro en una pieza de corredera *a* (fig. 223) que lleva una hendidura ó un alambre metálico muy fino, un bastidor *b b* en el que se mueve la primera lámina y un tornillo de paso finísimo *d*, cuya cabeza *c* está dividida como un círculo graduado; este tornillo, que gira en una chumacera *g*, va unido á la platina *d* que le sirve de tuerca, de modo que al moverse, hace que la ranura ó alambre *a*, adelante ó retroceda, caminando hácia la izquierda ó hácia la derecha. Con objeto de medir escrupulosamente el importe del movimiento, hay que averiguar el valor del paso de la rosca del tornillo, para que las divisiones de la cabeza *c* indiquen fracciones de una revolucion completa. Si, por ejemplo, una revolucion del tornillo tiene de valor medio milímetro, y la circunferencia de la cabeza *c* se divide en cincuenta partes iguales, la dislocacion de una marca por una revolucion completa del tornillo llega solo á medio milímetro; en consecuencia una dislocacion tal que corresponda á una division de la cabeza del tornillo equivalente á $^1/_{50}$ de medio milímetro ó $^1/_{100}$ de milímetro. La cabeza *c* pasa en su movimiento muy cerca de una reglita *n*

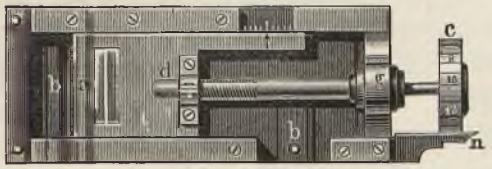


Fig. 223.—Micrometro para medir las distancias de las líneas

con la cual pueden medirse partes de una revolucion, mientras que el número de revoluciones completas se registran por medio del indicador de la corredera *a* al pasar por las divisiones del bastidor *b b*. El micrómetro está unido de tal manera con el ocular del anteojo en el aparato espectral, que la corredera *a* con su indicador, se encuentra en la parte interna del tubo, mientras que la cabeza del tornillo *c* y sus divisiones pueden observarse por la parte externa. La marca ó señal del micrómetro se ve proyectada sobre el espectro en el campo del anteojo y puede colocarse en cualquiera de sus regiones haciendo girar el tornillo; de tal manera es posible, moviendo el indicador de una línea del espectro á otra, determinar rigorosamente la distancia entre dos líneas cualesquiera por las divisiones de la cabeza del tornillo.

Otro método de determinar las posiciones relativas de las líneas de un espectro, consiste en un anteojo provisto de una cruz folar como un buscador astronómico, que pueda moverse en torno de un eje y de este modo el ángulo que forme el anteojo en dos posiciones diversas dará la distancia angular que haya entre las líneas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

III

Espectroscopio compuesto

Nos encontramos ahora en disposicion de comprender el uso de las diversas partes de un aparato espectral completo como el que representa la fig. 224 que es en principio igual al que emplearon Kirchhoff y Bunsen en sus celebradas investigaciones. El ojo del observador se coloca en el eje del anteojo que se dirige á la superficie del prisma de donde emerge la luz en forma de espectro; la cara opuesta del prisma recibe á través de la ranura *g* de la

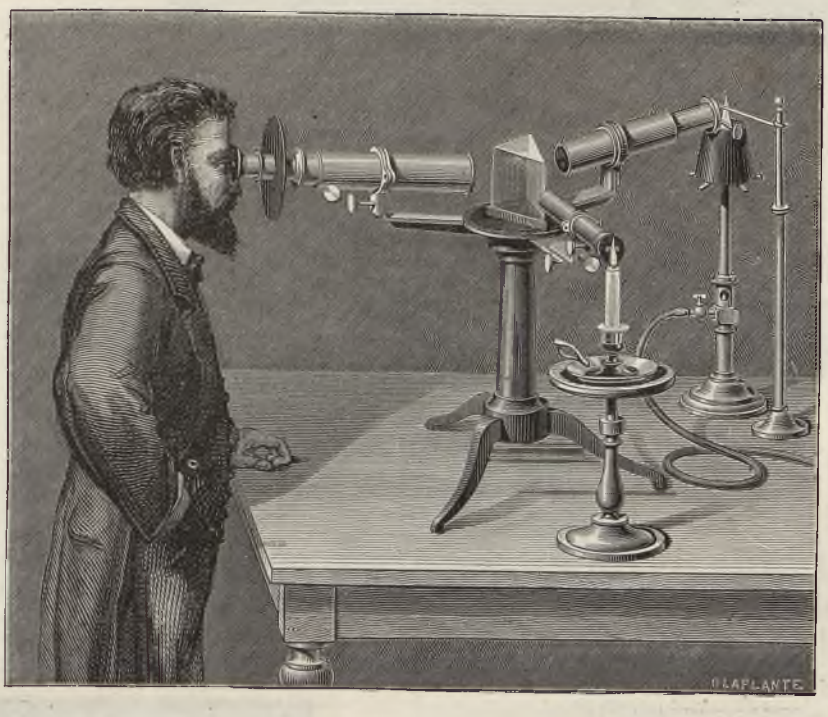


Fig 224 —Espectroscopio compuesto

lente colimadora, la luz que emite el objeto que se examina; al lado del observador se encuentra el tubo que lleva la escala iluminada ó el tornillo micrométrico de modo que la marca ó señal que coincide con las divisiones de la escala pueda colocarse sobre cualquiera de las líneas del espectro.

En un gran número de casos basta para los signos característicos del espectro con un prisma de flint de 45° ó 60°, pero si así no fuese, puede aumentarse la dispersion agregando mayor número de prismas. Kirchhoff empleó en sus investigaciones del espectro solar un aparato excelente construido por Steinheil de Munich, que constaba de cuatro prismas y un anteojo analizador que amplificaba hasta cuarenta veces. Los ángulos de los prismas eran variables, pues unos median 45 grados y otros 60 grados. Thalin empleó seis prismas de flint, Gassiot ocho y Merz hasta once; Cookc se valió para sus estudios de nueve prismas de sulfuro de carbono que daban un espectro de longitud enorme. La fig. 225 representa uno de los mayores espectroscopios que se han construido hasta el dia; Browning lo fabricó segun los diseños y planos de Gassiot quien lo destinaba al estudio del espectro solar en el Observatorio de Kew, en Inglaterra. El tubo A lleva las lentes colimadoras, la ranura, y el prisma de comparacion de que ahora hablaremos; los nueve prismas descansan, como en el espectroscopio de Kirchhoff, en una platina

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

circular; B es un anteojo de gran potencia amplificadora; C el anteojo ó tubo de la escala. El rayo luminoso pasa por la ranura y la lente colimadora, atraviesa la batería de los prismas y entra en el anteojo B en forma de faja espectral, de grandes di-

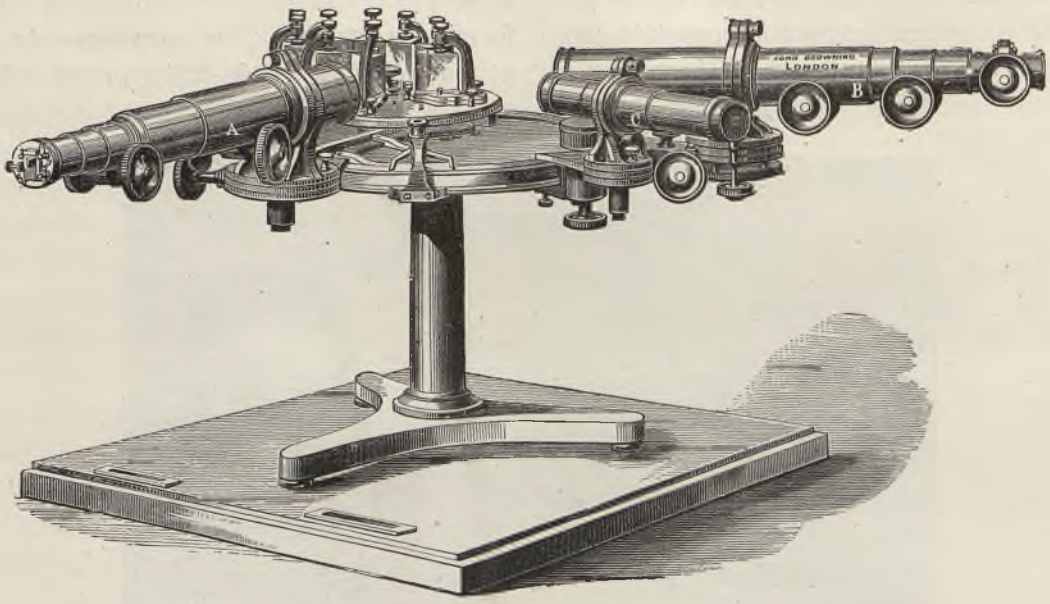


Fig. 225.—Gran espectroscopio del Observatorio de Kew

mensiones. La potencia de un aparato espectral, sin embargo, no depende exclusivamente del número de prismas, sino tambien y en una buena parte, del poder dispersivo de cada prisma. En los talleres del reputado óptico de Munich, Merz, se han fabricado recientemente prismas de cristal con base de plomo, muy densos; su gravedad especifica era de 4,75; uno de estos prismas, con ángulo de 60 grados, daba tanta dispersion como los cuatro prismas que empleó Kirchhoff en sus famosos experimentos.

Los espectroscopios de varios prismas se disponen por lo general de modo que la desviacion mínima corresponda á los rayos mas brillantes; por ejemplo, á los situados entre el amarillo y el verde, para cada prisma en particular, y entonces se aseguran de firme en la platina. Contra esta disposicion pueden presentarse dos objeciones principales.

En primer lugar, tan solo los rayos que han servido para ajustar el prisma, son los que se ven en condiciones ventajosas, por ser los únicos que pasan á través de cada prisma en una línea paralela á la base. En

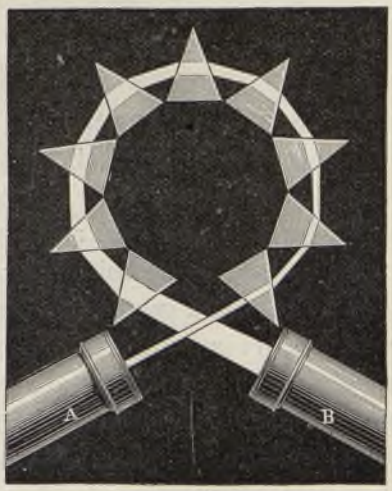


Fig. 226.—Curso de los rayos luminosos á través de nueve prismas

segundo lugar, como el último prisma está fijo, mientras que el anteojo puede moverse recorriendo un arco de un extremo del espectro al otro, el objetivo del analizador

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

recibe la luz total tan solo cuando se le dirige á la region central del espectro; y, por el contrario, no mas que una porcion de la luz entra en el objetivo cuando se dirige el anteojo á cualquiera de las extremidades del espectro, ya la violeta ó bien la roja.

Se comprende fácilmente, pues, que al observar las extremidades del espectro, es de la mayor importancia que el objetivo reciba la totalidad de la luz, por lo mismo que las regiones extremas son las menos iluminadas; para conseguir este resultado es indispensable que los prismas se ajusten á la desviacion mínima de los rayos que se examinen. Por esta causa, Bunsen y Kirchhoff en sus trabajos sobre el espectro solar, colocaron los prismas en la platina sobre unos soportes movibles, y cam-

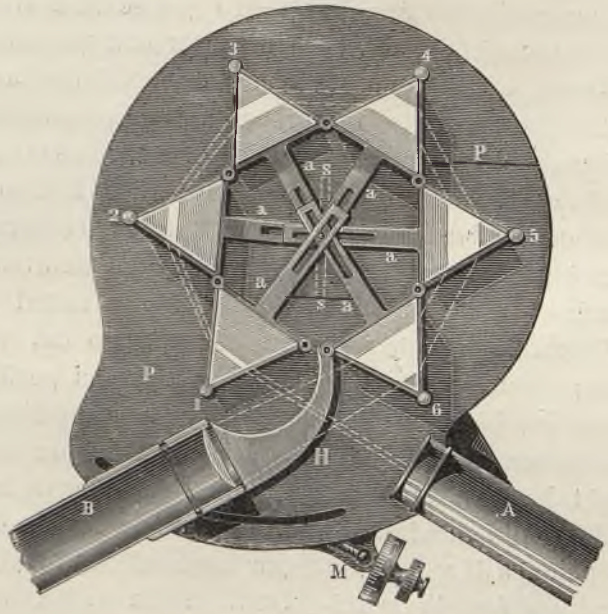


Fig. 227.—Espectroscopio automático de Browning

biaban sus posiciones para cada color del espectro; inútil parece manifestar que esta disposicion era en extremo embarazosa invirtiéndose en cada observacion un tiempo precioso.

Browning ha sabido evitar estos inconvenientes por medio de su espectroscopio automático en el cual van los prismas unidos al anteojo, de tal suerte, que al colocar el instrumento sobre un color particular, se ajustan simultánea y automáticamente sin intervencion del observador, segun la desviacion mínima correspondiente á cada rayo particular del espectro.

La fig. 227 indica la disposicion de las diversas partes del espectroscopio automático; los prismas son seis y tan solo el primero va fijo á la platina P P; los demás llevan unos goznes en los ángulos de las piezas triangulares que les sirven de soportes. Una varilla de metal *a*, con una ranura en su parte media, va unida al centro de la base, con cuyo artificio puede moverse cada prisma al rededor de un eje central comun á toda la serie; los prismas están dispuestos en círculo en torno de este eje, que tambien lleva una conexion con la barra giratoria *S S* de unos cinco centímetros de longitud, situada debajo de la platina P P, de manera que si se mueve el eje central, se moverá con él todo el sistema de prismas, variando la importancia del movimiento de cada uno en proporcion á su distancia al primer prisma que permanece fijo. Si, por ejemplo, el segundo prisma se mueve un grado, se moverá el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tercero 2 grados, el cuarto 3, el quinto 4, etc. El tubo del anteojo B está enlazado á la palanca L que á su vez está unida por un gozne con el último prisma n.° 6. A la otra extremidad de esta palanca ó en el soporte del anteojo B, va situado el tornillo micrométrico M, el cual al girar, hace que el tubo B se dirija á cualquiera de las regiones del espectro segun salen del prisma número 6. De tal modo se efectúa el ajuste de esta palanca, que en cualquier ángulo que venga á situarse el anteojo, el movimiento angular del último prisma tiene un valor doble; los rayos que emergen del centro del último prisma caen perpendicularmente en medio del objetivo del anteojo; los rayos que salen del colimador A y caen sobre el prisma estacionario núm. 1, pasan por todos los demás en una direccion paralela á la base, y llegan finalmente á su emergencia del último prisma en el sentido del eje óptico del anteojo, bien se dirija este hácia los colores extremos ó hácia los centrales. Al volver el tubo B en tal ó cual sentido se trasmite el mismo movimiento á los prismas por la palanca H y así quedan todos ellos ajustados al ángulo de mínima desviacion.

El espectroscopio automático indica un gran adelanto en la construccion de estos instrumentos y hoy dia es el único que se emplea en todas las investigaciones delicadas.

Gracias al estudio cuidadoso y prolijo que se ha hecho de las líneas espectrales de todas las sustancias conocidas, no solo en cuanto á su brillo sino tambien á la medicion exacta de sus distancias relativas, se han podido ejecutar dibujos en los que se señala con todo esmero la posicion y número de los rayos y todos los caractéres peculiares de cada espectro. En un cuadro ó tabla se colocan todos los espectros en fajas horizontales, y agregando una escala dividida en milímetros v. gr., será muy fácil determinar la distancia que haya entre dos líneas; por este método puede averiguarse la posicion que corresponda á tal ó cual raya en el espectro de una sustancia desconocida. Pero en un espectroscopio ordinario no puede tenerse mucha confianza en las medidas que acusa la escala fotográfica, pues el espesor de las líneas depende del ancho de la ranura que cada observador puede hacer variar á su antojo. Además, es muy enojoso tener que comparar á cada momento con las tablas el espectro que se observe en el instrumento, sin contar con que en muchas circunstancias son tan débiles las líneas que desaparecen ante el resplandor de la escala.

En estos casos se emplea con gran ventaja un artificio ideado por Kirchhoff con el cual tan solo se hace uso de la mitad de la ranura al examinar un espectro, sirviendo la otra mitad para recibir un segundo espectro del vapor incandescente de una sustancia perfectamente conocida, que en este caso puede compararse directamente con la que se analiza. Para esto, la mitad superior de la ranura permanece libre y puede abrirse ó cerrarse á voluntad por medio de un tornillo micrométrico; en frente de la mitad inferior se coloca un prisma de reflexion total que envia á los prismas la luz de la sustancia conocida que va á servir de comparacion.

En la fig. 228, F es el foco luminoso de donde parten los rayos que atraviesan los prismas, pasando por la mitad superior de la ranura, por encima del pequeño prisma; á un lado y á la misma altura que este último, se coloca la llama L bien de un mechero de Bunsen ó de una lamparilla de alcohol, en la cual se volatiliza la sustancia cuyo espectro se necesita para compararlo con el que forma la luz F. Los rayos de L hieren en ángulo recto la superficie *d f* y se reflejan en totalidad como en un espejo en el prisma pequeño, pasan por la mitad inferior de la ranura y se descomponen al atravesar el prisma de refraccion. De este modo el espectro *a* y *u* de las dos llamas F y L se ven yuxtapuestos en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el mismo campo como indica el grabado, en el que para mayor claridad se representan proyectados en la pantalla. En realidad, como los espectros *o* y *u* se ven á través del anteojo analizador y no sobre la pantalla, sus posiciones son inversas, así que el espectro *o* de la mitad superior de la ranura se ve debajo, y el espectro *u* de la mitad inferior arriba. Si se volatiliza la misma sustancia en las dos llamas F y L, las líneas correspondientes de uno de los espectros se encontrarán en la prolongacion exacta de las del otro, porque dos haces luminosos de igual constitucion pro-

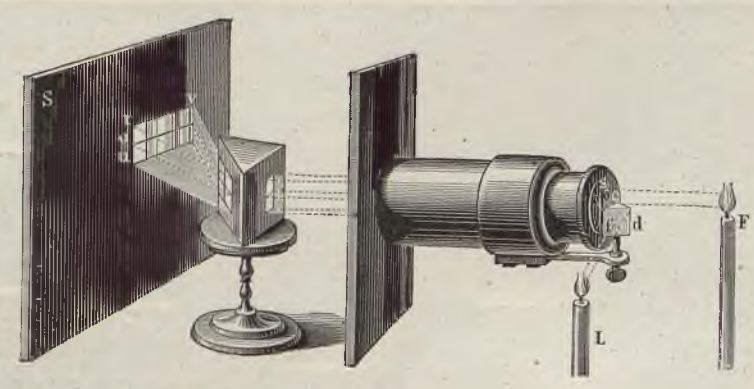


Fig. 228.— Espectro doble y prisma de reflexion total

ducen espectros idénticos con una misma abertura, un mismo prisma y la misma posicion del anteojo.

Si se sospecha, pues, la existencia de cierta sustancia en una de las llamas, v. gr. en F, y por el espectro que se recibe por la mitad superior de la ranura, se conciben dudas acerca de su naturaleza, se volatiliza una corta cantidad de la sustancia supuesta, en la segunda llama L, y se comparan los dos espectros yuxtapuestos. Si hay coincidencia completa entre las líneas de ambos espectros, los dos pertenecen á una misma sustancia; en otro caso se trata de cuerpos de distinta naturaleza. La extremada sensibilidad del ojo para percibir la coincidencia de las líneas de dos espectros yuxtapuestos y observados por tanto al mismo tiempo, hace que este método de comparacion sea uno de los mas importantes y delicados del análisis espectral.

La fig. 229 demuestra la manera de aplicar el pequeño prisma de comparacion P á un espectroscopio de vision directa, por medio de la abrazadera C que se inserta en la extremidad del instrumento. Claro está que en vez de la segunda llama puede emplearse la chispa eléctrica ó un tubo de Geisler lleno de un gas conocido; la importancia de este método aplicado al estudio del espectro de los cuerpos celestes se comprenderá mejor cuando tratemos de este asunto en su lugar correspondiente.



Fig. 229.—Prisma de comparacion del espectroscopio de Hoffmann

Para poder comparar cómoda y rápidamente varios espectros entre sí, es muy útil tener de antemano preparadas unas cuantas bujías, cuyas mechas se impregnan en las disoluciones metálicas de las sustancias que van á servir para determinar la naturaleza del cuerpo desconocido.

IV

Designacion de las líneas del espectro.

Debemos de fijar nuestra atencion no

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

solo en el número de líneas que manifieste un espectro, sino tambien en su grado de intensidad; como el esplendor de las líneas crece con la temperatura, puede darse como regla general, que las líneas que primero aparecen á un calor moderado son las mas notables á una temperatura alta. Estas líneas notables son, pues, las mas adecuadas para el reconocimiento de una sustancia y por esta razon se llaman líneas *características;* segun su brillo se les designa por las letras del alfabeto griego *alfa, beta,* etc., las cuales corresponden á las líneas de cada sustancia par-

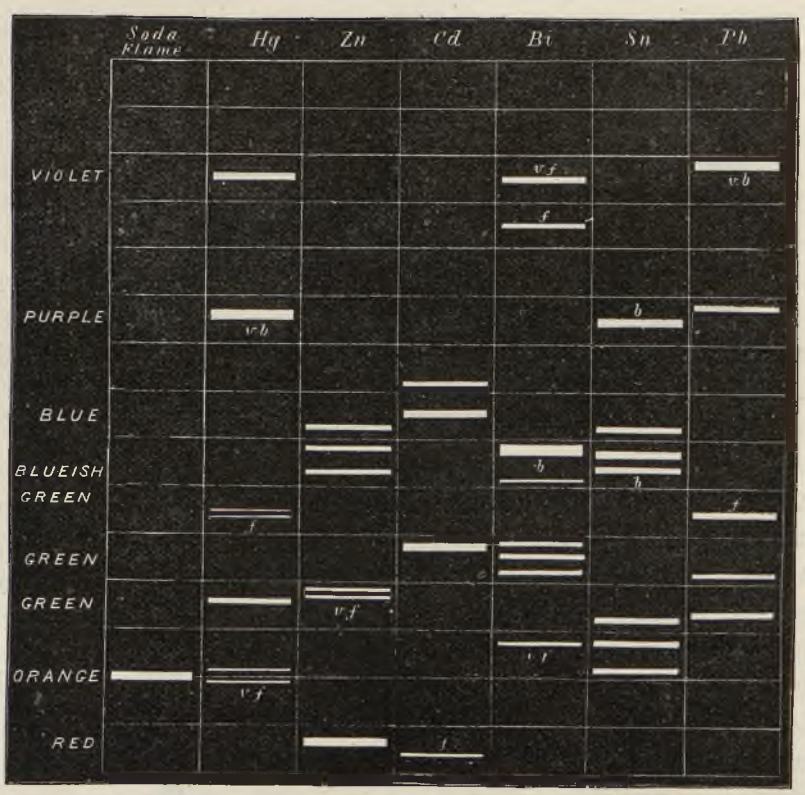


Fig. 230.— Mapa de los espectros de algunos cuerpos, por Wheatstone

ticular, que á su vez se designa por su símbolo químico. El espectro del potasio tiene dos líneas características, una en el rojo, y otra en el violeta; la primera, como mas intensa, se designa por lo tanto Ka, *alfa*, la última Ka, *beta*[1]. La brillante línea roja del litio se llama Li, *alfa*, la línea débil anaranjada Li, *beta;* las líneas características del espectro del bario se encuentran en la region del verde; las del cesio, Cs, *alfa*, y Cs *beta*, son azules; las del rubidio Rb, *alfa*, y Rb, *beta*, son violetas y Rb, *gamma*, y Rb, *delta*, son rojas oscuras. La línea mas intensa del hidrógeno carbonado es roja y se designa por H, *alfa;* otra línea azul verdosa que casi iguala en brillo á la anterior se indica H, *beta* y otra mas débil de color violeta H, *gamma*, etc., etc.

Los espectros de los cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes, son continuos, y se parecen tanto unos á otros, que solo se les puede distinguir en muy determinados casos; los espectros de esta clase no son, por lo tanto, á propósito para el reconocimiento de una sustancia, aunque nos permiten al menos afirmar que se trata de un cuerpo en estado sólido ó líquido.

1 De kalium, potasio.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Solamente los espectros discontinuos que constan de líneas coloradas obtenidas de gases ó vapores, son bastante característicos para que el observador pueda pronunciarse por tal ó cual sustancia, segun el número, brillo y posicion relativa de las líneas que produzca su vapor. De aquí se deduce, que el análisis espectral es sobre todo muy apropiado al estudio de los gases, y, por lo tanto, como la mayor parte de los cuerpos de la naturaleza son sólidos ó líquidos, la primera operacion que tenemos que efectuar para analizarlos es la de reducirlos al estado gaseoso. En el párrafo siguiente veremos de qué medios hemos de valernos para conseguir este resultado.

V

Métodos para exhibir los espectros de las sustancias terrestres

La temperatura á que se volatilizan los diversos cuerpos es muy variable; para algunos basta el calor de una lámpara comun de alcobol, como, por ejemplo, para el potasio, el sodio, etc.; mas para los metales pesados especialmente y sus compuestos, es indispensable la poderosa temperatura de la chispa eléctrica. En muchos casos, sin embargo, basta con el calor que desarrolla la llama no luminosa del mechero de Bunsen para volatilizar las sustancias que se someten al análisis, y para que emitan suficiente luz, presentando un espectro brillante.

El mechero de Bunsen es, pues, uno de los aparatos mas indispensables del análisis espectral. Al usarlo, se empieza por hacer luminosa la llama cerrando las aberturas inferiores para que no penetre el aire, y así se obtiene un espectro continuo muy puro que permite el ajuste exacto de la ranura y del anteojo analizador. Para evitar las oscilaciones de la llama se cubre su parte inferior con una chimenea cónica como indica la figura; al permitir la entrada del aire en el interior de la llama, deja esta de ser luminosa, adquiriendo en cambio una gran potencia calorífica, sobre todo, en su extremidad superior en la cual se introducen las sustancias que se quieren



Fig. 231. — Mechero de Bunsen dispuesto para el análisis espectral

analizar, valiéndose para ello de un hilo de platino delgado, cuyo metal resiste á todas las temperaturas. Al aparecer el espectro



Fig. 232 —Tubo de Mitscherlich

se enfoca con todo esmero el anteojo analizador, estrechando al propio tiempo la ranura, de modo que las líneas brillantes se presenten bien marcadas y definidas. En el mechero de Bunsen tan solo pueden obtenerse los espectros de los siguientes metales; potasio, sodio, litio, estroncio, cálcio, bario, cesio, rubidio, cobre, manganeso, tálio, é indio, y para esto lo mejor es empeñarlos en una combinacion clorurada en cuyo caso se volatilizan con gran facilidad.

Tiene el inconveniente el método que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

acabamos de describir, esto es, el que consiste en introducir en la llama las sustancias en un alambre de platino, de ser de

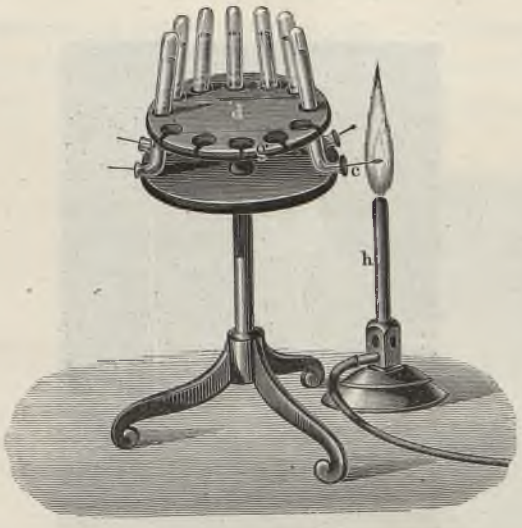


Fig. 233. — Aparato de Mitscherlich para obtener espectros permanentes

cortísima duracion y en algunos casos aparecen y se extinguen las líneas mas brillantes con la rapidez del relámpago; con objeto de poder observar el espectro durante un período de tiempo mas largo, es necesario, por lo tanto, introducir constantemente nuevos materiales en la llama, procedimiento difícil y embarazoso.

Para evitar esta dificultad y obtener un espectro permanente, ha ideado el físico Mitscherlich el siguiente procedimiento. Se introduce la disolucion que se quiere examinar en un tubo de cristal *a* (fig. 232) cerrado por arriba, y que en su parte inferior termina en un estrecho orificio *b*. En este se coloca un alambrito de platino muy fino *e*, que se sujeta en la parte interna del tubo dándole una forma adecuada; la accion capilar hace que el líquido salga continuamente por el orificio, siga por el hilo de platino hasta su extremo en donde se volatiliza.

Nada mas fácil que disponer una serie de tubos de esta clase de un modo cómodo para poder examinar los espectros de diversas sustancias; en la circunferencia de

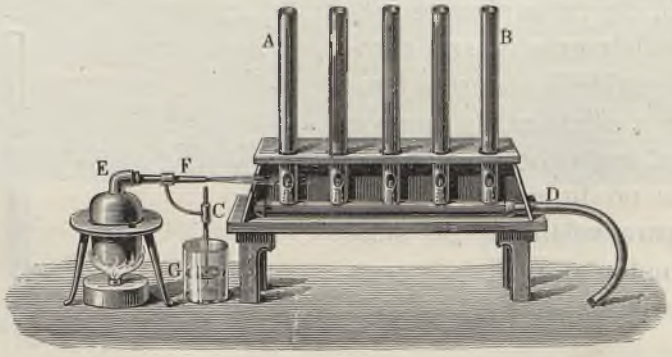


Fig. 234.—Aparato de Morton para la produccion de la luz monocromática

una platina giratoria *d* se colocan los tubos ya cargados, de tal modo, que el alambrito de cada uno de ellos venga á introducirse en la llama del mechero de Bunsen *h* cuando lo desee el operador. Agregando á la sustancia una disolucion de acetato amónico se favorece grandemente la atraccion capilar del alambre de platino, el cual si se dispone convenientemente puede producir un espectro que dure cuando menos dos horas.

El profesor Morton emplea para producir una luz *monocromática* de gran intensidad un aparato muy sencillo y de indudable ventaja; se compone de cuatro ó cinco mecheros ordinarios de Bunsen de llama oscura A B (fig. 234) fijos en un tubo comun de gas D, cerrado con una planchuela de estaño C D por la parte inferior por donde entra el aire de alimentacion. En un lado de esta caja hay una gran abertura *c* por la cual penetra la extremidad del tubo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de una eolipila E caldeada por una lamparilla de alcohol, cuya corriente de vapor tambien arrastra una corriente de aire al salir del tubo F, de igual manera que un pulverizador comun ó el inyector de Eiffard. Inmediatamente debajo del orificio

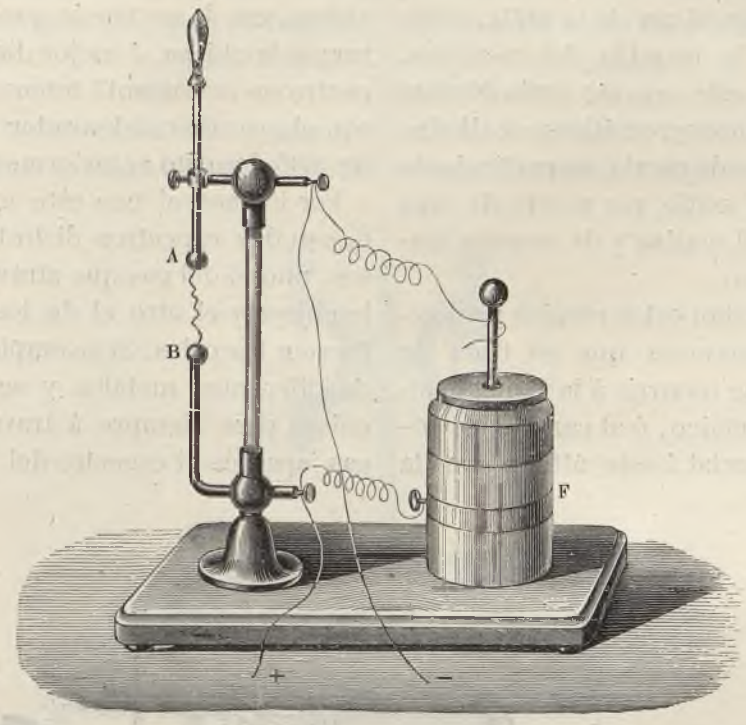


Fig 235.—Condensador eléctrico

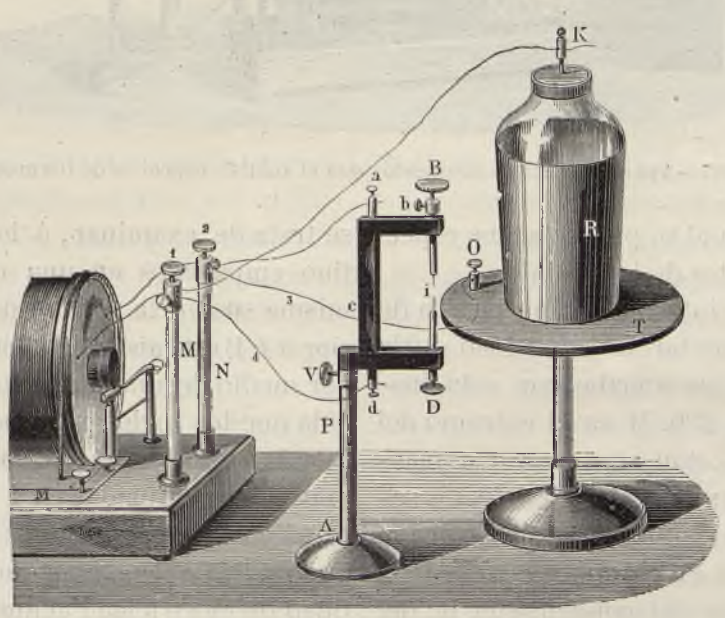


Fig. 236 — Disposicion del carrete de induccion con condensador independiente para el análisis espectral

del tubo F se encuentra la extremidad de otro tubo de vidrio que desciende hasta el vaso que contiene la disolucion de la sustancia que se trata de analizar. La corriente de aire y de vapor hace que cierta parte del líquido del vaso G suba vertical-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mente por el tubo de vidrio y se pulverice; las partículas mezcladas con una cantidad suficiente de aire atmosférico, pasan por el orificio C, á la cámara inferior del aparato, en donde se unen al gas de la hulla, volatilizándose en la boquilla del mechero. Valiéndose de este aparato pudo Morton producir luces monocromáticas de distintas clases en grande escala, en particular la luz amarilla del sodio, por medio de una disolucion de sal marina y de sesenta mecheros de Bunsen.

Cuando no bastan estos medios para volatilizar las sustancias que se trata de analizar, hay que recurrir á la llama oxhídrica, al arco voltáico, ó al carrete de induccion, en especial á este último por la facilidad que presenta su manejo. Empléase el aparato del modo corriente humedeciendo las extremidades de los hilos de platino, entre las cuales ha de salir la chispa, con la sustancia que se va á analizar; si la chispa, ó mejor dicho, si su espectro no es bastante intenso, se amplifica con el aparato condensador que indica la fig. 235 descrito anteriormente.

Por lo general con este método se producen dos espectros distintos superpuestos, uno el del gas que atraviesa é ilumina la chispa y el otro el de los metales que forman los polos. Si se emplean electrodos de diferentes metales y se hace que la chispa pase siempre á través del mismo gas, aparece el espectro del gas como un

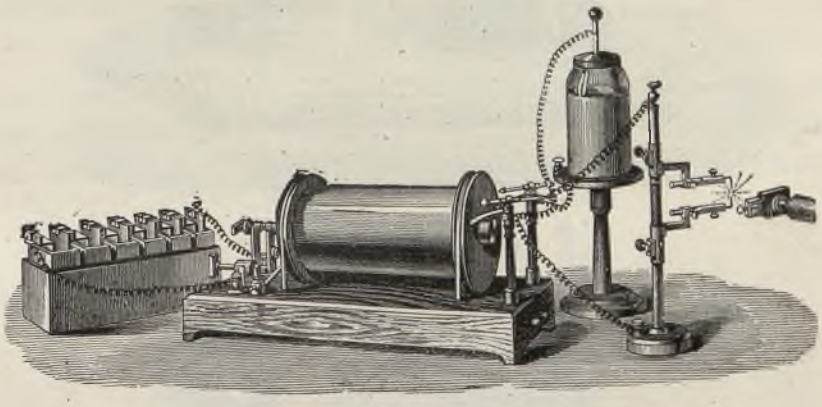


Fig. 237.—Aparato eléctrico dispuesto para el análisis espectral de los metales

fondo sobre el cual se proyectan los espectros mas brillantes de los metales.

La manera de interponer una botella de Leyde para aumentar la intensidad de la chispa eléctrica, se concibe con solo inspecionar la fig. 236. M es el extremo del carrete de induccion, con sus dos polos terminales 1 y 2; del primero de estos salen dos hilos, uno al tornillo *d* y el otro al pomo K que está en comunicacion con la armadura interior del condensador R; del segundo arrancan asimismo dos hilos, uno, al otro tornillo *a* y otro á O donde empalma por medio del disco de cobre T con la armadura exterior R. B y D son unas pinzas destinadas á recibir los metales cuyo espectro se trata de examinar, ó los hilos de platino empapados en una disolucion de la misma sustancia; el brazo metálico superior *a b* B está aislado del brazo inferior *d* D por medio de una pieza de goma endurecida que los ingleses llaman ebonita, así que la combinacion de las electricidades opuestas acumuladas en 1 y en 2 solo puede efectuarse por los hilos B y D en *i* sin que pase la chispa mas que cuando la cantidad de electricidad acumulada en la botella R es de tal intensidad que puede atravesar la capa de aire existente entre los reóforos B y D. Las chispas que se obtienen por este método son mas cortas que las producidas sin aparato de condensa-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cion, pero de mayor potencia; brillan mucho, y es tan elevada su temperatura, que todos los metales pueden ponerse incandescentes y volatilizarse. En cambio el espectro que se produce es muy difícil de analizar á causa de la marcha intermitente del aparato.

En la fig. 237 se representa el aparato dispuesto para el análisis espectral. A la izquierda se ve la batería eléctrica compuesta de seis elementos poderosos de Grove, de la cual arrancan dos reóforos que terminan en el conmutador del carrete de induccion. De este salen los hilos para el condensador y el soporte, y en frente de este último y á conveniente altura se ve asomar el tubo colimador con la ranura del espectroscopio.

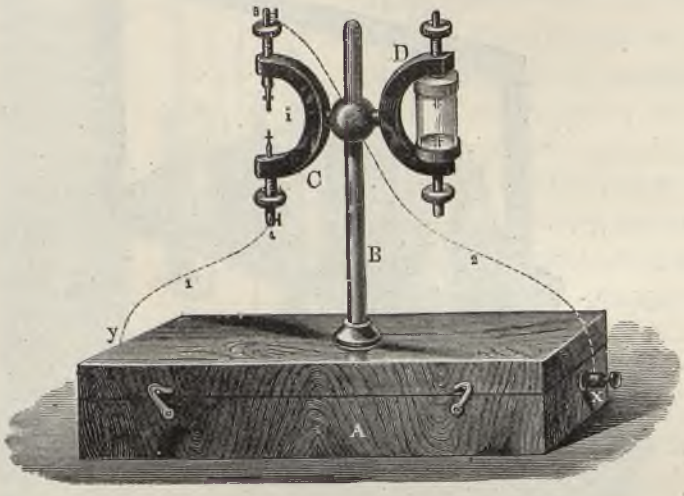


Fig. 238.—Condensador de Browing

Este aparato ha sufrido una modificacion importante por parte de Browning; en lugar de la botella de Leyde ordinaria, emplea este constructor unas láminas de ebonita forradas de estaño por ambas caras, colocadas en número de cuatro ó seis en una caja A, fig. 238. Un mecanismo sencillo que va en el interior permite hacer uso de una ó de todas las láminas condensadoras segun lo exige la marcha del análisis; la varilla metálica B, con los dos soportes de ebonita C, D para alambres ó cápsulas de vidrio, va atornillada en la tapa de la caja, dentro de la cual se guarda, al desarmar el aparato. Las sustancias que han de estudiarse ó los hilos metálicos se insertan en las piezas de platino 3 y 4, de donde salen por las cabezas de los tornillos los alambres conductores 1 y 2 que terminan en los polos x z de las láminas de ebonita de la caja condensadora. Todo el aparato puede ponerse en comunicacion por medio de los mismos tornillos 3 y 4, con el carrete de induccion. El soporte de ebonita D está preparado de modo que puedan colocarse diversos tubos de cristal con hilos conductores, cuyos detalles daremos mas adelante, y tambien tubos de Geissler ó de Plucker, así que con un solo aparato podemos examinar el espectro de los metales y sus disoluciones y de los gases.

A Seguin y Becquerel somos deudores del primer aparato ideado para el exámen de los líquidos por medio del prisma; este instrumento, empero, ha sufrido varias reformas de manos de Ruhmkorff y Browning, y el que se emplea hoy dia consiste en varios tubos de cristal, b, b_1, b_2 (figura 239) de doce á catorce centímetros de largo y unos tres centímetros de diámetro colocados en el pedestal A B; estos tubos van cerrados por un extremo y abiertos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

por el otro. Un hilo de platino introducido en el soplete por el fondo del tubo y que penetra en su interior, permite que el líquido se ponga en contacto con el polo negativo del carrete de induccion; otro segundo hilo que se hace pasar por los tubitos de vidrio a a_1 a_2 del modo que indica el grabado, sirve para cerrar el circuito; la extremidad inferior de estos hilos queda á un milímetro de distancia, poco mas ó me-

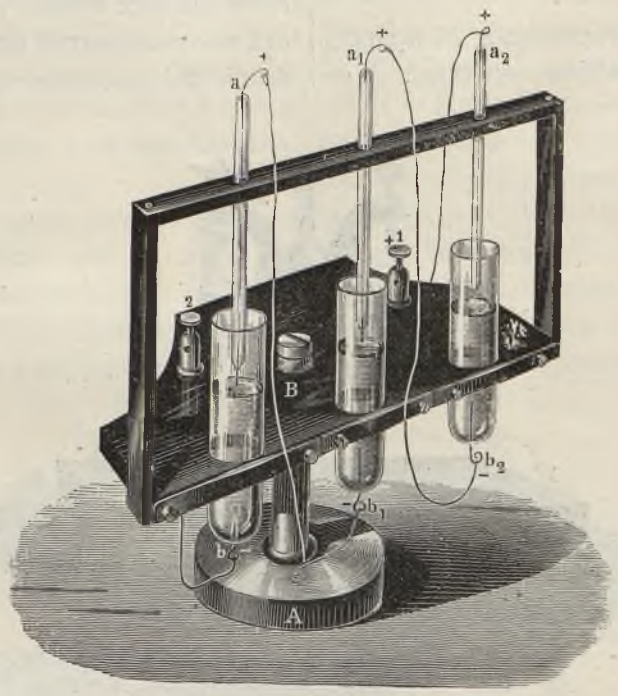


Fig. 239.—Aparato de Becquerel para el análisis espectral de los líquidos

nos, sobre la superficie del líquido del tubo grande, el cual puede cerrarse con un tapon de goma provisto de un agujero que deje paso al tubo delgado. Uniendo los pomos metálicos 1 y 2 del aparato con el inductor, de una parte, y de otra, como indica la figura, con el hilo de platino b del primer tubo y a_2 del último, y poniendo en conexion los otros hilos, a con b_1, a_1 con b_2, etc., se consigue que la corriente eléctrica pase á través de todos los líquidos y por la descarga de la chispa entre los hilos a, a_1, a_2, y las soluciones de los tubos, se volatilizan las sustancias que tienen en combinacion, haciéndose visibles sus espectros.

Cuando la marcha del carrete de induccion llega á ser tan regular y constante que la interrupcion de la corriente y por lo tanto el paso de la chispa se sucede con gran rapidez, permanece el espectro tranquilo funcionando el aparato por espacio de varias horas, como si se tratase de una lámpara alimentada constantemente con la sustancia que se pretendiera investigar. No obstante, debido á la rápida sucesion de las chispas, suelen caldearse considerablemente los líquidos contenidos en tubos muy delgados, y para evitar este inconveniente, se emplean vasos de mayor diámetro si el estudio espectral de la sustancia va á durar varias horas consecutivas.

Las preparaciones mas convenientes que pueden utilizarse para estos experimentos son las combinaciones cloruradas de los metales; si están muy concentradas presentan espectros de gran brillantez, pero

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fácilmente se reconoce el carácter de la sustancia aun en disoluciones pobres. El color de la chispa es mas ó menos intenso

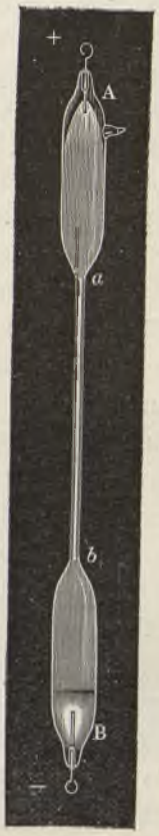


Fig. 240. — Tubo para el análisis espectral de los gases

segun la naturaleza del metal; los compuestos mas brillantes son : cloruro de sodio, amarillo; cloruro de estroncio, rojo; cloruro de calcio, anaranjado; cloruro de magnesio, verde; cloruro de cobre, azul verdoso; cloruro de zinc, azul; otros compuestos de bario, potasio, antimonio, manganeso, plata, uranio, hierro, etc., dan tambien colores muy notables y espectros característicos correspondientes. Una de las ventajas de este método de investigacion es que la chispa del hilo de platino no produce espectro directo de este metal, porque la temperatura que se produce no es suficiente para volatilizarlo completamente.

Para investigar el espectro de los gases pueden emplearse dos métodos; ó bien hacer uso de los tubos de Plucker (fig. 240) á los cuales además de los hilos de platino hay necesidad de aplicar una bomba neumática de mercurio; ó seguir el plan de Angstrom que consiste en hacer pasar la descarga eléctrica de una botella de Leyde ó de un carrete de induccion entre dos puntas de un mismo metal encerradas en un tubo de vidrio que contenga el gas que ha de examinarse. En el primer caso, el tubo R, lleno de gas en extremo rarificado, se sujeta en la mordaza de muelle B, forrada con corcho y movible sobre el pié A, que á su vez gira horizontalmente, de modo que el tubo puede colocarse en todas las posiciones que convenga. Al pasar la descarga eléctrica á través del tubo, se hace luminoso el gas que contiene y brilla con intensidad en la parte estrecha ó capilar; entonces se aproxima el espectroscopio cuidando de que la ranura esté muy cerca de esta parte del tubo y paralelamente á su longitud. En el otro sistema que consiste en hacer pasar la chispa entre dos puntas de metal en el interior del

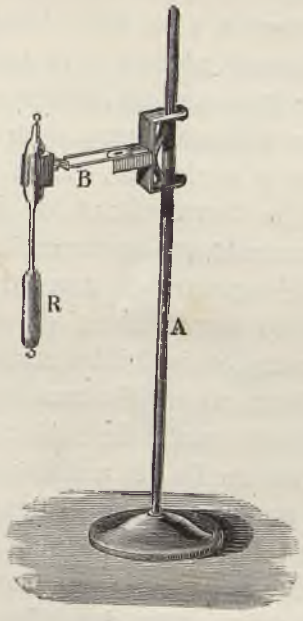


Fig. 241.—Tubo de Plucker en su pie

gas que se examina, depende el brillo del espectro de la distancia que haya entre

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dos conductores; por lo tanto se debe colocar la ranura del espectroscopio á la mitad del espacio que separe una punta de la otra, por ser este el sitio en que mas se acentúa el espectro del gas, separándose del espectro continuo que presentan los metales.

Otro método para observar el espectro de los gases á la presion ordinaria de la atmósfera, consiste en hacer pasar la chispa de induccion entre los polos de dos hilos introducidos en un tubo de vidrio, que termina por un extremo en un orificio capilar, y que por el otro se une á un vaso en que se genera el gas lentamente. El tubo lleva una ventana enfrente de las extremidades de los hilos, que se cierra con un cristal plano, por medio de unas presillas elásticas, de modo que en el interior del tubo no pueda penetrar el aire atmosférico. Esta disposicion permite que constantemente se iluminen nuevas porciones de gas, lo cual es muy importante cuando se examinan ciertos gases compuestos, que por lo general arrastran impurezas.

Bunsen y Kirchhoff demostraron que el grado de calor de la llama en que se volatiliza la sustancia y se hace luminosa no ejerce influencia alguna en la posicion de las líneas coloreadas del espectro, si bien las afecta considerablemente en cuanto á su número y esplendor. Como el brillo crece con la temperatura de la llama, ocurre á menudo que aparecen líneas brillantes en el espectro de una misma sustancia á una temperatura elevada, que eran por completo invisibles cuando el calor de la llama era mucho mas bajo. El espectro del talio, metal descubierto recientemente por medio del análisis espectral, consta de una sola línea brillante verde, cuando se volatiliza la sustancia en el mechero de Bunsen; pero si se hace pasar la chispa eléctrica entre dos hilos de talio, aparecen muchas líneas nuevas con este aumento de temperatura, entre otras unas bandas violetas á alguna distancia de la hermosa línea verde. El litio, á una temperatura moderada, no da mas que la línea magnífica roja á que ya hemos aludido; á una temperatura mas alta aparece una línea débil anaranjada y Tyndall pudo observar con el calor exagerado del arco voltáico, durante una conferencia, la adicion de una banda brillante azul.

La línea principal roja (Ka) del potasio puede hacerse aparecer y desaparecer segun que la temperatura aumente ó disminuya; si se emplea el mechero ordinario de Bunsen que produce una temperatura moderadamente alta, siempre se presenta esta línea en el espectro del potasio; pero si se aumenta la temperatura inyectando mas aire en la llama con un fuelle, inmediatamente desaparece. En el arco voltáico aparece doble; además observó Huggins unas diez y seis líneas mas, las que se mostraban cuando se hacia saltar la chispa entre dos electrodos formados de potasio.

Si se queman en un mechero de Bunsen unos cuantos gramos de sal comun, emite la llama un vivo color produciendo su espectro una sola línea amarilla. Si la temperatura de la llama se eleva por suministrarle mayor cantidad de oxígeno, aumenta inmediatamente el brillo de esta línea y el número de bandas coloreadas crece en tal proporcion, que casi se forma un espectro continuo; en el aparato de Debray puede elevarse la temperatura del vapor de sodio hasta 2,500 grados centígrados, y entonces aparecen tan numerosas las líneas brillantes que los diversos colores se funden unos en otros produciendo un espectro continuo; esto consiste en que la primitiva llama amarilla del sodio se ha convertido en blanca con la elevacion de temperatura y emite rayos de todos los grados de refrangibilidad.

Plucker y Hittorf obtuvieron resultados análogos en sus investigaciones sobre los gases y vapores luminosos que les permitieron demostrar la existencia de dos espectros diferentes (de primero y segundo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

órden) en el hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo, azufre, selenio, etc. El espectro de primer órden es continuo con bandas oscuras; el de segundo órden consta de líneas estrechas brillantes sobre un fondo negro; el primero aparece con la descarga eléctrica de tension moderada y el segundo con una temperatura mucho mas elevada como la que se produce en los tubos de Geissler y la chispa eléctrica de alta tension.

En algunos casos, no obstante, y empleando la misma clase de descarga eléctrica, se obtienen diversos espectros segun el

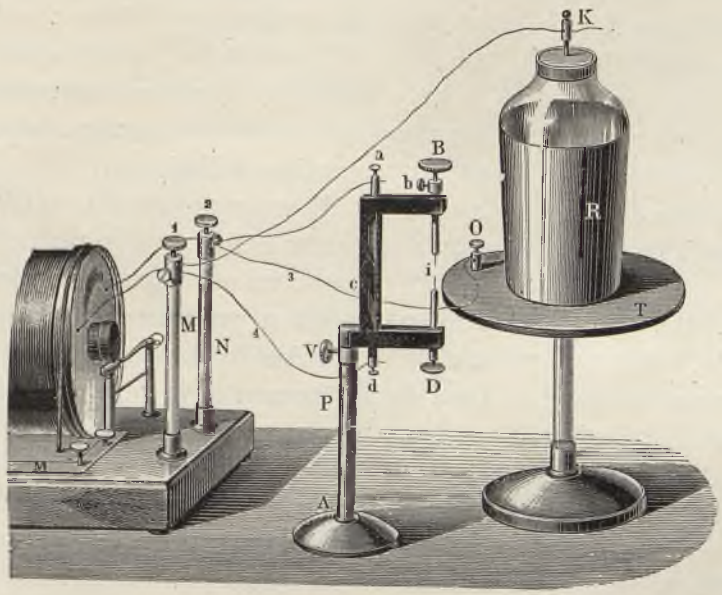


Fig. 242.—Experimento de análisis espectral

grado de densidad de los gases encerrados en los tubos. Wülner se ha ocupado de estas investigaciones obteniendo, dos, tres, y aun cuatro espectros del hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, segun el grado de densidad de cada uno de estos gases.

Se observa un fenómeno en extremo notable con el hidrógeno, haciendo uso de un gran carrete de induccion de Ruhmkorf puesto en funcion por una batería de seis ó mas elementos de Grove, é introduciendo en el circuito un condensador de Leyde.

Cuando la presion á que se encuentra sometido el gas es inferior á un décimo de milímetro de mercurio, es discontinuo el espectro y consiste en seis grupos de líneas verdes en extremo brillantes. Al aumentar la densidad del gas aparece, temporalmente, usando una corriente de induccion no muy fuerte, un espectro formado de bandas ó fajas coloreadas, que pronto se convierte en espectro líneal si la presion del gas llega á dos décimos de milímetro; en pasando de este límite se ilumina la parte roja, y en dos lugares la verde, y si sigue aumentando la presion, adquiere el espectro un carácter mas marcado con bandas ó columnas que se extienden desde el anaranjado al azul, si bien aun se distinguen una porcion de líneas brillantes que cruzan de H *alfa* á H *beta*. Hasta la presion de 12 centímetros conserva el espectro toda su brillantez, pero desde este punto comienza á decrecer gradualmente de intensidad sin que se altere esencialmente su carácter general, exceptuando la mayor anchura que ofrecen las líneas brillantes, segun observó Plucker.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Si se aumenta mas todavía la presion, crece en proporcion el brillo del espectro, reaparecen el anaranjado y el amarillo, la línea H *alfa* permanece aun muy brillante con alguna confusion, sin embargo, en los bordes. Desde esta línea sigue un espectro por completo continuo y sin bandas, que se extiende del anaranjado al violeta, presentando su brillo máximo en el lugar que ocupa la línea H *beta*. Si es mayor todavía la densidad del gas, tambien crece el esplendor del espectro; á la presion de 73 centímetros aun se percibe una débil mancha luminosa en el lugar que ocupa H *alfa*, que deja de ser visible en absoluto si se aumenta la presion hasta un metro.

En este caso es continuo el espectro entre H *alfa* y H *beta*, lo mismo que el de un cuerpo sólido incandescente, si bien su brillo se encuentra distribuido de un modo algo diferente, y llega á elevarse tanto la temperatura del tubo por el calor del gas, que la línea del sodio aparece como una raya amarilla brillante, debida á la incandescencia de este metal contenido en la atmósfera, en contacto con las paredes del tubo. Con una presion de 122 centímetros el espectro sigue siendo realmente deslumbrador y aun á la presion de 133 centímetros pasa la descarga eléctrica del condensador á través del tubo, si bien con intermitencias y como á ráfagas.

Los cambios sucesivos por que pasa el espectro del hidrógeno á medida que se aumenta la densidad del gas de un modo gradual, desde su mínimo, hasta la presion máxima en que ya deja de propagarse la corriente eléctrica, son como sigue:

1.° Espectro con seis líneas en el verde.
2.° Espectro transitorio de bandas (I órden).
3.° Espectro de tres líneas (II órden).
4.° Espectro de bandas mas completo y permanente (I órden).
5.° Espectro continuo puro.

Que el espectro sombreado de bandas difiere esencialmente del continuo lo demostró ha tiempo Wüllner por sus observaciones con la botella de Leyde. Cuando se introducia el condensador no era visible el espectro sombreado, pero con un aumento de presion el espectro de las tres líneas H *alfa*, H *beta* y H *gamma* pasaba en seguida á ser un espectro continuo por el ensanche de estas mismas líneas; es inexacta, pues, la descripcion, que hemos dado mas de una vez de que un espectro de bandas sea de I órden, ó de que existan dos espectros continuos distintos.

El oxígeno presenta un fenómeno semejante; á una presion pequeña aparece primero un espectro de bandas; al crecer la presion, pasa á ser un espectro lineal como Plucker lo designa, cuyo brillo disminuye al aumentar la densidad del gas, hasta que á una presion de veinte centímetros apenas es visible. Entonces aumenta su esplendor y al mismo tiempo aparece como fondo un espectro continuo puro, sin sombra alguna, que llega á ser tan brillante en las regiones del rojo y del amarillo, que acaban por mezclarse con él las líneas del otro espectro, las cuales se pierden de vista ofuscadas por el esplendor del espectro que sirve de fondo y que viene como á invadir todo el cuadro.

Se marca en el nitrógeno con gran distincion el cambio del espectro de bandas (I órden) al continuo, pues á determinada densidad del gas desaparece el espectro primero siendo reemplazado por un espectro lineal de II órden sobre fondo oscuro; despues de esta transformacion se hace luminoso y continuo el fondo.

Si estas investigaciones de Wüllner demostrasen de un modo concluyente que los diversos espectros de un gas dependen de su densidad y que el espectro continuo se forma á la densidad máxima y con la corriente de induccion mas poderosa que puede atravesarlo, aun tendríamos que inquirir el papel que en todo esto desempeña la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

temperatura del gas, puesto que desconocemos la relacion que existe entre la calidad de la corriente eléctrica y la temperatura de la chispa ó del gas brillante. Todo parece indicar, sin embargo, que el espectro de bandas (I órden) es característico de temperaturas bajas, conclusion á que llegaron los primeros, Plucker y Hittorf, quienes obtuvieron siempre espectros de bandas con una simple corriente de induccion, y espectros lineales agregando al circuito un condensador. Wüllner confirmó luego este extremo con sus observaciones sobre un gran número de gases.

El espectro lineal (II órden) resulta de un grado mayor de calor, y el continuo de la temperatura máxima que sea posible alcanzar. El espectro de seis líneas aparece á la presion mínima en iguales condiciones de la descarga eléctrica; la temperatura del gas que produce este espectro es por lo tanto superior á la del espectro de bandas.

Puesto que el espectro continuo aparece únicamente con la temperatura mas elevada, indispensable para hacer luminoso un gas muy denso, de modo que la llama amarilla del sodio se pone blanca cuando arde en una corriente de oxígeno emitiendo en este caso rayos de todos grados de refrangibilidad, de igual manera se conduce la llama del hidrógeno, que por lo comun es tan poco luminosa, si se hace que arda en una enérgica corriente de oxígeno comprimido, pues en este caso, el aumento de temperatura cambia el color de la llama que se pone blanca emitiendo un espectro continuo.

La incertidumbre en que nos dejan estas investigaciones en cuanto á saber si las diferencias de los espectros del hidrógeno deben atribuirse principalmente al influjo de la presion, ha de disiparse antes de que pueda determinarse por el aspecto de uno ú otro espectro, considerando el valor de la presion á que se somete el gas, lo cual es tanto mas indispensable despues de los últimos trabajos de Secchi sobre el espectro del hidrógeno, nitrógeno, bromo y cloro.

El método empleado por el P. Secchi se reducia á enviar una chispa eléctrica producida en una máquina de Ramsden ordinaria, á través de un tubo lleno de nitrógeno rarificado; este tubo estaba dividido en tres porciones de distinto calibre, la primera capilar, la segunda de 3 décimos de milímetro de diámetro, y la tercera de siete décimos de milímetro poco mas ó menos. Cuando se ponia el conductor en comunicacion con uno de los hilos de platino del tubo, y el otro hilo con el cojinete de friccion, se veia en el tubo capilar tan solo el espectro de I órden que consistia en bandas estrechas luminosas, que no dejaban de presentar cierto parecido con el aspecto ondulado de un tejado; cuando, por el contrario, se empalmaba uno de los hilos de platino con la bolita metálica de un excitador, y se hacia pasar la chispa uniendo el otro hilo á la tierra, cambiaba el aspecto del espectro segun la longitud de la chispa. Con una chispa de dos centímetros de largo brillaba el tubo capilar con una luz verde exhibiendo el espectro lineal ó de II órden, mientras que las porciones mas anchas del tubo daban un espectro de bandas ó de I órden. Con una chispa de suficiente longitud, por lo tanto, pueden verse á un mismo tiempo tres clases de espectros; en la porcion mas estrecha del tubo el espectro de segundo órden con líneas brillantes y en las otras dos porciones mas anchas espectros acanalados. Uno de estos últimos lo describe Plucker como compuesto de bandas muy angostas de las que se necesitan ocho para ocupar el espacio de tres de las del otro espectro. El mismo fenómeno tiene lugar si en vez de una máquina eléctrica se emplea un carrete poderoso de induccion y se introduce un condensador en el circuito

Análogos resultados se obtuvieron con el bromo, el cloro y el hidrógeno, los que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

prueban que en diferentes secciones del mismo tubo lleno de gas de igual densidad pueden obtenerse espectros de diversos órdenes á un mismo tiempo. Luego el influjo del diámetro del tubo sobre la temperatura del gas confinado es igual, á no dudar, al que se produce en los hilos metálicos, en los que se ha probado que el calor crece en razon inversa del cuadrado del diámetro. Se deduce, pues, que la temperatura del gas es mayor en la parte capilar del tubo y que á presion igual del gas el espectro acanalado (I órden) corresponde á una temperatura mas baja que el espectro lineal (II órden).

La temperatura á que se producen estos diversos órdenes de espectro no es una misma para todos los gases. En un tubo que contenga nitrógeno y vapor de agua, aparecen las líneas del hidrógeno (II órden) al mismo tiempo que el espectro acanalado ó de bandas (I órden) del nitrógeno, lo que demuestra que las líneas del hidrógeno son visibles á una temperatura en que no aparecen aun las del ázoe.

El ancho ó espesor de las líneas del espectro depende en general de la abertura que se dé á la ranura del espectroscopio; si se agranda la ranura, se ensanchan las líneas en proporcion, sin que disminuya su brillo por esto. El espesor de las líneas, por regla general, no es menor que el de la ranura, pero tambien se observan líneas mas anchas que aquella; forman excepcion á esta regla algunas líneas del espectro de los gases cuando se producen á diversas temperaturas. Es tan importante el lugar que ocupa el espectro del hidrógeno en la investigacion de la constitucion física del Sol y otros cuerpos celestes, que nos parece indispensable mencionar aquí varios hechos relacionados con la dilatacion y contraccion de sus tres rayas características.

Plucker y Hittorf fueron los primeros en observar que en un tubo estrecho lleno de hidrógeno, las tres líneas características H *alfa*, H *beta* y H *gamma* aparecian á cierto grado de rarificacion.

Elevando la temperatura del tubo por la introduccion de la botella de Leyde ú otro medio que dé mayor intensidad á la descarga eléctrica, se nota primero un aumento ó extension de la línea H *gamma* hácia ambas extremidades del espectro; luego se ensancha la línea H *beta* mientras que H *alfa* permanece invariable hasta que H *gamma* se convierte en una banda violeta ancha y mal definida y H *beta* disminuye de intensidad extendiéndose en ambas direcciones. Con una presion de 6 centímetros pasa el espectro de lineal á continuo; y á una presion de 35 centímetros crece de tal modo la intensidad del espectro que la línea roja H *alfa* convertida en este caso en una banda ancha, apenas se destaca del resto de la faja espectral.

Cuando está el gas muy rarificado, la línea H *alfa* es la primera en desaparecer, permaneciendo H *beta* perfectamente visible.

Estas observaciones acerca de la presion fueron confirmadas por Wüllner del modo siguiente: á la presion de 23 milímetros la línea H *gamma* aumenta de espesor de un modo considerable, H *beta* algo menos y H *alfa* permanece invariable. Cuando la presion crece hasta 45 centímetros las líneas H *alfa* y H *beta* se ensanchan de tal manera que en su lugar aparecen bandas continuas de color y H *alfa* solo es visible como una línea difusa, ancha, que crece hasta la presion de 56 centímetros en cuyo punto es ya continuo por completo el espectro convirtiéndose H *alfa* en un simple espacio rojo.

Descubrió el P. Secchi haciendo uso de tubos de distintos calibres, que con la disminucion de la temperatura y de la tension de la chispa eléctrica, decrece la anchura de las líneas del hidrógeno; y tambien, que permaneciendo constante la anchura de la ranura llegaban á desaparecer, ó por lo menos á adelgazarse tanto, que apenas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

eran perceptibles en las porciones de mayor diámetro del tubo, mientras que se

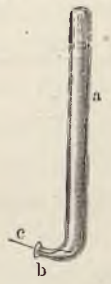


Fig. 243.— Tubo de Mitscherlich

percibian con toda claridad en la parte capilar. Se deduce por consiguiente que con una misma presion del gas se adelgazan las rayas si disminuye la temperatura, de modo que para una densidad determinada hay un límite de temperatura en que desaparecen las tres líneas brillantes del hidrógeno; conocida la temperatura del gas, es posible teóricamente determinar su presion, pero este problema es muy difícil de realizar en la práctica.

Llegaron á descubrir Bunsen y Kirchhoff en sus primeros trabajos sobre el influjo que ejerce la temperatura en la pureza de las reacciones espectrales, que el espectro de los metales alcalinos y térreos crecia en intensidad al aumentar el calor; pero no

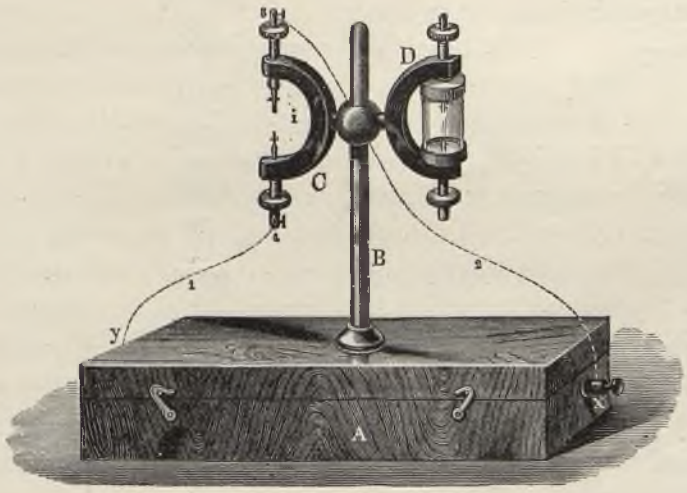


Fig 244 —Condensador de Browning

pudieron averiguar si este mayor brillo resultaba simplemente del aumento de volatilizacion de los metales, ó de la superior delicadeza de las reacciones espectrales. Cappel se ha ocupado en estos últimos tiempos de este mismo asunto: volatilizó entre los polos de una pequeña máquina de induccion que producia chispas de dos centímetros de longitud, diversas soluciones metálicas preparadas en tubos de Mitscherlich de modo que el espectro pudiese durar algun tiempo. Las disoluciones de los cloruros metálicos estaban dispuestas por series, y cada tubo contenia un producto de distinto grado de concentracion; el espectro del metal que estaba en comunicacion con el polo positivo se observaba constantemente á medida que se hacia pasar la descarga eléctrica á través de disoluciones cada vez mas concentradas, hasta que se veian con toda claridad las líneas peculiares de la sustancia, cuyas posiciones se determinaron de antemano con un mismo espectroscopio.

Los resultados de estas investigaciones se dan en la siguiente tabla;

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Número	Nombre del metal	SUSCEPTIBILIDAD EN MILIGRAMOS	
		Con la chispa de induccion	Con el mechero de Bunsen
1	Cesio	1/4,000	1/25,000
2	Rubidio	1/1,000	1/7,000
3	Potasio	1/400	1/3,000
4	Sodio	—	1/14 000,000
5	Litio	1/40 000,000	1/600,000
6	Bario	1/900,000	1/2,000
7	Estroncio	1/100 000,000	1/30,000
8	Calcio	1/10.000,000	1/50,000
9	Magnesio	1/500,000	1
10	Cromo	1/4.000,000	—
11	Manganeso	1/200,000	1/83
12	Zinc	1/600,000	—
13	Indio	1/90,000	1/2,000
14	Cobalto	1/15,000	—
15	Nikel	1/600	—
16	Hierro	1/26,000	—
17	Talio	1/80 000,000	1/50,000
18	Cadmio	1/18,000	—
19	Plomo	1/20,000	—
20	Bismuto	1/70.000	—
21	Cobre	1/20,000	1/285
22	Plata	1/12,000	—
23	Mercurio	1/10.000	—
24	Oro	1/4.000	—
25	Estaño	1/17,000	—

La tercera columna indica la cantidad mínima de sustancia metálica necesaria para producir la línea característica principal, por lo tanto, la mas sensible de todas. Demuestra tambien que empleando esta cantidad mínima de sustancia metálica consta el espectro de una sola línea, exceptuando el cobre, cuyo espectro, aun con el menor grado de impureza presenta tres líneas. La cuarta columna se ha formado compulsando observaciones antiguas con modernas.

Dedúcese de esta tabla que, con excepcion de los álcalis, la susceptibilidad de las reacciones espectrales de los metales y aun del mismo litio, es de 40 á 3,000 veces mayor en el calor de la chispa eléctrica que en la temperatura de la llama oscura del hidrógeno. Muchas líneas nuevas aparecen en el espectro de la chispa de induccion

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que son invisibles á una temperatura mas baja. Hace ya algun tiempo que Roscoe y Clifton estudiaron el distinto aspecto que ofrecen los espectros del calcio, estroncio y bario, indicando que á la baja temperatura del mechero de Bunsen ó de una chispa débil, el espectro observado se produce por algun compuesto, probablemente por el óxido del metal irreductible; por el contrario á la elevadísima temperatura de una descarga de induccion intensa, se descomponen estos cuerpos apareciendo el verdadero espectro del metal. En ninguno de los espectros de los metales alcalinos mas fácilmente reductibles (potasio, sodio, litio), se observa la menor desviacion ó desaparicion de la luz máxima por diferencia de temperatura.

En una Memoria publicada recientemente por Huggins sobre el espectro del erbio y otras tierras, el autor, despues de describir las líneas que se ven en el espectro de algunos metales hechos incandescentes en la llama de oxi-hidrógeno, se pregunta al hablar de la naturaleza del vapor que produce las líneas brillantes de la cal, magnesia, estronciana y barita: ¿es el óxido volatilizado ó el vapor del metal reducido por el calor en presencia del hidrógeno de la llama? Los experimentos indican que el vapor luminoso es el mismo que se produce por la exposicion de los cloruros metálicos al calor de la llama de Bunsen. El carácter comun de estos espectros de bandas de cierta anchura, que en muchos casos se desvanecen en la proximidad de los bordes, es distinto del que se observa en el espectro de estos mismos cuerpos cuando se emplean como eléctrodos en estado metálico.

Como los experimentos que se mencionan en esta Memoria indican que el mismo espectro se produce por la exposicion de los óxidos en la llama de oxi-hidrógeno, la suposicion de Roscoe y Clifton de que estos espectros se deben á la volatilizacion del compuesto del metal combinado con el oxígeno es sin duda alguna exacta. El carácter semejante del espectro de líneas brillantes que se observa en el erbio incandescente parece indicar que esta tierra no es volátil en corto grado, como la magnesia, la cal, etc. No obstante, la particularidad de las líneas brillantes del erbio observadas por Bahr y Bunsen, de no ser visibles en la llama pasados los límites de solidez del metal, merece una atencion especial. Los experimentos de Schellen para percibir las líneas en la llama de Bunsen, aun con un hilo muy delgado con objeto de que el erbio adquiriese la temperatura de la llama, fueron infructuosos; la línea brillante del verde aparece como extendida sobre el resto del espectro, pero esto puede atribuirse muy bien á un efecto de irradiacion.

Debemos de hacer notar, sin embargo, que los cloruros de sodio, potasio, litio, cesio y rubidio, dan espectros de líneas definidas cuyo carácter no se altera por la introduccion de una botella de Leyde y que, refiriéndonos al sodio, potasio y litio sabemos que se parecen al espectro obtenido cuando se usan eléctrodos de metal. Ahora bien, todos estos metales pertenecen al grupo monoatómico.

El cloruro argéntico introducido en la llama de Bunsen no da líneas de ninguna clase; si se mezcla con alúmina que tan solo da un espectro continuo y se expone á la llama oxhídrica, tampoco se perciben líneas, pero si se coloca el cloruro húmedo sobre un poco de algodon y se le hace sufrir la descarga eléctrica sin condensador, el espectro del verdadero metal aparece lo mismo que si se usasen eléctrodos formados de plata.

La manera de conducirse de la plata es, por lo tanto, análoga á la de los demás metales del grupo monoatómico; la diferencia de relaciones básicas que se sabe que existe entre los óxidos de los metales monoatómicos y los de los poliatómicos, concuerda con la distincion que muestra el espec-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

troscopio en la manera de conducirse de sus cloruros; los cloruros de los metales poliatómicos manifiestan mayor tendencia á la descomposicion en agua y ácido clorhídrico en presencia del agua.

En muchos casos parecen corresponder una ó mas líneas de los óxidos y cloruros con las líneas del espectro metálico; puede ocurrir, por lo tanto, que en algunas circunstancias, por ejemplo, con el magnesio en combustion al aire libre, el vapor metálico y el óxido volatilizado se presenten á un mismo tiempo.

Como resultado práctico de las investigaciones de Cappel parece demostrado que el análisis espectral de los álcalis es mas conveniente empleando la temperatura de la llama de oxi-hidrógeno y que para los demás metales debe de hacerse uso de la chispa eléctrica. Parece probable que si se produce una tension superior, como por ejemplo, introduciendo en el circuito el condensador de Browning (fig. 244), la sensibilidad de las reacciones del espectro en un gran número de metales supera los límites que antes señalamos, á consecuencia de la elevacion de temperatura.

Es de suma importancia la eleccion de la temperatura mas conveniente en los trabajos de análisis espectral, lo cual se demuestra con el ejemplo del estroncio; si tomamos $^1/_{10^0}$ de milígramo de este metal, cantidad que es posible apreciar por el método analítico ordinario, empleando el mechero de Bunsen podremos obtener su espectro con $^1/_{300}$ de esta insignificante fraccion, pero con la chispa eléctrica tan solo necesitamos $^1/_{5000}$ parte para que el espectro nos revele con toda certidumbre la existencia de la sustancia. Por esto Cappel insiste, con razon, en que deben emplearse temperaturas muy elevadas para descubrir nuevos elementos con auxilio del método espectrométrico.

V

Los colores de los objetos naturales

Además de los colores del espectro que son los elementos simples de que se compone la luz blanca, hay otra clase de colores aparentes en todos los cuerpos que se conocen, que son por consiguiente los tonos ó matices de los objetos naturales. Cuando observamos que un cuadro está formado por varias capas de pinturas diversas extendidas con arte sobre el lienzo, que las hojas y flores brillan con matices variados é inimitables, ó que una tela blanca puede teñirse de rojo, verde ó azul segun el color del líquido que se escoja para este objeto, nos sentimos inclinados á creer que todo cuerpo posee en sí mismo su propio color, el cual es inherente á su naturaleza particular; á lo mas que podedemos extendernos es á admitir que la luz es un requisito indispensable para que el color sea visible.

Y sin embargo, no es esto así; si los colores fuesen en realidad inherentes á los objetos, todo cuerpo coloreado manifestaria siempre el mismo tono independientemente de la clase de luz que lo iluminase, lo cual como todos sabemos dista mucho de ser verdad. Una tela de color de un hermoso violeta á la clara luz del dia, aparece con el gas triste y agrisada; los cuerpos que con la luz solar nos parecen de un azul brillante, iluminados por el gas ó una bujía se vuelven verdosos y descoloridos. Si miramos un paisaje á través de un cristal de color cambia la coloracion de los objetos sin que se alteren por lo demás las proporciones de los cuerpos; si el tono del vidrio es muy oscuro desaparece el matiz particular de cada cuerpo y todos ellos se ven del mismo color que tenga el cristal. Una cosa análoga ocurre cuando se empapa la mecha de una lámpara de alcohol en una disolucion de sal comun, pues entonces desaparecen los colores de los cuerpos inmediatos y todos se ven teñidos mas ó menos de amarillo que es el color de la llama. Estos hechos prueban palpablemente que los colores no son inherentes á los objetos, que no tienen existencia indepen-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

diente y que se deben á alguna causa extraña.

De otro lado muestran estas consideraciones que debe de existir algo en los cuerpos que ayude á la formacion del color, puesto que rara vez toman el mismo color de la luz que los ilumina, sino que aparecen, por regla general, de un tono distinto.

El color natural ó propio de un cuerpo es aquel con que aparece cuando lo ilumina la luz pura y blanca del Sol ó la luz difusa reflejada por la atmósfera pero cuyo orígen es idéntico; se dice que el color es rojo, ó azul, ó verde etc. cuando así aparece á la luz del dia. Ahora bien, si se ilumina un cuerpo con luz blanca, y sin embargo aparece de otro color, la causa de este cambio debe buscarse en el influjo que ejerce la superficie del cuerpo en las ondas etéreas que constituyen la luz blanca. Los efectos de esta influencia son muy diversos segun la naturaleza de la materia colorante que posee el cuerpo; pero muy bien pueden reducirse á uno ó dos casos; ó bien una parte del movimiento etéreo es absorbido por completo, ó cuando menos muy disminuido al pasar á través de los átomos de la materia ponderable de la sustancia como para desarrollar luz en vez de calor, ó bien las ondas etéreas se reflejan irregularmente en la superficie del objeto, como á veces ocurre con las ondas sonoras. En el primer caso se dice que los rayos han sido absorbidos y en el segundo difundidos.

Cuando la superficie de un cuerpo tiene la propiedad de absorber todos los colores del espectro solar con excepcion de uno solo, v. gr., el rojo, aparece este cuerpo para nosotros de semejante tinte á la luz del dia porque este color y no otro alguno es el que refleja á nuestra vista. Por el contrario, cuando tiene la facultad de absorber varios rayos, v. gr., el rojo y el anaranjado, reflejando los otros, esto es, el amarillo, el verde y el azul, el color del objeto será el que produzca la mezcla de los colores no absorbidos. Ahora bien, como la luz blanca contiene toda la escala de los colores visibles en el espectro, fácilmente se comprende por qué se observan tan distintos matices, que casi pudiéramos llamar infinitos en los cuerpos naturales.

Cuando un cuerpo refleja todos los rayos coloreados que componen la luz blanca en igual proporcion, aparece el cuerpo blanco á la claridad del dia ó sea á la luz del Sol, y brillante en relacion á la cantidad de luz que refleje. En debida proporcion, sin embargo, como refleja menor número de rayos de todas clases, el color blanco pierde de intensidad y el cuerpo aparece primeramente gris, luego oscuro y por último negro cuando absorbe todos los rayos que caen en su superficie sin que se refleje ni uno solo. Son negros por lo tanto todos aquellos cuerpos de tal manera constituidos que absorben la luz por completo, esto es, que absorben todos y cada uno de los rayos coloreados que forman la luz blanca. Los cuerpos blancos son los que reflejan todos los rayos que caen en su superficie y los cuerpos coloreados los que absorben una clase de rayos y reflejan los demás.

Es posible, pues, que un cuerpo blanco aparezca de diversos colores; si es iluminado por una luz roja aparecerá rojo; si es azul la luz que recibe, azul lo veremos, y así de los demás colores; por el contrario, un cuerpo negro siempre se ve negro sea la que quiera la clase de luz que lo ilumine.

Tambien ocurre que una sustancia coloreada presenta diversos tonos segun que es iluminada por una luz de tal ó cual color; por ejemplo, el bermellon colocado á la luz roja toma un aspecto aun mas rojizo que el suyo propio ó el que llamamos propio á la luz del dia; con luz amarilla ó anaranjada toma este mismo color, pero mas profundo; parece pálido con luz verde y casi negro con luz añil ó violeta.

Estos fenómenos se explican suponiendo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que las superficies de los cuerpos coloreados tienen la propiedad de reflejar los rayos de un color particular en proporcion mucho mas considerable que los de los demás colores; por esta razon no aparecen negros cuando son iluminados por una luz que difiere de su color natural propio. Tomemos por ejemplo, un pedazo de papel cuya mitad está pintada de azul oscuro y la otra mitad de encarnado; los rayos coloreados distintos del rojo y el azul no son absorbidos ni poco ni mucho; es verdad que la parte azul refleja los rayos de este color con preferencia á los demás y en mayor número, y otro tanto hace la porcion encarnada con los rayos de su color, pero el rojo tiene la propiedad de reflejar, si bien en proporcion escasa, los rayos de otros colores. Si la luz amarilla de la llama de una lámpara de alcohol impregnada de sal comun, ilumina dicho pedazo de papel en una habitacion completamente oscura, aparecerá este negro si la materia colorante no refleja mas que los rayos rojos y azules, porque los rayos amarillos del sodio incandescente serán absorbidos y no hiere ninguna otra luz la superficie del papel; pero esto no es así. El papel solo aparece negro en la region azul; la mitad roja está aun visiblemente coloreada si bien con un tono amarillo muy marcado. Deduciremos por lo tanto, que el azul del papel no refleja los rayos amarillos, pero que el rojo posee esta facultad si bien en grado pequeño. Casi todos los objetos coloreados obran de un modo análogo al del papel encarnado; reflejan con preferencia un color particular, es decir, aquel que parece el suyo á la luz del dia, mas tambien pueden reflejar en corta escala todos los demás, ó cuando menos otros colores y así varian de tono segun la calidad de la luz que los ilumina.

Los colores de los objetos rara vez son puros y simples como los del espectro; muchos de ellos se componen de varios colores y pueden descomponerse en sus elementos originales por el prisma; así como sin descomposicion prismática no podemos decir por la simple inspeccion de su color qué colores absorbe ó refleja un cuerpo, de igual manera nos es imposible decidir por el color de la llama cuál puede ser la descomposicion de su luz sin mas investigacion.

La luz del Sol, la de cal, de magnesio, de gas, de petróleo y aceite, todas aparecen á nuestros ojos mas ó menos blancas, y sin embargo, sus espectros presentan diferencias muy marcadas; cierto es que contienen la serie entera de los colores del iris del rojo hasta el violeta, pero cada color se exhibe en distinta proporcion. La luz del gas, del aceite y de las bujías tiene menos azul que la del Sol y la de cal, y mucho menos violeta; una sustancia azul reflejará por lo tanto menos azul iluminada por una lámpara de gas ó por una vela, que por la luz del dia; el tinte será pálido y algo verdoso á causa de la preponderancia de la luz amarilla. El azul y el violeta en particular reciben un tinte verdoso á la luz de una bujía, y á veces, segun sea la naturaleza de la materia colorante empleada, llega á marcarse tanto el color que con la luz artificial no se distingue el azul del verde.

Dijimos antes que absorcion significaba el cambio que sufre la luz al pasar por ciertos medios ó al reflejarse en la superficie de los cuerpos, debilitándose ó desapareciendo por completo. Vimos que las sustancias llamadas negras absorben rayos de todos colores y no reflejan luz alguna en su superficie y que otros cuerpos absorben con gran avidez rayos de ciertos colores siendo insensibles para otros. La causa de esta absorcion se debe probablemente á las vibraciones del éter que se comunican á las partículas moleculares de la sustancia ponderable.

Análogos son los fenómenos que se observan cuando se trasmite la luz á través de un cristal de color; el tono rojo con que aparece un paisaje visto con un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cristal de este color se debe á que el vidrio solo permite el paso á esta clase de rayos y absorbe todos los demás; este vidrio es transparente para la luz roja y opaco para todas las demás luces de distinto color que el rojo; pero rara vez ocurre que un vidrio coloreado sea transparente respecto de un solo color y por lo comun absorben rayos de ciertos colores dejando el paso á otros en proporcion variable. A la simple

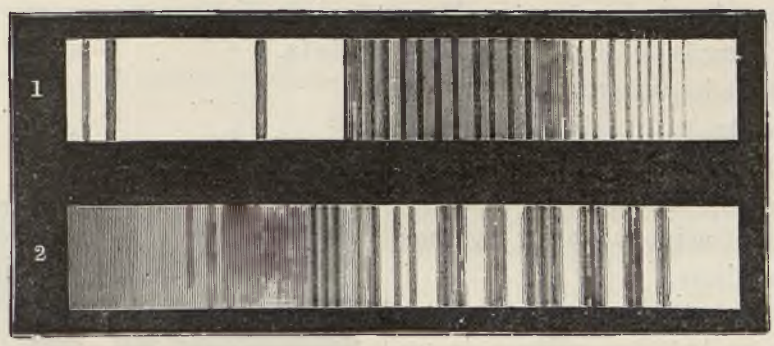


Fig. 245.—Espectro de absorcion del iodo y de los vapores nitrosos

vista no es posible decidir cuál de los rayos coloreados es el que ha atravesado el cristal; para determinarlo con exactitud es indispensable analizar la luz trasmitida con un espectroscopio ó con un sencillo prisma.

Si examinamos con el espectroscopio la

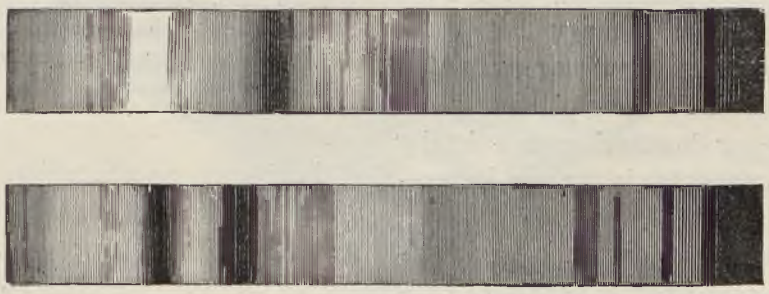


Fig. 246.—Espectros de absorcion de la materia colorante magenta y de la sangre

luz trasmitida por el cristal de color de que ya hicimos uso para obtener luz roja, verde y azul, se verá en seguida que el cristal encarnado deja pasar algunos rayos anaranjados y aun amarillos además de los rojos, pero que absorbe por completo los rayos verdes, azules y violetas; los vidrios azules llamados de cobalto trasmiten algunos rayos violetas y verdes además de los azules. Si se juntan ambos cristales y se mira á su través una llama de gas, apenas se distingue ningun rayo simple, pues como el vidrio rojo absorbe los rayos verdes, azules y violetas y el vidrio azul absorbe los rayos rojos, tan solo percibimos la llama con un tono amarillo muy débil producido por el escaso número de rayos que no han sido absorbidos ni por un vidrio ni por el otro. Una combinacion de varios cristales y tambien un solo cristal que absorba todos los rayos coloreados que componen la luz blanca es opaco, esto es, negro; no se ha podido fabricar un cristal de transparencia tan perfecta que no absorba absolutamente ninguna parte de la luz trasmitida.

El poder absorbente de los líquidos coloreados es por lo general mucho mas marcado que el de los vidrios de color. No se ha encontrado ninguno hasta la presente

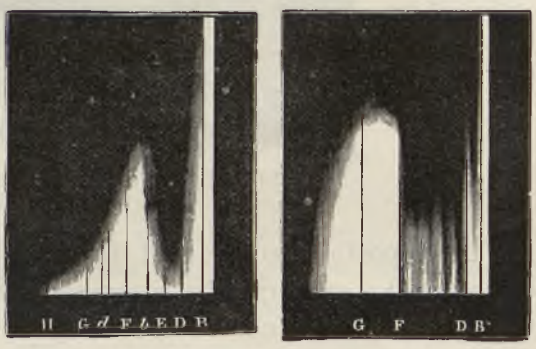
© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que absorba ó trasmita una sola clase de rayos de color; los colores de los líquidos, por lo tanto, segun se ven con la luz blanca, son compuestos, y su poder absorbente varia en relacion con la refrangibilidad de la luz que reciben y el grado de concentracion de la sustancia. Sorby, Haerlin, Hoppe y Valentin, además de Gladstone y Huggins, han delineado un gran número de materias colorantes y otros líquidos en el curso de sus investigaciones, averiguando en qué proporcion afectan sus distintos grados de concentracion las varias regiones del espectro continuo.

Para demostrar estos fenómenos ante un público numeroso hay que valerse de un foco de luz muy intenso como el de la lámpara eléctrica ó la luz de Drummond, y de aquellos líquidos absorbentes dotados de propiedades mas características, v. gr., como una disolucion de clorofila, que es la materia colorante de las hojas, en éter, ó bien de sangre humana en agua, etc., etc. Estas disoluciones se colocan en unas cápsulas rectangulares de caras planas y paralelas formadas por dos láminas de cristal y sobre ellas se concentra la luz por los medios que ya conocemos.

Así podemos determinar el poder de absorcion de diversas sustancias por el exámen de sus espectros; por ejemplo; el espectro de absorcion de los vapores nitrosos se demuestra introduciendo en el curso de los rayos luminosos entre la lámpara y el prisma una pequeña cantidad de ácido hiponítrico, el cual, en el momento en que se pone en contacto con el aire, da orígen á un humo denso y rutilante apareciendo en el espectro una multitud de líneas negras muy finas (fig. 245 núm. 2). El iodo es una sustancia que tambien emite vapor coloreado cuyo espectro se manifiesta en el núm. 1 del mismo grabado. La accion que ejerce la sangre sobre la luz es muy distinta de la que producen los cuerpos anteriores, y en vez de las líneas típicas y características que hemos observado, se nos presentan dos bandas marcadísimas en la region mas luminosa del espectro. El color de una disolucion de sangre no se diferencia demasiado del de una disolucion de magenta, pero si en lugar de usar la primera disolucion, empleamos la segunda, solo distinguiremos una banda negra aislada.

1 2



Figs. 247 y 248. — 1: Absorcion producida por el permanganato potásico. — 2: Espectro de absorcion producido por diversos espesores de una disolucion de sales de cromo.

El espectro de absorcion que ofrece el permanganato potásico es tambien muy hermoso é instructivo; en vez de las dos bandas oscuras que observamos en la sangre ó de la banda aislada de la disolucion magenta, se ven cuatro en la parte verde del espectro.

Tenemos, pues, en el análisis espectral un método que nos permite estudiar los fenómenos de irradiacion de la luz de igual manera que los de absorcion, siendo en extremo fácil por medio de la absorcion de diferentes vapores y de sustancias distintas disueltas, determinar, no solo cuáles son en realidad los cuerpos absorbentes, sino tambien la existencia de cantidades de materia excesivamente pequeñas. Haciendo pasar la luz á través de un espesor variable de la sustancia absorbente, varia asimismo el grueso de las líneas del espectro segun descubrió el Dr. Gladstone.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO VI

I

El micro-espectroscopio

Este instrumento se aplica al estudio de los fenómenos de absorcion que presentan los cuerpos sólidos y líquidos extremadamente pequeños, como los que se emplean en las preparaciones miscroscópicas, v. gr. un corpúsculo de sangre. El micrógrafo inglés Sorby auxiliado por Browning como

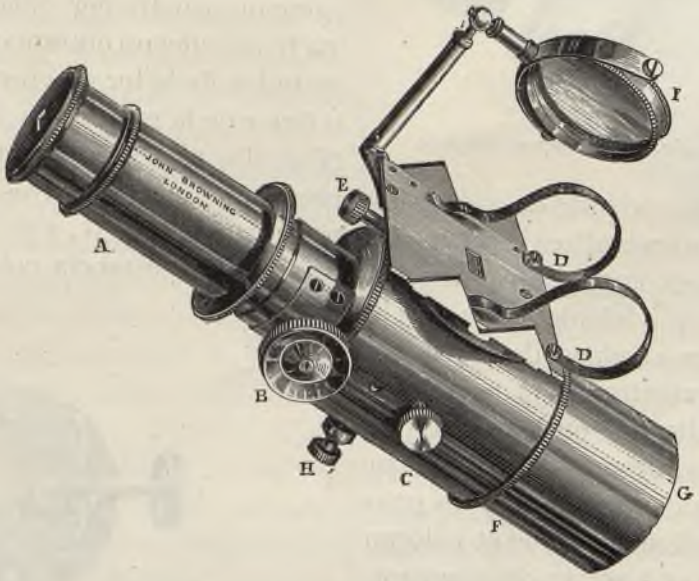


Fig. 249. — Micro-espectroscopio de Browning

artista, ha ideado una disposicion particular del espectroscopio que permite su adaptacion á cualquier microscopio insertándolo en lugar de uno de los oculares ordinarios, de modo que el análisis espectral se efectúa como si se tratase de una sencilla observacion microscópica y sin necesidad de alterar la disposicion de ninguna de las piezas esenciales del instrumento.

En los aparatos mas perfectos de esta clase, se dispone en uno de sus lados un mecanismo que permite comparar el espectro de la sustancia que se investiga con el de un cuerpo conocido; el instrumento lleva además de la batería de prismas una escala móvil para medir con exactitud la posicion de las bandas de absorcion y un prisma de comparacion.

La fig. 249 representa en perspectiva el aparato completo, dispuesto para insertarlo en el tubo del microscopio en vez de un ocular; la fig. 250 representa un corte

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ideal del instrumento que muestra su arreglo interior. El tubo A contiene un segundo tubo en cuyo interior va colocado

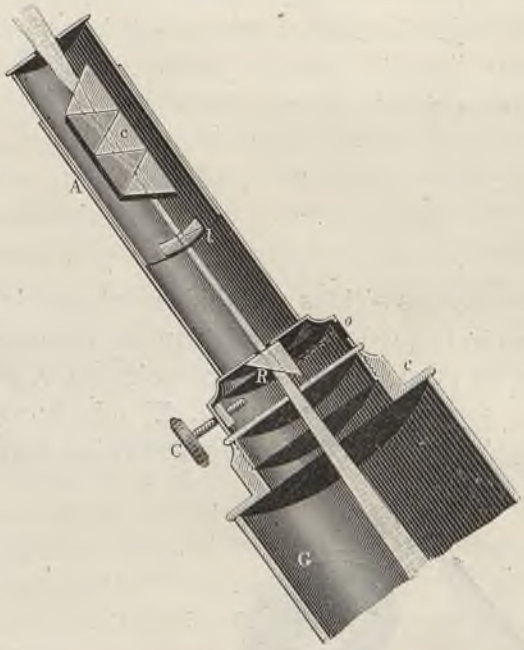


Fig. 250 —Seccion del micro-espectroscopio

un sistema de cinco prismas de vision directa *e* y una lente acromática *l*; por medio del tornillo B puede moverse el tubo interno hácia atrás y adelante hasta que la ranura colocada en el plano de los tornillos C y H se encuentre en el foco de la lente *l*; con esta disposicion los rayos que salen de la ranura, despues de pasar por la lente caen paralelamente sobre los prismas. DD es la platina en donde se colocan los cuerpos que van á servir de comparacion, que son unas veces líquidos interpuestos entre dos láminas de vidrio, y encerrados otras en pequeños tubos, ó bien sólidos transparentes; con unos muelles de acero muy delicados se sujeta el tubo de vidrio entre los bordes triangulares de la platina en tal posicion que la luz que los hiere lateralmente, despues de cruzar por el líquido, penetra por la abertura cuadrada que se ve en medio de la platina y por el orificio *o* del tubo principal para caer sobre el prisma de reflexion total R; cuando no hace falta el aparato de comparacion se cierra la abertura D, D con una chapita de corredera por medio del tornillo E, evitándose así que penetre en el instrumento la luz lateral.

La fig. 251 representa una seccion por el plano de la ranura entre los tornillos C y H; la pieza *n* está fija, pero *m* puede moverse por medio del tornillo H y del muelle antagonista que sirve para aumentar ó disminuir la separacion de las planchuelas que constituyen la ranura; inmediatamente encima de esta hay una pieza *p* que se mueve hácia atrás y adelante por el tornillo C y un muelle que obra contra él, de manera que la ranura pueda presentar diversas longitudes. El prisma de reflexion R cubre una parte de la hendidura; si se abre esta, la luz del objeto que va á servir de comparacion penetra por el lado *o* en el prisma R, se reflejará entrando en los prismas *c* en union de la luz que procede de la parte inferior de la ranura; de este modo se reciben dos espectros yuxtapuestos, el uno producido por los rayos luminosos que pasan por el tubo G, y el otro por los que trasmite la sustancia colocada en la platina D D.

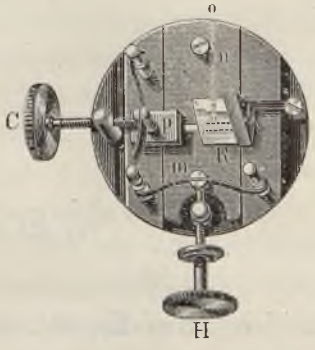


Fig. 251.— Disposicion de la ranura del micro-espectroscopio

Para hacer uso del micro-espectroscopio se separa el tubo A con los prismas y se introduce el tubo G en el lugar destinado á los oculares del microscopio comun, de modo que la ranura en el extremo del tubo mas próximo al ojo sea paralela á la ranura interior; se atornilla entonces el objetivo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en su sitio, colocando el objeto microscópico cuyo espectro se quiere analizar en la platina del instrumento; se le ilumina convenientemente segun su transparencia ú opacidad, con el espejo inferior ó con una lente condensadora por su cara superior, ajustando el foco como en un microscopio ordinario de manera que se vea la imágen amplificada con toda perfeccion. Para esto es necesario abrir bastante la ranura valiéndose del tornillo H. Se coloca entonces el tubo A con los prismas, arreglando su posicion respecto de la ranura con el tornillo B hasta que aparezca un espectro claro y definido; como cada region del espectro posee una refrangibilidad particular, hay necesidad de ajustar los prismas para cada línea negra cuando se trata de una investigacion muy delicada del espectro de absorcion. Ocioso nos parece advertir que en estos estudios se emplean amplificaciones muy moderadas.

Cuando la sustancia que se examina ha de ser comparada con el espectro de un cuerpo conocido, se emplea la platina D D, del modo que queda explicado; si se trabaja de dia se dirige el tubo del microscopio á una region del cielo bien iluminada; para obtener un efecto mejor en la iluminacion de los líquidos de la platina D D, en particular con la luz artificial, se emplea el espejo I, el cual va montado de tal modo que puede tomar todas las inclinaciones posibles respecto de la abertura de la platina.

Para determinar exactamente la posicion de las líneas de absorcion del espectro, se quita la parte superior del tubo A y en su lugar se inserta otro tubo representado en la fig. 252, que lleva un cañoncillo lateral *a a;* la lente *e* que se ve en su interior se puede ajustar por medio del tornillo *b*; en la extremidad del pequeño tubo hay un mecanismo que permite la colocacion de un cristal opaco *d* sobre el cual se traza una línea fina transparente ó una cruz por impresion fotográfica, quedando así formado un micrómetro, pues para ello la cabeza del tornillo M va dividida de un modo conveniente; frente á la abertura del tubo pequeño *a a* se coloca el espejo movible S que sirve para reflejar la luz que recibe, bien sea la del dia ó la de una lámpara en la lámina de cristal *d*. Haciendo girar el tornillo micro-

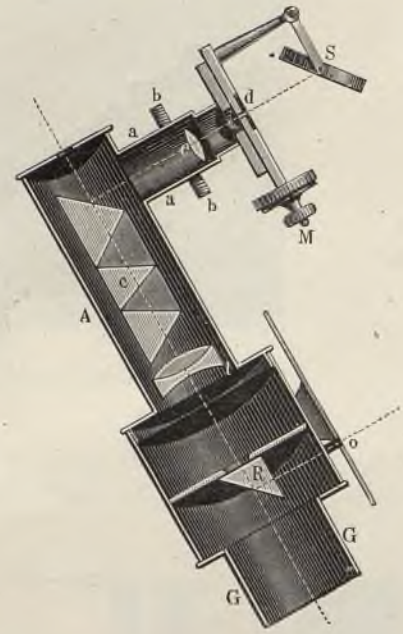


Fig. 252. — Disposicion del micro-espectroscopio con micrómetro

métrico M, la luz trasmitida á través de la placa de vidrio penetra en el tubito *a a* como una línea brillante y la lente *e* se ajusta de tal manera que forma una imágen de esta línea en la cara superior del primer prisma de la serie C, la cual forma un ángulo de 45° con el rayo incidente y lo refleja en la direccion del tubo principal, de modo que entra en el ojo al mismo tiempo que el espectro. Así se ve una línea ó cruz brillante sobre el espectro, y es fácil, no solo colocar la línea del micrómetro sobre tal ó cual raya de absorcion haciendo girar el tornillo M, sino tambien medir escrupulosamente la distancia relativa entre las líneas negras del espectro por medio de las divisiones de la cabeza del tornillo.

Con objeto, sin embargo, de que los resultados obtenidos por varios instrumentos sean comparables, se procura que estas di-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

visiones no se tracen de un modo arbitrario.

Dijimos antes, y dentro de poco ampliaremos esta indicacion, que el espectro solar y por consecuencia el espectro de la luz del dia, no es continuo, sino que se encuentra cruzado por numerosísimas líneas negras de intensidad variable; estas rayas oscuras ocupan siempre la misma posicion en la escala de color del espectro,

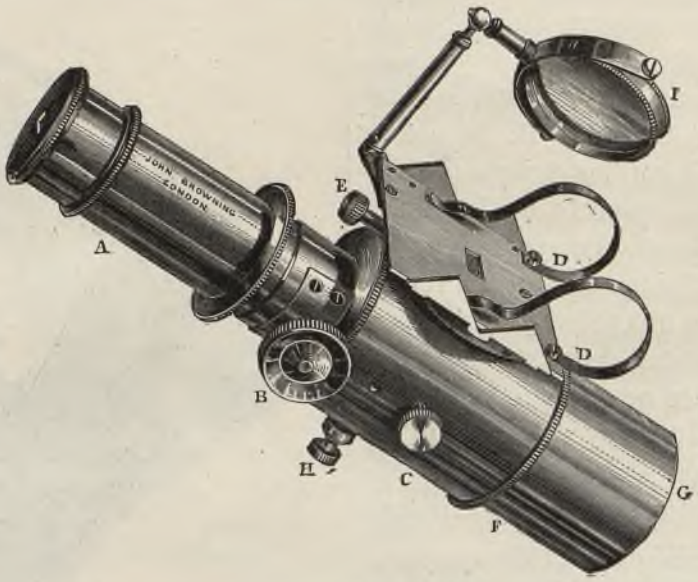


Fig. 253.—Micro-espectroscopio de Browning

es decir, que cada línea se produce por la absorcion de un solo y único color ó por luz de igual refrangibilidad sea la que quiera la sustancia de que esté compuesto el prisma ó la abertura de su ángulo. Es mucho mas ventajoso escoger las líneas mas negras del espectro solar, para formar la escala que ha de servir para el trazado de las divisiones de la cabeza del tornillo M del micro-espectroscopio.

Con este objeto divide Browning la cabeza del tornillo M en cien partes iguales y determina las divisiones de la escala de cada instrumento por un ensayo prévio con la luz solar que penetra por la parte inferior á través de la ranura y del tubo G (fig. 253) marcando las divisiones en el indicador de la cabeza del tornillo en los puntos en que la línea brillante luminosa coincide con las rayas negras (fig. 252) del espectro solar. Las líneas negras se dibujan entonces segun estos números sobre un espectro de unos 13 centímetros de largo que está dividido en un número arbitrario de divisiones iguales como representa la mitad superior de la fig. 254. Por medio de este espectro puede determinarse sin dificultad la posicion de las bandas de absorcion de cualquier líquido, cuidando únicamente de emplear la luz artificial para formar el espectro puesto que la luz del dia produce las rayas negras del espectro solar, las cuales fácilmente podrian confundirse con las líneas de absorcion. En realidad, tan solo es necesario cuando se observan bandas oscuras en el espectro de una sustancia, traer la línea luminosa del micrómetro sobre el espectro y colocarla valiéndose del tornillo M en coincidencia con las rayas de absorcion que han de medirse, leyendo luego el número que les corresponde en las divisiones de la cabeza del tornillo. Los números relativos á las diversas líneas se comparan con las divi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

siones de la escala del espectro normal con objeto de determinar de una vez la posicion de estas líneas en el espectro para todas las investigaciones análogas. Si se necesitase una representacion mas completa del espectro de absorcion, bastaria, como indica la mitad inferior de la figura, con dibujar las líneas segun los números que se leyesen en el tambor del tornillo micrómetrico relativos á un espectro provisto

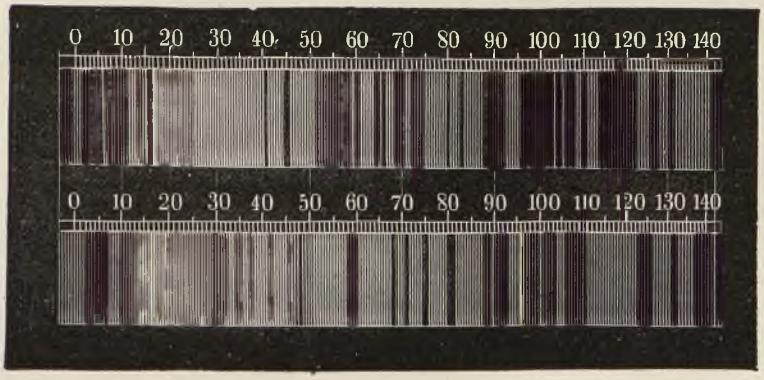


Fig. 254.—Escala del micro-espectroscopio

de la escala normal. La línea brillante que se percibe en el número 96 del espectro inferior indica que en este sitio se veia una raya de absorcion con el instrumento. Si en lugar de la línea luminosa fiduciaria se emplea una cruz brillante, el punto formado por la interseccion de las líneas se coloca en medio de la raya de absorcion, ó si se tratara de una banda, sobre cada uno de los bordes sucesivamente.

Los lectores que deseen entrar en mayores detalles respecto de esta clase de investigaciones, pudieran principiar sus trabajos analizando distintas disoluciones de sangre, rubia tintórea, anilina roja, permanganato potásico y otras sustancias análogas de gran poder absorbente.

En la fig. 255 se representan las bandas de absorcion de la sangre humana segun los estudios efectuados por Stokes; puede verse cuán grandes son las diferencias que presentan en una misma sustancia segun que esta se mezcla ó no con otros cuerpos; los cuatro espectros corresponden á la sangre humana; el núm. 1 es de sangre fresca escarlata; el núm. 2 de sangre desoxigenada (cruorina). Por la accion de un ácido sobre la sangre se convierte la cruorina en hematina que da un espectro formado de

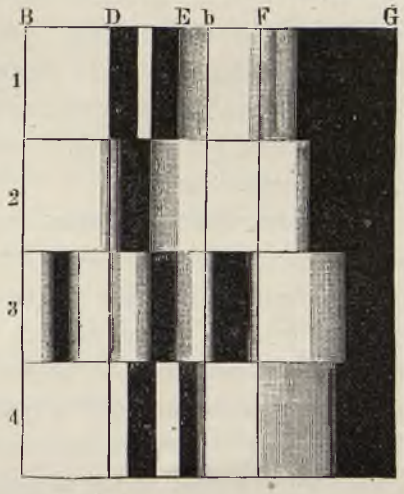


Fig 255.—Bandas de absorcion de la sangre humana

bandas completamente nuevas y distintas de las anteriores; puede oxidarse de nuevo la hematina y reducirse hasta que aparezca su espectro con las bandas negras números 3 y 4.

Mientras que Hoppe-Seyler y Valentin se ocupaban con tanto ardor del estudio de los espectros de absorcion de estas sustancias que tan importante papel desempeñan

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en la fisiología y la patología, se consagró Sorby á la investigacion de los artículos de comercio como los vinos y las materias tintóreas, para averiguar la edad de los unos y las adulteraciones de las otras; tambien extendió sus estudios analíticos al exámen de las sustancias alimenticias, como la cerveza y aguardientes de beber, mostaza, queso, manteca, etc.; así que el análisis espectrométrico es hoy dia un auxiliar indispensable en las investigaciones de química legal.

II

Inversion del espectro

Así como los gases incoloros solo se manifiestan debilitando la intensidad de la luz que los atraviesa, sin ejercer absorcion alguna sobre ningun rayo particular, muy distintos en esto de los líquidos y sólidos coloreados, cuyos cuerpos absorben y como anulan ciertos rayos y dejan pasar otros, produciendo las grandes bandas de absorcion que hemos estudiado, los gases coloreados se diferencian de entrambos, pues solo muestran líneas negras estrechas muy semejantes á las que con frecuencia cruzan el espectro continuo.

Para demostrar los fenómenos de absorcion se emplea un globo de vidrio muy bien pulimentado por su interior y que pueda cerrarse en las dos extremidades de un mismo diámetro con dos placas de vidrio; el aparato se parece mucho á la bomba de una lámpara de petróleo, en la que se cerrasen los agujeros destinados al paso de la chimenea ó tubo, con láminas de cristal de caras paralelas. Los vapores que han de examinarse se introducen en el globo por una de las aberturas, pero si se desea que se formen durante la investigacion, se colocan en el interior del globo las sustancias necesarias las cuales se evaporan aplicando prudentemente un foco calorífico; el globo se situa delante del prisma ó de la ranura del espectroscopio y en posicion tal respecto del curso de los rayos luminosos que estos penetren en el globo en direccion perpendicular á las placas obturadoras.

Para demostrar en grande escala las propiedades absorbentes del gas ácido hiponítrico hay que emplear la lámpara eléctrica ó la luz de Drummond proyectando el espectro continuo de la luz blanca sobre la pantalla del modo que tenemos explicado; se produce el vapor de ácido hiponítrico, caldeando con precaucion dentro del globo una corta cantidad de nitrato de plomo y colocando el aparato del modo descrito en frente del prisma, aparecerá el espectro cruzado por varias bandas negras, desapareciendo por completo la region del violeta. Elevando gradualmente la temperatura se acentúa la oscuridad de las bandas existentes y aparecen otras nuevas hasta que al llegar á cierto grado de calor son absorbidas todas las regiones sin que pase ni un solo rayo de la luz eléctrica á través del vapor.

Elevando la temperatura hasta cierto límite consiguió Brewster que el gas adquiriese una opacidad absoluta sin que pudiese atravesarlo ni la luz directa del Sol.

Si se introducen en el globo algunos pedazos de iodo y se calientan, se produce un hermoso vapor violeta que impide el paso á la luz eléctrica; este fenómeno difiere gradualmente del anterior; ensanchando un poco la ranura del espectroscopio, aparece cortada una parte del espectro del amarillo al azul y si se cierra la rendija de modo que la cinta espectral se vea con toda pureza, esta ancha banda se convierte en numerosas líneas negras muy finas que cruzan todo el espectro desde el rojo hasta el principio del azul. Examinando el espectro de absorcion del vapor de iodo en un tubo de ensayo por medio del espectroscopio, toda la zona del anaranjado y del amarillo se ve cruzada por numerosas líneas negras muy finas, tan apretadas y contiguas en la parte verde, que se hace imposible separarlas formando

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

su conjunto una banda oscura. Con instrumentos muy poderosos se pueden aislar estas bandas y convertirlas en líneas individuales.

Otros gases de color producen tambien espectros de absorcion semejantes á los anteriores, en particular los vapores de bromo, ácido clorhídrico, percloruro de manganeso, cloro, etc., y por el contrario, hay otros vapores como los de azufre y selenio que aun cuando coloreados, no producen bandas de absorcion en el espectro.

El vapor de agua tambien ejerce una accion absorbente sobre la luz, y sus líneas de absorcion son muy notables en el espectro solar y en el de la luz difusa del dia. Debido á la conexion que presentan estas líneas con el espectro de los cuerpos celestes, dejamos el estudio de este asunto interesante para los capítulos siguientes.

Al recordar que los cuerpos sólidos en estado incandescente emiten una cantidad de luz mucho mayor que los gases en cantidades análogas, y que tambien poseen la facultad de absorber en mayor proporcion la luz que reciben y aun en determinadas circunstancias de un modo absoluto, por la trasmision de las vibraciones etéreas á sus átomos ponderables; al recordar tambien que precisamente las sustancias que con mas facilidad desarrollan calor y en mayor cantidad, son tambien las mas adecuadas para recibir calor sin absorberlo, se presenta en la imaginacion la idea de que debe existir algun enlace íntimo, ó cierta reciprocidad á lo menos, entre la facultad que tiene un cuerpo para emitir luz (emision) y para absorberla (absorcion). Que la temperatura de la sustancia ejerce cierto influjo en esta relacion entre su poder emisivo y su poder absorbente se demuestra por el fenómeno de los espectros de los gases de primero, segundo y tercer órden, y tambien por la diversidad de los espectros de absorcion que exhibe una misma sustancia á distintas temperaturas. Hace un siglo que el eminente matemático y físico Eulero en su «Theoria lucis et coloris» enunció el principio de que toda sustancia absorbe la luz de la longitud de onda que coincide con las vibraciones de sus mas pequeñas partículas. En su obra sobre el espectro de la luz eléctrica publicada en 1849 dice Foucault, que debido á las impurezas de las barras de carbon aparecia la intensísima línea amarilla del sodio, y que se cambiaba en una raya negra cuando se hacia pasar la luz del Sol á través del arco voltáico. Angstron tambien, en 1853, indicó como ley general que un gas luminoso emite rayos de luz de igual refrangibilidad que aquellos que tiene la facultad de absorber, ó en otros términos, que los rayos que absorbe una sustancia son precisamente los que emite cuando adquiere condiciones de luminosidad.

Pero todos estos hechos permanecian aislados y dispersos y era necesario hallar una ley física que comprendiese todos los fenómenos mencionados. A Kirchhoff estaba reservado su descubrimiento, quien probó su exactitud con toda evidencia no solo con demostraciones matemáticas sí que tambien con experimentos interesantes. En 1860 publicó su Memoria sobre las relaciones que existen entre el poder emisivo y absorbente de los cuerpos, tanto para la luz como para el calor, en cuya Memoria se halla estampada la famosa proposicion: «La relacion entre el poder emisivo y el de absorcion de una misma clase de rayos es igual para todos los cuerpos á una misma temperatura,» que siempre pasará como el enunciado de una de las leyes naturales mas importantes, y que á causa de su extension y aplicacion universal hará inmortal el nombre de su ilustre descubridor.

Se desprende de la ley de Kirchhoff como consecuencia necesaria, que los gases y vapores al trasmitir la luz, absorben ó separan aquellos rayos coloreados precisamente que emiten ellos mismos cuando se les hace luminosos, al paso que permane-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cen transparentes en absoluto para todos los demás rayos de color. El vapor de sodio luminoso, v. gr. da en circunstancias ordinarias un espectro que consiste en una línea doble, amarilla, muy brillante; por lo tanto emite exclusivamente luz amarilla. Si la blanca luz del Sol, del arco-eléctrico ó de la lámpara de oxi-hidrógeno se hace pasar á través del vapor de sodio, este gas extinguirá ó absorberá de la luz blanca precisamente los rayos amarillos que emita en estado de luminosidad. Mientras que la mayor parte de estos rayos amarillos son absorbidos por el vapor de sodio, todos los demás rayos, rojos, anaranjados, verdes, azules y violetas, pasan sin modificacion.

El método de que se valió Kirchhoff para llevar á cabo sus experimentos y que

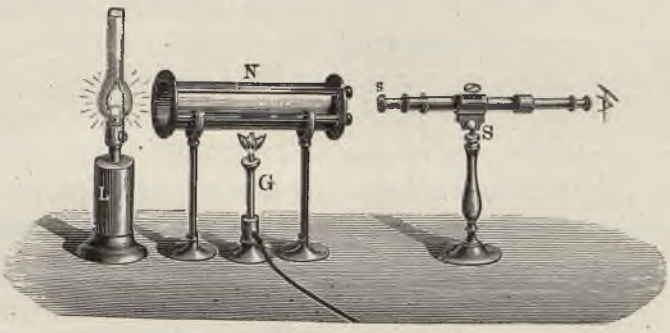


Fig. 256.—Inversion de la linea del sodio; experimento de Kirchhoff

pueden repetirse con la mayor facilidad, se indica suficientemente en la fig. 256; el aparato está dispuesto de igual manera que para la demostracion de los espectros de absorcion. L es una lámpara de aceite, cuya luz blanca se descompone en un espectro continuo de todos colores por el prisma del espectroscopio S; despues que el ocular del anteojo analizador y la abertura de la rendija se disponen de manera que el espectro aparezca con toda distincion, se coloca el aparato de modo que la ranura *s* esté inmediata al tubo de cristal N del que se expele el oxígeno del aire introduciendo gas hidrógeno y unos pedacitos de sodio metálico; el tubo de vidrio se caldea con el mechero de gas G y una parte del sodio se convierte en vapor; pronto aparece una línea negra en la parte amarilla brillante del espectro continuo de la lámpara de aceite, en el lugar precisamente en que se muestra la raya brillante del vapor de sodio luminoso. Para probar esto, basta con sustituir el tubo de sodio N por una lamparilla de alcohol cuya mecha se haya empapado en salmuera (cloruro de sodio disuelto) ocultando al propio tiempo la luz de la lámpara; el vapor luminoso del sodio dá lugar á la línea amarilla en el mismo sitio precisamente en que antes era absorbida la luz de este color del espectro continuo, formándose la línea negra.

El óptico Ladd construye unos tubos de vidrio muy resistentes, de poco mas de un centímetro de diámetro, cerrados por ambos extremos y llenos de gas hidrógeno y una corta cantidad de sodio, el cual caldeado gradualmente se evapora; colocándolo en posicion vertical en frente de la ranura *s* y haciendo que pase á su través la luz blanca de una lámpara, y mejor aun los rayos de la cal incandescente, se observa una línea negra en el mismo lugar que antes ocupaba la raya amarilla del sodio. Empleando un espectroscopio de gran poder dispersivo aparece esta línea doble lo mismo cuando se examina el espectro de absorcion del sodio que si se analiza el gas incandescente.

De igual manera con el empleo de los va-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pores de litio, potasio, estroncio y bario, consiguieron Kirchhoff y Bunsen extinguir en el espectro continuo las rayas brillantes que emiten los gases de estos metales en estado luminoso. El vapor incandescente del litio da una raya roja muy intensa y otra mas débil anaranjada, las cuales pasan á ser negras en el espectro de absorcion de esta misma sustancia. Si se repite el experimento de Kirchhoff con el litio de igual manera que con el sodio y que ya hemos explicado, aparecerán dos líneas negras de distinta profundidad, en el espectro continuo de la luz de la lámpara, precisamente en las mismas posiciones que ocupaban las rayas brillantes del vapor luminoso de este metal.

El resultado mas importante de estas investigaciones consiste, pues, en que las líneas brillantes características del sodio, litio, etc., se convierten en líneas negras cuando la intensa luz blanca de un cuerpo sólido ó líquido incandescente pasa á través del vapor de estos metales. El espectro del vapor de sodio luminoso consta de una doble raya amarilla y brillante; el resto del campo espectral permanece oscuro; el espectro de un cuerpo sólido ó líquido incandescente, despues de pasar á través del vapor de sodio á una temperatura mas baja que él mismo, ocupa por el contrario todo el campo con sus brillantes colores exceptuando únicamente el lugar en que se encuentra la línea negra del sodio. Como las líneas brillantes del espectro de los gases se convierten en estos experimentos en rayas negras, mientras que las porciones oscuras del espectro se cambian en colores brillantes por el espectro continuo de la luz blanca, parece que los espectros gaseosos se invierten en su iluminacion respectiva; por tal motivo se llama este fenómeno *inversion del espectro* segun propuso Kirchhoff.

Demostró este mismo físico que la diferencia entre la temperatura de los cuerpos sólidos ó líquidos que producen los espectros continuos, y la de los vapores absorbentes á cuyo través pasa la luz blanca, ejerce un gran influjo en la inversion del espectro y que todo el fenómeno depende de la relacion que existe entre los poderes emisivo y absorbente del vapor, cuya relacion se determina por la diferencia de temperatura. Los experimentos de inversion, por lo tanto, tienen lugar únicamente cuando hay una gran diferencia de temperatura entre el cuerpo sólido en estado de incandescencia y el vapor absorbente, y mejor cuanto mas elevada sea la temperatura del cuerpo y mas baja la del gas; la luz del Sol, la del arco voltáico, la de Drummond ó del alambre de platino, pueden emplearse en lugar de la lámpara de aceite L; si en vez del tubo de vidrio lleno de hidrógeno y sodio, etc., se emplea el vapor de este metal libre, como por ejemplo, el que se obtiene caldeando sodio metálico en la llama, hay que cuidar de que la temperatura de esta no sea muy elevada; la del mechero de Bunsen y aun de la lamparilla de alcohol son demasiado altas para oponerlas á la que produce la luz oxhidrica; para este objeto basta con el moderado calor de la llama que produce el alcohol diluido en mucha agua, al cual se agregan unos granitos de sal comun, con cuyo artificio y un buen espectroscopio, se ve con toda perfeccion la línea del sodio como una raya negra sobre el fondo coloreado del espectro continuo de la luz de cal. Si se usa la luz blanca del arco eléctrico que emite mucho mas calor, para formar el espectro continuo, la inversion de las líneas del sodio y del tálio puede producirse volatilizando estos metales en la llama del mechero de Bunsen.

Para exhibir la inversion de la línea del sodio en la pantalla, no es suficiente el tubo de vidrio lleno de hidrógeno y sodio mencionado antes, pues el vapor de este metal no es bastante denso y mancha pronto las paredes del vidrio; pero valiéndose del arco voltáico como luz blanca pue-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de producirse el vapor sódico con la llama de gas; con este objeto se humedecen primeramente las puntas de los carbones en una disolucion de sal marina, dejándolas secar despues. Formando un espectro continuo de un metro de largo con la lámpara eléctrica y el prisma del modo corriente, se ve la línea brillante del sodio que pasa á través del amarillo, cuya posicion se señala en *m*, en uno de los lados. La corta cantidad de sodio adherida á las puntas del carbon pronto se evapora con el calor de la chispa eléctrica, y la línea amarilla se extingue; el mechero de gas G (fig. 257) se coloca entonces delante de la ranura de la lámpara eléctrica E, de modo que los rayos del carbon incandescente que salen de la rendija pasen por la llama G. Antes de aña-

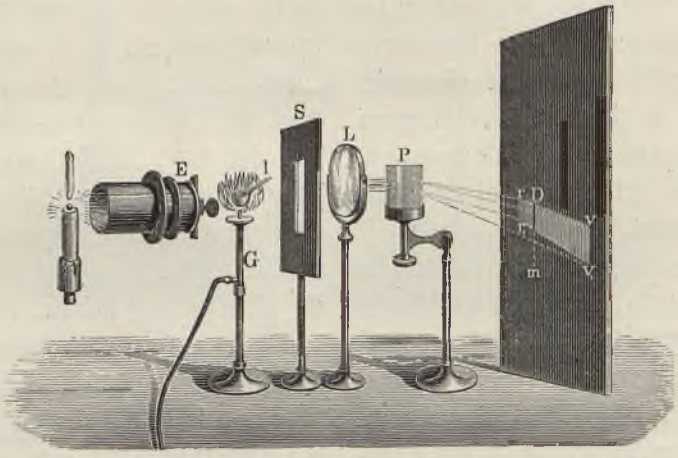


Fig. 257.—Inversion de la línea del sodio; proyeccion en la pantalla

dir el sodio á la llama de gas se coloca una pantalla de carton perforada S, frente á la lente L, con objeto de que la pantalla grande en donde se forma el espectro quede resguardada de la intensa luz amarilla del sodio incandescente; ninguna de estas preparaciones ejerce la menor influencia sobre el espectro continuo *r v* r_1 v_1 de la pantalla. Un fragmento de sodio del tamaño de un guisante se coloca en una cuchara de platino *l* caldeada por la llama de gas, arde el sodio y forma una densa nube de vapor á cuyo través tienen que pasar los rayos de la luz eléctrica.

En la pantalla se ve una raya D de oscuridad profundísima, precisamente en el lugar marcado *m* en que antes habia aparecido la línea amarilla del sodio; el vapor de sodio ha absorbido ó anulado, pues, al menos parcialmente, los rayos amarillos de la luz blanca del carbon incandescente, de igual refrangibilidad que los emitidos por el vapor de sodio; si se retira este de la llama de gas, inmediatamente desaparece la línea negra de la pantalla, apareciendo en seguida que se vuelve á introducir la cucharita de platino y precisamente en el mismo lugar. Vemos qne el vapor de sodio, por lo tanto, absorbe la misma luz, es decir, los mismos rayos coloreados que emite en estado gaseoso.

El instructivo experimento de la inversion de la línea del sodio puede efectuarse de otro modo, no menos eficaz que el precedente, para dar una clara idea de ciertos fenómenos del espectro solar. Con este objeto se sustituye la barrita inferior de carbon de la lámpara eléctrica por un cilindro de la misma sustancia, de unos 12 milímetros de diámetro, cuya superficie superior lleva una excavacion en la cual se coloca un fragmento de sodio del tamaño de un guisante (fig. 258). El mechero de Bunsen G y la pantalla de carbon S, se quitan,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pero la lente L, el prisma V y la pantalla grande permanecen en igual disposicion que antes. Para evitar la extraordinaria incandescencia del carbon y la aparicion de la luz blanca del arco voltaico, se separan ambos polos despues del primer contacto, algo mas de lo corriente; se forma un es-



Fig. 258.— Volatilizacion del sodio en el arco eléctrico

pectro continuo muy débil, y la lámpara solo emite la intensa luz amarilla del sodio incandescente. Tan pronto como pasa la corriente eléctrica, comienza á resplandecer el sodio y se ve en la pantalla una sola banda brillante de unos cinco centímetros de ancho, que es el espectro del vapor de sodio luminoso. Pero en pocos segundos aparece una línea negra bien marcada como de dos centímetros de ancho, en medio de la banda amarilla, debilitándose el resto del color. La línea amarilla brillante del sodio se ha convertido en una raya negra que persiste por tanto tiempo como dure la combustion del sodio.

En este caso se explica la inversion de la manera siguiente. Al principio experimenta el sodio una gran elevacion de temperatura y su vapor emite la luz amarilla; inmediatamente despues una gran parte del sodio se convierte en vapor al excesivo calor del arco voltaico y envuelve la pequeña porcion luminosa inmediata al sodio con una densa nube de vapor sódico no luminoso. La luz amarilla de la porcion luminosa del vapor sódico tiene que atravesar esta ancha nube de vapor de sodio relativamente frio, y es absorbida antes de llegar á la ranura de la lámpara. Podemos repetir la conclusion anterior; el vapor de sodio absorbe precisamente la misma luz que emite al hacerlo luminoso.

Sin emplear la lámpara eléctrica ni la luz de Drummond, puede demostrarse este fenómeno por el ingenioso procedimiento siguiente que se debe á Bunsen; consiste en disponer dos frascos A y B que contienen zinc y cloruro de sodio (fig. 259) y ambos se llenan hasta la mitad ó poco mas, de ácido clorhídrico muy diluido; los frascos van tapados herméticamente con unos cilindros de goma perforados, con objeto de ajustar en ellos los mecheros, que en cada frasco presentan distinta construccion.

En uno de los agujeros del tapon de la lámpara A hay un tubo de vidrio encorvado *b* que sirva para introducir el gas del alumbrado de una cañería ordinaria; en el otro agujero va inserto el tubo *c*, mas estrecho en su parte superior, que sirve para dar salida al gas. La otra lámpara B se dispone del propio modo que A, con la diferencia de que el tubo de desprendimiento *c'* está encorvado y termina en una abertura mucho mas estrecha; sobre cada uno de estos tubos de vidrio *c* y *c'* hay un mechero de hoja de lata que puede moverse en sentido vertical. El mechero *d* de la lámpara A es cilíndrico por abajo y ancho por arriba en forma de abanico, siendo, pues, muy estrecha su abertura y como de dos centímetros de longitud.

El mechero *e* de la lámpara B es cilíndrico completamente y va cubierto por una monterilla cónica ó chimenea *h* que sube y baja por el tubo *e*. La abertura de la parte superior de la chimenea tiene un diámetro de dos centímetros ó poco mas, el cual puede reducirse agregando unos diafragmas con agujeros de diversos tamaños, de modo que al quemarse el gas, forma una

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

llama cónica *d* cuyo tamaño se regula por medio de la llave del tubo de admision, hasta que tenga una altura de dos á tres centímetros. La llama *g* de la lámpara A, por el contrario, es muy grande, á causa del tamaño del tubo *c* y de la compresion del mechero *d f*, presentando una superficie luminosa de cierta extension.

Los frascos se emplean con objeto de mezclar un poco de sal comun con el gas

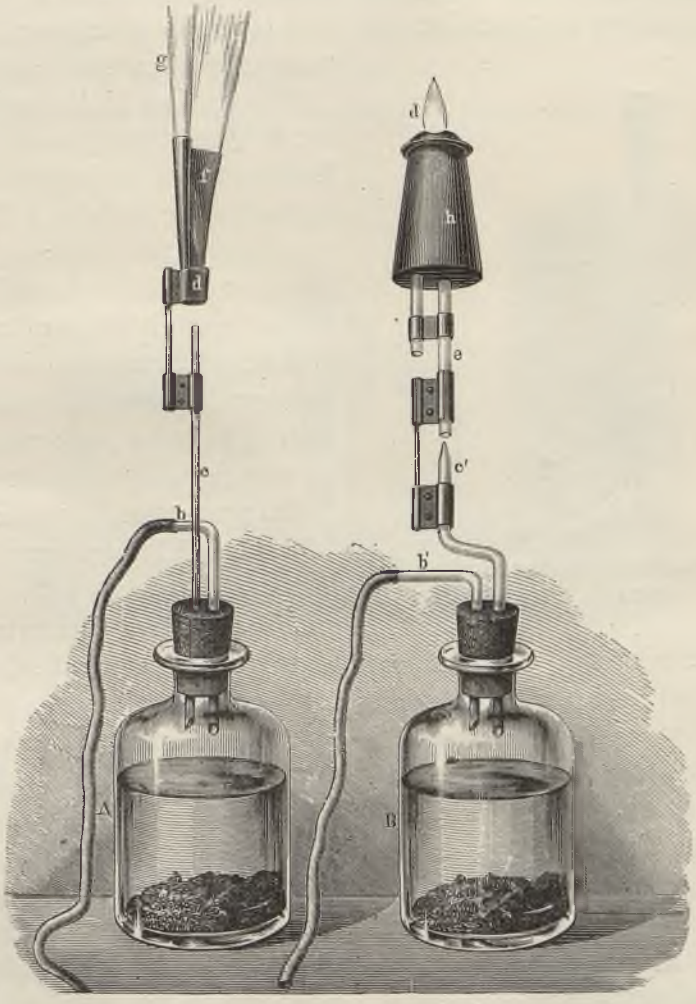


Fig. 259.— Aparato de Bunsen para demostrar la absorcion de la luz del sodio

hidrógeno formado por la accion del ácido clorhídrico diluido sobre el zinc. Al desprenderse el hidrógeno se mezcla en el gas del alumbrado y arrastra el cloruro de sodio hácia ambas llamas, produciendo de este modo la brillante luz amarilla del vapor de sodio.

Se colocan las dos lámparas muy cerca una de otra, de modo que, como indica la figura 260, la llama *g* de la lámpara A sirve de fondo de proyeccion de la lámpara B. En esta posicion la pequeña llama *d*, á pesar de la brillante luz de la llama *g* que está inmediatamente detrás, aparece completamente oscura y fumante, y casi negra si el aparato está bien montado y es suficiente la cantidad de gas que llega por la cañería. La llama caliente *g* emite con gran brillo la luz del sodio; la pequeña llama *d* que está en frente, absorbe estos rayos que precisamente tienen que atravesarla, y como es mucho menos luminosa que la llama *g* aparece oscura por contraste con el fondo brillante.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Desaga, óptico de Heidelberg, ha simplificado mucho este aparato reuniendo los dos mecheros en un solo frasco de gran tamaño, al cual fija el tubo de admision del gas del alumbrado.

El experimento de la inversion puede demostrarse fácilmente con el espectroscopio de este modo: se dirige el instrumento á una lamparilla de alcohol con cloruro de sodio hasta que se perciba la conocida línea amarilla de este metal; puesta la ranura muy cerca de la llama del espíritu, se coloca un pedacito de sodio metálico recien cortado, en una redecilla ó tela de alambre de platino y se introduce en la llama. Esta no puede atravesar el alambrado, pero sin embargo, comienza el sodio á quemarse y la línea brillante amarilla aparece en el espectroscopio; muy pronto, no obstante, se percibe una línea negra en el propio lugar, que se destaca sobre el fondo iluminado. En este caso tambien el vapor luminoso brillante del sodio incandescente está envuelto por una densa nube de vapor sódico poco luminoso que por completo absorbe la mayor parte de la luz amarilla del sodio.



Fig. 260.— Absorcion de la llama de sodio

Podemos ahora predecir el aspecto que presentará en el espectroscopio la luz de un cuerpo sólido ó líquido incandescente, si antes de penetrar por la ranura del instrumento pasa á través de una atmósfera relativamente fria de tal ó cual vapor como v. gr. de sodio, litio, hierro, etc. El cuerpo incandescente produciria un espectro continuo si su luz no experimentase modificacion alguna en su camino; mas en la atmósfera vaporosa por que deben pasar sus rayos, cada vapor absorbe precisamente aquellos rayos que hubiera emitido en estado luminoso, extinguiendo por consecuencia estos colores particulares y sustituyéndolos por bandas oscuras en los mismos puntos del espectro continuo en que se hubieran manifestado líneas brillantes. De modo que el espectroscopio nos muestra un espectro continuo que se extiende del rojo al violeta pasando por todos los colores intermedios, cruzado perpendicularmente por numerosas líneas negras; la del sodio, las dos del litio, las infinitas del hierro, etc., aparecen en el fondo colorado del espectro continuo como otras tantas rayas negras.

Los espectros de esta clase son sin duda alguna espectros de absorcion y por lo tanto se llaman espectros compuestos ó invertidos. Si se llega á establecer una coincidencia perfecta en esta clase de espectros por medio del prisma de comparacion ó de la escala dividida, entre las líneas características brillantes del espectro gaseoso de ciertas sustancias, con igual número de rayas negras, puede admitirse como conclusion, que en la atmósfera absorbente que produce las líneas negras se encierra la misma sustancia en estado de vapor.

La importancia capital de este resultado de los trabajos de Kirchhoff en las investigaciones sobre la constitucion física de los cuerpos celestes, apenas hay necesidad de demostrarla, si se considera que así como es posible determinar la naturaleza de tal ó cual sustancia terrestre por la calidad de su espectro gaseoso, del propio modo, el espectro invertido de los gases nos da la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

clave para reconocer la naturaleza y composicion de los cuerpos celestes; y, tan importante es el papel que desempeñan en el análisis del mundo estelar, que bien puede perdonársenos que aun nos extendamos algun tanto en este asunto.

A cualquiera se ocurre, por poco que reflexione, que si la débil llama del sodio absorbe los rayos amarillos de la poderosa luz blanca que pasa á su través ¿no sustituirán los rayos amarillos de la misma llama á la línea amarilla del sodio? Una investigacion mas prolija del asunto nos permitirá que expliquemos con toda claridad la causa y la verdadera naturaleza de las líneas negras.

Designemos por I la intensidad de la luz blanca de un cuerpo incandescente sólido ó líquido, tomando como ejemplo la luz eléctrica, por i la potencia absorbente de la llama que en obsequio á la sencillez supondremos que sea de sodio; é $\frac{I}{n}$ la relacion entre el poder absorbente y emisivo de esta llama; es decir que $\frac{I}{n}$ es lo que se pierde por absorcion de la intensidad total. Si entonces pasa la luz blanca I á través de la llama del sodio y experimenta una pérdida en su intensidad por la absorcion de $\frac{I}{n}$, habrá en el lugar del espectro en que aparecia la línea del sodio, que llamaremos d, una cantidad de luz igual á $I - \frac{I}{n} + i$. El importe de la absorcion $\frac{I}{n}$ disminuye la intensidad del espectro en el lugar D, pero la intensidad de la llama del sodio compensará hasta cierto grado esta falta. Si el importe de la absorcion fuese precisamente igual á la intensidad i, la intensidad del espectro en el lugar D será precisamente igual á la de las regiones inmediatas; no habrá, por lo tanto, interrupcion del espectro, y no se verán líneas brillantes ni negras. Si la intensidad i de la llama sódica fuese mayor que la absorcion $\frac{I}{n}$, el brillo de la region D del espectro será mayor que en sus lados y en este punto por consecuencia aparecerá una linea brillante amarilla de sodio, aunque la luz blanca haya pasado á través de la llama absorbente; lo contrario ocurrirá cuando la intensidad i de esta llama sea menor que la absorcion total; el brillo del espectro en el lugar D será menor entonces que el de las regiones próximas y la conocida raya amarilla del sodio parecerá una línea negra.

Mas adelante veremos que los lugares en que aparecen las líneas negras de absorcion no están faltos de luz en absoluto, y que por lo tanto estas rayas no pueden considerarse negras por completo; mas por contraste con el esplendor inmediato producido por toda la luz del cuerpo incandescente, aparecen estas líneas como completamente negras aun cuando su brillo sobrepuja al del vapor absorbente.

Todo el proceso de la inversion de un espectro brillante lineal en otro oscuro se apoya en la relacion que existe entre el poder de absorcion y el poder compensador emisivo absorbente; mientras mayor es el poder de absorcion y menor el emisivo y mas considerable tambien la luz del cuerpo incandescente, tanto mas oscuras serán las rayas invertidas.

La tabla siguiente servirá para aclarar las observaciones anteriores, pues en ella se presentan cuatro ejemplos para la línea del sodio.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Número	Intensidad de la luz blanca igual á	Intensidad de la llama del sodio igual á	Poder absorbente del vapor sódico igual á	La intensidad del espectro antes de	en	despues la linea del sodio igual á		La linea del sodio aparece, pues,
1	2	1	$^1/_4$	2	$3 - \frac{2}{4} = 2\frac{1}{2}$		2	Brillante
2	10	1	$^1/_4$	20	$11 - \frac{10}{4} = 8\ \frac{1}{2}$		10	Oscura
3	100	1	$^1/_2$	100	$101 - \frac{100}{2} = 51$		100	Mas oscura
4	100	1	$^3/_4$	100	$101 - \frac{300}{4} = 26$		100	Muy oscura

En el primer caso el lugar D es $^1/_2$ mas luminoso que las regiones inmediatas del espectro, por consecuencia aparece como línea brillante del sodio; en el segundo caso la brillantez del lugar D es igual tan solo á $8\,^1/_2$ y la de sus inmediaciones 10; por consiguiente no es tan brillante en D como al lado de D, así que tiene que aparecer oscuro respecto de las demás partes del espectro. En el núm. 3 es aun mas marcado el contraste entre la luz D 51 y la de su inmediacion 100. Finalmente en el núm. 4 el poder absorbente de la llama se representa por $^3/_4$, viniendo á ser el contraste en las cantidades de luz como de 100 á 26, de manera que la raya aparece casi negra. La intensidad con que la línea amarilla del sodio y la roja del litio aparecen cuando se caldean estos metales en el mechero de Bunsen, apoya la afirmacion que hemos hecho de que estos cuerpos tambien absorben con gran energía rayos de igual refrangibilidad y por lo tanto, el supuesto poder de absorcion igual á $^3/_4$ que dimos en el último ejemplo, es muy inferior á la absorcion real.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO SEGUNDO

EL ESPECTROSCOPIO Y LOS ASTROS

CAPÍTULO PRIMERO

I

El espectro solar y las rayas de Fraunhofer

El ejemplo mas brillante de un espectro invertido, es decir, de un espectro continuo cruzado por líneas oscuras de absorcion, es el que nos presenta el luminar del dia. Con un espectroscopio comun colocado en un anteojo de escasa fuerza, que se dirija á una parte del cielo bien iluminada, se distingue un hermoso espectro continuo de magníficos colores, sin que se perciban en él, si la ranura del instrumento está bastante abierta, ni líneas brillantes ni oscuras. Pero si se estrecha, de modo que se obtenga un espectro lo mas puro posible y se ajusta cuidadosamente al foco del anteojo, la cinta espectral, mucho mas débil ahora, se verá cruzada por innumerables líneas y bandas oscuras. Si se alarga el espectro empleando varios prismas y se le observa con un ocular de bastante amplificacion, se dividirán las bandas y líneas gruesas en rayas individuales muy finas, que tambien suelen formar grupos, pero todas ellas presentan un tipo característico por la pureza de sus contornos, de tal manera, que sus posiciones y distancias relativas quedan impresas en la imaginacion sin que sea fácil confundirlas unas con otras, siendo mejor todavía situarlas con una escala.

Es raro que el inmortal Newton que tanto se ocupó del estudio del espectro solar, dejase de percibir uno de sus caractéres mas importantes, ó mejor dicho, el mas importante de todos; esto demuestra la enorme paciencia y fuerza de voluntad que se necesita para ocuparse útilmente de tales asuntos, pues que durante un siglo y cuarto no avanzó ni un solo paso el espectro solar. Newton efectuaba sus experimentos abriendo un agujero oblongo en la pared de la cámara oscura, y el espectro que obtenia era necesariamente confuso por las razones que expusimos en el Libro Primero. El Dr. Wollaston en 1802, ideó sustituir el orificio eliptico por una rendija ó abertura longitudinal, fundando así, puede decirse, el verdadero principio de la física solar por medio del espectroscopio.

Esta modificacion, al parecer de poca importancia, la tiene, sin embargo, y capital.

Supongamos que se coloca un prisma en el paso de un haz de rayos luminosos solares y que recibimos su espectro en una pantalla; los colores aparecen con cierta confusion, pero si en vez del agujero circu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lar empleamos una ranura, se obtiene un espectro extraordinariamente puro; el rojo, el anaranjado, el azul, el violeta, en vez de superponerse y destruir la belleza del espectro, aparecen separados y como colores simples. El sencillo cambio del agujero oblongo por la ranura, indica cuán profundos son los misterios del análisis espectral; pues no bien habia examinado el Dr. Wollaston la luz del Sol con este nuevo sistema, de igual manera que Newton ciento y tantos años antes con la primera disposicion, cuando halló que la explicacion del gran matemático era por todo extremo errónea. Newton decia que la luz del Sol era continua, esto es, que en su espectro no habia solucion alguna de continuidad y que la luz se extendia sin interrupcion desde el rojo hasta el violeta. Al ensayar el Dr. Wollaston la ranura, vió, no obstante, que el espectro, en vez de ser una cinta de los colores del iris, pero sin solucion alguna, presentaba una porcion de cortes marcados por líneas negras finas y numerosas.



Fig. 261.— Primera observacion de las líneas de Fraunhofer

Comunicó Wollaston su descubrimiento á la Sociedad Real de Lóndres en los términos siguientes:

«No puedo terminar estas observaciones sobre la dispersion, sin señalar que los colores en que se divide un haz de luz blanca á causa de la refraccion, no me parece que son siete como generalmente se ve en el arco iris, ni tampoco reductibles por medio alguno á tres como muchas gentes creen; pero si se emplea un haz de luz finísimo se pueden ver cuatro divisiones primarias del espectro prismático con un grado de claridad que á mi juicio no se ha observado ni descrito antes de ahora.

»Si se deja penetrar un rayo de la luz del dia en una cámara oscura por una rendija de $^1/_{20}$ pulgada de ancho, y se recibe en el ojo á la distancia de diez ó doce piés, haciendo que en su camino atraviese un prisma de flint bien puro, que se sitúa cerca del ojo, se ve que se separa el rayo tan solo en los cuatro colores siguientes; rojo, amarillo verdoso, azul y violeta, en las proporciones que representa la fig. 261. La línea A que limita la porcion roja del espectro es algo confusa, lo que parece que en parte se debe á deficiencia del ojo en percibir la luz roja. La línea B, entre el rojo y el verde, en cierta posicion del prisma, se distingue con toda claridad; tambien se ven perfectamente las rayas D y E, límites del violeta; pero C, límite entre el verde y el azul no está marcada con tanta distincion como las demás; tambien hay á cada lado de este límite, otras líneas negras detalladas, *f* y *g*, las que pueden confundirse en un experimento poco escrupuloso, con los límites de estos colores. La posicion del prisma en que mas claramente se ven los colores es aquella en que el rayo luminoso incidente forma ángulos iguales con las dos caras; de este modo encontré que los espacios A B, B C, C D, D E, que ocupaban, venian á ser como los números 16, 23, 36, 25. Puesto que la proporcion respectiva de estos colores, segun la suposicion del Dr. Blair, varia con el medio que los origina, he compara-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

do con este aspecto las imágenes coloreadas producidas por vasijas prismáticas llenas de sustancias que, segun el mismo autor, difieren considerablemente en este respecto, tales, por ejemplo, como el ácido nítrico concentrado é incoloro; el aceite de trementina rectificado, el aceite de sasafras, el bálsamo de Canadá, tambien incoloro. Con todos estos productos en particular, he hallado la misma disposicion de los cuatro colores; y en posiciones semejantes del prisma, en tanto cuanto me es permitido juzgar, la misma proporcion entre unos y otros.

»Pero cuando se cambiaba la inclinacion del prisma, de modo que se aumentase la dispersion de los colores, se modificaban las proporciones respectivas de estos, así que los espacios A C—C D, en lugar de estar representados como antes por 39 y 61, serán sustituidos por los números 42 y 48.

»Con la luz de una bujía se observan otras apariencias diversas. Cuando se examina una línea muy estrecha, de luz azul de la region inferior de la llama, por medio del prisma, en vez de aparecer el espectro como una serie de luces contiguas de distintos matices, se le percibe dividido en cinco imágenes diversas y separadas unas de otras. La primera es roja terminada por una línea brillante amarilla, la segunda y tercera son ambas verdes, la cuarta y quinta azules; esta última parece corresponder con las divisiones del azul y el violeta en el espectro solar y la línea D, de la figura.

»He observado que cuando el objeto que se examina es una línea azul de luz eléctrica, el espectro se separa en varias imágenes, pero el fenómeno es algo distinto del anterior, sin que tenga necesidad de describir aquí minuciosamente sus diferencias que varian segun el brillo de la luz.»

En 1814, Fraunhofer, óptico aleman, sin tener conocimiento de las observaciones de Wollaston, se ocupó del estudio del espectro solar marcando la posicion de sus líneas principales con las letras A, B, C, etcétera, que desde entonces se conocen con el nombre de líneas de Fraunhofer; llegó á descubrir hasta 576 rayas negras dibujándolas y señalando sus posiciones con el mayor esmero. La Memoria que sobre este asunto presentó á la Academia de Munich en el año citado dice así:

»En un cuarto oscuro y por una rendija vertical abierta en la ventana, de 15″ de ancho y 36″ de alto, introduje los rayos del Sol que caian sobre un prisma de flint colocado en el teodolito; este instrumento distaba 24 piés de la ventana y el ángulo del prisma era de unos 60 grados próximamente. El prisma estaba delante del objetivo del anteojo, de modo que los ángulos de incidencia y de emergencia fuesen iguales. Observando en el espectro la línea brillante que antes habia hallado en el espectro de la luz artificial, descubrí, que en vez de esta línea habia un número infinito de rayas verticales de distintos gruesos; casi todas ellas mas obscuras que el resto del espectro y algunas completamente negras. Haciendo girar el prisma de manera que aumentase el ángulo de incidencia, desaparecian las líneas y lo mismo ocurria si disminuia la abertura del ángulo. Acortando considerablemente la longitud del anteojo volvian á aparecer las líneas en un ángulo mayor de incidencia, y en uno mas pequeño era necesario sacar afuera el ocular para poderlas percibir. Si el ocular se colocaba de modo que se distinguiesen con toda claridad las líneas situadas en la parte roja, era preciso acortar su distancia para enfocar convenientemente las líneas del violeta. Agrandando la abertura que daba paso á los rayos, se percibian las líneas mas finas con alguna dificultad, desapareciendo por completo si la ranura se abria hasta unos 40″.

»Si llegaba á 1 minuto, apenas se distinguian las líneas principales; sin que en ninguno de estos casos se modificasen sus sustancias y proporciones relativas, ya se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

alejase el teodolito, ora se cambiase el tamaño de la ranura. Las líneas se ven siempre sea el que quiera el ángulo del prisma y la sustancia de que se componga, y la única diferencia que se observa es que son mas gruesas ó mas finas, y por consiguiente tanto mas ó menos perceptibles segun el tamaño del espectro. La relacion de estas líneas parece ser la misma para todas las sustancias refringentes, de manera que solo se ve una raya en el azul, otra única tambien en el rojo y de aquí que sea fácil reconocer las que se están observando. El espectro formado por el haz ordinario y el extraordinario del espato calcáreo exhibe las mismas líneas. Las líneas mas pronunciadas no limitan los diversos colores del espectro, pues el mismo color se encuentra casi siempre á sus dos lados y la trasmision de un color á otro es casi insensible.

»La fig. 262 representa el espectro con las líneas tales como se observan en la actualidad; es imposible, no obstante, indicar en esta escala todas las líneas y las variaciones de magnitudes. En el punto A casi termina el rojo, y en el I el violeta, sin que se puedan determinar con exactitud los límites de estos colores en ninguna de las extremidades del espectro, si bien la parte del rojo se ve con mas claridad que la del violeta. Si la luz de una nube iluminada entra por la rendija y cae sobre el prisma, aparece limitado el espectro por una parte entre G y H, y por la otra en B; la luz del Sol reflejada por un helióstato aumenta la longitud del espectro en una mitad. Con objeto, sin embargo, de observar esta mayor elongacion, es necesario que no penetre en el ojo la luz de la zona comprendida entre C y G, porque su intensidad es muy superior á la de las extremidades del espectro.

»En A se percibe una línea perfectamente definida, que no es, ni por asomo, el límite del rojo el cual se extiende aun mucho mas hácia la izquierda; en *a* se ve un grupo de líneas que forman una banda mas oscura que las porciones adyacentes.

»La línea B es de otro carácter y de grueso considerable; de C á D, se pueden contar nueve líneas muy delicadas y finas. La línea C es ancha y negra lo mismo que D; entre C y D se cuentan cerca de treinta rayas finas que, exceptuando dos de ellas, solo pueden percibirse con gran potencia amplificadora y con prismas de mucha dis-



Fig. 262.—Espectro solar y líneas de Fraunhofer

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

persion; todas presentan contornos muy detallados.

»Otro tanto ocurre con las líneas situadas entre B y C. La línea D consta de dos rayas gruesas separadas por otra brillante. Entre D y E se cuentan ochenta y cuatro líneas de diversos tamaños; la que cae en el lugar E se compone de varias líneas siendo la mas gruesa de todas la que ocupa el centro. De E á *b* hay cerca de veinticuatro líneas; en *b* se encuentran tres muy acentuadas separadas por un pequeño espacio muy brillante, que pueden considerarse como de las mas características del espectro.

»El espacio *b* F contiene cerca de cincuenta y dos líneas, de las cuales F es la mas gruesa; entre F y G hay 185 rayas de diferentes anchos; en G se encuentra un grupo con varias líneas notables por su tamaño; de G á H se cuentan muy cerca de 190 líneas distintas; las dos bandas de H son de naturaleza muy particular, pues ambas parecen casi iguales y están formadas por varias líneas en cuyo centro se halla otra muy acentuada y profunda. De modo que en el espacio comprendido entre B y H se cuentan 574 líneas siendo las mas pronunciadas las que se marcan en la figura; las distancias relativas de las líneas mas oscuras se midieron con el teodolito para estamparlas exactamente en el dibujo, pero las demás líneas finas solo se estimaron á ojo.

»Por diversos experimentos y modificaciones que he realizado con estas líneas, creo hallarme en estado de afirmar, que deben su orígen á la naturaleza de la luz del Sol y que no es posible atribuirlas á una ilusion óptica como de aberracion ú otra causa secundaria. »

Sigue luego el famoso óptico describiendo los experimentos que hizo con las luces artificiales, llegando hasta el extremo de descubrir que si se recibia la luz de una lámpara á traves de la ranura, al mismo tiempo que la del Sol, se observaba una línea en la region amarilla que coincidia exactamente con el lugar ocupado por la raya D del espectro solar.

La Memoria termina explicando por qué no se marcan bien las líneas y por qué llegan á desaparecer si es demasiado ancha la abertura de la ranura; las líneas de mayor grueso ocupan un espacio de unos 5″ á 10″; si la abertura no es suficiente para que la luz que pasa por ella pueda considerarse como un rayo simple, ó si el ángulo del ancho de la rendija es mayor que el de la línea, en tal caso la imágen de esta se proyectará paralelamente á sí misma varias veces y por consecuencia se verá con cierta confusion, llegando á desaparecer cuando la ranura es demasiado ancha.

La razon de por qué al girar el prisma dejamos de percibir las líneas á menos de arreglar el foco del anteojo, puede explicarse así: la emersion de los rayos respecto de su divergencia es análoga á su inmersion, en el caso únicamente en que sean iguales los ángulos de incidencia y emersion. Si el primer ángulo es mayor, divergirán los rayos despues de la refraccion como si proviniesen de un punto mucho mas distante; y si es mas pequeño, como si partiesen de un punto mas inmediato. La razon de esto depende de que el curso de los rayos que pasan mas cerca del vértice del prisma es de menor longitud que el de los rayos que pasan á mayor distancia del mismo punto. De aquí se deduce que el ángulo de los rayos refractados no sufre cambio alguno, pero los lados de los triángulos de los rayos emergentes son en un caso mayores que en otro. Esta diferencia desaparece si los rayos caen en direcciones paralelas sobre el prisma, lo cual se demuestra experimentalmente.

Como los rayos violetas á pesar del acromatismo del objetivo tienen una distancia focal algo mas corta que los rayos rojos, claramente se comprende por qué es necesario cambiar de sitio el ocular con objeto de distinguir las líneas de los diversos colores.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Como las líneas espectrales son excesivamente estrechas, es preciso que el aparato se monte de manera que se evite la aberracion por completo, cuyo efecto podria producir cierta dispersion; por consecuencia, las caras del prisma han de ser perfectamente planas, y la masa del cristal clara y diáfana y exenta de estrías y rugosidades internas.

Treinta años despues de los experimentos é investigaciones de Fraunhofer, Zantedeschi, profesor de Física de la Universidad de Padua, se dedicó al estudio de las líneas negras del espectro solar. En vez de limitarse á observar segun el método de Fraunhofer, colocó el prisma entre dos lentes condensadoras; en el foco de una de ellas se disponia la ranura, sirviendo la otra para proyectar el espectro sobre una pantalla. Con estos medios construyó un aparato que en sus órganos esenciales poco difiere del espectroscopio que ahora se emplea. Esta disposicion ingeniosa de colocar la ranura en el foco de una lente colimadora, sin la cual no hubieran podido obtenerse muchas de las modernas aplicaciones del instrumento, parece haberse ocurrido independientemente á varios observadores al mismo tiempo, entre ellos al profesor Swan y al óptico Simms, ambos ingleses.

La importancia que habia de llegar á adquirir el análisis espectral, no escapó á la penetracion del sabio Zantedeschi, pues en su obra publicada en Venecia en 1846 y que lleva por título «Investigaciones físico-químico-fisiológicas sobre la luz», se expresa del modo siguiente al hablar de la significacion del espectro.

«El espectro solar es el fotoscopio mas perfecto que pudiera imaginarse en el estado actual de la ciencia; la luz se exhibe por sí misma, y con maravillosa escrupulosidad registra los cambios que ocurren en la constitucion de un cuerpo luminoso ó en el medio á cuyo través pasa. Recomiendo, por lo tanto, á los investigadores científicos, la cámara oscura dispuesta especialmente para esta clase de observaciones fotoscópicas. Tengo el convencimiento mas profundo de que estas investigaciones serán en extremo provechosas, no solo para el estudio de la luz, sino tambien para el de la meteorología y astronomía. La luz, que en nuestros dias se considera como el pintor de la naturaleza, puede llegar á ser tambien su propio dibujante, puesto que á cada paso nos revela nuevas maravillas relativas á los misterios de su constitucion y á los cambios que experimenta, no solo en nuestro sistema planetario, sino tambien en todo el universo.»

El estudio escrupuloso de los espectros formados por prismas de diferentes sustancias demuestra que los mismos colores no ocupan siempre espacios idénticos en cada espectro; con un prisma de flint, por ejemplo, hay proporcionalmente menos rojo y mas azul y violeta que con un prisma de crown; mientras mayor sea la diferencia de poder refringente de una sustancia para los rayos rojos y violetas, mayor será el espacio que ocupen los colores en el espectro, ó de otro modo, mayor será la potencia dispersiva. La longitud del espectro depende esencialmente del valor de la dispersion, y por lo tanto, debe darse la mayor importancia á la eleccion de la clase de prisma que haya de servir para la produccion del espectro, conviniendo, segun los casos, que sea de flint ó de crown, de agua ó de sulfuro de carbono.

El espectro que se obtiene con un prisma de flint es de una longitud doble casi, de la que mide el espectro producido por un prisma de igual tamaño de crown, y casi tres veces mayor que el que se forma con un prisma de vidrio hueco, lleno de agua. Con un prisma de sulfuro de carbono se produce un espectro mucho mas largo que con un prisma de flint, y aun es mucho mayor el que se obtiene con un prisma lleno de aceite de casia.

A medida que crece la longitud del espectro, aumenta la distancia entre las lí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

neas de Fraunhofer, pero en distinta proporcion; si. por ejemplo, el espectro del prisma de flint fuese exactamente de doble longitud que el del prisma de crown, la distancia de dos líneas negras, F y B, v. gr., no será en un espectro doble precisamente que en el otro. En el espectro del prisma de agua F B es igual á F H; el espectro producido por un prisma de crown es mucho mas largo, pero las divisiones formadas por las líneas de Fraunhofer no crecen en igual proporcion; F B es algo mas pequeña que F H, de manera que con este último prisma se obtiene un espectro en el que las regiones del azul y el violeta son mas extensas, comparativamente, que las del rojo y el amarillo del prisma de agua.

Esta diferencia es aun mas sensible si se comparan los dos espectros de los prismas de agua y de flint con una desviacion igual de la luz correspondiente á la línea B; la diferencia en la relacion de F B á F H es mas pequeña en el espectro del flint que en el del agua. Es por lo tanto un error, como se lee en algunas obras, creer que las distancias entre las líneas negras del espectro cambian en igual proporcion que la longitud completa de este, y aun en el caso de conocer el poder dispersivo de cualquiera sustancia respecto de los rayos extremos B y H, no es posible deducir, sino aproximadamente, el valor de la separacion que exista entre las demás líneas del espectro; es conveniente, pues, casi indispensable, averiguar la posicion relativa de estas líneas para cada cuerpo refringente. De modo que es imprescindible tener un exacto conocimiento de las condiciones particulares de los aparatos espectrales que se usen, antes de proceder á toda investigacion delicada; así, pues, conviene que el observador conozca con exactitud los lugares que corresponden á las líneas principales y grupos de líneas que se distinguen en el espectro solar, de modo que al examinar una línea determinada, bien en el espectro de una sustancia terrestre, ó de un astro del cielo, pueda determinar en el acto, al menos de un modo aproximado, la distancia que la separa de la línea de Fraunhofer mas inmediata.

El instrumento empleado por Kirchhoff en sus investigaciones del espectro solar se componia de cierto número de prismas, aumentando su dispersion ó longitud del espectro segun que se hacia uso de mas ó de menos prismas. Con este aparato aparecian dobles varias líneas negras que se percibian como sencillas en los espectroscopios de menor potencia; la línea D, se separa en dos rayas muy finas, con un instrumento de moderada fuerza, y aun se percibe una banda nebulosa que exige para resolverse mayor dispersion.

Es por sí mismo evidente, que con una gran dispersion de la luz por cuyo efecto se alarga el espectro considerablemente, disminuye de un modo notable la intensidad de cada grupo de colores; valiéndose de un número suficiente de prismas puede reducirse el brillante espectro solar hasta tal punto, que sea por completo invisible, lo cual nos proporciona un medio muy conveniente, como mas adelante veremos, de reducir el excesivo resplandor de la luz del Sol, y poder observar los fenómenos que tienen lugar en los limbos del luminar del dia.

Para facilitar la observacion y reconocimiento, de las numerosas líneas negras del espectro solar, determinando escrupulosamente sus posiciones y distancias relativas de una á otra, deben trazarse todas las líneas visibles segun una escala determinada, la cual se toma como base para medir ó apreciar la situacion de tal ó cual linea.

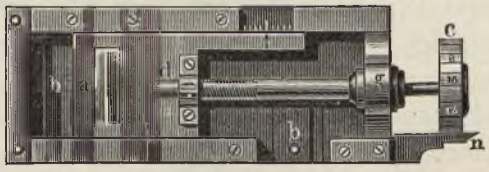


Fig. 263 — Micrómetro del espectroscopio

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Kirchhoff fué el primero que llevó á cabo este trabajo invirtiendo en él un tiempo considerable, llegando á determinar la posicion de las líneas en distintas porciones del espectro; para situarlas se valió de un círculo dividido fijo en la cabeza de un tornillo micrométrico; el ocular del anteojo analizador llevaba una cruz filar que se colocaba formando un ángulo de 45 grados con las líneas negras cuya posicion se trataba de determinar; el punto de interseccion de los hilos se colocaba sucesivamente, por medio del tornillo micrométrico, sobre cada una de estas líneas y las divisiones se leian en el tambor del mismo tornillo (fig. 263) al propio tiempo se apreciaba el grado de intensidad y el espesor de las líneas.

Para trazar la posicion de estas rayas se sirvió Kirchhoff como base de una escala dividida en milímetros, escogiendo un punto arbitrario para comenzar á contar las divisiones; cada milímetro correspondia á una division del tambor del tornillo micrométrico. Los dibujos publicados por Kirchhoff abrazan una porcion del espectro que se extiende de la línea D hasta un poco mas allá de F, y ocupan una extension de 130 centímetros; las porciones restantes de A á D y de F á G, fueron medidas y observadas con el mismo instrumento por Hofmann, discípulo de Kirchhoff, segun el método seguido por este profesor en el exámen de la primera porcion, resultando ambos fragmentos casi iguales, así que el largo total del espectro solar que representa el mapa de estos observadores no baja de 2,60 metros.

La fig. 264 es una copia reducidísima de la escala de Kirchhoff, con las principales rayas de Fraunhofer, que ocupan las posiciones siguientes:

A	405	E	1522,7	h	3371
a	505	b_1	1633,4	H_1	3568 (?)
B	593	b_2	1648,3	H_2	(indecisa segun Kirchhoff)
C	694	b_3	1655,0		
D_1	1002,8	F	2080		
D_2	1006,8	G	2855		

Es grave la objecion que puede hacerse al método de dibujar el espectro solar segun las posiciones y distancias relativas de las líneas oscuras (sus índices de refraccion), pues la posicion de estas líneas varia considerablemente segun el número y la composicion de los prismas que se empleen, por manera que la apariencia del espectro y sus reproducciones dependen en este punto de la construccion del instrumento. Trató Fraunhofer, el primero, de determinar la longitud de onda de los colores cuyos lugares ocupan las principales líneas negras del espectro solar; siguen luego los trabajos de Ditscheiner, Willigen y Mascart; Gibbs perfeccionó el método y lo aplicó á mayor número de líneas, hasta que finalmente terminó la tarea Angstrom, de Upsala, valiéndose de mejores instrumentos, cuyo trabajo se reputa como uno de los mas exactos que se han llevado á cabo en los tiempos modernos.

Para el estudio y dibujo del espectro se sirvió Angstrom, en lugar de prisma, de una red óptica, esto es, de una lámina de cristal plano en cuya superficie se trazan una multitud de líneas muy inmediatas y finas. Esta red se colocaba en la misma posicion que el prisma, entre el objetivo del colimador y el del anteojo analizador; Angstrom empleó tres de estas redes, una que contenia 4501 rayas en el espacio de 9 líneas de Paris; otra de 2701 rayas y la tercera de 1501 en la misma longitud.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El espectro producido por una red de difraccion, á diferencia del que se obtiene con el prisma, es siempre verdaderamente normal, es decir, las distancias relativas de las líneas de Fraunhofer corresponden precisamente á las diferencias de las longitudes de ondulacion de la luz en las regiones del espectro en que se encuentran.

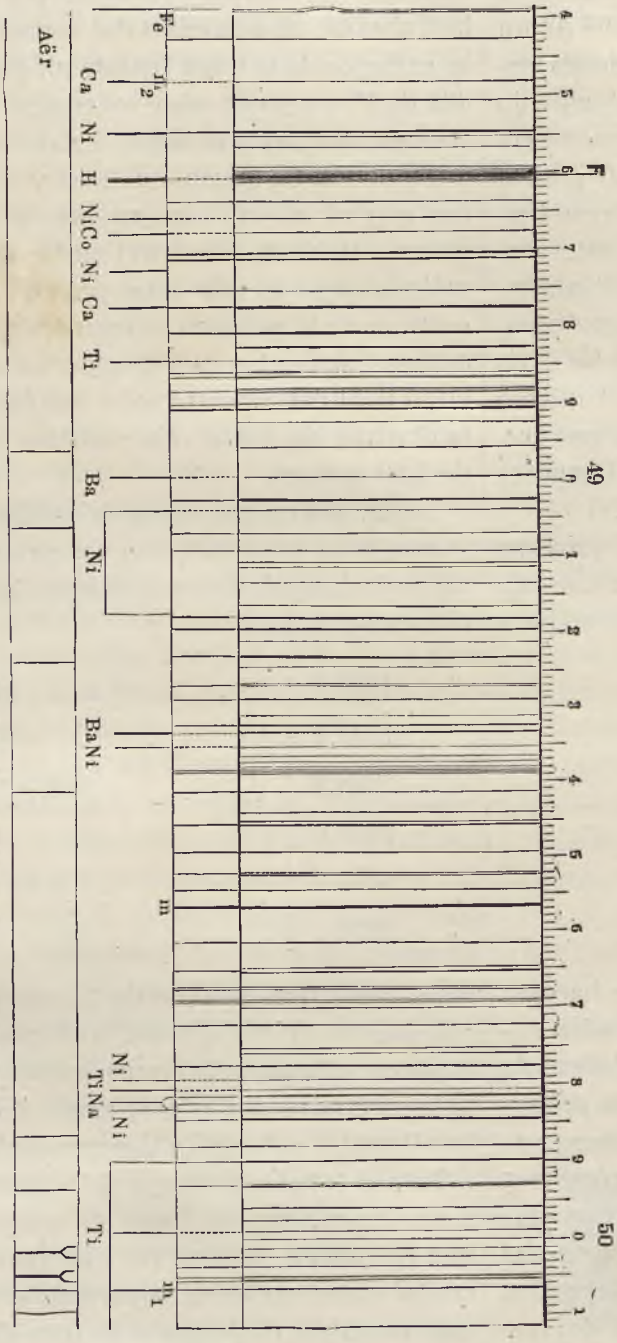


Fig. 265.—Fragmento del espectro normal del Sol de Angstrom; region de la línea F

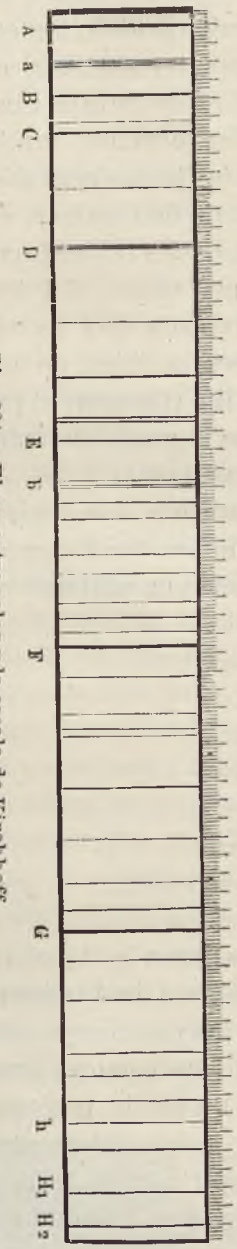


Fig. 264.—El espectro solar y la escala de Kirchhoff

El número de líneas negras medido por Angstrom con la ayuda y cooperacion de Thalén, llega á 1,000; y las longitudes de onda de los colores correspondientes á estas líneas se determinaron con toda escrupulosidad en unidades de una diez millonésima de milímetro. En los mapas originales se representa el espectro solar de *a* á H_2 en once partes, que cuando se unen tienen de largo $3^m,34$; en el canto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

superior de cada seccion hay una escala dividida en milímetros; cada milímetro de la escala representa una diferencia en las longitudes de las ondulaciones igual á una diez millonésima de milímetro (0, 000 000 1) y como el décimo de milímetro puede estimarse con bastante exactitud, la escala usada por Angstrom indica con mucha aproximacion la longitud de onda hasta la cien millonésima parte de un milímetro.

Como los rayos rojos (*a* B C) tienen mayor longitud de onda que los azules (G) ó violetas (H) los números que indican las divisiones de la escala decrecen sucesivamente del rojo al violeta en órden inverso de la escala uniforme de Kirchhoff; una octava parte del dibujo original en el que se incluye la línea F, se representa en la figura 265. Esta línea se halla situada en la inmediata vecindad de la division señalada con el número 4,800 de la escala, de donde se deduce que la longitud de ondulacion del color azul verdoso correspondiente á la línea F es de 0,0004860 de milímetro. Las líneas situadas á la derecha de F poseen mayor longitud de onda y se dirigen hácia la extremidad roja, y las de la izquierda hácia la parte violeta; la línea marcada *m* en la figura corresponde á un color cuya longitud de ondulacion es de 0,00049565 de milímetro; la señalada con *m*, es de 0,00050064 y la m_2 de 0,00048481, etc., etc.

Segun la determinacion de Angstrom, las longitudes de ondulacion de las principales líneas del espectro solar son como sigue:

A	0,00076009	b_1	0,00051830
a	0,00071850	b_2	0,00051720
B	0,00068668	b_3	0,00051667
C	0,00065618	F	0,00048606
D_1	0,00058950	G	0,00043072
D_2	0,00058890	h	0,00041012
E	0,00052689	H_1	0,00039680
		H_2	0,00039328

La coincidencia préviamente observada por Fraunhofer de las dos líneas negras del espectro solar señaladas por él mismo con la letra D con las dos líneas brillantes descubiertas por Kirchhoff y Bunsen en el espectro del sodio, indujo á Kirchhoff á comprobar la coincidencia indicada por pruebas mas directas, recibiendo un espectro solar muy brillante y colocando al propio tiempo en frente de la ranura del espectroscopio una llama de sodio.

«Vi, dice Kirchhoff, que las líneas negras D, pasaban á ser brillantes; la llama de un mechero de Bunsen mostraba las rayas del sodio con extraordinaria brillantez; con objeto de averiguar hasta qué extremo podia acrecentarse la intensidad del espectro solar sin perjudicar á la claridad de las líneas del sodio, hice que la luz del Sol cayese directamente sobre la ranura, atravesando antes la llama del metal y observé, con gran sorpresa, que las líneas D aparecian con extraordinaria distincion. A la luz solar sustituí la de la lámpara de Drummond, cuyo espectro, como el de todos los cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes, carece de líneas oscuras; cuando pasaba esta luz á través de la llama que contenia un poco de sal marina, aparecian en el espectro unas líneas oscuras en la posicion de las del sodio. Lo mismo ocurrió cuando en vez del cilindro de cal incandescente empleé un hilo de platino que enrojecí con la corriente eléctrica.»

No dudó Kirchhoff mucho tiempo, en vista de estos hechos, en atribuir las líneas negras D del espectro solar á la existencia del vapor de sodio en el Sol, en cuyo astro se verificaba el fenómeno de la inversion de un modo análogo al que demuestran los experimentos descritos anteriormente sobre el sodio terrestre.

Despues de suponer, con tantos visos de probabilidad, la existencia del sodio en el Sol, dió principio Kirchhoff á la ardua empresa de comparar los espectros de un gran número de sustancias terrestres con el espectro del Sol, con objeto de determinar si algunas de las líneas espectrales de estos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuerpos coincidian con las de Fraunhofer, esto es, si aparecian en el espectroscopio en el mismo lugar que estas últimas y presentaban analogía en su ancho é intensidad.

Tenemos ya conocimiento del método que puede emplearse para efectuar estas comparaciones, por medio de dos espectros producidos en un mismo instrumento. Dejó Kirchhoff que penetrase directamente

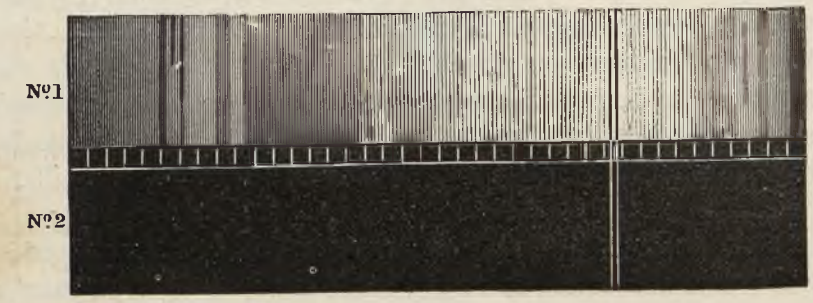


Fig. 266.—Coincidencia de las líneas D de Fraunhofer con las brillantes del sodio

la luz del Sol en el espectroscopio, en el primer prisma grande, por la mitad inferior de la ranura; mientras que la mitad superior la cubria el prisma de comparacion; á un lado se colocaba un foco luminoso cuyos rayos se reflejaban en el prisma

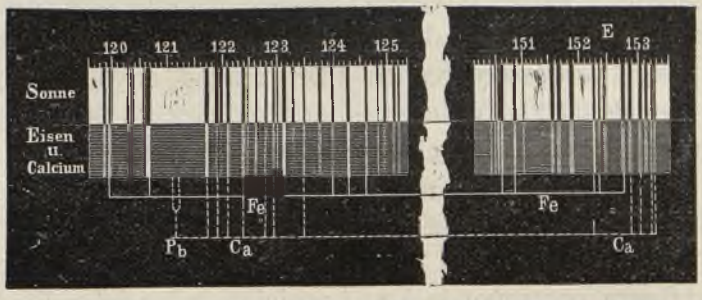


Fig. 267.—Coincidencia de las lineas de Fraunhofer con las del hierro y el calcio

y penetraban en el instrumento, de modo que en el campo del anteojo analizador (anteojo inverso) se veia en la parte superior el espectro solar con las rayas de Fraunhofer, y debajo, y en inmediato contacto con esta region, el espectro de la luz artificial. De este modo, las posiciones de las líneas brillantes del segundo espectro podian compararse con toda exactitud con las rayas oscuras del espectro solar.

Empleó Kirchhoff como luz artificial, y casi de un modo exclusivo, la chispa de induccion de una poderosa máquina de Ruhmkorf. Y para obtener un espectro puro formaba los electrodos de los metales que deseaba volatilizar.

Comparando estos espectros con las líneas negras del espectro solar, obtuvo Kirchhoff el sorprendente resultado de que las líneas brillantes de varios metales coincidian exactamente con igual número de líneas del espectro del Sol. La fig. 266 indica la coincidencia de las dos lineas del sodio D; la parte superior representa la region amarilla del espectro solar en donde se hallan situadas las dos rayas negras entre 100 y 101 milímetros de la escala de Kirchhoff; la parte inferior muestra las líneas brillantes que exhibe el sodio hecho luminoso por la chispa eléctrica ó la llama de una lámpara; entrambos pares de líneas ocupan precisamente la misma posicion en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el espectro, de modo que en uno son exacta prolongacion de las del otro. En un buen instrumento se percibe otra línea fina entre las dos gruesas D, que corresponde al espectro del níkel.

Dos porciones del espectro, situada la una en el amarillo entre las divisiones 120 y 125 de la escala de Kirchhoff, y la otra en el verde entre las divisiones 150 y 154 se representan en la fig. 267. Las trece líneas inferiores brillantes, designadas Fe, que quiere decir hierro (de ferrum) pertenecen al espectro de este metal y caen en coincidencia perfecta con igual número de rayas negras del espectro solar. Las doce líneas restantes indicadas por puntos en la figura, pertenecen al espectro del calcio y coinciden con otras tantas líneas negras del espectro solar. Entre todas estas líneas se encuentran otras varias en los dibujos de Kirchhoff, que coinciden con las líneas brillantes de diversas sustancias terrestres, mientras que otras se deben á efectos de absorcion.

En uno de los mapas parciales publicados por Kirchhoff se cuentan sesenta líneas brillantes del hierro que coinciden exactamente con otras tantas rayas de Fraunhofer; Hofmann agregó trece líneas mas y Angstrom y Thalén, que volatilizaron el hierro en el arco eléctrico, hallaron que la coincidencia existia entre mas de 460 líneas de este metal é igual número de rayas oscuras del espectro solar.

La completa coincidencia de tantas líneas brillantes de una misma sustancia con igual número de líneas oscuras del espectro del Sol, demuestra de un modo evidente, que este fenómeno no puede ser casual, y que debe atribuirse á la accion absorbente del vapor de hierro que existe en la atmósfera solar; las probabilidades de que esta coincidencia sea puramente casual, respecto de la suposicion de que en efecto pertenezcan al hierro del globo solar, están en la proporcion, segun la teoría del cálculo de las probabilidades, de 1 á 2^{60}; ó en otros términos en la razon de 1 á 1, 152 930 000 000 000 000.

La coincidencia mas extraordinaria que hay entre las líneas espectrales de los elementos terrestres y las rayas oscuras del espectro solar se manifiesta en el hierro,

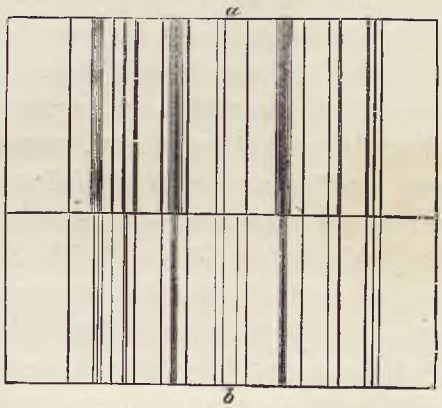


Fig. 268. — Comparacion de los espectros de Kirchhoff y Angstrom; region inmediata á *b*

sodio, potasio, cálcio, magnesio, manganeso, cromo, níkel, é hidrógeno; las líneas espectrales de estas sustancias no solo concuerdan exactamente con las líneas oscuras en posicion y ancho, sí que tambien indican su carácter comun por su grado de intensidad. Por ejemplo, mientras mas brillante aparece una línea espectral, tanto mas oscura será la raya que le corresponda en el espectro solar.

Una coincidencia, parcial únicamente, de líneas brillantes y oscuras se demuestra en el espectro de los metales, zinc, bario, cobre, cobalto y oro, en los que las líneas mas brillantes son las que corresponden con las oscuras del espectro solar. Thalén ha descubierto en época reciente que el mayor número de las 170 líneas del metal titano corresponde con igual número de líneas de Fraunhofer; sus observaciones sobre mas de cuarenta y cinco metales confirman plenamente los anteriores estudios de Kirchhoff.

Los espectros de los metales plata, mercurio, antimonio, arsénico, estaño, plomo, cadmio, estroncio y litio, no ofrecen coincidencia alguna con las líneas de Fraunho-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fer, y otro tanto ocurre con los metaloides silicio y oxígeno.

II

Líneas telúricas del espectro solar

El físico italiano Zantedeschi, de quien antes hicimos mencion, fué el primero en notar que todas las líneas oscuras del espectro solar no son invariables, y que ocurren ciertos cambios en su número, posicion, intensidad y anchura, segun las diversas condiciones de la atmósfera terrestre; este asunto ocupó la atencion de Brewster, Gladstone, Piazzy Smith, Secchi y principalmente de Janssen, celebrado astrónomo francés, pero no obstante el mérito de todos estos observadores, no se ha obtenido hasta ahora ningun resultado satisfactorio.

En 1832 descubrió Brewster que en determinadas condiciones se veian en el espectro solar varias líneas oscuras producidas por la absorcion atmosférica. Este mismo físico y Gladstone, hallaron nuevas bandas oscuras en el espectro cuando el Sol se aproximaba al horizonte, y tambien que ciertas rayas oscuras se marcaban de un modo mas pronunciado por la mañana y por la tarde que al medio dia, cuando el Sol se hallaba en mitad de su carrera; como al estar el Sol cerca del horizonte tienen que atravesar sus rayos una capa de aire quince veces mas densa que cuando el mismo astro se encuentra á gran altura en el meridiano, ocurrióse á estos físicos que el aire, aunque incoloro, podia ejercer cierto influjo absorbente sobre la luz y detener el paso de los rayos lo mismo que los vapores, en proporcion con el espesor y la densidad de la capa atmosférica que tiene que atravesar la luz.

El espectro solar publicado por Brewster y Gladstone en 1860, de unos dos metros de longitud, contiene mas de 2,000 líneas ó bandas oscuras visibles, y que con facilidad se distinguen unas de otras. La extremidad violeta tiene igual extension que en el mapa de Fraunhofer, pero la region del rojo es mucho mas grande que en el de este último; las líneas de Fraunhofer con-



Fig. 269.—Espectro solar de Brewster y Gladstone con las líneas de absorcion atmosférica

servan su denominacion original de A, *a*, B, etc., al paso que las líneas y bandas interpuestas entre ellas y que fácilmente se separan unas de otras, se señalan con números detrás de las letras A, B, C, etc., sucesivamente hácia el violeta, comenzando siempre por 1. Así entre A y *a* hay tres bandas marcadas A_1, A_2, A_3; en-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tre *a* y B se encuentran ocho líneas ó bandas marcadas a_1 a_2 a_3..... a_8. Entre B y C hay siete líneas, diez y seis entre C y D, veintinueve entre D y E, diez entre E y *b*, treinta entre *b* y F, cincuenta entre F y G, cincuenta y tres entre G y H, cuatro entre H y *k* y diez entre *k* é Y, estando cada línea indicada por un número, que principia siempre por 1. Además de estas líneas principales hay otras muchas muy finas intercaladas entre ellas que no hemos enumerado; las líneas y bandas sobre las cuales ejercen una influencia mas notable las condiciones atmosféricas y que por lo tanto son mas ó menos prominentes segun que la altura del Sol es menor ó mayor, se designan con las letras del alfabeto griego. El espectro solar que representa la fig. 269 es una copia reducida del mapa que publicó Brewster é indica no solo las líneas de Fraunhofer, sino tambien todas las rayas y bandas variables de mas ó menos importancia que se perciben sin grande esfuerzo y que en la figura se marcan con caracteres griegos; los números se han omitido para evitar confusion. El grabado representa el espectro solar cuando el astro del dia se halla muy cerca del horizonte; todas las líneas y bandas marcadas con caracteres griegos desaparecen del espectro, ó se debilitan mucho cuando menos, á medida que el Sol se eleva; Brewster y Gladstone dieron á estas bandas el nombre de líneas atmosféricas para indicar que estaban formadas por la absorcion de la atmósfera terrestre sobre los rayos luminosos; no llegaron estos observadores á descubrir á qué elementos del aire atmosférico se debia esta cualidad absorbente.

En la porcion menos refrangible del espectro, aparecen á la salida del Sol dos rayas negras muy intensas al lado de A, y muy cerca de estas se ven otras dos líneas finas Y Z; A conserva su ancho aunque el Sol obtenga bastante altura, y al medio dia aparece como una línea doble ó mas bien como dos espacios oscuros separados por una estrecha banda luminosa; á la puesta del Sol, desaparece la banda brillante y vuelve á verse la línea como una banda de ancho é intensidad uniformes. La intensidad del grupo *a* crece hácia el ocaso, pero las líneas individuales no llegan á reunirse en una sola banda.

La absorcion mas enérgica tiene efecto muy cerca de B; C y muchas de las líneas comprendidas entre C y C_6 se hacen mas oscuras, siendo notable sobre todo C_6 (en el anaranjado), pues sigue siendo muy profunda aunque el Sol alcance una elevacion considerable sobre el horizonte. En los países de la Europa central se ve esta línea durante todo el dia en el invierno, pero no en el verano; al orto y al ocaso aparece como una de las mas profundas y mejor dibujadas de todo el espectro. C_{15} crece por la tarde y se convierte en una banda negra, al mismo tiempo que la doble línea D se acentúa señaladamente. Mas allá de D_2 se percibe una banda que principia en *delta* que es característica, particularmente del espectro de una luz que ha atravesado una densa capa de aire. Esta banda se distingue aun con un espectroscopio pequeño, á cualquiera hora en la luz difusa de un dia nublado, pero es excesivamente negra y detallada en tiempo muy lluvioso y á la postura del Sol.

Otro tanto se observa en las bandas *epsilon* y *zeta* y tambien en la línea *eta*, que es muy distinta por la tarde; su proximidad á la raya E puede hacer que ambas se confundan, toda vez que sobre esta última no ejerce la atmósfera influjo alguno. Al otro lado de *b* se ven otras muchas líneas y bandas atmosféricas muy notables, en particular *i* y *x*. F pierde su detalle á la puesta del Sol y siete bandas de *lambda* á *sigma* son visibles entre F y G; en esta última letra el único cambio que se observa es una pérdida de brillo á medida que desciende el Sol hácia el horizonte, pero en la region violeta se nota una absorcion mucho mas pronunciada.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El cielo occidental, inmediatamente despues de la postura del Sol, presenta la ocasion mas favorable para observar estas líneas oscuras atmosféricas, en particular las bandas *delta* y *zeta* en las regiones brillantes del espectro; cuando el cielo toma un color de fuego, aparecen por lo general las líneas C, C_6, D, y *delta*, como cuatro bandas muy oscuras, las cuales se marcan con mucha menor distincion si el tono del cielo es amarillo.

De las investigaciones de Brewster y Gladstone se ocupó con grande esmero el físico francés Janssen en 1864, con objeto de descubrir qué cuerpo de la atmósfera producia estas rayas de absorcion del espectro solar. Con un instrumento que él mismo ideó, compuesto de cinco prismas, consiguió reducir las bandas oscuras observadas por los físicos ingleses, á líneas muy finas, averiguando al propio tiempo que su intensidad era en extremo variable. Halló tambien que eran mas profundas al orto y al ocaso del Sol que en medio del día, pero que nunca llegaban á desaparecer completamente del espectro, cuyo cambio periódico demostraba su orígen atmosférico. Para obtener pruebas aun mas decisivas sobre este punto, resolvió Janssen proseguir sus observaciones sobre el espectro solar, en la cumbre de alguna elevada montaña, donde el influjo absorbente del estrato inferior y mas denso de la atmósfera, quedase excluido, y donde, por consiguiente, se manifestasen los fenómenos de absorcion en grado mucho menor que en el llano.

Con tal objeto, en el año de 1864, permaneció Janssen durante una semana en la cúspide del Faulhorn, á una altura de tres mil metros sobre el nivel del mar; sus observaciones le demostraron que las líneas oscuras variables del espectro solar eran mucho mas débiles que las que se distinguian en el valle. Pero deseando descubrir el verdadero orígen de esta absorcion y obtener la certidumbre de que estas líneas solo se debian á la atmósfera terrestre, se consagró al estudio de la luz artificial, puesto que los rayos solares para llegar á la Tierra tienen que atravesar millones de leguas por un medio óptico extraño.

En el mes de octubre de 1864 se incendió una gran cantidad de madera de pino apilada en las inmediaciones de Ginebra, á una distancia de 21 kilómetros de su puesto de observacion, cuyo accidente le permitió analizar el espectro de esta gigantesca llama; en las inmediaciones de la hoguera, se observaba un espectro continuo, sin líneas oscuras, pero á la distancia que hemos mencionado aparecian algunas de las líneas señaladas por Brewster en el espectro del Sol poniente.

Todas estas pruebas demostraban, pues, la accion evidente de nuestra atmósfera y el doble orígen de las líneas del espectro solar; nuestra atmósfera, á pesar de su poca elevacion y de la baja temperatura de los gases de que se compone, obra sobre la luz con tanta energía, aunque de un modo muy distinto, como la atmósfera del Sol.

La atmósfera de la Tierra produce en el rojo, el anaranjado y el amarillo del espectro un sistema de rayas diez veces mas numerosas que las líneas solares de estas regiones; por el contrario, en el verde, el azul, el violeta, dominan las rayas de orígen solar. Así, pues, estas dos atmósferas, tan diferentes por sus temperaturas propias, no ofrecen tanta discrepancia en lo relativo á sus acciones sobre la luz; pudiera decirse que hasta cierto punto se divide el espectro; la atmósfera de la Tierra, de temperatura baja, obra específicamente sobre los rayos de gran longitud de onda; la atmósfera solar, de temperatura elevada, manifiesta su accion electiva sobre los rayos de corta longitud de onda.

Demostrada la accion de nuestra atmósfera, trató Janssen, segun dijimos antes, de determinar los elementos que producian este efecto.

Sospechó Janssen que el vapor de agua

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

disuelto de nuestra atmósfera desempeñaba una parte muy importante, sino total, en la produccion de las rayas telúricas del espectro solar; en efecto, las continuadas observaciones verificadas en diversas épocas del año, como llevamos dicho, indicaban claramente que para unas mismas alturas de Sol ciertas rayas del espectro de este astro eran tanto mas profundas cuanto mas elevado era el punto de condensacion del rocío.

Las observaciones efectuadas en el Faulhorn confirmaban este extremo, puesto que en los dias muy secos, las líneas de absorcion casi desaparecian del espectro por completo. De igual manera, en los experimentos llevados á cabo en el lago de Ginebra con objeto precisamente de que el rayo luminoso al rasar la superficie del agua atravesase capas de aire mas húmedas por necesidad, se observó el mismo fenómeno de absorcion. No cabia, pues, duda alguna sobre el influjo del vapor de agua; sin embargo, era necesario y á causa precisamente de la importancia del resultado, someter este punto teórico á una comprobacion directa, estudiando las modificaciones que un haz de luz de composicion bien conocida experimentase al pasar por un tubo de suficiente longitud que solo contuviese vapor de agua.

Por desgracia, presentaba este experimento bastantes dificultades prácticas; nuestra atmósfera contiene tal cantidad de vapor acuoso que para realizar artificialmente los efectos que produce la luz solar, era necesario acudir á aparatos de dimensiones exageradas y difícilmente hacederos.

El primer ensayo se efectuó con un tubo de 10 metros de largo, pero debido á su corta longitud no se obtuvieron resultados satisfactorios. Luego, en condiciones mas favorables gracias al concurso de la Fábrica de Gas de Paris, pudo Janssen realizar sus estudios con buen éxito. Para esto dispuso un tubo de hierro de 37 metros de largo en una caja de madera de igual longitud, llena de aserrin muy seco, con cuya disposicion se evitaba toda pérdida de calor sensible; el vapor lo suministraba una locomóvil de seis caballos de fuerza, y la luz un aparato de diez y seis mecheros de gas dispuestos en la direccion del eje del tubo. Esta luz, que como es sabido, da un espectro continuo, permite que se distingan las bandas oscuras mas débiles.

En uno de los experimentos, se purgó de aire el tubo completamente, llenándolo de vapor de agua á la presion de siete atmósferas; el espectro se presentó con cinco bandas oscuras, dos de estas bien marcadas, repartidas de D á A de Fraunhofer, muy semejante por lo demás al espectro del Sol poniente visto en el mismo tubo. Desde las primeras comparaciones efectuadas entre el espectro del vapor de agua y el de la luz solar se vió que el grupo A, B (en parte al menos), el grupo C y dos grupos entre C y D, eran debidos al vapor acuoso de la atmósfera; de estos experimentos se obtuvo asimismo un resultado importante. El espectro de la luz trasmitida aparecia muy sombrío en la parte mas refrangible, y era brillante en las regiones del rojo y del amarillo. Así, pues, aunque el vapor de agua absorbe enérgicamente ciertos rayos rojos y amarillos, es, en suma, muy transparente para casi todos los demás, al paso que obra de un modo general sobre los rayos mas refrangibles. De aquí resulta que el vapor de agua debiera tener un color rojo anaranjado por trasmision, mas acentuado cuanto mayor sea el espesor del estrato.

Este fenómeno explica el color rojo variable que presenta el Sol tanto á su orto como á su ocaso.

Las líneas producidas por la absorcion de la atmósfera sobre ciertos rayos luminosos del espectro, se llaman líneas telúricas. Prosiguiendo Janssen sus investigaciones llegó á demostrar que casi todas las líneas telúricas se deben al vapor de agua de la envoltura gaseosa de la Tierra, y que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tambien ejerce un influjo absorbente este vapor en la porcion invisible del espectro solar situada mas allá del rojo, es decir, en la region calorífica, en donde produce líneas de absorcion; y, finalmente, que influye sobre toda la parte violeta del espectro de un modo mas uniforme que electivo.

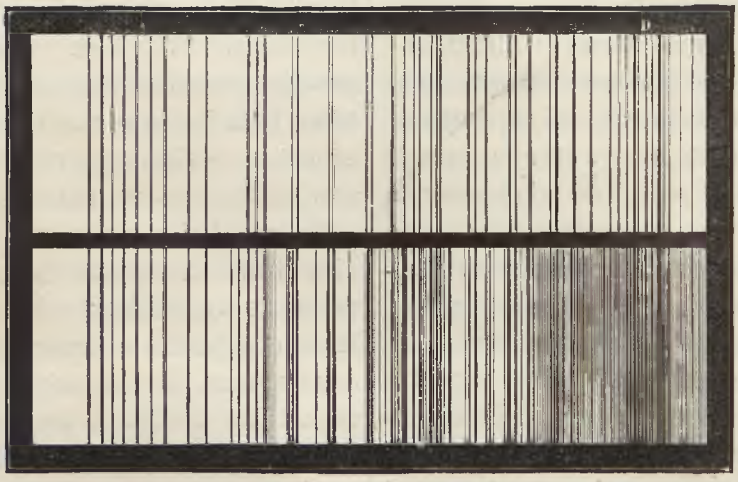


Fig. 270.—Líneas telúricas de la region D del espectro solar

El espectro de absorcion del vapor de agua se compone, por lo tanto, de todas las líneas oscuras que aparecen en el espectro



Fig. 271.—Bandas telúricas segun Janssen.—1: Espectro de Sirio en el meridiano.—2: Idem en el horizonte.—3: Espectro del Sol en el meridiano.—4: Idem en el horizonte

continuo de una luz que atraviesa un espesor algo considerable de la atmósfera terrestre.

Dibujó Janssen otro mapa de la region del espectro comprendida entre C y D; en él se incluyen tambien los tres grupos señalados por Brewster con las letras *alfa*, *beta*, *gamma* y *lambda* (fig. 269); asimismo extendió sus investigaciones á la luz de la Luna y de las estrellas fijas con objeto de averiguar si la luz estelar, distinta de la del Sol, se hallaba sujeta á cambios semejantes al atravesar la atmósfera de la Tierra. Con tal propósito adaptó un pequeño espectroscopio de vision directa á un anteojo astronómico de gran potencia y examinó el espectro de Sirio en el momento en que esta estrella aparecia sobre el horizonte, distinguiendo varias bandas oscuras que, segun demostraron las medidas, ocupaban

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

exactamente el mismo lugar que las bandas del espectro del Sol á su orto y á su ocaso. A medida que aumentaba la altura de Sirio, disminuia la intensidad de estas líneas telúricas de un modo gradual, desapareciendo completamente cuando la estrella cruzaba el meridiano.

La fig. 271 representa los espectros del Sol y de Sirio segun se ven en el pequeño espectroscopio cuando estos se encuentran cerca del horizonte y en el meridiano. Las bandas telúricas se reconocen en seguida comparando los dos espectros del mismo objeto; las bandas oscuras señaladas 1, 2 y 3 corresponden evidentemente al espectro de absorcion y son comunes al Sol y á Sirio cuando están cerca del horizonte.

El P. Secchi tambien se ocupó durante varios años del estudio de las líneas telúricas del espectro solar. Desde el principio manifestó su opinion de que la existencia de estas líneas oscuras, que varian con la posicion del Sol, la situacion del observador y la humedad del aire, debia atribuirse á la accion absorbente del vapor acuoso de la atmósfera; el influjo del tiempo era evidente puesto que algunas líneas de estas son invisibles en tiempo claro y despejado con viento Norte, mientras que se marcan con gran intensidad en los dias nublados y con viento del Sur. Observó tambien Secchi las líneas negras de absorcion que se producen en tiempo de lluvia, en el espectro de una llama situada á 2 kilómetros de distancia, ó en el de grandes fogatas encendidas en la cresta de los montes.

Angstrom, de Upsala, hizo un estudio muy concienzudo de las líneas telúricas del espectro solar, tomando medidas muy exactas de sus posiciones y distancias relativas, calculando por estos datos, la longitud de onda de los colores que absorbian.

Segun este distinguido observador, los fenómenos se producen, por la potencia absorbente de la atmósfera á medida que el Sol se aproxima al horizonte, en el órden que sigue. La parte violeta del espectro desaparece hasta la línea G; entonces avanza la absorcion hácia el rojo y hace que crezca la profundidad de las bandas oscuras próximas á F y D. Al propio tiempo las líneas A B y *a* que son siempre visibles en la porcion roja del espectro, se hacen mucho mas oscuras y las líneas del vapor de agua en C y D continuan aumentando. A lo último, las únicas porciones que permanecen brillantes están situadas entre B y *a*, entre *a* y *delta* y en la mayor parte de la region amarillo-verdosa en la vecindad y á la derecha de *delta*, mientras que la zona entre B y *delta* está mas ó menos sombreada por las bandas oscuras. La region que menor influjo experimenta por la absorcion está situada entre D y *delta*.

Angstrom y Brewster están conformes en suponer que casi todos los cambios de color que se observan en el tono rojizo del Sol á su salida y á su ocaso, se explican sin dificultad por el fenómeno de la absorcion atmosférica, y que deben rechazarse todas las demás teorías propuestas con este mismo objeto. Opina Angstrom que las bandas A, B, *a* y *delta* no se producen por el vapor de agua de la atmósfera puesto que son muy constantes y en la apariencia no manifiestan modificacion alguna por los cambios de temperatura; queda por averiguar si otros gases de la atmósfera, como por ejemplo, el ácido carbónico, no ejercen cierto influjo sobre la formacion de estas líneas.

Se admite por los astrónomos, segun hemos podido ver en la primera parte de esta obra, que otros cuerpos celestes, además de la Tierra, están rodeados de una atmósfera; el descubrimiento de Janssen del espectro del vapor de agua nos facilita los medios de averiguar si este vapor, indispensable para la conservacion de todos los organismos vivos de nuestro planeta, se encuentra tambien en la atmósfera de los demás cuerpos que forman la familia solar. Mas adelante daremos cuenta de las obser-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vaciones efectuadas por varios astrónomos sobre este punto importante de la ciencia.

III

Análisis espectral de las manchas solares

Los procedimientos ordinarios del análisis espectral nos revelan el conjunto de rayos que emanan del Sol despues de haber atravesado su atmósfera; pero hay motivo para preguntar si todas las regiones del globo solar emiten rayos idénticos y dan orígen á espectros perfectamente semejantes. Parece difícil que en una superficie de tanta extension haya una homogeneidad perfecta, é involuntariamente se nos ocurre la idea de que entre la superficie general y las manchas, debe haber alguna diferencia; entra, pues, el deseo de averiguar si estas regiones, tan distintas del resto del globo y por razones tan concluyentes, no presentan alguna particularidad notable respecto de las radiaciones que nos envian.

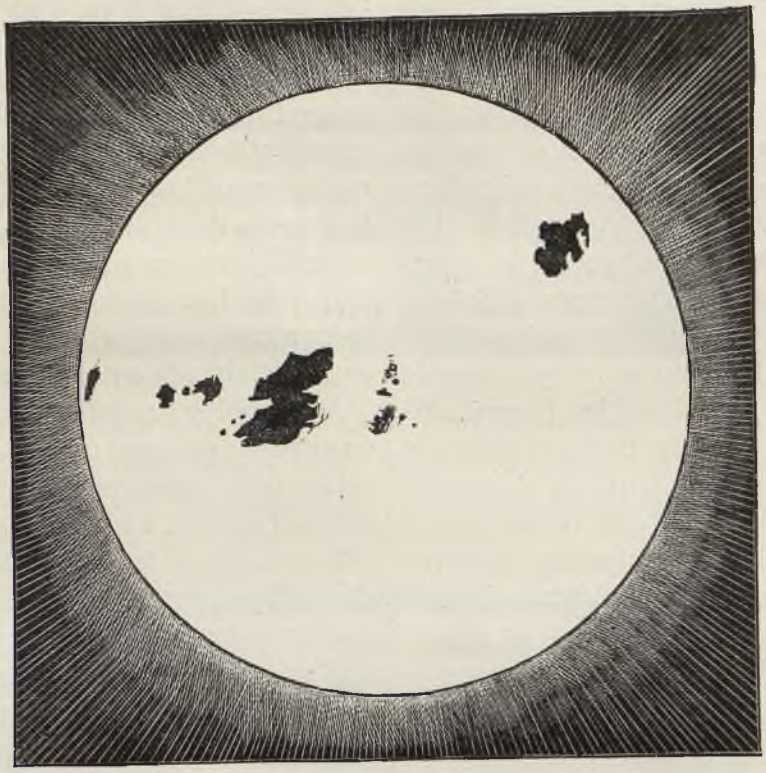


Fig. 272.— Grandes manchas solares

Para responder á esta pregunta no basta dirigir sencillamente el espectroscopio al Sol, pues es necesario analizar en particular los rayos que provienen de diversas partes del astro; para esto se recibe sobre el plano de la ranura del espectroscopio la imágen del Sol que se forma en el foco del objetivo, y se procura que en los mismos bordes de la ranura caiga la imágen del punto que se quiere analizar. Pero como por lo general el objetivo de un anteojo produce en su foco una imágen muy pequeña, es imposible examinar aisladamente las distintas partes que le componen. El P. Secchi se sirvió para sus estudios de la gran ecuatorial del Observatorio del Colegio Romano, colocando á cierta distancia del foco, el objetivo de un microscopio acromático de Amici, obteniendo así una imágen del Sol proyectada en una pantalla dispuesta en lugar de la ranura, que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

media de 22 á 23 centímetros de diámetro; de este modo adquirian las imágenes de las manchas una magnitud considerable y podian estudiarse todos sus detalles con bastante perfeccion. Por una feliz coincidencia al acabar el P. Secchi su aparato se menudearon de tal suerte las manchas que

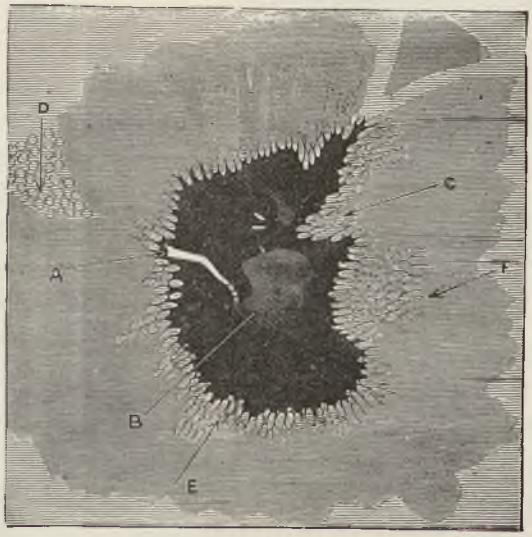


Fig. 273.—Mancha solar muy amplificada

en los meses de abril y mayo de 1869 fueron abundantísimas, de modo que el sabio jesuita pudo estudiarlas con atencion bajo este punto de vista particular siguiendo las diferentes fases que presentaban.

A veces adquiria la imágen de una mancha mas de un centímetro de diámemetro, por manera que limitando con diafragmas la longitud de la ranura á unos dos milímetros próximamente, se podian explorar de un modo sucesivo las distintas partes de la sombra y de la penumbra.

El número de prismas empleados variaba de tres á cinco, mas todos ellos eran muy poderosos; las medidas se efectuaban con una escala graduada sobre vidrio y adaptada al ocular, y tambien con hilos micrométricos. En el curso de su trabajo comparó Secchi todas las rayas con los números dados por Kirchhoff y con los de los mapas Van der Willigen que son mas fáciles de reconocer.

Cuando con este aparato se dirigia el espectroscopio á distintas regiones del disco solar, en todas ellas se veian las mismas líneas principales; en cuanto á las secundarias reina mas incertidumbre y las afirmaciones de Secchi no son tan absolutas, pues en unos puntos se desvanecen estas líneas casi por completo. Cerca de los bordes se observan variaciones muy considerables y entonces se perciben varios sistemas de líneas muy finas en particular en el centro; al propio tiempo presentan un aspecto indeciso y como nebuloso, pues sus bordes se terminan con cierta confusion.

Se ha observado tambien, que en la proximidad de las manchas, principalmente en las fáculas que las rodean, son mas débiles las rayas negras del hidrógeno; en ocasiones desaparecen completamente y aun llegan á invertirse. La raya C es la que sufre variaciones mas importantes; la F no llega nunca á desaparecer por completo y casi siempre va acompañada por otra línea negra que no pertenece al hidrógeno.

Otras líneas, y entre ellas las del magnesio, presentan la misma particularidad; pronto hemos de ver que este fenómeno se debe á inmensas erupciones de vapores metálicos entre los cuales domina el hidrógeno. Estas masas de gases darian orígen á líneas brillantes si estuviesen aisladas, pero como se encuentran inundadas por la luz deslumbradora del Sol, todo lo mas que llegan á producir es un efecto igual y contrario al de la capa absorbente que las rodea. Cuando son bastante vivas pueden producir un efecto mas considerable y manifestar su presencia por líneas brillantes, lo cual ocurre con gran frecuencia.

Cuando una mancha se encuentra muy cerca del borde, con frecuencia se ven las líneas brillantes del hidrógeno como sobrepuestas al disco solar, prolongándose por un espacio de varios segundos hasta el núcleo oscuro, en el cual se detienen brusca-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mente. En las manchas cruzadas por puentes gaseosos ó que presentan velos rosados aparece la raya C muy reducida y aun llega á invertirse por completo en algunos casos.

Las modificaciones que experimenta el espectro en el interior de las manchas son muy notables; desaparece la armonía general y la proporcion en las intensidades luminosas se cambia por completo. Ciertas líneas, que por lo comun apenas son visibles, se hacen muy negras y prolongadas, y otras, por el contrario, pierden la finura de sus contornos, no faltando algunas que permanecen inalterables.

En el espectro general del Sol se distinguen varios sistemas de líneas muy finas y juntas situadas todas á una misma distancia relativa; se ha dado á estos sistemas el nombre de *persianas* á causa precisamente del aspecto que ofrecen; en las manchas se borran y confunden, particularmente en la region del espectro comprendida entre C y D; en la zona del verde hay tambien un gran número de sistemas de estos que en las manchas se hacen muy negros, mientras que es muy difícil distinguirlos en el resto del disco.

No parece que estos sistemas sean creaciones nuevas particulares de las manchas, pues por lo comun corresponden con las rayas mas finas que señaló Kirchhoff y las cuales llegan á tomar en las manchas un desarrollo extraordinario constituyendo un fenómeno característico. No se conocen todavía las sustancias que producen estas persianas, pero todo parece indicar que son gaseosas y aun que el vapor de agua desempeña en la produccion del fenómeno una parte importante, pues el P. Secchi pudo observar las mismas apariencias cuando algunas nubes ligeras ó nieblas pasaban por delante del Sol.

Muchas de las rayas que pertenecen á sustancias metálicas se dilatan de un modo considerable, conservando, empero, sus bordes bien marcados y sin difusion; en la parte verde hay algunas líneas que se hacen tres ó cuatro veces mas anchas cuando las manchas son redondas y profundas, en particular si las líneas pertenecen á los metales hierro y calcio. Tambien se ensanchan las rayas del sodio, pero no como las anteriores, pues sus contornos se hacen difusos en particular cerca de los bordes. La fig. 274 representa el aspecto de las líneas de absorcion del sodio cuando se dirige el espectroscopio á una mancha solar. Si son dos las manchas y están próximas una á otra, toma el espectro la apariencia que marca la fig. 275; los experimentos de Cailletet demuestran que las rayas del sodio se hacen difusas y nebulosas cuando la presion es considerable, de modo que podemos admitir que la dilatacion de que acabamos de hablar se debe á la extraordinaria densidad que poseen estos vapores en determinadas circunstancias. No es el sodio el único metal que presenta este fenómeno; en el verde se encuentran rayas que se hacen muy difusas, sobre todo, entre *b* y F; pero el sodio ejerce tal predominio sobre los demás que el intervalo entre dos líneas consecutivas desaparece en ocasiones por completo.

Segun el P. Secchi, la atmósfera del Sol contiene vapor de agua, lo cual parece muy extraño en vista de su elevadísima temperatura, pero las observaciones demuestran que cerca del borde se perciben los mismos tonos y las mismas bandas difusas que aparecen en el espectro del aire atmosférico cuando este se encuentra saturado de humedad en el momento en que una nube traslúcida pasa por delante del disco del Sol.

Los detalles que hemos presentado apenas bastan para dar una ligera idea del inmenso trabajo que aun queda por hacer para completar el estudio espectral de la superficie solar; pero por imperfecto que haya sido este exámen nos suministra principios fecundos de los que podremos deducir un gran número de conclusiones.

Son las manchas regiones caracterizadas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

por un aumento considerable del poder absorbente, y la mayor profundidad en el color de las líneas en el borde del disco, depende, sin duda alguna, de la misma causa. Hay, empero, una gran diferencia entre estas dos clases de fenómenos, pues así como cerca del limbo parece que la absorcion se debe á gases propiamente dichos, en las manchas se produce principalmente por los vapores metálicos. Cuando

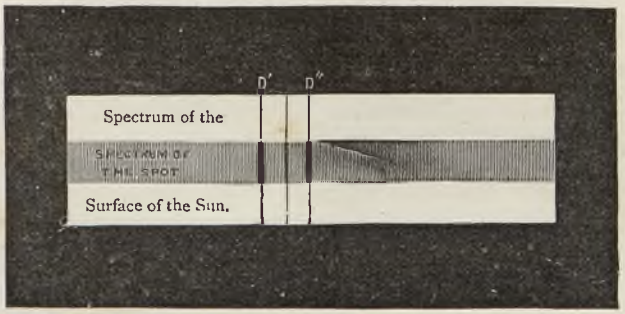


Fig. 274.—Las líneas D en el espectro de una mancha solar

las manchas son superficiales, solo se nota que las líneas D del sodio, se acentúan; si la profundidad de la mancha es de mediano valor, se acentúan del propio modo las líneas del calcio; pero no se observa modificacion alguna en las del hierro. Finalmente, cuando las manchas son muy oscuras, lo cual permite calcular que son muy hondas, sufren á su vez las líneas del hierro una dilatacion considerable; pero en menor grado que las rayas del calcio.

La region de las manchas estaria ocupada, pues, por vapores metálicos bastante densos, por ejemplo, de sodio, hierro, calcio, etc.; el sodio y el calcio cuyo peso atómico es mas débil son precisamente los que presentan líneas mas dilatadas; los otros metales, el cobalto, cromo, plomo, etc., no presentan cambio apreciable, lo cual puede atribuirse á la densidad de sus vapores que los obliga á permanecer en capas mas profundas.

La misma causa sin duda nos impide reconocer la presencia de los metales preciosos cuyos vapores son mas densos todavía. Reflexionando acerca de estos fenómenos, nos vemos obligados á admitir que en el interior de las manchas se hallan dispuestos los vapores metálicos por órden de densidad, los mas pesados en el fondo, los mas ligeros en la parte superior y sobre todos

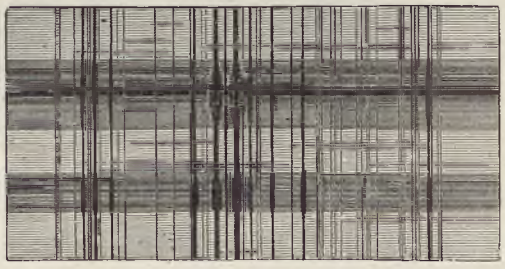


Fig. 275.— Espectro de las manchas solares

los vapores metálicos el gas hidrógeno, formando una capa continua que envuelve por todas partes al globo solar.

En el espectro de las manchas no se descubren líneas nuevas, y solo se presentan las de la atmósfera solar mas ó menos reforzadas, de modo que no hay sustancias nuevas en estas regiones, sino mayor densidad de ciertos y determinados vapores. Ahora bien, segun supimos á su tiempo, en las manchas se efectúa constantemente una disolucion de la materia fotoesférica y debiera resultar una absorcion electiva distinta en un todo, si la fotoesfera contu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

viese otros elementos diversos de los que constituyen la capa atmosférica.

No seria preciso modificar esta conclusion aunque en vez de comparar la fotoesfera á una neblina que se disuelve en las manchas, la considerásemos como una masa gaseosa sometida á una presion bastante considerable para que diese un espectro continuo. En este caso el gas incandescente mezclándose á la masa de vapor mas fria que compone el núcleo de la mancha dejaria de ser tan luminoso y se haria relativamente oscuro; ó como en este nuevo estado no produce mas rayas que las de



Fig. 276.—Gruta del Perro en Italia

la capa absorbente debe aun componerse la fotoesfera de las mismas sustancias que la capa gaseosa que la rodea.

De los hechos expuestos anteriormente podemos tambien deducir que la profundidad de las manchas no basta para apreciar el espesor de la fotoesfera como llegó á creerse por algunos astrónomos segun dejamos apuntado en otro lugar de esta obra; lo que de esta suerte se mide es el espesor de la capa densa y absorbente que ocupa las partes mas bajas de las manchas. En la Tierra vemos que hay gases mas pesados que el aire, v. gr., el ácido carbónico que forma en ciertas cavidades una atmósfera irrespirable como en la Gruta del Perro; lo mismo ocurre en el Sol, pues los vapores metálicos á pesar de su tendencia á la difusion, ocupan el fondo de las cavidades que constituyen las manchas, lo cual no impide que estos gases pesados no se mezclen algun tanto con el resto de la atmósfera como en nuestro planeta pasa en el aire que nos envuelve con el ácido carbónico y el vapor de agua.

Por último, la parte negra que ocupa el interior de las manchas no se debe ni á un núcleo oscuro del centro del globo solar como suponia Wilson, ni á escorias ú otras materias sólidas que flotasen en la superficie de un líquido; esta oscuridad se produce por masas transparentes dotadas de un gran poder de absorcion, compuestas de vapores metálicos que, gracias á su

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

considerable densidad, ocupan las regiones mas bajas de las desigualdades de la superficie luminosa y llenan los vacíos é intersticios que dejan á veces entre sí las masas brillantes que nos alumbran.

Estamos ahora en disposicion de completar lo que dijimos en uno de los capítulos anteriores sobre la estructura interna de las manchas que representamos como masas oscuras invadidas por la materia luminosa; el espectroscopio confirma esta idea y nos demuestra que las materias oscuras son gaseosas.

No será fuera de propósito que resumamos aquí en cuatro afirmaciones que podemos considerar como demostradas lo que hemos dicho sobre este asunto.

1.° La materia oscura y la luminosa son de una misma naturaleza.

2.° El núcleo negro de las manchas no puede producirse por un cuerpo sólido y resulta de la absorcion de los vapores en la parte central de la mancha á donde no llegan todavía los haces de materia luminosa.

3.° La materia brillante se disuelve al penetrar en esta masa absorbente y deja de ser luminosa.

4.° La masa oscura, que no puede resistir indefinidamente á esta accion, llega á verse cubierta progresivamente por la materia luminosa que la invade. La desaparicion de la mancha podrá retardarse por una nueva emision de la materia oscura, pero este fenómeno no se reproduce de un modo indefinido y la mancha concluirá por desaparecer falta de alimentacion.

Hasta hace poco tiempo se preguntaban los astrónomos por qué no se percibian en el Sol ni el oxígeno, ni el ázoe, ni ninguno de los otros gases que deben existir en este astro con tanta razon como en la Tierra. En cuanto al oxígeno, el Profesor Draper de Nueva-York ha demostrado ya su existencia en el luminar del dia, pero aun cuando así no fuese, pues este descubrimiento necesita segun algunos críticos confirmacion, basta considerar que á la temperatura á que deben estar sometidos estos gases en la atmósfera solar, no presentan las mismas líneas que á las temperaturas ordinarias de nuestros laboratorios. Todos los gases tienen varios espectros distintos unos de otros segun la temperatura del experimento y las combinaciones que formen; si se toma un tubo de Geissler compuesto de dos partes, una de bastante diámetro y la otra de seccion capilar, se observa en cada una de ellas un espectro diferente con un mismo gas, como antes dijimos; este fenómeno se nota en el bromo, el cloro y el hidrógeno. Además, el ázoe presenta, segun las circunstancias, tres espectros distintos claramente marcados, y tambien ocurre que, con temperaturas intermedias, se superponen dos espectros de órden diferente.

Los experimentos de Chautard nos demuestran que los tubos de Geissler dan distintos espectros cuando se les somete á la accion de imanes poderosos; probablemente, en este caso, el magnetismo solo produce indirectamente un cambio de temperatura. Los gases son magnéticos ó diamagnéticos, y por consecuencia atraidos ó rechazados por el iman; esta accion, atractiva ó repulsiva, comprime el gas contra la pared del tubo, la seccion se hace mas estrecha y el gas se caldea con ligero exceso por el paso de la corriente, modificándose la estructura del espectro.

Estas modificaciones se han atribuido á impurezas de los gases ó á causas desconocidas, pero estas objeciones no explican ciertos fenómenos observados en circunstancias muy diversas y puede considerarse como positivo que los gases, lo mismo que los vapores metálicos, presentan espectros diferentes segun su temperatura.

En general, los espectros de primer órden son poco brillantes, y por consiguiente

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

no se destacan bastante sobre el fondo luminoso del Sol; además, si se exceptúa el hidrógeno, se necesita una temperatura muy elevada para obtener el espectro de segundo órden, único que presenta líneas muy vivas análogas á las de los vapores metálicos; la chispa eléctrica, que basta para producir el espectro de los metales, pocas veces tiene potencia para comunicar á los gases una temperatura suficientemente elevada para que exhiban un espectro brillante.

Es necesario, pues, que la temperatura de un gas sea muy elevada para que podamos reconocer su presencia en la superficie del Sol y es muy posible que la envoltura exterior no sea bastante caliente para producir el espectro de segundo órden.

El mismo hidrógeno da en el Sol el espectro que corresponde á una temperatura moderadamente alta; las líneas terminadas en punta que se observan en varias circunstancias, indican que experimenta un enfriamiento muy pronunciado en la capa mas distante del centro y en las protuberancias; en este caso, reducida la absorcion á la de los espectros de primer órden, es demasiado débil para hacerse sensible y solo da lugar á bandas mas ó menos difusas imposibles de distinguir entre un gran número de líneas que se deben á sustancias desconocidas.

Antes aun que Draper, habia reconocido Secchi la existencia del oxígeno en la atmósfera solar, y en las manchas indicios de vapor de agua; es muy posible que en las regiones mas elevadas se enfrie el hidrógeno hasta la temperatura en que pueda combinarse con el oxígeno, temperatura que á no dudar es muy superior á 1,500 grados centígrados; el vapor de agua que de esta suerte se formase caeria para ser descompuesto por disociacion en las regiones mas bajas; sus elementos se elevarían de nuevo formando así una verdadera circulacion; es asimismo posible que haya nitrógeno en la atmósfera del Sol y que dé orígen á las líneas oscuras que se ven á los lados de C en la parte exterior del disco, pues esta raya debe pertenecerle si no se debe al carbono, y quién sabe si tambien habrá que atribuir al ázoe un gran número de las *persianas* que se observan en el interior de las manchas.

Dice con razon el P. Secchi que siendo la espectrometría una ciencia que está en la infancia hay que guardarse de sacar de ella conclusiones anticipadas.

Zöllner ha dado otra explicacion que vamos á resumir en pocas palabras. Partiendo de los principios de la teoría mecánica del calor, llegó por el cálculo á la conclusion de que en razon de los pesos específicos y de otras propiedades de los gases, en razon de la temperatura elevadísima de la superficie solar y de la ligereza específica del hidrógeno, una atmósfera de este gas capaz de producir una presion de 180 milímetros se veria reemplazada por una capa de oxígeno y de ázoe en extremo pequeña, y como estos gases son poco absorbentes seria muy difícil reconocerlos, al paso que una capa muy delgada de vapores metálicos produciria un efecto sensible á causa del gran poder absorbente de estas sustancias.

Como se ve, la dificultad para formarse una idea del estado físico del Sol, proviene de la ignorancia en que nos encontramos respecto de la temperatura que existe en la superficie de este astro y de la presion que produce su atmósfera; si conseguimos determinar estos elementos podremos decir con toda seguridad si se debe de considerar la fotoesfera como un gas incandescente ó como una niebla luminosa; pero aun no poseemos datos suficientes para zanjar la cuestion.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



M. Pujadas, lit. Imp. Vda. Labielle.

PROTUBERANCIAS SOLARES.

Observadas durante el eclipse total del 18 Julio de 1860.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO II

I

Fotografías de los eclipses totales de Sol

Además de las importantes observaciones del primero, segundo, tercero y cuarto contactos de la Luna y el Sol durante un eclipse total de este último astro, indispensables para astrónomos para determinar con toda exactitud los diámetros de la Luna y del Sol y la direccion del curso de nuestro satélite, se presta la mayor atencion como indicamos en uno de los capítulos que anteceden, al aspecto que presentan la corona y las protuberancias rojas que aparecen sobre el limbo de la Luna. Al principio fué el telescopio el único medio de observacion que pudo emplearse, mas luego vino en su auxilio la fotografía, y de una manera bien eficaz por cierto, pues las pruebas obtenidas durante el eclipse total de 1860, por Warren de la Rue y el padre Secchi en nuestra España, aun con ser el primer ensayo de este método, dieron un resultado felicísimo.

Antes de pasar á exponer las aplicaciones de la fotografía celeste vamos á dar una ligerísima idea de los procedimientos de este arte, los cuales son hoy infinitamente variados, no en lo que respecta á la parte óptica del aparato, sino en las reacciones químicas y por consiguiente en la naturaleza de los productos empleados.

El principio fundamental se debe al físico inglés Talbot olvidado durante los grandes triunfos de Daguerre, y le hallamos hoy en todos los procedimientos. Consiste en obtener desde luego una prueba inversa llamada *negativa*, en la cual los blancos del objeto aparecen negros y vice-versa. Esta prueba obtenida sobre una lámina mas ó menos transparente, se coloca luego sobre una hoja de papel sensibilizado por medio de cloruro de plata y expuesta á los rayos solares. Los blancos de los negativos dan orígen entonces á negros sobre el papel sensible y de esta suerte se obtiene la prueba *positiva*; el mismo negativo puede servir para obtener un gran número de positivos.

Casi siempre se emplea hoy para los negativos una lámina de vidrio sobre la cual se vierte una capa de albúmina ó de colodion sensibilizado por medio de una sal de plata. Una de las numerosas fórmulas que se pueden emplear es esta:

Eter sulfúrico. . . .	300 grms.
Alcohol á 40°. . . .	200 »
Algodon pólvora. . .	5 »

Se añade á esta mezcla despues de haberla machacado en un mortero de porcelana:

Yoduro de potasio. . .	15 grms.
» » amonio. . .	1,75
» » cadmio. . .	1,75
Bromuro de cadmio. .	1,25

Se vierte el colodion en un cristal que se sumerge luego en disolucion al décimo, de nitrato de plata; la capa de colodion toma

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cierta semejanza al ópalo, se retira la lámina, se escurre y se pone en el bastidor destinado al efecto y que forma parte de la cámara fotográfica. La cámara oscura de los fotógrafos se compone de una caja en una de cuyas caras se halla fijado en una abertura conveniente un tubo A B terminado por el

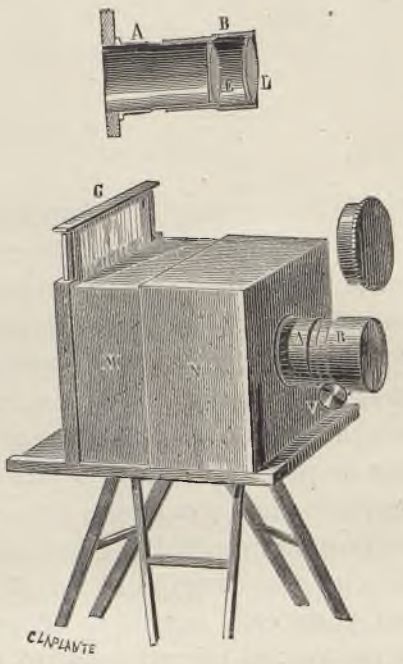


Fig. 277.—Cámara oscura de los fotógrafos

objetivo; este objetivo está formado de las dos lentes E L. El empleo de dos lentes en vez de una sola es cosa muy frecuente en óptica por una razon facilísima de comprender. Supongamos con efecto un haz de rayos paralelos llegando sobre un sistema de esta naturaleza; despues de la refraccion sobre la lente primera, sufren los rayos una segunda refraccion y su punto de concurso va á formarse mucho mas cerca, con lo que se ha obtenido el mismo efecto que si se hubiera empleado una lente de foco mas corto pero con la ventaja de tener mayor cantidad de luz. Resulta esto de que para evitar las aberraciones de esfericidad, nunca deben abrazar las lentes mas que una pequeña porcion de las esferas que las terminan; luego si las esferas tienen un radio muy pequeño, es decir, si el foco es corto, la lente será naturalmente muy pequeña y admitirá muy poca luz. Este y otros inconvenientes de que no hay para qué hablar aquí se remedian con la disposicion adoptada. En G se encuentra un cristal raspado en el que va á formarse la imágen del objeto que se quiere reproducir; para enfocar, esto es, para colocar el espejo en el sitio que corresponde exactamente al foco conjugado del objeto, se emplea primero el tiro de la caja que presenta una parte M mas pequeña, la cual encaja en la porcion N, y para concluir, el piñon V que con auxilio de una barra dentada hace mover la porcion del tubo A B en que está colocado el objetivo. Cuando el aparato está bien enfocado se sustituye al cristal raspado la lámina sensibilizada sobre la cual debe salir la prueba. Obtenida esta, se revela por la accion de un líquido cuya fórmula es:

Agua destilada. . . .	250 gms.
Acido pirogálico. . . .	1
Acido acético cristalizable..	20

Cuando la imágen ha llegado al grado de vigor apetecible, se fija, ya sea por medio de una disolucion de hiposulfito de sosa á 25 ó 30 por ciento, bien sea por el cianuro de potasio á 3 por ciento y con esto queda el negativo terminado. Para obtener la prueba positiva se coloca el cristal negativo en un bastidor con su correspondiente vidrio, encima de una hoja de papel sensibilizado por el cloruro de plata; la sensibilizacion de la hoja positiva se obtiene sumergiéndola en una disolucion de sal comun á 3 ó 4 por ciento y despues en el nitrato de plata á 18 por ciento. Se detiene la exposicion cuando se cree el tono suficientemente fuerte, se hace virar la tinta por medio de una sal de oro y se fija por última vez con el hiposulfito de sosa, restando ya solo lavarla y hacerla secar.

La primera fotografía celeste tomada en el mundo se debe al sabio Profesor de la Universidad de Nueva-York, Juan Guillermo Draper, se creia en la época á que se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

refieren esos trabajos que la luz de la Luna no poseia rayos actínicos, sin que fuera capaz de producir el menor efecto en los compuestos argénticos empleados en el daguerreotipo. El Dr. Draper obtuvo varias imágenes de la Luna en placas daguerrianas valiéndose de un anteojo de 12 centímetros de abertura. Esto ocurria en 1840.

Diez años despues sacó Bond varias fotografías de nuestro satélite; se sirvió del



Fig. 278.—Telescopio fotográfico

gran anteojo del Observatorio de Cambridge (E. U.) de 38 centímetros de objetivo que producia en el plano focal una imágen de la Luna de 5 centímetros de diámetro; se sacaron reproducciones estereoscópicas de estas imágenes que corrieron por el mundo con gran aceptacion. Llegó tambien Bond á sacar fotografías de algunas estrellas binarias cuyas distancias podian medirse luego en el gabinete con toda comodidad.

De 1850 á 1857 se ocuparon de fotografía celeste, Secchi en Italia, Bertch y Arnauld en Francia, Phillips, Crookes, De la Rue en Inglaterra, etc., etc. Mr. Crookes obtuvo algunas pruebas bastante buenas de la Luna en 1855. El anteojo de que se valió perte-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

necia al observatorio de Liverpool y tenia 21 centímetros de diámetro; en el extremo del tubo destinado al ocular se colocó una cámara, de modo que la imágen de la Luna se recibia como en otro aparato cualquiera sobre el cristal esmerilado. El foco químico del objetivo se encontraba unos 2 centímetros mas atrás del plano focal óptico; aunque se aplicó al instrumento una buena máquina de reloj con motor de agua,

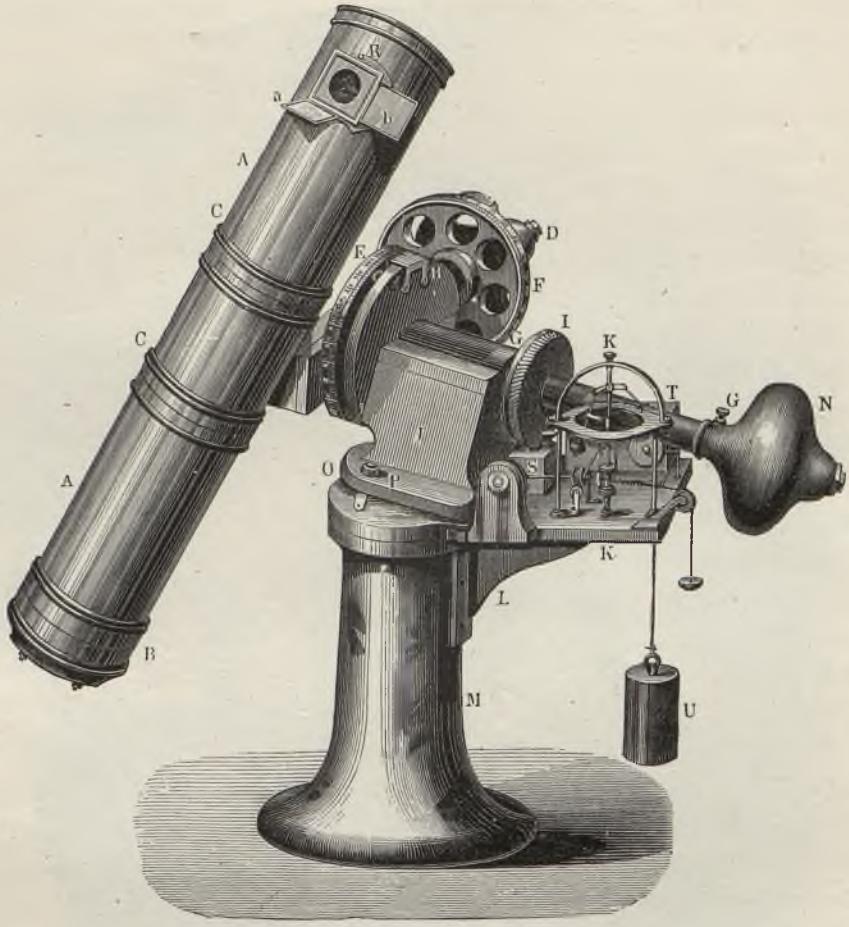


Fig. 279.—Telescopio fotográfico del coronel Tennant

fué preciso seguir en parte á mano el movimiento de la Luna tanto en ascension recta como en declinacion, para conservar en el centro del campo la imágen del astro observándolo con tal objeto con el buscador armado de un ocular que amplificaba 200 veces.

Con este instrumento se tomaron bastantes negativos, pero á causa del tiempo de exposicion demasiado prolongado, las pruebas aparecieron muy imperfectas; usando un colodion y demás productos químicos de mejor clase obtuvo Crookes unos negativos bastante profundos con una exposicion de 4 segundos, á pesar de que la temperatura del observatorio era inferior á cero grados.

En 1859 obtuvo De la Rue unas pruebas fotográficas de la Luna que hasta hoy dia pueden considerarse como de las mejores que se han sacado en Inglaterra; en vez de anteojo empleó un telescopio, sistema muy ventajoso, pues en este instrumento los rayos actínicos y visuales concurren en un mismo foco; en época mas reciente se ha creido preferible hacer uso de los refractores corregidos para este objeto particular.

Como vemos, los aparatos que se necesi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tan para la fotografía astronómica son: 1.° un anteojo ó telescopio, 2.° un aparato de relojería para que el telescopio se mueva en sentido contrario al de la rotacion de la Tierra con una velocidad tal, que una estrella colocada en un hilo ó en el eje del instrumento no cambie de posicion á pesar del movimiento de nuestro planeta sobre su eje, sin que por parte del observador sea menester prestar la menor atencion á la marcha del aparato, 3.° los accesorios fotográficos que en relacion con el anteojo, tan solo consisten en un mecanismo para colocar la placa sensible en el lugar en que se forma la imágen producida por el objetivo á donde por lo comun se dirige el ocular. El bastidor de la placa se dispone de modo que pueda penetrar la luz á voluntad del observador, en una fraccion de tiempo variable, muy corta si se trata de fotografiar el Sol, y mayor si el objeto es poco brillante. La cámara se fija en la extremidad superior ó inferior del tubo óptico, segun que se haga uso de un reflector ó de un anteojo, esto es, que la imágen se forma en un caso por un espejo y en el otro por una lente.

En las figs. 278 y 279 se representan dos aparatos de fotografía celeste construidos por Browning, para la India inglesa con uno de los cuales tomó varias vistas el coronel Tennant durante el eclipse total de Sol del 18 de julio de 1868.

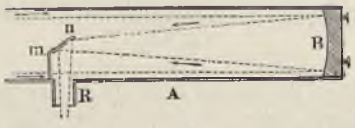


Fig. 280.—Corte del telescopio fotográfico

El tubo A A es de hierro y está formado por tres piezas que se unen entre sí por medio de los dos anillos C C y lleva en su parte inferior el espejo cóncavo B (fig. 280) de cristal plateado. Dos tornillos salientes sirven para ajustar el espejo de tal modo que los rayos se reflejan en el espejo *m n* y de este á la abertura R donde forman una imágen detallada del objeto observado que puede ser el Sol, por ejemplo.

El telescopio A A va unido al eje de declinacion y equilibrado por el contrapeso D; inmediato á este contrapeso se fija el círculo de declinacion que acusa el ángulo que forma el tubo con la línea de los polos. El círculo horario E está adherido al eje polar G G, é indica la ascension recta en el nonio fijo H; al otro lado de este círculo hay tres ruedas de las que se ven dos en la figura que sirven para disminuir el rozamiento del eje polar, hasta tal punto que colocado paralelamente al eje de la Tierra, un peso de 4 kilógramos suspendido en D en el eje de declinacion, basta para poner en movimiento la parte giratoria del instrumento que pesa unos 200 kilógramos. El peso del aparato está equilibrado por el contrapeso macizo N fijo en la extremidad del eje polar, de modo que el telescopio, el contrapeso D y el círculo E con un tornillo de movimiento están en perfecto equilibrio. El eje polar G G arrastra la rueda de movimiento I, de bronce fundido, que se hace girar por medio de un tornillo sin fin colocado en la parte inferior. La pieza S sirve para desconectar la rueda I, requisito indispensable para poder hacer girar el telescopio con rapidez en cualquiera direccion, afianzándolo luego que se ha dirigido al objeto que se desea observar; hecho esto, y colocado el tornillo S bajo los dientes de la rueda I, solo puede moverse el telescopio á medida que funciona la máquina de reloj que va encerrada en la caja de bronce T; el motor es el peso U, y las esferitas K sirven para regular la marcha del aparato.

Los rayos solares caen paralelos sobre el espejo B cuyo diámetro es de 24 centímetros, y se reflejan hácia el foco del espejo que dista unos dos metros escasos. Frente al plano focal se coloca el espejo pequeño *m n*, que sirve para enviar los rayos lateralmente hácia el tubo R donde se forma una imágen que es un punto si el objeto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

luminoso no tiene diámetro sensible, pero como el Sol subtiende un ángulo de unos 32' su imágen formada en el foco es algo mayor de 19 milímetros de diámetro.

El tubo porta-oculares R se dispone de modo que puedan adaptarse las placas fotográficas; con tal objeto se compone de un cilindro *c* (fig. 281) completamente cerrado

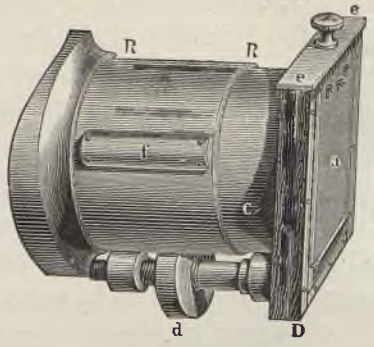


Fig. 281. — Disposicion de la cámara del telescopio fotográfico

para la luz y el polvo por medio de dos muelles *f* que pueden cerrarse mas ó menos gracias á la tuerca *d*; en la extremidad del tubo interior C se encuentra el bastidor *e e* (fig. 282) que sirve para la placa sensible preparada para recibir la impresion de la imágen fotográfica. Examinando la figura se comprende sin trabajo la construccion del bastidor oscuro. Se coloca la pantalla obturadora *b* y en tal disposicion que cubra los cuatro hilos finos de plata que forman la cruz filar y luego se introduce la lámina sensible en el espacio reservado al efecto, sujetándola con las piezas de plata fijas en los ángulos del bastidor y con la puertecilla *a*; colócase el bastidor en la extremidad del tubo *c*, se retira la pantalla obturadora *b* y se expone la placa á la accion de la luz; despues del tiempo de exposicion que se juzgue suficiente, se introduce de nuevo el obturador *b* y se retira el bastidor con la placa impresionada para revelarla en el cuarto oscuro por los procedimientos que ya indicamos.

Con objeto de evitar las pérdidas de tiempo que pudieran originarse durante el corto período de la totalidad de un eclipse de Sol se preparan de antemano seis ó mas placas sensibles colocadas en otros tantos bastidores para fotografiar el fenómeno con mas libertad. El físico francés Janssen ideó recientemente con motivo del último paso de Vénus un ocular fotográfico giratorio que permita tomar un número mayor de impresiones. Para obtener una imágen perfectamente clara y definida de la cruz filar formada por los cuatro hilos, sobre cada una de las placas, y cuyo objeto es indicar la exacta posicion del eje del Sol en las fotografías, se colocan los hilos á la distancia de 2 milésimas de milímetro de la superficie de la placa preparada, sin entorpecer no obstante los movimientos del delgadísimo obturador *b*, que se puede sacar con libertad entre los hilos y la placa sin tocar ni á los unos ni á la otra. El foco que se necesita para la placa, es decir, la distancia á que el tubo *c* tiene que retirarse de R R (fig. 281) se averigua por ensayos prévios; para esto se construye una pieza

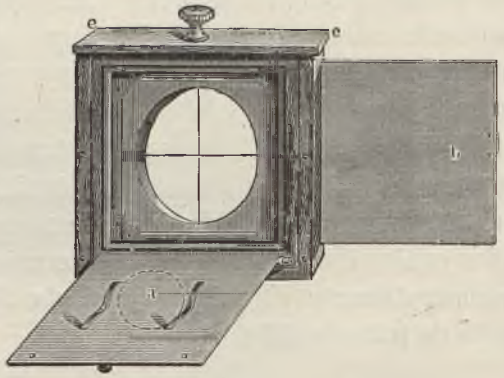


Fig. 282.— Bastidor para las placas del telescopio fotográfico

de corredera que se adapta en la parte posterior del bastidor *a* (fig. 282) que al abrirse permite que se vea el interior del aparato y por lo tanto la lámina de cristal esmerilado, ó la placa sensible.

El método fotográfico se aplicó por primera vez al estudio de los eclipses totales de Sol en 1860, por Warren de la Rue y el P. Secchi que con tal propósito vinieron á España á observar el eclipse del 18 de julio. La corona apareció marcada en las pla-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cas sensibles como una débil luz al rededor del cuerpo negro de la Luna; tambien se percibian las protuberancias, una de ellas en particular que tenia la forma de una cimitarra segun de la Rue y la altura enorme de 28,000 leguas. Los rayos del halo que emanaban de la corona se veian con toda claridad en el anteojo y á la simple vista, pero la luz era demasiado débil para producir impresion alguna en las placas fotográficas.

Desde la época en que se tomaron estas vistas, ha entrado el análisis espectral al servicio de la astronomía y gracias á los trabajos de muchos físicos, pero principalmente de Kirchhoff, indispensables para todas las investigaciones solares, es hoy el espectroscopio uno de los aparatos mas importantes que se necesitan para observar los fenómenos que ofrece un eclipse total de Sol. Si se tiene presente que además de estos instrumentos importantisimos cuentan los astrónomos con el cronógrafo eléctrico automático para registrar el tiempo, el moderno fotómetro de Zöllner para medir la intensidad de la luz, habremos de convenir en que para sacar de tan delicados aparatos todo el partido posible, hay que contar con un cuerpo de hábiles astrónomos, de físicos y fotógrafos, que se dediquen á observar, retratar y medir los complexos fenómenos que se presentan en los eclipses totales, para lo cual es necesario equipar expediciones muy costosas y á veces enviarlas á países muy remotos.

II

Eclipse total de Sol del 18 de Agosto de 1868

Este eclipse será siempre uno de los mas famosos que se registran en los fastos de la Astronomía, por el descubrimiento de Janssen que permite la observacion de las protuberancias en toda época, realizado en el momento mismo de verificarse el eclipse y cuando aplicaba el ojo al analizador de su espectroscopio. Por otra parte, concurrian en este eclipse una porcion de circunstancias ventajosas, entre otras varias, la de que podia ser observado desde muchas estaciones situadas á gran distancia unas de otras; su duracion tambien, que era de 6 minutos 50 segundos, muy cercana por lo tanto del máximo, daba mayor interés, si cabe, al fenómeno.

En un lugar determinado es un accidente muy raro un eclipse total de Sol; el último visible en Lóndres tuvo lugar en 1715 y el primero que podrá observarse en Berlin ocurrirá el 19 de agosto de 1887, mientras que en Paris no se verificará ni uno solo en todo el siglo XIX. El eclipse de 18 de agosto de 1868 presentaba, pues, grandes alicientes para que desearan observarlo los principales astrónomos del mundo, y puede decirse que todas las naciones civilizadas tomaron este asunto astronómico con mayor interés si cabe que el mismo paso de Vénus. La zona de oscuridad total se extendia por la parte meridional del Asia desde Aden, cruzaba el Indostan, la península de Malaca, las islas de Borneo, Célebes, etc., perdiéndose en el gran Océano Pacífico con una anchura de 55 leguas; los gobiernos de Alemania, Austria, Inglaterra y Francia enviaron diversas comisiones de astrónomos que se extendieron por todo el territorio cruzado por la zona de totalidad desde Aden hasta el estrecho de Torres.

Segun los cálculos del Dr. Weiss de Viena salia el Sol eclipsado en la region de la Abisinia en donde el Nilo Azul comienza á dirigir su curso al norte; el núcleo de la sombra rasaba por Gondar por su borde septentrional, pasaba por el lago de Zaka y por el estrecho de Bab-el-Mandeb á Aden; luego cruzaba el Golfo Arábigo, pasando por la India meridional y de aquí por la bahía de Bengala á la península de Malaca, llegando á ser la duración de la totalidad en el golfo de Siam de $6^m,50^s$ que era el máximo de este eclipse. De aquí pasaba la zona de oscuridad por la punta meridional de las Islas de Anamba, sobre las porciones boreales de Borneo y Célebes y á tra-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vés del grupo de las Molucas. El cono de sombra proseguia su camino por la bahía meridional de Nueva Guinea, la parte septentrional de la Australia y finalmente sobre el Océano Pacífico á las Nuevas Hébridas, en donde el Sol debia ponerse eclipsado.

La confederacion de la Alemania del Norte envió dos expediciones; una, á cargo del Dr. Thiele del Observatorio de Bona, eligió como punto de observacion á Aden; la otra compuesta de los Profesores Spörer, Thielgen, Engelman y Koppe se encaminó hácia Bombay.

La expedicion austriaca estaba á cargo de los Drs. Weiss y Oppolzer y se unió á los alemanes permaneciendo en Aden.

Los franceses enviaron dos expediciones; la primera con Janssen á la cabeza se situó en Guntoor, en la India inglesa; la segunda, á las órdenes de Stephan, Director del Observatorio de Marsella, se encaminó mucho mas al este, estableciéndose en punto cercano al mar en la peninsula de Malaca; de esta última expedicion formaban parte dos astrónomos muy conocidos por sus interesantes trabajos, los señores Rayet y Tisserand.

Las expediciones inglesas iban tambien admirablemente pertrechadas; una de ellas mandada por el capitan Herschel se situó en la costa occidental del Indostan en un punto llamado Jankandi; otro destacamento equipado especialmente para la fotografía se unió á la comision de Janssen en Guntoor.

Los jesuitas de Manila organizaron una pequeña expedicion compuesta de los padres Fauro, Nonell y Ricart quienes se dirigieron á una isla de coral en la entrada del golfo de Gorontola, llamada Mantanaloc-Kekee, en cuyo punto se encontraron con unos oficiales de la marina inglesa que habian desembarcado con objeto tambien de observar el eclipse.

Además de estas comisiones, provistas con todos los instrumentos y requisitos indispensables para las investigaciones científicas, muchos individuos particulares que poseian buenos telescopios y que habitaban en la zona de totalidad, se dispusieron á observar el fenómeno obteniendo resultados muy dignos de aprecio. Los holandeses enviaron tambien una comision de menos importancia que las anteriores desde sus posesiones de Java á la linea central del eclipse, pero no llegaron á publicar ninguna observacion.

Prosiguiendo nuestro propósito, pasaremos por alto los resultados puramente astronómicos obtenidos por todas estas comisiones, como v. gr. las medidas de posicion y altura de las protuberancias, las observaciones de polarizacion de la luz de la corona, las variaciones de la luz y el calor, los cambios de densidad de la atmósfera, etcétera, etc., con objeto de referir detalladamente los fenómenos acusados por la fotografía y el análisis espectral, puesto que de tanta importancia son para el estudio de la constitucion física del Sol.

Las comisiones que sacaron fotografías del eclipse de 18 de agosto de 1868 fueron las siguientes:

1.ª La expedicion alemana de Aden de la que formaban parte los doctores Vogel, Zeuker, Fritsch y Thiele.

2.ª La expedicion inglesa de Guntoor á las órdenes del coronel Tennant.

3.ª La expedicion de los jesuitas de Manila establecida en Mantanaloc-Kekee.

Los resultados obtenidos por el Dr. Vogel fueron en extremo interesantes y dió cuenta de ellos en una carta escrita á bordo del vapor que lo condujo en union de sus compañeros de Aden á Suez. «Nos levantamos muy temprano, dice, á las cuatro de la mañana del 18 de agosto; unas nueve décimas partes del cielo estaban cubiertas, y con espíritu resignado comenzamos nuestros preparativos..... Nuestra tarea consistia en obtener tantas fotografías del fenómeno como nos fuera posible durante los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tres minutos de la totalidad; con tal objeto nos habíamos adiestrado en la práctica del anteojo fotográfico de igual manera que un artillero se familiariza con su cañon. El Dr. Fritsch preparaba las placas en la primera tienda; el Dr. Zeuker se hizo cargo de insertar los bastidores en el tubo; el Dr. Thiele se ocupó del tiempo de exposicion de la placa en el anteojo, que, por medio de una máquina de reloj, seguia el curso del Sol, dotada de tanta precision que su imágen permanecia inmóvil en la placa sensible. Y yo me ocupaba de revelar la impresion fotográfica en la segunda tienda; la práctica me habia demostrado que con esta disposicion se podian tomar seis impresiones en tres minutos. Cada vez se encontraba mas inmediato el momento crítico y con gran alegría por nuestra parte llegamos á columbrar el Sol, ya parcialmente eclipsado, á través de las nubes. Una luz extraña se extendia por el paisaje, que participaba del color de la del Sol y del tinte pálido de la luz lunar. La potencia química de la luz era muy débil; el cuadrante solar disminuia rápidamente y al propio tiempo se apartaban las nubes dejando grandes espacios de cielo descubiertos; empezamos á tener esperanzas. El minuto antes de la totalidad, que principiaba á $6^h\ 20^m$, trascurrió como un relámpago. El Dr. Fritsch y yo nos dirigimos á nuestras tiendas y en ellas permanecimos sin que nos fuera posible ver nada de la totalidad del fenómeno en las circunstancias en que nos hallábamos colocados. Comenzó nuestro trabajo. El tiempo de exposicion de la primera placa fué de cinco y de diez segundos para averiguar el tiempo exacto que debia permanecer el cristal sensible bajo el influjo de la luz solar. Mahomet, nuestro criado negro, me pasó el primer bastidor con la placa que acababa de ser expuesta; vertí sobre ella la disolucion de hierro para desarrollar la imágen y miraba la placa con atencion concentrada cuando en este momento se apagó mi lámpara. ¡Luz! Luz! grité, pero nadie me oia, pues todos estaban bastante ocupados con sus propios trabajos para pensar en ayudar á los demás. Saqué por la parte de afuera de la tienda una mano, conservando la placa en la izquierda, y afortunadamente hallé una lámpara de aceite, encendida, que habia colocado en aquel sitio como medida de precaucion en caso de algun accidente; entonces ví una pequeña imágen del Sol en la placa. El borde oscuro de la Luna estaba rodeado por una fila de picos ó montes hácia un lado, de notable elevacion, mientras que en el otro aparecia un cuerno extraordinario ó protuberancia. Ambos fenómenos eran perfectamente análogos en las dos imágenes de la misma placa. Muy grande fué mi alegría pero no pude gozar de ella durante mucho tiempo, pues Mahomet me pasó en seguida la segunda placa y un minuto despues se hallaba tambien la tercera en mi tienda. ¡Sale el Sol! gritó Zeuker; ya habia pasado el momento de la totalidad. Todo parecia obra de un momento segun la rapidez con que habia pasado el tiempo. Al ser revelada la segunda placa solo dió indicios de una imágen muy débil y algunos puntos particulares muy marcados, cuya explicacion se hallaba en el paso de alguna ligera nube que casi interrumpió por completo la accion fotográfica. La tercera placa tomada durante el tercer minuto de la totalidad, mostraba dos impresiones muy buenas con protuberancias en el limbo inferior, que correspondia al superior del Sol.»

Reuniendo en una sola fotografía las impresiones de las cuatro placas tomadas durante la totalidad se obtuvo una imágen compuesta que claramente revelaba la disposicion de las protuberancias en torno del negro disco de la Luna. La accion química de la luz de la corona no era bastante intensa para producir ninguna impresion en la placa sensible durante los breves momentos que duraba la exposicion; pero en los telescopios, y aun á la simple vista se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vió este fenómeno con gran magnificencia y esplendor.

La protuberancia que apareció en el limbo oriental del Sol tenia una altura de 24,000 leguas.

En los varios dibujos de la totalidad ejecutados con mas ó menos esmero y por distintos observadores, se representan las formas, magnitudes y situacion de las protuberancias de muy diferente manera. Despues de rechazar las producciones preparadas y dispuestas para la venta en las que

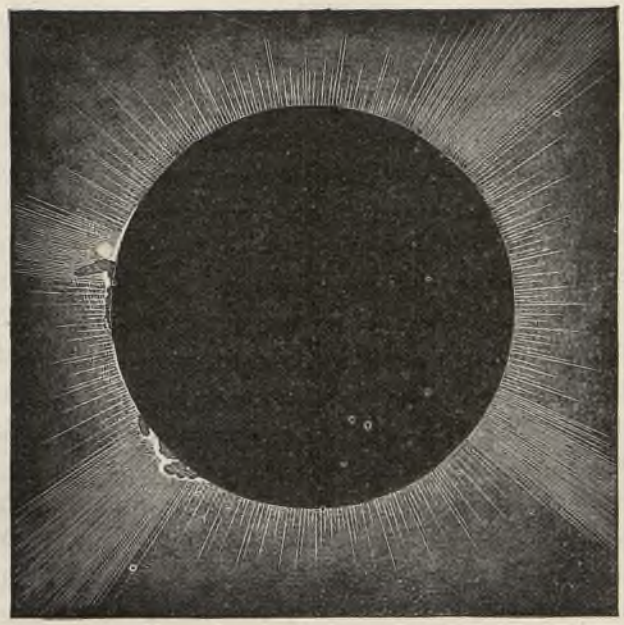


Fig. 283.—Eclipse total de Sol del 18 de agosto de 1868; facsimile de una fotografía tomada por Tennant al principiar la totalidad

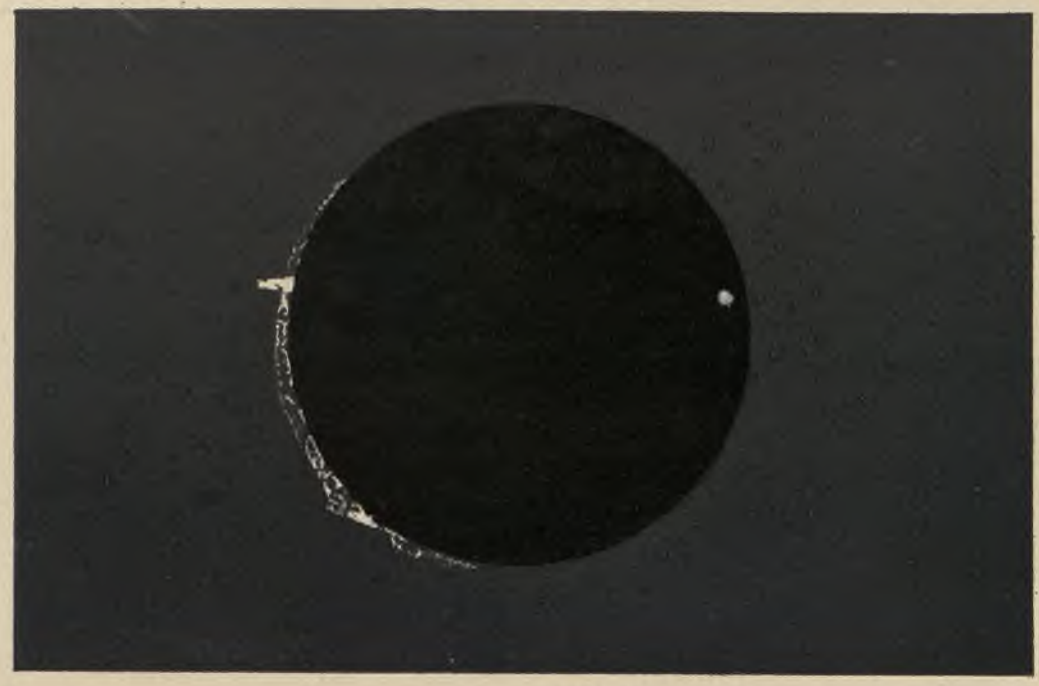


Fig. 284 — Eclipse total de Sol del 18 de agosto de 1868; facsímile de una fotografía tomada por Tennant al concluir la fase total

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ECLIPSE TOTAL DE SOL del 18 de Agosto de 1868.

Facsimile de las fotografías del coronel Tennant tomadas en la India



Principio de la totalidad. Tiempo de exposicion 5 segundos.



M. Pujadas, lit. Imp. Vda Labielle

Fin de la totalidad. Tiempo de exposicion 1 segundo.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el artista solo procura dar á su obra cierto carácter científico, pero guiándose exclusivamente por su fantasía, y comparando tan solo los dibujos dignos de confianza se encuentran diferencias tan considerables que solo se explican por las posiciones del disco del Sol respecto del horizonte, segun que el observador veia el Sol naciente, el del medio día ó el del ocaso. Una misma protuberancia pareceria, pues, que ocupaba distintas posiciones respecto del horizonte en un dibujo tomado á hora muy temprana en Aden, al compararlo con otro hecho al medio día en Célebes. Otra causa de discrepancia puede atribuirse á la diferencia de horas entre las estaciones extremas de la línea central de totalidad ó zona de observacion, diferencia que era de 7 horas entre Aden y Célebes, en cuyo tiempo pudieron ocurrir grandes cambios en la posicion y tamaño de las protuberancias. Hemos de tener presente tambien que la imágen del Sol eclipsado aparece invertida en un anteojo astronómico, viéndose hácia abajo la parte superior y el lado derecho en el izquierdo, y que unos astrónomos observaron á la simple vista, otros con anteojos terrestres y los mas con verdaderos telescopios, de modo que tambien en esto hallamos un motivo para explicar las diferencias que revelan los dibujos.

Las fotografías obtenidas por el coronel Tennant en Guntoor, fueron, segun el parecer de astrónomos eminentes, menos perfectas que las de Aden; en las seis placas que expuso se encuentran señaladas las protuberancias con toda exactitud y claridad de modo que es posible comparar entre sí las distintas fotografías.

En la adjunta lámina se reproducen unas copias exactas de estas fotografías publicadas con la cooperacion de Warren de la Rue; el dibujo superior representa el eclipse al comenzar la fase total, y el inferior el momento en que concluia la misma fase. En todos los grabados y reproducciones se distingue la gran protuberancia del limbo oriental que observaron los alemanes, pero no puede decirse lo mismo de los demás accidentes y configuraciones de menor importancia que en cada dibujo presentan un aspecto distinto.

Warren de la Rue superpuso unas pruebas amplificadas, de mas de cinco centímetros de diámetro de las seis fotografías originales de Tennant, y determinando escrupulosamente la posicion del centro en cada una de ellas y la coincidencia exacta de la gran protuberancia, compuso un dibujo que no solo daba una buena idea del reparto de estos apéndices solares durante el curso del eclipse, sí que tambien por el primero y el último contacto los momentos del principio y el fin de la totalidad.

La expedicion de los jesuitas de Manila no llegó al lugar elegido para observar hasta el dia 17 de agosto, esto es, la víspera del eclipse á causa de un accidente ocurrido á la máquina del vapor, de modo que no fué posible efectuar ningun experimento prévio para averiguar el tiempo de exposicion que debia darse á las placas fotográficas; á pesar de esta contrariedad, se obtuvieron ocho impresiones instantáneas de las principales fases del eclipse, si bien del período de la totalidad tan solo una de las planchas expuestas durante doce segundos mostró algun vestigio de la corona; no dejó de remediarse en parte esta falta, dibujando en el cristal deslustrado de la cámara, que sirve para enfocar, una representacion muy exacta del aspecto del fenómeno que luego se reprodujo por medio de la fotografía.

Despues de describir los detalles y particularidades que hemos relatado, sigue diciendo el P. Faura en carta dirigida al P. Secchi.

«No bien habia desaparecido el último rayo de luz solar, cuando apareció como por encanto la hermosa corona ó aureola todo al rededor del disco negro de la Luna; el aspecto que presentaba puede, aunque con dificultad, representarse en un dibujo, pero su color y su luz no es posible que la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

retrate ni el mejor pintor del mundo. Todos los observadores están de acuerdo en decir que su color se asemejaba al que presenta el nácar ó la plata mate, pero mas vivo y vistoso. La corona constaba de tres partes principales; la primera estaba formada por una luz blanca, intensa y regular que se destacaba del limbo del disco lunar; la segunda se apoyaba en la anterior disminuyendo gradualmente de intensidad, pero su forma era suficientemente regular aunque menos intensa. Por último la tercera consistia en un número considerable de rayos mas ó menos brillantes, pero muy irregulares, algunos de los cuales se prolongaban tanto que median un doble del diámetro lunar. Se observó como fenómeno extraordinario que estos rayos cambiaban de aspecto de un momento á otro; en el haz inferior se veia una línea luminosa que apareció cinco minutos despues de principiar el eclipse total y permaneció fija hasta el fin. Ignoro si en otros eclipses se ha observado un fenómeno análogo á este.

»El padre Nonell, que observaba con un excelente anteojo de Rochon provisto de micrómetro, trató de determinar el valor angular de uno de los rayos mas largos de la corona, pero no pudo obtener la completa separacion de las imágenes porque el instrumento no media mas de 40 minutos de arco. Las imágenes no presentaron los colores complementarios como se creía, sino mas bien una intensidad algo mayor en una que en otra como por lo comun acontece cuando no se monta el instrumento para usarlo con el polariscopio.

»Al mismo tiempo que apareció la corona se mostraron las protuberancias, en particular dos de ellas, en la parte en que se eclipsaba el último rayo de la luz solar. La primera de todas, situada en la parte inferior y á la izquierda del diámetro vertical (vision inversa) tenia proporciones tan extraordinarias y brillaba con tal esplendor, que algunos de los observadores aunque estaban ya avisados y prevenidos del suceso, no pudieron dejar de manifestar su entusiasmo con vivas exclamaciones. El P. Ricart observaba con el anteojo de 8 centímetros de diámetro provisto de su micrómetro y procuró inmediatamente determinar su posicion que estaba comprendida entre los 334° y 335° 40' de modo que tenia un extension de 1° 40'. La otra protuberancia estaba situada casi simétricamente á la derecha del mismo diámetro; tenia igual color y brillo que la primera, pero su forma no era tan hermosa y presentaba el aspecto de una montaña. Estaba situada entre los 17° y los 26° de modo que su base media nueve grados. Apenas habian aparecido estas dos protuberancias por la parte oriental del disco solar, cuando comenzó apuntar una tercera en la region opuesta, la cual poco á poco se fué agrandando á medida que avanzaba la Luna sobre el Sol; el fenómeno que consiste en ver cómo se ocultan poco á poco las protuberancias de la parte oriental y al mismo tiempo dilatarse y crecer las de la region del oeste fué notado por todos los observadores. Segun el P. Nonell, en este asunto no cabe la menor duda puesto que al principio de la totalidad midió con el micrómetro de Rochon las dos protuberancias que aparecieron primero y las halló mas altas que despues de transcurrida la fase total del eclipse; la tercera protuberancia que al principio se veia con dificultad, fué descubriéndose gradualmente con el movimiento de la Luna y cuando toda ella se hizo visible, apareció como una gran cordillera de montañas. A la izquierda, en la parte superior del diámetro vertical se terminaba de un modo brusco y cortado, y á la derecha concluia perdiendo gradualmente de brillo y su extremidad se confundia con el resplandor de la corona.

»Todos los observadores están de acuerdo en afirmar que el aspecto general de las protuberancias tanto en lo relativo al color como á la forma, se asemejaban al que pre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sentase una nube formada de luz solar ó iluminada al menos fuertemente por este astro como las que se observan á la postura del Sol. El P. Ricart dice que las tres primeras protuberancias presentaban á la vista, por lo marcado de sus contornos el aspecto de una *cristalizacion granulada de sal*, de color escarlata ó rojo y muy brillantes. De las que se conocen con el nombre de *llamas*, ninguna hemos visto, en cuanto es posible juzgar por la impresion que el fenómeno ha dejado en cada uno de nosotros. En muchos puntos están de acuerdo el P. Ricart y el P. Nonell, respecto de la primera protuberancia que era la mas larga y vistosa; la comparan á una verdadera estalactita de color rojo en cuyo interior se reflejaba una luz muy viva del mismo tono que la hacia visible. El P. Nonell que se ocupó de medir con el micrómetro de Rochon los valores angulares y de separar las imágenes de todas las protuberancias, pudo notar que el color de ambas imágenes era siempre rosado, ni mas ni menos que como se ven en un anteojo ordinario.

»No quiero dejar de referir el experimento que hicimos sobre las *sombras*, fenómeno observado en España durante el eclipse de 1860, y yo mismo me encargué de esta parte de nuestro programa. Colocado un papel blanco sobre el suelo lo mas horizontalmente posible se vieron pasar del Este al Oeste una infinidad de líneas oscuras y opacas de forma ondulante.

»La luz no pareció disminuir hasta que se eclipsó la mitad del disco solar; pero desde este punto comenzó á decrecer de un modo tan sensible que cuando solo estaban cubiertas las tres cuartas partes del Sol se veia á Vénus con toda facilidad; el aspecto de la naturaleza marchó al par de la escasez de la luz y pocos momentos antes de que se ocultase el último rayo del Sol, se asemejaba la fisonomía de los espectadores á la de un enfermo alumbrado por la Luna. Las estrellas que se pudieron distinguir fácilmente fueron Cástor y Pólux, la Espiga, Régulo, esta última era visible aun dentro de la corona, y *alfa* del Centauro que en este momento se elevaba sobre el horizonte.

»Pero los vapores de la atmósfera principiaban á condensarse y á velar el cielo de modo que durante la totalidad solo estaba despejado por el lugar en que se verificaba el eclipse y una pequeña region hácia el sudeste. La oscuridad que reinó en el período de la fase total fué tan intensa que sin una lámpara no hubiéramos podido leer las graduaciones de los instrumentos...»

Segun las comunicaciones recibidas de las distintas expediciones, parece probado que el halo ó corona presentó diversos aspectos en cada estacion; pero como los dibujos de este fenómeno se ejecutaron á ojo y por apreciacion, carecen de la exactitud y fidelidad indispensables para deducir conclusiones fundamentales. Cuando nos ocupemos particularmente de este asunto al hablar de las observaciones espectroscópicas de la corona, manifestaremos las teorías que se han propuesto para explicar su naturaleza.

Respecto á la parte interna ó mas baja de la corona, todos los observadores están conformes en que su luz no se extinguia por completo durante la totalidad, sino que inmediatamente despues de la desaparicion del Sol (segundo contacto) se veia rodeado el disco negro de la Luna por un anillo estrecho de luz blanca y brillante desde el cual se proyectaban en varias direcciones las protuberancias rojas. Los astrónomos austriacos y los franceses Stephan, Tisserand y Janssen hablan de la formacion de un anillo extremadamente brillante todo al rededor del limbo de la Luna; hay, por lo tanto, motivos suficientes para creer que la corona pertenece al Sol y que este apéndice solar es altamente luminoso, si bien su intensidad decrece con rapidez á muy corta distancia del borde.

Las observaciones del eclipse total de Sol del 18 de julio de 1860 efectuadas en España por medios fotográficos y telescópicos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fueron tambien muy interesantes y apenas quedó duda alguna de que estas figuras de montañas gigantescas eran de naturaleza gaseosa y pertenecian, no á la Luna sino al Sol. En el eclipse del 18 de agosto se confirmaron estas suposiciones y se adquirió de este asunto un conocimiento exacto.

Al propio tiempo que se presentó á la vista la corona, aparecieron las protuberancias en el limbo oriental del Sol precisamente en el lugar en donde desaparecian los últimos rayos de luz al principiar la totalidad; la primera prominencia como puede verse en la lámina anterior, se presentó en el limbo oriental del Sol a la izquierda del diámetro vertical; su altura era extraordinaria y brillaba con luz rojiza muy intensa; la otra protuberancia situada en el limbo de la derecha de la línea vertical era semejante á la primera en color y brillo, pero muy inferior á ella en cuanto á elevacion y regularidad de forma.

Los observadores no están muy conformes en cuanto al color de las protuberancias, pues mientras unos las califican de escarlata, otros de rojo pálido y otros de coral rosado, el coronel Tennant no vacila en llamarlas blancas. Pronto tendremos ocasion de ver que estos distintos tonos dependian de las circunstancias particulares en que se verificaba la observacion y de la naturaleza fugitiva del fenómeno.

III

Eclipse total de Sol del 7 de agosto de 1869

En nuestro deseo de presentar al lector la historia del desarrollo paulatino de la física solar, nos vemos obligados á referir con ciertos detalles las observaciones efectuadas por los astrónomos que se han ocupado del estudio de los últimos eclipses, pues con estos puede decirse que ha comenzado á crearse una de las ramas mas importantes de la astronomía, en cuya empresa tanta gloria cupo al inolvidable é ilustre P. Secchi.

El eclipse total de Sol del 7 de agosto de 1869 fué tambien invisible en Europa; la zona de totalidad se extendia desde Alaska en donde se principiaba el eclipse á medio dia, pasando por la América inglesa y la punta sudoeste de Minnesota, cruzaba luego el Mississippí cerca de Burlington y despues de atravesar el Illinois, la Virginia occidental y la Carolina del Norte salia al Atlántico en las inmediaciones de Beaufort.

Este suceso excitó el mayor entusiasmo entre los astrónomos y fotógrafos norteamericanos, dando orígen á la organizacion de infinitas expediciones científicas; favoreció por lo general á los observadores un tiempo magnífico, viendo recompensados sus esfuerzos con una gran coleccion de fotografías y con muchos y muy útiles estudios espectroscópicos. La parte de la zona de la fase total que cruzaba por territorios deshabitados de la gran Union americana, se cubrió de observadores provistos de cámaras, anteojos, espectroscopios, cronómetros, etc., etc.; así que sin exageracion puede decirse que este desierto cruzado á veces por los pieles rojas, se convirtió en un inmenso y longitudinal observatorio. Aunque la duracion de la totalidad era inferior á la del eclipse de la India de que nos hemos ocupado en el párrafo anterior, sin embargo, este fenómeno pudo observarse, en conjunto, en circunstancias mas favorables; el calor era menos intenso, los puntos de observacion mas convenientemente situados y la altura del Sol algo inferior á la del eclipse de 1868. Los puntos mas importantes de investigacion se referian al estudio de las protuberancias por medio de la fotografía y el espectroscopio, al exámen de la naturaleza de la corona y á la caza de planetas situados entre Mercurio y el Sol.

Las expediciones mas completas fueron las equipadas por la Oficina del Almanaque Náutico de Washington, y por el Observatorio de esta misma capital; la primera la dirigia el Profesor Coffin y era el jefe de los fotógrafos el Profesor Morton de Filadelfia; la segunda se hallaba á cargo del

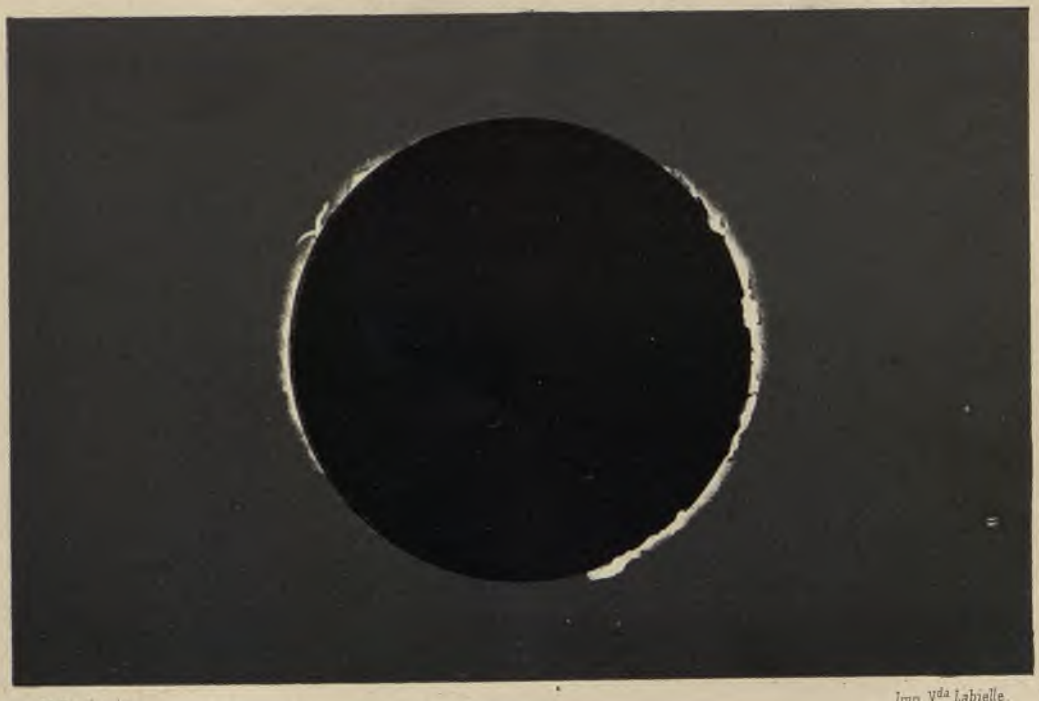
© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ECLIPSE TOTAL DE SOL del 7 de Agosto de 1869.

Facsimile de las fotografias tomadas en Iowa (E.U.)



Principio de la totalidad. Tiempo de exposicion 5 segundos.



M. Pujadas lit. Imp Vda Labielle.

Fin de la totalidad. Tiempo de exposicion 7 segundos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

comodoro Sands. Además de estas comisiones importantes se organizaron otras muchas mas modestas, y que contaban con un buen material y observadores excelentes en nada inferiores á los astrónomos oficiales; entre otras merece citarse la del Dr. E. Curtis, quien obtuvo en la estacion Des Moines del estado de Iowa, nada menos que 119 fotografías de las distintas fases del eclipse. Whiple, Winlock y otros obtuvieron 80 fotografías, entre ellas seis de la fase total, en una de las cuales se veia una completa y magnífica representacion de la corona.

De la gran masa de observaciones útiles de este eclipse solo extraeremos las que se refieren á la constitucion física del Sol y fueron obtenidas por medios fotográficos y espectroscópicos. Describiremos primero los fenómenos observados con el telescopio y en las planchas fotográficas, dejando para mas adelante la relacion de los detalles relativos á las protuberancias y á la corona revelados por el espectroscopio. La marcha que siguió el eclipse en el monte Pleasant en cuyo punto fué de dos minutos la duracion de la totalidad, la describe Wilson del modo siguiente:

«Unos cuantos dias antes del eclipse se cubrió el cielo amenazando lluvia, pero el 7 de agosto se despejó por completo sin que se viese la mas ligera nube; el Sol brillaba con gran esplendor y muchos meses habia que no habíamos tenido un dia tan claro y hermoso. Llegó el momento del primer contacto y colocamos en el tubo el bastidor con la primera placa fotográfica; el Profesor Wastron nos hizo una seña con la mano para indicarnos el momento de tomar la impresion; en el acto dejamos correr el obturador de corredera y obtuvimos una primera imágen instantánea. Así dimos comienzo á una serie de impresiones tomadas con intervalo de cinco ó diez minutos hasta el principio de la totalidad, continuando de nuevo la serie al reaparecer el Sol hasta la terminacion del eclipse. La oscuridad que experimentamos durante la fase total fué muy grande, pero no tanto como la de la noche; sin embargo, nos fué imposible leer sin el auxilio de una lámpara. La cantidad de luz que alumbraba el paisaje, apenas podia compararse á la de la Luna, pero nos bastaba para proseguir nuestro trabajo. Un momento antes de comenzar la totalidad, la delicada falce solar brillaba de modo que era imposible mirarla; luego se extinguió la luz como la de una bujía que se consume.

»Entre el cielo y la Tierra aparecian suspendidos los dos grandes luminares el Sol y la Luna frente á frente, como una gran mancha negra circular rodeada por un anillo de luz roja y brillante, interrumpido de vez en cuando por puntos mas resplandecientes de color rosado, que eran las protuberancias que se destacaban sobre el fondo plateado de la corona; el fenómeno se asemejaba á la imágen gigantesca que pudiera proyectar una linterna mágica sobre una inmensa pantalla formada por el cielo. Cuatro planchas se expusieron y un momento despues reapareció la luz del Sol; estas fotografías de la totalidad no fueron muy buenas en cuanto á finura en los detalles, pues el anteojo carecia de movimiento de relojería.

Las placas obtenidas en Ottumwa en número de cuarenta eran mucho mas perfectas, en particular los cuatro negativos correspondientes al período de la fase total; los expedicionarios de Burlington sacaron seis fotografías durante la totalidad, de modo que en junto se obtuvieron trece negativos de esta parte del fenómeno, todos ellos de gran mérito. En la lámina adjunta que representa el aspecto del eclipse total al principio y al fin de esta fase, no se percibe la corona porque su luz era demasiado débil para producir la menor impresion en la placa sensible en el corto período de la exposicion que no pasó de diez y seis segundos. La porcion superior de la lámina muestra las primeras protuberan-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cias visibles en el limbo oriental del Sol al principiar la fase total, mientras que las del borde occidental permanecen aun cubiertas por la Luna; por la marcha progresiva de nuestro satélite del oeste al este se descubren las protuberancias del borde occidental con creciente distincion como muestra el facsimile inferior, al paso que las protuberancias del limbo oriental desaparecen de un modo gradual.



Fig. 285 —Protuberancias solares observadas durante la fase total del eclipse de 7 de agosto de 1869

En la fig. 285 se representan todas las protuberancias observadas reunidas en un solo dibujo, segun aparecieron en el borde del Sol durante el curso de la totalidad, bien como llamas aisladas, ora con formas menos definidas semejantes á masas luminosas, dispuestas segun indican los contornos de la figura trazada con arreglo á las medidas micrométricas. Las protuberancias están numeradas del 1 al 20, principiando á contar por el Norte dando la vuelta por el Este, el Sur y el Oeste; entre otras son notables las señaladas por los números 4, 5 y 8, á causa de su forma y altura; el número 4 llamada *el águila* alcanzó una elevacion de 82 segundos; el número 5, *masa nebulosa brillante*, se extendia de B á C y tenia de altura 136 segundos; mientras que el número 8 comparado á la cabeza *de un alcatraz* media 75 segundos, de modo que por estos datos se puede calcular que la altura de estas protuberancias era respectivamente de 14,880 leguas, de 24,500 leguas, y de 13,700 leguas.

En las imágenes fotográficas se veia un rastro luminoso representado en la figura por una línea sinuosa de puntos, que se extendia desde el N hácia el este llegando casi hasta el S, siendo su elevacion máxima de 2' 15" á mitad de distancia entre las protuberancias 2 y 4 y de nuevo á unos cuantos grados al sur del número 5. En las inmediaciones de las protuberancias 3 y 5 cerca de los puntos en que el apéndice luminoso alcanzaba su elevacion máxima, se veian varias lenguas de fuego separadas unas de otras y que se elevaban sobre las porciones inferiores de la masa de luz. La nube de luz blanca difusa situada entre B y C alcanzaba una altura de 25,700 leguas cuando menos, esto es, la cuarta parte de la distancia que nos separa de la Luna. Otra nube luminosa semejante se veia en los negativos en la parte occidental, que se ex-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tendia del sur al norte; alcanzaba su altura máxima entre las protuberancias 11 y 12, quedando cortada bruscamente al llegar al punto boreal.

El círculo de puntos interior al borde de la Luna demuestra el tamaño relativo del Sol y tambien su situacion en el momento central de la totalidad. La flecha marca la direccion de la marcha de la Luna, pero aunque en el grabado aparecen los dos círculos concéntricos, en realidad no tuvo lugar el fenómeno de un modo tan simétrico.

En las placas fotográficas la base de las protuberancias, con excepcion del número 4, se proyectan dentro del círculo formado por el limbo lunar segun muestra la figura anterior; se creyó que la explicacion de fenómeno tan notable habria de encontrarse en las circunstancias de que el anteojo fotográfico al seguir el movimiento de las protuberancias con la máquina de reloj, conservaba inmóvil la imágen en la placa sensible, mientras que la imágen de la Luna, debido á que su movimiento angular es distinto del que posee el Sol, continuaba avanzando en la placa. El Dr. Curtis, sin embargo, ha demostrado con toda evidencia, fotografiando un eclipse artificial en el que la Luna estaba representada por un círculo de papel negro, mordido en los bordes para figurar las protuberancias, y la corona, que esta proyeccion de las imágenes de las protuberancias sobre el disco de la Luna se debe á una especie de irradiacion fotográfica de la plancha sensible y es por lo tanto una accion enteramente mecánica que tiene lugar siempre que un objeto muy brillante se encuentra muy próximo á otro oscuro, y la duracion de la accion de la luz (tiempo de exposicion) ha pasado de los límites convenientes.

Aunque el eclipse de 1868 observado en la India nos hizo dar un gran paso en el estudio de las protuberancias, poco nos enseñó respecto de la corona; los observadores americanos, por lo tanto, se consagraron con particular empeño á examinar los detalles de este notable fenómeno, su forma, su espectro y principalmente su relacion con las protuberancias.

Las fotografías de corta exposicion (de uno á siete segundos) solo revelan la existencia de la corona en sus partes mas brillantes inmediatas al limbo del Sol, si bien en el negativo tomado en Ottumwa se percibe una imágen bastante acentuada casi de la misma forma que presenta la corona á la simple vista. El curso curvo de los rayos y la intensidad variable con que irradian desde todos los puntos de la periferia lunar se distingue muy bien en todas estas pruebas. Los rayos mas brillantes coinciden en cuanto á su posicion con la luz de las protuberancias de forma de llama puntiaguda, mientras que en los lugares en donde las protuberancias parecian masas redondeadas se percibia como una sombra proyectada sobre la corona. Es evidente por lo que revelan estas fotografías que la corona no debe moverse al par de la Luna durante la totalidad, sino que permanece concéntrica al Sol. Cada vez se cubre mas y mas por el lado oriental á medida que avanza la Luna y en igual proporcion se revela de un modo gradual por el lado opuesto.

Con objeto de obtener una impresion fotográfica completa de toda la corona, no solo hay que prolongar considerablemente el tiempo de exposicion respecto del que se necesitaria para fotografiar las protuberancias brillantes, sino que tambien hay que cuidar de que no se amplifique la imágen antes de caer sobre la placa sensible. El astrónomo Whipple de Boston, en consecuencia, dispuso de tal modo su anteojo para fotografiar la corona, que la placa sensible se colocaba en el foco principal del objetivo; el tiempo de exposicion fué de cuarenta segundos. Con este procedimiento se obtuvo una imágen en la que aparecian las protuberancias como manchas brillantes únicamente, mientras que el anillo interior de luz, lo mismo que el contorno de toda la corona y la curvatura

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

particular de sus rayos quedaron impresos con toda claridad. Cuando se observa la corona con un anteojo de grandes dimensiones solo puede verse una parte en el campo, de modo que hay que hacer girar el instrumento poco á poco al rededor del limbo de la Luna, si se quiere obtener una vista general del conjunto. El Profesor Eastman empleó este método en Iowa con resultado bastante satisfactorio; al comenzar el instante de la totalidad apareció la corona como una luz de color blanco de plata, que por sus extremidades se teñia ligeramente de un color violeta verdoso, sin que se notase el cambio mas ligero durante la totalidad ni en el color, ni en la forma, ni en la posicion de los rayos, observacion que confirmaron otros varios astrónomos.

La corona aparecia formada de dos partes principales; la interna inmediata al Sol era casi anular alcanzando una altura aproximada de un minuto y siendo su color blanco de plata; la porcion externa estaba formada por varios grupos de rayos que le daban el aspecto de una estrella de cinco puntas de un radio igual á la mitad del diámetro solar.

De la exposicion de estos hechos se deduce que el Sol está rodeado de una atmósfera muy elevada cuya altura es por lo menos igual á la mitad de su radio, mas extensa en el ecuador que en los polos, y que en brillo y elevacion presenta dos zonas máximas situadas entre los 35 y los 40 grados de latitud á cada lado del ecuador. En esta atmósfera flota una capa continua de materia rosa dotada de un gran poder fotogénico, cuya altura y contorno presentan grandes irregularidades. Esta materia se eleva á veces y forma ora columnas verticales, bien nubes aisladas; tanto unas como otras son arrastradas de un modo poco perceptible por las corrientes atmosféricas. La capa rosa tiene una altura mas considerable y mayor actividad fotogénica en la region de las manchas, en la cual demuestran, por otra parte, las observaciones del P. Secchi, que es mas grande la elevacion de temperatura.

Muchos siglos hubieran transcurrido antes de llegar á conocer la estructura de esta capa y los movimientos que tienen lugar en su seno sin el feliz descubrimiento que nos permite hoy dia observar constantemente y á cada momento su composicion química y las caprichosas variaciones que experimenta. Merecen ser conocidos los primeros pasos dados en esta vía fecunda y vamos por consiguiente á exponer con toda minuciosidad la parte histórica de este asunto interesante.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO III

I

Observaciones espectrales de las protuberancias

Poco antes de la fecha marcada por el eclipse total de 18 de agosto de 1868, discutieron los astrónomos la manera de estudiar las protuberancias utilizando los descubrimientos de Kirchhoff y Bunsen relativos al análisis espectral. Las cuestiones que habia que resolver eran las siguientes:

1.ª ¿Están compuestas las protubecias de materias sólidas y hay que considerarlas como nubes incandescentes, ó son verdaderas montañas gaseosas?

2.ª ¿Qué sustancias entran en su composicion?

La primera de estas cuestiones debia quedar resuelta tan pronto como se dirigiera un espectroscopio hácia las protuberancias, pues todo se reducia á ver si el espectro era continuo ó presentaba líneas de alguna clase. Sabemos, con efecto, que una materia sólida ó líquida incandescente produce un espectro continuo, como ocurre con el carbon que se encuentra suspendido en la llama de una bujía. Los mismos gases tambien pueden dar un espectro continuo si su temperatura es muy elevada; pero siempre que se obtiene un espectro formado de rayas brillantes separadas unas de otras por espacios negros, se trata de una materia gaseosa cuya naturaleza química puede determinarse por el número y posicion de las rayas. El problema, prácticamente considerado, era mucho mas difícil de lo que en un principio se habia supuesto, pero estas dificultades no atemorizaron á los Janssen, Rayet, Herschel, Weise y Tennant que con el mayor ardor se consagraron á este trabajo.

Para esto se necesitaban anteojos muy poderosos capaces de formar imágenes claras y detalladas de las protuberancias; además, debian de estar dotados estos instrumentos de un movimiento automático á fin de que las imágenes producidas en la hendidura del espectroscopio permaneciesen en este punto durante mucho tiempo; los espectroscopios debian ser de un poder dispersivo bastante fuerte como para separar las líneas, evitando, sin embargo, el exagerar su potencia con objeto de perder la menor cantidad de luz posible. Como no habia medio de efectuar ensayos preliminares con los diversos instrumentos ideados, se aguardaba la observacion del eclipse con objeto de comparar las ventajas de cada uno de ellos.

El P. Secchi propuso que se emplease un espectroscopio simplificado que se reducia á un solo prisma de vision directa colocado entre el objetivo y el ocular del anteojo. Observando así se hubiera descompuesto la luz de las protuberancias de igual manera que la de una bujía, ó de la llama de la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lámpara de alcohol con sal marina ú otros cloruros:

A pesar de estas dificultades no desmayó el entusiasmo de los astrónomos, siendo coronados sus esfuerzos con un resultado magnífico; como antes dijimos, los observadores se extendieron por toda el Asia; los mas favorecidos fueron Janssen en Guntoor, Rayet en Malaca, el capitan Herschel y el mayor Tennant en Guntoor y Weiss en Aden. El eclipse presentó unas circunstancias muy favorables y la enorme protuberancia del limbo oriental fué percibida inmediatamente por los observadores que en el acto apuntaron sobre ella sus instrumentos que acusaban la presencia de un espectro discontinuo formado por un corto número de rayas brillantes. La primera parte del problema estaba, pues, resuelta y se tenia la certidumbre de que las protuberancias son masas gaseosas.

Era, pues, indispensable tratar de reconocer la naturaleza de las sustancias que las componian, cuestion esta última, mucho mas difícil de resolver que la primera, puesto que se trataba de fijar la posicion de las líneas respecto de una escala arbitraria tomando como término de comparacion el espectro de una sustancia conocida ó el del mismo Sol. En esta parte de las observaciones se cometieron varios errores, bien dignos de excusa por cierto, si se considera la dificultad de la empresa acrecentada si cabe por la presencia de las nubes.

Rayet empleó un espectroscopio de vision directa y observó en el espectro de la gran protuberancia del borde oriental siete rayas principales, algunas de ellas tan vivas que producian una especie de cola en el campo del instrumento; hé aquí un extracto de la comunicacion que dirigió este astrónomo á la Academia de Ciencias de Paris.

«Desde el momento en que comenzó la oscuridad total, dirigí la ranura del espectroscopio á la imágen de la gran protuberancia que entonces apareció por el limbo oriental del Sol y ví inmediatamente una serie de nueve líneas brillantes, muy brillantes puedo decir, que se destacaban sobre un fondo uniforme casi negro, ó mas bien violeta muy oscuro; ningun vestigio de espectro coloreado producido por la corona podia servir como punto fiduciario para medir la separacion de las líneas brillantes. Sin embargo, gracias á la disposicion que tenian en el campo, á sus separaciones relativas, á su color y, por último, al carácter particular de su conjunto, me pareció que estas líneas podian asimilarse á las rayas principales del espectro solar B, D, E, *b*, una línea desconocida F, y dos líneas del grupo G.»

La línea designada B corresponde en realidad á C y en cuanto á D, solo puede considerarse su posicion como aproximada. La de F es exactísima. Janssen y Herschel señalaron la verdadera posicion de C, si bien este último observador no llegó á determinarla con todo rigor á causa de las nubes que dificultaron su inspeccion.

Colocó Rayet sucesivamente la ranura de su espectroscopio en dos direcciones rectangulares; de este modo tenemos la seguridad de que el espectro observado por este método pertenece en realidad á la protuberancia. En una segunda observacion analizó la luz de otro punto y solo halló una línea situada en el violeta, de lo cual habria que deducir que todas las protuberancias no tienen una misma composicion química.

Comprobada completamente la existencia de la raya F, se tenia la seguridad de que el gas hidrógeno era una de las materias de que se componia la protuberancia, pero era necesario determinar la naturaleza de los gases á que pertenecian las otras líneas. La temperatura era indudablemente muy elevada y comparable á la que produce el paso de la chispa eléctrica en los tubos de Geissler. Por lo demás, esta comparacion sirve para explicar el color rosado de las protuberancias, puesto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que este es el tono que toma el hidrógeno cuando se le ilumina por una descarga eléctrica despues de rarificarlo.

El astrónomo inglés Pogson, que observaba en Madrás, da cuenta de sus trabajos en los términos que vamos á copiar.

«Un poco antes de las 9^h, cuando la fase parcial se hallaba bastante avanzada, volví el espectroscopio hácia el Sol y efectué en el micrómetro las lecturas de siete líneas conocidas del espectro ordinario, segun las instrucciones de Huggins. Tuve cuidado de colocar preventivamente con la mayor exactitud que me fué posible el pié ecuato-

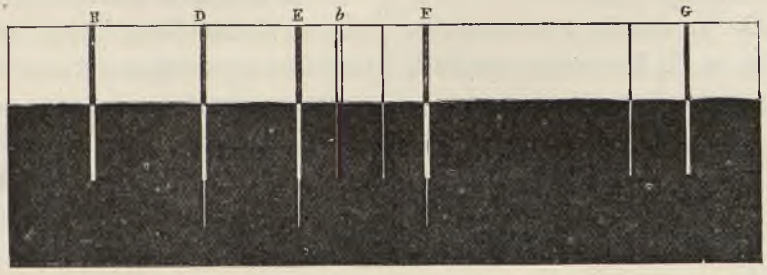


Fig. 286.— Líneas brillantes de las protuberancias observadas por Rayet en el eclipse de Sol de 18 de agosto de 1868

rial. Despues de medir la gran protuberancia, segun llevo dicho, así como un minuto despues de comenzada la fase total, dirigí el buscador del anteojo hácia una parte de la corona en el limbo austral del Sol, en el supuesto de que se encontrase exenta de

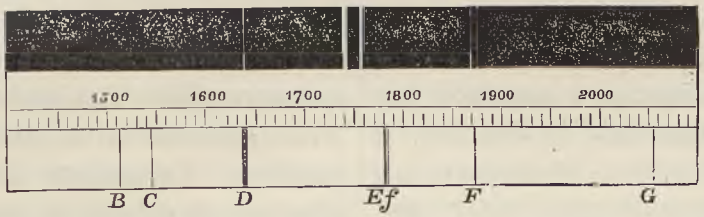


Fig. 287.—Líneas brillantes de las protuberancias; observaciones de Pogson

protuberancias. Ví una luz débil, sin color apenas, y desde luego sin líneas oscuras, ni brillantes; á poco se fueron presentando de un modo gradual algunas líneas brillantes que alcanzaron bastante intensidad y que de nuevo desaparecieron. De estas cinco líneas visibles habia dos mucho mas brillantes que las otras.

»Una vuelta que dí al tornillo del círculo de ascension recta, inmediatamente hizo que apareciesen las líneas, y manejando la palanquilla del anteojo con una mano, y con la otra el micrómetro del espectroscopio, tomé las lecturas correspondientes á cada una de las dos líneas mas brillantes. Me llamó mucho la atencion que estas rayas mas brillantes aparecieran en una region del espectro que no correspondia á ninguna de las líneas oscuras mas notables del espectro solar, pero como no tenia á mano el mapa de Kirchhoff, dejé al cuidado de mis colegas la interpretacion de esta particularidad.

»La tercera línea observada debia coincidir con la raya D del sodio, poco mas ó menos, pero su brillo era inferior al de las otras dos; la cuarta y quinta eran mucho mas débiles y casi tan próximas como E y *f*, pero supuse que distaban poco de la raya F de Fraunhofer. La presencia de estas líneas brillantes indicaba que la protuberan-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cia roja que las producia estaba formada por un gas incandescente, si bien no podia afirmar aun si este gas pertenecia ó no á un elemento terrestre conocido.

»Volví á medir al dia siguiente á la misma hora las siete líneas ordinarias del espectro solar, repitiendo las observaciones á mi regreso á Madrás, y hallé que la diferencia extrema correspondia siempre á cuatro divisiones de la escala micrométrica para las líneas A y C. Los números de la escala son los que doy á continuacion:

a	1,513	en el rojo oscuro
C	1,547	en el rojo brillante
D	1,639	en el amarillo
E	1,782	en el verde
f	1,785	
F	1,873	en el azul
G	2,055	en el azul oscuro

»Las dos líneas brillantes estaban situadas, en el 1,743 la mas notable, y la otra en el 1,763.»

Este exámen era aun muy incompleto, pues habia necesidad de asegurarse de la identidad de las rayas, para lo cual nos hubiéramos visto obligados á aguardar que ocurriese otro eclipse total de Sol; pero el utilísimo descubrimiento de Janssen nos ha evitado que tengamos que limitar nuestros estudios sobre este punto á los breves momentos que dura la oscuridad total del disco solar causada por la interposicion de la Luna. Llamó la atencion de este distinguido astrónomo el brillo extraordinario que presentaban varias líneas de las protuberancias y pensó que estas rayas podrian observarse en pleno dia. Por desgracia, se nubló el cielo poco despues de ocurrido el eclipse, siéndole imposible aquel dia comprobar la exactitud de su conjetura; á la mañana siguiente, muy temprano, se puso á la obra y tuvo la gran dicha de ver, con el Sol completamente despejado, las rayas brillantes de las protuberancias; colocó la ranura del espectroscopio tangente al borde del Sol en un lugar donde la víspera habia observado una gran llama y distinguió una raya brillante roja que correspondia á la línea C de Fraunhofer; luego, en el azul, otra raya brillante que correspondia exactamente á la línea F; ambas pertenecen al hidrógeno, y por consiguiente este gas es la sustancia principal de que se componen las protuberancias.

De la Memoria que dirigió Janssen á la Oficina de las Longitudes extractamos los párrafos siguientes en los que el mismo autor da cuenta de su notable descubrimiento en términos en extremo sencillos. «Durante la oscuridad total me llamó mucho la atencion el extraordinario esplendor de las líneas de las protuberancias; se me vino en seguida á la idea que era muy posible verlas fuera de los eclipses; pero como el tiempo se encapotó á poco del último contacto nada pude probar aquel dia. Durante la noche medité profundamente sobre el método y los medios de ejecucion que debia emplear y al dia siguiente, á las tres de la mañana, me levanté disponiéndolo todo para las nuevas observaciones.

»Salió el Sol radiante; tan pronto como se desprendió de los vapores bajos del horizonte, principié mi exploracion del modo siguiente. Valiéndome del buscador del gran anteojo coloqué la ranura del espectroscopio sobre el borde del disco solar en las mismas regiones en donde el dia anterior habia observado las protuberancias luminosas. Dispuesta así la ranura, caia una parte sobre el disco del Sol y la otra fuera, de modo que en el campo del instrumento aparecian dos espectros, el del Sol y el de la region de las protuberancias. Una dificultad grave que se presentaba era la del excesivo resplandor del espectro solar, pero pude evitarla tapando las regiones mas brillantes del amarillo, el verde y el azul; dirigí toda mi atencion á la línea C, oscura en el Sol y brillante en la protuberancia, y que, perteneciendo á una parte menos luminosa del espectro debia percibirse con mucha mayor facilidad.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

»Me ocupaba poco tiempo hacia en estudiar la region de las protuberancias del borde occidental, cuando distinguí de repente una raya roja, pequeña, brillante, de uno á dos minutos de altura, formando la prolongacion rigorosa de la raya oscura C del espectro solar. Haciendo mover la ranura del espectroscopio de modo que recorriese metódicamente la region que estaba explorando, persistia la línea, pero se modificaba en su longitud y en el esplendor de sus diversas partes, acusando, pues, una gran variabilidad en la altura y en el poder luminoso de las distintas regiones de la protuberancia.

»Tres veces comencé la misma exploracion y siempre aparecia la línea brillante en las mismas circunstancias. Redier, que me servia de ayudante, pudo verla tambien y á poco rato predecíamos su aparicion por el conocimiento que teníamos de las regiones exploradas. Poco despues comprobé que la raya brillante F aparecia al mismo tiempo que C.

»Al medio día volví á ocuparme de la region observada por la mañana; de nuevo aparecieron las líneas brillantes, pero acusaban grandes modificaciones en la distribucion de la materia de las protuberancias; á veces se fraccionaban las líneas en porciones aisladas que no se reunian á la raya principal á pesar de las dislocaciones de la ranura de exploracion. Este hecho indicaba la existencia de nubes aisladas que se habian formado despues de la observacion de la mañana; en la region de la gran protuberancia hallé algunas líneas brillantes, pero su longitud y su distribucion acusaban tambien en esta parte grandes cambios.

»De esta manera quedó demostrada la posibilidad de observar las líneas de las protuberancias fuera de los eclipses, creándose así un nuevo método para el estudio de esos cuerpos.

»Estas primeras observaciones demostraban ya que las coincidencias de las rayas F y C eran reales, y por consiguiente, que el hidrógeno formaba en efecto la base de estas materias circunsolares; al propio tiempo indicaban la rapidez con que se verifican los cambios y transformaciones de estos cuerpos, que no podian percibirse en los cortos instantes que tiene de duracion un eclipse total.

»En los dias siguientes aproveché todas las ocasiones favorables que presentó el cielo para aplicar el nuevo método y perfeccionarlo poco á poco, en la parte al menos que permitian los instrumentos, construidos para otro objeto distinto.

»Siguiendo con mucha atencion las líneas de las protuberancias he observado algunas veces que penetran en las rayas oscuras del espectro solar, acusando por consecuencia una prolongacion de la protuberancia sobre el mismo globo solar; este resultado era fácil de prever, pero la interposicion de la Luna hubiera hecho siempre imposible la comprobacion del fenómeno durante los eclipses.

»Daré cuenta aquí de una observacion efectuada el 4 de setiembre con tiempo favorable y que demuestra la rapidez con que se forman y desvanecen las protuberancias solares.

»A $9^h\ 50^m$ indicaba la exploracion del Sol que en la parte inferior del disco habia un conglomerado de la materia que constituye las protuberancias; para determinar su figura me serví de un método que pudiera llamarse cronométrico porque el tiempo interviene en él como elemento de medida. En este método se coloca el anteojo en una posicion fija, elegida de manera que, por efecto del movimiento diurno, vengan á pasar sucesivamente por delante de la ranura del espectroscopio todas las partes de la region que se quiere explorar. Se anota entonces para cada instante determinado la longitud y la situacion de las líneas de las protuberancias que se producen sucesivamente; el tiempo que invierte el disco solar en atravesar la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ranura da el valor del segundo en minutos de arco; este dato combinado con la longitud de las líneas de las protuberancias estimadas segun la misma unidad, nos proporciona los elementos necesarios para representar gráficamente la disposicion y figura de estos apéndices.

»La aplicacion de este método al estudio de la region solar á que acabo de contraerme indicaba la existencia de una protuberancia que se extendia unos treinta grados, así, 10° al oriente del diámetro vertical y 20° al occidente. Hácia la extremidad de la parte situada al oeste, se elevaba una nube de gran tamaño 1' 30" sobre el limbo del Sol; su largo era de mas de dos minutos y su ancho de 1', extendiéndose paralelamente al borde. Una hora despues (10h 50m) un nuevo dibujo demostraba que la nube se habia elevado rápidamente, tomando la forma globular; pero llegaron á ser tan rápidos los movimientos, que diez minutos despues, es decir á las 11h, se encontraba el globo muy prolongado en el sentido normal al limbo solar ó perpendicular á la primera direccion. Un pequeño conglomerado de materia se habia desprendido de la parte inferior y se hallaba suspendido entre el Sol y la nube principal; el mal tiempo me impidió seguir estudiando este fenómeno.

»Resumamos estas observaciones: considerado el nuevo método en su principio, se funda en la diferencia de las propiedades espectrales de la luz de las protuberancias y de la foto-esfera. La luz foto-esférica emanada de partículas sólidas ó líquidas incandescentes, es sin comparacion mucho mas poderosa que la de las protuberancias debidas á una irradiacion gaseosa. Por esta causa, ha sido imposible hasta hoy distinguir las protuberancias fuera de los eclipses, pero pueden invertirse los términos de la cuestion valiéndose del análisis espectral. Con efecto; la luz solar se distribuye por el análisis en toda la extension del espectro y de aquí que se debilite considerablemente. Las protuberancias, por el contrario, solo dan un pequeño número de haces cuya intensidad es muy comparable á los rayos solares correspondientes; á esto se debe que las rayas de las protuberancias se perciben muy fácilmente en el campo espectral, bajo el espectro solar, al paso que las imágenes directas de las protuberancias se hallan ofuscadas por la luz deslumbradora de la foto-esfera.

»Una circunstancia en extremo feliz para el nuevo método vino á agregarse á estos datos favorables. En efecto, las rayas luminosas de las protuberancias correspondian á las líneas oscuras del espectro solar, de donde resulta que no tan solo se las percibe mas fácilmente en el campo espectral hácia los bordes del espectro solar, sí que tambien es posible verlas en la parte interna de este espectro, y, por consiguiente, se puede seguir el rastro de las protuberancias en el mismo globo solar.

»Bajo el punto de vista de la determinacion de la especie química, los procedimientos seguidos durante los eclipses totales llevan siempre en sí cierta incertidumbre; al faltar la luz del Sol era preciso acudir al arbitrio de escalas para fijar la posicion de las rayas de las protuberancias; el nuevo método permite la comparacion directa de las rayas de las protuberancias con las líneas del espectro solar, de modo que pueden identificarse con toda exactitud.

»Considerando los resultados obtenidos durante el corto periodo en que se ha aplicado, permite afirmar el método espectrométrico:

1.° Que las protuberancias luminosas observadas durante los eclipses totales pertenecen sin duda alguna á las regiones circunsolares.

2.° Que estos cuerpos están formados de hidrógeno incandescente y que este gas predomina, si es que por si solo no constituye la materia exclusiva de las protuberancias.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

3.° Que estos cuerpos circunsolares son teatro de movimientos de que no pueden darnos idea los fenómenos que presenciamos en la superficie de la Tierra; conglomerados de materia cuyo volúmen es varios cientos de veces mayor que el de nuestro globo y que cambian por completo de forma y situacion en el espacio de algunos minutos.»

El mismo dia que llegaba á Europa la noticia de este descubrimiento capital (20 de octubre de 1868) el famoso astrónomo inglés Lockyer, anunciaba por su parte, que habia podido ver en el borde del Sol las rayas del hidrógeno acompañadas por una línea desconocida situada muy cerca de D. Como habrá podido observar el lector, estas coincidencias no son raras en la historia de la astronomía.

El espacio que quedaba en el espectro entre dos protuberancias era oscuro, de lo cual dedujo Janssen que el resultado de sus investigaciones no concordaba con la teoría de Kirchhoff, puesto que de ser así, el espacio referido debia estar lleno de la sustancia que, segun el físico aleman, constituia la atmósfera solar, y en vez de aparecer oscuro en el espectroscopio, hubiera mostrado un espectro de líneas brillantes. Como esto no era así, no podia sostenerse la teoría de Kirchhoff de que la luz blanca del núcleo solar líquido ó sólido, pero incandescente, era en parte absorbida por los vapores luminosos de su atmósfera; esta absorcion no podia tener lugar, por consiguiente, en la parte externa de la foto-esfera ó region luminosa del Sol, sino precisamente dentro de ella, produciéndose por los vapores brillantes, de los cuales se formaban los conglomerados sólidos ó líquidos de la foto-esfera.

A esta objecion de Janssen puede replicarse, que el que no obtuviese espectro alguno en la inmediata vecindad del Sol debe atribuirse á la exagerada disminucion que dió á la ranura con objeto de ver con toda claridad las líneas brillantes de las protuberancias, impidiendo por esta causa que pudiera formarse el espectro correspondiente á las otras regiones del Sol mucho mas débiles. Las observaciones de Janssen parecen confirmar, pues, las de otros astrónomos, que afirman que la luz de las protuberancias es mucho mas intensa que la de la atmósfera solar aun en la inmediata vecindad del limbo del Sol y tambien que la de la corona.

En el eclipse total de Sol del 7 de agosto de 1869 se ocuparon del estudio espectral de las protuberancias los Profesores Young y Harkness; este último empleó un espectroscopio simple de un solo prisma de sesenta grados, al cual adaptó un micrómetro particular para el caso. Debido al débil poder dispersivo del instrumento, las medidas de distancias entre las líneas del espectro comparadas con la escala de Kirchhoff carecen de exactitud. Harkness comparó las divisiones de su micrómetro valiéndose de las principales líneas de Fraunhofer, con los números en milímetros de las mismas líneas del mapa de Kirchhoff, y marcó las rayas brillantes de las protuberancias segun los números que siguen:

						Kirchoff
La protuberancia	*a*	daba	las	líneas		693, 1007, 1497
»	»	*c*	»	»	»	693, 1007, — — 2069
»	»	*e*	»	»	»	693, 1007, 1497, 1611, 2069 2770
»	»	*f*	»	»	»	693, 1007, 1497 — 2069 2770

Si estas lecturas, tan solo aproximadas, se comparan con los números de Kirchhoff relativos á las líneas mas importantes de Fraunhofer que antes insertamos, se no-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tará que los de las líneas brillantes observadas en las protuberancias deben ser, con grandes visos de probabilidad los siguientes:

964=C (hidrógeno *alfa*). 1017=D_3 (mas allá de D_2). 2080=F (hidrógeno *beta*). 2796= (hidrógeno *gamma*). Sea por error en la medicion de la posicion de la línea verde 1611 (entre E y *b*), ó porque esta línea coincida con la observada por Winlock en el espectro de la aurora boreal señalada con el número 1680 en la escala de Huggins y con el 1608 en la de Kirchhoff, es lo cierto que hay sus dudas respecto á la exacta situacion de esta raya. Segun estas observaciones, por lo tanto, parece que las líneas brillantes de las protuberancias varian en número aunque no en posicion y que el gas hidrógeno es el principal elemento de estos apéndices.

Las observaciones y medidas efectuadas

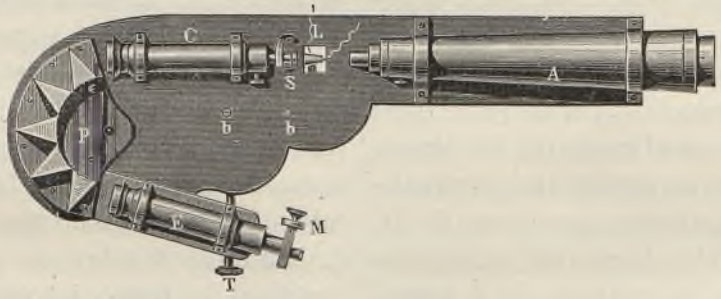


Fig. 288.—Tele-espectroscopio de Young

por Young fueron mucho mas delicadas y exactas; el instrumento de que se valió constaba de cinco prismas de 45 grados cada uno, con caras de 6 centímetros por diez centímetros. La fig. 288 indica la colocacion de estas piezas que formaban el espectroscopio P en el anteojo A que era un buscador de cometas de 10 centímetros de abertura y 80 $^{c}/_{m}$ de distancia focal. El colimador C llevaba una ranura de ajuste de 3 milímetros de longitud, en cuya mitad inferior se insertaba el prisma de comparacion para poder introducir en el instrumento la luz de cualquiera sustancia terrestre hecha luminosa por el paso de la chispa eléctrica, ó bien encerrada en un tubo de Geissler; por medio de los reóforos L, pueden ponerse los electrodos de platino en comunicacion con el carrete de induccion. Inmediatamente en frente de la ranura se colocaba en S un disco dividido, en cuyo centro habia un agujero circular de 25 milímetros de diámetro con cuyo artificio se conservaba la imágen del Sol exactamente en la ranura, pudiendo colocar sobre ella la region particular que se quisiese examinar. El poder dispersivo de los cinco prismas importaba unos 80 grados entre las líneas A y H, siendo la desviacion total de la raya D de cerca de 165°. Los prismas iban ajustados unos con otros y la platina P que los sostenia se aseguraba al cuerpo del anteojo A por medio de los pasadores *b b*, en tal disposicion, que todas las líneas que ocupaban el centro del espectro en el campo visual se encontrasen en la posicion mas ventajosa para la observacion; el campo visual comprendia al mismo tiempo las líneas D y E. Por medio del tornillo micrométrico T, giraba el anteojo analizador E en torno de un eje, pudiéndosele dirigir sobre cualquiera de las líneas del espectro; el ocular llevaba un micrómetro M.

La anchura del espectro solar venia á ser de poco mas de 4 centímetros y su largo de 125 centímetros exhibiendo todas las líneas del mapa de Kirchhoff; las indicaciones del instrumento se compararon con las cartas del físico aleman en muchos casos y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

circunstancias, desde la línea A hasta la G. Antes de principiar la totalidad, se colocó la ranura *s s* (fig. 289) en el lim-

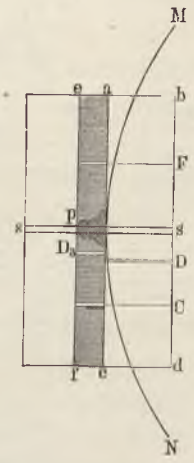


Fig. 289.—Espectro de las protuberancias

bo M N del Sol, en direccion perpendicular á la tangente *a c*, en el punto en que, por el progreso de la Luna sobre el disco solar (el lado izquierdo en un anteojo astronómico) debia de tener lugar el primer contacto. Con tal disposicion, constaba el espectro, segun describiremos mas detalladamente de aquí á poco, de dos mitades yuxtapuestas, una de las cuales es el brillante espectro solar *a b c d*, y la otra el debilísimo espectro *a e f c* de la luz atmosférica difusa, hecha mucho mas pálida por la poderosa dispersion del instrumento. Ambos espectros están cruzados igualmente por las líneas de Fraunhofer como demuestra la fig. 290, en la cual la porcion del espectro comprendida entre B y C se representa con toda claridad. Cuando la mitad de la ranura caia en una protuberancia, *p*, las líneas brillantes de los gases luminosos que la formaban aparecian sobre el débil espectro de la atmósfera, especialmente las líneas del hidrógeno H *alfa* (roja) sobre C, H *beta* (verde) sobre F, y H *gamma* (azul) cerca de G, de igual manera que las líneas brillantes de las otras sustancias incandescentes que pudiera contener la protuberancia.

Antes de entrar la Luna en el disco del

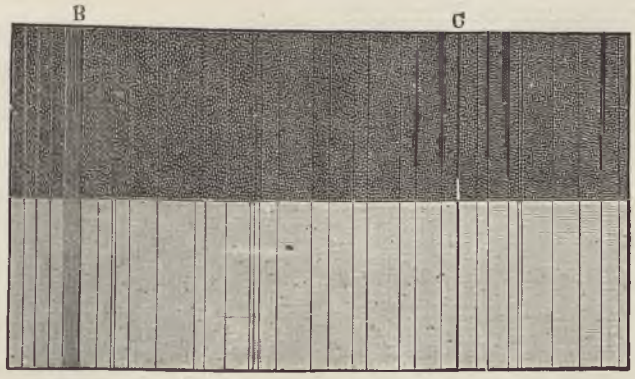


Fig. 290 —Espectro de las protuberancias segun las observaciones de Young

Sol, observó Young al dirigir su anteojo á la línea C del espectro, una línea roja muy brillante *m*, en el espectro oscuro del cielo, que formaba la prolongacion exacta de la línea negra C del espectro solar, prueba evidente de que en este punto se encontraba el Sol rodeado de un estrato de hidrógeno luminoso cuya altura, calculada por la longitud de la línea *m*, no bajaria de cuatro á cinco mil leguas.

Ahora bien, es evidente que la Luna al aproximarse al Sol debe pasar primero sobre esta capa de hidrógeno. El observador se apercibe de la entrada de la Luna en este estrato y de su marcha progresiva por la diminucion de la línea brillante *m* que se va acortando poco á poco, pudiendo determinar con gran exactitud el momento del primer contacto de la Luna y el Sol que se verificará cuando la línea desapa-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rezca por completo. El mismo fenómeno puede observarse si en lugar de la línea C, se coloca la raya F en el campo visual, si bien es mas á propósito para la observacion la línea H *alfa* que la azul-verdosa H *beta*.

Este sistema de observar empleado por Young, fué ideado teóricamente por Faye quien lo propuso como muy propio para determinar con toda exactitud el momento preciso en que se verificase el primer contacto de la Luna, Vénus ó Mercurio con el limbo solar. Poco antes de comenzar la fase total se dirigió la ranura á una de las protuberancias colocando la línea C en el centro del campo visual. Al principiar la totalidad, la línea roja H *alfa* adquirió una intensidad notable, pero á causa de la escasa elevacion de la protuberancia, no se extendió en todo el ancho del espectro. Entre C y A no se percibieron líneas brillantes ni tampoco entre C y D; inmediatamente detrás de la segunda línea del sodio (D_2) apareció la raya anaranjada D_3, en el número 1017,5 de la escala de Kirchhoff, á cuya línea seguian inmediatamente dos rayas débiles verde-amarillentas situadas poco mas ó menos en los números 1250 ± 20 y 1350 ± 20 de la misma escala.

La línea verde que seguia á la 1474 era muy brillante, aunque mas débil que C y D_3; cruzaba el espectro en todo su ancho y permanecia visible sin sufrir cambio alguno cuando se dirigia la ranura desde las protuberancias hácia la corona, desapareciendo no obstante la línea D_3. Esto probaba que semejante raya no pertenecia exclusivamente al espectro de las protuberancias, sino tambien al de la corona. Young opinaba que las dos líneas débiles tampoco sufrian la menor alteracion y que por consiguiente pertenecian asimismo al espectro de la corona que observó simultáneamente con el de la protuberancia.

Las nueve líneas brillantes observadas por Young son como sigue, empezando á contar por el extremo rojo del espectro, y corresponden á los números que se expresan de la escala de Kirchhoff.

1.	694	C = H *alfa*
2.	1017,5	D_3 (no pertenece ni al hidrógeno ni al sodio)
3.	1250 ± 20	Probablemente pertenecen á la corona.
4.	1350 ± 20	
5.	1474	
6.	2080	F = H *beta*.
7.	2602 ± 2	(observada tambien por el capitan Herschel entre F y G durante el eclipse del 18 de agosto de 1868).
8.	2796	H *gamma*.
9.	3370,1	*h* = H *delta*.

Las observaciones espectroscópicas de las protuberancias efectuadas durante el eclipse de 1868 se confirmaron plenamente en el que tuvo lugar en 1869, cuyos ulteriores resultados consideraremos con mayor detenimiento en la seccion siguiente.

II

La corona y su espectro

En el eclipse de 1868, toda la atencion de los astrónomos la absorbian las investigaciones espectroscópicas de las protuberancias, así que el estudio de la corona pasó poco menos que desapercibido. Las observaciones de Tennant en Guntoor y de Rziha en Aden están contestes en la súbita desaparicion de todas las líneas oscuras del espectro al principio de la totalidad, y en que la luz de la corona solo daba un espectro continuo. Tennant admitia que este espectro debia contener tambien algunas líneas débiles que no pudo columbrar, por que con objeto de distinguir alguna raya ensanchó demasiado la ranura, y muy bien pudieran haberse confundido unas líneas con otras.

Rennoldson observó con un solo prisma colocado delante del objetivo y distinguió en la corona varios tonos, rojo, amarillo,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

verdoso, azul y violeta; no dice si estas diversas regiones estaban separadas unas de otras, ó si por el contrario se sucedian sin interrupcion. Estas observaciones dieron lugar á que muchos astrónomos considerasen que la luz de la corona se debia á la reflexion de los rayos emanados del globo solar.

No obstante, como el asunto distaba mucho de hallarse satisfactoriamente resuelto, se trató de estudiarlo de nuevo en el eclipse de 1869. Harkness observó que en los puntos en que no habia protuberancias, ofrecia la corona un espectro particular que constaba de una sola raya verde situada muy cerca de la línea E del hierro; Young la consideró idéntica á la raya 1474 de Kirchhoff, que este sabio atribuia al hierro, afirmando al propio tiempo que la incertidumbre no era superior á la que existe respecto de C y H *alfa* del hidrógeno, pues la veia en el campo de su instrumento confundiéndose con la raya negra correspondiente. La longitud de onda de esta línea 1474 es de $0^{mm},000\ 5316$.

Además de esta raya verde observó Harkness otras dos mas débiles; Young tambien las vió con su tele-espectroscopio de cinco prismas, que por su gran campo mostraba á un tiempo mismo el espectro de la corona, de las protuberancias y de la parte del cielo inmediata al Sol; la posicion de estas líneas débiles correspondia á las divisiones de la escala de Kirchhoff 1250 y 1350; lo que presta mayor interés á la existencia de estas líneas es la circunstancia de que parecen coincidir exactamente con las tres primeras rayas brillantes observadas por el Profesor Winlock en el espectro de la aurora boreal; segun las observaciones de este astrónomo, y reduciendo las determinaciones de la escala de Huggins á la de Kirchhoff, resulta que las posiciones de estas rayas corresponden á los números 1247, 1351, y 1473, mientras que las líneas observadas por Young se referian á los números 1250, 1350 y 1474.

Ahora bien, si se recuerda que la posicion de las dos líneas mas débiles la averiguó Young, tan solo de un modo aproximado y sin tomar medidas exactas, aparece muy marcada la coincidencia entre las rayas brillantes de la corona y las pertenecientes á la aurora boreal. La mas brillante de todas, la 1474, corresponde á la inversion de una línea muy negra de Fraunhofer que, segun Kirchhoff y Angstrom, pertenece al vapor de hierro.

¿Cuál es, pues, la naturaleza de la corona, de este mágico círculo de rayos de argentina blancura que rodea como un halo el negro disco de la Luna en los eclipses totales del luminar del dia, prestando al fenómeno un encanto indescriptible? Llegóse á creer que el círculo brillante interno inmediato al limbo de la Luna pertenecia al mismo globo, y que los rayos que salian del anillo luminoso eran sencillamente los rayos del Sol reflejados por la superficie oscura é irregular de la Luna, y devueltos ó enviados por una especie de refraccion hácia la atmósfera terrestre de donde eran reflejados de nuevo al ojo del observador.

En oposicion á esta teoría se encuentra el hecho de que debiendo experimentar entonces el halo grandes cambios segun el progreso de la Luna durante el período de la totalidad, nada de esto se notó por ningun observador excepcion hecha de Gould; en ninguna de las fotografías obtenidas se observa la menor modificacion, y tambien pudiera agregarse que además de estos testimonios se prueba geométricamente, sin dificultad, que ninguno de estos rayos, tal y como se debieran reflejar en el limbo de la Luna, llegarian á la pequeña zona que ocupaba la fase total en el globo terrestre.

Tampoco puede considerarse la luz de la corona como reflejo de la del Sol, puesto que en su espectro no se percibe ninguna de las líneas de Fraunhofer; comparando varias de las fotografías obtenidas en los eclipses de 1860, 1868, y 1869, se deduce

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que, en proporcion que avanza la Luna, la corona que rodea el limbo oriental del Sol se va encubriendo gradualmente, mientras que en el borde occidental se revelaba mas y mas; el anillo de luz no caminaba, pues, con la Luna, sino que permanecia invariable desde el principio al fin de la totalidad. Si se toma asimismo en consideracion que, segun demuestran las delicadas investigaciones del Profesor Pickering, la luz de la region del cielo inmediata al borde mismo de la corona estaba polarizada, hay que admitir que la corona es luminosa por sí misma y que pertenece al Sol, no pudiendo, por consiguiente, considerarse como un fenómeno óptico causado por la accion combinada de los rayos del Sol, de la Luna y de la atmósfera terrestre.

Siendo su espectro de líneas brillantes, es probable que la naturaleza de la corona sea gaseosa y que forme en torno del Sol una atmósfera muy extensa y difusa. Si así fuese, hasta sus partículas mas remotas se hallarian cien veces mas cerca del Sol que la Tierra, y por lo tanto recibirian diez mil veces mas calor que nuestro globo. Esta temperatura bastaria para que todos los cuerpos conocidos de nuestro planeta se convirtiesen en vapor ó llegaran al menos á la incandescencia.

Se supuso, en vista de la coincidencia de las tres líneas brillantes de la corona con las de la aurora boreal, que aquella es una luz polar permanente, existente en el Sol, análoga á la de la Tierra. Lockyer, sin embargo, presenta con fundamento en contra de esta teoría el hecho de que, si bien la mas brillante de estas tres líneas que se deben al vapor de hierro, se encuentra con frecuencia en un gran número de líneas brillantes que á veces se ven en el espectro de las protuberancias, no es, sin embargo, visible constantemente, como debiera suceder si la corona fuese una luz polar permanente en el Sol. Tambien se indicó por algunos que esta luz polar pudiera deberse á una accion eléctrica, relacionando este fenómeno con el que se observa en la Tierra, pues es sabido, que las auroras polares perturban las agujas magnéticas y hacen sentir su influjo en los hilos metálicos de las líneas telegráficas.

Este era el estado de nuestros conocimientos sobre este punto en 1869, habiéndose adelantado poca cosa en los eclipses posteriores, cuyos resultados vamos á presentar en los párrafos siguientes.

III

Eclipse total de Sol de 1870

La fase total de este eclipse era visible en una porcion de puntos de fácil acceso, puesto que la línea de oscuridad pasaba por la parte meridional de España, la costa septentrional de Africa y por la Sicilia; el consejo de la Sociedad Astronómica de Lóndres determinó enviar distintas comisiones para observar este fenómeno, con objeto de tratar de resolver varios problemas científicos de grande importancia, entre otros, el relativo á la naturaleza y dimensiones de la luz de la corona. El gobierno inglés puso á disposicion de la Sociedad, 2,000 libras esterlinas para ayuda de costas y gastos de viaje por tierra, y el vapor transporte *Urgent* para conducir á los astrónomos á España y Sicilia.

Esta resolucion del gobierno inglés fué tomada á última hora, algunas semanas antes de la fecha fijada para el eclipse, de manera que los astrónomos tuvieron que desplegar la mayor actividad en la eleccion de los instrumentos segun las observaciones que se intentasen llevar á cabo, escogiendo al propio tiempo un personal á propósito. Se formaron cuatro expediciones que debian encaminarse á Cádiz, Gibraltar, Oran y Sicilia, bajo la direccion respectivamente de los astrónomos Perry, Parsons, Huggins y Lockyer. El Profesor Tyndall tambien se agregó á la expedicion de Oran como observador particular.

Lord Lindsay, con su esplendidez acostumbrada, organizó una expedicion á su

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

costa que se estableció en las inmediaciones del Puerto de Santa María.

Además de las expediciones inglesas se equiparon otras dos por los americanos, de las cuales una se dirigió á Sicilia al mando del Profesor Peirce y la otra á España hallándose á su frente el Profesor Winlock. Se obtuvieron varias observaciones independientes por Newcomb en Gibraltar y Harkness, Eastman y Hall en Sicilia.

En ningun otro eclipse anterior habian hecho ingleses y americanos mayores preparativos que en este, ni con tanta atencion se habian elegido los observadores para aplicarlos al estudio de aquellos fenómenos que les fuesen mas familiares; todas las comisiones iban pertrechadas de modo que pudieran atacar los misterios de la corona por diversos métodos, esto es, con el espectroscopio, el polariscopio, la fotografía y los dibujos á la simple vista.

Mr. Janssen, como en otro lugar manifestamos, salió de Paris en globo, por hallarse la gran ciudad sitiada por los alemanes, y se dirigió á la Argelia. Los doctores Weiss y Oppolzer se situaron en Africa tambien, en la Regencia de Túnez.

Los astrónomos italianos Secchi, Denza, Lorenzoni, Respighi y Tacchini se establecieron en diversos puntos de la Sicilia.

Pasando la línea de totalidad por España, parecia natural que los astrónomos de nuestra patria se dispusiesen con los mayores recursos del que se encuentra en su propia casa, á la observacion de este fenómeno importante; por qué los resultados obtenidos fueron de valor tan secundario, claramente lo explica el Sr. Pujazon, Director del Observatorio de San Fernando, en su Memoria sobre el eclipse de Sol de 22 de diciembre de 1870.

En ella dice que «en enero del propio año dispuso el Almirantazgo que se construyesen los aparatos de que carecia el Observatorio y eran necesarios para la observacion completa del eclipse mencionado. En virtud de esta órden y teniendo en cuenta la clase de observaciones á que debia prestarse una atencion preferente en el actual eclipse, procedí á contratar con los conocidos artistas de Paris, Brunner hermanos y Secretan, la construccion de un telescopio del sistema Foucault montado ecuatorialmente con movimiento de relojería y dispuesto para obtener imágenes fotográficas; la de un espectroscopio de cinco prismas con aparato micrométrico para adaptarlo á la gran ecuatorial del Observatorio; y la de un anteojo de nueve centímetros de objetivo montado ecuatorialmente con máquina de reloj asimismo y provisto de un espectroscopio.

»Con los mencionados instrumentos y con los de uso cotidiano del Observatorio se reunia el material suficiente para atender á la observacion en San Fernando y para establecer, con arreglo á lo dispuesto por el Almirantazgo, una segunda estacion en que tambien pudiera estudiarse el fenómeno, lo que era no solo conveniente sino tambien necesario, atendido á lo avanzado de la estacion y á la poca probabilidad que de observarlo habia, si nos limitábamos á ocupar un solo punto de la zona de totalidad.

»Los artistas citados emprendieron desde luego la construccion de los aparatos, que prometieron entregar en el mes de setiembre; pero desgraciadamente la guerra entre Francia y Alemania les impidió cumplir sus compromisos, y á mí me privó de los medios de observacion con que contaba, y que ya era difícil improvisar en el corto intervalo que mediaba hasta diciembre. Para suplir del mejor modo posible la falta de los instrumentos mencionados, se preparó la gran ecuatorial del Observatorio para emplearla como aparato fotográfico, y se adaptaron dos espectroscopios químicos ordinarios de uno y dos prismas á dos anteojos acromáticos montados ecuatorialmente.

»Como segundo punto de estacion se eligió á Casa Breva, posesion situada en las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

inmediaciones de Sanlúcar de Barrameda, punto que ofrecia facilidad para la conduccion é instalacion de los instrumentos, situado casi en línea central, y vértice secundario de la triangulacion de esta parte de la costa, medida ya por la comision hidrográfica del vapor *Piles*.

»Los trabajos que debian hacerse en las dos estaciones eran:

»Observaciones meteorológicas en los dos dias anteriores y los dos posteriores al eclipse.

»Fotografías del Sol en los mismos dias.

»Fotografías de la fase parcial del eclipse.

»Observacion de los contactos del limbo lunar con el del Sol y manchas mas notables de este astro.

»Medicion de distancias de cuernos.

»Observaciones meteorológicas á cortos intervalos en el curso del eclipse.

»Fotografías de la totalidad.

»Estudio y dibujo de la corona á la simple vista y con anteojos.

»Análisis espectral de la luz de la corona.

»Observaciones generales.

»Con excepcion de la parte fotográfica para la cual no se contaba en Sanlúcar con los aparatos necesarios, las observaciones debian hacerse en ambas estaciones con arreglo al mismo plan.

»El personal que habia de ocuparse de los trabajos en San Fernando se componia del perteneciente al Observatorio, de los fotógrafos de Cádiz Sres. Rocafull, del Profesor de dibujo D. José Sanchez Márquez y de los Sres. D. Rafael Martinez, astrónomo que fué de este Observatorio y D. Augusto Arcimis.

»La comision encargada de la observacion en Sanlúcar estaba formada por el capitan de fragata D. José Montojo, por los oficiales del *Piles* y por dos observadores de San Fernando.

»Los instrumentos con que se contaba en el Observatorio eran; la ecuatorial para la parte fotográfica; dos anteojos acromáticos de 92 milímetros de abertura, el uno con un espectroscopio químico de dos prismas y el otro con un espectroscopio de vision directa de cinco prismas para el análisis espectral de la luz de la corona; dos anteojos acromáticos de 68 milímetros de abertura, uno de ellos con heliómetro, una ecuatorial pequeña de Dollond de 52 milímetros de diámetro con heliómetro y dos teodolitos astronómicos para las observaciones ordinarias; y, finalmente, los instrumentos meteorológicos usuales, para las observaciones de esta clase.

»En Sanlúcar habian de usarse un anteojo acromático de 68 milímetros de abertura montado ecuatorialmente con espectroscopio de un prisma; dos anteojos acromáticos de 68 milímetros de abertura, uno de ellos con heliómetro; una pequeña ecuatorial de 52 milímetros tambien con heliómetro y tres teodolitos con anteojos de 52 milímetros y 45 milímetros de diámetro; para las observaciones meteorológicas se montaron un barómetro de montaña, un psicrómetro, un termómetro de máxima y mínima, un termómetro de radiacion solar y un anemómetro de Lind.

»No parece necesario hacer una descripcion detallada de cada uno de los mencionados instrumentos; pero creo que no estará de mas el hacer una breve reseña de la ecuatorial, de la disposicion adoptada para convertirla en aparato fotográfico y algunos otros particulares.

»El anteojo de la ecuatorial es un refractor, cuyo objetivo tiene 26 centímetros de abertura libre y cinco metros de distancia focal; su tubo, que es de hierro, está formado por tres cuerpos sólidamente unidos entre sí, y va fijo á uno de los extremos del eje de declinacion que lleva en el opuesto el círculo del mismo nombre; dicho eje gira dentro de una funda de hierro asegurada á una plataforma invariablemente unida al eje polar, el cual descansa en dos cojinetes fijos en el pilar de hierro que sirve de pedestal al instrumento; en el otro extremo del eje polar se encuentra el círculo horario,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuyo canto es dentado y en el que engrana un tornillo sin fin, al cual se trasmite el movimiento producido por un mecanismo de relojería colocado dentro del pedestal, por medio de un sistema de ruedas dentadas; el anteojo se fija en declinacion con una mordaza que se maneja desde el extremo del ocular, y todo el sistema está contrapesado de modo que, cualquiera que sea la posicion del anteojo, este quede inmóvil aun sin apretar la mordaza ni engranar en el círculo horario el tornillo de trasmision.

»La velocidad del movimiento de rotacion del eje polar, que produce el mecanismo de relojería, puede aumentarse ó disminuirse á voluntad del observador en la cantidad necesaria para que el anteojo pueda seguir el curso de un astro; y aun cuando el aparato de relojería esté en movimiento y engranado el tornillo de trasmision, es posible adelantar ó retrasar algo aquel.

»Para convertir el anteojo en cámara fotográfica se quitó el tubo ocular y la pieza en que este se asegura y cierra la parte posterior del último cuerpo de aquel, y se colocó en su lugar una pieza de madera á la que se atornilló una cámara obscura ordinaria, que quedó colocada de modo que, al estar el anteojo en el meridiano, quedasen horizontales los cantos superior é inferior del bastidor de la placa; los dos marcos anterior y posterior de la cámara se ligaron por medio de tres sólidos tirantes de madera y tres tornillos que entraban en estos, dándole así la conveniente rigidez y pudiendo al mismo tiempo aumentar ó disminuir su longitud en la cantidad necesaria para que la plancha fotográfica quedase situada en el foco químico del objetivo.

»Mi principal objeto al preparar el aparato fotográfico era obtener vistas de la corona en el menor tiempo posible, y así es que me decidí á emplear la imágen producida por el objetivo sin amplificacion alguna; el tamaño de la imágen solar producida por aquel es de cinco centímetros próximamente, y es suficiente, por tanto, para que puedan reconocerse todos los detalles del objeto fotografiado, y para amplificar los negativos dos ó tres veces sin gran pérdida de aquellos.

»Para las fotografías de la fase parcial del eclipse se preparó un obturador instantáneo dispuesto del modo siguiente: en el marco anterior de la cámara se insertó una tabla en cuyo centro quedaba una abertura cuadrada de cinco y medio centímetros de lado; en la cara posterior de la tabla se aseguraron dos guias entre las cuales podia correr una planchuela en cuyo centro quedaba una ranura que podia aumentarse ó disminuirse á voluntad; esta planchuela se corria hasta uno de los lados de la cámara y se montaba con un cordon á un disparador; oprimiendo ligeramente este, quedaba libre el cordon; y la accion de dos muelles enrollados en las guias hacia correr la planchuela hasta el otro lado de la cámara, pasando la ranura rápidamente por delante de la abertura de la tabla, y produciendo por consiguiente una cortísima exposicion de la plancha fotográfica.

»Los bastidores en que se colocaban los cristales preparados para recibir la exposicion, llevaban una tapa interior que podia abrirse por fuera de la cámara, para cuando quisieran hacerse exposiciones de mas duracion, en cuyo caso se quitaba el obturador instantáneo.

»En la mira ó buscador de la ecuatorial se colocó un cristal plano, en el que se trazó una serie de círculos concéntricos, con el objeto de asegurarse de la centracion de las imágenes en la plancha fotográfica, antes de hacer la exposicion.

»Bajo el mismo domo de la ecuatorial y muy próximo á esta, se instaló el laboratorio fotográfico, á fin de que los encargados de revelar y fijar las imágenes que fuesen obteniéndose, informasen á los que operaban en la ecuatorial acerca de la conveniencia de aumentar ó disminuir el tiempo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de exposicion y las aberturas del objetivo y ranura. En los primeros dias de diciembre se hicieron varios ensayos fotográficos con la Luna y el Sol, tanto para encontrar el foco químico del objetivo cuanto para asegurarse del modo de funcionar del aparato, de las fórmulas que debian emplearse para los preparados, y del tiempo probable de la exposicion en el caso de la corona. . . . . .

»El estado del tiempo, bastante bueno en los primeros dias del mes de diciembre, principió á variar pocos dias antes del 22; el 18 solo pudo vislumbrarse el Sol en San Fernando durante breves momentos; el 19 apenas cesó de llover en el dia; el 20 continuó el tiempo variable; el 21 el cielo estuvo completamente despejado y se entabló el viento flojo al noroeste que parecia querer afianzarse; pero durante la noche roló al oeste, se cubrió el cielo y en la madrugada principió á descender el barómetro refrescando el viento y continuando el mal tiempo, no solo el dia 21 sino tambien los siguientes. Lo mismo sucedió en Sanlúcar, y así es que en los dos dias anteriores y los dos posteriores al 22 solo pudieron hacerse las observaciones meteorológicas, las de tiempo el dia 21 y fotografías del Sol en el mismo dia, que tambien se aprovechó para arreglar el movimiento de la ecuatorial de modo que el anteojo pudiera seguir el curso del Sol durante un intervalo bastante largo y próximo al momento en que debia ocurrir la totalidad sin que la imágen variase sensiblemente de lugar en el cristal deslustrado de la cámara.

»La amanecida del dia 22 no dejaba esperanzas de poder observar en buenas condiciones; el cielo estaba completamente cubierto de cúmulos y cirro-estratos densos, el viento del O. con tendencia de llamarse hácia el Sur y el barómetro descendia á la par que refrescaba el viento; en las tierras inmediatas, apenas se distinguian los objetos colocados á una regular distancia, y el aspecto general era el que se presenta en esta localidad cuando rompen los temporales del Sudoeste.

»A las diez de la mañana se prepararon todos los instrumentos y observadores para hacer las observaciones que permitiera el estado del tiempo; se colocaron en el átrio del Observatorio y en la parte mas resguardada del viento los dos anteojos acromáticos, la ecuatorial pequeña y un teodolito astronómico, instrumentos con los cuales debian observar los jefes de Seccion D. Enrique Garrido y D. Andrés la Flor, los observadores D. José Ayala, D. José Mellado y D. Rafael Martinez. El primer observador D. José Ruiz, los fotógrafos don Rafael y D. Emilio Rocafull y sus ayudantes se instalaron en la ecuatorial, los calculadores de la seccion de efemérides se distribuyeron en los sitios convenientes para atender á las observaciones meteorológicas y generales, D. Augusto Arcimis colocó un anteojo de su propiedad con espectroscopio de cinco prismas en el salon meridiano occidental, y en las cercanías del domo nos colocamos el cuarto observador D. Manuel Márquez y yo, con un teodolito astronómico y un anteojo con espectroscopio de dos prismas.

»Pocos momentos antes del principio del eclipse pudo verse el Sol, aunque con dificultad, y en un momento en que las nubes que lo cubrian fueron menos densas se obtuvo la primera fotografía á las $10^h\ 11^m\ 8^s8$; momentos despues se cubrió el Sol, no siendo posible verlo ni aun suprimiendo los vidrios oscuros de los anteojos, y cuando volvió á verse de nuevo habia ocurrido ya el primer contacto.

»Los Sres. Garrido y Flor, auxiliados por los Sres. Mellado y Martinez, midieron algunas distancias de cuernos; pero las circunstancias eran tan poco favorables y las nubes tan densas que muchas veces aun sin emplear vidrios oscuros apenas eran visibles las imágenes del Sol; y así es que las distancias medidas casi á un mismo tiempo ofrecen diferencias considerables

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y creo por tanto inútil el presentar aquí los resultados.

»Yo solo pude observar la entrada de una mancha situada debajo y casi en línea vertical con el medio de las dos que se ven en una de las fotografías. Aprovechando los momentos en que las nubes que cubrian al Sol dejaban ver algo á este, se expusieron en la ecuatorial antes de la totalidad 17 planchas á intervalos irregulares.

»El estado del cielo durante el dia 22 en la estacion de Casa Breva, fué casi el mismo que en San Fernando, el mismo viento aunque mas fuerte que en el Observatorio y el aspecto de temporal del S. O. hacia creer que nada podria observarse; se prepararon los instrumentos y los observadores que debian tomar parte en las observaciones astronómicas: el primer contacto no pudo verse á causa de las nubes, y las pocas distancias de cuernos que se midieron no merecen confianza por las malas condiciones en que se hizo la operacion.

»Algunos minutos antes de la totalidad como ya hemos dicho, se ocultó completamente el Sol para los observadores de San Fernando; densos cúmulos impelidos por el viento que refrescaba por momentos, cruzaban por la region que ocupaba el astro; y al par que aumentaba la oscuridad producida por el eclipse, parecia que se condensaban las nubes y que se hacia mas impenetrable el velo que nos privaba de la vista del fenómeno que iba á ocurrir en breves momentos; para que la contrariedad fuese aun mayor, cuando escasamente faltaba un minuto para el principio de la totalidad, cayeron gruesas gotas de agua que obligaron á los observadores situados en el atrio del Observatorio á recoger sus instrumentos para colocarlos en una de las salas inmediatas que dan frente hácia el Sur; el domo de la ecuatorial se mantuvo no obstante abierto, por si podia conseguirse obtener alguna fotografía.

»A las $11^h\ 50^m\ 35^s$ se vió la sombra lunar que avanzaba rápidamente invadiendo á poco nuestra estacion; tiñéronse de un color azul violeta muy pronunciado las nubes próximas al Sol; las inmediatas al horizonte se colorearon de un anaranjado azufroso; el mar y las tierras lejanas adquirieron un tinte plomizo, y las paredes blancas de los edificios próximos parecian de color azul ceniciento. La oscuridad aumentó sensiblemente; cesó la lluvia, principiando á ceder el viento hasta quedar casi en calma; y cuando iba transcurrida ya mas de la mitad del tiempo de la totalidad, descorrióse de improviso una de las nubes que cubrian al Sol y pudimos ver durante tres ó cuatro segundos el cuerpo oscuro de la Luna destacándose sobre la corona solar, que de nuevo quedó cubierta unos cinco segundos para reaparecer y quedar visible aunque velada por cirro-estratos medianamente densos, hasta el fin de la totalidad.

»Al ver que habia transcurrido una parte del tiempo de esta sin que, ni aun aproximadamente, hubiera podido dirigir el anteojo con el espectroscopio al punto que debia ocupar el Sol, me trasladé al domo para disponer lo que habia de hacerse en la ecuatorial si se conseguia ver algo del eclipse en los momentos que restaban; pues lo que consideraba como de mas interés era el asegurar siquiera una fotografía; con arreglo al plan trazado de antemano se habia colocado una plancha momentos antes del calculado para el principio de la totalidad; el Sr. Rocafull estaba preparado para hacer la exposicion en tanto que el señor Ruiz contaba los segundos del cronómetro; en el momento en que apercibí la corona se hizo la exposicion que duró 30 segundos; inmediatamente se colocó una nueva placa que se retiró en el momento de reaparecer el Sol y estuvo espuesta 12 segundos.

»Los demás observadores aprovecharon los cortos momentos en que fué visible la corona para hacer las observaciones que les estaban encomendadas, y el Sr. Sanchez Márquez hizo un cróquis de ella. La

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

corona ó aureola sobre la cual parecia destacarse el cuerpo de la Luna, parecia estar formada de dos distintas partes; la primera consistia en una agrupacion de luz bastante intensa, pero ménos que la de la Luna al hallarse en los cuartos y que se separaba del disco lunar unos cinco ó seis minutos en la direccion de los dos diámetros NE—SO y NO—SE, como si formase cuatro aspas irregulares en estas direcciones, mientras que hácia el N. S. E. y O. apenas el contorno general de esta parte luminosa era bastante irregular, tanto que en algunos puntos apenas se percibia; esta primera parte de la aureola parecia destacarse sobre una segunda agrupacion de luz, que se debilitaba á medida que se alejaba del cuerpo de la Luna y que por algunos lados se extendia hasta una distancia casi igual al diámetro solar; el color general de la luz mas intensa era un blanco nacarado con un ligero tinte anaranjado; la mas débil carecia de este último tinte y se perdia gradualmente. El cuerpo oscuro de la Luna parecia mas negro hácia sus bordes que hácia el centro, y en su cuadrante sudeste se distinguian confusamente manchas de un color gris oscuro. Como dos ó tres segundos antes de la conclusion de la totalidad y precisamente por el punto por donde despues apareció la luz solar, principió á teñirse el borde lunar de un color violeta pálido que fué aumentando en intensidad y formando un estrecho anillo al rededor de la Luna; el violeta pasó hasta el anaranjado casi rojo, momento en que apareció la luz solar ordinaria y dejó de verse la corona á la simple vista; este último cambio de color se verificó en un intervalo de medio segundo escaso. Terminada la totalidad no pudo verse la corona ni aun con anteojo; pero, durante los breves instantes en que pudo mirarse el Sol con él, sin emplear vidrios oscuros, la fase solar conservó el color violado.

»A la simple vista pudieron verse dos grupos de protuberancias; el uno de ellos principiaba como á 10 grados del vértice superior hácia la derecha y abrazaba un arco de casi 90 grados; el color de estas protuberancias era rosado bastante vivo en alguna de ellas y casi blanco en otras; el segundo grupo se componia de tres ó cuatro protuberancias situadas á largos intervalos y se extendia desde el vértice inferior hácia la izquierda.

»Mientras duró la totalidad fué posible leer las horas de los cronómetros sin luz artificial, teniendo las esferas de frente al lugar del Sol; indudablemente la oscuridad fué mucho menor que en el eclipse de 1860 en Oropesa; las nubes impidieron ver las estrellas y planetas en las cercanías del Sol; pero, en una pequeña clara que habia hácia el zenit, pudo verse á *alfa* del Cisne. El tránsito de la oscuridad á la claridad fué mas rápido que el inverso; á $11^h\ 51^m\ 45^s$ principió á verse claridad en el horizonte hácia la region oriental; poco á poco fueron desvaneciéndose las tintas que habian adquirido los objetos inmediatos hasta que recobraron sus colores primitivos.

»El fin de la totalidad fué observado por dos de los observadores y empleando distintos cronómetros á las horas siguientes:

Garrido.... $11^h\ 52^m\ 44^s4$
La Flor.... $11^h\ 52^m\ 44^s5$

»En Sanlúcar como en San Fernando pudo verse el Sol por intervalos durante la fase parcial del eclipse; pero á medida que se acercaba la hora de la totalidad, parecia empeorar el tiempo y aumentar el número de chubascos que se presentaban en el horizonte y que amenazaban descargar una fuerte lluvia; á las $11^h\ 30^m$ un nimbus que se habia formado por el noroeste, tomó un tinte gris rosado y los estratos próximos al Sol se colorearon de un amarillo pálido; los colores de las nubes fueron pasando insensiblemente del amarillo al violeta; la oscuridad fué haciéndose mas densa y finalmente la sombra invadió por completo la estacion.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

»Momentos antes de desaparecer la luz solar, formóse al rededor de la Luna un estrecho anillo anaranjado que al ocultarse aquella quedó convertido en una aureola de luz pálida, de un tinte amarillento y ligeramente anaranjado, y de forma casi circular, que se extendia á una distancia muy próximamente igual al diámetro del Sol, y se degradaba suavemente hasta confundirse con el cielo; esta aureola adquirió poco despues un tinte anaranjado mas subido por las cercanías del limbo lunar, tinte que se perdia hácia la medianía de la corona y volvia á presentarse poco despues para degradarse y perderse hácia su parte exterior; casi simultáneamente con la aparicion de dicho color se presentaron sucesivamente, y en puntos situados al poco mas ó menos á 35 grados del vértice superior hácia la derecha (vision directa), á 55 grados del mismo vértice hácia la izquierda, á 35 grados del vértice inferior hácia la derecha y 55 grados del vértice dicho hácia la izquierda, cuatro grupos de luz, mas intensa y blanca que formaban como cuatro aspas; la primera y última de ellas, que eran las que mas se extendian, terminaban en rayos curvos; la segunda y tercera, que llegaban como á la mitad de la aureola, parecian formadas de rayos rectilíneos que partian desde el borde lunar; el fondo general de la aureola no parecia estar formado por rayos.

»Tres ó cuatro segundos despues del principio de la totalidad se vió una protuberancia terminada como por dos conos y situada á unos 61 grados del vértice inferior hácia la izquierda; su color fué al principio plateado claro, y se convirtió poco á poco en rojo bastante intenso; esta protuberancia dejó de verse á $11^h\ 50^m$ y 50^s. Unos cuatro segundos despues de desaparecer esta, se vió una serie de protuberancias que partian de un punto situado á 10 grados del vértice superior hacia la derecha y se prolongaban unos 30 grados; el color de estas principió por blanco plateado y fué cambiándose poco á poco en rosado; estas protuberancias fueron visibles hasta el fin de la totalidad.

»Cinco ó seis segundos antes del fin de la totalidad desaparecieron las aspas de luz de la corona y el borde lunar principió á adquirir un tinte violeta, que formó un anillo al rededor de la Luna cuya altura seria de seis minutos; aun cuando en él dominaba generalmente el violeta, por algunos puntos aparecia coloreado de blanco, verde y anaranjado; al aparecer el primer rayo de Sol, dejaron de ser visibles este anillo y la corona, cubriéndose el Sol casi inmediatamente por las nubes, á través de las cuales se vieron los fenómenos que van descritos.

»En los renglones precedentes quedan expuestas las pocas observaciones del eclipse de Sol de 22 de diciembre que hemos podido hacer en las dos estaciones que ocupábamos; las circunstancias atmosféricas en que se operó no pudieron ser peores, y de ellas han debido resentirse naturalmente las observaciones; las fotografías de la fase parcial para cuya medicion se construye un aparato á propósito permitirán deducir algunos resultados puramente astronómicos; en cuanto á los demás fenómenos observados, solo podrán tener algun valor unidos á la masa general de observaciones que hayan podido hacerse en los demás puntos de la zona de totalidad.»

Afortunadamente, no en todas las estaciones reinó un tiempo tan desfavorable, sin que pudiera decirse que fuese bueno, pues solo se hicieron algunas observaciones en los intervalos en que las nubes se disiparon, ó decreció algo la fuerza del viento.

En Jerez de la Frontera, donde se establecieron los americanos, llegaron á obtenerse muy buenas observaciones y algunas fotografías; en Estepona tambien se pudo estudiar el espectro y la polarizacion de la luz de la corona.

No es posible dudar ni por un momento,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que si el tiempo hubiera estado claro y despejado, mucho mas habria adelantado la ciencia con la observacion de este eclipse, pues aun con ser tan poco propicias las condiciones meteorológicas, estimaba el Consejo de la Sociedad Astronómica de Lóndres, que las escasas noticias adquiridas compensaban por completo los cuantiosos desembolsos causados y la pérdida de tiempo ocasionada por tan considerables preparativos.

Durante el eclipse de agosto de 1869 llamaron la atencion las dos porciones, aparentemente distintas, que se percibian además de las protuberancias, en la luz que rodeaba el disco oscuro de la Luna durante la totalidad.

Los dibujos de los astrónomos americanos indican tambien la existencia de unas porciones mas brillantes cerca del limbo del Sol, en las cuales tienen lugar las erupciones de hidrógeno de que se forman las protuberancias; ya en 1706 se observó que habia ciertas diferencias en las diversas porciones de la luz coronal, pues, segun dicen Plantade y Capiés que estudiaron el fenómeno en Mompeller, tan pronto como se eclipsó el Sol apareció alrededor de la Luna una luz muy blanca en forma de corona, cuyo ancho era igual á unos 3 minutos próximamente. Dentro de estos límites presentaba la luz un brillo igual y uniforme, pero mas allá del contorno externo era menos intensa, desvaneciéndose gradualmente en la oscuridad inmediata y siendo su diámetro total de 8 minutos poco mas ó menos. En 1842 creia Arago que bastaba esta distincion para admitir que la corona se dividia en dos zonas concéntricas; la interior, de brillo uniforme en todas sus regiones y perfectamente detallada en el canto externo, y la de fuera, de brillo menor, que gradualmente decrecia hasta perderse en la oscuridad general del cielo.

Las observaciones del eclipse del mes de diciembre de 1870 confirman estas primeras suposiciones en cuanto á la subdivision aparente de la luz coronal, aunque el ancho de la zona interna varia considerablemente segun las descripciones de varios observadores. En el curso de nuestro trabajo llamaremos corona, exclusivamente, al anillo mas brillante interior, y al externo daremos el nombre de halo.

Contribuirá á dar mayor claridad á nuestra interpretacion de las observaciones desemejantes y contradictorias, la consideracion de que la imperfecta trasparencia de la atmósfera terrestre puede causar cierta disipacion en la luz de la corona, formando una pantalla mas ó menos iluminada entre el ojo y el Sol eclipsado; esta luz atmosférica ha de influir necesariamente en las apreciaciones del observador respecto de la forma y extension del halo. Pueden existir, cuando menos, tres fuentes distintas para la luz que se percibe en torno del Sol, además de las protuberancias, que son: la corona, un halo solar superpuesto á la corona ó que principie en su contorno exterior, y un halo atmosférico producido por la disipacion de la luz en nuestra atmósfera. La corona y el halo solar no sufririan probablemente ninguna modificacion sensible en el corto espacio de tiempo trascurrido entre las observaciones de un mismo eclipse, efectuadas en las distintas estaciones, pero la disipacion de la luz variaria en cada punto segun el estado de la atmósfera en el momento de verificarse la observacion. Es posible, que aun sin la atmósfera terrestre pueda haber alguna disipacion de la luz, producida por la imperfecta trasparencia de los espacios interplanetarios; tambien puede admitirse la existencia probable de una nube de corpúsculos sólidos muy pequeños, que circule en torno del Sol; cualquiera de estas hipótesis y otras que pudieran aducirse, nos darian la explicacion del diverso aspecto que presenta la corona segun las descripciones de los astrónomos que la han observado.

El profesor Watson, que observó en Carlentini, habla de una corona de 5 minutos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de altura; las observaciones de Cádiz acusan un ancho de 3 minutos; el teniente Brown que era uno de los astrónomos de la expedicion de Lord Lindsay, halló que la zona interna, perfectamente definida, tenia un ancho que variaba entre 3 y 5 minutos. Abatt, que observó en Gibraltar, la daba unos 5 minutos de elevacion. Algunos observadores describen el contorno externo de la corona como si se encontrase afectado por las protuberancias de mayor altura; en las fotografías se observa tambien una zona definida que se extiende mas de 1 minuto, y en la reproduccion que obtuvo Brothers en Siracusa, la altura de la region mas brillante varia asimismo entre 3′ y 5′.

Las fotografías que sacó Lord Lindsay en su estacion del Puerto de Santa María, se obtuvieron colocando la superficie sensible en el foco de un espejo plateado de 31 centímetros de diámetro y de dos metros de distancia focal que daba una imágen del Sol de unos 19 milímetros de diámetro. Brothers, en Siracusa, empleó un objetivo fotográfico de 76 centímetros de distancia focal y 10 centímetros de diámetro que le prestó para el caso el famoso fabricante Dallmeyer; esta lente daba una imágen brillante del Sol de 7 milímetros de diámetro que se recibia en una placa de 12 centímetros cuadrados.

La fotografía tomada por Lord Lindsay al principio de la totalidad, estuvo expuesta sobre veinte segundos; en ella se ve, al rededor del limbo anterior de la Luna, una corona brillante que se extiende como un minuto, en la cual se marcan las protuberancias con toda distincion, percibiéndose en la parte externa un halo de luz débil que rápidamente decrece de brillo, con indicaciones de cierta estructura radial que puede seguirse hasta una distancia de 15 minutos del limbo de la Luna. Al otro lado del satélite, en la parte opuesta al Sol, á una distancia suficiente para ocultar las protuberancias y la corona brillante, desaparece el halo casi por completo.

No es violento el suponer que la parte del halo que aparece al rededor del limbo anterior de la Luna tiene su orígen, precisamente, en este lado de nuestro satélite. Como pura especulacion pudiera quizás presentarse la hipótesis de que el verdadero halo solar, segun revelan varias observaciones espectroscópicas, tenia menos poder actínico que la luz de las protuberancias y de la corona.

Willard obtuvo una fotografía del fenómeno con una exposicion de minuto y medio, de modo que en la placa se reprodujeran varios aspectos sucesivos; las protuberancias se distinguen con toda claridad, y tambien una corona perfectamente definida de mas de 1 minuto de elevacion; en el halo se notan varias porciones de brillo desigual y una estructura como radiada, siendo el carácter mas notable un espacio oscuro en forma de V, situado en la parte del sudoeste, que principiaba en el límite exterior de la corona brillante; otro segundo espacio oscuro, análogo al anterior, se distinguia vagamente hácia el sur; en un dibujo que hizo el teniente Brown se observa tambien la misma disposicion, pero la representacion mas completa de este fenómeno es la que muestra la fotografía de Brothers tomada en Sicilia, puesto que en ella se ve el halo que se extiende hácia el noroeste, como unos dos diámetros de la Luna, y por el este y el sur como la mitad de esta dimension; por consiguiente, el halo no es concéntrico al Sol ni á la Luna, sino que se extiende á una distancia mayor en el sentido del movimiento de nuestro satélite; su estructura radiada se manifiesta en su aspecto general.

La luz mas intensa en torno de la Luna parece mucho mas ancha en el oeste y el noroeste, en cuyas regiones toma un aspecto como estrellado, con rayos que gradualmente se debilitan al penetrar en el halo de menor brillo. Esta fotografía se tomó en 8 segundos, desde el 93 hasta el 101 contados en el momento de principiar la fase to-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tal, por manera que puede considerarse como una verdadera representacion de los diversos fenómenos en aquellos instantes, es decir, en lo relativo al poder actínico de cada momento, que verosimilmente habria de ser distinto en grado sensible, si hemos de juzgar por el brillo respectivo que presentan á la vista. Los dibujos hechos en varias estaciones muestran tambien diferencias muy notables, en particular en

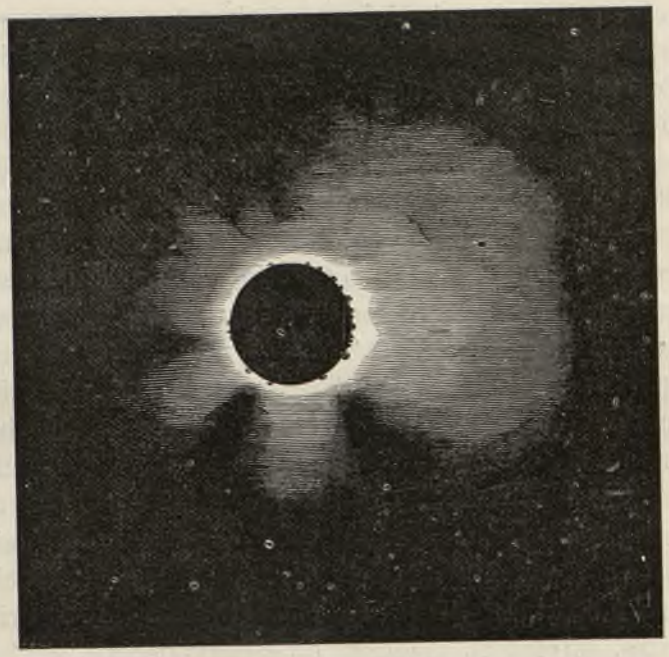


Fig. 291 — Fotografía de la corona tomada en Siracusa por Brothers durante el eclipse de 1870

cuanto á la forma de la parte externa del halo; al principiar la totalidad, cuando el limbo occidental ó de la derecha llegó á estar en contacto con el limbo del Sol del mismo punto, ofrecia la corona, segun los astrónomos que observaron en España, el

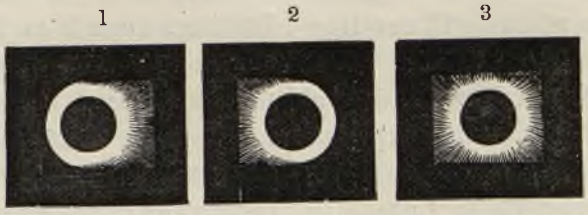


Fig. 292.—Dibujos de los diversos aspectos de la corona segun las observaciones hechas en España

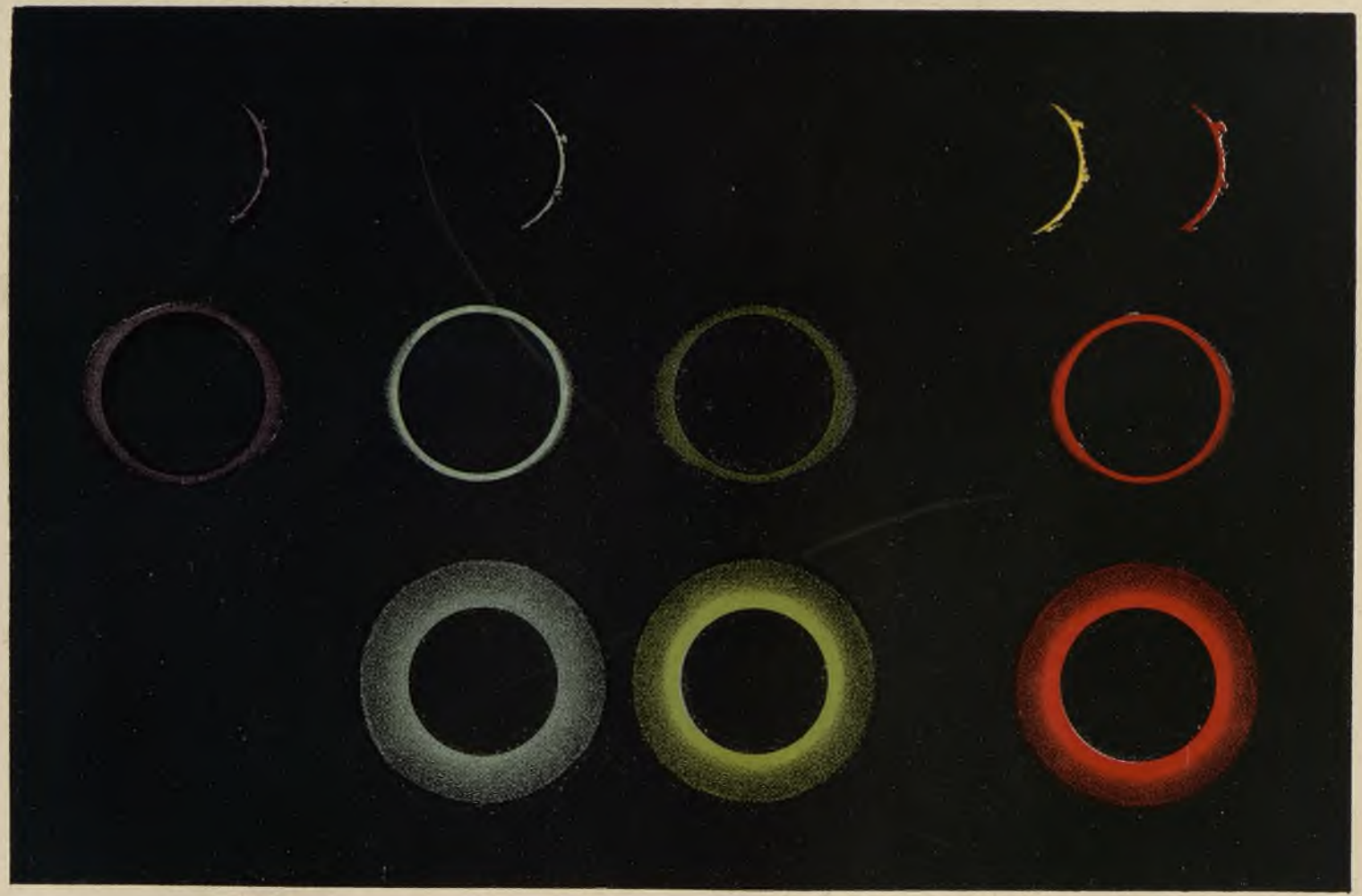
aspecto que representa la figura 292,1; al concluir la fase total se modificó la forma anterior segun se observa en el dibujo 2; el dibujo número 3 manifiesta la estructura rectangular de la corona en el momento correspondiente á la mitad de la fase total.

En los dibujos hechos en Sicilia aparece la forma general de la corona como circular y no cuadrada; en otros parece presentar ciertas radiaciones.

Los descubrimientos mas importantes realizados en el eclipse de 1870 nos hicieron conocer la constitucion de los bordes del disco solar, y revelaron, por consecuencia, la naturaleza íntima de la capa mas externa del globo del Sol. Estos resultados se obtuvieron por medio de la espectroscopia.

El profesor Winlock hizo uso de un espectroscopio de dos prismas colocado en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



ASPECTO DE LA CORONA DURANTE EL ECLIPSE DE 1871.

(1) Observacion de Respighi. (Prisma delante del objetivo, sin rañura) Al principiar el eclipse total. (2) Observacion de Lockyer (Espectroscopio de 5 prismas) 80^{s} despues de empezar el eclipse total. (3) Observacion de Respighi á la mitad del eclipse

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

un anteojo acromático de 14 centímetros de diámetro y halló un espectro continuo débil; la mas persistente de las líneas brillantes era la 1474 de Kirchhoff; tanto esta raya, como el espectro continuo sin líneas oscuras, se observan á una distancia de 20 minutos del disco solar. El profesor Young estima la extension mínima de esta línea en un radio del globo del Sol.

El capitan Maclear observó con un espectroscopio de vision directa unido á un anteojo de 10 centímetros de abertura, distinguiendo un espectro continuo débil y líneas brillantes que se extendian hasta una distancia de 8 minutos del limbo de la Luna, cuyas posiciones correspondian á las de C, D, E y F; tambien se veian las mismas líneas, pero mucho mas débiles, en el cuerpo oscuro de nuestro satélite. Esta observacion parece demostrar, segun se ha indicado antes, que cierta cantidad de luz de la que realmente existe en los apéndices solares, se proyecta por algun medio desconocido entre el ojo y la Luna, y por lo tanto, la distancia de nuestro satélite hasta el lugar en que aun se perciben estas líneas, no implica, necesariamente, una extension igual y tan grande del verdadero halo.

El teniente Brown, de la expedicion de Lord Lindsay, tan solo vió un espectro continuo sin líneas brillantes desde 4 minutos hasta 25 minutos del limbo de la Luna. Carpmael que observaba en Estepona, vió tres líneas brillantes en el espectro de la corona, y segun su opinion, una de ellas situada en la zona del verde pertenecia á la 1359 de Kirchhoff. Las observaciones polariscópicas demuestran que una parte de la luz coronal está polarizada, y si bien la determinacion del plano de polarizacion no se interpreta por todos los observadores de igual manera, hay motivos para suponer con Ranyard y Peirce, que la luz se encuentra polarizada radialmente, y por lo tanto, que la corona y el halo pueden reflejar la luz del Sol y emitir tambien luz propia.

Young hizo una observacion en extremo interesante que describe en los términos que siguen: «Algunos momentos antes de la totalidad dispuse la ranura tangente al borde solar y ví, no solo la raya 1474 que acababa de iluminarse, sino tambien las del magnesio y del hierro. A medida que se adelgazaba la falce noté la desaparicion sucesiva de todas las rayas situadas en el campo del aparato, pero nada me anunciaba el hermoso fenómeno de que fuí testigo en el instante en que la Luna cubrió completamente toda la foto-esfera; entonces se vió el campo invadido de un modo repentino por líneas luminosas que brillaban como relámpagos y desaparecian poco á poco; al cabo de dos segundos solo se distinguian las dos líneas que ví primero, pues todas las demás habian desaparecido. No me atrevo á asegurar que todas estas líneas brillantes ocupasen en el espectro la misma posicion que las rayas negras que las habian precedido; me parece, sin embargo, que así fué, pues tuve tiempo de observar esta identidad en diferentes grupos, y me llamó vivamente la atencion la intensidad y la disposicion general de estas líneas, como si se tratara de una cosa que me fuese muy familiar. Esta observacion confirma la existencia del espectro continuo que halló Secchi en el borde del disco, y me parece que viene en apoyo de las ideas de Kirchhoff sobre la constitucion del Sol y sobre el orígen de las rayas del espectro.....»

El fenómeno señalado por Young era de tal importancia, que se trató de comprobar en el primer eclipse; este fué el del año siguiente de 1871, y no siéndonos posible reproducir aquí todas las observaciones efectuadas, nos limitaremos á publicar las del capitan Maclear por ser de las mas completas é instructivas.

«En el momento del primer contacto, dice, no se produjo ningun cambio en el espectro; conservando durante un cuarto de hora la ranura del colimador tangente

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

al cuerno septentrional de la falce, ví la línea C muy brillante en todo su largo; la línea F, era tambien luminosa, pero débil. Disponiendo entonces la ranura perpendicularmente á la falce, aparecieron cuatro líneas brillantes cerca de la raya C que conservó todo su esplendor; una estaba á su derecha á una distancia mas pequeña que 20 unidades. Las longitudes de estas líneas variaban de un momento á otro, pero sin simultaneidad; por término medio ocupaban una octava parte de la altura del espectro visible.

»A 6^h 51^m de tiempo medio, veinticinco minutos despues del primer contacto, dirigiendo el espectroscopio hácia una protuberancia grande, ví que la raya C se alargaba hasta que llegó á ocupar la mitad de la altura del espectro; nueve minutos despues, coincidia la punta de la falce con otra protuberancia situada próximamente á unos 13 grados del Norte.

»A 7^h 18^m, con un espectroscopio de vision directa cuya ranura se dirigia segun un radio del disco solar, ví una raya brillante un poco mas refrangible que la banda del nitrógeno, situada entre *b* y F. Hácia 1830 de la escala de Kirchhoff habia una raya muy débil que se extinguió muy pronto, pero casi al mismo tiempo pareció desdoblarse la línea F en una altura poco mas ó menos igual á la que tiene de ordinario, $^1/_8$ del espectro.

»A 7^h 23^m, observando de nuevo con el espectroscopio de seis prismas cuya ranura era perpendicular á la falce, ví las rayas del hidrógeno, luego D E y *b* de igual espesor en toda su extension, y al mismo tiempo otras varias rayas comenzaban á ser perceptibles; segun puedo juzgar por las observaciones efectuadas, se trataba de todas las rayas del hierro situadas en el intervalo comprendido entre la mitad de D á E hasta mas allá de *b*. Estas líneas del hierro conservaban su brillo, y como se hacian mas numerosas, llamé á Lockyer para que viese el fenómeno conmigo; lo seguimos en seguida durante dos ó tres minutos hasta el momento en que fué preciso prepararse para observar la totalidad; en este intervalo de tiempo, pasaron los cuernos de la falce de 38 grados norte á 70 grados este. Las rayas, por lo demás, permanecieron visibles hasta el momento en que cambié el anteojo para disponer la ranura tangente al punto en que debia producirse el primer contacto interno. En este momento estaba el campo del espectroscopio inundado por una multitud de líneas brillantes, que se destacaban sobre un espectro colorado y bastante luminoso para que pudieran percibirse las líneas negras tan conocidas del espectro solar. En el instante de la totalidad, disminuyó la luz, y las rayas brillantes aumentaron rápidamente en número y en esplendor. Desde este momento comenzaron á palidecer con bastante rapidez, aunque no instantáneamente, siéndome de todos modos imposible indicar el órden de su desaparicion. No obstante, las rayas del hidrógeno, D y *b* y algunas otras comprendidas en el intervalo que las separa quedaron visibles por mas tiempo; habiendo estas desaparecido á su vez se oscureció el campo por completo.»

Estas observaciones de Maclear se efectuaron durante el eclipse de 1871, como llevamos dicho, y nos parece conveniente resumir ahora cuanto del estudio de estos fenómenos se ha obtenido, antes de pasar al análisis espectral del Sol en pleno dia, y á las hipótesis que sobre su constitucion física ha sugerido este nuevo y portentoso medio de investigacion.

La zona del eclipse total de 1871 cruzaba por la península del Indostan, y siendo este territorio de los ingleses, claro está que los astrónomos de la Gran Bretaña no perdonaron medio alguno de observar el fenómeno con toda comodidad, utilizando los recursos de tan importante colonia. La estacion elegida era Bekul, de cuyo punto nadie sabia mas sino que se hallaba impreso en el mapa con carácteres tan pequeños,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que con ellos se indicaba bastante su escasísima importancia. Gracias á la vigilancia de los oficiales del vapor que conducia á los astrónomos, se pudo distinguir en la costa un pequeño torreon rodeado de media docena de cabañas; este era Bekul.

Es tan interesante la narracion de Lockyer acerca de este eclipse y del viaje de los astrónomos que fueron á observarlo, que no podemos resistir al deseo de trascribirla..... «Al rededor del fuerte ó torreon se veian muchos indígenas, aunque no de aquel punto, sino de muchas leguas de distancia que habian acudido para ver el *barco de Fuego* que conducia á los *astrólogos*. Pronto se encendió una gran hoguera que marcaba la estacion de desembarco, y deseando corresponder á esta atencion el comandante del buque, hizo disparar varios cohetes y cañonazos iluminando la rada al propio tiempo con luces de Bengala; todo esto predispuso en nuestro favor el espíritu de los naturales que ya con gran asombro nos contemplaban.

«A la mañana siguiente al salir el Sol comenzamos á efectuar el desembarco, operacion peligrosa por las rompientes de la costa: los lugares elegidos por Mr. Mac Ivor para la ereccion de los observatorios provisionales en el antiguo fuerte de Tippoo, se inspeccionaron con detenimiento, hallándolos excelentes, pues se dominaba desde el castillejo todo el horizonte, así que en el acto se desencajonaron los telescopios y anteojos y en un momento se instalaron en la posicion aproximada que habian de ocupar definitivamente. Mientras esta operacion se verificaba, el *Glasgow*, que era el buque que nos habia traido, comenzó su ejercicio de tiro al blanco con cañon, el cual se habia retrasado al ocupar nosotros el barco por temor de que las trepidaciones de las piezas de artillería no perjudicasen á los instrumentos.

»El ejercicio de cañon por una parte, la semejanza que con estos aparatos de muerte presentaban nuestros grandes telescopios y la ocupacion del castillo, imprimieron en el ánimo de los naturales la idea de que se trataba de alguna guerra y de que el eclipse era no mas que un pretexto para ocultar nuestras intenciones, pues en otro caso ¿para qué disparar con bala? ¿Por qué erigir tan tremendos cañones en el castillo y precisamente en los lugares en que se dominaba todo el terreno inmediato? ¿Qué objeto podian tener los soldados que nos acompañaban?

»En el acto todas las mujeres de las castas superiores se retiraron al interior del país enviadas por sus padres y maridos: se enterró el oro y la pedrería, y solo los hombres valerosos permanecieron para vigilar de cerca á los *magos* y adivinar si era posible sus mas secretos designios. Claro está que el mejor medio que tuvimos de desengañarlos fué el de dejarlos entrar libremente en el castillejo, permitiéndoles que examinasen todos nuestros instrumentos; cuando vieron los indígenas que los terribles cañones estaban hechos de metal delgadísimo, y que el mas colosal de todos, mirando á su través solo servia para aumentar considerablemente las facciones del otro inspector ó curioso que se asomaba por el extremo opuesto, cesaron los temores, se desenterraron las alhajas y probablemente volvieron tambien las señoras del interior, por mas que de este asunto no tengo noticias muy exactas.

»Despues de examinar el castillo, se encaminó la expedicion al campamento que distaba como unos 800 metros hácia el norte, á lo largo de la costa; en el centro, y al rededor de una antigua cabaña se habian levantado las tiendas; el trabajo y los dispendios que todo esto habia de ocasionar se comprenderá mas facilmente, cuando diga que el pan de cada dia habia que traerlo de mas de 15 leguas de distancia.

»Entre las muchas cosas que produce la India hay que contar los leopardos, serpientes, etc., etc., productos que contribuyen á dar mayor celebridad aun á la antigua

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tierra de la filosofía. El tratar de dormir, pues, en una hamaca, suspendida en la cabaña india con todas las puertas y ventanas abiertas segun la costumbre del país, no es cosa muy fácil para el viajero que se ve rodeado de tantas alimañas y ensordecido por los infinitos y poco armoniosos ruidos de la selva; al cabo, llega á hacerse familiar el matutino aullido del chacal, y aun el mismo escorpion se considera como una suave molestia; durante nuestra permanencia en Bekul recibimos la visita de un cocodrilo, una serpiente y un escorpion; los dos primeros se retiraron voluntariamente, y el último fué encerrado en una botella con toda seguridad.

»Digamos algo ahora de los trabajos en nuestro campamento; nos levantábamos á las cuatro y media poco mas ó menos; tomábamos té y nos encaminábamos á los observatorios para trabajar antes que empezara el terrible calor del dia; á las nueve ya no podíamos resistir mas y algunos de la expedicion cayeron enfermos con fiebre por haber tratado de pasar de este límite; volvíamos á casa, tomábamos un baño, almorzábamos, y el resto del dia se consagraba al descanso hasta las cuatro de la tarde que volvíamos al observatorio trabajando de nuevo hasta las ocho en el arreglo de los instrumentos y marcha de las observaciones. Despues de esto comíamos y nos acostábamos.

»Cumpliendo fielmente este programa pudimos tener dispuestos los instrumentos en el instante crítico, aunque debido á que cada aparato debia desempeñar un doble oficio, no eran los ajustes absolutamente perfectos, pues hemos de manifestar que cada pié ecuatorial llevaba dos anteojos.

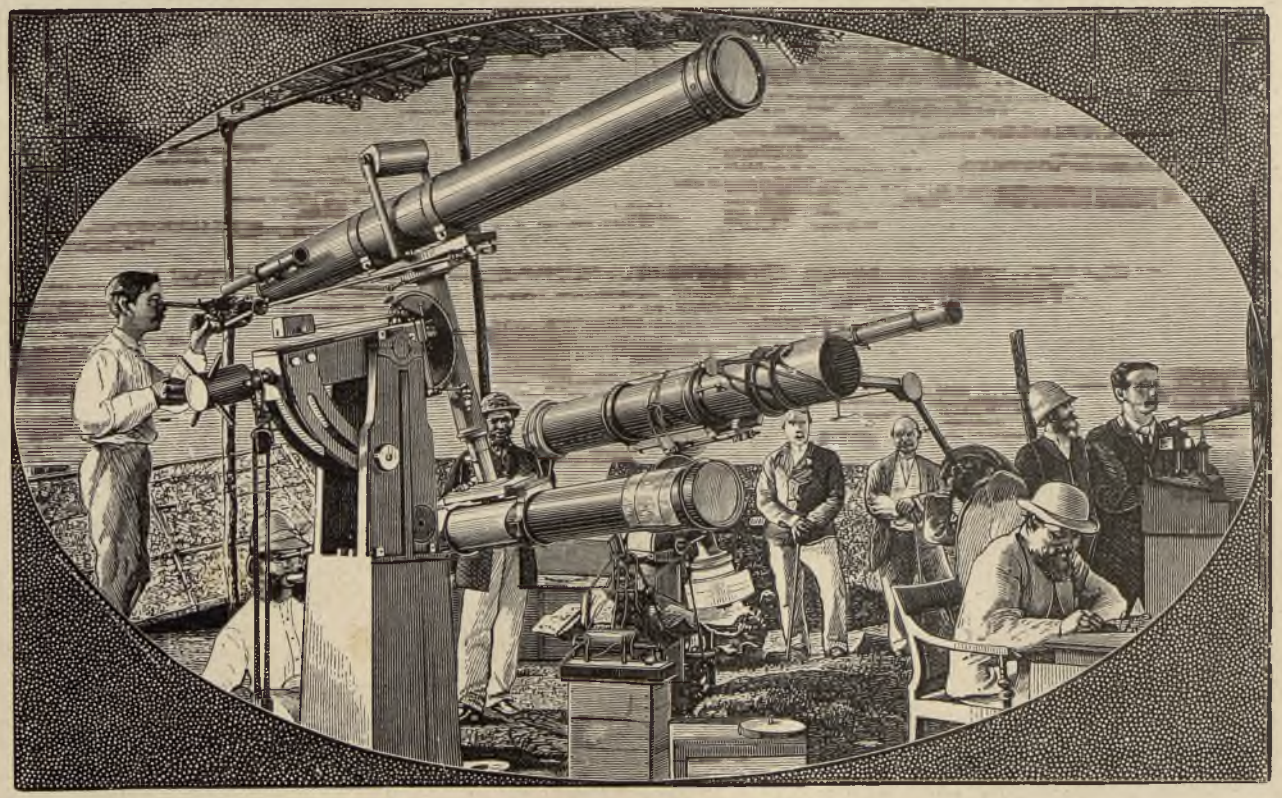
»El tiempo era magnífico, pero en la tarde del dia anterior al del eclipse, comenzó el cielo á cubrirse de nubes, con gran sentimiento de todos nosotros; á las $4^h\ 30^m$ del dia memorable, habian desaparecido todas las nubes, excepto una ligera banda en el horizonte, de suerte que con gran alegría nos dirijimos á nuestros puestos respectivos. En la plataforma del fuerte, que media unos diez metros de diámetro, se hallaban instalados dos grandes telescopios dirigidos hácia el oriente (véase la lámina); en uno de ellos, de 23 centímetros de abertura, observaba el autor de estas líneas, y en el otro, el capitan Maclear y M. Pringle; al lado del reflector habia una mesa con varios instrumentos y ante ella se sentaron el capitan Bailey encargado de anotar el tiempo, y otro individuo cuya mision era apuntar cuanto pudieran decirle los observadores, para lo cual tenia un papel preparado de antemano, con los casilleros y divisiones convenientes. Inmediato á la mesa y de pié, se ve á M. Mac Ivor cuya obligacion era ayudarme en el estudio espectroscópico abriendo la ranura del aparato si se creia necesario. M. Fernandez llevaba cuenta con el reloj de la ecuatorial para desconectar el anteojo en el momento preciso.

»En el otro extremo de la mesa se colocaron el general Selby, el coronel Farewell y el juez Walhouse con papeles y anteojos preparados para dibujar la corona.

»En torno del observatorio se distribuyó una corta fuerza de policía que impidiese el paso á los curiosos en los momentos críticos de comenzar las observaciones.

»Como el primer contacto tenia lugar en Bekul pocos momentos despues de la salida del Sol, cuando aun no podia columbrarse la imágen del luminar del dia sino á traves de las capas mas densas de la atmósfera que tanto perjudican á la exactitud de las observaciones, no nos preocupamos de anotar este instante con gran escrupulosidad. Poco á poco fué avanzando el eclipse y se vió nuestro observatorio rodeado de una multitud de gobernadorcillos, personajes y gentes de todas condiciones, que nuestra policía supo detener á distancia oportuna, sin permitir el paso á ninguno de estos curiosos entre los que se contaban varios indígenas de rango.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



OBSERVATORIO DE BEKUL

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

»En el fuerte reinaba el silencio mas profundo, y el trabajo de observar y registrar los fenómenos, hasta cierto punto de poca importancia, visibles en el telescopio, en el espectroscopio ó en el polariscopio antes de la totalidad, se efectuó con la regularidad y calma de un aparato de relojería; pero en las inmediaciones del castillejo no pasaban las cosas con tanta tranquilidad. Los indígenas veian en el eclipse su dios favorito devorado por el monstruo Rahoo y ellos, lo mismo que los astrónomos, estaban allí para hacer algo; de modo que empezaron á llorar y á gemir en tono tan lastimero, y á lanzar aullidos tan dolorosos, que nuestro trabajo llegó á resentirse algun tanto. Como si esto no fuera bastante, trataron de aplacar al monstruo ofreciéndole algun sacrificio y ninguno les pareció mas natural que encender una gran hoguera con las yerbas secas de que estaba cubierto el suelo. Rápidos como el pensamiento pusieron por obra su propósito, levantándose las llamas y el humo precisamente entre el Sol y nuestro observatorio. No bien se apercibió del suceso el capitan Christie, cuando mandó á su policía que apagase el fuego, lo que esta ejecutó al punto, pues de otra suerte hubiéramos perdido la observacion del eclipse.

»Tiempo es ya de que volvamos al fuerte. El capitan Maclear anunció un gran número de líneas brillantes; casi no tuve tiempo de observarlas y de decir dos ó tres palabras, pues en cuanto me situé ante mi gran espectroscopio exclamé:—¡Listo!—que era la señal convenida para principiar á contar el tiempo. Al instante todos los observadores del fuerte pudieron oir la clara voz del capitan Bailey que exclamó:—Tenemos 120″.

»Los observadores se cuidaban poco del hermoso espectáculo que ofrecia el cielo y cada cual se ocupaba del estudio particular que le habia sido encomendado. Yo alcé la voz exclamando:—Espectro del hidrógeno, 1474 mas larga que F.—En esto mandó M. Mac Ivor:—¡Polariscopio!—A cuya indicacion respondí casi en el acto:—Polarizacion vertical en todas partes: fuerte.—Luego se hizo uso del bicuarzo.—Amarillo y pardo, con verde á ambos lados, débilmente radial, se oyó á los pocos instantes. En esto exclamó nuevamente el capitan Bailey:—Faltan 80 segundos.—Esta era la señal para observar el Sol eclipsado á través de una larga batería de prismas, en cuyo ataque tenia yo gran confianza.—Cuatro círculos, 1474 de igual tamaño que el resto y débiles. —Faltan treinta segundos, volvió á exclamar el capitan Bailey. En un instante cambiamos de instrumentos el capitan Maclear y yo; á mí me correspondia entonces examinar la estructura de la corona con el anteojo de 6 pulgadas y al capitan el estudio de su espectro con un espectroscopio poderoso montado en mi propio refractor.

—Estructura detallada á cinco minutos del borde solar.—No da espectro.—Estructura semejante á la de la gran nébula de Orion. —No da espectro, fuimos diciendo sucesivamente. El eclipse habia pasado aparentemente para los demás observadores antes del término fijado, pero no para mí, pues seguí observándolo en mi refractor.—Estructura todavía visible.—Todavía; —y así continuó por espacio de unos tres minutos hasta que al cabo se desvaneció la corona en el aire.

»A las ocho nos encaminamos á las demás estaciones con objeto de saber los resultados obtenidos por Janssen, Tennant y Pogson. . . . . .»

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO IV

I

El tele-espectroscopio; método para observar las protuberancias en pleno Sol

En el mes de octubre de 1866 dió cuenta M. J. Norman Lockyer á la Real Sociedad de un nuevo método que permitia observar el espectro de las protuberancias solares en cualquier época, y sin que hubiera necesidad de aguardar á las raras ocasiones de los eclipses totales; sus esfuerzos, empero, no dieron resultado á causa del escaso poder dispersivo del instrumento que empleó.

Si bien se debe á Lockyer la primera publicacion acerca de la posibilidad de aplicar el espectroscopio á la observacion de las llamas rojas en pleno Sol, no debemos dejar de mencionar, que bajo el punto de vista histórico, corresponde asimismo el honor de este pensamiento á dos famosos astrónomos, los Sres. Stone y Huggins. Estos observadores, sin embargo, tampoco obtuvieron buen éxito en las numerosas investigaciones que llevaron á cabo con objeto de ver el espectro de las protuberancias, probablemente porque los instrumentos que emplearon no tenian bastante poder dispersivo para mostrar con facilidad las líneas brillantes de las llamas solares. Cuando se conoció la posicion de las líneas, las vió Huggins instantáneamente con el mismo espectroscopio (dos prismas de 60°) que antes usó inutilmente.

El físico francés Janssen ignoraba, sin duda alguna, los trabajos de Lockyer de 1866 y los de Huggins, que aparecieron seis meses antes del eclipse de 1868, en las Noticias Mensuales de la Real Sociedad Astronómica de Londres. «Durante los dos últimos años, dice M. Huggins, he hecho numerosas observaciones con objeto de distinguir las protuberancias rojas que se observan durante los eclipses totales de Sol. La invisibilidad de estos objetos en pleno dia depende á no dudar, de la iluminacion de nuesta atmósfera; si estos cuerpos son gaseosos, ha de componerse su espectro de líneas brillantes. Con un espectroscopio poderoso, habrá de reducirse considerablemente la intensidad de la luz difusa de nuestra atmósfera cerca del borde solar, por la dispersion de los prismas, mientras que las líneas brillantes de las protuberancias, dado caso de que estas existiesen, apenas perderian nada de su brillo. Este principio se ha aplicado de diversos modos y con distintos aparatos prismáticos, pero sin resultado hasta ahora.»

Al observar Janssen el eclipse solar del 18 de agosto de 1868, segun llevamos referido, creyó posible percibir las líneas de las protuberancias en pleno dia, en vista de su excesivo brillo; concluido el eclipse, se nubló el cielo por completo y nada pudo hacer, pero al dia siguiente, esto es, el 19 de agosto, no bien se habia desprendido el astro radiante de los vapores y brumas del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

horizonte, cuando el ilustre astrónomo pudo percibir con toda claridad el espectro de las protuberancias. Los fenómenos del dia anterior habian cambiado por completo de carácter; la distribucion de las masas de gas al rededor del limbo solar era muy otra, y apenas quedaba rastro de la gran protuberancia que se habia observado el dia anterior. Durante diez y siete dias consecutivos continuó Janssen observando y dibujando las protuberancias, con lo cual probó que estos misteriosos apéndices gaseosos cambiaban de forma y posicion con rapidez extraordinaria. La carta de Janssen en que comunicaba su descubrimiento al ministro de Fomento de la vecina Francia está fechada en Cocanadah el dia 19 de setiembre.

Lockyer, mientras tanto, habia hecho ciertas mejoras y modificaciones en su instrumento y solo volvió á su poder de manos del artista, el 16 de octubre de 1868, mucho tiempo despues de haber llegado á Europa la comunicacion de Janssen. El 20 del mismo mes, arreglado ya el tele-espectroscopio, pudo Lockyer emplearlo en sus observaciones y el propio dia dirigió á la Real Sociedad la comunicacion siguiente:

»Esta mañana he podido observar sin inconveniente parte del espectro de una protuberancia solar. Como resultado práctico he determinado la existencia de tres líneas brillantes en las posiciones que siguen: 1 En perfecta coincidencia con C; 2 Casi en coincidencia con F; 3 Cerca de D.»

Esta tercera línea cerca de D, muy fina siempre, es mas refrangible en nueve ó diez grados de la escala de Kirchhoff, que la mas refrangible de las dos líneas D (es decir, que está mas cerca del verde) y se designa por D_3.

En una comunicacion subsiguiente á Warren de la Rue, afirma Lockyer que las protuberancias no son mas que agregaciones locales de un medio luminoso y gaseoso que rodea y envuelve al Sol por todas partes, y que el espectro característico de las protuberancias puede observarse en todos los puntos del borde solar. Estima el espesor de esta envoltura gaseosa en unas 2,000 leguas y observa que el espectro puro de una protuberancia consta de líneas *cortas* brillantes, pero si la ranura del instrumento se dirige al limbo M N del Sol (figura 293) del modo que antes se explicó, perpendicularmente á la tangente *a c* de este punto, se verá una estrecha cinta *a b c d* del espectro solar, y al lado otra banda espectral mucho mas débil *a e f c* correspondiente en parte á la atmósfera terrestre y en parte á la protuberancia *p*. Como por este sistema se ven las líneas brillantes de las protuberancias tan íntimamente unidas á las rayas de Fraunhofer que parecen sus prolongaciones, es fácil averiguar, con gran exactitud, cuál de las líneas brillantes coincide con las rayas de Fraunhofer y cuál no. Si segun este método se dirige el espectroscopio al limbo extremo del Sol, y se hace pasar la ranura al rededor del astro, inmediatamente se reconocerá el espectro de las protuberancias; y como las líneas no aparecen sino en las regiones en que hay acumuladas grandes masas de hidrógeno, la mayor ó menor longitud de las rayas brillantes permite trazar un dibujo de la forma y posicion de las protuberancias en torno del disco solar, tan exacto como el que pudiera hacerse durante un eclipse total.

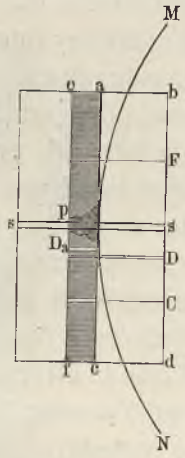


Fig 293.—Espectro de las protuberancias

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El astrónomo inglés Lockyer observó y dibujó una protuberancia de la manera indicada; como la longitud de las líneas brillantes depende de la altura de la protuberancia á que se dirige la ranura del espectroscopio y estas líneas aparecen únicamente en el campo del instrumento cuando la luz del gas inflamado cae en la ranura, fácil es ver que solo hay que fijar la atencion en una de estas líneas brillantes, en la F azul-verdosa, por ejemplo, con objeto de determinar la forma de una protuberancia; si se nota que esta línea es de una longitud apreciable, se puede afirmar que se ha tropezado con una protuberancia y si se hace girar lentamente la ranura á derecha é izquierda, se alargará ó acortará la raya brillante segun que la altura de la protuberancia sea mayor ó menor; tambien aparecerá continua ó cortada, segun que la protuberancia se apoye en el mismo limbo del Sol, ó que por el contrario, flote á alguna distancia del globo solar.

El astrónomo inglés Lockyer fué el primero, indudablemente, que trató de observar el espectro de las protuberancias en la luz ordinaria del Sol, dando con este objeto instrucciones y métodos adecuados; pero á Janssen corresponde el honor de haber sido el primero en realizar la prevision. Inútil parece discutir, en vista de esto, á quién corresponde la prioridad del descubrimiento, tan grande por sí mismo, que basta para inmortalizar, no digamos dos hombres sino una pléyade de astrónomos.

La posibilidad de observar las líneas de las protuberancias en pleno sol tiene por fundamento la diferencia que existe entre el espectro de la luz solar y el de esos apéndices; al paso que el primero es continuo y solo se ve cruzado por líneas negras, el segundo se compone de varias rayas brillantes; si se formasen ambos espectros á un mismo tiempo en el espectroscopio, el intenso brillo del espectro continuo superaria completamente, en un instrumento ordinario, al otro espectro de líneas brillantes, impidiendo que fuera visible. Hemos demostrado, sin embargo, en los párrafos anteriores, que aumentando el número de prismas puede extenderse el espectro en proporcion considerable, mientras que por el contrario disminuye notablemente el brillo del espectro continuo, y por lo tanto, valiéndose de un número conveniente de prismas puede llegarse á hacer casi invisible; la luz de las protuberancias, por el contrario, consta de muy pocos colores, los cuales, si bien llegan á separarse notablemente unos de otros por la superior dispersion de la luz, se encuentran meramente dislocados, por decirlo así, y no sufren ninguna pérdida perceptible de luz, sino que permanecen visibles en el espectroscopio como líneas muy brillantes. Se deduce, por consiguiente, que empleando un espectroscopio de gran poder dispersivo, la luz deslumbradora del Sol se modifica, al paso que las líneas de las protuberancias conservan su intensidad y pueden observarse aun en el mismo disco del Sol. Mientras mayor sea, pues, el poder dispersivo del instrumento, mas brillantes aparecerán las líneas coloradas de las protuberancias.

Apoyado en estas consideraciones, comenzó Lockyer sus estudios del espectro de las protuberancias en plena luz solar, por medio del tele-espectroscopio (fig. 294); para ello se dirige la ranura de un espectroscopio de gran poder dispersivo, *d*, *c*, *e*, *h*, firmamente unido por las varillas metálicas *a a b* al anteojo ecuatorial L T P, conducido por una máquina de reloj, perpendicularmente al limbo de la imágen solar formada por el objetivo del telescopio; moviendo el tubo *e* del espectroscopio del uno al otro extremo del espectro y teniendo cuidado de enfocar en cada una de estas posiciones, pueden verse las líneas brillantes de las protuberancias como prolongaciones de las líneas negras del espectro del disco solar, sobre el fondo formado por el debilísimo espectro de la atmósfera terrestre. En la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

figura, S es el buscador, *g* una palanquilla para mover el anteojo en declinacion, *d* el tubo de la ranura, *h* un anteojo pequeño para leer las divisiones de la cabeza del tornillo micrométrico, que en parte oculta la varilla *a a*.

El anteojo es un excelente refractor de 16 centímetros de abertura y de $2^m,5$ de distancia focal provisto de un mecanismo de relojería; el espectroscopio, construido por Browning con su habilidad reconocida, se representa en escala mayor en la fig. 295. Se quita del anteojo el ocular y por lo tanto, la pequeña imágen del Sol que se forma



Fig. 294 — Tele-espectroscopio de Lockyer

mas allá del tubo del instrumento puede recibirse en caso necesario sobre una pantalla. La ranura del colimador *d* se fija precisamente sobre el borde de esta imágen, y el pequeño anteojo *e* se hace girar al rededor del eje *m* por medio del tornillo *n* hasta que la línea oscura C ó F caiga en el centro del campo visual. El ajuste del espectroscopio al anteojo permite que la ranura se pueda colocar tangente ó radial sobre cualquier punto del limbo solar, segun exijan las observaciones. El sistema de prismas C se compone de siete piezas de flint pesado, de 45 grados cada una y de un ángulo total de refraccion de mas de 300 grados; la gravedad específica del flint es de 391, su índice de refraccion de 1665 y su poder dispersivo de 0,0752. Cuando se necesita mayor dispersion emplea Lockyer un octavo prisma de 60° y en algunos casos especiales llega tambien á agregar un espectroscopio de vision directa que se adapta al tubo *e* del instrumento anterior.

Antes de proceder al exámen espectral de las protuberancias, es necesario enfocar con todo esmero el instrumento, de modo que la imágen del Sol formada por el objetivo caiga precisamente en la ranura del espectroscopio, lo que equivale á decir que la ranura ha de encontrarse en el plano focal del objetivo; disminuida convenientemente la abertura de la rendija, se enfoca el ocular del anteojo analizador del espectroscopio, de manera que se distingan con

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

toda claridad todas las rayas de Fraunhofer y sobre todo la línea C del hidrógeno, despues de lo cual no se volverá á tocar á esta parte del instrumento. Como el espectro es por lo general bastante vivo, puede resguardarse el ojo con un vidrio ligeramente

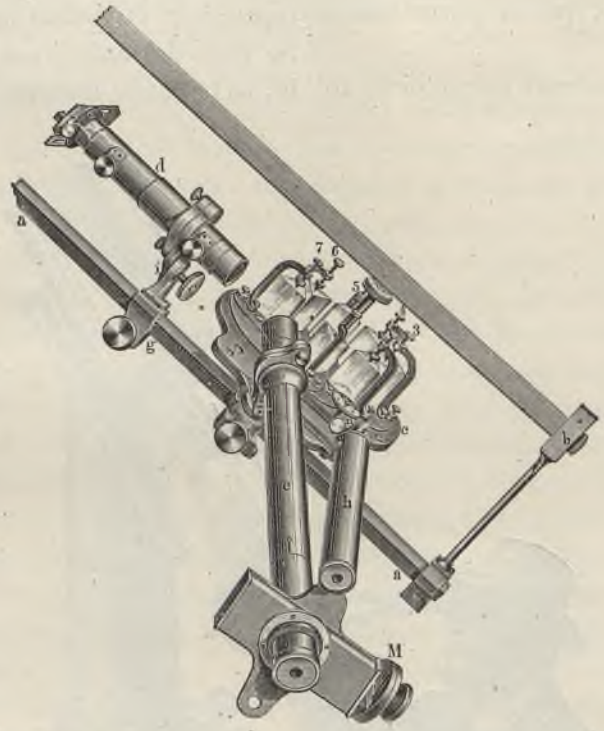


Fig. 295 —Tele-espectroscopio de Lockyer construido por Browning

colorado de rojo rubí, de los que se hallan en el comercio; con este vidrio basta para no quedar deslumbrado, y como no impide el paso á todos los rayos rojos, se distingue con bastante facilidad la línea C.

Dispuesto de esta suerte el aparato, se recorre lentamente el borde del disco solar; examinando las figuras 293 y 296, nos daremos cuenta exacta de este método de observar las protuberancias. S representa la imágen solar formada por el objetivo del anteojo; *p p* la imágen de una zona inmediata al limbo del Sol, invisible á causa del excesivo resplandor de la luz del dia. La ranura *s s* se coloca perpendicularmente al limbo del Sol, y se encuentra, por lo tanto, en la direccion de uno de los radios solares, así que la mitad de la ranura cae sobre el disco del Sol, mientras que la otra mitad se extiende sobre la region inmediata ó capa de hidrógeno luminoso que envuelve al globo solar; esta region es la de las protuberancias. En el espectro 1, bri-

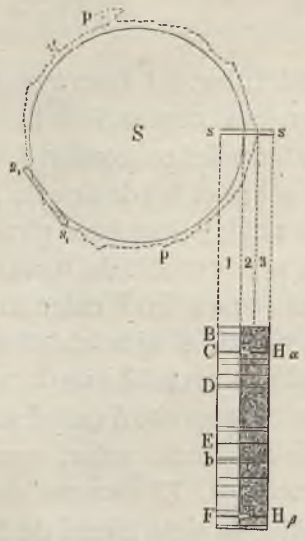


Fig. 296.—Método para observar las protuberancias

llante aun, si bien muy debilitado por la gran dispersion que experimenta la luz, se encuentran muy marcadas las líneas de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Fraunhofer. En la otra mitad del campo visual se distingue el espectro del aire, 2 y 3, en extremo débil y el cual por un aumento conveniente del número de prismas, puede llegarse á extinguir por completo. El espectro 2 del estrato de las protuberancias *p p* aparece sobre el espectro anterior en inmediato contacto con el espectro 1 del disco solar, demostrando las observaciones que el espectro 2 está formado por varias líneas brillantes, entre las cuales siempre son las mas luminosas las del hidrógeno; de ellas H *alfa* (roja) forma la prolongacion exacta de C; H *beta* (azul verdosa) la prolongacion de F, y H *gamma* (azul) menos refrangible que G (no se representa en el dibujo). Tambien se ve la línea D_3, cuya naturaleza se desconoce en el dia, inmediatamente despues de la línea del sodio D_2.

En el último espectro, además de las cuatro líneas brillantes del hidrógeno luminoso, se ven por lo comun otras líneas brillantes que corresponden á las líneas invertidas de Fraunhofer; entre ellas se encuentra la D_3 detrás de D, y muy á menudo una línea verde que se debe al hierro (1475 de Kirchhoff); tres líneas del magnesio *b*, y segun las observaciones de Rayet las dos líneas del sodio D_1 y D_2.

Como el espectro de las protuberancias, lo mismo que el del estrato gaseoso *p p* que inmediatamente rodea al globo solar se componen de líneas coloradas, propuso Lockyer que se diera á esta envoltura el nombre de *cromo-esfera*.

Tambien puede colocarse la ranura tangente al borde del Sol como se ve en *s s* (fig. 296) admitiendo exclusivamente la luz de las inmediaciones del Sol, es decir, de la cromo-esfera, ó tambien la de esta zona y la que corresponde al verdadero limbo del astro.

Si despues de hacer algunos ensayos con la ranura radial no se obtuviese ningun resultado, se debe volver á comenzar la operacion con la ranura tangente ó paralela al borde del Sol, segun el procedimiento que acabamos de indicar. Tambien se podria, y con ventaja, seguir una marcha inversa, esto es, colocar la ranura fuera del disco solar, aproximándola al Sol muy lentamente; cuando se advierte que crece de un modo muy considerable el esplendor de la luz, se mira con gran atencion la raya C, y en el momento en que la luz del disco comienza á aparecer como una lluvia de rayos brillantes á causa de la agitacion del borde, se verá de repente que la raya C se hace luminosa destacándose con gran vigor sobre el resto de la cinta espectral.

Si esta raya aparece á alguna distancia del borde pertenece á una protuberancia, pero si se encuentra muy inmediata al limbo del Sol proviene sencillamente de la cromo-esfera.

Debemos recordar dos cosas á los que comiencen este interesantísimo género de estudios; 1.ª la cromo-esfera es muy baja y por lo tanto hay grandes dificultades en percibir la raya brillante que sirve para reconocerla; pero despues de verla una vez se la encontrará con facilidad; 2.ª cuando el aire está tranquilo, es mucho menor la dificultad; si la atmósfera se encuentra fuertemente agitada se ve aparecer la línea brillante en medio de la lluvia de rayos que de ordinario la precede. Como la cromo-esfera envuelve al Sol por todas partes, se la observa en todos los puntos de su circunferencia.

En vez de examinar la imágen directa del Sol formada por el objetivo, puede obtenerse otra imágen de mayor tamaño sacando el tubo del ocular y dirigiendo la ranura del espectroscopio á esta segunda imágen.

Merz, el famoso óptico de Munich, construye unos espectroscopios de vision directa, de gran fuerza dispersiva, para la observacion espectroscópica de las protuberancias; tienen la ventaja estos aparatos, segun algunos astrónomos, de que se ve el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

objeto observado directamente, sea por ejemplo el borde solar, una protuberancia ó una mancha, y de que se insertan en el telescopio ó anteojo lo mismo que un ocular comun.

La siguiente figura 297 representa la construccion interior de un instrumento de esta clase; el sistema de prismas P tiene un poder dispersivo de D á H igual á 8 grados; la lente colimadora se coloca en C; una mitad de la ranura *s s* que se ajusta por medio del tornillo S se halla cubierta por el prisma de reflexion *r* que recibe la luz de comparacion, bien sea de una llama ó de un tubo de Geissler, del lado opuesto á aquel en que se encuentra el tornillo S; L es una lente cilíndrica que se emplea en las observaciones estelares, pero que se omite al estudiar el espectro de los cuerpos celestes de dimensiones sensibles: el anteojo F, cuyo objetivo tiene unos 10 centímetros de distancia focal y una abertura de 16 milímetros, lleva un ocular positivo O de 25 milímetros, y un micrómetro de puntas *m m* con los indispensables ajustes delicados. Por medio del tornillo *g*, el tubo F, bajo la

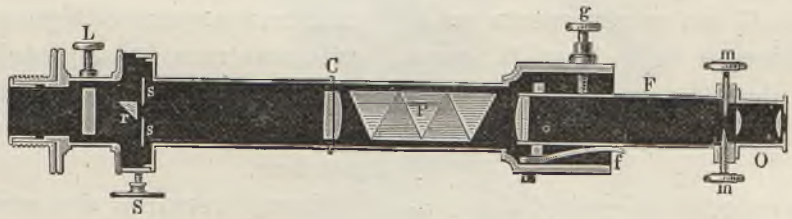


Fig. 297.— Espectroscopio simple y compuesto de Merz

presion del muelle antagonista *f* puede girar hácia ambos lados, y quedar fijo en la posicion que se desee, desde el extremo rojo del espectro hasta el violeta.

Este instrumento funciona como un espectroscopio de gran fuerza dispersiva, en particular si se le atornilla en vez del ocular de un anteojo, con objeto de observar el espectro de un astro de débil resplandor como la Luna, los planetas ó las estrellas fijas de mayor magnitud.

Cuando se aplica el instrumento al exámen de las protuberancias solares, puede doblarse su poder dispersivo introduciendo un segundo sistema de prismas de vision directa semejante al marcado con la letra P, entre la lente colimadora C y el primer sistema de prismas. Este espectroscopio compuesto muestra con toda distincion, en una atmósfera clara, la línea fina del nikel situada entre las dos del sodio D_1 y D_2. Para facilitar la puntería del instrumento hácia cualquiera region del limbo del Sol, se agrega un círculo de posicion dividido, en el interior del tubo, en el lugar por donde se atornilla al anteojo.

Con un espectroscopio de Browning de los llamados de miniatura (fig. 253), de siete prismas, colocado en un anteojo de 5 centímetros de diámetro, basta para observar en pleno dia las dos líneas brillantes H *alfa* y H *beta* de las protuberancias. Si se monta el instrumento de tal manera que se pueda dirigir cómodamente hácia el Sol, se coloca un vidrio azul delante de la ranura para excluir del espectroscopio la luz de los demás colores. Cuando la imágen del Sol formada dentro del anteojo pasa por la ranura y esta se halla colocada en la posicion correspondiente, la línea brillante azulada H *beta* se verá como una prolongacion de la línea F del espectro solar. Sustituyendo un vidrio rojo al azul, se verá la línea roja H *alfa* de igual manera y como prolongacion de la raya negra C.

Apenas llegó á Roma la noticia telegráfica del descubrimiento de Janssen, dió principio el P. Secchi á una serie de inves-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tigaciones espectrales de las protuberancias que, en union de sus anteriores trabajos sobre las manchas, forman el estudio mas hermoso de nuestra época sobre el astro luminar del dia. Para esto empleó un espectroscopio de dos prismas excelentes de flint, de gran poder dispersivo, capaces de indicar las líneas mas finas situadas entre B y A, dispuesto en la magnífica ecuatorial del observatorio del colegio Romano; en la primera tentativa que hizo en este género de estudios, distinguió al fijar la ranura estrecha en el limbo del Sol, las líneas C y F invertidas en el espectro del aire, esto es, iluminadas.

Paseó el P. Secchi la ranura todo alrededor del limbo del Sol, colocándola alternativamente en direccion paralela y perpendicular al borde del astro; observó entonces que la línea brillante C (roja) era visible en todas partes; colocada la ranura perpendicularmente al limbo del Sol, presentaba esta línea una longitud de 10″ á 15″, excepto en una zona situada á unos 45° á cada lado del ecuador; en esta region, que es en donde con mas frecuencia se presentan las manchas y las fáculas, ofrecia la raya C una longitud cuatro veces superior á la de los demás puntos. En varios sitios se apartaba la línea C del limbo solar; cuando se colocaba la ranura tangente al limbo, siempre aparecia brillante la línea, cruzando todo el espectro; en ocasiones se veia fraccionada cuando se separaba la ranura del limbo del Sol, pero aparecia siempre entera, y sin solucion de continuidad, al volver á colocar la ranura en contacto con el limbo solar.

Esto prueba lo que las observaciones de los eclipses totales de Sol y las investigaciones de Lockyer habian señalado, que el estrato de gas luminoso (la cromo-esfera) que rodea al Sol es en realidad continuo, aunque de nivel desigual. Donde quiera que una línea brillante alcanza la altura de 60″ ó mas en el espectro, puede asegurarse que existe una protuberancia, y donde quiera que se vea una línea brillante dividida en varios fragmentos, se acusa la presencia de una masa gaseosa iluminada ó nube solar, que flota á cierta distancia del disco.

Antes de que el análisis espectral revelase la verdadera composicion de estos apéndices solares que por tanto tiempo atormentaron la imaginacion de los astrónomos, varios sabios formularon sus teorías respecto á la continuidad del vapor luminoso que envuelve el disco solar. El profesor Swan, entre otros, al discutir las observaciones del eclipse total de Sol del mes de julio de 1851 escribia lo siguiente: «No hay duda de que el mejor método que se debe seguir para observar este fenómeno se reduce á estudiar la faja roja y las protuberancias de igual naturaleza; y todas las observaciones confirmarán entonces la hipótesis de que la materia que compone estos cuerpos se encuentra distribuida al rededor del Sol.»

El Profesor Grant en su *Historia de la Astronomía física* se espresa de un modo muy semejante. En 1860 escribia el ilustre Le Verrier lo que sigue: «La existencia de una capa de materia de color rosado, parcialmente trasparente que cubre toda la superficie del Sol, es un hecho establecido por las observaciones efectuadas durante la totalidad del eclipse que tuvo lugar este año.»

II

La cromo-esfera y su espectro

Por cromo-esfera se entiende la envoltura gaseosa y brillante que rodea al Sol por completo: este vocablo se empleó primeramente para significar las llamas rojas y el estrato del mismo color que les sirve como de enlace y union. En estos últimos años se ha convenido en dar el nombre de cromo-esfera á la zona luminosa que rodea al Sol y que exhibe un espectro de líneas brillantes. Haciendo uso del espectroscopio, del modo que llevamos explicado, se puede reconocer fácilmente la cromo-esfera al

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mismo tiempo que se estudian las protuberancias; cuando se dispone la ranura perpendicularmente al borde del disco, se tropieza por todas partes con las rayas invertidas del hidrógeno, es decir, C=H *alfa;* F=H *beta; h* cerca de G=H *gamma;* la cuarta H *delta* es muy difícil de ver, pero no obstante, se la ha reconocido con toda evidencia. Además se encuentra una línea D_3 cerca de las rayas D del sodio, situada al lado del azul, á una distancia igual á 2,06 veces el espacio que separa las rayas D_1 y D_2 de este metal. La naturaleza de la sustancia que produce la línea D_3 se desconoce aun y se ha propuesto darle el nombre de *helio*.

Conviene ahora que sepamos distinguir con toda exactitud las diferentes capas que forman las envolturas del globo solar. Sobre este asunto dice el Profesor Young que, uno de los elementos mas importantes de la corona consiste en una envoltura solar de gas luminoso que se eleva á una gran altura. Se propuso dar á este estrato el nombre de *leuco-esfera*, que parecia muy adecuado, pero algunos lo rechazaron fundándose en que la *cromo-esfera* cubre toda la region de líneas brillantes al rededor del Sol; mas cuando este último nombre se propuso por primera vez, no se tenia la mas remota idea de que sobre la envoltura de hidrógeno hubiese otra capa veinte ó cien veces mas extensa, y hubiera sido muy conveniente restringir su aplicacion á la capa inferior de hidrógeno, conservando el nuevo término para la masa de materia gaseosa mas elevada.

El astrónomo inglés Proctor cree que la relacion entre las protuberancias y la capa de materia colorada de nivel inferior es tal, que hace que la palabra *sierra*, empleada por los observadores que descubrieron el estrato sea mas apropiada que cromo-esfera, término que parece indicar que ese estrato forma una envoltura esférica. La cromo-esfera, á decir verdad, no ha sido descubierta por el espectroscopio, y durante los eclipses ya se habia reconocido su existencia, designándola los observadores con nombres diversos como *sierra*, *olas*, *arco rosa* brillante, etc.; el espectroscopio tan solo ha demostrado que esta capa colorada existe constantemente en todos los puntos de la superficie solar, si bien no tiene en todas partes el mismo espesor. Su espectro, como acabamos de decir, está formado por cierto número de líneas brillantes entre las cuales sobresalen constantemente las del hidrógeno, por su longitud y brillo. Si durante la observacion se coloca en sentido radial la ranura del espectroscopio, de tal manera que la mitad caiga sobre el limbo del Sol y la otra mitad sobre la cromo-esfera, aparecerá el doble espectro de esta capa y de la foto-esfera. Tan grande es el poder dispersivo que necesita tener un espectroscopio adecuado á este género de trabajo, para amortiguar el espectro de la luz difusa del dia que se forma al mismo tiempo, que tan solo una pequeña porcion del espectro de la cromo-esfera puede tenerse en el campo visual en un momento dado, y por lo tanto, hay que colocar el anteojo en distintas direcciones respecto de los prismas para poder examinar las varias secciones del espectro total.

Las figuras 298 y 299 representan segun las observaciones de Lockyer, las regiones del espectro con mas frecuencia observadas por ser las que permiten examinar con mayor facilidad las protuberancias y la cromo-esfera y percibir los cambios que ocurren en el estrato gaseoso. La figura 298 representa la parte del espectro solar en que se encuentra la línea C, y tambien la porcion análoga de la cromo-esfera en la que se percibe la línea H *alfa* del mismo ancho y algo aguzada por su extremo superior. La figura 299 muestra la línea F y el espectro solar en su inmediata vecindad, y sobre él la línea del hidrógeno H *beta* de la cromo-esfera; esta raya se ensancha en su base y termina por su parte inferior en punta como el hierro de una

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

saeta, al paso que la línea H *alfa*, por el contrario, conserva un mismo ancho en toda su longitud, igual al de la línea C.

Mientras que la raya roja H *alfa* es siempre brillante y fácilmente perceptible, la línea azul verdosa H *beta*, aunque tambien muy viva, es sin embargo mucho mas débil y frecuentemente mucho mas corta que H *alfa*. La raya F, de igual manera que su correspondiente línea H *beta*, está sujeta á

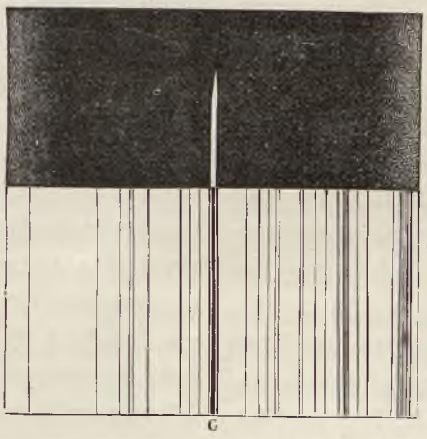


Fig. 298.—Espectro del disco solar (abajo) y de la cromo-esfera (arriba) cerca de la línea C

cambios variables, encorvándose, duplicándose y rompiéndose, de cuyos fenómenos nos ocuparemos en lugar oportuno.

Además de estas líneas brillantes que constantemente se observan en el espectro de las protuberancias y de la cromo-esfera,



Fig. 299.—Espectro del disco solar (abajo) y de la cromo-esfera (arriba) cerca de la línea F

aparecen de vez en cuando otras rayas en distintos lugares del espectro, muy brillantes y marcadas, una roja entre B y C pero mas cerca de esta última, otra en el verde entre E y F, la del hierro 1474 (K), las del magnesio, etc., etc. De igual manera se distingue la tercera línea del hidrógeno H *gamma* (azul) cerca de G, muy brillante en circunstancias favorables; y cuando el aire tiene gran trasparencia y se encuentra libre de vapores, se advierte, observando una protuberancia de grandes proporciones, la cuarta línea del hidrógeno H *delta* (azul, 3370,1 K) que coincide precisamente con la línea negra marcada *h* por Angstrom, de una longitud de onda

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de 0.00041011 de milimetro; esta línea fué observada por Rayet, con gran distincion el 30 de abril y el 1.° y el 20 de mayo de 1869. La raya roja cerca de C no corresponde con ninguna de las líneas oscuras de Fraunhofer.

La notable línea amarilla D_3 se ve constantemente en todos los puntos de la cromo-esfera al rededor del limbo solar, al mismo tiempo que las otras rayas del hidrógeno; el gas luminoso que la produce debe formar, por lo tanto, como el hidrógeno, uno de los cuerpos constitutivos de la cromo-esfera. A pesar de los delicados estudios de Lockyer sobre esta raya, no ha podido hallar en el espectro solar ninguna línea que le corresponda; en sus trabajos se valió de los mapas de Kirchhoff y de Gassiot y de medidas micrométricas exactísimas.

La posicion de esta línea se determinó por Rayet, Lockyer y Secchi; si siguiendo al primero de estos astrónomos, suponemos que la distancia entre las líneas del sodio D_1 y D_2 se tome como unidad, la distancia de la línea D_3 á D_2 será igual á 2,49. Si la longitud de onda de las líneas D_1 y D_2 se considera como 593,53 y 589,88 millonésimas de milímetro respectivamente, en este caso la longitud de onda de la línea D_3 será de 588,27 millonésimas de milímetro. La posicion de esta línea en la escala de Kirchhoff es, segun Young, 1017,5, y segun Rayet, 1016,8.

Hace poco tiempo que emprendió Lockyer una serie de investigaciones sobre esta misteriosa raya, comparándola con el espectro producido por un tubo lleno de hidrógeno, con cuyo gas no presentaba concordancia alguna. Los resultados obtenidos pueden resumirse del modo siguiente:

1. Con la ranura tangente al limbo del Sol aparecia la línea D_3 brillante en la parte inferior de la cromo-esfera, mientras que al propio tiempo se veia la línea C oscura en el mismo campo visual.

2. En una protuberancia sobre una mancha del disco solar eran brillantes las líneas C y F, al paso que era invisible la raya amarilla D_3.

3. En un caso apareció la línea C larga y continua mientras que D_3, aunque de igual longitud, estaba rota é interrumpida.

De aquí se deduce que la línea D_3 no pertenece al espectro del gas hidrógeno.

El P. Secchi, como no podia ser por menos, se ocupó tambien del estudio de esta raya observándola con un poderoso espectroscopio de Merz y halló que, tomando por unidad la distancia entre D_1 y D_2, el espacio que mediaba de esta última línea á D_3 era igual á 2,06. Este ilustre astrónomo señala dos circunstancias muy importantes; 1.° que se observa esta línea siempre que se encuentra en las protuberancias el espectro del hidrógeno, y parece por lo tanto difícil de admitir que la sustancia que la produce no tenga relacion alguna con este gas; 2.° el espectro normal no contiene ninguna raya negra que corresponda á esta posicion D_3. Este hecho es muy grave y se le considera como inexplicable en la teoría de Kirchhoff; Huggins cree haber visto una línea negra muy débil que ocupaba la misma posicion en el espectro directo, pero á la vez confiesa que este fenómeno no es constante y que en lugar de la raya negra ha observado en ocasiones una línea brillante. El P. Secchi tambien observó mas de una vez esta raya luminosa, aunque siempre le pareció muy débil; en todo caso, la línea negra, tal como se observa en el espectro directo, no presenta jamás una intensidad comparable á la de la raya brillante que se encuentra en el espectro de las protuberancias, y esta circunstancia basta para establecer una diferencia entre ambos fenómenos. Disponiendo la ranura del espectroscopio tangente al disco solar, se observa en la base de la raya D_3, una línea negra semejante á la que se distingue en C. Esta raya negra parece que se debe á la absorcion que ejerce la cromo-esfera

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sobre su propia luz; además coincide con otra raya que se produce por la atmósfera terrestre cuando el Sol se encuentra cerca del horizonte.

Segun Arrest, las longitudes de onda correspondientes á D_3, C y F darian la relacion siguiente: $D_3 = {}^1/_3 (2\ C + F)$. Esta ecuacion no parece del todo exacta, pues la longitud de onda empleada por Arrest para D_3 no concuerda con las medidas efectuadas por el P. Secchi; pero si así no fuese, si la relacion que acabamos de citar es verdadera, pudiera suponerse que esa raya se debe á un fenómeno de onda resultante de las otras dos. De este modo se resolveria la objecion contra la teoría de Kirchhoff, deducida del hecho de que la raya D_3 no se invierte en el espectro directo. Por otra parte, pudiera explicarse este hecho del modo siguiente; basta admitir que la sustancia que produce esta línea, sea bastante ligera para que se eleve sobre las demás y que al mismo tiempo se encuentre en muy corta cantidad para formar una capa absorbente capaz de producir la inversion. Las últimas observaciones efectuadas por el P. Secchi parecen confirmar que esta raya pertenece á una sustancia particular. La altura de la raya D_3 no es siempre exactamente proporcionada á la de C y de F, y el astronómo Donati, en el eclipse de 1870, la encontró mas elevada que las otras dos. En 1860 se observaron las protuberancias coronadas de amarillo, tanto por Secchi como por De la Rue; es fácil comprobar en las observaciones espectrales que esta raya no tiene siempre la misma intensidad relativa; los penachos de las erupciones presentan en C y en F líneas difusas y desvanecidas, mientras que la línea amarilla se encuentra siempre bien cortada y definida, ofreciendo al propio tiempo un desarrollo mas considerable; no parece, pues, que se le puede atribuir al hidrógeno, toda vez que su desarrollo no sigue las mismas fases que las otras rayas que indudablemente pertenecen á este gas.

Hasta la presente, nada satisfactorio nos ha dicho la Química sobre este asunto; aguardaremos, pues, que hable, y mientras tanto supondremos que la raya D_3 se debe á una sustancia particular, muy semejante al hidrógeno, y seguiremos llamándola *helio*. Seria muy conveniente examinar el hidrógeno contenido en los poros del hierro meteórico para ver si daba esta línea; pero los químicos que de ello se han ocupado no han encontrado hasta aquí nada que se le parezca, si bien llegaron á reconocer el gas de los cometas.

La inversion de las líneas del sodio D_1 y D_2 se observó por Lockyer y por Rayet en el espectro de la cromo-esfera, es decir, que las vieron como rayas brillantes. Con la ranura tangente al limbo columbró Rayet ambas líneas oscuras en el borde del Sol; en la base de una magnífica protuberancia de 3 minutos de altura que parecia apoyada en el limbo solar, se veian las dos líneas oscuras todavía y algo desvanecidas; á una distancia de 2 minutos de la base desaparecian casi por completo, pero moviendo ligeramente la ranura se percibian como líneas luminosas de color amarillo. En el vértice de la protuberancia aparecian de nuevo como rayas negras.

Además de las rayas que acabamos de señalar, D_3 y las del hidrógeno, el estudio de los eclipses habia dado á conocer las de otras muchas sustancias, y era en extremo interesante tratar de buscarlas en las observaciones hechas en pleno dia. Lockyer descubrió las líneas b_1 b_2 y b_4 que pertenecen al magnesio y se ven con frecuencia como rayas luminosas en el espectro de la cromo-esfera, pero siempre como líneas cortas, lo que parece indicar que el vapor de magnesio no se eleva á mucha altura en ese estrato. Cuando son visibles estas líneas brillantes, las tres primeras b_1 b_2 y b_3 aparecen de igual longitud, mientras que la cuarta b_4 es mucho mas corta. Lockyer y Frankland notaron que el mismo fenómeno se observaba en el espectro

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del magnesio terrestre formado por el paso de la chispa eléctrica á través del aire entre electrodos de este metal, cuidando de separar los polos para que el espectro tuviera bastante longitud, quedando cada polo rodeado por un vapor luminoso de magnesio.

Observando á corta distancia el espectro de esta envoltura gaseosa y brillante, la mas refrangible de las tres lineas del magnesio que aparecia, era siempre la mas mas corta, y mas cortas aun otras líneas que hasta aquí no han podido observarse en el espectro de la cromo-esfera. De las infinitas líneas del hierro que como rayas negras aparecen en el espectro solar, tan solo algunas se ven brillantes en el espectro de la cromo-esfera; entre ellas la raya 1474 tantas veces citada, que aparece como una línea corta de color verde, es la que se observa mas comunmente.

El P. Secchi llama la atencion sobre una circunstancia muy particular; de todas las rayas caracteristicas del magnesio, tan solo una aparece invertida, permaneciendo las demás completamente negras. Este hecho llamó vivamente la atencion del ilustre jesuita, siendo recibido su descubrimiento con desconfianza por varios astrónomos; al cabo pudo el P. Secchi comprobar que las rayas intermedias correspondian al hierro, y que las del magnesio no se invertian siempre todas juntas; el 6 de marzo de 1871 tuvo ocasion Secchi de confirmarse en su idea, viendo realmente y con toda certidumbre, las líneas del magnesio muy fuertes, anchas y brillantes, que se ensanchaban hasta el punto de formar óvalos luminosos, que rellenaban el espacio comprendido entre b_2 y b_3.

Lockyer pudo tambien observar la inversion de un gran número de rayas, sobre todo la línea del sodio, observacion que luego se ha hecho muy comun. Un dia pudo observar de esta suerte la inversion casi completa del espectro; el 6 de marzo de 1869, en el instante de una violenta erupcion pudo observarse este mismo fenómeno por el P. Secchi; el espectroscopio se habia dirigido á la region del verde en donde aparecian varias líneas invertidas; de improviso se desarrolló una banda brillante longitudinal, en medio del espectro, haciendo desaparecer todas las rayas negras, que tambien se hicieron luminosas. Se hubiera dicho que un fragmento de la foto-esfera acababa de lanzarse sobre la ranura del espectroscopio. Este espectáculo duró algunos minutos escasos y el espectro volvió á adquirir su aspecto ordinario.

Estudiando con mucha asiduidad y paciencia las grandes erupciones, se ha podido observar un gran número de líneas invertidas y tambien se ha conseguido en pleno dia, y sin eclipse, comprobar la existencia de varios vapores metálicos en la atmósfera del Sol, gracias á sus líneas directas; por ejemplo, los vapores del magnesio, sodio, bario, hierro, titano, cromo, cálcio, etc. Estos metales son precisamente los que dan rayas de mayor anchura en el espectro de las manchas.

Reproducimos aquí una lista formada por Young, en la que se encuentran indicadas todas las rayas cuya inversion se ha comprobado en la atmósfera solar. La primera columna contiene un número de órden; la segunda indica la posicion de cada línea segun la escala de Kirchhoff: la tercera da á conocer la longitud de onda correspondiente segun Angstrom: la cuarta espresa la frecuencia relativa de la inversion; el número 100 corresponde á una línea que se halle habitual y constantemente invertida, y el número 60 por ejemplo, que se encuentra en la primera línea, significa que la primera raya es visible 60 veces en 100 observaciones. La sexta contiene los nombres de las sustancias químicas correspondientes á cada raya. La última columna indica el nombre de los astrónomos que primero efectuaron la observacion; Lockyer (L), Janssen (J), Rayet (R), Lorenzom (Lor.), Herschel (H), etc.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CATALOGO DE LAS RAYAS INVERTIDAS DEL ESPECTRO SOLAR FORMADO POR EL PROFESOR YOUNG

Número de órden	Número de Kirchhoff	Longitud de onda (Angstrom)	Frecuencia relativa	Esplendor relativo	Elementos químicos	Observaciones
1	354,5	7060 ?	60	3		
2	654,5	6677 ?	8	4		L
3	C	6561,8	100	10	H	L J
4	719,0	6495,7	2	2	Ba	
5	734,0	6454,5	2	3		
6	743, ?	6431	2	2		
7	768, ?	6370	2	2		
8	816,8	6260 ?	1	1	Ti	
9	820,0	6253 ?	1	2	Fe	
10	874, ?	6140,5	6	8	Ba	L
11	D^1	5894,8	10	10	Na	L
12	D^2	5889,0	10	10	Na	L
13	1017,0	5871,0	100	75		L J
14	1274,3	5534,0	6	8	Ba	R L
15	1281,5	5526,0	1	1	Fe	
16	1343,5	5454,5	1	2	Fe	
17	1351, ?	5445,9	1	2	Fe Ti	
18	1363,1	5433 0	1	1	Fe	
19	1366,0	5430,0	2	3		
20	1372,0	5424,5	3	4	Ba	L
21	1378.5 ?	5418.0 ?	1	2	Ti ?	
22	1382.5	5412	1	1		
23	1391.2	5403,0	2	2	Fe Ti	
24	1397,8	5396,2	1	2	Fe	
25	1421.5	5370,4	1	2	Fe	R
26	1431.3	5360,6	2	2		R ?
27	1454.7	5332,0	2	2	Ti	
28	1462,9	5327,7	1	3	Fe	
29	1463.4	5327,0	1	3	Fe	
30	1465,0 ? Corona O	5321	2	2		
31	1474,1	5318.9	75	15	Fe ?	L
32	1505.5	5283	5	4		
33	1515.5	5275,0	7	5		L R
34	E_1	5269,5	1	3	Fe Ca	
35	E_2	5268,5	1	2	Fe	
36	1528,0	5265,5	3	2	Fe Co	L
37	1561,0	5239.0	1	1	Fe	
38	1564,0	5236,2	1	1		
39	1567,7	52:3,5	2	2	Mn	R
40	1569,7	5232	1	2	Fe	
41	1577,3	5226	1	2	Fe	
42	1580,5 ?	5224,5	1	1	Ti ?	
43	1601,5	5207,3	3	3	Cr Fe	
44	1604,4	5205,3	3	3	Cr Fe ?	
45	1606,5	5203,7	3	3	Cr Fe ?	
46	1609,3	5201,6	1	2	Fe	
47	1611,5	5199,5	1	1		
48	1615,6	5197,0	3	2		L R
49	b_1	5183,0	15	15	Mg	L
50	b_2	5172,0	15	15	Mg	L
51	b_3	5168,5	12	10	Ni	L
52	b_4	5166.5	10	10	Mg	L
53	1673,9	5153.2	1	1	Na	
54	1678 0	5150,1	1	2	Fe	
55	1778,5	5077,8	1	1	Fe	
56	1866,8	5017,5	2	3		R
57	1870,3	5015 ?	2	2		R
58	1989,5	4933,4	8	5	Ba	L
59	2001,5	4923,2	5	3	Fe	R L
60	2003,2	4921,3	1	1		
61	2007,1	4918,1	3	3		L
62	2031,0	4899,3	6	4	Ba	L
63	2051 5	4882,5	2	2		L
64	F	4860,6	100	75	H	J L
65	2358,5	4629.0	1	1	Ti	
66	2419,3	4583,5	1	1		Lor
67	2435.5	4571,4	1	1	Ti	
68	2444.0	4564,6	1	1		
69	2446.6	4563,1	1	2	Ti	
70	2457,8	4555,0	1	1	Ti	
71	2461,2	4553,3	3	3	Ba	
72	2467,7	4548,7	1	3	Ti	
73	2486,8	4535,2	1	1	Ti Ca ?	
74	2489,5	4533,2	1	1	Fe	
75	2490,6	4531,7	1	1	Ti	

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Número de órden	Número de Kirchoff	Longitud de onda (Angstrom)	Frecuencia relativa	Esplendor relativo	Elementos químicos	Observaciones
76	2502,5	4524,2	2	2	Ba	
77	2505,8	4522,1	1	2	Ti	
78	2537,3	4504	1	3	Ti	
79	2553 ?	4491,0 ?	1	1	Mn ?	
80	2555 ?	4489,5 ?	1	1	Mn ?	
81	2566.5	4480,4	1	2	Mg ?	L
82	2581,5 ?	4471,4	75	8	Bandas	
83	2585,5	4468,6	1	1	Ti	
84	2625,0	4443,0	1	1	Ti	
85	2670,0	4414,6	1	1	Fe Mn	
86	2686,7	4404,3	1	2	Fe	
87	2705,0	4393,5	3	2	Ti ?	
88	2719 ?	4384,8	1	1	Ca	
89	2721,2	4382,7	1	2	Fe	
90	2734 ?	4372 ?	1	1		
91	2737 ?	4369,3 ?	1	1	Cr ?	
92	2775.8	4352,0	1	1	Fe Cr	
93	2796,0	4340,0	100	50	H	L J
94	G	4307.0	1	2	Fe Ti Ca	
95	2770,0	4300,0	1	1	Ti	
96		4297,5	1	1	Ti Ca	
97		4289,0	1	2	Cr	
98		4274,5	1	2	Cr	
99		4260,0	1	1	Fe	
100		4245,2	1	1	Fe	
101		4226,5	1	1	Ca	
102		4215,5	1	2	Fe Ca	
103	H	4101,2	100	20	H	R L

Para que esta lista fuera completa seria menester agregar ahora el rutenio, observado recientemente por Young. El titano solo, presenta mas de veinte rayas. Lockyer, por su parte, afirma que tambien ha encontrado potasio, cerio y otros metales análogos al hierro, como el plomo, uranio, cadmio, estroncio y quizás el aluminio y el zinc. Es evidente, como ya indicamos, que hay motivos para esperar que alguna vez se invierta el espectro por completo, ó al menos en una gran parte, pues contra ello no se presenta ninguna imposibilidad física. Este mismo astrónomo Lockyer, acaba de descubrir que en el espectro de los metales hay líneas *cortas* y *largas;* estas últimas son las que aparecen invertidas en el espectro solar. Hay motivos para suponer que las rayas cortas se deben en gran parte á las impurezas de los ejemplares usados; hasta ahora no se han encontrado los metales que forman óxidos inestables como el oro, el platino, la plata, el mercurio, etc., sino con preferencia los que forman óxidos muy fijos.

En ciertas ocasiones, cuando se forman en el Sol grandes erupciones que desde el interior se extienden hasta mas allá de la cromo-esfera, se complica mucho el espectro de esta última capa. Fenómenos de esta clase han sido observados con gran frecuencia por Lockyer, colocando la ranura tangente al limbo solar; esta posicion presenta la ventaja de que á un mismo tiempo se ve una porcion mas extensa del limbo del Sol ó cromo-esfera, que la que puede observarse colocando la ranura en sentido radical, si bien esta última posicion ofrece á su vez mayor ventaja, cuando el propósito del observador es estudiar los cambios que se verifiquen en la cromo-esfera, y en particular la forma y altura de las protuberancias. Cuando se coloca la ranura tangente al limbo del Sol, de tal modo que una parte del astro y otra de la cromo-esfera sean visibles al propio tiempo á una misma altura en la rendija, dejan de verse los espectros del Sol y de la cromo-esfera al lado el uno del otro, y se encuentran parcialmente superpuestos, de modo que el uno oscurece al otro. Un ejemplo de este fenómeno es lo que representa la figura 300, observado por Lockyer en la region del espectro que corresponde á la línea C,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuando la ranura desaparecia por completo y se hallaba reemplazada por una banda brillante. La línea F, segun muestra la figura 301, se modifica de un modo distinto; en el espectro de la luz emitida por el borde extremo del Sol, la línea brillante F (H *alfa*) aparece mas refrangible que la misma lí-

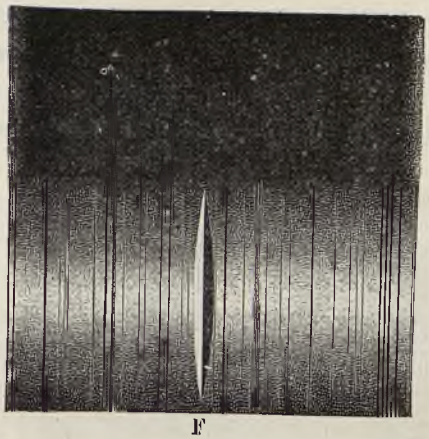


C

Fig. 300.—La línea C con ranura tangente

nea oscura F; pero á una corta distancia del limbo solar, la línea oscura F del espectro de una protuberancia era reemplazada por completo por la línea brillante correspondiente del gas hidrógeno. No tan solo las líneas del hidrógeno, sino otras muchas aparecen brillantes en condiciones análogas, en el espectro de la cromo-esfera, y el dia 17 de abril de 1870 observó Lockyer cientos de estas rayas de Fraunhofer invertidas en el espectro de una mancha situada en la cromo-esfera, de donde salia una protuberancia. Las complicaciones del espectro de la cromo-esfera eran mas notables en las regiones mas refrangibles que C, y en las que se extienden de la línea E hasta mas allá de *b* y muy cerca de F; el vapor de hierro, á una presion considerable, parece jugar una parte muy importante en la produccion de este fenómeno.

Entre las particularidades mas notables que se observan en las líneas brillantes del gas hidrógeno del espectro de la cromo-esfera, se cuenta la expansion por su base y el aguzamiento del extremo superior de la raya azul verdosa H *beta*, y tambien el estrechamiento de las otras líneas brillantes H *alfa* y D_3. Las causas que modifican el espesor ó anchura de las líneas espectrales se indicaron suficientemente en las páginas anteriores; depende este fenómeno, en parte, de la densidad originada por la presion, y en parte de la temperatura del gas; sin embargo, segun se desprende de varios experimentos efectuados por el padre Secchi, la temperatura es la que ejerce mayor influjo en el ancho de las rayas. A una temperatura dada, y á cierto grado de enrarecimiento, consta el espectro del hidrógeno de tres líneas características: H *alfa*, H *beta* y H *gamma*. Al aumentar la temperatura, la línea H *gamma* es la que primero comienza á ensancharse por ambos lados; luego H *beta* sufre el mismo cambio, permaneciendo H *alfa* sin modificacion, aun cuando H *gamma* se convierta en una ancha banda violeta de contornos difusos y mal definidos. Cuando se rarifica



F

Fig 301.—La línea F con ranura tangente

el gas, H *alfa* es la primera que desaparece permaneciendo sin modificarse H *beta*. Por otra parte, demuestran los experimentos de Secchi que, con la misma densidad del gas, á un descenso de temperatura sigue un estrechamiento de las tres líneas, y con una densidad dada hay un límite para el decrecimiento de la temperatura,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en cuyo punto todas desaparecen por completo.

La terminacion puntiaguda de las líneas brillantes del espectro de la cromo-esfera indica, por consiguiente, que la temperatura de la cromo-esfera decrece á medida que se aparta del Sol, y al mismo tiempo, que la densidad de la envoltura de hidrógeno es mayor en la base de la cromo-esfera que en las regiones mas elevadas.

Los fenómenos observados en las líneas C y F del gas hidrógeno de la cromo-esfera y de las protuberancias no consisten, sin embargo, en meras expansiones de las líneas, ni en sus aguzamientos terminales, sino en la mayor frecuencia en otros varios cambios, como v. gr. el aparecer torcidas y como ondulantes ó cortadas en varias porciones, cuyos fenómenos deben considerarse como indicios de violentas erupciones ó tempestades que tienen lugar en el interior de la masa gaseosa. Varios observadores y entre ellos Lockyer, han dirigido su atencion sobre este punto; segun las observaciones de este último astrónomo, la línea F del espectro solar va acompañada por una línea brillante correspondiente á las protuberancias, H *beta* (fig. 302), la cual además de la terminacion

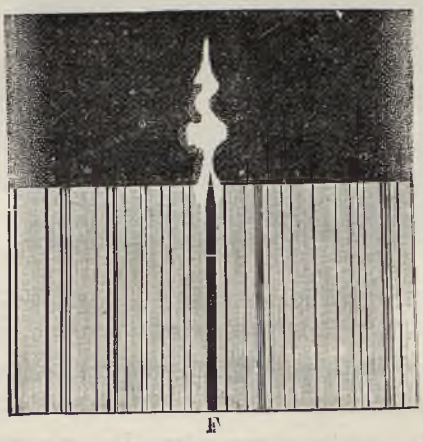


Fig. 302. — Modificaciones de la línea H *beta* segun Lockyer

en figura de saeta que ya conocemos, presenta un aspecto particular comparable á una llama ondulante, cuyo extremo inferior se proyecta fuera del disco solar; la línea C de la misma protuberancia permanece en el entretanto sin modificarse, ni en su base ni en su terminacion. Cuando se observa con ranura ancha, dan á las



Fig. 303. — Modificaciones de la línea H *beta* segun Young

protuberancias brillantes estos movimientos rápidos el aspecto de una masa confusa muy inestable y difícil de comprender. Por lo general son estas formas muy fugitivas; cuando se observa con atencion uno de estos surtidores lanzado con gran violencia, se nota en su constitucion una gran falta de detalles y el todo parece confundido; los filetes ó hileros de corriente que los forman ofrecen cierta agitacion en los bordes y llegan á presentar un aspecto muy semejante al de los rayos luminosos que atraviesan una corriente de aire caldeado. A primera vista pudiera creerse que estas apariencias se debieran á una agitacion del aire atmosférico, pero pronto se reconoce que es imposible admitir esta explicacion, puesto que semejante agitacion no existe en las demás partes de la imágen solar y se distinguen con toda precision los mas pequeños detalles; estrechando la ranura se observa que las rayas del hidrógeno se encuentran dilatadas y mal terminadas en uno de sus bordes.

Un fenómeno análogo al reseñado poco ha fué observado por Young en una protuberancia muy brillante el 19 de abril de 1870. La línea roja C (H *alfa*) era en extremo brillante hasta tal punto, que podia observarse su forma con la ranura bastante ancha, sin que en toda su extension apareciese doblada ni interrumpida. La línea

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

F (H *beta*), por el contrario aunque de un brillo igual á la anterior (fig. 303) se hallaba cortada en varios trozos, presentando en su base una anchura tres ó cuatro veces mayor que la corriente.

Mas adelante demostraremos de qué modo están relacionados los fenómenos que representan las dos últimas figuras respecto de las dislocaciones de las líneas del espectro, con el movimiento de las masas luminosas gaseosas á que deben su orígen estas mismas líneas que se observan en el espectroscopio. Cuando, no obstante, como en estos ejemplos, tan solo una de las líneas espectrales (H *beta*) se encuentra modificada permaneciendo invariable la otra línea H *alfa*, apenas es creible que la causa de este fenómeno se encuentre en el movimiento ciclónico del gas que emite la luz. Young cree que los fenómenos de esta clase deben atribuirse á alguna absorcion local y que las lineas que se ensanchan mucho bajo el influjo de la presion y la temperatura deben modificarse por esta causa. Valiéndose de un espectroscopio poderoso compuesto de cinco prismas, consiguió Young estudiar el fenómeno mencionado durante mas de media hora.

Cuando el aire está completamente tranquilo en las inmediaciones de una gran mancha solar, ó sobre una extensa porcion del disco, se ven las bandas de absorcion que atraviesan el espectro en toda su longitud (fig. 304) cortando en ángulo recto las rayas de Fraunhofer; varian en ancho y profundidad de tono segun que se trata de una depresion ó de una mancha completamente formada opuesta al lugar correspondiente de la ranura. En las partes mas brillantes del espectro aparece aquí y acullá, de un modo repentino, una luz de forma romboidal en mitad de la línea de absorcion. Cree Lockyer que esto se debe al gas hidrógeno luminoso que se encuentra sometido á una presion superior á la corriente, y esta puede ser, por lo tanto, la causa de esos puntos tan brillantes que se observan en las fáculas en las inmediaciones de los limbos del Sol.

Un fenómeno por todo extremo semejante fué observado por Young en las dos líneas del sodio. El 22 de setiembre de 1870 vió en el espectro de una gran mancha solar situada cerca del borde oriental del astro, las líneas del sodio D_1 y D_2 invertidas ó como líneas brillantes; las líneas C y F se hallaban tambien invertidas al mismo tiempo, cuyo fenómeno se ha observado frecuentemente en el espectro de las manchas solares, por los astrónomos que disponen de grandes y poderosos espectroscopios. La línea D_3 no era visible en el núcleo de la mancha, pero se distinguia perfectamente en la penumbra como una sombra oscura. En la tarde del 28 de setiembre se observaron las rayas siguientes, brillantes ó invertidas, en el espectro del núcleo de la misma mancha, en este órden en cuanto á su esplendor; C F, D_3, 2796 (K) ó H gamma; b_3, b_1, b_2; D_1, D_2; h, b_4, y 1474 (K). La causa de este fenómeno se reveló bien pronto por la aparicion de dos protuberancias gigantescas que se mostraron en el espectroscopio como objetos brillantes en el disco del Sol; una se extendia por el núcleo de la mancha y la otra tan solo hasta la penumbra.

Lockyer ha ideado un método muy sencillo de demostrar la observacion simultánea del apéndice inmediato del Sol (la cromo-esfera) y el propio disco; observó este astrónomo que la llama de una bujía ordinaria de sebo ó de estearina se encuentra rodeada por una envoltura de vapor de sodio generalmente invisible, pero que puede columbrarse con facilidad aplicando un espectroscopio que revele la existencia de las líneas amarillas del sodio: si se mueve suavemente la ranura del instrumento desde el costado hácia el interior de la llama, en un lugar situado un poco mas arriba del punto en que la mecha se inclina hácia afuera, aparece la línea brillante D sobre un fondo oscuro; moviendo otra vez la ra-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nura en direccion á la llama, se forma un segundo espectro y se ven en el campo visual dos bandas espectrales correspondientes á la llama y al vapor de sodio que la envuelve. Si se agita la llama de modo que se forme pavesa, la línea brillante D sufre unas modificaciones análogas á las que se observan en las rayas del hidrógeno, de la cromo-esfera.

Las líneas del magnesio son las que mas comunmente se invierten, despues de las del hidrógeno, y cuando esto tiene lugar puede observarse un fenómeno contrario al que describe M. Cornu; este físico quemó una cantidad de magnesio en el arco voltáico y vió desdoblarse las rayas brillantes apareciendo en el interior de cada una de estas una línea negra; en el espectro de las protuberancias se encontraban las líneas brillantes acompañadas de dos rayas negras. Es raro que desaparezcan estas líneas; el P. Secchi, sin embargo, pudo

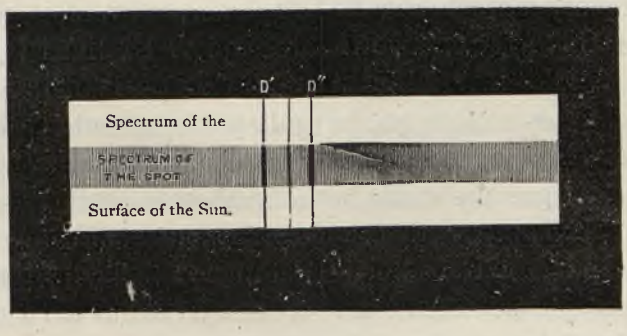


Fig. 304 — Bandas de absorcion producidas por las manchas

observar este fenómeno en varios casos, presentándose entonces las rayas invertidas reforzadas en el centro y como dos masas brillantes; se ensanchaban hasta el punto de que se tocasen sus bordes inmediatos. Es sabido que el espectro que produce un metal incandescente puede invertirse por el vapor de este mismo metal; esto es lo que ocurre, segun llevamos explicado, cuando se quema sodio, talio, etcétera, en el arco voltáico. Como ya hemos descrito estos fenómenos, nos basta con mencionarlos aquí.

En el hermoso cielo de Palermo se observa casi siempre el espectro del magnesio invertido, en una extension considerable del borde solar; en Cádiz, el compilador de esta obra ha podido observarlo tambien con gran frecuencia, valiéndose de un espectroscopio de Hofmann de cinco prismas adaptado á un refractor de 10 centímetros de diámetro. En el monte Sherman, á una altura de 2800 metros, pudo Young comprobar estas observaciones llegando á observar un número mas considerable de rayas. Es, pues, evidente que, si no vemos siempre el espectro invertido en todo el contorno del disco, hay que atribuirlo únicamente á la viva luz que ilumina la atmósfera terrestre en las inmediaciones del Sol. En virtud de estas consideraciones, aconsejó el P. Secchi en 1870 que se organizase una expedicion al monte Etna en cuya cima es el aire tanto ó mas transparente que en el monte Sherman, con objeto de averiguar si se verificaba por completo la inversion como durante los eclipses totales.

Para dar una idea de la pureza y transparencia de la atmósfera de Palermo, refiere el P. Secchi que habiendo aplicado el prisma de vision directa al anteojo del observatorio de esa ciudad para formar el espectro sobre la rendija del espectroscopio, se fundieron en seguida los másticos, lo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que jamás le sucedió en Roma con un refractor de igual potencia.

Hay además otras rayas que se perciben mas difícilmente y cuya observacion es por todo extremo interesante, por ejemplo, la que llamamos B-C, situada á distancia de C igual á 0,45 de B-C; fué descubierta por Respighi, y segun Young, coincide con la 654,5 de Kirchhoff; es tan viva, que á veces puede servir para estudiar las formas de las protuberancias, siendo su presencia el mejor medio de apreciar las erupciones metálicas. A menudo va acompañada por otra línea mucho menos visible situada próximamente á distancia igual entre B y *alfa*.

Con gran frecuencia se percibe la raya 1474 de Kirchhoff de que ya hablamos al ocuparnos de los eclipses; siempre va acompañada de un gran número de líneas características del hierro, pero segun las investigaciones de varios astrónomos no se debe atribuir á este metal. El famoso Janssen afirma que esta raya es mas pronunciada fuera de las protuberancias, segun pudo observar al menos, en el eclipse de 5 de abril de 1875.

Para ver de esta suerte las rayas invertidas en el borde general del disco solar, es necesario escoger un momento en que la atmósfera se halle perfectamente pura y transparente; es absolutamente imposible percibirlas cuando el cielo está nebuloso y blancuzco, pues entonces la luz atmosférica oculta por completo el fenómeno que se quiere observar. Es conveniente poner el anteojo en movimiento muchas veces seguidas y raras son las ocasiones en que se perciben las rayas invertidas á la primera tentativa, pero teniendo constancia y perseverando en el estudio llegan á verse irremisiblemente. Tal es la práctica que aconseja el Profesor Tacchini. Además, es preciso hacer uso de un anteojo excelente, pues si no fuese capaz de dar una imágen detallada de los objetos que subtienden un ángulo menor de un segundo, no podrá servir para observar esta capa tan delgada y de composicion tan complexa; será imposible ver las rayas cuyo espesor no corresponde sino á una fraccion de segundo; por este motivo tiene razon Proctor al decir que para columbrar todos estos detalles hay necesidad de emplear un anteojo que pueda resolver estrellas binarias muy próximas, como *gamma* de Andrómeda. No obstante, hay que evitar que el aumento y la dispersion sean demasiado considerables, pues en tal caso se perderia mucha luz.

Todas las rayas invertidas no tienen una misma altura, y si se exceptuan las del hidrógeno, las demás son por lo general muy bajas. Sin embargo, cuando se presentan nubes muy brillantes sobre las erupciones, se observan á veces rayas metálicas de 60 y 90 segundos de altura, pero estos casos son muy raros. Los metales no aparecen generalmente sino en la base de las protuberancias, por manera que podemos considerar la presencia de los vapores metálicos á alturas considerables como carácter que distingue esencialmente las protuberancias ordinarias de las erupciones propiamente dichas. En las regiones situadas á mas altura de 90 segundos tan solo se ha podido observar el hidrógeno hasta ahora; Tacchini fija en 10 por 100 el número de protuberancias de espectro mixto; las otras 90 no contienen sino hidrógeno mezclado á la sustancia que produce la raya D_3; pero es menester distinguir las épocas de actividad solar, pues en tiempo tranquilo las rayas metálicas son muy raras, segun se observó, por ejemplo, en 1874 y 1875.

No es preciso observar las protuberancias elevadas para ver las rayas metálicas, y en todos los lugares en que se presenta la cromo-esfera viva y compuesta de llamas brillantes, por escasa que sea su altura, dará origen á un espectro múltiple; el magnesio y el hierro se hallarán siempre en mayor cantidad que los demás metales. De modo que ciertas rayas invertidas del espectro no se ven exclusivamente en las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

erupciones, y se puede observar el mismo fenómeno en zonas muy considerables del contorno solar sin que haya protuberancia propiamente dicha. Esta observacion es en extremo importante, pues demuestra que las protuberancias son simplemente variaciones de nivel de una capa que envuelve completamente al Sol. Este resultado se preveia por algunos astrónomos eminentes que consideraban que la capa rosa que se extendia en arcos muy grandes en torno del Sol eclipsado, no era mas que la cromo-esfera.

M. Cornu ha demostrado por experimentos decisivos que todas las líneas no se invierten á una misma temperatura, de modo que no hay que extrañarse de que la cromo-esfera nos presente tan reducido número de líneas brillantes, al paso que el espectro solar contiene tal multitud de rayas negras.

Pudiera parecer extraño á primera vista, que las líneas del nitrógeno y del carbon no se hayan percibido jamás ni en el espectro del Sol, ni en el de la cromo-esfera, al considerar la abundancia que hay de estos cuerpos en la tierra. En los grandes mapas del espectro solar trazados por Angstrom, se ha incluido tambien el espectro del aire atmosférico que se obtiene por el paso de la chispa eléctrica, y puede observarse que las líneas que da el aire, cuyos componentes son nitrógeno y oxígeno, no coinciden con ninguna de las líneas de Fraunhofer. Que no aparezcan las rayas de una sustancia en el espectro de un cuerpo compuesto semi-luminoso, no quiere decir, ni por asomo, que tal sustancia falte en el cuerpo examinado.

De las investigaciones de Angstrom parece resultar que, el espectro de la atmósfera no es visible cuando la chispa eléctrica se forma al aire libre entre las puntas de carbon de una batería de Bunsen de cincuenta elementos, y por lo general, tan solo se puede producir empleando un tubo de Geissler lleno de aire rarificado y con electricidad de alta tension. El espectro del aire no es visible cuando la electricidad de la batería pasa entre las puntas de carbon, porque en este caso el arco voltáico consta de un puente de vapor, ó de partículas muy finas de la materia de que se compongan los eléctrodos por los cuales descarga el flúido, y que por la resistencia que ofrecen al paso de la electricidad se ponen incandescentes. Cuando una chispa como la de un carrete de induccion pasa á través del aire libre, el espectro de los gases de la atmósfera es siempre visible, como ocurre cuando la chispa de induccion pasa entre eléctrodos metálicos, el espectro de los gases atmosféricos, oxígeno y nitrógeno (y la línea roja del hidrógeno del vapor de agua que existe siempre en la atmósfera) se ve al propio tiempo que el del metal que se emplee.

La presencia invariable del espectro atmosférico cuando la chispa eléctrica pasa á *través del aire libre*, indujo á Huggins á emplear este espectro como escala de referencia en sus mapas del espectro de los elementos químicos. La pequeña cantidad de ácido carbónico que hay en la atmósfera no la revela el espectroscopio.

Pues, como íbamos diciendo antes de esta digresion, el espectro atmosférico se produce empleando electricidad de alta tension, ó lo que es lo mismo, en circunstancias en que desarrolle una temperatura muy elevada. Por la misma causa no puede obtenerse el espectro del carbon por la mera incandescencia de esta sustancia por la corriente eléctrica; el espectro que de este modo se produce, se compone en parte del espectro continuo de las partículas sólidas incandescentes de carbon, y en parte del espectro de los carburos de hidrógeno y del cianógeno. El calor del arco ó llama voltáica es, pues, insuficiente para convertir el carbon en estado gaseoso.

Aplicando estos fenómenos al Sol admitia Angstrom que la temperatura de este luminar es demasiado elevada de una parte

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

para que puedan tener lugar combinaciones de hidrógenos carbonados, cianógenos, etcétera, y de otra, demasiado baja para permitir que el carbon se convierta en estado gaseoso y pueda mostrar espectro, ó producir los espectros del oxígeno y del nitrógeno.

Análogos resultados se obtuvieron por Wüllner, Secchi y Zöllner; el primero por los experimentos que dejamos descritos en las páginas anteriores, y el último por razonamientos ingeniosos respecto del modo de obrar del hidrógeno, el nitrógeno y el oxígeno, en el Sol, segun las variaciones de densidad, gravedad específica y poder emisivo de estos gases; en el supuesto de que las formas eruptivas de las protuberancias han de considerarse como producidas por las corrientes de hidrógeno que se lanzan hácia la parte externa desde el interior del globo, y de que la causa de estas erupciones ha de buscarse en las diferencias de presion á que se halla sometido el gas en la parte interna y en la superficie del Sol. Los cálculos fundados en esta hipótesis, en los que se ha llevado en cuenta la cantidad de hidrógeno existente en el Sol, nos inducen á suponer, por analogía, que la cantidad de oxígeno y nitrógeno en el estrato en donde principia á ser continuo el espectro del hidrógeno, es extremadamente pequeña en comparacion con la cantidad de este gas. Los rayos, pues, que lanza un estrato de hidrógeno de espectro continuo, pasan á través de una cantidad tan pequeña de partículas incandescentes de oxígeno y nitrógeno antes de herir nuestra vista, que la absorcion que experimentan es, por lo pequeña, imperceptible para nosotros. Por esta razon, aun suponiendo que el Sol tuviese una atmósfera de nitrógeno y oxígeno semejante en densidad y temperatura á su atmósfera de hidrógeno, no podrian percibirse por lo débiles, como rayas negras de Fraunhofer, las líneas de esos cuerpos en el espectro del Sol, ó como líneas luminosas en el de la cromo-esfera. No puede deducirse, por lo tanto, de la ausencia de las líneas del nitrógeno y del oxígeno en ambos espectros, que estas sustancias no existan en el Sol ó en la cromo-esfera.

De todas estas observaciones pueden deducirse los resultados siguientes relativos á la naturaleza de la cromo-esfera:

1. El globo ó cuerpo del Sol, ó de otro modo, la envoltura luminosa que llamamos foto-esfera, se halla rodeada completamente por otra envoltura gaseosa formada de hidrógeno en su mayor parte, á la que se ha dado el nombre de cromo-esfera. Su espesor medio se estima en unas 2,500 leguas.

2. Las protuberancias son acumulaciones locales de la cromo-esfera, y por consiguiente, están formadas de gas hidrógeno en su mayor parte, el cual parece salir de tiempo en tiempo del interior del Sol en forma de erupciones monstruosas, que en su camino rompen á través de la foto-esfera y de la cromo-esfera. Como al forzar el paso este gas, se eleva con extraordinaria rapidez, se rarifica muy pronto mas allá del limbo solar.

3. En el espectro de la cromo-esfera la línea azul verdosa H *beta* que coincide con la raya F de Fraunhofer, toma en general la forma de un hierro de saeta, cuya base descansa en el limbo del Sol; el ensanche de esta línea lo produce el aumento de presion y la elevacion de la temperatura, por consiguiente, la presion y la temperatura del gas en los estratos mas bajos de la cromo-esfera deben ser mayores que en la parte superior. De los experimentos efectuados por Lockyer, Wüllner y Secchi parece resultar que, *hasta en el estrato mas bajo de esta envoltura gaseosa es menor la presion que la de nuestra atmósfera, de modo que el gas de la cromo-esfera se encuentra en extremo rarificado.*

4. La línea azul verdosa H *beta*, que en condiciones normales es del mismo ancho que las líneas H *alfa* y C, á veces se modifica en una protuberancia y afecta la forma

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

globular sobre la cromo-esfera como representa la figura 305, cuya causa se debe probablemente al encuentro súbito y violento de las corrientes de gas y de su condensacion posterior.

5. Las líneas características del hidrógeno H *alfa*, H *beta* y H *gamma*, de igual manera que la cuarta línea azul, son todas ellas visibles con completa certidumbre en

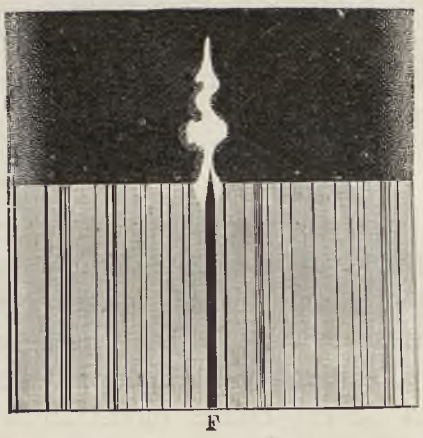


Fig. 305.—Forma globular de la linea H *beta*

el espectro de la cromo-esfera y en el de las protuberancias; con buenos instrumentos y en condiciones atmosféricas favorables, se extienden á veces las dos primeras líneas, hasta el espectro de las regiones inferiores á la cromo-esfera, de modo que las líneas correspondientes de Fraunhofer C y F aparecen iluminadas sobre el disco del Sol. La línea amarilla D_3 de la cromo-esfera no pertenece ni al sodio ni al hidrógeno y se ignora la sustancia que la produce.

6. Debajo de la cromo-esfera se encuentra la foto-esfera brillante, de constitucion vaporosa, que contiene todas las sustancias cuyas líneas espectrales aparecen como rayas de absorcion en el espectro solar. Estos cuerpos, entre los cuales sobresalen el hierro, el magnesio y el sodio, se observan á menudo en estado incandescente y son trasportados á cierta distancia en la cromo-esfera y en la base de las protuberancias, aunque por lo comun, á una altura moderada.

Segun las observaciones efectuadas por el P. Secchi durante el eclipse total de 1860, y en tiempos posteriores con su gran espectroscopio, parece resultar que la cromo-esfera no descansa inmediatamente en el limbo del Sol, sino que se encuentra separada de esta capa por un espacio pequeño de luz blanca de 2″ á 3″ de espesor (16,000 leguas) que da un espectro continuo. El padre Secchi es de opinion que la supuesta *atmósfera* de Kirchhoff, de vapor luminoso, en la cual experimenta la luz blanca del Sol la absorcion electiva que produce las rayas negras, se halla en este estrato de luz blanca.

Esta opinion la combate Lockyer, quien niega la existencia de este estrato de luz que separa la cromo-esfera del limbo del Sol. Segun el astrónomo inglés, la foto-esfera, estrechísimo estrato de vapores luminosos mezclados que produce el espectro invertido de las rayas de Fraunhofer, forma el límite ó superficie superior del núcleo solar, sobre el cual se apoya la cromo-esfera ó estrato de gas hidrógeno incandescente.

La teoría de Kirchhoff, que mas adelante expondremos detalladamente, de que el núcleo solar se encuentra rodeado de una atmósfera absorbente hasta cierto punto fria, muy rarificada y opaca, debe dar lugar á la que exige que la foto-esfera sea luminosa y brillante, y se encuentre rodeada de un estrato gaseoso de temperatura muy elevada, luminoso, que es la cromo-esfera, cuyo espectro consiste principalmente en el del gas hidrógeno. Lockyer es de opinion que á causa del estado de enrarecimiento grande de este gas, la existencia de otra atmósfera que se extendiera á mayor distancia, como por ejemplo, la corona, es muy improbable, y el espesor de la cromo-esfera se indicaría por la altura de sus líneas espectrales, esto es, por H *alfa*, H *beta* y H *gamma*; siendo estas líneas anchas en el limbo del Sol y aguzándose por su extremidad, pudiera suponerse que la tempe-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ratura de la cromo-esfera á la altura indicada por la terminacion de las líneas, es insuficiente para conservar el gas hidrógeno en estado luminoso.

Como ya vimos, se ha llegado á averiguar que un aumento de temperatura priva al hidrógeno de la facultad de ensanchar sus líneas espectrales, mientras que, por el contrario, un descenso de temperatura produce el estrechamiento de las mismas líneas. Ahora bien, las líneas espectrales de una protuberancia son anchas por la base en la proximidad del limbo del Sol, y terminan en punta; la temperatura de la extremidad superior tiene que ser, necesariamente, mas baja que en la base. La envoltura de hidrógeno puede, sin duda alguna, extenderse mucho mas allá del límite de las líneas brillantes sin que sea revelada su existencia por las líneas de su espectro, y por esta razon no representan tales líneas brillantes la medida exacta del espesor de la cromo-esfera; es mucho mas probable que, debido á un descenso continuo de la temperatura y de la densidad, se proyecte la cromo-esfera en el espacio, á tal distancia, que nos sea imposible reconocerla por los medios de que disponemos en el dia.

III

Método para observar las protuberancias en pleno Sol

Hácia el año de 1866 intentó Lockyer observar las protuberancias en pleno Sol con un espectroscopio del sistema de Herschel y Browning, ya descrito, colocado en un anteojo astronómico; su método se fundaba, como llevamos mencionado, en la diferencia específica que existe entre la luz de las protuberancias y la del propio Sol.

La luz de un cuerpo sólido ó líquido incandescente que pasa á través de la ranura de un espectroscopio, se extiende y difunde por el prisma formando una banda de mas ó menos longitud, que da un espectro continuo.

La luz de un cuerpo gaseoso, por el contrario, se descompondrá, valiéndose de los mismos medios, en un reducido número de líneas brillantes.

En el primer caso, mientras mayor sea la longitud del espectro, menor será su intensidad en comparacion con la del foco luminoso ú orígen de la luz; en el segundo caso, especialmente cuando el espectro se compone de un modo exclusivo de algunas líneas, la intensidad de cada una de ellas es algo menor que la que corresponde á la mitad de la intensidad de la luz.

Si, por consiguiente, una igual cantidad de luz procedente de dos cuerpos luminosos por sí, sólido ó líquido uno de ellos y el otro gaseoso, penetra por la ranura del espectroscopio á un tiempo mismo, las líneas luminosas del último foco serán mas brillantes que los colores de las porciones correspondientes del espectro continuo.

Ahora bien, aumentando el número de prismas, puede alargarse de tal manera el espectro continuo, y por consecuencia, disminuirse su luz en proporcion tan grande que, segun mencionamos en las páginas anteriores, el espectro solar brillante puede reducirse hasta el punto de ser casi invisible, al paso que la misma dispersion produce en un espectro lineal de gas luminoso, tan solo un aumento en la distancia que media entre las líneas, sin disminuir de un modo aparente su brillo y esplendor.

Por qué no se ven en un anteojo las protuberancias que rodean el limbo del Sol aunque se oculte con una pantalla el brillante disco, se debe á la excesiva luminosidad del astro que comunica á la atmósfera terrestre un brillo extraordinario; las partículas de nuestro océano aéreo reflejan tal cantidad de luz, que llegan á hacerse invisibles las débiles protuberancias solares. Como sabemos, no es posible ver los objetos celestes sino á través de la atmósfera que nos rodea, la cual, en las inmediaciones del Sol se encuentra fuertemente

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

iluminada por los rayos que la atraviesan. La luz de las protuberancias, que es en extremo débil, no puede obrar sobre el órgano de la vista sino á condicion de que se aisle y separe por completo cualquiera otra luz algo viva. La foto-esfera brilla con tal esplendor, que no hay que contar con poder distinguir las protuberancias sino resguardando la vista de las radiaciones luminosas que nos envia. Los vidrios absorbentes que se emplean por lo comun para observar el Sol no pueden sernos ahora de ninguna utilidad, pues si detienen bastante número de rayos como para que podamos contemplar la luz deslumbradora de la foto-esfera, harán al propio tiempo que las protuberancias sean completamente invisibles. Es preciso, pues, recurrir á una pantalla que nos proteja, no solo contra las radiaciones foto-esféricas, sí que tambien contra la luz que refleja la atmósfera terrestre; este doble servicio nos lo presta la Luna durante los eclipses totales. En el espectroscopio, la pantalla la forma la pared opaca en que se ha practicado la rendija; detiene los rayos que proceden de la foto-esfera, pero no impide el efecto producido por la iluminacion del aire atmosférico.

Se trata, pues, de disminuir el esplendor de esta luz, y esta funcion es la que desempeñan los prismas, gracias á la naturaleza de los rayos, si no monocromáticos, al menos oligocromáticos de las protuberancias. La ranura recibe al mismo tiempo los rayos rojos de las protuberancias y los de todas clases que refleja el aire atmosférico; pero estos últimos los extiende el prisma en una banda muy larga y casi continua, lo que debilita considerablemente su intensidad; mientras tanto, la luz de las protuberancias sufre una dispersion mucho menos considerable; da orígen á un pequeño número de rayas que conservan todo su brillo y se hacen visibles porque son mas brillantes que la parte del espectro que las rodea.

El espectroscopio viene á desempeñar, respecto de las protuberancias, el mismo papel que el anteojo para con las estrellas; estos astros no pueden observarse á la simple vista durante el dia, pero se les distingue con un buen telescopio al paso que los planetas son absolutamente invisibles con el mismo instrumento. Esto consiste en que las estrellas no tienen diámetro aparente y son para nosotros como simples puntos luminosos; su imágen es asimismo un punto en el que se encuentra concentrada toda la luz del astro que cae sobre el objetivo, mientras que la amplificacion del anteojo extiende sobre una superficie mayor la luz de los planetas y la que proviene del aire atmosférico. Esta es la explicacion que da Arago de la visibilidad de las estrellas y fácil es observar cuánto se parece á la teoría que acabamos de exponer para explicar la accion del espectroscopio.

Esta teoría nos manifiesta cuán ventajoso es multiplicar los prismas á fin de aumentar la dispersion; de esta suerte se debilita la intensidad luminosa del espectro atmosférico mientras que la de las rayas de las protuberancias tan solo se disminuye débilmente por las reflexiones y las absorciones, imposibles de evitar en los prismas. Por este motivo se construyen aparatos en los que la luz atraviesa sucesivamente seis prismas y á veces muchos mas. Hay un límite, sin embargo, que no puede pasarse, pues un número excesivo de prismas mas bien perjudicaria á la pureza de la imágen de las protuberancias, por las reflexiones y absorciones de su luz, en vez de servir para dispersar la iluminacion atmosférica.

La teoría explica tambien un hecho que se habia notado en la práctica de las observaciones espectrales. Cuando el cielo está puro, puede darse á la rendija del espectroscopio mas de un milímetro de abertura, la cual se reduce á un tercio de milímetro si el cielo se nubla algun tanto;

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

apareciendo los cirros hay que suspender las observaciones.

La abertura que el P. Secchi empleaba habitualmente en sus observaciones correspondia á un valor angular de 24 á 30 segundos, lo que da para el Sol una altura de 4290 á 5360 leguas; si la protuberancia era mayor, habia que observarla por secciones, y reuniendo luego en uno solo los dibujos parciales efectuados se obtenia una vista general bastante exacta. A veces se puede ensanchar mas la ranura cuando la protuberancia es muy viva, muy dispersivo el espectroscopio y está el aire muy puro. Si el anteojo no es de mucho aumento, es decir, si la imágen real producida en el foco del objetivo es pequeña, es posible ver con una ranura bastante estrecha, casi completas la mayor parte de las protuberancias, pero en este caso no se perciben bien los detalles de sus formas y es fácil equivocarse grandemente en cuanto á la apreciacion de su estructura interna. Un anteojo de 10 á 12 centímetros de diámetro basta por lo general, cuando se emplea un espectroscopio compuesto de un solo prisma de vision directa, bastante dispersivo, mas en este caso es algo difícil estudiar los detalles, salvo en algunas circunstancias excepcionalmente favorables.

Por regla general, para obtener un resultado seguro, es necesario no abrir tanto la ranura que lleguen á desaparecer por completo las lineas C, B, etc., de Fraunhofer; es indispensable que se vean difusas, pero que se las reconozca; cuando las protuberancias son muy vivas puede emplearse mayor abertura de modo que desaparezcan por completo las rayas de que acabamos de hablar, pero no debe llegarse á tal punto sino despues de haber hecho muchos ensayos para reconocer cuál es el ancho que da una imágen mas detallada. En estas investigaciones principalmente, conviene mucho el poder apreciar la amplificacion del espectroscopio.

Para estudiar las protuberancias se puede hacer uso de todas las rayas que les son propias, C, D_3, F, *h*. La raya C es la que mejor se presta á la observacion por ser mas viva y cortada; las otras son menos brillantes y se proyectan sobre un fondo mas luminoso ó en posiciones menos favorables para la observacion; mas adelante veremos que para determinados estudios es posible servirse igualmente de todas estas rayas.

En cuanto al poder amplificador mas conveniente, depende del esplendor del objeto observado. Si se trata de una masa débilmente iluminada, un aumento considerable la hace desaparecer, mientras que un instrumento menos poderoso permite que se la vea con toda distincion pudiéndose apreciar su estructura interna. Sucede con las protuberancias como con las manchas solares y las bandas que se observan en los planetas, que á veces se perciben mejor con aumentos moderados; por lo comun basta, en un anteojo cuyo objetivo mida unos veinte centímetros, con una amplificacion de 180 veces; en muy raras ocasiones hay que llegar á 300 ó 400, pues lo que se gana en superficie se pierde en brillo y en finura.

Aumentando el número de prismas se disminuye la luz atmosférica sin amplificar las dimensiones de la imágen; así que este procedimiento es preferible al empleo de anteojos de largo foco, que dan una imágen mayor y disminuyen á la vez la intensidad luminosa de la atmósfera y de las protuberancias.

Expuestos estos principios generales en que se apoya el estudio de las protuberancias en pleno Sol, vamos á relatar, muy someramente, la historia del progreso seguido por esta rama de la ciencia, desde que llegó á Europa la noticia del descubrimiento de Janssen.

Tan pronto como este astrónomo y el inglés Lockyer consiguieron observar el *espectro* de las protuberancias sin tener que aguardar á las raras ocasiones de los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

eclipses, empezó á discutirse por los sabios si no seria posible distinguir, además de las líneas, las formas reales de las protuberancias valiéndose de los mismos aparatos espectrales.

La longitud de la línea brillante de una protuberancia, de la línea H *beta*, por ejemplo, corresponde á la altura de la parte de la protuberancia que se encuentra en la direccion de la ranura y ya indicamos cómo pudo Lockyer, colocando sucesivamente el espectroscopio en diversas porciones de la protuberancia, dibujar las respectivas longitudes de la línea H *beta* y trazar la forma aproximada de la masa gaseosa.

Janssen, por el contrario, propuso que se colocara sucesivamente la ranura sobre cada una de las porciones de la superficie de una protuberancia, por medio de la rápida rotacion de un espectroscopio de vision directa, de modo que, cuando el movimiento fuese suficientemente rápido, se podria ver de una ojeada el contorno completo, gracias á la persistencia de la impresion luminosa sobre la retina. La misma idea ocurrió al propio tiempo á Lockyer y á Zöllner; el primero, sin mover el espectroscopio, tan solo imprimió á la ranura un movimiento rápido en sentido perpendicular al eje del aparato; el segundo trató de conseguir el mismo resultado dando á la ranura un movimiento oscilatorio por medio de un muelle. Pero estos experimentos, aunque prometian un éxito satisfactorio, fueron abandonados por otros métodos, de una parte por las dificultades mecánicas que presentaban, y de otra porque se vió bien pronto que podia conseguirse el objeto deseado por procedimientos mucho mas sencillos.

Huggins, famoso astrónomo inglés, hacia dos años que trabajaba en el mismo asunto y para conseguir el mismo fin, pero por otra vía distinta. Como las protuberancias eran de un rojo pálido ó rosado, pensó que le seria posible verlas en plena luz solar, si valiéndose de vidrios colorados conseguia eliminar los intensos rayos amarillos, verdes y azules de la luz blanca del Sol. Si hubiera llegado á realizar esta parte de su programa no hay duda de que la luz *roja* de las protuberancias habria pasado sola, sin obstáculo, á través de los vidrios no hallándose superada por los rayos atmosféricos, de modo que las formas de las protuberancias se hubiesen visto directamente con el auxilio de un anteojo ó de unos sencillos gemelos de teatro.

Despues de elegir con todo esmero, por medio del análisis prismático, cierto número de cristales y flúidos colorados convenientes para el caso, examinó Huggins con su auxilio el disco solar directamente, y tambien proyectando su imágen sobre una pantalla en una habitacion convertida en cámara oscura, despues de haber descompuesto, y digámoslo así, filtrado la luz blanca á través de sus líquidos y cristales de color.

En una memoria presentada por Huggins á la Real Sociedad Astronómica en 1869 se lee: «Posteriormente, cuando las observaciones de la India me confirmaron en mis sospechas de que las protuberancias debian de presentar líneas brillantes, mostrando tambien su posicion en el espectro, ensayé un gran número de medios ópticos colorados. La dificultad estriba en encontrar dos medios cuya combinacion absorba la luz de todas clases de refrangibilidad, exceptuando precisamente la de la línea C ó de la línea F. Si además del color de la línea F pasa una pequeñísima parte de otro tono de distinta refrangibilidad, la luz difusa de la atmósfera borra y eclipsa las protuberancias. De todos los medios ópticos que ensayé, el que mas esperanzas me daba era una disolucion de carmin en amoniaco, que anulaba casi toda la luz mas refrangible que C, y una disolucion de clorofila, que daba una banda vigorosa de absorcion, borrando la parte mas brillante de la luz menos refrangible que C. Desgra-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ciadamente la banda de la clorofila mordia un poco el lugar correspondiente á la línea C debilitando por consecuencia la luz de las protuberancias. La banda de absorcion de la clorofila, como ha demostrado el Profesor Stokes, puede cambiar de sitio algun tanto en el espectro, por medio de los ácidos y los álcalis, y su posicion difiere ligeramente segun que la clorofila procede de distintas plantas; pero no he podido degradar la banda lo bastante para que la luz correspondiente á la refrangibilidad de C pase sin impedimento.»

Este plan, sin embargo, no respondió á las esperanzas que habia hecho concebir y en el invierno de 1868 comenzó de nuevo Huggins sus trabajos, empleando como medio un vidrio de color rojo que solo permitia el paso de este tono del extremo del espectro. El 13 de febrero de 1869 consiguió el ilustre astrónomo columbrar una protuberancia en plena luz solar, bastante bien definida, de modo que pudo determinar su forma y bosquejar su contorno.

Para esta investigacion hizo uso de un espectroscopio en el que habia introducido una estrechísima rendija entre los prismas y el objetivo del pequeño anteojo; esta ranura hacia que solo penetrasen en el anteojo los rayos cuya refrangibilidad correspondia exactamente á la de la línea C. Como la línea brillante C (H *alfa*) se presenta siempre en el espectro de las protuberancias, comprendió Huggins al verla en el campo del instrumento que una protuberancia se encontraba á su vez en el campo de la ranura; al ensanchar esta hasta el punto de ver la forma completa de la protuberancia, se hizo tan impuro el espectro, que el contorno de la imágen se dibujaba con suma dificultad; al propio tiempo, la luz procedente de las inmediaciones de C se hizo tan intensa que perjudicaba en alto grado á la sensibilidad del ojo. Aplicó entonces un vidrio encarnado para absorber los rayos de distinta refrangibilidad que la línea C y llegó á ver la protuberancia con completa y perfecta distincion. La figura 306 representa la primera protuberancia observada por Huggins valiéndose del método que acabamos de indicar y en plena luz del dia.



Fig. 306.— Primera protuberancia observada por Huggins en pleno Sol

Al mismo tiempo que Huggins, se ocupaban del propio estudio, aunque por distintos medios, los astrónomos Zöllner y Lockyer; el primero de estos, ya afamado por la publicacion de varios trabajos que demostraban su profundo conocimiento de las leyes de la óptica, habia expuesto sus ideas sobre el asunto que discutimos, en un tratado titulado *Ueber ein neues Spectroskop;* despues de examinar los diversos métodos propuestos para observar las protuberancias en pleno Sol, se decidió, encontrándolo mas acertado, por el que consiste en disminuir la intensidad de la luz atmosférica aumentando el número de prismas, con preferencia á los fundados en el movimiento giratorio de la ranura ó en la propiedad electiva de distintos medios absorbentes; no pudo, empero, llevar adelante sus estudios por carecer de los instrumentos adecuados. El método que Zöllner consideraba como mas conveniente venia á ser una combinacion del principio de Lockyer y del último sistema empleado por Huggins, esto es, que primero se trata de columbrar la línea espectral de la protuberancia, y luego se abre la ranura hasta el punto de que todo el apéndice, ó al menos una gran parte, se vea en el campo del anteojo analizador.

Cuando llegó Lockyer á saber el 27 de febrero de 1869 que Huggins habia conse-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

guido ver las protuberancias en plena luz solar con solo ensanchar la ranura del espectroscopio, se le ocurrió la misma idea que á Zöllner, de que aumentando el número de prismas se disminuiria considerablemente la luz difusa de la atmósfera,

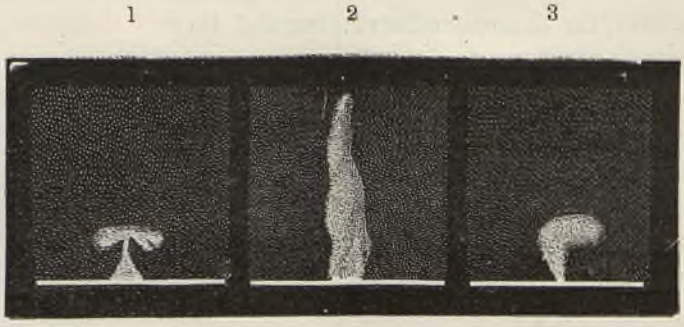


Fig. 307.—Protuberancias solares observadas por Zollner

2 julio, 3 horas, 20 minutos Limbo S. O. Altura = 38 segundos	1.° de julio, 3 horas, 45 minutos Limbo N. E. Altura = C 120 segundos	1.° de julio, 6 horas, 45 minutos Angulo de posicion = 76 grados Altura = 35 á 40 segundos

presentándose las protuberancias en toda su extension, si una de sus líneas v. gr. la azul-verdosa H *beta*, ó la roja H *alfa* se colocaba en el campo visual de un espectroscopio de gran poder dispersivo, y si se abria al mismo tiempo la ranura lo sufi-

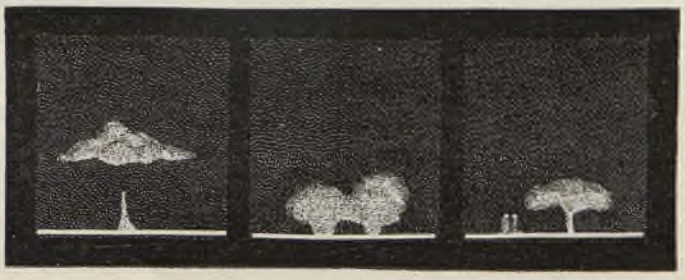


Fig. 308.—Protuberancias solares observadas por Zollner

2 julio, 11 horas, 35 minutos Angulo de posicion = 278 grados Altura = C 65	3 julio, 9 horas, 0 minutos Limbo S. E. Altura = C 40	4 julio, 6 horas, 30 minutos Limbo N. O. Altura = 35

ciente, como para que se percibiese la forma completa del apéndice solar. En esta época tenia ya en su poder el magnífico tele-espectroscopio de siete prismas construido por Browning, con el cual, despues de algunos ensayos, pudo comprobar la exactitud de sus suposiciones, siendo el primero que consiguió ver las protuberancias sin necesidad de emplear vidrios de color, ni medios absorbentes distintos de los prismas de su instrumento.

Valiéndose de los mismos medios vió Zollner las protuberancias por primera vez el dia 1.° de julio de 1869; publicó este astrónomo el resultado de sus observaciones acompañándolas de una serie de dibujos muy interesantes, de algunas de las protuberancias mas notables, que demuestran su orígen, desarrollo y desaparicion, todo ello del modo mas claro é instructivo.

En la fig. 307 presentamos algunas de las formas mas singulares de estas masas gaseosas y al mismo tiempo la fecha de la observacion, el punto del limbo solar por

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

donde se presentaron y su altura en segundos: respecto de sus formas hace Zöllner las observaciones siguientes:

«La primera protuberancia que observé se representa en la figura 307 n.° 1; sobre una masa cónica de extremado brillo que se proyectaba fuera del disco solar, se extendia una nube vaporosa de menor intensidad; al mismo tipo tambien pertenecen las protuberancias n.° 4 y 6 de la fig. 308.

»El número 4 era un objeto que excitaba la mayor sorpresa por la hermosa nube de cúmulos que flotaba á cierta distancia encima del cono. La contextura de la nube era notable por su suavidad y se percibian hasta sus menores detalles; los pequeños cúmulos ó elementos parciales que constituian la nube grande aparecian como débiles puntos luminosos.

»Una de las formas mas notables era la que se representa en el número 2; no me atrevia á creer lo que me revelaban mis ojos, pues me parecia que la nube estaba dotada de un movimiento ondulatorio análogo al de una llama. Este movimiento era, sin embargo, mas lento en proporcion al tamaño de la llama que el correspondiente á las otras expansiones de mayor potencia; el tiempo que exigia la propagacion de esta ola luminosa desde la base á la terminacion de la imágen, era de dos ó tres segundos.»

En muchos casos es indiferente la eleccion de la línea que se debe observar y puede escogerse la roja (H *alfa*) ó la azul verdosa (H *beta*); el ancho que hay que dar á la ranura depende del estado de la atmósfera; si el anteojo analizador del espectroscopio se fija sobre la línea C, y la ranura estrecha se dirige al limbo del Sol de modo que la línea roja (H *alfa*) aparezca en el campo visual, al ensanchar la ranura se verá la protuberancia de color rojo; si, por el contrario, se observa la línea F ó sea H *beta*, la misma forma será visible de color azul verdoso.

No estará de mas que indiquemos que, aun con una ranura muy estrecha, aparece en el campo visual una porcion considerable de la superficie del Sol; si esta abertura no pasa de un décimo de milímetro, y la imágen del Sol mide 2 $^1/_2$ centímetros como en el instrumento de Lockyer, los rayos que pasen á través de la rendija procederán de una parte de la superficie solar que no medirá menos de 1,300 leguas de extension.

Cada uno de los métodos que hemos descrito para observar el espectro de la cromo-esfera y el de las protuberancias, presenta sus ventajas particulares. Si lo que se desea es analizar simplemente las diversas líneas del espectro de la cromo-esfera, se debe examinar la imágen amplificada del Sol con una ranura estrecha; pero si el propósito es observar las formas de las protuberancias, se hace uso de la pequeña imágen directa del Sol formada en el foco principal del objetivo, la cual se estudia con ranura ancha.

Cuando la imágen directa del Sol mide unos 38 milímetros de diámetro, poco mas ó menos, como en la ecuatorial del Observatorio del Colegio Romano, y la ranura puede abrirse hasta unos 6 milímetros, no hay dificultad en ver toda la protuberancia de una vez, con tal que su altura no pase de 40″ ó 50″; si son mayores, hay que observarlas por secciones. De este modo, es decir, con la ranura muy abierta y colocada en direccion perpendicular al limbo solar, no es fácil observar en la pequeña imágen del Sol el espesor de la cromo-esfera, aun suponiendo que se extienda á cierta distancia, mientras que en la imágen amplificada puede verse y medirse sin ningun inconveniente.

Si la ranura ensanchada se coloca tangente, esto es, en una direccion paralela al limbo del Sol, aparece el estrato de la cromo-esfera como una banda brillante roja; sobre esta línea se ven unas pequeñas llamas filamentosas que por su estructura se parecen á los cactos que cubren los vallados en Andalucía; las protuberancias se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

distinguen del resto de la cromo-esfera por su luz que es mas viva, y en general porque su altura es mucho mayor.

Así que llega á desaparecer el espectro de la atmósfera terrestre á causa de la poderosa dispersion que sufre la luz, y cuando la porcion de la protuberancia visible en el campo del instrumento se proyecta con toda claridad, se mueve el anteojo analizador ó la ranura un poco hácia adelante, hasta que aparecen las hermosas imágenes que forman los brillantes apéndices y penachos luminosos que se observan en torno de la Luna durante los eclipses totales de Sol. Para formarse una idea exacta de la cromo-esfera y de su estructura, hay necesidad de estudiarla ensanchando moderadamente la ranura del colimador, disponiéndola en sentido tangente al limbo. Cuando el borde del disco se encuentra algo apartado de la ranura, de modo que sus rayos no ofendan la vista, desaparecen las líneas espectrales mas finas á causa precisamente del ancho que se da á la rendija; solo se ven las rayas principales *a* B, C, D, y para eso difusas y mal terminadas.



Fig. 309 — Borde ó canto de la cromo-esfera

En el momento en que la cromo-esfera entra en el campo, se ve este fondo oscuro, y en el lugar que ocupa C, una línea muy viva y brillante; su aspecto puede compararse al que presenta la raya invertida C de Fraunhofer cuando se examina el espectro con rendija estrecha. Cuando la atmósfera terrestre se encuentra muy agitada, no se llega á ver esta línea brillante sino en la region inmediata al disco solar en donde el centelleo del borde se acusa de un modo muy marcado en el espectroscopio; es raro que permanezca tan tranquila á pesar de la escintilacion de que acabamos de hablar. Este fenómeno puede explicarse del modo siguiente: las oscilaciones del aire hacen pasar á través de la ranura una corta cantidad de luz que proviene del borde solar; estos rayos son intermitentes, y como su luz es blanca, forman un espectro completo que invade no solo la raya C, sí que tambien todas las demás. La raya C permanece inmóvil, porque como es monocromática, no cambia su índice de refraccion; su intensidad es casi invariable porque la invasion de la luz blanca es ligera y rápida y queda reducida por el espectroscopio al color de la raya C.

Con un anteojo pequeño se ven con cierta dificultad los detalles y la configuracion interna de las llamas solares; en la fig. 310, números 1 á 13, se reproducen algunos dibujos de Lockyer, sobre prolongaciones de la línea C del espectro solar; la parte superior corresponde al espectro del cielo inmediato al Sol, en extremo debilitado por el gran poder dispersivo del espectroscopio, y en él aparece la línea roja H alfa, que al ensanchar la ranura toma la forma de la protuberancia visible en aquel sitio, representada en el dibujo de color blanco sobre fondo negro. En algunos casos (número 2) se observó que la protuberancia descendia, por decirlo así, á lo largo de la línea C; en otros aparecia la misma línea ondulada (número 4) ó interrumpida (número 11), terminando en una luz rojiza de forma romboidal; en el número 3 tambien aparecia la línea F ondulada, y la pequeña llama que se ve encima tenia el co-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lor azul verdoso peculiar de esta parte del espectro.

Cuando se examina la cromo-esfera con una amplificacion moderada, parece, por lo general, que su contorno se termina de un modo definido, como el de la superficie

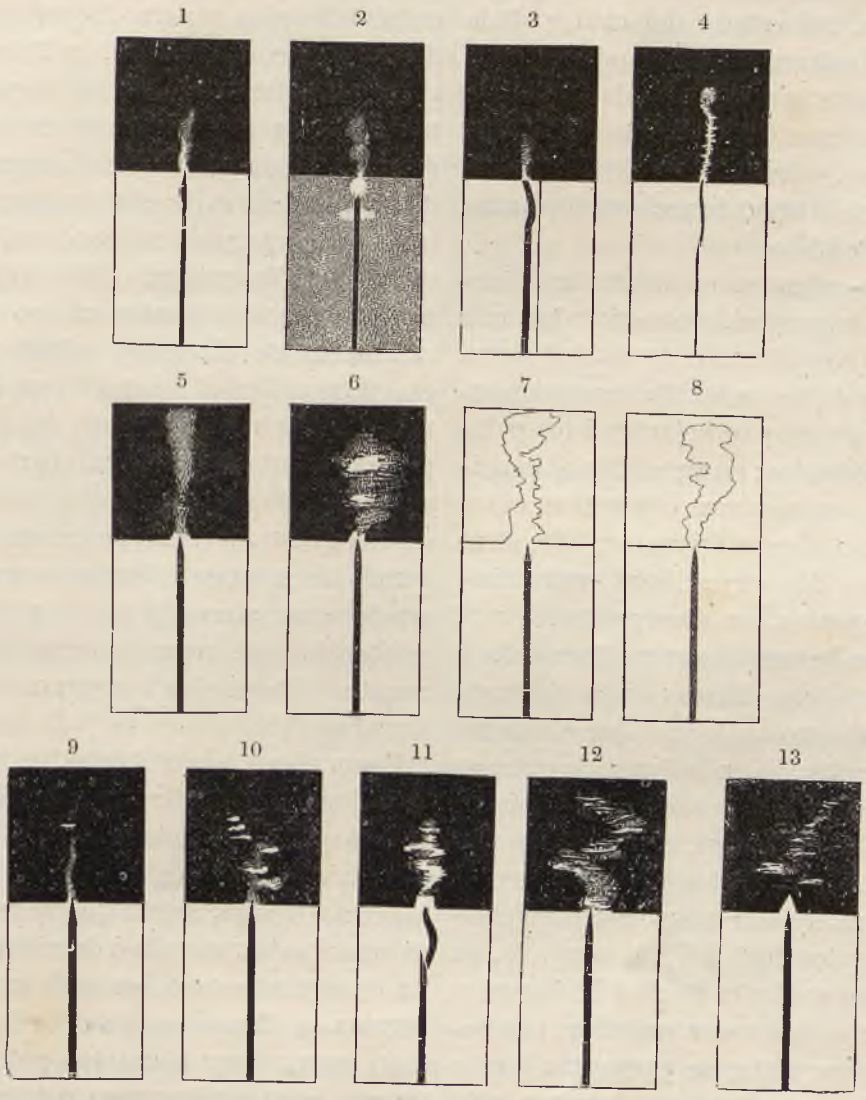


Fig. 310.—Protuberancias solares observadas por Lockyer

de un líquido tranquilo; con un aumento de mas consideracion se perciben sin dificultad los detalles de su estructura.

En su base, esto es, en la parte inferior que se encuentra inmediatamente en contacto con la superfice del Sol, presenta un tono mas vivo que en su parte superior, y por esto, cuando la rendija del espectroscopio se coloca perpendicularmente al disco, se ven las rayas terminadas en punta; esta capa aparece mas ó menos elevada segun el instrumento que se emplee; su elevacion parecerá mas considerable si el prisma está dotado de gran poder dispersivo, porque entonces debilita mucho mas la luz de la atmósfera terrestre. Las observaciones espectrales nos dan una altura de 10 á 15 segundos, pero los fenómenos observados durante los eclipses prueban que este valor es demasiado débil. Segun las observaciones de Eastman en Siracusa y de Respighi en la India, se percibe una débil coloracion rosa á una distancia de varios minutos. En cuanto á las observaciones que se efec-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

túan en pleno dia, se termina la parte visible en el lugar en que su intensidad luminosa es igual á la de la luz atmosférica dispersada por el prisma; su extension depende, pues, del estado del cielo y de la fuerza del instrumento. Cuando el cielo está puro, se ve con toda claridad y distincion; parece mas baja cuando el tiempo está nebuloso, y desaparece completamente si flotan en la atmósfera cirros formados por agujas de hielo.

La cromo-esfera se encuentra mal terminada por lo general, y observándola con un aumento considerable, se ve casi siempre cubierta de pequeños filamentos acabados en punta y muy semejantes á los pelos de ciertos animales; en extensiones considerables se encuentran estos filamentos inclinados todos en un mismo sentido; otras veces siguen dos direcciones contrarias, bien convergentes, ora divergentes.

A veces se desarrollan estos filamentos y forman verdaderas llamas cuyo conjunto ofrece un aspecto análogo al que presenta un campo cultivado en la época de quemar los rastrojos. Son en ocasiones tan pequeñas y finas estas llamas, que se asemejan mucho al césped de los jardines; sus dimensiones reales son enormes, pues subtienden ángulos de $^1/_5$ ó $^1/_3$ de segundo, es decir, que su ancho es de 25 á 50 leguas y su altura unas tres veces superior. Las llamas finas y pequeñas se presentan por lo comun en las inmediaciones del ecuador y su direccion cambia de un instante á otro con rapidez asombrosa.

Los filamentos delgados que parecen pelos se observan principalmente en las regiones tranquilas; á veces cubren extensiones inmensas y aun mas de la cuarta parte de la circunferencia, siempre inclinados en el mismo sentido; pero tambien se les ve cambiar bruscamente de direccion, y de convergentes se hacen divergentes y al contrario; cuando son muy bajos los filamentos, su direccion es por lo comun muy variable y es necesario que adquieran una altura muy grande como de 15 á 20 segundos para que ofrezcan cierta estabilidad en una gran extension. El P. Secchi concibió algunas dudas acerca de estas variaciones extraordinarias, y para disiparlas, se puso de acuerdo con Tacchini, de Palermo, con objeto de efectuar observaciones simultáneas, como así lo verificaron en varios dias del mes de junio de 1872. Comparando los dibujos obtenidos de esta suerte con entera independencia, pudo reconocer el ilustre Director del Observatorio del Colegio Romano, que muchos puntos en que las llamas cambiaban de direccion estaban situados exactamente en el mismo lugar, llegando á reconocer que la estructura del disco completo presentaba la misma apariencia para ambos observadores; no habia, pues, ilusion alguna que temer. Los fenómenos que acabamos de exponer al lector no son simples apariencias, sino objetos que tienen una existencia real, representados fielmente á nuestra vista por los instrumentos adecuados al efecto.

Hasta ahora, sin embargo, no ha sido posible formular una ley relativa á la direccion de los filamentos luminosos; lo único que parece cierto es la diversa tendencia que manifiestan, segun que se les examina en una época tranquila ó de actividad solar. En el segundo caso, es mas constante y regular su direccion, y la inclinacion comun parece ser hácia los polos. En las épocas de calma hay menos regularidad, ó en todo caso, no es tan general, imperando por lo comun en la region comprendida entre el polo y el paralelo de 40° de latitud; en el resto de la superficie se inclinan los filamentos, con gran frecuencia, hácia el ecuador, sin que sea raro, no obstante, verlos dispuestos en sentido contrario, en espacios muy considerables. En el año 1875, pasamos por una época de tranquilidad en que apenas se veian manchas ni protuberancias; la foto-esfera se encontraba muy baja, pues solo media 4 ó 5 segundos, formada á veces por una sola línea

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nudosa con algunas franjas tan pequeñas que casi no se percibian.

Sucede á veces, sobre todo en la region de las manchas, que la cromo-esfera presenta el aspecto de una red muy viva cuya superficie desigual y rugosa parece formada de nubes brillantes análogas á los cúmulos; algunas de estas nubes se dilatan y llegan á formar pequeñas elevaciones difusas en los mismos bordes, las cuales toman aspectos muy distintos y dimensiones muy considerables hasta el punto de constituir verdaderas protuberancias; vemos, pues, que no es posible establecer un límite ó separacion entre estas dos clases de fenómenos; cuando uno de estos montículos pasa de 30 segundos de elevacion, hay que considerarlo como una protuberancia.

En algunas circunstancias se observa una difusion considerable: las regiones superiores se asemejan á un crepúsculo cuyos tonos, vivamente acentuados, van desvaneciéndose progresivamente; es muy raro que la superficie se encuentre tan regular y llana como la de un liquido, y por lo comun se ven en ella puntos muy brillantes y de escasas dimensiones; en este caso se puede tener la seguridad de que de un momento á otro se producirá una erupcion violenta.

La cromo-esfera existe en todos los puntos de la superficie solar y hasta sobre las manchas mismas; cierto es que no por todas partes presenta el mismo espesor y en algunos puntos es en extremo delgada.

La mayor ó menor claridad y pureza con que se percibe, indica suficientemente si el estado de la atmósfera es favorable para las observaciones. Cuando no se la distingue bien y su esplendor no parece muy vivo, es inútil proseguir la observacion, pues no se podrán ver las protuberancias cuya luz es mucho mas débil que la de la cromo-esfera.

El ilustre P. Secchi, en su larga carrera de observador, tan solo en una ocasion pudo ver la cromo-esfera socavada en un punto; desaparecia en una extension poco considerable en un lugar que no correspondia con ninguna mancha, ó mas bien parecia eclipsada por un cuerpo opaco que dejaba ver, sin embargo, un delgado filete en la base, algo acentuado. Dicen varios observadores que encima de las manchas se percibe la capa rosa, delgada en extremo, pero este es un error manifiesto; pues no solamente se distingue la cromo-esfera sobre las manchas y en sus inmediaciones, sino que en estos lugares aparece mas brillante y elevada como pronto veremos.

La altura de la cromo-esfera no es uniforme en todo el contorno del disco solar; hay sobre todo dos regiones particularmente notables en este concepto; los polos y la zona de las manchas. En esta última region se ven á menudo unas llamas pequeñitas que convergen hácia los centros de erupcion; estas llamas presentan á veces un aspecto dentado con ramificaciones; en otros momentos se asemejan á cúmulos guarnecidos de puntas. En los polos son por lo comun mas elevadas, pero los filamentos son rectos, muy delgados y brillantes. El estado de la cromo-esfera depende de la actividad general del Sol, pero en las regiones polares, aun en las épocas de calma casi absoluta hay siempre bastante actividad, la cual se manifiesta por el esplendor y las dimensiones de las llamas que acabamos de describir. En 1875, época de calma, estaba la cromo-esfera mas elevada en los polos que en el ecuador.

Cuando hayamos estudiado mejor las relaciones que existen entre las protuberancias y el estado de la foto-esfera, haremos notar que las granulaciones de la superficie dependen de los filamentos cromo-esféricos de que acabamos de hacer mencion; por ahora nos limitaremos á describir los fenómenos.

Despues de haber hecho desaparecer el espectro de la atmósfera terrestre por medio de la poderosa dispersion que se hace sufrir á la luz, y cuando solo se distingue en el campo visual una seccion ó zona de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la protuberancia, á través de la ranura ensanchada, se mueve el anteojo ó la misma ranura ligeramente hácia adelante, hasta que aparezca una hermosa imágen luminosa de forma extraña é igual á las nubes y protuberancias rosas observadas durante los eclipses.

Se presentan las protuberancias bajo aspectos tan raros y caprichosos, que es absolutamente imposible describirlas con mediana exactitud. Con el nombre de protuberancias se designan los mas variados fenómenos, desde las sencillas elevaciones del espesor de la cromo-esfera, hasta las

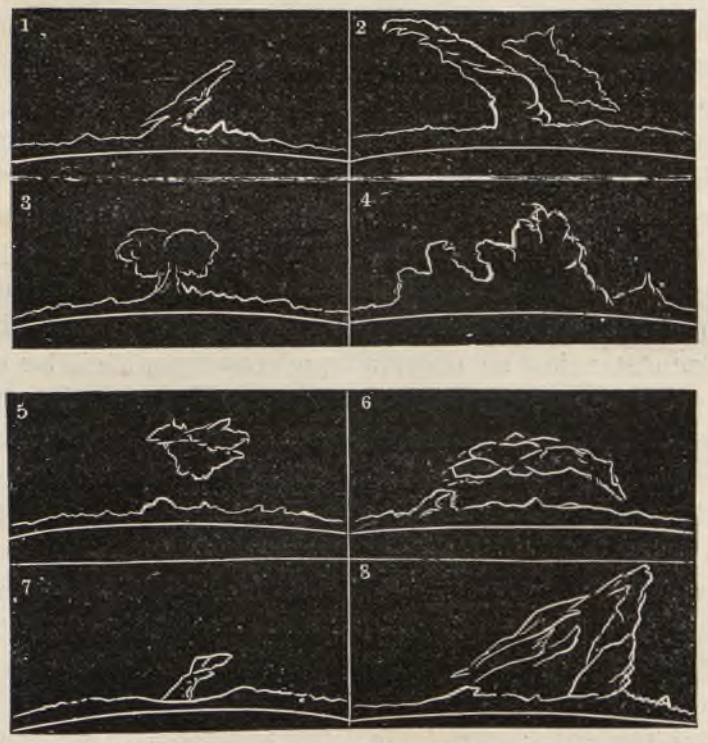


Fig. 311. — Protuberancias solares; conglomerados brillantes

erupciones gigantescas cuya altura alcanza á veces á la cuarta parte del diámetro solar, es decir, cincuenta y cuatro veces el radio de la Tierra. A pesar de esta inmensa variedad de formas, se ha conseguido, gracias á las muchas observaciones efectuadas, reducir los fenómenos ordinarios á un corto número de tipos que vamos á dar á conocer; pero en las crísis violentas presentan estas llamas volúmenes tan extraordinarios, movimientos tan rápidos y tan distintas intensidades, que el observador se queda absorto al contemplar tan varios problemas sin que le sea posible trasladar al papel los extraordinarios fenómenos que ha presenciado con su vista.

En la descripcion de las protuberancias vamos á seguir la clasificacion del P. Secchi, juez tan competente en este género de estudios.

Importa, ante todo, darse una idea exacta del conjunto de las protuberancias como las veriamos si la luz deslumbradora del globo solar, que nos oculta estos apéndices, desapareciese completamente. Las figuras de los eclipses que hemos reproducido en las páginas anteriores, aunque insuficientes, pueden dar una idea aproximada del contorno del Sol y sus protuberancias.

Las protuberancias de conglomerados brillantes, como las llama el P. Secchi, ofrecen gran semejanza con las nubes co-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nocidas con el nombre de cúmulos; por lo general son mas vivas y brillantes que la cromo-esfera y parecen ser una mera expansion de esta. A primera vista no se percibe mas que una masa confusa homogénea, sin trazas de organizacion; pero, examinándola con mayor atencion y empleando sobre todo aumentos cada vez mas considerables, se ven aparecer irregularidades análogas á las de nuestros cúmulos; como se ve en el dibujo, terminan á menudo en puntas pequeñas; aunque presentan una gran semejanza con las nubes de nuestra atmósfera, nunca se ven sus contornos tan redondeados ni tan claramente definidos.

Estas masas rara vez son permanentes; preceden por lo comun á las grandes erupciones, de manera que es necesario vigilarlas con atencion; es difícil que alcancen una gran altura, y las mas elevadas no pasan de 30 ó 40 segundos (5,625 á 7,000 leguas); á veces se elevan como globos, permaneciendo unidas á la cromo-esfera por un apéndice brillante.

La forma que representa la fig. 311 n.° 1



Fig. 312. — Cordillera de protuberancias, observada por Young

parece ser un desarrollo de la n.° 3, pero no se distingue bien porque su intensidad luminosa es menor. Las masas clasificadas en esta categoría se asemejan mucho á las nubes terrestres, pero son difusas en sus bordes. La forma de la fig. 311 n.° 2 es bastante rara, y el P. Secchi observó una protuberancia de esta clase que se desarrolló ante su vista en algunos minutos; á poco se desvaneció presentando una coloracion muy viva.

Cuando llegan las nubes filamentosas á cierta altura, se dilatan y difunden; tal es el orígen de los conglomerados nebulosos que ocupan casi siempre el vértice de las nubes brillantes bajo la forma de densas humaredas. En ocasiones parece que estas humaredas se apoyan inmediatamente en la cromo-esfera, pero la nube que las ha producido existe todavía y no se la distingue porque no se encuentra exactamente en el borde del Sol, pues basta que esté un poco mas adelante ó mas atrás para que sea invisible.

Los conglomerados difusos presentan una forma indecisa y mal terminada, como ligeras neblinas ó rastros de humo: esta clase de protuberancias se caracteriza por una estructura reticular y como celular, de modo que se diferencia mucho de los cúmulos. Se les puede comparar á las nieblas que se forman en las regiones elevadas de nuestra atmósfera, ó bien á los estratos en vía de disolucion, y tambien á las humaredas que se disipan en el aire. Su carácter especial es esta forma indecisa de un vapor que se disuelve.

Las protuberancias de forma de llamas y de nubes son las mas conocidas; la figura 312 representa una gran porcion de la cromo-esfera segun aparecia el 17 de setiembre de 1869, observada por el Profesor C. A. Young del colegio de Darmouth (E. U.). Su ángulo de posicion se extendia desde los 80° hasta los 110°, de modo que estas enormes masas de hidrógeno inflamado ocupaban en el limbo del Sol un arco que no media menos de 90,000 leguas; los pun-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tos de mayor brillo estaban situados en *a* y *b*.

Con la ranura bien abierta se observan pequeños cambios en la forma de las protuberancias, casi sin interrupcion; los grandes cambios tienen lugar, por lo comun,





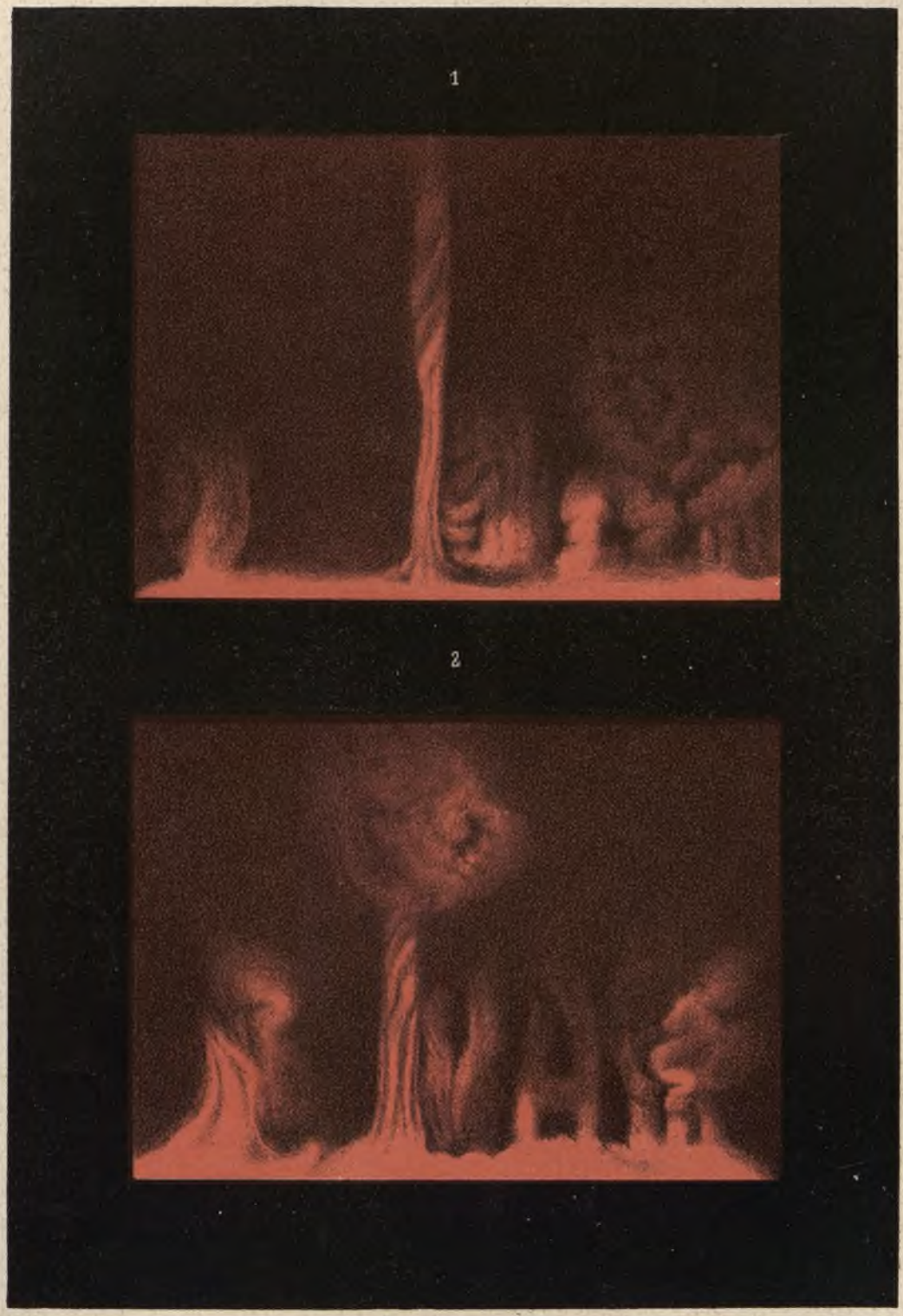
Figs. 313 y 314.—Borrascas solares observadas por Lockyer el 14 de marzo de 1869; primera y segunda fase

muy lentamente y de un modo casi imperceptible. En algunos casos, sin embargo, el cambio de forma de las protuberancias es tan extraordinario y ocurre con tal rapidez, que tan solo se puede atribuir á una agitacion violentísima de las regiones superiores de la atmósfera solar, á cuyo lado las tormentas ciclónicas de nuestra atmósfera son de todo punto insignificantes. Lockyer describe en los términos siguientes una terrible borrasca solar que presenció:

«El 14 de marzo de 1869, á eso de las $9^h\ 45^m$, con ranura targente al limbo del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Protuberancia solar observada por Zöllner
el 29 de Agosto de 1869
Angulo de posicion 160°



Imp. Labielle Barcelona

M. Pujadas, lit.

5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000

Leguas kilométricas

Nº 1
Hora $10^h\ 22^m$

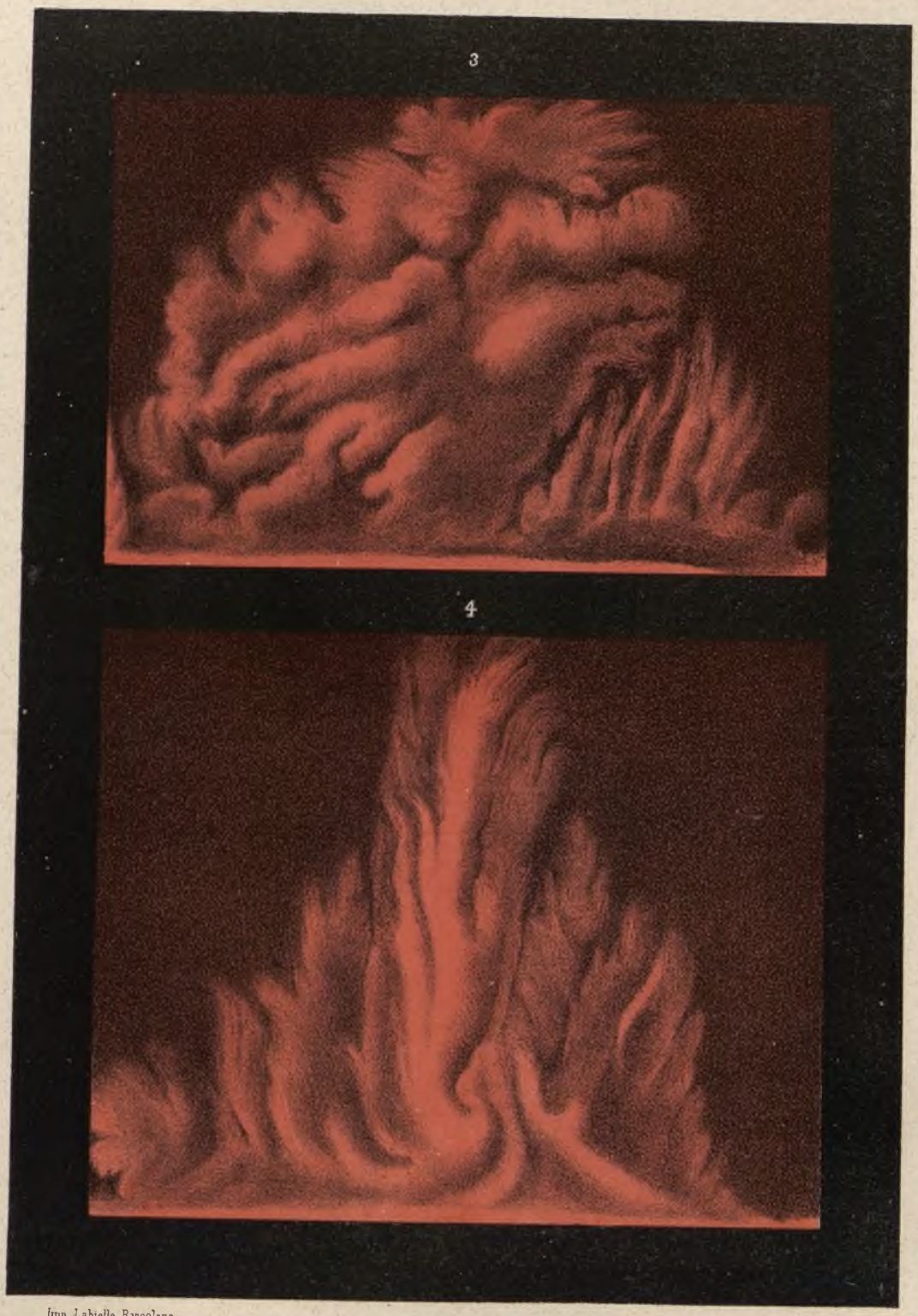
1 Y 2-MONTAÑA DE HIDRÓGENO INFLAMADO DE 17.000 LEGUAS DE ALTURA

Nº 2.
Hora $11^h\ 20^m$

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Protuberancia solar observada por Young
el 7 y 8 de Octubre de 1869
Angulo de posicion 70° - 80°



Imp Labielle Barcelona

M.Pujadas lit.

5000 10000 15000 20000 25000 30000

Leguas kilometricas

Nº 3. Fecha del 7 á $2^h 45^m$

3-MONTAÑA DE HIDRÓGENO INFLAMADO DE 24000 LEGUAS DE ALTURA

4- id id id **26000** id id

Nº 4. Fecha del 8 á $1^h 50^m$

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Sol, y no radial como es su posicion ordinaria, observé una hermosa protuberancia muy densa, cerca del ecuador solar, en el limbo oriental, sometida á no dudar, á una accion muy enérgica. A 10^h 50^m cuando disminuyó su fuerza, abrí la ranura y ví de seguida que su aspecto denso habia desaparecido por completo, y que en su lugar se observaban unas nubes filamentosas; la fig. 314—1.ª comprende dos protuberancias una irregular y otra perfectamente recta; este dibujo se terminó á 11^h 5^m y la altura de la protuberancia era de 1′ 5″ ó unas 11,000 leguas escasas. Salí del observatorio por algunos minutos, y al volver á las 11^h 15^m me quedé atónito al notar que la protuberancia recta habia desaparecido completamente, sin que se pudiera distin-



Fig. 315.—Modificaciones de unas protuberancias observadas por Young

guir ni el menor vestigio. Si se disipó por entero, ó si algunos de sus fragmentos se dirigieron á otras regiones, hé ahí lo que no puedo decir, si bien me parece la segunda hipótesis mas probable que la otra, en vista de la modificacion que experimentó la protuberancia que resistió á la tempestad.»

Los cuatro dibujos de la fig. 315 fueron hechos por el profesor Young, y se refieren á una protuberancia observada por este astrónomo el 7 de octubre del mismo año de 1869.

Su ángulo de posicion correspondia á los 125°, su ancho era de 7° y su altura de 75″. Los cambios que sufrió en su aspecto tuvieron lugar con rapidez extraordinaria; los cuatro dibujos se hicieron á las horas siguientes: 2^h 20^m, 2^h 35^m, 2^h 55^m y 3^h 30^m.

Un movimiento horizontal casi, de varias masas de nubes, era perceptible en el interior de la protuberancia. La forma del número 2 se asemeja á la gran protuberancia llamada *el águila*, observada durante el eclipse del 7 de agosto de 1869, en cuyo interior y parte mas baja mostraban las fotografías originales un movimiento ciclónico y en la superior otro centrífugo que permitia el escape del gas.

En las láminas adjuntas se representan dos protuberancias con sus colores naturales, segun se ven en un gran anteojo, con la ranura del espectroscopio muy abierta y dirigida á la línea roja C (H *alfa*). Pueden servir de tipo para caracterizar las protuberancias de las clases *eruptiva* y *nebulosa*, mostrando al propio tiempo los cambios notables de sus formas. La protuberancia números 1 y 2 fué observada y dibujada por el Profesor Zöllner, es de forma eruptiva y con marcado movimiento de rotacion: la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que se representa en la lámina siguiente números 3 y 4 se observó por el Profesor Young y es de carácter nebuloso; con auxilio de la escala que va al pié pueden medirse fácilmente sus dimensiones.

Así como los meteorologistas registran varias veces al dia las condiciones de nuestra atmósfera, con la esperanza de que la comparacion de estas observaciones produzca el descubrimiento de la ley que rige los movimientos del océano gaseoso en que vivimos, de igual manera, se propuso el Profesor Respighi, Director del Observatorio del Capitolio de Roma, observar diariamente el limbo entero del Sol cuando el tiempo lo permitiera; empezó su tarea en el mes de octubre de 1869. En sus observaciones incluia el estudio de las protuberancias y de la cromo-esfera, marcando en una línea recta que representaba el desarrollo del borde solar, la posicion, altura y forma de las protuberancias dia por dia. Colocando estas líneas que representan la circunferencia del Sol, unas debajo de otras, y cortándolas por otras rayas que indiquen las posiciones principales, se forma un dibujo que manifiesta con toda fidelidad, y de una sola ojeada, la distribucion de las protuberancias al rededor del limbo solar.

El instrumento usado por Respighi era una ecuatorial de 11 centímetros de abertura, con un espectroscopio de vision directa de gran poder dispersivo, construido segun el principio de Hofmann; en cada observacion se colocaba la ranura en direccion tangente al limbo del Sol, principiando por el punto que correspondia al polo boreal, y siguiendo todo al rededor de la circunferencia solar hasta terminar en el punto de partida; la situacion de la ranura la acusaba el círculo de posicion del anteojo. En cada ajuste se podia examinar un arco de la circunferencia solar de 20°, de modo que en diez y seis veces se observaba todo el limbo. La presencia de una protuberancia se acusaba del modo descrito anteriormente, por la linea roja C (H *alfa*) que se extendia á mas ó menos distancia de la cromo-esfera, al separar la ranura estrecha del borde del sol. Con objeto de observar la forma de la protuberancia se ensanchaba la ranura hasta que comprendia toda la elevacion de esta línea; si su altura excedia de 1' se hacia la observacion por fracciones partiendo del borde solar, pues si se ensanchaba la ranura demasiado, se hacia la luz tan brillante que apenas se podia soportar.

Por este método dibujó Respighi en poco tiempo unas 8,000 protuberancias; algunas de las mas notables por su forma pueden verse en la adjunta lámina. La del 23 de julio parece un dragon que apoya en la tierra la extremidad de su cola, sosteniéndose derecho con las alas desplegadas; la del 23 de agosto pudiera confundirse con un sauce lloron de los que adornan nuestros cementerios, y en la del 11 de marzo se ve un perrillo que va á entrar en una selva.

La del 18 de abril pertenece al tipo que Secchi califica de *llamas*, característica por su forma cónica y por la direccion de los filetes de que se compone; las llamas rara vez son rectas, y por lo comun presentan curvas, como producidas por una violenta corriente: en la lámina hay varios ejemplos de esta clase. Algunas veces se inclinan tanto, que tocan en la cromo-esfera por sus dos extremos (véanse las protuberancias del 24 de agosto, 5 de setiembre y 30 de julio). En otras circunstancias presentan una doble curvatura; en realidad estas llamas están animadas de un movimiento espiral que solo vemos en proyeccion.

A menudo se dividen las llamas en su parte superior, en varias ramas que siguen distintas direcciones; á veces el vértice mismo se encorva en una direccion opuesta á la que tiene en la parte inferior, como si el impulso violento que ha lanzado la materia en una primera direccion estuviese dominado por un viento poderoso que reinase en las regiones superiores; las llamas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



25 Noviembre 9h 45m | 5 Setiembre 1h | 12 Agosto 11h



30 Julio 9h 16m | 26 Agosto 6h 15m | 1 Julio 2h 25m



7 Octubre 2h 50m | 12 Noviembre 10h 20m | 26 Febrero 10h 40m



25 Octubre 10h 40m | 28 Octubre 1h 24m

Imp. Labielle Barcelona.

0 5 10

Escala en diámetros

Los ángulos de posicion se cuentan d

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

S OBSERVADAS POR RESPIGHI EN 1870.



24 Noviembre 3h 48m

23 Julio 10 h



29 Octubre 12 h 30m

4 Enero 1h 15m

2 Octubre 9h 45m



24 Agosto 12h

18 Abril 10h 7m

23 Agosto 10h



2 Diciembre 1h

11 Marzo 4h 40m

10 15 20 25

M. Pujadas, lit.

en diámetros terrestres.

cuentan de 0º á 360º del N. hacia el E.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

filamentosas están á menudo dominadas por conglomerados nebulosos semejantes á humaredas ligeras que el viento arrastra por los aires (véase la protuberancia del 2 de octubre).

Con el nombre de *flores* designa el P. Secchi dos formas bastante diferentes; la primera se caracteriza por hilos que convergen en el vértice; el conjunto presenta el aspecto de una coliflor; en la segunda son los hilos divergentes como en la protuberancia de 5 de setiembre. A menudo se encuentran estas flores yuxtapuestas de modo que forman largas cadenas; á veces se encuentran como suspendidas sobre la cromo-esfera y por lo general son ligeras y poco luminosas y de extension considerable; suelen ocupar 30 ó 40 grados de latitud, y como tardan tres ó cuatro dias en pasar por el contorno del disco solar, se observa que tienen la misma extension en longitud.

Parece indicar esta estructura, á primera vista, que en el sol se producen grandes erupciones á través de las aberturas de la foto-esfera; esta hipótesis no es indispensable en absoluto; pues muy á menudo observó el P. Secchi en las altas regiones de la atmósfera terrestre, nubes que presentaban formas semejantes en los dias en que el viento estaba próximo á cambiar de direccion; los cirros de estructura filamentosa replegados sobre sí mismos representan perfectamente las *flores* suspendidas de que hemos hablado. Es, pues, evidente, que para explicar esta forma no hay necesidad de suponer que existan agujeros de erupcion, observacion muy importante para la teoría.

Tambien presentan en ocasiones los filamentos divergentes, el aspecto de un abanico, ó mas bien el de un penacho formado con plumas flexibles, que suelen alcanzar dimensiones colosales; su apariencia es grandiosa y de suma belleza, y los mas sorprendentes fuegos artificiales no sirven ni para dar una pobre idea de este magnífico espectáculo. Pueden dividirse en dos clases distintas; unos brillan con luz tranquila, cuya inmovilidad, léjos de perjudicar á la impresion que produce su aspecto, les comunica por el contrario cierta majestad imponente; á estos se da con preferencia el nombre de *penachos*. El de *surtidores* se reserva para otros fenómenos cuya forma parece idéntica á primera vista, pero de muy distinta estructura. Los filamentos muy luminosos y finos, y perfectamente cortados, presentan una movilidad extraordinaria. Distingue el P. Secchi una forma que llama *radiante*, cuyo aspecto se asemeja al de un abanico compuesto de rayos rectos divergentes, cada uno de los cuales parece un cono muy aguzado. Las puntas son por lo comun muy cortas y vivas, é indicio cierto de violentas erupciones: este descubrimiento se debe á Tacchini; y el P. Secchi vió en una ocasion que los rayos alcanzaron unas dimensiones colosales, permaneciendo perfectamente rectos; la forma rectilínea es, sin embargo, muy inestable y no tarda mucho en encorvarse ligeramente, en cuyo estado se le observa por lo general.

Además de estos rayos divergentes en forma de conos, se observan á veces unos sistemas de rayos filiformes, muy delgados, que ocupan pequeñas porciones del borde.

Las distintas formas que acabamos de describir pueden existir simultáneamente en una misma protuberancia, de donde resultan otras formas compuestas que se encuentran, por lo comun, sobre las manchas, en las épocas de gran actividad; estas combinaciones dan lugar á unas formas en extremo variadas, imposibles de describir particularmente. El lector que quiera estudiar este asunto con mas detenimiento puede consultar las grandes colecciones y trabajos publicados por Zöllner, Huggins, Tacchini, Respighi y otros, en las *Memorias de los Espectroscopistas italianos*. Winlock tambien publicó unos dibujos muy interesantes de las protuberancias observadas en el Observatorio de Cambridge (E. U.).

Se da por el P. Secchi el nombre de *nu-*

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

bes suspendidas á unas masas muy vivas, bastante persistentes, que brillan con gran esplendor y que parecen como centros de radiacion luminosa, perfectamente aisladas y suspendidas á cierta altura sobre la cromo-esfera; estas nubes lanzan como chorros de luz en todas direcciones, pero con mas frecuencia de abajo arriba, ó vice-versa, en cuyo caso parece que se contempla una lluvia de fuego. Puede á veces el observador ser testigo de la manera que tienen de formarse estas nubes, viéndolas desarrollarse ante su vista. Se elevan unos filamentos muy vivos, que al llegar á cierta altura se condensan, produciendo unos conglomerados nebulosos y brillantes; una vez formadas estas nubes permanecen suspendidas, y al cabo de cierto tiempo llegan á desaparecer los chorros ó filamentos que servian para alimentarlas; si no ha podido el observador ver prácticamente las fases que acabamos de describir, le será imposible adivinar y reconocer el orígen de los fenómenos que estudia. Esta teoría se aplica á un gran número de casos, pero no puede servir para explicar la formacion de todas las nubes. El Sr. Tacchini ha visto formarse durante sus observaciones algunos de estos conglomerados, sin notar el menor indicio de los filamentos ó chorros que acabamos de describir, y que sirven, segun la teoría del P. Secchi, para producirlos y alimentarlos. A veces ocurre que, en lugar de chorros ascendentes, se ve que las nubes irradian de arriba abajo produciendo una lluvia de fuego que dura mucho tiempo; lo probable es que estos conglomerados radiantes estén formados por vía de condensacion en el seno de la atmósfera solar. El P. Secchi observó una nube extraordinaria el 25 de agosto de 1872; era una llama inmensa, completamente aislada, con un núcleo casi redondo, radiante en su parte inferior como un globo incandescente que lanzaba unos chorros de alto abajo: hubiérase dicho que se trataba de un cometa abrasado; su altura era de unos tres minutos; por espacio de tres horas que duró la observacion no se notó ninguna variacion considerable; al dia siguiente todavía duraba, si bien su volúmen habia disminuido grandemente.

Tacchini observó un gran número de nubes que lanzaban de arriba abajo chorros semejantes á lluvias de fuego; el 18 de setiembre de 1873 estudió Secchi, con el astrónomo citado, una de esas masas brillantes que se habia formado despues de una erupcion violenta: parecia un arco de parábola: una de sus ramas, la mas baja, no dejó de lanzar hácia la cromo-esfera una verdadera lluvia incandescente, mientras que la mas alta iba disminuyendo en extension.

Estas masas aisladas se elevan á veces á alturas inmensas; el P. Secchi observó unas cuantas el 3 de abril de 1872, que eran de las mas altas que jamás habia visto; algunas de las medidas efectuadas por dicho astrónomo, en estas circunstancias, son como sigue:

Horas de observacion		Alturas		
8h	44m	259"	ó	4'19
8	50	345		5'45
9	0	372		6'12
9	10	449		7'29
9	15	244		4'44
9	36	trazas		

De estos números resulta que, de 8h 44m á 9h 10m, creció la altura de la protuberancia unas 32,580 leguas, lo que da un término medio de 22,6 leguas por segundo; su altura máxima era igual, poco mas ó menos, á la cuarta parte del diámetro solar.

IV

Erupciones solares

El análisis de los fenómenos que acabamos de estudiar nos lleva á dividir naturalmente las protuberancias en tres clases.

1.ª Unas son pacíficas y tranquilas, formadas por una materia próxima á disol-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

verse y difundirse en un espacio libre, como el humo en nuestra atmósfera.

2.ª La segunda clase posee una estructura filamentosa; la materia que la compone está evidentemente arrastrada por una fuerza cualquiera, lo cual es orígen de estos chorros que se entrelazan unos con otros, á causa de los movimientos caprichosos á que se encuentran sometidos. Estas masas, de estructura filamentosa, se ven á veces suspendidas en la atmósfera solar sin union con la capa rosa; en este caso ofrecen una gran semejanza con las nubes que flotan en nuestra atmósfera, y estas distintas circunstancias demuestran la existencia de corrientes rápidas y enérgicas; no por ello debemos suponer, sin embargo, que haya un centro eruptivo propiamente dicho.

3.ª Pero hay una tercera clase de fenómenos imposibles de explicar, sin admitir la existencia de una fuerza considerable dirigida de abajo arriba y que levante las masas de materia abrasada; la existencia de esta fuerza no puede ponerse en duda, sean como quieran su naturaleza y orígen, y ya se deba á la ligereza específica de las materias que componen las protuberancias, ó bien á una fuerza impulsiva que provenga del interior del Sol. Pronto veremos que hay protuberancias gigantescas para las cuales es indispensable la intervencion de una fuerza semejante; nos bastará con citar aquí, como ejemplo, una protuberancia observada por el P. Secchi el 12 de julio de 1872, en el centro de una mancha que habia llegado al borde del disco. En medio de una masa de llamas muy extensas, se veia un chorro ó filete muy delgado que se elevaba á la altura de 80 segundos sin experimentar ninguna agitacion, absolutamente como el humo de una bujía que se apaga en un aire tranquilo; mas al llegar á esta altura, se dividia en varias ramas formando un penacho muy sutil; algun tiempo despues comenzó el penacho á condensarse de modo que formó una niebla nebulosa, desvaneciéndose al cabo en filetes muy finos. No es posible explicar este fenómeno sin recurrir á una fuerza ascensional muy intensa. Este filete estaba lanzado, sin duda alguna, de abajo arriba, bien por una fuerza de impulsion análoga á la que un líquido pesado ejerce sobre un cuerpo dotado de menor densidad, ora por una impulsion del interior de la masa solar. Casi se pudiera creer que existieran cráteres de erupcion semejantes á los de nuestros volcanes, si fuera posible admitir que en el Sol hubiese algun cuerpo sólido.

Pero sin llegar hasta ese extrèmo, tenemos que creer necesariamente en la existencia de un fuerza eruptiva; los estudios profundos y continuados del P. Secchi le demostraron que las protuberancias se dividen claramente en dos categorías: unas son tranquilas y pacíficas, con formas que persisten durante largo tiempo, y sin ser absolutamente fijas, se transforman con bastante lentitud como para que solo se puedan comprobar estas variaciones sino al cabo de un tiempo considerable; su potencia luminosa es muy débil.

Las otras, por el contrario, poseen una luz muy viva; cambian rápidamente de forma y su violenta actividad acusa intermitencias muy pronunciadas. El espectroscopio nos ha revelado que ambas clases de protuberancias presentan caractéres esencialmente distintos; las primeras solo contienen hidrógeno y la sustancia que da la raya D_3; en las otras se encuentran vapores metálicos muy diversos como de sodio, magnesio, calcio, hierro, etc. Ahora vamos á estudiar estos fenómenos con toda la atencion que exige la importancia del asunto.

Las erupciones se distinguen de las protuberancias propiamente dichas por los caractéres siguientes:

1.º Una luz en extremo brillante; así sucede á veces que la cromo-esfera, aun en los puntos que no presentan gran elevacion respecto de los demás, se distingue por su brillo extraordinario; entonces se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

encuentra guarnecida de puntas rectas y agudas. Este esplendor, conservando inalterable el índice de refraccion de la raya C, modifica el color de los rayos correspondientes, así que les da un tono particular y característico.

2.° En las erupciones, los movimientos y cambios de forma son rápidos en extremo; los surtidores de gas presentan la forma de filetes delgados y cortados, mientras que en los demás fenómenos ofrecen un aspecto difuso y nebuloso.

3.° Como la materia sale lanzada con velocidad tan considerable, resultan parábolas y espirales de formas elegantes que no suelen verse en los casos comunes.

4.° La moderada duracion y las intermitencias que caracterizan las erupciones, contrastan con la persistencia de las protuberancias propiamente dichas; estas intermitencias, precisamente son las que hacen tan difícil el estudio de los fenómenos eruptivos, é impiden que á menudo se puedan aprovechar los momentos mas importantes y comprender las relaciones que existen entre las diferentes fases que se suceden.

5.° Las materias eruptivas contienen siempre, además del hidrógeno y el hélio, un gran número de vapores metálicos; la presencia ó la falta de estos vapores ofrece, pues, un carácter específico perfectamente detallado, que permite dividir los fenómenos que estudiamos en dos categorías muy distintas.

6.° Las erupciones de vapores metálicos solo se manifiestan en la region de las manchas, hecho de la mayor importancia, que mas adelante estudiaremos con la atencion que merece. Spörer, de Anclam, distingue las protuberancias en dos categorías, unas *tranquilas* y otras *flamantes*; estas últimas son precisamente las que dan los espectros de los vapores metálicos.

Siéndonos imposible establecer leyes generales relativas á estos fenómenos, seguiremos una marcha distinta, y presentaremos al lector la historia de algunas erupciones notables, con lo cual se podrá formar una idea general de los caractéres comunes á todos los hechos, aparte de las circunstancias infinitamente variadas que presentan en particular.

La erupcion se manifiesta, por lo general, en los puntos en que la cromo-esfera brilla con mas esplendor, ó en los que aparecen llenos de puntas rectas y agudas. En una ocasion vió el P. Secchi un conglomerado muy vivo de la cromo-esfera, del cual salian varios rayos ó surtidores cortos y macizos que poco tardaron en desaparecer; tan brillante era, que se le veia perfectamente á través de las ligeras nubes que pasaban por delante del Sol; á poco aparecieron unos rayos perfectamente rectos y cortados; uno de ellos se prolongaba con una velocidad de 48 leguas por segundo y alcanzó una longitud de 1′ 25″, esto es, casi seis veces el diámetro de la Tierra. Despues de una serie de alternativas semejantes, cambiaron completamente de aspecto los surtidores luminosos, trasformándose de tal modo, que dieron orígen á una nube difusa en los bordes, terminando así el fenómeno.

No concluyen siempre de un modo tan brusco las erupciones violentas, y á menudo presentan formas mas complexas: el P. Secchi vió una vez una masa semejante á una nube grande sostenida al parecer por columnas de fuego; estas masas son con frecuencia muy vastas, y la que observó el sabio jesuita se dividió en dos mitades antes de que se pudiera concluir el dibujo; á derecha é izquierda se veian unos filetes luminosos que pertenecian á la mitad de la masa que habia desaparecido: continuando la observacion muy atentamente, se llegó á reconocer por Secchi la estructura y el modo de formacion de esta nube brillante. Los filetes rojos, que partian de la cromo-esfera bajo el influjo de un fuerte impulso, permanecian perfectamente distintos mientras que su velocidad era grande; al llegar á ciertas alturas perdian esta

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

velocidad y se enrollaban unos en torno de otros, formando así como masas redondeadas que presentaban el aspecto de un vasto cúmulo; por encima se amontonaban otras nubes mas débiles y apenas visibles.

El 13 de abril de 1870 tuvo lugar otra erupcion: se distinguian claramente dos centros de accion; el principal lanzaba una columna oblicua cuya forma parecia la proyeccion de una curva helizoidal; una parte de la masa descendia, mientras que la otra continuaba su movimiento ascendente, de lo que resultó una masa nebulosa difícil de describir; su altura total era de 4′ 30″, es decir, 34,760 leguas. El segundo surtidor ofrecia menor elevacion, pero tenia el mismo brillo. Esta erupcion duró hora y media y en este tiempo cambiaron las formas muchas veces con gran rapidez, hasta que todo desapareció.

La forma de los surtidores luminosos es por lo comun de una belleza y elegancia imposible de describir; parecen verdaderos ramilletes de fuego y fuentes de luz que caen graciosamente describiendo curvas parabólicas, ó que se arrollan sobre sí mismas; lo que mas maravilla no son los surtidores parabólicos, sino las formas helizoidales, y parece que se ve rebotar la materia luminosa que tiende á caer. Son tan rápidos sus movimientos que, como hemos dicho, no dan tiempo á veces para acabar los dibujos; para darse una idea de la velocidad que debe poseer la materia en estas erupciones hay que recordar que un arco de 1″ subtiende una cuerda de 715 kilómetros ó 178,7 leguas; con frecuencia se observa, en algunos instantes, que se operan trasformaciones en una extension de dos y tres minutos, es decir, de 25,000 leguas próximamente.

Los detalles que acabamos de exponer acerca de estas formaciones maravillosas nos permiten deducir las conclusiones siguientes:

Las materias que producen el fenómeno de las protuberancias son, por lo general, gases incandescentes elevados hácia las regiones superiores por fuerzas cuyo orígen nos es casi desconocido. ¿Resultarán estos movimientos de la ligereza específica de la materia luminosa, ó habrá que atribuirlos á una fuerza impulsiva procedente del interior del globo solar? El P. Secchi no se atreve á afirmar ninguno de ambos extremos, pero cree tener derecho para emplear la palabra *erupcion* al tratar de los fenómenos que nos ocupan; y refiriéndose á la incredulidad de Faye, dice, que si este astrónomo declara que en los hechos observados no hay nada que justifique esta expresion, debe atribuirse á que jamás ha observado con sus propios ojos lo que tantos astrónomos han visto infinitas veces; y si llega hasta el extremo de decir que todas las circunstancias de estos fenómenos se hallan en contradiccion con el sentido recto de la palabra empleada, hay que achacarlo al influjo de ciertas preocupaciones teóricas irreconciliables con los hechos que se observan habitualmente. Sigue diciendo Secchi: «Tenemos la certidumbre de que si hiciese algunas observaciones personales cambiaria completamente de opinion; esto es lo que sucedió con las protuberancias, que al principio se consideraron como una ilusion óptica producida por el espejismo. No hay duda, de que la simple inspeccion de un fenómeno no nos autoriza para deducir conclusiones prematuras, y no se debe confundir la *descripcion* de un hecho, con la teoría que lo explica; pero en este caso nos parecen tan claros los fenómenos y tan evidente su explicacion, que no podriamos ni aun anunciar los hechos tales como se nos presentan, sin emplear la palabra que hemos adoptado, siguiendo en esto el ejemplo de un gran número de astrónomos que se ocupan de la misma cuestion.»

La materia sale lanzada en línea recta, y tambien se encuentra animada de movimientos vorticosos que dan á los surtidores el aspecto de espirales cuyos ejes toman

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

toda clase de posiciones, desde la vertical hasta la horizontal. Estos movimientos vorticosos, sobre todo los de eje horizontal, deben resultar, necesariamente, de una fuerza eruptiva combinada con violentas corrientes dirigidas en sentido normal á la fuerza ascendente. Por la simple aspiracion no pueden explicarse los fenómenos que acabamos de describir.

Al llegar á cierta altura, cambian de aspecto las masas luminosas; se mezclan y confunden perdiendo así el aspecto filiforme para tomar una apariencia nebulosa, como el humo que se desvanece en el aire; continuan subiendo, pero se difunden progresivamente y concluyen por desvanecerse; debemos deducir que estos movimientos se efectuan en un medio resistente; y es probable que, en este caso, la fuerza motora se deba únicamente á la ligereza específica de los flúidos, mientras que los fenómenos que presentan otras apariencias suponen además una fuerza de impulsion de distinto origen.

El medio resistente á que nos referimos es la atmósfera solar; ya hemos dicho que debe de existir y que su altura basta para explicar la presencia de las masas luminosas que se encuentran suspendidas y aisladas en el espacio; como límite inferior le hemos asignado 5 ó 6 minutos, es decir, 53,600 ó 64,200 leguas; para satisfacer á las observaciones que hemos citado poco ha, hay que extenderla hasta 7' 30", lo que da en números redondos la mitad del radio solar. La observacion de los eclipses ha comprobado la exactitud de esta conclusion; la aureola de hidrógeno observada en en estos casos resulta manifiestamente de la disolucion del gas que proviene de las protuberancias; su altura equivale, cuando menos, á la cuarta parte del diámetro solar.

Las protuberancias se componen, por lo general, de surtidores ó chorros filiformes; hay que suponer, pues, que estos hilos luminosos están sometidos á una fuerza de expansion, pero no es necesario admitir que estén lanzados á través de los orificios practicados en una pared resistente, sólida ó líquida. A menudo vemos en nuestra atmósfera nubes de igual estructura sin que pueda explicarse así su formacion; en la atmósfera solar se distinguen nubes aisladas, completamente desprendidas de la cromo-esfera, que tienen asimismo una estructura filamentosa; estas, por lo menos, no han debido ser lanzadas á través de un orificio, y por consecuencia, debemos rechazar por inútil semejante hipótesis puramente gratuita.

Por lo demás, si se tienen en cuenta las dimensiones de estos hilos ó filetes luminosos, se verá que es inútil la suposicion de un orificio resistente para circunscribirlos; una masa de aceite volátil produce al arder una columna de humo limitada en su base por la extension de la masa en ignicion; los hilos pueden de igual manera estar limitados por la extension de la masa incandescente que los produce; los mas delgados tienen un espesor de 50 á 75 leguas y algunos llegan á presentar un grueso que equivale á 4, 5 y aun 10 veces el diámetro de la Tierra, es decir 30,000 leguas próximamente.

En cuanto á la materia que compone principalmente las masas de las protuberancias, sabemos que es el hidrógeno, que se encuentra sobre la cromo-esfera en gran cantidad, mezclado con la sustancia de la raya D_3. Aquí se presenta naturalmente una cuestion de la mayor importancia. ¿El hidrógeno que así se desprende en las erupciones procede de la masa interna del Sol? En caso afirmativo resultan dos consecuencias inevitables; la masa interior debe agotarse, y, además, el volúmen de la atmósfera tiene que aumentar indefinidamente por la acumulacion del gas que llega por todas partes. En efecto, las largas series de observaciones del P. Secchi le han demostrado que en las épocas de gran actividad se ven, por término medio, doce ó trece centros de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

accion cada dia; llevando en cuenta la rotacion solar, se presenta en el contorno del disco la décimacuarta parte del globo en veinticuatro horas, de modo que podemos decir que hay constantemente un gran número de centros de erupcion, doscientos por lo menos, en plena actividad sobre la superficie del Sol. Es, pues, enorme la masa de hidrógeno que de esta suerte se escapa sin interrupcion, y no puede caber duda de que la masa interior llegará al fin á agotarse, modificándose las condiciones físicas del astro de un modo sensible, en un período relativamente corto.

A esta objecion se ha contestado señalando la masa enorme de la materia solar; el hidrógeno se encuentra sometido á una presion en extremo grande y ocupa un espacio considerable, de manera que podrá alimentar durante millares y millones de siglos las erupciones de que somos testigos; se agotará, sin duda, pero en una época remotísima, lo cual es muy probable.

Esta respuesta no es satisfactoria, sin embargo, pues solo resuelve una parte de la dificultad; aun admitiendo que haya en el interior del globo solar un manantial casi inagotable de hidrógeno, debemos preocuparnos del influjo que puede tener el gas que se escapa constantemente del interior al exterior; es indudable que ha de acumularse en la atmósfera solar en bastante cantidad como para manifestarse de un modo apreciable en un período relativamente corto. Y, sin embargo, si hemos de juzgar por la aureola que se observa durante los eclipses y por el conjunto de las apariencias que presenta el Sol, parece cierto que la constitucion de este luminar no se ha modificado desde hace uno ó dos siglos. Aun puede avanzarse mas y afirmar que, juzgando por el influjo general que ofrece sobre la Tierra, ha permanecido en condiciones idénticas durante todo el período histórico.

Dos medios se presentan para evitar estas dificultades: 1.° seria necesario admitir que las erupciones no son mas que levantamientos de la masa cromo-esférica, cambios de nivel de las capas superficiales y que estas mismas materias caen nuevamente en el Sol despues de haber adquirido por el enfriamiento una densidad mas considerable; 2.° tambien podria explicarse el mismo fenómeno por la disociacion de un compuesto químico resultante de la combinacion del hidrógeno con alguna sustancia desconocida, quizás la que da orígen á la línea D_3. Estas sustancias, separadas un momento, podrian combinarse de nuevo despues de haberse enfriado en las regiones superiores, cayendo en seguida en el Sol.

Imposible es decir cuál de estas dos hipótesis debe preferirse, pues no conocemos ningun hecho decisivo, de modo que muchos astrónomos admiten todavía la opinion de la emision indefinida, y contestan á las objeciones que acabamos de señalar diciendo que el hidrógeno, en vez de acumularse en la atmósfera del Sol, se difunde incesantemente en los espacios planetarios, y suponen al propio tiempo que en este fenómeno hay que buscar la causa de las auroras polares y de la luz zodiacal. Pero en contra de todo esto se presentan graves dificultades y aun verdaderos imposibles; 1.° El espectro de la aurora boreal y el de la luz zodiacal no son iguales y difieren del que exhibe el hidrógeno; no puede pretenderse haber encontrado la verdadera explicacion de estos fenómenos sirviéndose de esta ilusoria explicacion para demostrar la hipótesis en que se apoya. A lo mas pudiera decirse que todo el hidrógeno extendido de tal modo en los espacios planetarios, demasiado frio para aparecer luminoso por sí mismo, se encuentra iluminado por la reflexion de los rayos solares, pero en este caso debiera producirse el fenómeno en todas direcciones, y ya sabemos, por haberlo estudiado en los capítulos anteriores, que no sucede así con la luz zodiacal. 2.° Por otra parte, esta emision indefinida disminuiria constantemente la masa del Sol, dis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

minucion que deberia con el tiempo ejercer una influencia sensible sobre el movimiento de los cuerpos celestes; nada de esto se ha observado por los astrónomos, aunque es cierto que se ha pretendido que la caida de los meteoritos tiende á aumentar constantemente la masa del Sol, pero esta compensacion de que se ha echado mano como último recurso, es muy incierta.

Sobre este punto ha expresado el P. Secchi su opinion de un modo muy concreto; segun el sabio jesuita, en todas las acciones de la naturaleza hay un principio de compensacion que tiende á mantener el equilibrio en medio del movimiento; así debe ser tambien en los fenómenos que se verifican en el Sol, y en particular en las erupciones de que nos ocupamos en este momento; por esta razon, le parece mas probable al P. Secchi la primera de las dos hipótesis que hemos indicado, segun la cual, tan solo habria una simple circulacion de hidrógeno, que las variaciones sucesivas de la temperatura llevaria á las regiones superiores para dejarlo caer en seguida. Con frecuencia se ven las materias eruptivas, incandescentes aun, volver á caer en el Sol, y con mayor motivo debiera producirse este movimiento cuando la temperatura hubiese descendido considerablemente; ahora bien, segun las observaciones del P. Secchi, se eleva el hidrógeno á una altura de 6 ó 7 minutos y á veces mas, y entonces se ve disminuir la luz y apagarse á menudo con gran rapidez, luego se enfria y se hace mas denso y es mas natural creer que descienda de nuevo hácia las regiones de donde salió.

La altura de las protuberancias es sin duda variable; pero resulta de las observaciones que las partes mas brillantes no pasan jamás de 200 á 250 segundos. Encima solo se distinguen materias nebulosas y difusas que deben hallarse en extremo rarificadas; ya no se encuentra la estructura filar con sus masas compactas y sus formas detalladas. Se puede, por tanto, asegurar que, las llamas propiamente dichas no se elevan nunca sobre el límite que hemos indicado; sobre las llamas se encuentran las nubes que ocupan una extension casi igual, por manera que la materia roja no pasa de los 400 á 500 segundos. Las protuberancias compuestas son las que alcanzan la mayor elevacion; su altura es, por término medio, igual á la mitad de su base; un chorro ó surtidor aislado rara vez llega á los 90 segundos. Segun las observaciones de Secchi, las protuberancias y las erupciones varian periódicamente y su período coincide, con corta diferencia, con el de las manchas solares, por consiguiente, en el período de actividad se dilata la atmósfera solar y es posible que en el período de calma vuelva á recuperar sus dimensiones primitivas. En 1875 estaba muy baja la cromo-esfera, las erupciones metálicas eran muy raras y las protuberancias propiamente dichas, poco numerosas.

La rapidez con que se producen los movimientos y trasformaciones que acabamos de describir es en extremo variable; á fin de hacerla comprender mejor vamos á presentar algunos ejemplos.

El 26 de mayo de 1871 observó el P. Secchi una masa nebulosa que tenia de altura 1′ 30″; hora y media despues era doble su elevacion, lo que supone una velocidad de 12 kilómetros por segundo; este movimiento, que no es exagerado, lo producia, sin duda alguna, la ligereza específica de la materia incandescente; á menudo se observan velocidades de 60, 80 y hasta 100 kilómetros por segundo; en una sola ocasion vió Secchi un movimiento de 250 kilómetros (62 leguas); la erupcion del 16 de octubre de 1871 fué mas rápida aun, puesto que dió una velocidad media de 92 leguas. M. Young ha presenciado fenómenos semejantes y estudió movimientos de 200 y 300 kilómetros por segundo. El 3 de abril de 1873 observó Secchi la nube mas alta de todas las que habia visto hasta esa fecha, y subia con una velocidad de 22 leguas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La erupcion observada por Young hubiera debido elevarse unas 103 leguas por segundo, si no hubiese experimentado cierta resistencia que le oponia el medio en que se movia; pero hay que distinguir la velocidad inicial con que sale lanzada del globo solar la materia incandescente y la rapidez con que se eleva de seguida. Mas adelante hablaremos de la velocidad inicial; lo que se observa directamente es el tiempo que tarda una erupcion en desarrollarse, y la extension que entonces ocupa; de su propagacion se deduce la velocidad media, que es de la que hablamos en este momento y de la que vamos á tratar de dar una idea por medio de varios ejemplos.

El 17 de abril de 1871 á $11^h\,50^m$ observó el incansable P. Secchi en el borde sudoeste del Sol, un grupo de fáculas muy vivas, y en el centro, una mancha que estaba á punto de pasar al otro hemisferio; encima de las fáculas brillaba un conglomerado de chorros luminosos de un minuto de altura próximamente; se dirigia en sentido oblícuo y estaba coronado por una masa de nubes de poca extension; al cabo de algunos minutos vió otra masa nebulosa que se desarrollaba con extraordinaria rapidez; á las $12^h\,15^m$ se formó á la izquierda otro surtidor que daba orígen á unas nubes que se reunian, al parecer, á la anterior, pero fácilmente se conocia que eran independientes entre sí. El surtidor principal seguia desarrollándose; se hallaba coronado por una especie de cabellera que se extendia sin cesar, formando un inmenso arco parabólico, ó mas bien espiral, que cubria por completo el surtidor secundario; su parte superior estaba dominada por una masa enorme de nubes, imposibles de describir y cuya forma se modificaba de un modo contínuo; su altura era de 4 minutos poco mas ó menos y su velocidad de 36 leguas por segundo. El P. Secchi y sus ayudantes hicieron rápidamente un dibujo, pero era imposible terminarlo, pues los cambios eran demasiado rápidos, á las $12^h\,30^m$ todo habia concluido y solo se veian algunas llamas en los lugares de donde habian salido los surtidores inflamados; las observaciones se continuaron con toda atencion hasta las 4_h, pero sin que se presentara nada parecido á tan magníficos fuegos artificiales.

Este ejemplo demuestra que no son exageradas las pomposas descripciones de los observadores, si bien nos sorprenden por las dimensiones colosales de los fenómenos y por la rapidez con que se producen los cambios de forma. Como llevamos dicho, Lockyer y Respighi observaron desde el principio velocidades de 75 á 100 leguas; Respighi asegura que ha visto velocidades iniciales de 150, 175 y hasta 200 leguas por segundo, pero en concepto del P. Secchi, estos números exigen confirmacion. Hay que reconocer que las erupciones no presentan muy á menudo una extension tan grande, y tambien puede suponerse que las medidas no ofrecen todo el rigor que fuera de desear; sin embargo, es opinion unánime de los astrónomos que estos números no se apartan gran cosa de los verdaderos.

Lockyer y Respighi hablan de fenómenos que han observado y que comparan á explosiones que se sucedieran con cortos intervalos; llegan á emplear las palabras *bombas* y *detonaciones*, expresiones que sin duda se les escaparon durante la sorpresa del primer momento, inspiradas por la comparacion, que naturalmente se presenta al espíritu, entre las erupciones solares y los fenómenos que muestran los volcanes; pero, por extraordinarios que parezcan los términos empleados por los observadores, indican con certidumbre que las acciones mecánicas cuyas manifestaciones presenciaron, son de incomparable violencia.

No debemos apresurarnos, empero, á admitir sin exámen ciertas velocidades exorbitantes; un cuerpo lanzado de abajo arriba con una velocidad inicial de 612 kilómetros (153 leguas) se alejaria indefini-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

damente del Sol y saldria de su esfera de atraccion antes de que se anulase su velocidad y jamás volveria á caer en el astro; explosiones capaces de imprimir á los cuerpos velocidades de 600 á 800 kilómetros producirian, pues, una difusion de la materia solar en los espacios planetarios. Verdad es que estas explosiones no tienen lugar en el vacío; la resistencia de la atmósfera del Sol disminuye constantemente la velocidad y puede, en ciertas circunstancias, impedir la difusion de que hablamos; pero la densidad de esta atmósfera no es muy considerable y si la velocidad inicial fuera realmente de 800 kilómetros, no bastaria la resistencia para evitar que saliese la materia fuera de la esfera de atraccion y se extendiera en el espacio. Hay pues, que aguardar á que nuevas observaciones confirmen y den como verdaderas estas velocidades extraordinarias.

V

Distribucion de las protuberancias

Las observaciones que sirvieron al P. Secchi de elementos para el estudio de la distribucion de las protuberancias, comprenden sesenta y dos rotaciones solares completas, seguidas todas en el Colegio Romano; agregó además tres períodos de Respighi que abrazan el período anterior del 26 de octubre de 1869 al 30 de abril de 1871, cuya importancia pronto apreciaremos. En todo se comprenden seis años y tres meses de observaciones; no hay duda de que este período no basta para deducir leyes definitivas, pero puede indicarnos algunas cosas muy importantes que presentaremos al lector como un ensayo de lo que nos guarda para el porvenir este estudio fecundo.

Para la discursion que vamos á emprender es preciso, ante todo, distinguir el número absoluto de las protuberancias de su número *relativo*. El primero depende de la asiduidad del observador, del estado del cielo, de la bondad del instrumento y del criterio práctico que se forma el astrónomo para la clasificacion de los objetos; es el número bruto de las observaciones recogidas, el cual debe modificarse por correcciones convenientes para que sea comparable á los otros. Así, pues, durante un mes sereno de verano se recogerán muchas observaciones, toda vez que pueden hacerse todos los dias en condiciones favorables; en invierno ocurrirá lo contrario y el mal tiempo disminuirá considerablemente el número de dias de observacion. Si por las cifras obtenidas se procediese á juzgar de la frecuencia de las protuberancias se cometerian grandes errores; es evidente que hay que referirlas á cada dia individual, dividiendo la suma por el número de ellos, para obtener la frecuencia relativa; pero, si se trata de estudiar solamente la distribucion de estos objetos sobre el borde solar, no es necesaria esta operacion, pues si los bordes están completos, el número que corresponda á cierta parte del contorno será siempre relativo al total anotado.

En el cuadro siguiente se ha hecho un resúmen de la fecha aproximada del principio de la rotacion, tomando la duracion sinódica de veintisiete y de veintiocho dias alternativamente; luego, en las columnas 3 y 4 el número total absoluto de las protuberancias registradas, con separacion de ambos hemisferios; despues en la columna 5 el número de dias de observacion para cada rotacion; cuando este número es muy pequeño hay que atribuirlo al estado del cielo, pues el dia que el P. Secchi estaba ocupado observaba en su lugar el P. Ferrari; estos astrónomos efectuaron varias series para determinar su ecuacion personal y al cabo llegaron á encontrarse sensiblemente de acuerdo. La columna 6 da la relacion del número total y del número de dias de observacion.

En cuanto á las dimensiones se ha fijado el límite mínimo de altura en 3 unidades de la escala de Secchi, esto es, en 24 segundos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Hay, sin embargo, una circunstancia que no debe pasar desapercibida y que tiende á disminuir el número al principio de la serie y á aumentarlo al fin; lo cual consiste en que mientras son muy numerosas las protuberancias se encuentran muchas en la misma decena de grados, y se evalúan todas como una sola de ancho igual á su suma, perdiéndose tambien involuntariamente muchísimas pequeñas. Por el contrario, en las épocas de mínima es raro que se encuentren varias protuberancias en la misma decena de grados, y el observador lleva siempre cuenta con mayor esmero de las mas pequeñas; esta observacion debe servir de regla para apreciar ciertos resultados.

En una segunda parte del mismo cuadro se registra el número de grupos *nuevos* de manchas que aparecieron en cada rotacion; pero, como la cantidad de manchas se evalúa muy arbitrariamente por este número, se da su superficie tal como se mide en los dibujos diarios del Observatorio, siendo la unidad de superficie un cuadrado de 8 segundos de lado. Sigue el número de dias de observacion de las manchas, y por último, su superficie dividida por el número de dias de observacion (columnas 7, 8, 9 y 10).

RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES DE LAS PROTUBERANCIAS Y DE LAS MANCHAS SOLARES DEL 23 DE ABRIL DE 1871 AL 11 DE DICIEMBRE DE 1875

Rotaciones.	Principio de las rotaciones	PROTUBERANCIAS				MANCHAS			
		Número total en el hemisferio.		Dias de observacion	Núm total dividido por el n.° de dias.	Núm. de grupos.	Superficie	Dias de observacion.	Superficie dividida por el número de dias.
		Norte	Sur						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	23 abril 1871	156	200	25	14,24	27	4237	26	162,9
II	22 mayo	188	196	24	16.12	29	2080	26	80,0
III	19 junio	187	199	26	14,85	23	1727	26	66,4
IV	16 julio	222	220	28	15,78	19	2546	28	90,9
V	13 agosto	174	200	25	14,96	22	3042	25	121,6
VI	10 setiembre	123	140	18	14,61	20	1262	27	56,7
VII	8 octubre	92	108	14	14.28	22	1342	18	74.5
VIII	5 noviembre	50	60	8	13,75	39	1021	17	60.0
IX	3 diciembre	116	133	16	15,56	17	1079	18	63,4
X	1 enero 1872	80	116	14	14,00	25	980	19	51.6
XI	27 enero	109	123	17	13,65	27	2121	23	92.2
XII	25 febrero	107	109	14	15,43	20	1338	19	70,5
XIII	24 marzo	76	81	13	12,07	28	1699	20	84,9
XIV	23 abril	110	109	18	12,16	20	2358	24	98,2
XV	21 mayo	115	114	20	11,45	21	2762	27	102,3
XVI	18 junio	145	146	26	11,19	31	2648	27	98,0
XVII	16 julio	161	194	28	12,68	26	2095	28	74,8
XVIII	13 agosto	140	147	25	11,48	28	877	26	33,7
XIX	9 setiembre	68	88	15	10,40	19	1576	22	71.6
XX	5 octubre	65	64	14	9.21	18	1205	19	63,4
XXI	5 noviembre	62	68	11	11.82	23	2803	21	133.5
XXII	4 diciembre	48	62	9	12,22	10	1206	19	63,5
XXIII	1.° enero 1873	76	74	15	10,00	23	1332	20	66,6
XXIV	29 enero	84	116	19	10,53	23	2659	23	115.6
XXV	26 febrero	53	77	15	8,66	19	2258	20	112,9
XXVI	26 marzo	91	97	18	10,44	17	1338	21	63,7
XXVII	23 abril	87	93	17	10,59	11	539	21	25,6
XXVIII	19 mayo	67	72	17	8,18	10	877	22	39,9
XXIX	15 junio	96	119	25	8,60	18	1051	28	37.5
XXX	13 julio	100	124	27	8,48	16	1238	27	45,8
XXXI	9 agosto	53	52	18	5,83	11	811	27	30.0
XXXII	6 setiembre	95	95	23	8,26	15	713	25	28.5
XXXIII	3 octubre	58	31	14	6,36	14	587	24	24,4
XXXIV	1.° noviembre	53	45	13	7,54	19	470	20	23,5
XXXV	28 noviembre	63	57	15	8.00	16	795	23	34,6
XXXVI	26 diciembre	59	72	16	6.94	15	882	21	42.0
XXXVII	22 enero 1874	70	65	19	7.10	17	992	24	41,3
XXXVIII	19 febrero	75	65	16	8.75	16	823	24	34.3
XXXIX	18 marzo	44	49	13	7.15	11	619	18	34.4
XL	15 abril	52	45	13	7,46	8	428	20	21,4

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Rotaciones	Principio de las rotaciones	PROTUBERANCIAS				MANCHAS			
		Numero total en el hemisferio		Dias de observacion	Núm total dividido por el núm de dias	Núm. de grupos	Superficie	Dias de observacion	Superficie dividida por el número de dias
		Norte	Sur						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XLI	12 mayo	53	54	15	7,13	18	411	21	19,6
XLII	9 junio	53	43	16	6.00	12	1053	24	43,9
XLIII	6 julio	62	42	16	6,50	13	1855	28	66.3
XLIV	3 agosto	63	48	13	8.54	11	1267	21	60,3
XLV	30 agosto	92	71	19	8,58	13	300	22	13,6
XLVI	27 setiembre	44	31	10	5,67	10	592	19	31,2
XLVII	24 octubre	55	78	17	2,07	8	234	19	18,1
XLVIII	21 noviembre	17	18	7	9.50	7	216	11	19,6
XLIX	18 diciembre	13	8	4	5,05	6	63	8	7,9
L	15 enero 1875	40	28	13	5.23	7	147	17	8.6
LI	11 febrero	36	33	9	7,66	7	336	15	22,4
LII	11 marzo	30	30	11	5.45	10	320	17	18,8
LIII	7 abril	30	25	10	5,50	8	577	19	30,4
LIV	5 mayo	25	20	15	4.33	3	61	23	2,6
LV	1.° junio	23	22	12	3,79	8	410	20	20,5
LVI	29 junio	15	34	10	4.05		100	19	5.3
LVII	26 julio	64	60	22	5.06		113	23	4.9
LVIII	23 agosto	72	59	18	7.3	7	100	24	4,2
LIX	19 setiembre	29	24	7	7,5	5	75	13	5,6
LX	17 octubre	28	31	11	6,3	7	228	15	15,2
LXI	13 noviembre	21	25	8	5,7	5	73	11	6,6
LXII	11 diciembre	37	30	13	5,2	8	140	15	6,9

El exámen del cuadro anterior nos lleva á las conclusiones siguientes:

1.° Si consideramos el número medio de las protuberancias visibles en el borde solar, sin hacer mencion de su magnitud, vemos que este número varia mucho con el tiempo; hay, en ciertas épocas, una disminucion muy sensible que llega casi á una desaparicion absoluta; en la XX^{a} rotacion se reduce á una tercera parte el número de las protuberancias y de quince baja á diez. Continúa esta diminucion y en la LV^{a} rotacion es aun menor del tercio; tomando en consideracion los dias aislados es mas sensible todavía la diminucion; al principio se veïan con frecuencia hasta cuarenta protuberancias separadas, y en los últimos dias se presentaron nada mas que dos ó tres (enero 1876). Esta diminucion de las protuberancias es aun mas notable segun la evaluacion de su superficie calculada como ya indicamos: se encuentran, v. gr. los valores siguientes:

Rotacion	Superficie
III	11,634
XX	1,222
XL	1,129
LV	637

2.° Si consideramos únicamente las protuberancias cuya altura pasa de 40 segundos, segun una porcion de cuadros que no podemos reproducir aquí, resulta una diminucion aun mas notable, á contar de la VI^{a} rotacion (setiembre); esta diminucion continuó, salvo pequeñas oscilaciones, hasta 1876, época en que eran muy raras las protuberancias.

3.° Si consideramos las protuberancias cuya altura pasa de 40 segundos, es aun mas notable la diminucion á contar de la V^{a} rotacion; hubo, pues, un máximo de actividad entre la I^{a} y la V^{a} rotacion, es decir, despues del mes de abril hasta el mes de agosto de 1871; á este máximo siguió una época de calma relativa en la fuerza que produce las protuberancias.

Con la diminucion del número debemos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

señalar tambien la falta casi absoluta de erupciones vivas de las que dan espectros metálicos, y la ausencia casi general de inclinacion acentuada y de curvatura de los surtidores.

Trazó tambien el P. Secchi un cuadro relativo á la distribucion de las protuberancias segun las latitudes, de 10 en 10 grados. De su estudio resulta que al principio de la serie hubo dos máximos, uno en el hemisferio norte, situado entre 20 y 30 grados, y el otro en el hemisferio sur entre 10 y 20°. Hasta la VI^{a} rotacion se observaron además dos máximos secundarios, muy claramente pronunciados en ambos hemisferios entre 70 y 80 grados; se debilitaron progresivamente hasta que desaparecieron. Las observaciones de Respighi comenzadas en octubre de 1869, prueban que en esta época no existian los máximos polares, de modo que se desarrollaron en el curso del año de 1870 y alcanzaron su máximo en abril de 1871.

Al principio de la serie se presentó un mínimo secundario en el ecuador, entre cero y 10 grados norte y dos mínimos principales hácia los 60 y 70 grados norte; por último, otros dos mínimos en los polos; estos mínimos secundarios principiaban á disminuir desde la primera rotacion y llegaban á desaparecer; los mínimos principales se alejaban progresivamente del ecuador y concluian por coincidir con los polos.

En estos eran las protuberancias bastante numerosas y persistentes en la época de los máximos secundarios, y tambien en las quince primeras rotaciones; pero en seguida empezaban á escasear y desaparecian completamente al fin de la serie. Para saber si estos fenómenos son periódicos hay que aguardar las revelaciones de las observaciones futuras.

Las protuberancias no invaden las regiones polares sino en las épocas en que el Sol manifiesta grande actividad; es digno de llamar la atencion que, en estas mismas regiones, cuando faltan las protuberancias, conserva la cromo-esfera un resplandor mas vivo que las demás porciones del disco; estos cambios se producen, sin duda alguna, segun ciertas leyes que quizás nos revelen observaciones posteriores.

En 1875 estaba la cromo-esfera muy alta en los polos, y pudiera ser que estos fenómenos nos permitieran, con el tiempo, reconocer si las variaciones del diámetro polar señaladas por los astrónomos á principios del siglo son reales, ó errores de observacion.

El máximo principal de frecuencia de las protuberancias corresponde á la region de las fáculas y de las manchas; el mínimo secundario, situado en las regiones ecuatoriales, cae en la parte del disco que separa las zonas reales de las manchas y las fáculas. Los máximos secundarios corresponden á los límites de las granulaciones que se observan al rededor de los polos en las épocas de mayor actividad; estas apariciones no son constantes y se extinguieron en 1873, y con ellas las protuberancias; en esta misma region presentaba mayor altura la corona segun demostraron los eclipses.

De la IX^{a} á la XI^{a} rotacion vemos que reaparecen las protuberancias polares, pero que duran poco; esta es una de esas fluctuaciones de corto período que nos son familiares, pero cuya causa es todavía un misterio. Despues de la L^{a} rotacion reaparecen los máximos entre 50 y 60 grados, y un máximo, quizás relativo, existe para las manchas de esta época.

En otro de los cuadros trazados por el P. Secchi se puede estudiar la relacion que existe entre la altura de las protuberancias y sus latitudes. Segun las observaciones del ilustre jesuita, hasta finalizar la V^{a} rotacion, la altura media era de 7 unidades próximamente, es decir, de 56 segundos, pero disminuyó con rapidez durante las rotaciones siguientes, reduciéndose á 40 segundos, poco mas ó menos, y por último á 32 segundos. Al final solo se notaban al-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

gunas pequeñas exageraciones de la cromo-esfera.

La altura media es siempre mas considerable en la zona de los máximos, pero en las últimas rotaciones, en las que no hay protuberancias polares, se notan alturas de cierto valor entre 30 y 40 grados. A estas regiones, precisamente, corresponden las protuberancias de la corona, observadas durante los eclipses.

Las protuberancias cuya altura llega, cuando menos, á 8 unidades ó 64 segundos, presentan un máximo en el hemisferio norte en la region comprendida entre 30 y 40 grados, y en el hemisferio opuesto entre 20 y 30 grados. En los polos, por muy numerosas que sean las protuberancias, jamás alcanzan alturas considerables y son en extremo raras las que llegan á 64 segundos. Entre la X^{a} y la XIII^{a} rotacion, época en que la actividad solar iba disminuyendo, presentaba la cromo-esfera, por lo comun, una elevacion muy grande en las inmediaciones de los polos, que á veces llegaba á medir hasta 3 unidades ó 24 segundos. En 1875 disminuyó tanto la altura de la cromo-esfera que llegó á anunciarse por algunos astrónomos que habia desaparecido, lo cual no era cierto, pues solo se habia reducido á un filete sin llama ni puntas, y con buenos instrumentos eran perfectamente visibles los filamentos; sin embargo, la dificultad de verla con un instrumento mediano, tal dia, al paso que con los mismos instrumentos se observaba en otro dia, demuestra que en efecto variaba.

La altura de las protuberancias no es proporcional á su esplendor; esto depende, por lo general, de la naturaleza de las sustancias metálicas incandescentes, que tienen mas brillo que los gases. Las protuberancias mas vivas se encuentran en la region de las manchas, y alcanzan, durante las erupciones, alturas considerables; pero tambien se encuentran algunas muy altas hácia los 40 grados en donde son raras las manchas. En esta region precisamente, próxima á la de las manchas, se producen las alturas máximas durante los períodos de tranquilidad, de lo que resulta la forma cuadrada de la atmósfera solar; estas protuberancias, no obstante, son poco luminosas y no presentan los caractéres de las llamas de erupcion, ni se reconoce en ellas la presencia de los metales.

Cuando las protuberancias contienen vapores metálicos, no se elevan estos mas de 60 ó 70 segundos y el resto lo ocupan el hidrógeno y el helio; las erupciones pequeñas, rodeadas de una cromo-esfera muy brillante y erizada de puntas, son por lo general muy ricas en vapores metálicos; habitualmente solo se les observa en las zonas de las manchas. El P. Secchi recomendaba que se estudiasen las protuberancias bajo el punto de vista del esplendor luminoso, el cual es á veces tan grande, que entonces se puede dar á la ranura una anchura cuatro veces mayor que de ordinario.

Llama el P. Secchi, *ancho* de una protuberancia, al número de grados que ocupa en latitud heliográfica; las regiones en que las protuberancias son mas numerosas y elevadas son tambien aquellas en que poseen mayor anchura. Por término medio, el ancho es doble de la altura, pues en este caso, la unidad es el grado del perímetro, que vale próximamente 16 segundos; hay que guardarse, sin embargo, de atribuir á esta ley una generalidad que dista mucho de poseer, pues sucede á menudo que algunas protuberancias muy bajas tienen un ancho considerable.

Para estudiar de un modo útil lo concerniente al ancho de las protuberancias, era necesario adoptar un método especial que el P. Secchi comunicó á la Sociedad de los Espectroscopistas italianos; la anchura, tal como este sabio la define, solo se refiere á la extension en latitud heliográfica. En cuanto á la extension en longitud, todavía no se ha discutido numéricamente; pero examinando los dibujos publicados por Tacchini, es fácil comprobar que las pro-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tuberancias se suceden con gran persistencia sobre un mismo paralelo, de manera que ocupan en longitud arcos de 50, 60 y mas grados. El ilustre Director del Observatorio del Colegio Romano trató de ver si presentaban alguna dislocacion en sentido de la latitud, pero no llegó á obtener ningun resultado cierto. Para estudiar la distribucion en longitud trazó las curvas de las áreas de todas las rotaciones; cada rotacion completa da dos contornos enteros del Sol, uno en el borde oriental y el otro en el occidental. Combinando las observaciones hechas en cada semi-circunferencia se obtiene el contorno completo en catorce dias; por este procedimiento se pudo comprobar durante varias rotaciones sucesivas que las curvas presentan regularmente máximos y mínimos en iguales puntos de longitud; los máximos corresponden á las regiones en que son mas numerosas las manchas, si bien hay, no obstante, irregularidades muy notables, puesto que las protuberancias se presentan con gran abundancia hácia los 40° de latitud donde las manchas son raras.

Las protuberancias que se observan en latitudes elevadas, fuera de la region de las manchas, son, por lo comun, simples expansiones filamentosas de la cromo-esfera, y no se deben, como las que se producen en la vecindad de las manchas, á verdaderas erupciones de vapores metálicos procedentes del interior de la masa solar. Su presencia comienza á manifestarse en el límite de las zonas reales, en el lugar en que principian las granulaciones menos vivas de la superficie del astro. No podemos ocultar al lector que hay absoluta necesidad de aguardar á que se verifiquen nuevas observaciones para establecer leyes definitivas; las notas que acabamos de exponer no son sino un ligero esbozo del trabajo que queda por hacer, en este vasto campo abierto á la actividad de los físicos y los astrónomos.

La superficie aparente de las protuberancias es uno de los elementos que permite apreciar mejor que otro alguno la actividad solar; llamamos superficie aparente de las protuberancias, al área que ocupa la silueta de su contorno en el campo del anteojo; no es posible calcularla exactamente por la rapidez con que varian de forma, pero tomando el producto de la altura por la mitad de la base, lo que equivale á considerarlas triangulares, puede obtenerse una aproximacion suficiente de este elemento, y como la base se evalúa en grados de la circunferencia solar cuyo valor lineal es doble de la unidad que sirve para medir las alturas, se deduce que el producto de las dos cifras representa el área buscada.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO V

I

Relaciones entre las protuberancias y las fáculas

Hablamos antes de las relaciones que existen entre las manchas y las fáculas; en este párrafo vamos á ocuparnos de las fáculas y las protuberancias, reservándonos el hablar en seguida, con mayor copia de datos, de las relaciones que existen entre las manchas y las protuberancias.

De los estudios efectuados por varios astrónomos, y principalmente por el P. Secchi, sobre la distribucion de las fáculas, resulta que estas se encuentran condensadas á uno y otro lado del ecuador; el máximo tiene lugar hácia los 20 ó 30 grados de latitud; en el ecuador se halla un mínimo relativo y otro en los polos.

Los máximos de fáculas, en magnitud y frecuencia, coinciden con los de las protuberancias, si bien se extienden algun tanto mas hácia los polos; este hecho parece confirmar una de las proposiciones del P. Secchi de que las fáculas y las protuberancias van siempre juntas. Examinando su sucesion en diferentes épocas, se observa al primer golpe de vista la gran diminucion ocurrida en las últimas rotaciones en lo respectivo á la extension que antes ocuparon en la circunferencia. Las regiones polares son las primeras que comienzan á vaciarse, y al final solo queda un número muy limitado á derecha é izquierda del ecuador, con un mínimo secundario en el mismo círculo.

La frecuencia disminuye tambien con la extension, y en vez de esas vastas capas brillantes, solo quedan unos sencillos círculos ú óvalos irregulares que se destacan sobre el fondo general. La granulacion sigue siendo muy pronunciada y la red negra que forma la base aparece mas distinta, pero este elemento se halla sujeto en demasía á las condiciones atmosféricas para ser comparable á largos intervalos.

Ya en mas de una ocasion hemos hecho notar que el mínimo se encuentra ordinariamente en los polos, y ahora diremos que dista mucho de tener siempre el mismo valor absoluto. En las últimas rotaciones llega absolutamente á cero, siendo bastante elevado entre la tercera y cuarta rotacion; en estos períodos anteriores se encontraban las protuberancias polares muy desarrolladas formando una especie de corona al rededor de los ejes de rotacion. Pudo observar el P. Secchi que el centro de estas coronas no coincidia con los polos de rotacion del astro, y que daban una vuelta en veinticinco ó veintiseis dias, de manera que con su auxilio se hubiera podido resolver el problema de la rotacion solar, averiguando si este movimiento se retardaba ó no, cerca de los polos. Por desgracia la desaparicion de estos apéndices impidió que el sabio jesuita continuase sus trabajos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Siempre que una fácula brillante llega cerca del borde solar, si no se verifica una erupcion propiamente dicha, puede comprobarse, al menos, que la cromo-esfera se encuentra mas elevada y viva, y que está compuesta de masas cumuliformes y de pequeños conglomerados brillantes.

En realidad hay dos clases de fáculas; unas son cortadas y bien definidas, y brillan con un resplandor doble casi del que

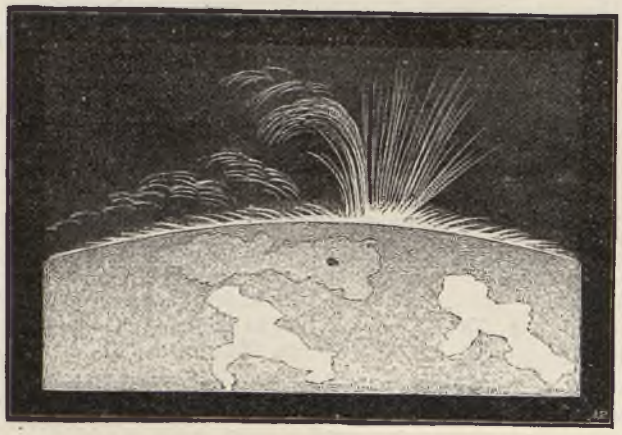


Fig. 316. — Fáculas y protuberancias

ofrecen las situadas en sus inmediaciones; las otras son difusas y se encuentran mal terminadas; las primeras únicamente son las que se ven á menudo perforadas por puntos negros que son los rudimentos de futuras erupciones; solo se presentan en



Fig. 317.—Haces rectilíneos de las protuberancias

la region de las manchas, siendo de la segunda especie las que forman las coronas polares. No puede desconocerse que hay evidentemente cierta relacion entre ellas y los máximos secundarios de las protuberancias observadas en esta época, en esta misma region. Segun los cálculos efectuados acerca de la relacion que existe entre el número de fáculas observadas y los dias de observacion, resulta que la media diurna es bastante variable, pero que los máximos subsisten de un modo muy marcado entre la III^{a} y la IV^{a} rotacion.

Las protuberancias eruptivas no siguen al parecer ninguna ley en lo respectivo á su direccion; las fuerzas á que obedecen obran en todos sentidos y lanzan por lo comun los haces luminosos en direcciones

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

opuestas, ora convergentes ya divergentes, á menudo espirales con eje horizontal ó vertical; no sucede lo mismo con las protuberancias que presentan formas de llamas y de penachos; estas masas, compuestas exclusivamente de hidrógeno, están formadas por hilos tranquilos que se encuentran principalmente en las latitudes medias, mas arriba de los 30 grados y tienen por lo comun una direccion bien determinada.

Trató de averiguar el P. Secchi si presentaba alguna regularidad esta direccion, y para ello formó una estadística de todas las protuberancias registradas desde el mes de agosto de 1871 hasta diciembre de 1873. El resultado de su trabajo es como sigue:

PROTUBERANCIAS QUE PRESENTABAN UNA DIRECCION CLARAMENTE DEFINIDA

PRIMERA SERIE

Períodos y sus duraciones	Hácia los polos	Hácia el ecuador
De 1.° de agosto á 31 de diciembre 1871.	+ 370	— 101
De 1.° de enero á 23 de abril 1872	+ 342	— 56
De 24 de abril á 12 de agosto.	+ 532	— 167
De 13 de agosto á 31 de dicbre	+ 292	— 89
Suma	1,536	413
Proporcion 3,72		

SEGUNDA SERIE

Períodos y sus duraciones	Hácia los polos	Hácia el ecuador
De 1.° de enero á 23 de abril 1873	+ 342	— 67
De 24 de abril á 10 de junio	+ 114	— 43
De 11 de junio á 31 de dicbre	+ 240	— 110
Suma	696	220
Proporcion 3,16		

Resulta de este cuadro que, por término medio hay tres y media que se inclinan hácia los polos por una que se dirija al ecuador; pero para apreciar con mas exactitud esta conclusion hay que tener en cuenta los hechos siguientes.

Todas las protuberancias no presentan una inclinacion determinada, pues unas son rectas, y otras se ven pareadas en sentido contrario, sobre todo en los torbellinos. En los polos, los hilos de los penachos son verticales ó de escasa inclinacion; á las veces parecen como una lluvia que cae verticalmente; en tantas ocasiones se ha observado esta disposicion, que puede considerarse como absolutamente incontestable; por otra parte, se encuentra en acuerdo perfecto con la ley que resulta de la discusion anterior, pues si las protuberancias tienden hácia los polos, en ellos deben perder su direccion definida en uno ú otro sentido. Considerando el número total de protuberancias en períodos idénticos, se observa que la proporcion de las protuberancias inclinadas es menor en los últimos años, y que la proporcion entre ambas direcciones disminuye algun tanto. A fines del año de 1875 y á principios de 1876, al mismo tiempo que los surtidores iban haciéndose mas raros, presentaban sus direcciones un carácter mas incierto, dominando por lo general la direccion recta ó perpendicular al borde del astro. Tanto el P. Secchi como el astrónomo ruso Bredechin vieron los filetes que se elevaban perpendicularmente hasta llegar á una altura superior á 1 ó 2 minutos de arco, sin presentar la mas pequeña inflexion.

Resulta, pues, de estos hechos, que en las épocas de actividad del Sol existen corrientes numerosas, cuya direccion principal es hácia los polos; las observaciones modernas demuestran que estas corrientes desaparecen en las épocas de calma.

A pesar de la evidencia de esta conclusion, que solo representa la expresion de los hechos, son muchos los astrónomos que la han combatido y con cierto calor; pero sus objeciones distan tanto de ser fundadas, que mas bien hay que considerarlas como ininteligibles. El P. Secchi á quien seguimos, combate con ardor en de-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fensa de sus teorías y aduce entre otros argumentos, que algunos de sus contrarios jamás observaron una protuberancia; si se tratase de un caso particular pudiera comprenderse esta oposicion, pero generalmente hablando no son admisibles los argumentos contrarios. En efecto, hay varias causas que pueden explicar ciertas divergencias: 1.ª las observaciones se han efectuado en épocas distintas y su desacuerdo proviene de que la ley indicada no es persistente y universal. 2.ª La diferencia de los instrumentos puede asimismo ejercer cierto influjo; cuando se emplea una amplificacion demasiado considerable respecto del diámetro del objetivo, no se distingue con claridad la estructura filamentosa de ciertas protuberancias y en muchos casos se aprecia la inclinacion por la direccion de los filetes luminosos. 3.º Tambien puede haber alguna dificultad en orientarse en el momento de la observacion.

Además, Spörer y Bredechin obtuvieron por métodos distintos y por observaciones absolutamente independientes de las del P. Secchi, resultados idénticos á los del sabio jesuita; así pues, si bien es posible que sobre ciertos detalles haya desacuerdo, la ley general es incontestable y el punto objetivo que debe tenerse en la actualidad se reduce á descubrir la duracion del período de oscilacion del fenómeno.

Se ha visto tambien que la cromo-esfera se inclina de un modo muy marcado hácia los polos cuando es regular y posee una elevacion bastante considerable; temiendo el P. Secchi ser víctima de una ilusion, comparó sus dibujos con los ejecutados por Tacchini en el *mismo instante físico* y la concordancia era perfecta en este punto, luego la estructura indicada es real y positiva, toda vez que ofrece iguales apariencias á distintos observadores.

La direccion dominante de las protuberancias supone que en la atmósfera del Sol existe, en ciertas épocas, una corriente sistemática que va del ecuador á los polos, la cual es mas poderosa en las épocas en que la actividad solar se encuentra mas desarrollada, mientras que en las épocas de calma se hallaria á veces contrariada por otra corriente de direccion opuesta, llegando hasta el extremo de desaparecer completamente en las épocas de tranquilidad. Hay que guardarse mucho de comparar esta circulacion con la que tiene lugar en el seno de la atmósfera terrestre; nuestros vientos alisios forman un conjunto de corrientes y contra-corrientes limitadas ó zonas perfectamente definidas; en el Sol no se observa nada de esto y parece que en este astro reina una sola corriente; debemos de recordar aquí, para que nuestras afirmaciones encuentren una acogida mas benévola, que las manchas, segun vimos en la primera parte de esta obra, presentan una tendencia general hácia los polos, y que las mismas protuberancias dejan entrever una marcha hácia estos puntos en los máximos secundarios. Hay que convenir en que las observaciones son poco numerosas, pues abrazan un período demasiado corto para que se pueda formular ninguna ley definitiva y solo nos es dado señalar el hecho; es tanto mas difícil descubrir estas leyes, cuanto que la proximidad de las manchas y la violencia de las erupciones que las acompañan, modifican á menudo la direccion regular. Las observaciones se han hecho principalmente en una época en que la actividad solar se encontraba en uno de sus máximos, luego durante el período siguiente, en el cual se moderó, y por último, cuando era en extremo débil; queda por saber si todas estas apariencias no cambiarán, ó si seguirán produciéndose regularmente; por este motivo presenta el mayor interés la continuacion de estas observaciones, á lo menos hasta que abarquen un período de once años.

II

Relaciones entre las manchas y las protuberancias y el diámetro solar

En el párrafo precedente hemos expues-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

to en conjunto varios hechos que podemos resumir del modo siguiente.

I. Las protuberancias, las manchas y las fáculas mas brillantes, y sobre todo las erupciones, se producen principalmente en las mismas regiones solares.

II. Los máximos de estos fenómenos se producen en las mismas épocas. Esta última ley, sin embargo, es cierta con algunas restricciones:

1.° El máximo de las protuberancias dura mas tiempo que el de las manchas.

2.° Esta coincidencia no se verifica á menos de examinar las duraciones completas de la rotacion del Sol; en cuanto á las observaciones individuales, deja de verificarse al parecer la coincidencia porque las manchas y las protuberancias no se pueden observar simultáneamente, toda vez que las manchas solo son visibles en el interior del disco y las protuberancias no se observan mas que en el contorno.

De todos estos hechos se deduce que *existe una relacion estrecha entre estos dos órdenes de fenómenos;* esta relacion es la que vamos á estudiar con particular esmero en el presente párrafo.

Con objeto de obtener los elementos necesarios para este estudio, emprendió el P. Secchi el ímprobo y colosal trabajo de bosquejar dia por dia las protuberancias en el mismo dibujo en que habia trazado primero las manchas, apartándose de esta suerte del método, mucho mas sencillo, adoptado por los demás astrónomos, que consiste en representar por una línea recta el contorno aparente del Sol. De este modo pudo, en los dias favorables, reunir ambos órdenes de fenómenos, observando las modificaciones que se producen en la cromo-esfera cuando pasa una mancha de la parte invisible á la visible del globo solar, ó bien cuando se aproxima al borde para desaparecer por el lado opuesto.

En los primeros capítulos de la primera parte de esta obra, estudiamos muy á la ligera la estructura de las manchas solares, y ahora, con la mayor suma de conocimientos adquiridos, vamos á completar nuestro anterior esbozo. Ante todo debemos hablar de las relaciones individuales que existen entre cada mancha y las protuberancias que la acompañan, y en seguida nos ocuparemos de los fenómenos generales.

Es preciso distinguir las protuberancias segun la naturaleza de las sustancias que las compongan. Las protuberancias formadas únicamente de hidrógeno pueden manifestarse en toda la superficie del Sol, aun en las regiones en donde no se ven manchas propiamente dichas. Trouvelot, sabio astrónomo americano, observó hace poco tiempo unas manchas á pocos grados del polo, y si bien no da la distancia exacta, la estima en unos diez grados. Pero estos objetos no son manchas verdaderas y hay que considerarlos como regiones mas oscuras de la foto-esfera que se llaman *manchas veladas* y que el P. Secchi tambien notó en varias ocasiones. El máximo absoluto de altura de estas protuberancias hidrogenadas se encuentra fuera de la zona de las manchas y ocupa la zona de 30 á 40 grados de latitud heliográfica. No hay, pues, relacion directa entre ellas y las manchas.

Las protuberancias ricas en vapores metálicos, es decir, las erupciones verdaderas, acompañan invariablemente á las manchas. Cuando se manifiesta una gran erupcion en el borde oriental, puede tenerse la seguridad de que va á aparecer una mancha que se observa infaliblemente al otro dia. Esta esperanza puede defraudarse si las erupciones son de escasa importancia, á causa de su rápida desaparicion, pero tiene lugar siempre si la erupcion es muy violenta. Con el nombre de erupciones no se designan únicamente los surtidores muy elevados, sino tambien las puntas bajas, vivas y acentuadas de que antes hablamos; estos fenómenos, y no otros, son los permanentes, mientras que los haces elevados presentan

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

una duracion limitada y pueden pasar desapercibidos. Los haces de vapores metálicos van siempre acompañados de una gran cantidad de hidrógeno y de la sustancia que produce la línea D_3.

Acabamos de decir que las erupciones metálicas se producen en la inmediacion de las manchas; la recíproca no es siempre exacta, pues á veces se ven manchas sin ser precedidas ni acompañadas de erupciones; es muy raro, sin embargo, que no las acompañen ni precedan grandes masas de hidrógeno incandescente y convulsiones muy visibles de la cromo-esfera. Las manchas redondas que hemos designado con el nombre de *nucleares* son las que se manifiestan con mas frecuencia sin ninguna protuberancia; en cuanto á las irregulares, cuya forma anuncia grandes movimientos y convulsiones internas, van siempre acompañadas de protuberancias que contienen vapores metálicos. Estas excepciones pueden depender de dos causas distintas; quizás estas manchas no están dotadas de movimientos violentos capaces de dar origen á chorros elevados, ó tambien, siendo las protuberancias fenómenos esencialmente intermitentes, puede ocurrir que en el momento de la observacion desaparezcan para mostrarse mas tarde.

La primera de estas causas se encuentra confirmada por la observacion; en efecto, la ausencia de fenómenos eruptivos se observa á menudo cuando desaparecen en el borde occidental despues de haber presentado indicios de aniquilamiento; entonces se hacen las manchas nucleares, redondas y tranquilas, sin que las rodee ningun otro fenómeno que revele una viva agitacion en la parte inmediata de la cromo-esfera; á su alrededor, y en la parte interna, parece reinar una calma absoluta, ó por lo menos si se manifiesta algun movimiento es casi insensible. No ocurre lo mismo con las manchas en vías de formacion ó en un período de gran actividad en la época en que se aproximan al borde; en este caso, *siempre* se perciben movimientos considerables en la cromo-esfera; el P. Secchi califica de errónea la afirmacion contraria.

Las manchas de núcleos múltiples é irregulares presentan al llegar al borde llamas numerosas; por lo comun son bajas y de corta extension, pero el conjunto se encuentra diseminado en un espacio considerable. Estas conclusiones resultan del estudio prolijo efectuado por Secchi, de centenares de manchas en las épocas de sus entradas y salidas; de este modo pudo comprobar el ilustre astrónomo la relacion estrecha que existe entre ambos fenómenos.

Las rayas del hidrógeno son muy vivas y elevadas en la inmediacion de las manchas, y se extienden á veces hasta el núcleo en el interior del disco solar; las fáculas mas brillantes que preceden á las manchas presentan rayas metálicas. Estos fenómenos se observaron cuando se hacia uso de la ranura estrecha, y luego, con el empleo de la ranura ensanchada han sido confirmados por Tacchini, Respighi, Spörer, etc.

Emprendiendo de nuevo este estudio con mayor esmero y observando asíduamente los mas pequeños detalles, se ha llegado á comprobar que la formacion de las manchas no va acompañada únicamente de una erupcion de hidrógeno; siempre hay alguna otra cosa y hoy dia puede asegurarse que no se produce ninguna mancha sin que vaya acompañada de una erupcion metálica.

Las erupciones mas ricas en sodio, hierro y calcio corresponden á las manchas mas negras y profundas en la apariencia.

Cuando se trata de manchas de gran extension, se elevan los vapores metálicos á considerables alturas, así como de 60, 70 y 90 segundos y rara vez mas; en los casos ordinarios son menos elevados los haces y toman la forma de conglomerados brillantes, de rayos, etc., etc.; es fácil distinguirlos de las protuberancias ordinarias con solo examinar su color y la viveza de su luz, lo que ha hecho que Spörer les dé el nombre de *flamantes*. Así, pues, cuando hablamos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de erupciones que acompañan á las manchas, no se trata de esas capas delgadas y difíciles de columbrar que señala Tacchini, sino de masas de vapores metálicos que se elevan á bastante altura, de modo que se les reconoce sin trabajo. Y, en efecto, cuando las circunstancias son excepcionalmente favorables, se hallan siempre trazas de vapores metálicos en la cromo-esfera y aun en las protuberancias compuestas de hidrógeno, si son un poco vivas.

Una cosa importante para la teoría de las manchas que hay que señalar, es que la superficie de la region perturbada por una erupcion es mucho mas considerable que la que ocupa la parte oscura del núcleo y de la penumbra, habiendo todo al rededor una infinidad de fáculas. Esta observacion la confirma el espectroscopio, el cual nos demuestra que la extension de los haces metálicos está muy limitada relativamente á la zona perturbada de la cromo-esfe-

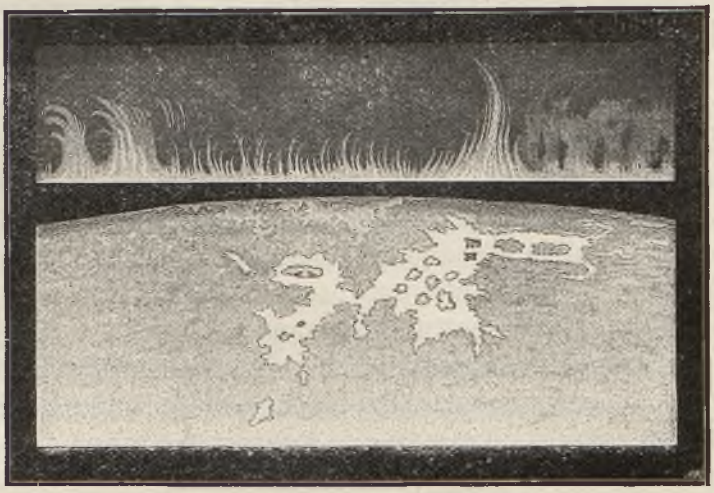


Fig. 318.—Manchas, fáculas y protuberancias observadas por Tacchini el 7 de marzo de 1874

ra, cuya extension es proporcional justamente á la region ocupada por las fáculas.

Las fáculas se dividen, como dijimos, *en brillantes* y *detalladas*, y *en difusas*. Las primeras son visibles aun en el mismo borde del Sol y presentan á veces el aspecto de verdaderas protuberancias, al paso que las otras no se ven en el borde, sino á corta distancia de él. Ahora bien, cuando estas fáculas muy brillantes se presentan en el contorno del disco, se observa que son asiento de grande erupciones metálicas y que en las inmediaciones hay muchas protuberancias hidrogenadas.

En cuanto á las fáculas ordinarias ó difusas, sucede á menudo que no están acompañadas de erupciones, ni de rayas metálicas de ninguna clase, sino sencillamente de protuberancias compuestas de hidróge-no y de D_3. Recíprocamente, se presenta con frecuencia el caso de observar protuberancias hidrogenadas que no corresponden á ninguna fácula visible. Es cierto, no obstante, que ambos órdenes de fenómenos se producen habitualmente en la misma region y que hay entre ellos una relacion constante.

No hay que ir muy léjos para encontrar la explicacion de esta anomalía; acabamos de decir que las fáculas débiles no son visibles en el mismo borde solar, sino en el interior del disco únicamente; por consecuencia, si una protuberancia hidrogenada se halla superpuesta á una fácula, será esta invisible y habrá que aguardar al dia siguiente para que aparezca sobre el disco, pero como conocemos la variabilidad de estos chorros, muy bien podemos suponer

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que se hayan extinguido en el trayecto, ó que hayan cambiado de lugar. De otro lado, puede una fácula ser visible cerca del borde occidental, pero, á menos de que el chorro no sea muy elevado, no podemos ver la protuberancia hidrogenada correspondiente, sino cuando llegue al limbo, y en este intervalo puede el haz cambiar nuevamente de direccion ó desvanecerse. Es, pues, muy raro, que se pueda llegar á establecer exactamente la correspondencia individual entre los surtidores de hidrógeno y las fáculas, y hay que contentarse con una correspondencia general, cuya existencia está hoy dia demostrada. Con efecto, las regiones de las fáculas algo vivas, cuando llegan al borde, manifiestan infinitos chorros de hidrógeno y el contorno de las manchas lo prueba así á cada momento.

Un punto importante que hay que aclarar es el de saber si la erupcion tiene lugar sobre las manchas ó sobre las fáculas; para decidirse en este asunto hay que tener en cuenta muchas circunstancias.

Ante todo, no es posible definir la erupcion directamente, porque por lo general la abertura eruptiva es invisible; si está situada sobre el borde solar no podemos verla y solo aparecerá algun tiempo despues cuando el movimiento de rotacion la haga entrar en el disco; por lo comun para esto hace falta el intervalo de un dia.

Por otra parte, el trayecto de la abertura no se verifica siempre en una direccion normal al borde, sino mas generalmente segun una línea oblícua y curva, que es la proyeccion del paralelo solar que describe. Habrá, pues, al dia siguiente un cambio en el ángulo de posicion, suponiendo que la erupcion continúe, lo cual es muy problemático; de manera que si bien es cierto que se ve la erupcion, en general no se observa su nacimiento. Decimos en general, porque puede presentarse el caso, muy raro en verdad, de que una erupcion provenga de una mancha visible cerca del borde, pero entonces debe estar muy alta para dominar todo el espacio que separa la mancha del limbo del Sol y aparecer fuera de él. Esto sucede á menudo en cuanto al hidrógeno, pero muy rara vez con los metales. Las erupciones son visibles, frecuentemente, en medio del disco sobre las manchas, pero sus caracteres son particulares y en sus detalles deben interpretarse segun la teoría, sin que puedan servir para fundarla.

Cuando se ve una erupcion metálica sobre una mancha, lo mas frecuente es que la mancha visible no sea verdaderamente el foco, sino otra mancha posterior que venga detrás y que es invisible porque se encuentra en el limbo. La observacion demuestra que esta es la disposicion ordinaria; fundándose en estas consideraciones, y despues de vacilar largo tiempo, llegó Secchi á adquirir el convencimiento de que *la erupcion metálica tiene lugar en los núcleos de las manchas* y *la erupcion de hidrógeno en las fáculas*. Esta conclusion no debe aceptarse en absoluto ni suponer que sea invariable; los chorros metálicos van mezclados con los de hidrógeno y se proyectan como arcos parabólicos, haciéndose muy difícil entonces, la determinacion del punto en donde nacen y de aquel en que terminan.

Tales son las relaciones que revela la observacion entre los dos grandes fenómenos de la física solar, las manchas y las erupciones, y aquí se presenta una duda. Hemos hablado frecuentemente de erupciones, de haces lanzados en sentido vertical, etcétera, pero ¿no pudiera suceder que estas masas en vez de ser lanzadas de abajo arriba fuesen aspiradas desde la region superior? En otros términos, hay motivos para preguntarse si las protuberancias no se producirán por vía de aspiracion, por trombas formadas en la atmósfera que existe sobre la capa rosa; ó bien si se deberán á verdaderas explosiones, á fuerzas que obren en el interior del globo solar y lancen hácia afuera masas incandescentes mas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ó menos considerables. Este asunto se roza con una teoría ingeniosa que se debe á un astrónomo eminente, pero lo mismo da, en lo que á los hechos se refiere, los cuales demuestran que la materia sube; aun en el caso de que haya aspiracion, no puede dudarse que los vapores metálicos se encuentran elevados sobre el nivel general; los hechos que acabamos de señalar son perfectamente ciertos y de ellos partiremos con objeto de formar una base racional para explicar las manchas; seguiremos en este punto las ideas de Secchi.

Mientras que la observacion de las manchas solares se contrajo al exámen del núcleo y de la penumbra, pocos progresos se realizaron en el asunto; pudiera decirse que el caso se asemejaba al estudio de la *planta* de un edificio sin llevar en cuenta para nada su *alzado*. Podian observarse los cambios de forma, la distribucion, los períodos de actividad y de calma etc., pero ignorando todo lo que ocurria al rededor de las manchas, carecíamos de noticias exactas acerca de su orígen y modo de formacion. Si algun astrónomo se atrevia á presentar una explicacion, era esta puramente hipotética y distaba mucho de ofrecer los caractéres de una teoría física, esto es, la expresion de un hecho perfectamente comprobado. El espectroscopio nos ha revelado la existencia de erupciones metálicas y el hecho material de su coexistencia con las manchas, en lo cual encontramos un punto de apoyo sólido, y la cuestion se reduce hoy dia á estudiar el enlace que hay entre dos hechos perfectamente incontestables, y á poner en evidencia los estrechos lazos que los unen.

El P. Secchi resume sus profundos estudios en este asunto, diciendo que, *la mancha está formada de la misma materia que proyecta la erupcion sobre el disco solar; la region oscura se debe á la absorcion que ejercen los vapores que salen del interior del globo solar y se interponen entre el observador y la foto-esfera.*

Para probar esta tésis hace observar, ante todo, su sabio autor, que como la erupcion se ve en el borde, debe continuar así durante algun tiempo despues, aun cuando la rotacion del Sol haya hecho que los puntos del limbo se encuentren luego en el centro del disco. La permanencia de la erupcion se prueba por el hecho de que las rayas luminosas parten á menudo del núcleo y van á unirse á las que brillan fuera del limbo mismo.

Esta masa, de tal suerte proyectada, se encuentra entonces entre la foto-esfera y el observador, y debe ejercer su absorcion electiva segun la naturaleza del gas. Ahora bien, en esta absorcion se encuentra una prueba evidente, segun las numerosas observaciones de Secchi, de que las mismas rayas brillantes en las protuberancias son al propio tiempo las mas oscuras y extensas de las manchas; luego es una misma la sustancia que obra en ambos casos, con la diferencia de que en el primero vimos el espectro directo, y en el segundo observamos el mismo espectro invertido por absorcion. De este modo, los metales sodio, magnesio, calcio, hierro, etc., que mas frecuentemente se observan en las protuberancias eruptivas, son al propio tiempo los que producen en el interior de las manchas la dilatacion de las rayas negras.

Admitido este punto, es muy fácil concebir cómo puede una erupcion dar orígen á una mancha. La materia, levantada por una causa cualquiera sobre el nivel general, irradia directamente hácia nosotros, mientras se encuentra en el borde oriental, fuera del disco, y se proyecta, respecto de nosotros, sobre el cielo; en este caso es una protuberancia. Pero la rotacion solar la disloca conduciéndola á un punto en donde se interpone entre la foto-esfera y el ojo del observador; en este caso debe de absorber las radiaciones foto-esféricas, dando orígen á rayas oscuras y disminuyendo el resplandor visible de la parte del Sol sobre la cual se proyecta; en este caso

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

se trata de una mancha; el sodio debe producir en semejantes condiciones el mismo efecto que se observa cuando se quema este metal delante de la rendija del espectroscopio dirigido al Sol, es decir, que las rayas aparecen difusas y ensanchadas sobre el disco solar. Como la masa eruptiva contiene un gran número de sustancias, debe absorber, no solo las rayas metálicas, sí que tambien rayos de todas las regiones del espectro, lo cual se reconoce en la observacion espectral al ver el campo del instrumento cada vez mas oscuro en la zona correspondiente. Así pues, esta particularidad fundamental, que liga el fenómeno de las manchas al de las erupciones, es perfectamente cierta y por completo independiente de las hipótesis que pueden emitirse para explicar las elevaciones de las masas eruptivas. Tal es la parte esencial de la teoría que queremos presentar y que se debe al P. Secchi; solo nos queda el dar cuenta de cierto número de detalles que vamos á exponer con la brevedad posible.

¿Qué motivo hay para que las manchas no vayan siempre acompañadas de erupciones? La observacion directa ha demostrado, independientemente del análisis espectral, que toda mancha atraviesa en su existencia dos períodos claramente distintos y detallados; el primero es el de formacion, en el cual llega la agitacion á su paroxismo; el segundo es un período de tranquilidad y aniquilacion en el cual los movimientos son mucho mas débiles; esta segunda fase se caracteriza, sobre todo, por la figura redonda y el aspecto crateriforme que presenta la mancha.

La contestacion á la pregunta anterior es mas fácil, en virtud de esta última circunstancia precisamente; si una mancha se presenta en el borde del disco mientras se encuentra todavia en el período de formacion y de agitacion, se deberá comprobar la existencia de masas eruptivas, al paso que nada de esto sucederá si la mancha llega en su segunda fase.

Afortunadamente, nos es posible completar la explicacion entrando en mas detalles; en las convulsiones solares, de igual manera que en los fenómenos que presentan nuestros volcanes, tras el primer período de actividad en el que grandes cantidades de vapores son lanzadas á la atmósfera, continúa la erupcion con mas tranquilidad y sin movimientos bruscos; luego se va cerrando el orificio progresivamente, hasta que desaparece del todo. Hay, pues, una primera fase mas ó menos violenta que lanza la materia cromo-esférica encima del nivel ordinario; se caracteriza por torbellinos y chorros parabólicos; á esta erupcion activa suceden emanaciones pacíficas y tranquilas que producen llamas, conglomerados brillantes, conos y rayos. La observacion demuestra que estas erupciones menos violentas se manifiestan preferentemente sobre las manchas redondas; cuando llegan al período de tranquilidad que precede á su desaparicion, se encuentran aun coronadas de fáculas, pero cuando estas desaparecen, al llegar las manchas al borde no presentan sino llamas cromo-esféricas apenas visibles; á veces ni se distingue el mas ligero indicio de protuberancias. Finalmente, toda protuberancia puede desaparecer, pues la capa absorbente no permanece siempre suspendida como una nube en la atmósfera que rodea al Sol; desciende por su propio peso y se apoya en la capa brillante como una masa de aceite sobre el agua; la masa de aceite forma en la capa líquida situada debajo, una cavidad en la cual parece descansar como en un vaso; otro tanto ocurre con la capa absorbente cuyo peso produce en la foto-esfera una depresion muy marcada, una especie de *caldera* que la limita y la contiene.

La segunda objecion es mas grave; de lo que acabamos de decir parece resultar que las manchas deberian ser siempre como las nieblas y las nubes, mas densas en el centro y difusas en los bordes segun decia Galileo, y es precisamente lo contrario lo que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

se verifica, pues la línea de separacion entre el núcleo y la penumbra se ve perfectamente detallada, de igual manera que la línea que limita exteriormente la penumbra. Esta objecion se refuta, no obstante, sin gran esfuerzo, pero ante todo es necesario precisar los hechos.

Hemos podido observar anteriormente que, si el límite entre el núcleo y las corrientes que invaden el interior de la mancha se encuentra tan claramente terminado, no ocurre lo mismo con el límite entre la penumbra y la foto-esfera. El espectroscopio nos muestra las rayas en estas manchas prolongadas cerca del borde de la penumbra exterior, y, á medida que se emplean aumentos mas fuertes se hace menos distinto el límite. La fotografía ha venido á confirmar esta observacion; veamos ahora cómo es posible darse cuenta de su constitucion interna.

Sabemos que las manchas que son irregulares en la primera época de su existencia, se transforman progresivamente; sus núcleos, múltiples con frecuencia y de forma poligonal, se regularizan poco á poco y concluyen por ser redondos y crateriformes. Ya hemos visto cuál es el mecanismo que hace que se efectúe esta regularizacion (tomo I) que no es otra cosa sino los efluvios de materia foto-esférica ambiente que se precipitan en la cavidad; si esta estuviese vacía, la corriente foto-esférica tendria una velocidad inmensa, pero la cavidad se halla llena de vapores que oponen cierta resistencia al progreso de la corriente; esta resistencia, empero, no es indefinida. Las masas fueron lanzadas hácia arriba por la erupcion, enfriándose por su dilatacion y tambien porque llegan á la superficie exterior libre que irradia hácia el espacio. En el interior de la mancha hay, pues, una resistencia que proviene de la masa enfriada, y otra que se debe á la fuerza mecánica de proyeccion, de dentro afuera, que posee la materia lanzada encima; así se explica el retroceso de las lenguas de fuego y el desórden de las corrientes en el interior de la mancha; pero cuando la erupcion disminuye de intensidad, á lo menos por intervalos, estas masas frias y mas pesadas comienzan á descender en la foto-esfera, y entonces esta, las invade con sus corrientes de modo que la seccion vertical de una mancha pudiera representarse, en su primera fase, por una cápsula llena de líquido y en la segunda por un volcan que naciera en la cápsula misma.

De estas particularidades se habia deducido que el centro ó núcleo de las manchas era la boca de un cráter; las observaciones espectrales han hecho que esta conclusion se haya modificado parcialmente. Este orificio debe ser siempre invisible; en el borde del disco, porque se ve en una línea tangente á su abertura; en el centro, porque nos lo oculta precisamente la misma masa que lanza.

Por otra parte, aunque no veamos el orificio, contemplamos la erupcion que el espectroscopio revela por las líneas brillantes del hidrógeno y de los metales que con frecuencia se ven en el interior de las manchas en gran actividad. El espectroscopio nos prueba tambien que el centro eruptivo no se encuentra necesariamente en el núcleo mismo de la mancha, y que de igual manera puede hallarse en cualquiera otro lugar inmediato; la observacion demuestra que los chorros de materia cromo-esférica existen á menudo encima de las fáculas brillantes; ya hemos visto cuán difícil es comprobar de un modo exacto el punto en que se produce la erupcion. Además, la materia proyectada puede salir oblícuamente y caer léjos del orificio, transportándola las corrientes á gran distancia del centro de erupcion.

En estas erupciones hay que distinguir tambien los chorros de hidrógeno, que por lo general no forman manchas, de las materias metálicas. Con gran frecuencia se observan manchas, que apenas miden uno ó dos grados heliocéntricos de diámetro,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

suceder á una erupcion que ocupa seis ó siete; pero de esta gran extension solo una pequeña parte presenta haces metálicos. Podemos, pues, tener la certidumbre de que los centros de emision no se encuentran únicamente en los núcleos, sino que tambien se dispersan en las cercanías. Segun la manera de ver del P. Secchi, el núcleo de una mancha es la region en donde la materia absorbente lanzada por la fuerza eruptiva, viene á colocarse entre el ojo del observador y la foto-esfera del Sol. Para abreviar, podemos llamar *nubes* á estas masas de vapores, pero para evitar conceptos equivocados, preferimos el término indiferente de *capas*. Esta *capa absorbente*, compuesta de materia eruptiva, no permanece siempre tranquila y aglomerada encima del orificio por donde sale, y los vapores pueden ser lanzados en todas direcciones y arrastrados á largas distancias. Muchas veces se observan chorros parabólicos muy alongados que ocupan una extension de dos á tres grados y mas; en este caso, se puede asegurar que los vapores se extenderán á gran distancia del orificio de emision. El núcleo es, pues, sencillamente, la parte mas densa y absorbente de la materia eruptiva, lo cual no impide que á veces pueda corresponder al sitio de una erupcion.

Cuando los orificios de erupcion son muy numerosos, debe ocurrir que varios chorros de vapor de los que de ellos salen, se reunan de tal modo que formen una sola capa; de igual manera varias capas, separadas é irregulares al principio, pueden reunirse en una sola, mas considerable, que tenga en su centro un espesor ó densidad mayor, lo que constituye el núcleo. El espectroscopio nos demuestra, en efecto, que existen estos chorros múltiples, y mas de una vez se ha observado que las grandes manchas resultan de la reunion de otras mas pequeñas.

Luego, para resumir en pocas palabras, toda mancha supone una erupcion del interior al exterior, de materias gaseosas y metálicas; mientras dura su período violento se cruzan en todos sentidos las masas lanzadas, mezclándose con filetes de materia foto-esférica que constituyen las corrientes y los puentes que dan á las manchas las formas irregulares y caprichosas que ya conocemos: durante este período, están mal definidas las penumbras, y todas las teorías explican satisfactoriamente estos fenómenos. Pero cuando se tranquiliza y apacigua esta primera efervescencia comienza un doble trabajo: 1.° la masa proyectada se enfria por la dilatacion que experimenta y por su permanencia en una region en donde la temperatura es menos elevada y entonces desciende, y trata de reunirse hundiéndose en la foto-esfera de modo que se restablezca el nivel perturbado en el período anterior; 2.° de aquí resulta una mezcla de la sustancia gaseosa fria con la materia foto-esférica que la rodea. Entonces, al movimiento confuso y desordenado de la primera fase, sucede un efluvio mas ó menos regular de la materia foto-esférica, que se precipita en forma de lenguas para llenar el vacío producido por el enfriamiento de los vapores metálicos.

Pudiera objetarse, y con gran fundamento, cómo en esta pretendida fusion es posible explicar la constitucion de estas lenguas perfectamente definidas. Para darse cuenta de ello basta recordar algunos fenómenos análogos de la física terrestre; ante todo los hilos y corrientes no tienen dimensiones infinitesimales, pues su ancho mide $^1/_3$ ó $^1/_2$ segundo y mas tambien, lo que equivale á muchos kilómetros; su límite nos parece muy acusado, pero si en el contacto de los filetes luminosos con las masas oscuras hubiera una transicion difusa de tres ó cuatro kilómetros, no nos seria sensible; en nuestra misma atmósfera vemos que se propagan y difunden muy lentamente los filetes gaseosos, si las condiciones son adecuadas. ¿Debemos sorprendernos, pues, de que estas masas aparezcan estables durante los cortos minutos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que dura una observacion? Por lo demás sabemos que cuando se las observa con atencion cambian de forma en breves momentos; esto ocurre, asimismo, con las nubes de la atmósfera terrestre y aun con los líquidos que presentan cierta diferencia de densidad (agua y alcohol, agua y jarabe). Es bien sabido que una mezcla perfecta tarda algun tiempo en efectuarse, el cual se abrevia agitando el líquido por medios artificiales. Andrews ha demostrado la estructura filamentosa del ácido carbónico al pasar del estado gaseoso al estado líquido.

En una masa dada gaseosa, de naturaleza determinada y de presion casi constante, hay un límite de temperatura que, si se llega á pasar, deja en el acto de ser luminosa. A mayor temperatura las venas gaseosas se encuentran perfectamente terminadas, distinguiéndose con facilidad de la materia menos luminosa que las rodea; esto es lo que ocurre, v. gr., con la llama de una bujía cuyo contorno se encuentra perfectamente limitado á pesar de hallarse compuesta por un flúido elástico. De igual manera, aunque supongamos que la materia absorbente que constituye las sombras se halle en estado gaseoso, podrá separarse de la cromo-esfera por una línea perfectamente definida; mas fácil será aun la explicacion si se supone que la foto-esfera esté compuesta de igual modo que nuestras nubes y neblinas.

Hemos dicho que con el nombre de nube podia designarse la materia que forma el núcleo oscuro y que detiene los rayos luminosos, pero este vocablo no es en un todo apropiado. Una nube es una masa opaca compuesta á veces de pequeños cristales ó de polvo sólido; ahora bien, la materia eruptiva que forma el núcleo de una mancha es trasparente, y tan solo está dotada de una especie de absorcion electiva que depende de su naturaleza química y produce en el espectro rayas negras perfectamente determinadas; es, por tanto, gaseosa en el rigoroso sentido de la palabra, y aun pudiéramos decir luminosa, pues los núcleos no son oscuros en absoluto, sino que lo parecen así porque la materia de que se encuentran rodeados es mucho mas brillante, de modo que las corrientes de materia foto-esférica pueden invadir el núcleo de las manchas formado de materia eruptiva; por el contrario, la materia de la foto-esfera es opaca segun demostramos en la primera parte de esta obra.

Como las corrientes foto-esféricas son mas cálidas y ligeras, pueden cubrir y sobreponerse en parte á la materia absorbente, flotando sobre ella y llegando á formar una elevacion ó excrescencia á su alrededor, penetrando en su interior con movimiento bastante lento á causa de la resistencia del medio; así se explica el aspecto que presentan las penumbras, compuestas de corrientes y rayos semejantes á lenguas que se extienden por la region oscura cubriéndola progresivamente.

Estos fenómenos, que de tan incompleta manera hemos relatado, sugirieron á Herschel su teoría de las manchas solares; suponia este sabio, que una capa luminosa que se agujereaba de vez en cuando, se extendia sobre otra capa oscura y que la materia luminosa se precipitaba en forma de corrientes para llenar el espacio vacío. Esta teoría representa los hechos materiales, y los fenómenos tienen lugar, en la apariencia, como supone Herschel; el error de este consistia en dar á los hechos observados una generalidad de que carecen; suponia en toda la extension del globo solar una capa negra situada debajo del estrato brillante, por mas que solo existe en el espacio limitado en que se producen las erupciones.

Mientras dura esta masa advenediza que produce el núcleo de la mancha, las corrientes de materia luminosa que penetran en su interior, pueden nadar en su superficie y disolverse en ella por enfriamiento; tambien es posible que tomen un estado distinto del que constituye la foto-esfera y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dejen de ser visibles. Este fenómeno puede explicarse de dos maneras; si la capa absorbente es mas fria, dejarán de ser luminosas las corrientes porque su temperatura descenderia haciéndose inferior á la que produce la incandescencia; por el contrario, puede ser mas cálida por la accion de los gases que salen del interior del cuerpo solar; en este caso las corrientes compuestas de partículas sólidas se caldearán, se harán transparentes y dejarán de ser luminosas por sí mismas. Esta última explicacion corresponde á la teoría de Herschel y de Wilson en la cual se supone que la foto-esfera es una niebla incandescente; la primera la aceptan los astrónomos partidarios de Frankland, quien supone que la foto-esfera se encuentra en estado gaseoso propiamente dicho, y que su viva luz se debe á la accion combinada de una alta temperatura y una gran presion, en cuyas condiciones todos los gases dan un espectro continuo.

La verdad es que esta teoría, en la cual se consideran las manchas como formadas sencillamente por los productos de las

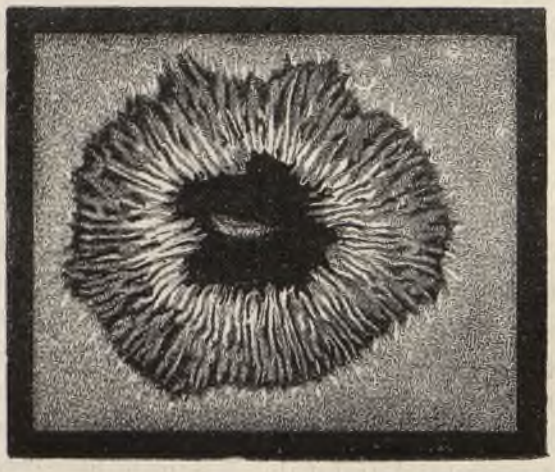


Fig. 319.—Corriente de materia luminosa en una mancha solar

erupciones, reduce la explicacion del gran fenómeno solar á un efecto como de *nubes*, lo empequeñece y reduce á las mezquinas concepciones de Galileo, Scheiner y Kircher. ¿Puede ser este un progreso de la ciencia? ¿No es, por el contrario, volver á su cuna? A esto contesta Secchi que si los hechos son exactos y la verdad se encuentra en su cuna hay que volver la ciencia extraviada á su punto de partida, y que la magnitud de los fenómenos de la naturaleza no debe apreciarse segun nuestras ideas preconcebidas; pero lo cierto es, que los adversarios del sabio jesuita confunden realmente cosas muy distintas. Muchas veces hemos demostrado que toda mancha supone una erupcion, y que esta erupcion se debe á ciertas acciones internas del Sol que nos son por completo desconocidas; y tambien que estas acciones turban el equilibrio solar en una vasta region, y que tan solo una parte de esta zona ocupada por los vapores absorbentes constituye la porcion oscura que se llama *mancha*. Ahora bien, enumerar estos hechos cuyo conjunto se designa con el nombre de *mancha* (nombre derivado únicamente de la parte del fenómeno que mas llama la atencion), no es hacer retroceder la ciencia á su punto de partida. Si Galileo, Scheiner, Kircher y otros, adivinaron el fenómeno en sus causas y en toda su magnitud, distaban mucho de poder apoyar sus afirmaciones en hechos observados; y si la ciencia moderna

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ha llenado este vacío, si de una hipótesis ha obtenido un fenómeno positivo, demostrado por el espectroscopio, ¿hay motivo para decir que esto no constituye un progreso y de grandísima importancia?

Dicen algunos, que cómo la capa absorbente que proviene de la erupcion permanece tan largo tiempo sin disolverse y sin mezclarse con la materia foto-esférica, puesto que la observacion nos demuestra que ciertas manchas persisten durante un tiempo muy considerable y hasta de tres y cuatro rotaciones. A esto pudiera contestarse que semejantes manchas tan persistentes no están, como pudiera creerse á primera vista, en estado de reposo y equilibrio; la causa que las produce obra de un modo contínuo y á veces con un aumento considerable en su intensidad; nuevas cantidades de materia que provienen constantemente del interior, impiden que la mancha desaparezca, la modifican y la transforman cuando la erupcion se hace mas activa, á la vez que conservan durante largo tiempo el mismo aspecto, si la materia eruptiva sale de un modo regular del interior al exterior. Ya hablamos de estos aumentos de intensidad cuando al tratar de los movimientos propios de las manchas, señalamos los saltos hácia adelante que por lo comun se producen en el momento en que una de estas, próxima á cerrarse, adquiere un nuevo desarrollo; si nos fuera dado observar las erupciones en el disco solar, veríamos que las fases y los movimientos bruscos hácia adelante van siempre acompañados de una emision abundante de materia eruptiva. Es imposible hacer directamente estas observaciones, pero no es por esto menos cierto el hecho, y la prueba se encuentra en los cambios de forma que experimentan las manchas, constantemente, en tales circunstancias. La corona de fáculas que rodea las manchas crateriformes indica que, aun en estas, que parecen tan tranquilas, hay un movimiento contínuo del interior al exterior; cuando se ven desaparecer estas fáculas, cuando baja la excrescencia que rodea la penumbra, es porque la mancha está á punto de desaparecer y puede tenerse la certidumbre de que al cabo de un dia ó dos se hallará completamente cerrada. Estas explicaciones se confirman por una observacion ya antigua, á saber, que las manchas duran mas tiempo cuando son poco numerosas en las épocas de mínima y de calma.

De todo cuanto acabamos de relatar, podemos deducir, evidentemente, que la region negra que constituye el núcleo de una mancha es un fenómeno por todo extremo secundario; el principal es la erupcion; es, si se quiere, una especie de nube, un humo que proviene del interior del globo solar por una ó varias aberturas, y se reune en una sola masa, como los chorros de vapor de una *solfatara* que, partiendo de distintos puntos, se reunen para formar una sola nube.

La explicacion mas sencilla que puede darse acerca de las fáculas es la que resulta del hecho, varias veces comprobado, de que estos fenómenos se deben á elevaciones de la foto-esfera; á causa de este levantamiento, sube la foto esfera sobre la capa absorbente que es bastante delgada, y las crestas de sus olas, que se libran de la extincion de la luz, aparecen mas brillantes. Esta elevacion puede medirse en muchas ocasiones, pero la capa en extremo absorbente, es tan delgada, que una pequeña altura, imposible de medir con nuestros instrumentos por estar situada además cerca del borde, basta para producir este efecto. Asi se explica por qué las fáculas forman con frecuencia al rededor de las manchas como unos cerros ó montículos de dimensiones sensibles; pueden resultar de la fuerza eruptiva que, obrando en el centro para acumular en él cantidades de materia que crecen continuamente, repele y eleva sobre los bordes la materia foto-esférica; tambien pueden provenir de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la agitacion que necesariamente acompaña á la mezcla de las dos masas de temperatura diferente. Cuando se eleva de esta suerte una porcion, se observan largos rastros de vapores de hierro y de magnesio, segun ha comprobado Tacchini; estos levantamientos no constituyen una erupcion propiamente dicha, pero son una fase de los fenómenos debidos á la actividad solar, y, al rededor de las regiones que parecen por tal causa mas luminosas, se observa constantemente una mayor viveza en el brillo de la cromo-esfera.

Pero hay tambien otro modo de concebir la produccion de una fácula; una simple erupcion de hidrógeno debe socavar la capa metálica absorbente, colocando en su lugar una capa de hidrógeno; siendo esta transparente para la mayor parte de los rayos toda vez que solo absorbe cuatro líneas, debe permitir que se vea la foto-esfera mas luminosa que antes. Es muy difícil comprobar con exactitud las relaciones locales que existen entre ambos fenómenos cuando se les observa en una época de gran actividad, á causa de la complicacion que entonces presentan las protuberancias, pero no ocurre lo mismo en las épocas de calma. Observando entonces con mucho cuidado y precision, se notan á menudo pequeñas erupciones hidrogénicas, no metálicas, en el borde oriental; al otro dia, en el punto correspondiente del disco, se comprueba la presencia de una fácula muy viva que al dia siguiente, presenta con frecuencia un punto negro en el centro. Es imposible, despues de esto, dudar ni por un momento, de la estrecha relacion que media entre ambos fenómenos.

Evidentemente las fáculas no se deben mas que á las erupciones de hidrógeno y dependen de ellas, bien sea de un modo directo, ya indirecto.

De todo lo dicho resulta que el cuerpo solar no es sólido ni invariable en su superficie, sino que se encuentra rodeado de una capa gaseosa incandescente, cuyo espesor desconocemos; bien pudiera suceder que toda la masa se encontrase en igual estado, pero dejando aparte esta cuestion, es indudable que la capa gaseosa no aparece tan delgada como llegó á creerse en algun tiempo. El estudio de las protuberancias y de las manchas ha demostrado que la superficie entera del astro se ve surcada como por olas gigantescas que, arrancando de las regiones ecuatoriales, van á concentrarse en los polos, transportando las erupciones hidrogenadas y arrastrando las manchas á latitudes mas elevadas. Si el período de estos cambios se halla bien comprobado respecto de las manchas, no ocurre lo mismo en cuanto á las protuberancias, á causa del corto número de años de observaciones que poseemos; pero además de estas grandes oscilaciones hay otras muchas de intervalos muy cortos. En vista de estos hechos; ¿seria absurdo el preguntarse si las dimensiones de este astro son absolutamente invariables con el tiempo, si su forma es rigurosamente esférica y si su eje de rotacion coincide con el eje de figura y el centro de gravedad? No lo creemos.

De otro lado, hace ya tiempo que astrónomos muy distinguidos encontraron entre los valores del diámetro solar que resultaba de las observaciones meridianas, diferencias de mucha importancia, que superaban considerablemente á los errores admisibles en observaciones delicadas, y esta cuestion fué discutida á fondo, á principios del siglo, principalmente por Lindenau y Carlini.

Aun todavía, no obstante la perfeccion de los instrumentos y la introduccion de los cronógrafos, no es raro encontrar diferencias de 3, 5 y hasta 7 segundos de arco, y de medio segundo de tiempo en las observaciones completas de distintos dias; estas diferencias son demasiado frecuentes y presentan á veces una marcha en extremo regular para que puedan interpretarse

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

como errores accidentales de las observaciones.

Lo que mas llama todavía la atencion, es el ver que á pesar de la variedad de los métodos y la perfeccion de los instrumentos, la medida del diámetro solar adelanta muy poco. Hemos reunido aquí algunos de los valores adoptados en distintas épocas en los trabajos astronómicos mas importantes.

Épocas	Autores	Diámetro horizontal	Diámetro vertical
1661	Mouton	32″ 3, 12	
1666	Picard	32 8, 8	
1673	Flamsteed	32 11, 08	
1684	Cassini	32 7, 08	
1719	Halley	32 10, 09	
1724	Louville	32 4, 16	4″, 0
1758	La Caille	32 6. 16	
1760	Lalande	32 2, 10	4 1
1761	Id.	32 2, 76	
1764	Schort	31 59. 66	
1769	Encke	31 56, 84	
1750 a 1758	Le Verrier	32 3, 68	
»	Id.	32 0, 02	
1765 á 1766	Lindenau	32 3, 10	
1787 á 1798	Id.	31 59, 54	
1792 á 1793	Maskelyne	31 59, 40	
	Piazzi	32 2, 38	
1820 á 1828	Bessel	32 1, 80	
1836 á 1847	Airy	32 3, 64	3 58
1853 á 1860	Id	32 2, 65	2 63
1840 á 1860	Ob de Madrás	32 3, 67	
1835 á 1848	Goujon	32 4, 02	

Aquí tenemos una serie de determinaciones á cuyo márgen figuran los nombres mas ilustres de la ciencia, y sin embargo, aunque cada valor individual se ha deducido de centenares de observaciones completas, y de millares de contactos y pasos de planetas interiores, no concuerdan ni siquiera las unidades. Hasta estos dos últimos años se ha hablado, y se habla aun, de las correcciones que habria que aplicar al diámetro adoptado para el Almanaque Náutico. (En 1847 se aumento el diámetro solar en 1″,84 y en 1870 se disminuyó en 0″,6.)

Estas diferencias llaman tanto mas la atencion, cuanto que respecto de la Luna los mismos observadores, provistos de iguales instrumentos, llegaron á obtener una conformidad casi absoluta del diámetro medio.

De 1750 á 1752.	934″, 95
1753 Bradley.	934, 37
En tiempo de Bliss. . . .	934″, 49
1.ª época de Maskelyne..	934, 36
2.ª época de Maskelyne..	933, 80
1812 á 1829.	934, 33

Hay motivo para preguntarse de dónde provienen tantas discrepancias respecto del Sol, cuando para nuestro satélite, que se mide con mas dificultad bajo cierto punto de vista, es la concordancia tan completa.

No desconocemos que, cuando se trata del Sol, hay circunstancias que aumentan la dificultad de la observacion, las cuales no existen para la Luna; el calor del Sol desarregla el anteojo y puede dilatar irregularmente las placas de los retículos, y modificar el eje de rotacion del instrumento, etc., etc. La agitacion del aire, mas poderosa á mediodía, y el aspecto difuso del borde solar son varias causas de error que no existen cuando se mide el diámetro de la Luna, pero de todos modos resulta que las diferencias de valores del diámetro solar son enormes.

Sorprendido Carlini de la magnitud de estas discrepancias, clasificó los errores posibles en este género de observaciones y examinó su influjo, reduciéndolos á las categorías siguientes, y efectuando un gran número de observaciones para comprobar la influencia de cada uno de ellos.

1.° La densidad mayor ó menor del vidrio oscuro empleado; con los cristales muy débiles halló $2^m\ 22^s,63$ y con los mas fuertes $2^m\ 22^s,59$, diferencia 0″. 60.

2.° La abertura y la aberracion de esfericidad de los objetivos; con un objetivo de 4 pulgadas y usando toda la abertura halló $3^m\ 22^s, 68$; con la mitad, $3\ 22^s, 68$, diferencia 0, 0. Otro objetivo mayor dió el mismo resultado, que luego confirmaron Arago, Goujon y otros en Paris, de manera que la irradiacion no ejerce ningun influjo.

3.° El cambio de foco en verano y en invierno que resulta del cambio de longitud del tubo; es sabido que hay compensacion entre este elemento y la distancia focal

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del vidrio, por lo que Carlini encontró una diferencia que solo llegaba á $^1/_{10}$ de segundo de arco.

4.° El aumento; haciéndolo variar desde 70 á 120 veces se obtenia $2^m.\ 22^s, 77$ y $2^m\ 22^s, 76$; diferencia $0'', 15$.

5.° La calidad de la vista del observador; Carlini observó alternativamente con el ojo derecho y con el izquierdo, cuya fuerza era muy desigual como ocurre en muchas personas, y halló con el ojo derecho $2m\ 22^s, 65$ y con el izquierdo $2^m\ 22^s. 58$; diferencia $1'', 05$.

De sus numerosos experimentos dedujo Carlini que estas diversas causas no podian explicar las divergencias comprobadas, y que siempre se estaba en el caso de atribuirlas á una causa desconocida; se ha invocado el estado del cielo, pero las observaciones del P. Rosa, efectuadas en los dias en que la atmósfera estaba mas clara y diáfana en Roma, demuestran que las diferencias se presentan de igual manera cuando el cielo está muy puro, como en el caso contrario. Queda una causa de error muy importante: la ecuacion personal de los observadores. Así vemos en el cuadro anterior, que la diferencia entre Maskelyne y Piazzi asciende á $2''. 98$: de igual manera entre Maskelyne y Cesaris se halla la diferencia $C—M=+3'', 70$.

Pero si bien hay que llevar en cuenta esta causa de error cuando se trata de distintos observadores, permanece constante para el mismo observador segun ha demostrado en su obra el citado P. Rosa. No es fácil comprender, pues, cómo puede variar esta ecuacion, no solo al cabo de cierto tiempo, sino periódicamente con las estaciones; además se observa que la ecuacion personal que, tomada en masa, es muy considerable, se hace menor escogiendo observaciones simultáneas; de modo que en general es de $+2''. 10$ entre Pond y Bessel, pero en los mismos dias se reduce á $+ 0'', 87$; y al paso que entre los observadores de Oxford y de Edimburgo asciende por lo comun á $1'', 89$, se reduce en las observaciones simultáneas á $0'', 01$.

Luego, atribuyendo á esta causa de error una parte mas considerable de las discrepancias observadas, queda por explicar otra no menos notable. Este motivo indujo al P. Secchi á escribir á varios astrónomos suplicándole que efectuasen diversas series de observaciones meridianas cronográficas, para buscar el orígen de tales diferencias; el resultado fué que estas variaban de un dia á otro, presentando, no obstante, una marcha muy parecida en las tres estaciones que fueron Roma, Palermo y Neuchatel.

No fué bien acogido este resultado, y varios astrónomos trataron de atribuirlo pura y simplemente á errores de observacion; para profundizar el asunto emprendió el P. Rosa la discusion de las observaciones efectuadas por los mas distinguidos astrónomos, trabajo importantísimo que no le dió tiempo de concluir su prematura muerte. En la parte histórica que nos ha dejado, se encuentran, no obstante, conclusiones del mayor interés que copiamos aquí, sin que por ello participemos de todas las opiniones teóricas del autor.

Al discutir las observaciones de Greenwich desde 1750 á 1870, corrigiendo las de Bliss y comparándolas con las demás, se nota que el diámetro horizontal es mas pequeño que el vertical; el exceso de este último diámetro sobre el primero fué comprobado por Bouguer, Cesaris y Carlini. Mossotti calculó la excentricidad de la esferoide alongada para esta época famosa por las observaciones no solo de Maskelyne sí que tambien de Cesaris, y la encontró bastante sensible; los valores de $c^2/2$ fueron $^1/_{355}, —^1/_{328}, —^1/_{362}$.

No es fácil decidirse sobre la causa de estas desigualdades; cierto es que la distinta manera que hay de observar ambos diámetros, es á saber, el horizontal por los pasos, y el vertical por mediciones, pueden ocasionar una diferencia en el resultado

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la comparacion; pero en tal caso ¿cómo es que no ha persistido la diferencia? ¿Por qué se presentó á Bouguer que observó con el heliómetro? Es de sentir que el uso de este instrumento no se extendiera mas y que no se aplicase á la medida del diámetro solar, y aun hoy dia pocos son los astrónomos que se ocupan de este problema.

Pero es un error el buscar el orígen de

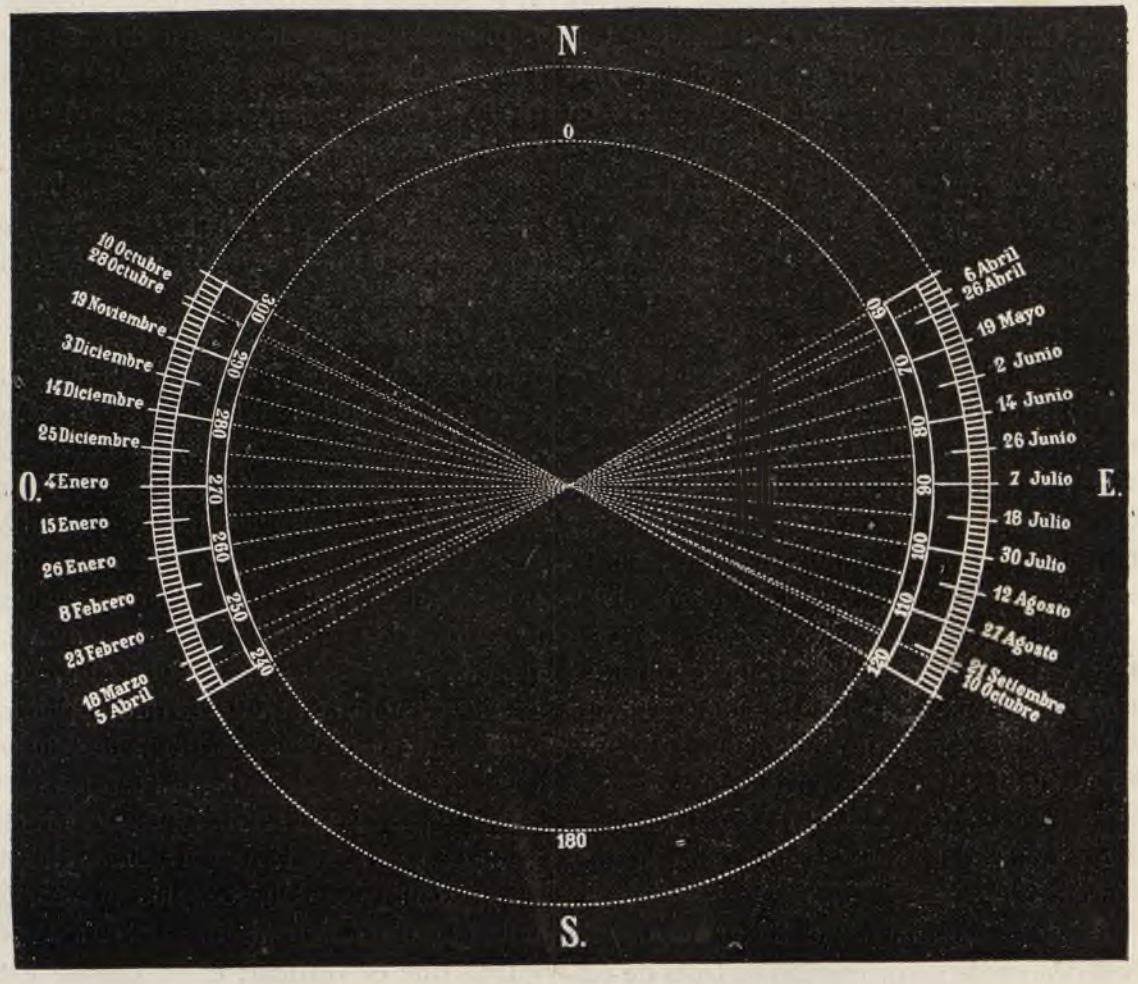


Fig. 3.0.—Ángulos de posicion de la proyeccion del ecuador solar

las desigualdades en cuestion, tan solo en la diversidad de métodos empleados por los observadores, puesto que se ha obtenido un resultado análogo asimismo, y de una sola y única especie de medidas, bien de pasos, ora de declinaciones. Nada hay en esto que deba sorprendernos; en efecto, como el ecuador solar se encuentra inclinado sobre el ecuador celeste unos 26 grados próximamente, resulta que en el paso del diámetro solar por el meridiano, se miden en el curso del año diámetros que forman entre sí ángulos de 52 grados; ahora bien, Mossotti al tratar de representar las observaciones de Cesaris por una esferoide, halló la esferoide alongada de que hemos hablado.

Finalmente, si el fenómeno reside en el método de observacion ¿por qué no son constantes las diferencias? Para conocer la marcha del fenómeno determinó el P. Rosa la fluctuacion que presentaba el diámetro solar en las diferentes épocas de las observaciones discutidas, trazando un cuadro

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de curvas por ordenadas y abcisas que sentimos no poder reproducir aquí; en él se ve que la marcha del fenómeno, por lo acentuada, no puede deberse á una ilusion y seria interpretarla de un modo muy violento atribuir sencillamente estas variaciones á errores de observacion.

La idea de una variacion mensual del diámetro, parece á primera vista muy original, pero si se reflexiona sobre lo que acabamos de decir de las distintas inclinaciones de los diámetros solares observados en diferentes meses, la hallaremos perfectamente justificada; además, examinando la fig. 320 vemos que los máximos de las curvas segunda y tercera caen en los meses de octubre y abril, y los mínimos en enero y junio, lo que concuerda con la posicion del ecuador solar en dichas estaciones, de manera que los máximos corresponderian á las regiones de las manchas; pero aquí tambien cambian las curvas en el siglo siguiente.

La variabilidad de estas fases con el tiempo, y su ausencia actual, no constituyen una dificultad, pues precisamente lo que se trata de establecer aquí es el hecho de su variacion. Y si la ley varia con el tiempo, podria explicarse esta circunstancia por la falta de una elipticidad perfecta ó por la no coincidencia del eje de rotacion con el eje de figura.

Sin embargo, fácilmente se ve, que aun en la época presente no han desaparecido por completo estas desigualdades mensuales, si bien el cambio continuo de los observadores de Greenwich debe eliminar el efecto de las ecuaciones personales.

En cuanto á la relacion que puedan tener estas variaciones del diámetro con los períodos de las manchas, no parece que el período decenal concuerde con el de los diámetros, sino con el de 50 ó 60 años, aunque con algunas diferencias. Es digno de llamar la atencion que las fases de los diámetros parecen corresponder con las desigualdades del perigeo solar descubiertas por Le Verrier. ¿Será este un efecto de la excentricidad del centro de gravedad del Sol con relacion al centro de figura? En este asunto solo podemos enunciar el problema cuya resolucion está reservada á la posteridad; en cuanto á las causas de estas variaciones nos son absolutamente desconocidas.

Entre las variaciones del diámetro solar es una de las mas importantes la diferencia que presenta el valor deducido de los pasos meridianos, con el que resulta de los eclipses; ya en 1860, cuando el P. Secchi observó el eclipse total en España, se quedó sorprendido del brillo de la *sierra rosa* que llamamos ahora cromo-esfera, pareciéndole imposible que una capa tan viva no ejerciera influjo alguno en las dimensiones del astro medidas con los anteojos, por mas que toda ella estuviera fuera del cuerpo solar. El color del vidrio oscuro no debe ser indiferente, y en efecto, con un cristal rojo aparece el diámetro 1″,5 mayor que en un modificador azul.

Cuando llegó el P. Secchi á ver la imágen espectral del Sol por medio de una combinacion espectroscópica particular, trató de medir su diámetro, encontrando diferencias de 3 á 6 segundos, por lo menos; estos resultados fueron acogidos con alguna desconfianza por los astrónomos, á causa de las observaciones contradictorias de Secchi y Respighi; la diferencia, sin embargo, puede explicarse fácilmente. Respighi hizo sus observaciones con un anteojo mas pequeño que daba menos luz y una imágen de la mitad del tamaño de la que obtenia Secchi, y para verla bien tenia necesidad de ensanchar bastante la ranura; ahora bien, el diámetro que se halla de esta suerte es la suma de los diámetros de la imágen y de la ranura, y como esta es, proporcionalmente á la imágen del refractor, mas grande con un anteojo mas pequeño, la correccion es mas considerable en el instrumento de Respighi y casi nula en el de Secchi. Ensanchando un poco la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rendija llegó este último astrónomo á adquirir el convencimiento de que semejante correccion era indispensable.

Pero como el asunto era muy importante para dejarlo abandonado, con tanto mas motivo cuanto que las observaciones de los eclipses solares y el paso de Vénus observado espectroscópicamente por Tacchini, acusaban un diámetro menor, resolvieron este astrónomo y Secchi reunirse en Palermo para verificar observaciones comparativas por distintos medios. Por fortuna se encontraron en la misma ciudad los distinguidos astrónomos Rayet de Paris y Dorna de Turin, cuya cooperacion fué en extremo útil. Las observaciones se principiaron por el método helio-espectroscópico ideado por Secchi; pero el calor solar, muy sensible en la atmósfera de Palermo, ablandó los másticos de los prismas y fué necesario suspender los trabajos, que se continuaron por un procedimiento mas sencillo imaginado por Tacchini, y que consiste en anotar el momento en que el borde solar entra y sale de las rayas longitudinales producidas en el espectro, por los granos de polvo caidos accidentalmente en la ranura. Con este método es indispensable colocar la ranura exactamente sobre el diámetro central y conservarla constantemente en la misma posicion, á pesar del movimiento del Sol en declinacion.

Los resultados obtenidos son como sigue: 1.° El semidiámetro espectroscópico es mas pequeño que el semidiámetro meridiano 0″,124, observado el mismo dia, lo que da para el diámetro una diferencia de 3″,72. El paso de Vénus da 8″,66 (Tacchini). Ninguna de las observaciones comparadas con las observaciones meridianas se aparta en sentido contrario á pesar de la pequeñez de esta diferencia.

2.° Por el contrario, si se compara este resultado con el Almanaque Náutico, se apartan las observaciones ora en sentido positivo, ya en sentido negativo; como el Almanaque Náutico admite un diámetro constante, así se probaria que en este intervalo ha sufrido el disco solar pocas variaciones. La diversidad de observadores hace nula la ecuacion personal.

3.° Se necesita el cronógrafo para estas observaciones, y la concordancia es mucho mayor para las medidas espectroscópicas que para las observaciones meridianas, de manera que Tacchini trata de establecer un sistema de observaciones espectroscópicas.

4.° El estado de la atmósfera perturbada por la bruma y el viento del sur (sirocco) tiene gran influencia sobre los resultados, lo cual se comprende fácilmente; pero aun en este caso las divergencias son mas sensibles en los pasos meridianos que en el paso espectroscópico.

Los hechos expuestos en este párrafo no son suficientes, ni con mucho, para resolver la cuestion; sin embargo, prueban que hay motivos para admitir la legitimidad de las dudas que algunos astrónomos han expresado sobre este punto. Así, por ejemplo, el interesante trabajo de Newcomb, en el que ha demostrado que las observaciones de Greenwich y las de Washington, efectuadas en el mismo dia, solo difieren en una fraccion de segundo, prueba lo que ya llevamos indicado, á saber, que las diferencias desaparecen en las observaciones simultáneas, lo cual por el contrario manifiesta que las diferencias de residuos en las observaciones no simultáneas, son reales.

Acabamos de presentar un gran número de hechos y consideraciones que podemos resumir del modo siguiente:

Las manchas, fáculas, erupciones y protuberancias son fenómenos que dependen de la actividad interna del Sol; están, pues, mas ó menos ligados entre sí y son la representacion de vastas perturbaciones internas que se manifiestan por erupciones y agitaciones de la foto-esfera. La region oscura que constituye el núcleo de una mancha, á pesar de su forma particular no

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

es mas que un fenómeno secundario de la crísis general; se produce por la absorcion debida á los vapores eruptivos interpuestos entre la foto-esfera y el observador.

La actividad del Sol no se manifiesta de igual manera sobre toda la superficie de este astro; hay dos máximos constantes, á entrambos lados del ecuador entre 10 y 30 grados de latitud; esta es la region de las manchas y de las erupciones metálicas propiamente dichas. Las regiones de las manchas y de las protuberancias exhiben ciertos movimientos de transporte hácia los polos, en períodos muy largos. Parece que toda la masa solar se encuentra comprendida en esta circulacion gigantesca, de modo que la mitad de su volúmen comprendido entre + 30° y — 30° de latitud, formaria una enorme corriente ascendente, y la otra mitad, que comprende los polos, la contracorriente descendente. No obstante, los detalles de esta circulacion son bastante complicados.

Mas allá de esta zona principal, se encuentra una segunda en donde las manchas y las erupciones se producen de un modo intermitente; sus límites varian con la actividad solar; á las veces se extiende hasta los polos y presenta entonces un máximo á los 60 ó 70 grados de latitud; en esta misma region, precisamente, experimenta la atmósfera solar una variacion brusca en su altura, segun hemos visto al observar los eclipses totales; en ocasiones desciende esta zona algo mas abajo, y el máximo parece detenerse hácia los 45 grados de latitud; estas variaciones no se han estudiado aun de un modo continuo, y por lo tanto, se desconocen sus leyes; tan solo se sabe que en esta zona jamás se observan las erupciones metálicas tan notables, que con frecuencia se ven en las regiones ecuatoriales.

Las erupciones metálicas no pueden explicarse por los simples movimientos de la capa que invierte las rayas del espectro, pues es muy delgada, si bien presenta mayor espesor en el ecuador que en los polos. Si se admite la existencia de los torbellinos en la foto-esfera solar, no hay motivo para negar las erupciones; los torbellinos, excitados en las regiones superiores de la atmósfera solar, podrian asemejarse á las erupciones por su fuerza aspirante, pero en general se producen por una fuerza impulsiva que obra de abajo arriba.

El brillo particular de las fáculas puede deberse á una doble causa; á una elevacion local del nivel de la foto-esfera que pase de la capa absorbente, y tambien se puede explicar por la aglomeracion de esta capa producida por los chorros de hidrógeno en el punto de su salida, en donde se encuentran mas condensados.

El Sol dista mucho de poseer la misma actividad en todos sus meridianos; las regiones mas activas conservan durante largo tiempo la misma potencia; las fáculas y las erupciones se hallan distribuidas desigualmente por todo el contorno del globo; si pudiéramos apreciar fácilmente estas diferencias, nos ofreceria el disco solar un aspecto comparable al de la Luna; veríamos unas partes mas brillantes que, al llegar al limbo, darian orígen á numerosas erupciones, y otras partes mas pálidas y al mismo tiempo con menos protuberancias.

Nada hay que pruebe la invariabilidad perfecta del diámetro solar; por el contrario, la observacion es favorable á las variaciones seculares de sus dimensiones y á las variaciones de corto período; no tenemos seguridad de que la figura del Sol sea rigorosamente esférica, y se ha comprobado la existencia de ciertas irregularidades en las mismas épocas y regiones de los máximos de agitacion foto-esférica.

Tales son las principales conclusiones que podemos deducir de una serie de observaciones, en verdad muy limitada; no hay, pues, que considerarlas como definitivas y generales, y las presentamos como un ensayo de lo que puede aguardarse si se estudia con asiduidad esta nueva rama de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la ciencia, á la que da el P. Secchi el nombre de *meteorología solar*.

III

Direccion y velocidad de las corrientes gaseosas del Sol.

Uno de los mas gloriosos triunfos del análisis espectral, superior quizás á todas las maravillas de este método admirable, se contrae al descubrimiento de que valiéndose de medidas delicadas hechas con los mejores aparatos sobre la posicion, ó mas bien, sobre la pequeña dislocacion de las líneas espectrales de una estrella ú otro manantial de luz, v. gr., una protuberancia, es posible averiguar si el cuerpo luminoso observado se aproxima á nosotros ó si por el contrario se aleja, y tambien cuál es la velocidad con que camina.

El principio en que se basa este género de estudios se debe á Doppler, que en 1842 trató de explicar el cambio de color de las estrellas variables, suponiendo que su movimiento podia compararse con el de la luz, y que por lo tanto, el número de ondas etéreas que herian el ojo en un segundo seria mayor si la estrella se acercaba á la Tierra, y mas pequeño si se alejaba de nosotros, que permaneciendo fija; ahora bien, como la luz violeta produce el mayor número de vibraciones por segundo y la luz roja el número menor, si la estrella se aproxima, su luz se dislocará en la direccion del violeta, y en la direccion del rojo si el astro se aleja de nosotros.

En 1848 confirmó Fizeau los experimentos de Doppler acerca de las modificaciones que un movimiento rápido de traslacion imprime á un cuerpo sonoro, alterando la tonalidad de la nota musical que produce, y segun que el cuerpo sonoro se aproxima ó se aleja del observador se hace el sonido mas agudo ó mas grave. Por experimentos ingeniosos se han demostrado estas variaciones, que por lo demás pueden comprobarse por todo el mundo de un modo bien sencillo; si nos situamos en una estacion de ferro-carril que no sea cabeza de línea, por la cual cruce un tren sin detenerse, al aproximarse la locomotora se oirá el silbato que producirá un sonido de una tonalidad cualquiera, cuya altura irá creciendo á medida que se acerca la máquina, y despues de pasar, irá haciéndose cada vez mas grave; y sin embargo, la altura del sonido ha permanecido invariable para los viajeros del tren, que siempre se encontraban á igual distancia del silbato.

Otro experimento hay de muy fácil ejecucion: se preparan dos hierros de tono ó coristas, perfectamente afinados, de suerte que, si se hace que resuene uno de ellos, vibrará el otro por simpatía; si entonces se pone el uno en movimiento, el otro permanece silencioso, y si se quiere que vibre por simpatía es preciso modificarlo de modo que dé un número de vibraciones que depende de la velocidad del movimiento de traslacion dado al otro instrumento. Estos fenómenos son fáciles de comprender si se recuerda la naturaleza del sonido y las circunstancias que determinan su tonalidad; el sonido se trasmite al tímpano por las vibraciones del aire, y es tanto mas agudo, cuanto mayor es el número de vibraciones que recibe nuestro órgano en el mismo tiempo, ó bien, lo que es lo mismo, es tanto mas agudo cuanto mas corta es la onda sonora; supongamos, pues, que el cuerpo sonoro se aproxima al lugar de la observacion; las vibraciones que se producen en puntos cada vez mas inmediatos al observador, llegaran á su oido con mayor frecuencia que si el cuerpo permaneciese inmóvil; recibirá, pues, un número mayor en el mismo tiempo, y por consecuencia parecerá el sonido mas agudo. Lo contrario tendrá lugar si el cuerpo sonoro se aleja y cada vibracion terminará con algun retardo; se recibirá un número menor en el mismo tiempo y el sonido parecerá mas grave.

Tambien puede expresarse esta teoría de otro modo; la onda no es mas que el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

espacio recorrido por el movimiento vibratorio en el medio elástico, en el tiempo que dura una vibracion del cuerpo sonoro; así la onda se alargará ó se acortará en una cantidad igual á la dislocacion que experimente el cuerpo durante la vibracion expresada, segun que camine en un sentido ó en otro. Debemos de decir, sin embargo, que Van der Willigen ha emitido algunas dudas sobre esta teoría aplicada á la luz cuyas vibraciones son transversales, pero no parece que los físicos se hayan dejado convencer por sus objeciones.

Es probable que el timbre tambien se modifique, pero nos basta con las variaciones de tonalidad que acabamos de exponer, y veamos cómo se puede aplicar á la luz lo que hemos dicho del sonido.

Así como los diversos tonos del sonido dependen de la rapidez de las vibraciones del aire, de igual manera los distintos colores se regulan por las vibraciones del éter; por lo tanto, si un objeto luminoso, v. gr., una protuberancia de hidrógeno inflamado, se aleja de nosotros rápidamente, hieren nuestro nervio óptico, en un segundo, menor número de ondas etéreas, que si la protuberancia permaneciese estacionaria. Si la diferencia en el número de ondas etéreas es suficientemente grande para que el ojo la perciba, en este caso cada color del gas inflamado debe hundirse mas profundamente en la escala espectral, esto es, que se inclinará mas hácia el rojo. Los rayos individuales colorados no aparecerán, pues, en la descomposicion prismática de la luz, en el mismo lugar del espectro en que se hubieran visto si la luz hubiese permanecido estacionaria, y todos ellos se dislocarán algun tanto hácia *el rojo*.

Lo contrario tiene lugar cuando el cuerpo luminoso se aproxima con rapidez hácia nosotros; el número de vibraciones etéreas que recibe el ojo se aumenta, y en el análisis prismático de la luz, los rayos colorados cambiarán de lugar, asimismo, en la escala espectral, tomando el puesto que corresponda á su creciente refrangibilidad y dirigiéndose en general hácia *el violeta*.

La longitud de la onda luminosa determina el color del rayo y su grado de refrangibilidad; si las ondas se acortan, se hace el rayo mas refringente y el color se aproxima al violeta; si se alargan, se hace el rayo menos refringente y el color se aproxima al rojo. Tenemos como ejemplo la línea F que se encuentra en el azul (H beta) y cuya longitud de onda es de 487 millonésimas de milímetro; si el movimiento del cuerpo luminoso fuese capaz de aumentar la longitud de onda en 41 millonésimas de milímetro, vendria á colocarse la raya F en el verde, cerca de E. Pero para llegar á este resultado seria menester una velocidad de 8,000 leguas por segundo, velocidad mil veces mayor que la de la Tierra en su perihelio, pues entonces solo recorre unas 7 leguas próximamente. Sin embargo, no es necesario que las desviaciones de los rayos luminosos sean tan considerables para que se puedan comprobar, y nuestros espectroscopios permiten la evaluacion de cantidades mil veces mas pequeñas; así, pues, la distancia entre D_1 y D_2 del sodio, corresponde á una diferencia en la longitud de onda de 0,4 de millonésima de milímetro ($^{0''4}/_{1000000}$); ahora bien, con un buen espectroscopio, puede medirse fácilmente una distancia diez veces menor, y con mayor motivo podrá apreciarse esta magnitud si lo que se desea es estimar aproximadamente las inflexiones de una línea recta. Para producir esta traslacion de D_1 á D_2 seria menester una velocidad de 76 leguas; como vemos, el espectroscopio puede servir para apreciar las dislocaciones producidas por una velocidad de 7 á 8 leguas.

Vamos á ver ahora cómo Secchi y Huggins, fundándose en este principio, consiguieron determinar la velocidad con que las estrellas fijas se alejaban de la Tierra ó se aproximaban á ella. Lockyer se sirvió del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mismo procedimiento para medir la velocidad con que el gas hidrógeno inflamado de que se componen las protuberancias, sale del núcleo solar, ó vuelve á él, cuando llega á agotarse la fuerza eruptiva. El principio de este método se apoya en las consideraciones siguientes.

La refrangibilidad de la luz azul-verdosa (H beta) que en union de la roja (H alfa) y de la azul (H gamma) emite el gas hidrógeno incandescente se determina por la posicion de la línea F en el espectro solar; si se observa alguna mayor ó menor dislocacion en la línea F, esto es, un cambio en la refrangibilidad ó longitud de onda de la luz azul verdosa, *sin que las líneas negras inmediatas sufran la menor modificacion al propio tiempo*, es evidente que la causa de esta dislocacion no puede atribuirse ni al movimiento de la Tierra, ni al del Sol, sino mas bien, y de un modo exclusivo, al que posea el gas hidrógeno luminoso.

Si este gas del Sol se aproximase rápidamente hácia nosotros, el número de sus ondas etéreas en un segundo debe aumentar; la longitud de cada onda será mas corta y la luz se inclinará hácia el violeta, porque este color se compone de las ondas mas cortas; *la línea F experimenta entonces una dislocacion y cambia de lugar en el espectro aproximándose al extremo violeta.* Si la disminucion ó acortamiento de la onda etérea de la luz azul verdosa del hidrógeno (H beta) fuese únicamente $^1/_{10.000,000}$ de milímetro, la dislocacion de la línea F seria aun visible, y por este medio quedaria demostrado el movimiento del gas hidrógeno en el Sol.

Si por el contrario, se mueve el gas en direccion opuesta y se separa de nosotros, el número de ondas por segundo disminuirá, la longitud de las vibraciones será mayor, los rayos azul-verdosos se acercarán al rojo y *una dislocacion de la línea F se producirá hácia el extremo rojo del espectro.*

Respecto á la aproximacion ó resecion del gas hidrógeno para un observador situado en la Tierra, hay que llevar en cuenta dos diversas circunstancias. Si se supone que la direccion de la flecha *a* (fig. 321)

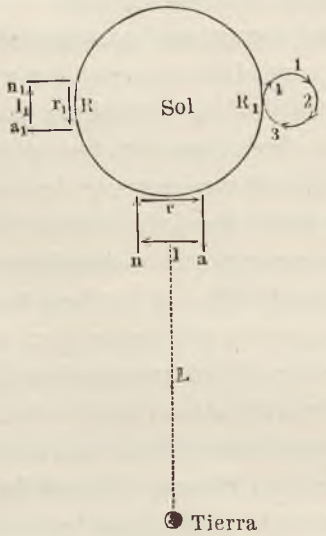


Fig. 321.—Direccion y velocidad de las corrientes gaseosas del Sol

indica una corriente luminosa de gas que sale del Sol y se dirige hácia la Tierra; que la de la flecha *n* por el contrario, represente una corriente de gas que se sumerge de nuevo en el Sol y se aparta de nosotros: la corriente *a* producirá una dislocacion de la línea F hácia el violeta y la corriente *n* hácia el rojo, con tal que la velocidad sea bastante considerable para alterar la longitud de la onda, al menos en una diez millonésima de milímetro; las corrientes laterales, sin embargo, indicadas por las flechas *r* y *l* no ejercerán influjo alguno en la dislocacion de la línea F, pues ni se aproximan al ojo, ni se alejan de él, siendo su direccion perpendicular á la visual L. Por lo tanto, si el tele-espectroscopio se dirige al centro del Sol en el sentido de la línea L, percibiremos, en el supuesto de que la línea F cambie de lugar, la subida y el descenso de las corrientes gaseosas *a* y *n*, cuya velocidad puede medirse, pero de ningun modo las corrientes laterales que circulan en direccion tangente á la superficie del Sol.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Mas si el instrumento se dirige al limbo del Sol en R, se invierte el caso y la elevacion y descenso de las corrientes gaseosas a_1 y n_1, como no se acercan ni se alejan de nosotros, no producen cambio alguno en la posicion de la línea F; si, por el contrario, las corrientes laterales r_1 y l_1 caminan en este lugar con rapidez suficiente, la corriente r_1 se aproximará al ojo del observador y producirá una dislocacion de la línea F hácia el violeta, mientras que la corriente l_1, apartándose de la Tierra, hará que la misma línea se incline hácia el rojo.

Es evidente, por lo tanto, que la elevacion y el descenso de las corrientes de gas hidrógeno se observan mejor en la parte central del Sol, mientras que las corrientes laterales, comparadas por Lockyer á las

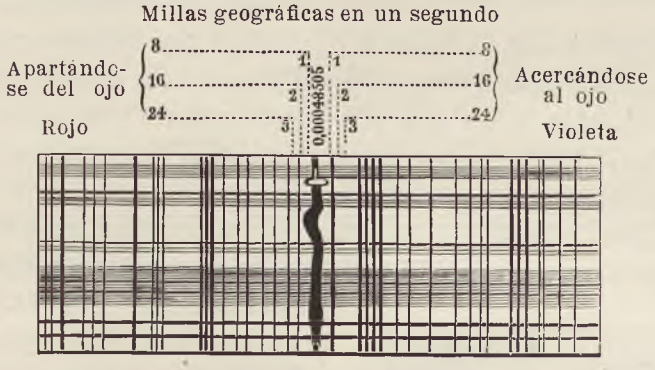


Fig. 322.—Dislocacion de la línea F; velocidad de las corrientes gaseosas del Sol

borrascas circulares ó ciclones, se verán con preferencia en el limbo solar (R ó R_1).

Si las líneas del hidrógeno experimentaran una dislocacion simultánea en ambos sentidos, ó un aumento uniforme en su anchura, es claro que no podria deducirse con toda certidumbre que el cuerpo luminoso estuviera dotado de movimiento, y la causa de la expansion de las líneas, oscuras ó brillantes, habria de buscarse en un aumento de la densidad ó temperatura del gas luminoso. Cuando el ensanche de las líneas tiene lugar, no obstante, en uno de los lados exclusivamente y luego en el otro, como á veces ocurre, no es posible, segun las investigaciones de Lockyer y Frankland atribuir el fenómeno á un cambio de densidad, puesto que el aumento de la presion haria que la línea F se ensanchase de igual manera por ambos lados.

La fig. 322 claramente manifiesta los notables cambios de la línea F cuando se dirige el espectroscopio á una mancha solar situada en el centro del disco. La banda oscura que cruza á lo largo del espectro la produce la absorcion general de la luz causada por la sustancia de las manchas. Las líneas negras horizontales se deben á los granitos de polvo de la ranura y no tienen nada que hacer con el espectro; la línea F, que por regla general se presenta muy destacada y dura en los bordes, aparece en algunos sitios, no solo como una línea brillante, sino como brillante y oscura al mismo tiempo, en cuyos puntos experimenta la mayor dislocacion hácia el rojo. Cuando esto ocurre tambien se ve frecuentemente una línea brillante en el violeta.

En la fig. 323 pueden verse las extrañas formas que presenta la línea F del hidrógeno, en el centro del disco solar; en unos puntos es negra y en otros brillante, habiendo porciones que se dirigen hácia el extremo rojo del espectro; en la fig. 324 se ve que la misma línea queda cortada al llegar á pasar por una de las pequeñas manchas del Sol; á veces se hace invisible sobre las fáculas situadas entre dos man-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

chas pequeñas, y tambien se convierte en línea brillante ensanchándose por ambos lados en las manchas muy pequeñas.

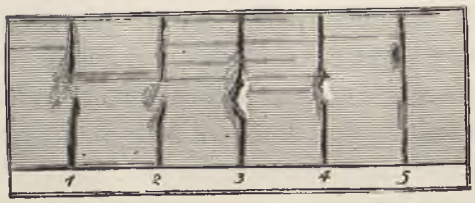


Fig. 323.—Distintos aspectos de la línea F

Todas estas modificaciones de la línea F resultan, como llevamos dicho, del cambio de la longitud de onda de la luz azul-verdosa que emiten las agitadas masas de hidrógeno incandescente que hay en el Sol. El medio de esta línea, cuando se ve bien definida, corresponde á una longitud de

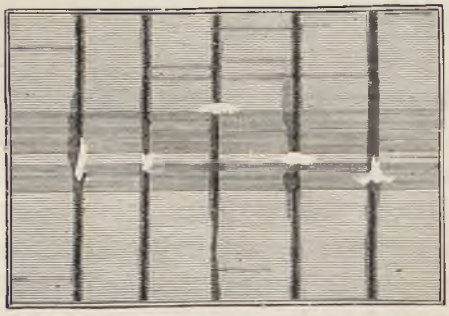


Fig. 324.—Modificaciones de la línea F en su relacion con las manchas

onda de 487 millonésimas de milímetro, de modo que es posible, valiéndose de los mapas del espectro solar de Angstrom, medir la dislocacion cuando la longitud de onda cambie siquiera en $^1/_{10.000.000}$ de milímetro, y recíprocamente, tambien se puede medir por la dislocacion de la línea F la cantidad correspondiente en que se ha alargado ó disminuido la longitud de onda de la luz azul-verdosa del hidrógeno, hasta la diez millonésima parte de un milímetro. Si la línea F se apartara de su posicion normal en el espectro del Sol, hasta el punto marcado 1 (fig. 322) las longitudes de onda de la luz azul-verdosa del hidrógeno se acortarian $^1/_{10.000.000}$ de milímetro; la luz, pues, se aproximará al ojo del observador y una erupcion de gas ascenderá en el punto observado en medio del Sol, en *a* (fig. 321). Fácil es calcular que semejante dislocacion de la línea F, de su centro normal al sitio marcado 1, indica un movimiento en el gas de 14 leguas por segundo.

Si la línea F experimentase una dislocacion análoga hácia la izquierda, esto es, en la direccion del rojo, la longitud de onda de la luz azul-verdosa del hidrógeno, se alargará; el gas, por lo tanto, se apartaria de la Tierra con la misma velocidad de 14 leguas por segundo y la corriente gaseosa se hundirá en el Sol como indica la flecha *n* de la figura.

Una dislocacion de la línea F de su posicion normal hácia los puntos señalados con los números 2 y 3, ora hácia el violeta, bien hácia el rojo, daria lugar á creer que el gas hidrógeno era lanzado del Sol ó volvia á entrar en él con una velocidad de 28 y 56 leguas por segundo respectivamente. De los cambios que en la actualidad se observan en la longitud de onda de la luz azul verdosa del hidrógeno, ó de las dislocaciones medidas de la línea F, negra ó brillante, resulta que la velocidad de las corrientes gaseosas es por lo general de 7 leguas por segundo.

La observacion de los movimientos laterales debe hacerse con las líneas brillantes de la cromo-esfera en el limbo solar, bien en R ó en R_1. La velocidad del gas hidrógeno es en este caso mucho mayor, ya se aproxime á la tierra como en r_1 cerca de R, ó en 2 cerca de R_1, bien se aleje de ella como en n_1 cerca de R y en 4 cerca de R_1. Los cambios en la longitud de onda de la luz azul verdosa del hidrógeno no se deben á la elevacion y al descenso de las corrientes de gas a_1, n_1 y 1, 3, sino al movimiento lateral de las corrientes r_1, l_1, y 2, 4, y son sin duda alguna indicaciones de que el hidrógeno incandescente se encuentra en estado de movimiento rotatorio ó ciclónico.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Tambien debe de llamar la atencion que aun con la ranura lo mas estrecha posible, cuando no pasa de $^1/_{50}$ de milímetro es perfectamente visible una porcion considerable de la superficie del Sol; en el tele-espectroscopio de Lockyer, el campo visual, aun con esta rendija tan estrecha abraza una porcion de la superficie solar de 1,800 millas de extension, y en el instrumento de Secchi, con la ranura del todo abierta cubre un espacio de 20,000 á 24,000 millas.

Cuando una masa considerable se pone en movimiento, las distintas partes que la componen poseen, necesariamente, velocidades muy diversas; de aquí resulta, que en el espectroscopio se observan dislocaciones irregulares cuyo efecto es ensanchar las rayas y hacerlas difusas; determinando el máximo de esta dilatacion se podria calcular la velocidad de traslacion correspondiente. El P. Secchi no cree haber observado nunca dislocaciones iguales á la distancia que separa la línea D_1 y D_2, sin que llegue, empero, á afirmar que el hecho sea imposible. Las mayores dislocaciones que observó corresponden á una velocidad aproximada de 30 á 90 kilómetros y esto basta para tener la certidumbre de que los movimientos observados en las protuberancias son verdaderos movimientos mecánicos y no simples ilusiones.

Si, pues, un vórtice de hidrógeno incandescente se extiende por un espacio de 300 á 400 leguas, con un movimiento rápido de revolucion en las inmediaciones del limbo solar, su conjunto puede observarse aun con la ranura lo mas cerrada posible; en el tele-espectroscopio pueden distinguirse en seguida las ondas etéreas que se aproximan á la Tierra, de las que de ella se separan y apreciar el movimiento por la dislocacion de la línea F. Un ciclon gaseoso de esta clase fué observado por Lockyer (fig. 321, 1, 2, 3 y 4). Cuando la ranura se dirigia al centro de la tempestad, presentaba la línea F una expansion igual, tanto hácia el rojo como hácia el violeta, que indicaba que la velocidad de la corriente gaseosa era superior, aunque poco, de 14 leguas y media por segundo. Cuando se movia la ranura primero hácia un extremo del vórtice y luego hácia el otro (fig. 321, 2, 4) era evidente que las ondas etéreas se aproximaban en un sitio y se alejaban en otro, relativamente á la Tierra, porque en cada caso la dislocacion de la línea F tan solo tenia lugar en uno de los lados. Si la dislocacion se dirigia al rojo, aumentaba la longitud de las ondas y por consiguiente la corriente gaseosa (fig. 321, 4) se alejaba de la Tierra; la dislocacion ó expansion de la línea F hácia el violeta probaba únicamente, por el contrario, un acortamiento de las ondas etéreas y la aproximacion de la corriente (2) á la Tierra.

La fig. 325 muestra una borrasca circular ó ciclon de esta naturaleza, observada por Lockyer en el limbo del Sol el dia 14 de marzo de 1869. Al colocar por primera vez la ranura, la imágen de la línea brillante F (H beta) de la cromo-esfera apareció en el espectroscopio como indica el n.° 1; una pequeña alteracion de la ranura hacia que la imágen se modificase presentándose como en núms. 2 y 3. Tambien tuvo lugar una dislocacion simultánea de la línea brillante F hácia ambos extremos rojo y violeta, lo que es un indicio de que en aquel lugar del Sol una porcion de gas hidrógeno se dirigia á la Tierra, mientras que otra parte se encaminaba en direccion opuesta, alejándose de nuestro globo y aproximándose al Sol, por manera que el conjunto de los movimientos del gas podia compararse al de un remolino.

En la fig. 326 presentamos tres aspectos diferentes de la misma línea azul verdosa F, en una protuberancia que observó Lockyer cerca del centro del Sol el 12 de mayo de 1869, en union de la línea oscura F del débil espectro solar. En todos estos dibujos la línea brillante referida coincide en direccion con la línea oscura F, lo que indica que la porcion de la protuberancia ó cro-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mo-esfera se encontraba en una época de tranquilidad; demuestran estas líneas, sin duda alguna, que la luz azul-verdosa del hidrógeno incandescente no ha sufrido modificacion en la longitud de su onda y que el gas, por lo tanto, no manifestaba inclinacion ni movimiento alguno ni hácia la Tierra, ni en opuesto sentido. Las líneas brillantes que divergen ó se apartan de estas líneas normales hácia el violeta, indican

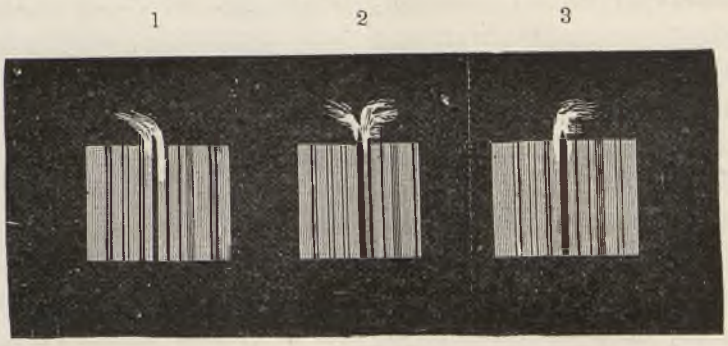


Fig. 325.—Movimiento de un vórtice gaseoso en el Sol

aquellas porciones de las protuberancias cuyo movimiento se dirige á nuestro globo. La línea azul-verdosa del gas hidrógeno, por ejemplo, experimenta, manifiestamente, una dislocacion muy desigual en el campo del espectroscopio; las partes infe-

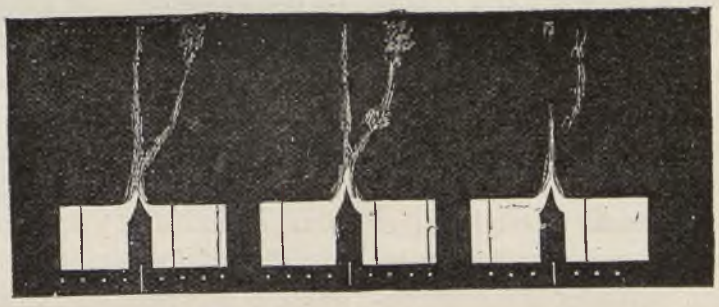


Fig. 326.—Desigual dislocacion de la línea del hidrógeno H *beta*

riores que se encuentran muy inmediatas á la línea negra F indican una dislocacion menor, y por lo tanto, un cambio de menos valor, ó acortamiento de la longitud de onda, que el correspondiente á las regiones superiores, indicio cierto de que el gas hidrógeno incandescente caminaba ó se dirigia del Sol hácia el ojo del observador con una velocidad superior en las regiones mas elevadas y menos densas de la atmósfera solar, que en los estratos inferiores.

Por medio de las distancias de la línea normal oscura F, deducida de los mapas de Angstrom, es fácil reconocer las dislocaciones individuales á que está sometida la línea azul verdosa del hidrógeno, y por el movimiento puede estimarse la velocidad de la corriente gaseosa. Halló Lockyer que la mayor dislocacion ó apartamiento de la línea brillante F correspondia á una diminucion de la longitud de onda que indicaba una velocidad, cuando menos, de 60 leguas por segundo en la direccion del Sol hácia la Tierra.

Estas observaciones espectroscópicas recibieron mayor interés al compararlas con las observaciones telescópicas. El 21 de abril de 1869, observó Lockyer una mancha en las inmediaciones del limbo solar. A $7^h\ 30^m$ apareció en el campo visual

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

una protuberancia que presentaba signos de grande actividad; las líneas del hidrógeno eran en extremo brillantes, y como el espectro de la mancha era visible en el mismo campo, se observaba que la protuberancia iba avanzando hácia la mancha. La violencia de la erupcion era tan grande que arrastraba fuera de la cromo-esfera una gran cantidad de vapores metálicos, que antes no se habian visto. En la parte superior de la llama de hidrógeno flotaba una nube de vapor de magnesio; á las 8^h 30^m habia terminado la erupcion, pero una hora despues comenzó otra, mostrando la nueva protuberancia un movimiento en extremo rápido. Mientras se verificaba este fenómeno, las líneas hidrogénicas del lado de la mancha mas próximo á la Tierra se convirtieron repentinamente en líneas brillantes, extendiéndose de un modo tan notable que no era posible dudar de la evidencia de la tormenta ciclónica.

En el mismo dia se obtuvo una fotografía del Sol en el Observatorio de Kiew á 10^h 55^m en la cual se ve claramente que una gran perturbacion tuvo lugar en la foto-esfera en las inmediaciones de la mancha observada por Lockyer; en una segunda fotografía tomada á las 4^h 1^m aparecia el limbo del Sol como mordido, precisamente en el lugar en donde habia revelado el espectroscopio el movimiento rotatorio.

Ocurrióse á Secchi y Zöllner que por la desigual dislocacion de la línea C, segun se observaba en dos puntos opuestos del ecuador solar, podia averiguarse la velocidad de la rotacion solar. Como un punto de la superficie del Sol que mira á la Tierra gira en el sentido del Este al Oeste, un punto del limbo oriental debe aproximarse al observador fijo en la Tierra mientras que otro punto del limbo occidental se apartará de nuestro globo. Los lugares situados en el ecuador solar estarán dotados de la velocidad máxima, que llega á ser de 1,92 kilómetros por segundo; si una línea espectral, v. g., la C, se observa en el limbo oriental del Sol que se aproxima al observador, aparecerá, comparándolo con la posicion que ocupaba en el polo del eje solar ó aun en el centro del Sol, dislocada hácia el violeta; mientras que, por el contrario, la misma línea observada en el limbo occidental del Sol que se aleja de nosotros parecerá que experimenta cierta dislocacion hácia el rojo. Secchi cree haber observado dislocaciones análogas en la línea roja H *alfa* de la cromo-esfera, comparada con la línea negra constante C del espectro de la atmósfera, visible al propio tiempo; cuando esta línea brillante se observa en el limbo del ecuador solar que se acerca á nosotros, se ve dislocada hácia el violeta, dejando detrás de sí una estrecha banda oscura de la línea C visible en la parte mas cercana del rojo; si se examina en el limbo que se aleja, se dirige la línea al rojo dejando tras sí, de igual manera, una banda oscura muy estrecha hácia el lado mas próximo al violeta.

Aunque debido á los adelantos y mejoras introducidas por Fizeau, pueden construirse instrumentos bastante delicados como para medir dislocaciones que no pasen de 0,0075 del intervalo comprendido entre las dos líneas D, y por mas que el ingenioso aparato de Zöllner llamado espectroscopio de inversion permita reducir este espacio á la mitad, no obstante, deben recibirse con gran cautela las medidas y observaciones de esta clase. Los trabajos de Secchi, en cuanto se refieren á la dislocacion de la línea, son exactos, sin duda alguna, pero es prematuro atribuir este cambio de lugar á la rotacion del Sol; no solo porque las dislocaciones de las líneas brillantes se ven en todo tiempo y en todos los puntos de la superficie del Sol en donde haya protuberancias, á las veces en un lado del espectro y á las veces en el otro; y que á menudo en el limbo oriental del ecuador solar se ve la línea C dislocada

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hácia el rojo y no hácia el violeta, observándose lo contrario en el borde occidental del Sol, sino tambien porque las líneas oscuras del espectro deben sufrir una dislocacion igual si la causa reside en la revolucion del Sol sobre su eje. Puede, por consiguiente, deducirse que, al menos en los ejemplos presentados por Secchi, la dislocacion observada en la línea roja del espectro de las protuberancias no se debe por ningun estilo á la rotacion del astro luminar del dia.

Mas tarde llegó el P. Secchi á medir la velocidad de rotacion del Sol observando en el espectroscopio las dos extremidades del diámetro ecuatorial y midiendo de esta manera la pequeña dislocacion que experimentaba la raya C en relacion con las rayas atmosféricas que la rodean. Zöllner y Vogel comprobaron las conclusiones de Secchi empleando en sus investigaciones el aparato especial que hemos indicado, esto es, el espectroscopio de inversion, que se compone de dos prismas de vision directa dispuestos en sentido contrario uno de otro, lo que permite que se pueda comprobar y apreciar la mas ligera diferencia en la posicion de las rayas que componen cada uno de los espectros. De este modo pudo obtener la certidumbre de que cierta raya muy fina ocupaba posiciones sensiblemente distintas, segun que se observaba el borde oriental ó el occidental del disco solar. Mucho tiempo hacia ya que el P. Secchi empleaba para observar las estrellas un sistema de dos prismas opuestos entre sí; en lugar del segundo prisma de vision directa unido al primero, emplea Zöllner, actualmente, un solo prisma en ángulo recto colocado delante del ocular, poco mas ó menos como una cámara clara; una parte del espectro se encuentra así invertida por reflexion total sobre la hipotenusa del prisma y se la puede comparar con la parte trasmitida directamente.

Volvamos ahora á la velocidad con que son lanzados los gases que constituyen las protuberancias. Sí es cierto, como todo induce á creerlo, que estos fenómenos son verdaderos movimientos mecánicos, es evidente que las masas animadas de semejantes velocidades deben obedecer á fuerzas muy considerables, las que han de tener su orígen en las presiones. No es posible admitir, sin embargo, la existencia de estas presiones enormes en la region exterior del globo solar accesible á nuestros instrumentos. Una presion de 15 atmósferas basta para que el espectro del hidrógeno se haga continuo; comienza á ser difuso á una presion mucho mas débil, de 400 milímetros de mercurio ó $^1/_2$ atmósfera próximamente.

Hacen falta, sin embargo, fuerzas mucho mas considerables para lanzar esas masas enormes á alturas tan grandes, á pesar de la gravitacion solar; estas fuerzas, pues, solo pueden provenir de la masa interna del Sol y de las reacciones químicas que se verifican tumultuosamente en su seno. Parece natural y legítimo deducir, que las erupciones no pueden considerarse como pequeñas agitaciones de la cromo-esfera, y debemos, por el contrario, suponer que son pruebas ciertas de las crísis violentas que perturban y conmueven la masa interna del globo solar.

Se ha supuesto tambien que las masas gaseosas de las protuberancias están lanzadas por los orificios practicados en la capa, sólida segun unos, y líquida segun otros, que sirve de límite al globo del Sol. En las páginas anteriores dimos á conocer un buen número de razones que nos impiden admitir la existencia de esta capa sólida ó líquida, á lo menos muy cerca de la superficie.

Contentémonos por el momento, con hacer constar que esta hipótesis es completamente inútil para la explicacion de los fenómenos que nos ocupan. Muy bien pueden producirse explosiones en el seno de una masa gaseosa que ocasionen una expansion repentina y violenta; basta para ello que los dos gases se encuentren y com-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

binen, que es lo que sucederia en la Tierra si grandes masas de cloro y de hidrógeno se mezclaran en presencia de la luz solar; no es motivo bastante para objetar sobre este punto, el aspecto filamentoso de las protuberancias que presupone ya una erupcion á través de un orificio capaz de dar esta apariencia á masas incandescentes; muy á menudo, en efecto, se observa la misma estructura en las masas aisladas y suspendidas en la atmósfera solar; tambien se ve con frecuencia que las nubes se transforman en filetes luminosos y en venas flúidas análogas á los hilos que componen las protuberancias, y, sin embargo, en estas nubes no habia ningun orificio que pudiera servir para moldear la materia luminosa.

Fácil es el comprender estas explosiones si recordamos la constitucion de los gases.

Cuando los flúidos elásticos se hallan sometidos á una presion muy fuerte, como la que existe en las grandes profundidades debajo de la superficie del Sol, pueden pasar á ese estado intermedio entre el gaseoso y el líquido de que hablan Cagniard-Latour y Andrews; ahora bien, semejante estado es muy inestable, y en este caso bastan débiles variaciones en la presion para dar lugar á explosiones de que no tenemos la menor idea. Muy verosímil es que esto suceda en un cuerpo como el Sol, compuesto de masas enormes de materias heterogéneas elevadas á una gran temperatura; es inútil, por consiguiente, recurrir á orificios practicados en capas resistentes sólidas ó líquidas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO VI

I

Consideraciones sobre la constitucion física del Sol

Respecto á la constitucion física del Sol pueden establecerse varios puntos con mas ó menos certidumbre, pero en cuanto á la parte principal del asunto, permanece envuelta en la mas profunda oscuridad. Puesto que las propiedades de la materia son las mismas en todas partes, el problema de la constitucion podria resolverse, únicamente, cuando pudiéramos explicar todos los fenómenos solares por medio de las leyes de la física que vemos obrar en nuestro planeta y á su alrededor. El hecho de que las leyes físicas que obran en el Sol han de ofrecer, cuando menos, una estrecha concordancia con las que vemos producirse aquí en la Tierra, suele olvidarse por algunos de los que se dedican á especular sobre estos arduos asuntos; al establecer lo que es probable y lo que es posible en las causas de los fenómenos solares, principiaremos por el exterior é iremos avanzando hácia el interior, porque menos vacilaciones caben en los problemas que tienen lugar en la parte externa, que en los que se realizan en el seno del gigantesco luminar del dia.

A medida que nos aproximamos al Sol, encontramos como primera sustancia y guardia avanzada, la corona, que se eleva á alturas de cinco, diez y hasta quince minutos de su superficie, esto es, á una altura que varia de 40,000 á 120,000 leguas; de este apéndice podemos decir, con completa seguridad, que no es una atmósfera en el sentido en que comunmente se emplea esta palabra, esto es, una masa continua de gas elástico sostenida por su propia elasticidad. Dos razones, de gran fuerza, pueden presentarse en favor de esta proposicion, y son como sigue:

1.° La gravedad en el Sol viene á ser unas 27 veces superior á la que experimentamos en la Tierra, de modo que los gases son en aquel astro 27 veces mas densos que en nuestro globo; en la atmósfera cada estrato ó capa horizontal se encuentra comprimida por el peso de todas las demás capas que están encima, de lo cual resulta que, á medida que descendemos por pasos graduales, crece la densidad de la atmósfera en progresion geométrica; una atmósfera compuesta del gas mas ligero que se conoce, es decir, de hidrógeno, adquiriria una densidad doble cada dos ó cada cuatro leguas, aun caldeada á la temperatura que existe á 40,000 leguas de distancia de la superficie del globo solar; en la corona no se advierte indicio alguno que indique que su densidad aumente en tal proporcion á medida que nos aproximamos al astro central, y para suponer que su constitucion sea análoga á la de una atmósfera es menester que esté compuesta por un gas mil veces mas ligero que el hidrógeno.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

2.° El gran cometa de 1843 pasó á tres ó cuatro minutos de la superficie del Sol y por consiguiente, á través de la corona; en la época de su mayor aproximacion era su velocidad de 143 leguas por segundo y siguió con la misma carrera á través de la corona por lo menos unas 150.000 leguas, sin que á su salida se advirtiese el mas leve retardo en su movimiento. Para formarse una idea de lo que hubiera ocurrido al cometa, si por acaso hubiese encontrado en su camino el mas ligero rastro imaginable de atmósfera, nos bastaria recordar que las estrellas fugaces se evaporan instantánea y completamente por el calor que desarrolla su choque con nuestra atmósfera á la altura de 20 á 40 leguas, esto es, á una elevacion en que nuestra envoltura aérea deja por completo de reflejar la luz del Sol.

La velocidad de las estrellas fugaces es de 8 á 16 leguas por segundo; recordando ahora que la resistencia y el calor crecen, cuando menos, como los cuadrados de la velocidad, ¿cuál seria la suerte de un cuerpo ó de una reunion de cuerpos como un cometa, que pasase á través de una masa atmosférica rarísima, en una extension de varios miles de leguas y con una velocidad de mas de 125 leguas por segundo? Y cuál no será el estado de enrarecimiento de semejante atmósfera, cuando los cometas la cruzan sin ser destruidos y sin perder en lo mas mínimo su velocidad? No hay que dudar de que su rarificacion sea tan grande que la haga invisible por completo é incapaz de producir el menor efecto físico.

¿Qué es, pues, la corona? Probablemente partículas desprendidas y parcial ó totalmente vaporizadas por el intenso calor á que se hallan sometidas; partículas como polvo, en un kilómetro cúbico de espacio, brillarian con gran intensidad expuestas á la poderosa luz que el Sol emite en su vecindad inmediata. La principal dificultad estriba en saber cómo se sostienen estas partículas, y á esta pregunta solo puede responderse con conjeturas. Que las partículas no permanecen constantemente en un mismo lugar se demuestra por las diversas formas que exhibe la corona en distintas épocas; en el eclipse de 1869, creyó el Dr. Gould haber observado algunas variaciones en los tres minutos que duró el fenómeno.

Sobre este asunto se han formulado tres opiniones que son como sigue.

1.° Que la materia de la corona se halla en lo que podríamos llamar estado de proyeccion, por lanzar el Sol constantemente estas partículas desde su interior, las que vuelven á caer en virtud de las leyes de la gravitacion. La dificultad que encontramos aquí es la de tener que suponer velocidades de proyeccion que se eleven á la altura de 80 leguas por segundo, mantenidas constantemente en toda la periferia del globo solar.

2.° Que las partículas lanzadas por el Sol se mantienen por mas ó menos tiempo gracias á cierta repulsion eléctrica; sabemos que la electricidad atmosférica desempeña una parte muy activa en la meteorología terrestre, y si la accion eléctrica en la superficie del Sol es proporcional á las acciones físicas y químicas que producen los fenómenos eléctricos que aquí en la Tierra observamos, el desarrollo de electricidad en el luminar del dia tiene que efectuarse en escala gigantesca.

3.° Que la corona se debe á nubes de pequeños meteoros que circulan al rededor del Sol en la inmediata vecindad de este luminar.

Como ya indicamos, ninguna de estas explicaciones es satisfactoria ni pasa de ser una conjetura, si bien es probable que los hechos referentes al caso se dividan entre todas ellas.

En la parte interna de la corona se encuentra la cromo-esfera; aquí tropezamos con la verdadera atmósfera del Sol, que por lo general se eleva algunos segundos sobre su superficie, pero que de vez en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuando proyecta hácia afuera masas inmensas que podríamos calificar de llamas, si el vocablo no fuera completamente inadecuado para representar la escala enorme en que tienen lugar estas acciones térmicas. Lo que en lenguaje vulgar llamamos fuego es el resultado de la combustion, pero los gases en la superficie del Sol tienen una temperatura tan alta, qué la combustion no es posible. El hidrógeno es la materia principal de la parte superior de la cromo-esfera, pero á medida que nos acercamos al globo, hallamos vapores de un gran número de metales incluyendo el hierro y el magnesio. En la base, en donde los metales son mas numerosos y mayor la densidad, tiene lugar la absorcion de los rayos solares que producen las líneas oscuras del espectro, que tan conocidas nos son ya. Este punto parece probado satisfactoriamente por las observaciones de Young, en el eclipse total de 1870; en el momento de desaparecer el último rayo de la luz solar, echó una ojeada á la base de la cromo-esfera y vió todas las líneas espectrales invertidas, esto es, líneas brillantes sobre campo oscuro.

El fenómeno mas notable relacionado con la cromo-esfera es el de las protuberancias ó masas de materia que el Sol proyecta en su atmósfera; se distinguen en dos clases, la nebular y la eruptiva. La primera ofrece el aspecto de nubes flotando en la atmósfera, pero como no es posible que exista una atmósfera bastante densa que pueda sustentar estas expansiones, tropezamos con las mismas dificultades que indicamos al hablar de la suspension de las sustancias de que se compone la corona. En suma, de las tres explicaciones hipotéticas de la corona, son dos inadmisibles si se aplican á las protuberancias, puesto que estos cuerpos nebulosos flotan demasiado tiempo á veces, para que se pueda suponer que se mueven bajo el influjo de la gravitacion solar. Queda, pues, la teoría eléctrica.

Las protuberancias eruptivas parecen debidas á la proyeccion del hidrógeno y del vapor de magnesio desde la region de la cromo-esfera, con velocidades que á veces pasan de 100 leguas por segundo. La erupcion puede durar muchas horas y aun varios dias, extendiéndose los vapores en grandes masas á miles de leguas de la superficie solar, en la que vuelven á caer pasado algun tiempo.

No es posible expresar con palabras la escala inmensa en que se verifican estos gigantescos fenómenos naturales: si consideramos la cromo-esfera como un océano de fuego, hemos de tener presente que su temperatura es infinitamente superior á la de la fragua mas poderosa, y su profundidad igual á la anchura del Atlántico; si nos place estimar sus movimientos como huracanes, hemos de recordar que nuestras borrascas soplan con una velocidad de cuarenta leguas por hora y que las de la cromo-esfera recorren las mismas distancias en un segundo; si una de estas borrascas visitase nuestra Europa empezando por el norte, en 30 segundos pasaria del Báltico al estrecho de Gibraltar, arrastrando consigo toda la superficie del continente, no en simples ruinas, sino en estado de vapor incandescente, del que formarian una parte imperceptible las ciudades de Berlin, Paris, Barcelona y Sevilla. Cuando hablamos de erupciones, se nos viene á la imaginacion, involuntariamente, el recuerdo del Etna, ó el Vesubio, sepultando en lava las ciudades vecinas, pero las erupciones solares de 20,000 leguas de altura comprenderian toda la Tierra disolviendo y evaporando en un momento todos los séres organizados que viven en su superficie. El poeta de la edad media que cantaba

Dies iræ, dies illa
Solvet sæculum in favilla

dejándose llevar de su fantasía, apenas podria concebir la magnitud y potencia de las llamas de que se encuentra el Sol rodeado.

Para observar la corona y la cromo-es-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fera de poca utilidad son los telescopios, pues estos apéndices solo se ven durante los eclipses ó con auxilio del espectroscopio; todo lo mas que vemos con el anteojo es la brillante superficie del Sol llamada foto-esfera, sobre la cual se apoya la cromo-esfera, y que irradia la luz y el calor que nos sustenta.

Las opiniones de los astrónomos respecto á la constitucion de la foto-esfera son tan contradictorias, que no es posible formular un juicio medianamente acertado sobre la que deba merecer mayor confianza; por ejemplo, un sabio americano de gran concepto, el profesor Newcomb, indica que es muy probable que los rayos de luz y calor procedan de un cuerpo sólido y no de ningun gas, toda vez que su espectro es continuo y tambien por la intensidad de la luz, que sobrepuja á la de todos los gases imaginables; no quiere decir este ilustre astrónomo que la foto-esfera sea una costra completa, puesto que partículas sólidas que en ella flotasen producirian el mismo efecto. La opinion general es que la foto-esfera presenta una naturaleza nebulosa, y que está formada de pequeñas partículas flotantes en una atmósfera de gases caldeados. Que no es continuamente sólida como nuestra Tierra, parece demostrarse por las variaciones y movimientos de las manchas que presentan la apariencia de caminar en un flúido. Algunos físicos eminentes la consideran como puramente gaseosa, que la presion hace brillar como un cuerpo sólido.

Pero en contra de esta teoría se presentan graves dificultades que no han sido debidamente pesadas; la foto-esfera, en abierta oposicion con la cromo-esfera gaseosa, no ofrece, como esta, cambios sensibles de nivel; si fuese gaseosa, como se supone, no presentarian conexion alguna entre sí las partículas sólidas, y podrian verse durante las violentas erupciones que producen las protuberancias, algunas modificaciones en el contorno foto-esférico como ocurre con la cromo-esfera. Pero las mas delicadas observaciones jamás han indicado el menor cambio de nivel ó desviacion de la rotundidad perfecta, excepto en las regiones de las manchas, en las cuales se perciben inmensas aberturas que se acusan como mellas ó excavaciones del borde.

La serena inmovilidad de la foto-esfera bajo el influjo de las violentas conmociones de que hemos hablado, presta algun color á la suposicion de que esté formada por una corteza sólida que se extiende al rededor del núcleo solar incandescente, ó cuando menos, de que esté compuesta de un flúido comparativamente denso que descanse sobre dicha corteza. Esta última es la opinion de Zöllner que admite una especie de envoltura entre el exterior y el interior del Sol, absolutamente necesaria para explicar las protuberancias eruptivas; coloca esta envoltura sólida á unas 1,200 leguas bajo la superficie de la foto-esfera.

Dentro de la foto-esfera se encuentra el enorme globo interior de 346,000 leguas de diámetro; la teoría mas admitida sobre la naturaleza del interior supone que este no es ni sólido, ni líquido, sino gaseoso, de modo que nuestro gran luminar es tan solo una inmensa burbuja. La presion sobre las partes internas de esta masa es tal, que la reduce casi á la densidad de un líquido, al paso que la temperatura es tan elevada que mantiene los cuerpos en un estado entre líquido y gaseoso en el cual no hay reaccion química posible. El punto de apoyo mas firme de la teoría gaseosa del interior del Sol reside en que es la única que explica la conservacion de la luz y el calor del astro. Cómo se efectua este fenómeno se explicará en la última parte de esta obra al tratar de las leyes que rigen los cambios seculares del universo.

Los progresos realizados en el estudio del Sol durante los últimos diez años han sido tan rápidos y considerables, que tan solo pueden apreciarlos los que han consagrado su vida á la investigacion de se-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mejantes fenómenos. Por la misma razon, las opiniones de los dedicados al estudio de la constitucion física del astro central, se modifican á medida que se suceden los descubrimientos. El interés que necesariamente inspira el estudio de la fuente física de la vida y el movimiento de nuestro globo, nos obliga á presentar las principales teorías que sobre punto tan seductor han emitido los principales astrónomos. Principiaremos por la anticuada teoría de Wilson ó de Herschel que nos servirá de punto de partida y nos hará mas inteligibles las concepciones de Secchi, Faye y otros.

II

Teoría de Wilson ó de Herschel.

Esta teoría fué propuesta sucesivamente por Wilson, Bode y Herschel, y pocos son los astrónomos que la aceptan en la actualidad; se distingue de los ensueños formulados hasta el siglo último porque en ella



Fig. 327.—Teoría de Wilson sobre la constitucion física del Sol

A: mancha con núcleo y penumbra —B: núcleo sin penumbra.— C: penumbra sin núcleo.— *a a*: foto-esfera. —*b b b*: atmósfera nebulosa

se consideran las manchas como cavidades ó aberturas transitorias de la envoltura luminosa del Sol, que dejan ver las partes internas y menos brillantes del globo solar, el cual estaria formado del modo siguiente. En el centro, por un núcleo esférico, relativamente oscuro, rodeado á cierta distancia por una primera atmósfera *b b b* (fig. 327) comparable á nuestro océano aéreo, cuando en este se presenta una capa contínua de nubes opacas reflectoras; si se coloca además, sobre esta primera capa, una segunda atmósfera luminosa *a a*, ó sea la foto-esfera, mas ó menos separada de la atmósfera nebulosa interior, esta foto-esfera determinará con su contorno los límites visibles del astro.

Veamos ahora cómo explica esta teoría las apariencias que presentan las manchas solares y las partes oscuras ó luminosas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del disco. Si suponemos que en la superficie del núcleo oscuro se formen de vez en cuando masas gaseosas que deflagren por su elevada temperatura, ó tambien, si existen en la misma superficie focos de erupciones volcánicas, los surtidores que de estos volcanes provengan desgarrarán sucesivamente las dos atmósferas del Sol, produciendo unos ajugeros de mas ó menos extension, á cuyo través podrá verse el



Fig. 328.—Manchas sin penumbra

núcleo central. Estas aberturas deben tener, por lo corriente, la forma de un cono irregular, cuyo diámetro mayor distará mas del núcleo, el cual se verá por la base mas pequeña, y á su alrededor la atmósfera nebulosa de color gris; así se explican las manchas negras rodeadas de penumbra.

Mas tambien puede ocurrir que la abertura practicada en la foto-esfera tenga menos extension que el agujero de la atmósfera nebulosa, y en este caso, solo se verá el núcleo negro, explicándose de tal suerte los núcleos sin penumbra. Por el contrario, si la rotura de la primera envoltura gris se cierra antes que la de la foto-esfera, en este caso no es posible percibir el núcleo, lo que da cuenta fácilmente de las penumbras sin núcleo. Cuando se produce una rotura violenta y repentina en una masa gaseosa como la foto-esfera, debe de haber todo al rededor una condensacion de la materia de que está formada y por consiguiente, mayor intensidad luminosa, siendo este el orígen de las fáculas que por lo comun acompañan á las manchas.

No puede desconocerse que esta teoría es muy ingeniosa y que en su época daba cuenta muy bien de la mayor parte de los detalles de los fenómenos observados: la variacion de la forma de las manchas, su desaparicion y hasta su movilidad se explican de un modo bastante satisfactorio;

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el hecho, con frecuencia comprobado, de que el núcleo disminuye poco á poco hasta llegar á desvanecerse como un punto, permaneciendo por algun tiempo la penumbra despues de la desaparicion de la parte negra de la mancha, se comprende perfectamente, puesto que así deben irse estrechando para reunirse del todo los declives

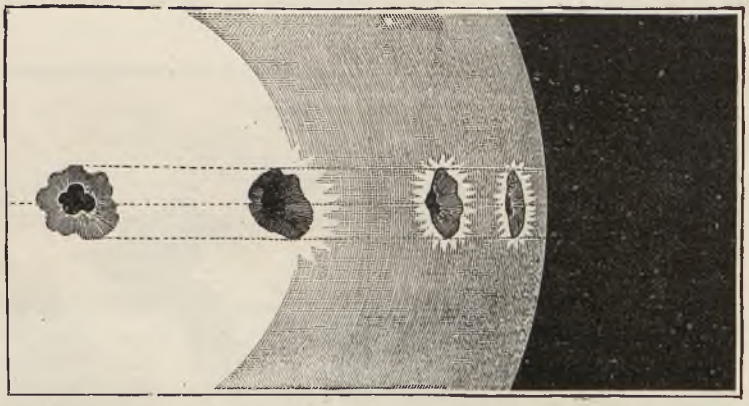


Fig. 329.—Diversos aspectos de las manchas solares; teoría de Wilson

móviles de ambas atmósferas, á medida que la causa que le habia dado orígen dis-

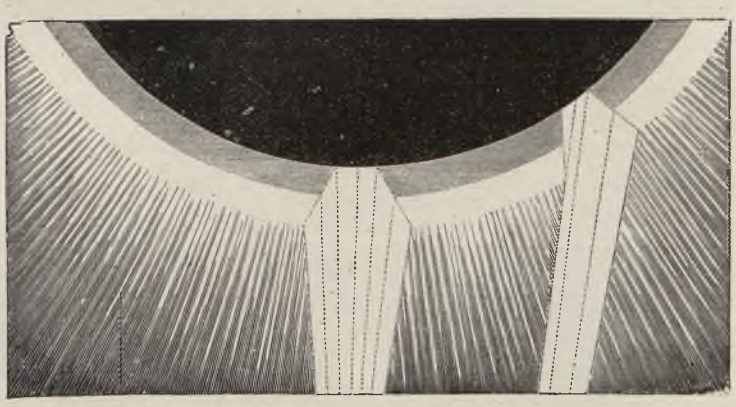


Fig. 330.— Cambios de forma de las manchas solares segun la teoria de Wilson

minuia en su potencia y llegaba á desaparecer. Tambien se comprende que, despues de la desaparicion de una mancha, subsistan las fáculas, y aun que aparezcan mas intensas, toda vez que se necesita algun tiempo para restablecer la perfecta homogeneidad de las capas gaseosas, y porque estas materias al precipitarse en el vacío formado primitivamente por el núcleo y la penumbra, se condensan naturalmente y se hacen así mas luminosas. No podemos dejar de decir que esta hipótesis no explica la existencia de las fáculas que preceden á la aparicion de las manchas.

Por último, además de las corrientes ascendentes cuya rapidez es bastante poderosa para agujerear las envolturas atmosféricas del Sol, se concibe que exista una agitacion continua en las capas gaseosas y en la superficie de la foto-esfera, la cual no puede decirse que esté como pulimentada, sino mas bien surcada por rugosidades, elevaciones y depresiones como las olas del océano; de aquí nacen las ra-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

yas luminosas que constituyen las lúculas y las otras líneas oscuras y puntos brillantes llamados poros y hojas de sauce.

La teoría de Wilson, en conjunto, está en el dia abandonada casi por completo, pues la existencia de un núcleo oscuro y frio rodeado por una capa de una temperatura evidentemente enorme, se halla en contradiccion con lo que la física nos enseña sobre la radiacion del calor y su conductibilidad. Además, no se comprende que una fuente tan escasa de calor y de luz irradie durante siglos y siglos sin disminuir de intensidad.

Ahora sí, esta teoría da cuenta muy bien del aspecto que presentan las manchas al moverse del borde al centro y de este nuevamente al borde, segun manifiestan las figuras anteriores, en las que con toda claridad se ve cómo debe variar la forma de una mancha, de su núcleo y de su penumbra, si en vez de ser un objeto que resalte sobre la foto-esfera ó que se encuentre á su mismo nivel, se trata en realidad de una abertura ó depresion de esta capa, representando su fondo el núcleo negro y los declivios la penumbra. En este caso, al moverse una mancha hácia el limbo, debe disminuir de ancho, primeramente, la parte de la penumbra mas inmediata al centro por un efecto de perspectiva, llegando á desaparecer por completo, mientras que el declive opuesto aparece de un modo menos oblicuo á medida que progresa el movimiento, aumentando á la vez sus dimensiones. Muy cerca del borde llegará un momento en que el núcleo, que es el fondo de la cavidad, desaparecerá de la vista, se perderá luego la penumbra adelgazándose cada vez y haciéndose invisible antes de llegar al limbo del Sol.

Despues de Wilson, que fué el primero que presentó estos argumentos en favor de la hipótesis de las manchas-cavidades, se han aducido nuevas razones en apoyo de estas teorías, citándose una observacion de Galileo, varias veces confirmada. Se han visto dos manchas muy inmediatas en el centro del disco separadas únicamente por un intervalo luminoso estrecho; si la mancha mas próxima al centro hubiera formado un resalto, el filete luminoso habria desaparecido de la vista por la interposicion de este montículo, y sin embargo, se le distíngue aun en los mismos bordes, disminuyendo tan solo su anchura segun las leyes de la perspectiva. Dice Chacornac que si las manchas fuesen excrecencias de la foto-esfera, jamás debiera verse su desaparicion antes de llegar á los bordes del disco, que es lo que se observa en la generalidad de los casos.

Warren de la Rue tomó en 1868 dos vistas fotográficas de una misma mancha, con dos dias de intervalo, con objeto de obtener el ángulo visual necesario para producir la vision estereoscópica; ahora bien, el exámen de estas reproducciones indica, sin género alguno de duda, la existencia de una excavacion en la foto-esfera en el lugar precisamente en que se encuentra la mancha.

Finalmente, estudiando un gran número de manchas y midiendo la anchura de sus penumbras á derecha é izquierda de la línea que en el disco representa el eje solar, obtuvieron los astrónomos de Kew un resultado por todo extremo favorable á la hipótesis que estamos presentando. De 605 casos distintos, dejaron de dar indicaciones 75, esto es, que las penumbras y las manchas ofrecian una extension igual hácia el centro y hácia los bordes; de los 530 casos restantes, 456 ó sea 86,04 por ciento eran favorables á la hipótesis de Wilson, pues sus penumbras tenian mayor anchura en la parte inmediata al limbo que en la region mas cercana al centro; 74 ó 23,96 por ciento, no mas, presentaban un aspecto contrario. Midiendo de igual manera el ancho de las penumbras en el sentido del eje de las manchas situadas á ambos lados del ecuador, se ha observado que el efecto de la disminucion ó de pers-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pectiva era precisamente el que exige la hipótesis de Wilson: 81 manchas de 100 tenian penumbras mas anchas hácia los polos que hácia la region del centro.

A pesar de todos estos testimonios, hay en la actualidad muchos astrónomos que no creen que estas pruebas sean concluyentes, sin que podamos, por nuestra parte, presentar aquí los argumentos poderosos que tienen para rechazar la hipótesis de Wilson, de Bode ó de Herschel.

III

Teoría de Kirchhoff

Este famoso físico aleman fué el creador, puede decirse, del método de análisis espectro-métrico, y fundándose en sus notables descubrimientos ideó una nueva teoría acerca de la constitucion física del Sol, explicando de un modo muy ingenioso los fenómenos que presentan las manchas. Pudiéramos excusarnos de exponer una teoría que ha caido en el mayor descrédito, y la mencionamos aquí, no solo á causa del prestigio y autoridad de su autor, sí que tambien por las importantes controversias que llegó á ocasionar en el mundo científico.

Vamos á ver, del modo mas breve posible, en qué consiste la teoría solar de Kirchhoff.

La parte visible del Sol, limitada por el contorno del disco, y cuya superficie forma la foto-esfera, es un globo sólido ó líquido, pero incandescente; un foco luminoso de esta naturaleza, da, segun sabemos, un espectro continuo. Este núcleo, cuya temperatura es muy elevada, se encuentra rodeado de una atmósfera muy densa, formada por los elementos constitutivos del globo incandescente, que la intensidad de la temperatura conserva en estado de vapores. Esta es la atmósfera gaseosa absorbente cuya interposicion delante del núcleo produce las rayas oscuras del espectro solar.

Si la constitucion del globo solar pudiera explicarse de esta suerte, las manchas solares serian accidentes externos de la foto-esfera que se presentarian como resaltes de su superficie. Veamos qué dice Kirchhoff sobre este punto.

Admite este sabio que, por la accion de causas desconocidas, pueden producirse enfriamientos parciales en diversos puntos de la atmósfera del Sol. ¿Qué sucederá en este caso? Que en estos puntos se formarán unas precipitaciones análogas á las nubes de vapor de agua de la atmósfera terrestre, esto es, unas aglomeraciones muy densas de vapores en estado vesicular ó nubes oscuras, que interceptando los rayos luminosos del cuerpo del Sol, aparecerán como manchas sobre el disco. Una vez formada la nube, hace como de pantalla, respecto de las regiones superiores, lo que produce un enfriamiento en estos lugares y la nueva formacion de una capa nebulosa mas ligera y menos opaca que, desde la Tierra, producirá el aspecto de las penumbras que circundan las manchas. En esta hipótesis, las deformaciones aparentes que sufre una mancha que se mueve del borde al centro ó recíprocamente, se explican tambien por un efecto de perspectiva que la fig. 331 hará comprender con mas facilidad. Vista la mancha en el centro ó de frente, parecerá que ocupa la parte media de la penumbra; pero al alejarse hácia el borde, la parte de la nube superior situada en el lado del centro se proyectará sobre el núcleo oscuro confundiéndose con él, mientras que la porcion de la misma nube, situada en el lado del limbo se ensanchará dejando ver, en su espesor, la capa gaseosa que se halla sobre la nube negra.

Tal es la teoría alemana, en contradiccion completa con la primera que hemos expuesto ó sea la de Wilson. Esta exige que las manchas sean aberturas de la foto-esfera, mientras que Kirchhoff, adoptando de nuevo la primitiva hipótesis de Galileo, supone que son nubes suspendidas en la atmósfera del Sol; por otra parte, enseña el análisis polariscópico, segun Arago, que la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

foto-esfera es un gas incandescente, y el análisis espectral del físico aleman probaria que debia de ser un sólido ó un líquido tambien en estado de incandescencia. Esta contradiccion tan patente ha hecho que de nuevo se ocupen los astrónomos con gran empeño, del estudio de la constitucion física del luminar del dia. La hipótesis de Kirchhoff tan solo explica satisfactoriamente las rayas oscuras del espectro solar, pues la explicacion de las nubes suspendidas sobre la foto-esfera que habrian de producir las manchas y sus penumbras, se halla en abierta contradiccion con ciertos hechos perfectamente comprobados, como v. gr., la desaparicion casi constante de las manchas poco antes de que lleguen al limbo.

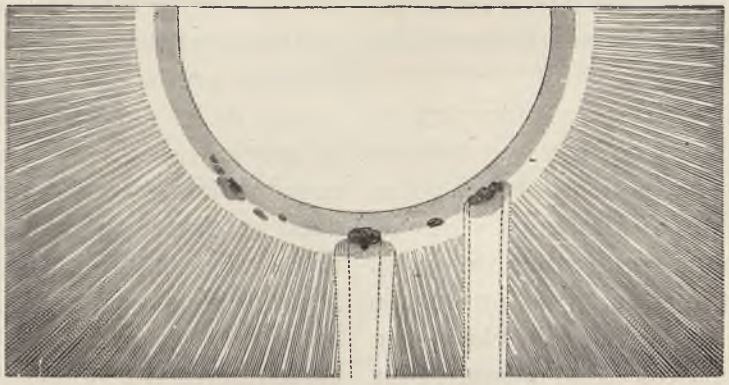


Fig. 331.—Explicacion de las manchas solares segun la teoría de Kirchhoff

Para explicar sus movimientos propios se han visto obligados á admitir los partidarios de esta teoría la existencia en la atmósfera solar de corrientes análogas á los vientos alisios terrestres: esta opinion, emitida primeramente por Herschel, ha sido en estos últimos tiempos desarrollada por el Dr. Spörer, quien considera que las regiones de las manchas son asiento de grandes tempestades que se dirigen en el sentido de los paralelos, mientras que las regiones polares son zonas de calmas y las del ecuador de corrientes sin direccion fija.

En la misma teoría se consideran las fáculas como simples puntos de la superficie líquida dotados de una temperatura mas elevada y de una radiacion mas intensa que las partes inmediatas, sin que se explique por qué acompañan casi siempre á las manchas. Por último, las protuberancias son nubes luminosas de la atmósfera del Sol.

La teoría del Dr. Zöllner presenta algunos puntos de contacto con la de Kirchhoff, pues en ella se supone que existe un núcleo líquido incandescente, sin que sea su superficie la foto-esfera, esto es, un conjunto de nubes luminosas mas altas que el núcleo solar. El nivel de la capa líquida es asimismo el del núcleo de las manchas, las cuales son en tal caso depresiones ó cavidades en vez de nubes mas elevadas.

Este astrónomo que admite temperaturas de 27,000 grados en la base inferior de la cromo-esfera, de 85,000°, á lo menos, en la parte interna del Sol, explica la fluidez del núcleo solar por las enormes presiones de 184,000 atmósferas y de 4 ó 70,000 atmósferas que soportan, á su juicio, la capa inferior de la foto-esfera de una parte, y de otra, las capas internas del astro.

Pero si el núcleo del Sol es líquido, ¿cómo se explica la escasa densidad (1,53) de un cuerpo que las observaciones espectroscópicas indican que está compuesto, en gran parte, de sustancias metálicas?

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

IV

Teoría del P. Secchi

Si es cierto que el Sol se encuentra actualmente en un estado progresivo de condensacion y que una parte al menos de la materia que lo compone se halla en estado gaseoso, se deberian comprobar, en el movimiento de sus distintas partes, algunos fenómenos que resultasen de esta fluidez total ó parcial, los cuales serian incompatibles con la hipótesis de una masa sólida y rígida.

Ante todo, si la masa se encuentra en estado de flúido elástico, hay que deducir que las distintas capas concéntricas gozan de gran libertad de movimientos y que no dependen absolutamente unas de otras, como sucede en la rotacion de un cuerpo sólido, en el que todas las moléculas deben de tener la misma velocidad angular. Si la condensacion es progresiva, tendrá que suceder, en virtud de la ley de las áreas, que las capas interiores ofrecerán una velocidad angular superior á la de las capas superficiales; así se explica la formacion y la aceleracion progresiva de los anillos que, al romperse, dan orígen á los planetas.

Cierto es que el rozamiento entre las diversas partes que constituyen el globo solar tiende, al amortiguar el movimiento de las capas interiores y al acelerar el de los estratos mas lejanos del centro, á que la velocidad angular sea uniforme en toda la masa; pero esta reaccion, como es sucesiva, al paso que la causa que acabamos de señalar es perenne y persistente, resultará una tendencia contínua á la igualdad de velocidad, cuya tendencia jamás llegará á realizarse. El estudio de las manchas ha permitido comprobar la existencia de fenómenos que dan motivo para sospechar que esta velocidad ha de ser mas considerable en el interior; tales son, por ejemplo, los saltos hácia adelante que con tanta frecuencia se producen en la época de gran actividad solar. Esta diferencia de velocidad debe ser sensible, sobre todo, en las erupciones, y las manchas producidas por las masas que llegan de una gran profundidad deben poseer tambien una velocidad mayor que la de la capa superficial que las rodea.

Tambien prueba la observacion que la temperatura solar es mas elevada en el ecuador que en los polos, exceso de calor que tambien puede provenir del equilibrio que se restablece entre dos fuerzas antagonistas que son, de una parte el rozamiento de las moléculas entre sí, y de otra, la mayor rapidez de movimiento en el ecuador. La desigual distribucion del calor debe producir un movimiento contínuo, una verdadera circulacion de los gases, en la atmósfera superior del ecuador hácia los polos, y de los polos hácia el ecuador en la parte interna del globo solar. Esta circulacion se deja sentir, principalmente, en las altas regiones de la atmósfera, encima de la cromo-esfera, y se comprueba por la direccion sistemática de las protuberancias, cuyas partes elevadas se hallan por lo regular inclinadas hácia los polos.

No se ha demostrado todavía que haya una circulacion semejante en la foto-esfera, pues no se ha hallado una ley constante para el movimiento en latitud propio de las manchas, mientras que se sabe con toda certidumbre que tienen un movimiento en longitud que alcanza su máximo en el ecuador.

Si la velocidad del enfriamiento no es constante, la velocidad de la corriente ecuatorial será variable y podrán atribuirse á estas variaciones los cambios periódicos observados en la duracion de la rotacion solar, que es precisamente lo que acaba de descubrir el Dr. Spörer, segun carta que recibió el P. Secchi poco antes de su muerte, en la cual afirmaba el sabio aleman que habia observado en la duracion del movimiento rotatorio del Sol ciertas variaciones periódicas; por manera que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

esta rotacion es muy complicada, siéndonos imposible determinar su período de una manera exacta segun las observaciones que efectuamos en la superficie del Sol. Seria menester acudir á fenómenos de otro órden, por ejemplo, á las influencias magnéticas, y ya sabemos, por haberlo estudiado en la primera parte de esta obra, que la investigacion de estos fenómenos nos llevaria á admitir una duracion mas corta que la que resulta del movimiento de las manchas ecuatoriales.

La observacion óptica nos demuestra que la superficie visible del Sol presenta un aspecto marmóreo ó sacarino, y que se encuentra llena de innumerables granulaciones. La observacion de los eclipses prueba que, sobre esta superficie visible existe una capa de vapores brillantes, de espesor muy apreciable, y que, encima de estos vapores, se encuentra una atmósfera difusa. Si la masa brillante es gaseosa y por consiguiente está dotada de cierto grado de transparencia, tenemos motivos para preguntarnos: ¿A qué hemos de llamar superficie del Sol?

Segun el P. Secchi, debe llamarse *superficie* del Sol á la capa que, para un observador situado en la Tierra, separa en dos partes la masa del Sol, una mas externa que emite una luz muy viva y es sensiblemente transparente; y la otra mas próxima al centro y que es muy viva, opaca y brillante. Esta capa no es una superficie geométrica y ofrece necesariamente cierto espesor, de modo que ha de haber un límite inferior en el que la materia deja de ser transparente en absoluto, y un límite superior en el que deja de ser luminosa; entre estos dos puntos va creciendo su trasparencia, á la vez que su esplendor luminoso disminuye progresivamente. El análisis espectral nos enseña que, en esta capa, los elementos se encuentran en un estado de extrema difusion: en el interior se acusan de un modo marcadísimo las rayas de Fraunhofer, sin que se las perciba en el exterior á causa de la luz difusa de nuestra atmósfera y del resplandor del mismo Sol; gran número de rayas desaparecen en el intervalo que separa estas capas, otras se hacen mas intensas y otras se invierten por completo.

Los eclipses nos muestran que la masa visible del Sol no termina en este punto; sobre esta capa cuyo brillo luminoso disminuye progresivamente, existe otra que por lo comun ha escapado á los observadores, pues su esplendor no es tan considerable como el de la luz difusa que nos envia nuestra atmósfera iluminada por el Sol; el nivel de esta capa no parece constante, lo que equivale á decir que el diámetro del globo solar varia con el tiempo, variacion muy débil, sin duda alguna, pero perfectamente sensible.

Si el Sol es gaseoso en toda su masa, hay motivo para preguntarse por qué no es absolutamente transparente, y por qué una parte es visible y la otra invisible. Esta pregunta exige algunas explicaciones que bastarán para hacer comprender lo que acabamos de decir.

Admiten como axiomático algunos autores, que todos los gases son transparentes, sean las que quieran sus presiones y temperaturas; esta afirmacion no solo no está determinada, sino que mas bien hay que considerarla como absolutamente falsa en su generalidad; ya hemos hecho notar que el hidrógeno que compone las protuberancias no es rigorosamente transparente, pues en otro caso, cuando dos chorros incandescentes se cruzan, debieran presentar un brillo mucho mayor en su punto de interseccion; nada de esto tiene lugar y por ello se ven las protuberancias en extremo planas, sin que produzcan en el ojo del observador el menor efecto de relieve; una sustancia en estado de gas incandescente puede, por lo tanto, presentar una transparencia muy imperfecta.

Tengamos tambien presente, que el Sol debe componerse, de un modo principalí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

simo, de vapores metálicos, los cuales son muy poco transparentes, puesto que producen absorciones muy importantes que sirven precisamente para explicar el orígen de las rayas de Fraunhofer. Por lo demás, la existencia de estas rayas prueba que los vapores que las producen se encuentran realmente en estado gaseoso propiamente dicho, y no en estado de niebla.

Aclarados estos puntos, vamos á tratar ahora de responder de un modo mas categórico á la pregunta que nos propusimos sobre la superficie del Sol. Esta superficie se halla determinada por varias circunstancias: 1.° por la capa de nivel de los vapores metálicos mas pesados. Cailletet, el físico famoso que ha conseguido liquidar el oxígeno y otros gases, demostró que, con una presion considerable, las rayas de los vapores metálicos se hacian difusas: si la capa era muy densa se transformaban las rayas en bandas muy anchas como hemos dicho que sucede con el sodio y el talio; á una presion conveniente llegan los espectros á ser continuos como el del hidrógeno, y en este caso hay motivos mas que suficientes para pensar que los vapores perdieran su trasparencia. 2.° Se determina por la temperatura á que estos vapores mas pesados se condensan y pasan al estado de neblina. Ya dijimos que hay dos modos de concebir el estado físico de la foto-esfera: puede componerse de gases sometidos á una presion bastante fuerte como para que emitan una luz muy brillante de espectro continuo, ó bien de vapores metálicos condensados en estado de niebla incandescente. Hasta ahora, no hay ninguna razon decisiva que nos haga adoptar una hipótesis con preferencia á la otra. Sin embargo, las variaciones del diámetro solar, que nos parecen incontestables, se explicarian mas fácilmente en la teoría de Wilson, en la cual se atribuye el brillo de la luz solar á las partículas sólidas incandescentes que flotan en una atmósfera gaseosa. Bastaria en este caso que se elevase la temperatura en algun punto ó que se acrecentase la actividad para volatilizar una parte de estas partículas sólidas; así es que, en las épocas de gran actividad y en los puntos en que esta actividad se manifiesta de un modo particular, habria de bajar la superficie visible que limita exteriormente el Sol.

La solucion definitiva de este asunto depende de las propiedades que poseen los vapores metálicos, cuando se encuentran á una temperatura muy elevada y sometidos á fortísimas presiones, por manera que nos vemos obligados á esperar que los físicos hayan efectuado en esta materia experimentos mas exactos.

Hemos dicho antes que la superficie del Sol es gaseosa y la comparamos á la superficie de nivel de una masa de nubes ó de un gas hecho incandescente bajo una fuerte presion. Si fuese exacta esta manera de ver, debemos deducir que una superficie que así se determina, muy bien puede cambiar de lugar, y por consiguiente, el globo solar limitado por una capa variable debe de tener tambien un diámetro variable. Ya los astrónomos habian observado que este diámetro no presentaba siempre la misma magnitud, pero se atribuian las diferencias á errores accidentales y á las ecuaciones personales de los observadores.

En las páginas anteriores indicamos acerca de este punto los resultados de las investigaciones del P. Rosa, que hacen probable la existencia de una variacion, ya de período corto, ora de mayor duracion. En el Observatorio del Colegio Romano se siguieron estas investigaciones y se comprobó que en la época de calma en 1876, presentaba el Sol un diámetro de una constancia casi absoluta que concordaba con el valor del Almanaque Náutico. Las diferencias de un dia á otro solo afectan á los segundos de tiempo, al paso que en las épocas de actividad llegan hasta á las décimas como ya hemos manifestado.

No deja de ser interesante la compara-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cion de este resultado con el que se obtuvo en una época de gran actividad. El P. Rosa consiguió establecer cierta regularidad en estas variaciones que tan irregulares parecen, construyendo la curva de las observaciones para el año de 1871 á 1872 que fué una época de máximo. Por abcisa tomó el grado de latitud heliográfica á que corresponde cada dia el diámetro solar que se observa por el método de los pasos, y por ordenada el valor correspondiente de este mismo diámetro. A fin de disminuir los errores accidentales, agrupó de tres en tres los valores hallados para el diámetro y tomó el promedio. Una vez construida la curva no fué difícil averiguar que el diámetro del Sol presenta un mínimo correspondiente á los 21 grados de latitud, es decir, á la region en donde la actividad es mas considerable. Este mínimo se reproduce en las cuatro partes de la curva que corresponden á las cuatro estaciones; se cortan dos á dos y sus intersecciones se hallan muy próximas, mientras que en los demás puntos están separadas unas de otras por intervalos bastante grandes. Hé aquí, segun las investigaciones del P. Rosa, los valores medios del diámetro solar que correspondian á las diversas latitudes.

Lat.	Diámetro			Promedio		
0	32′	4,″	31			
1	32	3,	30	32′	3.″	84
2	32	3,	90			
3	32	3,	82			
4	32	3,	99	32′	3.″	62
5	32	3,	12			
6	32	3,	98			
7	32	4,	00	32′	3.″	75
8	32	3,	28			
9	32	3,	47			
10				32′	2.″	86
11	32	2,	25			
12	32	2,	63			
13	32	2,	89	32′	3.″	30
14	32	4,	38			
15	32	2,	54			
16	32	2,	57	32′	2.″	66
17	32	2,	88			
18	32	3,	16			
19	32	3,	33	32′	2.″	87
20	32	2,	11			
21	32	1,	84			
22	32	2,	70	32′	2.″	18
23	32	1,	99			
24	32	3,	19			
25	32	2,	86	32′	2.″	86
26	32	2,	52			

Segun Wolf de Zurich el diámetro máximo corresponderia á la época en que son las manchas mas numerosas.

Distamos mucho de atribuir á estas conclusiones un valor absoluto; pero como las observaciones del P. Rosa se hallan confirmadas por las observaciones antiguas y por el estudio prolijo que él mismo hizo, nos parecen de bastante importancia como para haberlas presentado *in extenso*.

Resúmen. Hasta aquí nos hemos ocupado de la estructura del Sol, de su constitucion interna y de su estado físico; y ahora vamos á echar una ojeada general sobre la multitud de hechos expuestos, resumiendo en algunas palabras la doctrina que es consecuencia precisa de los mismos hechos.

1.° El Sol está compuesto de una masa flúida incandescente, de temperatura muy elevada; los metales y otras muchas sustancias, unas conocidas y otras no, se hallan en su superficie en estado de vapores permanentes.

2.° El límite del globo solar es para nosotros el lugar geométrico en donde estos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vapores se hacen incandescentes, ora por condensacion en forma de neblina, ya por efecto de una fuerte presion y de una temperatura muy elevada; esta capa terminadora se llama *foto-esfera* y nos envia rayos luminosos de todas clases que debieran producir un espectro contínuo.

3.° Sobre la capa foto-esférica se halla una atmósfera de naturaleza muy complexa; en la base se encuentran vapores metálicos cuya temperatura es, relativamente, poco elevada. Estos vapores absorben un gran número de rayos produciendo por esta causa las líneas de Fraunhofer; se encuentran mezclados con una gran cantidad de hidrógeno que por sí sola forma una capa visible llamada *cromo-esfera* cuya altura es por lo general de 10 á 15 segundos. De esta disposicion debemos deducir que los gases se encuentran sencillamente mezclados y que tienen cierta tendencia á superponerse unos á otros por órden de densidad.

4.° La cromo-esfera es la última capa constantemente visible en el espectroscopio; sobre ella se encuentra el hidrógeno mezclado con otras dos sustancias que producen la línea amarilla D_3 y la 1474 de Kirchhoff; es probable que esta mezcla contenga algunos otros gases. Estas sustancias en extremo rarificadas y difusas, forman una envoltura que solo es visible durante los eclipses totales y da orígen á la formacion de la *corona*. Es probable que esta atmósfera se prolongue de manera que tambien constituya la luz zodiacal.

5.° La masa interior del Sol se encuentra agitada por movimientos violentos cuyo efecto se manifiesta por las elevaciones considerables de la foto-esfera y de la cromo-esfera que producen verdaderas erupciones. Las observaciones espectrales nos permiten comprobar la presencia de sustancias eruptivas á la altura de 8 minutos, que son 85,000 leguas; durante los eclipses se han visto protuberancias cuya altura alcanzaba 175,000 leguas. Durante las erupciones se eleva la materia cromo-esférica á alturas enormes, comparables á las de los penachos brillantes que se observan en los eclipses y cuya longitud es superior al tercio del diámetro solar. Son tan violentas estas conmociones que una parte de la materia eruptiva pudiera ser lanzada muy bien fuera de la atmósfera solar de modo que se extendiese en los espacios planetarios.

6.° En estas erupciones, las masas mas pesadas compuestas principalmente de vapores metálicos, vuelven á caer en el Sol y se depositan sobre la foto-esfera en capas oscuras y absorbentes; por su peso producen en la materia foto-esférica unas cavidades que de este modo se llenan de sustancias oscuras y son precisamente las manchas. El análisis espectral nos demuestra que en estas regiones hay una absorcion electiva muy enérgica y la naturaleza de las rayas modificadas nos indica que en las manchas y en las erupciones se hallan las mismas sustancias químicas. La materia brillante de la foto-esfera invade estas cavidades y disuelve la masa oscura que es el proceso de la desaparicion de las manchas.

7.° Las regiones de la superficie solar levantadas por las fuerzas eruptivas sobre el nivel general, ó hechas mas brillantes, por una actividad térmica mas considerable, constituyen las que se llaman *fáculas*. Su elevacion sobre el nivel general de la foto-esfera puede comprobarse con gran frecuencia por observaciones directas, y mejor aun por las espectrales. Cuando son favorables las condiciones, se reconoce ordinariamente la presencia de los vapores de sodio, de magnesio, de hierro y de otras varias sustancias.

8.° Estas agitaciones internas se dejan sentir sobre todo en la region de las manchas en donde la actividad es mas considerable; esta zona, en la que se traduce la actividad solar por erupciones mas violentas, se extiende á ambos lados del ecuador

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hasta una latitud aproximada de 40.° En las latitudes mas elevadas tan solo llegan las fuerzas eruptivas á levantar la cromo-esfera; los vapores metálicos no se lanzan nunca á gran altura y se les columbra difícilmente y solo en las regiones mas bajas de la atmósfera muy cerca del borde del disco.

9.° Las regiones de las manchas se señalan por la violencia de las erupciones que en ellas se verifican, por la elevacion y la viveza de los surtidores, por el gran número de vapores metálicos que entran en su composicion, todo lo cual prueba una temperatura muy elevada y una potencia considerable en la causa productora de estos fenómenos; ambas zonas están separadas por una region en donde la actividad es menor. Hácia los polos hay dos zonas de actividad intermitente.

10. Las manchas que desde hace tanto tiempo llaman la atencion de los observadores, son, pues, fenómenos secundarios producidos por las erupciones, de las cuales dependen en cuanto á su formacion y á sus diversas fases. En el momento de su disolucion presentan fenómenos de segundo órden, que resultan de la mezcla de las masas próximas que las rodean, dotadas de temperaturas muy diferentes; en este caso, solo se ven llamas muy bajas, ó débiles agitaciones de la cromo-esfera; á veces tambien, aunque esto no es muy frecuente, faltan por completo las llamas y las agitaciones cromo-esféricas.

11. La superficie perturbada por estas agitaciones es mucho mas extensa que la que corresponde á las manchas; la formacion de una mancha no seria la consecuencia necesaria de una erupcion si las materias eruptivas no tuvieran un poder absorbente muy considerable, sobre todo el sodio; pero estas materias, por lo comun, están tomadas de la foto-esfera y se componen, pues, de vapores metálicos que, una vez enfriados, se depositan en la superficie produciendo cavidades, tanto mas profundas cuanto mas pesados son.

12. Cerca de los polos es menor la actividad y solo la cromo-esfera presenta síntomas de agitacion; de aquí resultan protuberancias que, como no contienen mas que hidrógeno, no pueden producir los vapores absorbentes indispensables á la formacion de las manchas. Todas las protuberancias, pues, no son verdaderas erupciones: la diferencia consiste esencialmente en la presencia ó en la falta de los vapores metálicos, y sin ayuda del espectroscopio es posible distinguir estas dos clases de fenómenos por su aspecto externo, esto es, por las diferencias que existen en la elevacion y el brillo de los chorros incandescentes. Cerca de los polos, se reducen á las veces las protuberancias á simples difusiones de la materia cromo-esférica, parecidas á las que observamos en las nubes terrestres. La granulacion de la superficie solar la producen estos innumerables surtidores incandescentes de escaso diámetro, que se ven en todo el contorno del disco en forma de pequeñas llamas, de pelos y de chorros.

13. La actividad del Sol presenta variaciones periódicas muy singulares; la duracion media de cada período es, probablemente, de once años y un tercio; en este intervalo se producen otras variaciones de menor extension y de período mas corto; su orígen apenas se conoce en la actualidad, pero depende, al parecer, de la accion de los planetas. Estas variaciones de la actividad solar solo se han estudiado hasta ahora en relacion con el número de manchas que son su consecuencia; pero las observaciones espectrales hechas en estos dos últimos años, nos enseñan que existen variaciones periódicas muy complicadas en la extension que ocupan las protuberancias, sea en longitud, sea en latitud, que caminan en conformidad con las manchas.

14. El estado interno del Sol nos es por completo desconocido; sin embargo, todo nos induce á creer que se encuentra en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

estado gaseoso hasta una gran profundidad; en el interior se halla, sin duda, en ese estado crítico, que separa los gases de los líquidos; las fuerzas antagonistas están entonces en equilibrio inestable, lo que explica la abundancia y energía de las erupciones.

15. La enorme cantidad de calor almacenada en el Sol, no es sino una escasa parte de la que se desarrolló durante la formacion de este astro. La fuente principal de este calor es la fuerza de gravedad cuyo trabajo ha desarrollado la inmensa cantidad de fuerza viva concentrada en este hogar gigantesco; la condensacion progresiva del Sol sigue aun produciendo calor y contribuye tambien á mantener constante la temperatura del astro.

16. La radiacion hace perder al Sol inmensas cantidades de calor; pero hay focos de compensacion, no solo en la accion de la gravedad como acabamos de decir, sino sobre todo en los cambios de estado que experimenta la materia solar; basta que una pequeña parte de esta materia pase del estado de disociacion al de combinacion, para emitir una cantidad de calor capaz de compensar con exceso las pérdidas cotidianas.

17. Debemos, pues, de considerar el Sol como un cuerpo que pierde calor; su temperatura permanece sensiblemente constante, sin embargo, durante períodos inmensos, mucho mas largos que los que interesan á la humanidad. Supongamos que la materia solar se encuentra en un estado de difusion bastante grande como para que ocupe todo el espacio planetario hasta la órbita de Neptuno; supongamos que una fuerza cualquiera condensa repentinamente esta gran masa y sin pérdida de fuerza viva de modo que la haga ocupar su volúmen actual; esta condensacion produciria una cantidad de calor suficiente para volatilizar de nuevo la masa total; por este hecho podemos juzgar de las enormes pérdidas de fuerza térmica, que ha debido de experimentar el Sol antes de llegar al estado en que lo vemos hoy dia.

18. De estas pérdidas continuas resulta una circulacion general de la masa solar; esta circulacion se manifiesta por la direccion de las protuberancias inclinadas regularmente hácia los polos, y por diferencias sensibles en la velocidad de rotacion de las diversas partes; el máximo tiene lugar en el ecuador y la velocidad va disminuyendo en las latitudes mas elevadas. Es imposible desconocer la existencia de esta circulacion, por mas que hasta ahora no se haya estudiado por completo y mucho menos explicado; su regularidad se encuentra perturbada á menudo por las acciones que producen las manchas y las protuberancias.

19. Nada prueba que el Sol deba de permanecer indefinidamente en el estado en que lo vemos; pero si tenemos en cuenta la inmensa cantidad de materia que lo compone, podemos abrigar la certidumbre de que los influjos que ejerce sobre su séquito de planetas y satélites continuará todavía por espacio de millones y millones de siglos, sin ningun cambio apreciable.

Hasta aquí hemos hablado de la naturaleza íntima del astro misterioso que nos alumbra; lo que hemos descubierto es, sin duda alguna, poca cosa, y para eso nuestros conocimientos están mezclados con grandes vacilaciones; sin embargo, si consideramos los rápidos progresos que la Ciencia ha hecho en estos últimos tiempos, no podemos dudar de que los astrónomos que con tanto entusiasmo y perseverancia trabajan en la grande obra, no lleguen á descubrir y revelarnos nuevas maravillas.

IV

Teoría de Faye

Al estudiar sin idea preconcebida los movimientos de las manchas, se nota que, segun las observaciones de Carrington, hay

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

una relacion simple entre sus latitudes y su velocidad angular. Sin embargo, no basta esta ley para representar las observaciones con la exactitud necesaria y es preciso tomar en consideracion por el cálculo la paralage de profundidad que se estima en $^1/_{200}$ del radio solar, y tambien ciertas oscilaciones de escasa amplitud y largo período, que sufren las manchas perpendicularmente á sus paralelos. En este caso se representan las observaciones con gran precision.

Admitiendo, como mas adelante veremos, que la velocidad de una mancha es igual á la velocidad media de la zona de la foto-esfera en que se formó, tenemos:

1.° Que las bandas contiguas de la foto-esfera están animadas de una velocidad de rotacion casi constante para cada filamento, á lo menos durante un período de algunos meses ó años, pero que varia con la latitud de una banda á la otra.

2.° Estas bandas se mueven paralelamente al ecuador ó poco menos, y jamás presentan indicios de corrientes constantes que se dirijan á los polos, como sucede con las altas regiones de nuestra atmósfera.

3.° Que las manchas son excavaciones ó por lo menos que el núcleo negro está depreso perceptiblemente respecto de la foto-esfera.

La disminucion de la velocidad de la rotacion superficial, mucho mas marcada hácia los polos, y la ausencia de todo movimiento desde el ecuador, tan solo puede provenir del ascenso vertical de las materias que incesantemente suben de una gran profundidad hácia todos los puntos de la superficie. Basta con que esta profundidad vaya creciendo desde el ecuador á los polos, siguiendo una ley análoga á la de la rotacion, para que pueda producirse en la superficie el retardo que implica el mayor valor de la latitud.

Hallándose formada principalmente la masa del Sol de vapores metálicos condensables á determinada temperatura, y obteniéndose esta temperatura á cierto nivel á consecuencia del enfriamiento externo, debe establecerse un doble movimiento vertical de vapores ascendentes, que van á formar una nube de materia condensada susceptible de una intensa radiacion, y de productos condensados que vuelven á caer en forma de lluvia; estos productos se detienen á cierta profundidad, en donde la temperatura es bastante alta para evaporarlos de nuevo obligándoles á subir otra vez.

Como casi toda la masa del Sol participa de este doble movimiento, el calor radiado por la nube procederá de esta masa y no de la capa superficial, cuya temperatura descenderia rápidamente condensándose pronto en una verdadera corteza. De aquí la formacion y apoyo de la foto-esfera y la constancia y larga duracion de sus irradiaciones, que en parte están alimentadas por las pequeñas contracciones de toda la masa solar.

Las bandas contiguas de la foto-esfera, animadas como están de distintas velocidades, dan lugar á la formacion de una multitud de movimientos giratorios en torno de un eje vertical, que se extienden á gran profundidad, semejantes á los de nuestros rios y á las grandes corrientes superiores de la atmósfera terrestre. Estos remolinos que tienden á igualar las diferencias de velocidad de que acabamos de hablar, siguen las corrientes de la foto-esfera del mismo modo que las trombas, ciclones y tornados de nuestra atmósfera siguen las corrientes superiores en donde nacen. Como estos fenómenos atmosféricos descienden, transportan á las profundidades de la masa solar las materias mas frias de los estratos superiores, formados principalmente de hidrógeno, y produciendo de este modo en su centro una extincion completa de luz y calor por todo el tiempo que dure el movimiento giratorio. Finalmente, el hidrógeno puesto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en libertad en la base del remolino, vuelve á caldearse en esta gran profundidad y se eleva tumultuosamente al rededor del ciclon, formando chorros irregulares que aparecen sobre la cromo-esfera. Estos surtidores constituyen las protuberancias.

Los remolinos ó ciclones del Sol, como los de la Tierra, son de todas dimensiones, desde los poros casi invisibles hasta las

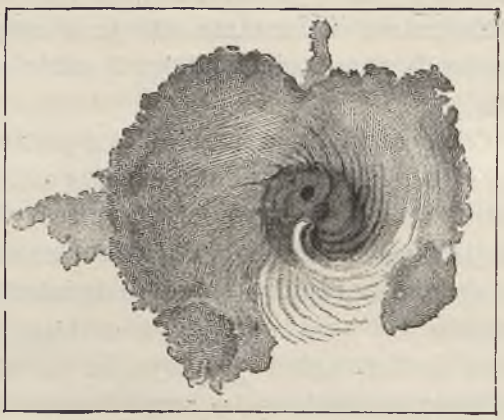


Fig. 332.—Mancha dotada de movimiento vorticoso

manchas enormes que vemos de vez en cuando. Manifiestan, como los de la Tierra, una tendencia marcada á aumentar primero, y luego á fraccionarse, subdividiéndose en una larga fila de manchas que se extienden á lo largo del mismo paralelo.

La penumbra se debe á una porcion de la foto-esfera que forma alrededor su superficie cónica en un nivel mas bajo á causa del descenso de la temperatura producido por el ciclon. A veces se ven indicios de movimientos vorticosos en el interior de esta especie de funda luminosa.

Mas difícil es explicar la periodicidad de las manchas; al parecer depende de fluctuaciones en la forma del estrato interior, en el que la materia condensada de la foto-esfera cae en forma de lluvia; esta marea de sustancias que proceden de la parte superior debe alterar poco á poco la velocidad de rotacion del estrato; si cambia su compresion en el trascurso del tiempo y llega á hacerse mas redonda, las variaciones de la velocidad superficial de la foto-esfera, de igual manera que los movimientos giratorios, disminuirán de intensidad y serán menos frecuentes.

Llegará un tiempo al fin y al cabo, en que los movimientos verticales que alimentan á la foto-esfera se ocultarán mas y mas; el enfriamiento será entonces puramente superficial y la superficie del Sol se convertirá en una costra continua.

V

Teoria del profesor Young

Segun este distinguido astrónomo, que tanto se ha ocupado del estudio de la física solar, se halla demostrado de un modo casi evidente, y como consecuencia de la escasa densidad media del Sol y de su gran fuerza de gravedad, que las porciones centrales de este cuerpo, y de hecho todo el globo, salvo una delgada capa cerca de la superficie, debe de encontrarse en estado gaseoso, y los gases á una temperatura tan alta, que la mayor parte han de estar disociados unos de otros siendo incapaces de producir ninguna combinacion química. Sin embargo, bajo el influjo de la gran presion y la elevada temperatura, su densidad es tal, probablemente, que sus acciones mecánicas se asemejan mas á las de la miel y el alquitran, que á las del aire atmosférico.

La superficie visible del Sol, esto es, la foto-esfera, se compone de nubes formadas por la condensacion y combinacion de los gases solares que se han enfriado por su irradiacion en el espacio; estas nubes están suspendidas en la masa de los gases no condensados, como las nubes de nuestra propia atmósfera, y tienen probablemente la forma de columnas verticales de una longitud muy superior á sus diámetros. Las partículas líquidas y sólidas de que están compuestas descienden continuamente, siendo ocupados sus lugares por nuevas condensaciones de las corrientes ascendentes, que se elevan entre las columnas nebulosas. En la superficie inferior de la foto-esfera

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

debe de haber una precipitacion inmensa de lo que pudiera llamarse lluvia y nieve solar, que descienden al núcleo gaseoso, y se evaporan nuevamente por el calor interno, descomponiéndose y recuperando su primitivo estado de gases; el calor perdido por la irradiacion de la superficie es reemplazado, principalmente, por el trabajo mecánico que se debe á la disminucion gradual de la masa del Sol y al aumento de espesor de la foto-esfera. Carecemos de medios para determinar el grueso de la costra foto-esférica, pero por los fenómenos que ofrecen las manchas puede calcularse que no bajará de cuatro mil leguas.

El peso de la costra gaseosa y la resistencia que presenta á los productos descendentes de la condensacion, originan en el núcleo interior una especie de contraccion, que obliga á los gases á subir, atravesando con gran velocidad los intervalos que median entre las nubes; de manera que constantemente suben surtidores de gases caldeados en toda la superficie del Sol, que luego vuelven á descender en columnas nebulosas, en parte condensados en corpúsculos sólidos ó líquidos, y en parte sin condensar, pero en extremos frios. No parece improbable tampoco, que en la region mas elevada de los canales por donde pasan las corrientes ascendentes, se verifique la mezcla de los distintos gases enfriados por expansion, hasta un punto tan inferior al de la disociacion, que pueda verificarse su combinacion explosiva.

La cromo-esfera es, sencillamente, la capa de gases no condensados que cubre á la foto-esfera, aunque separada de esta por una superficie no por completo definida. La parte inferior de la cromo-esfera es muy rica en los vapores y gases que entran en la composicion del Sol, pero á una altura comparativamente pequeña, desaparecen los gases mas densos y permanentes, dejando en las regiones superiores tan solo el hidrógeno y alguna otra sustancia que hasta el dia no se ha identificado.

Las líneas oscuras del espectro solar se producen principalmente por la absorcion causada por los gases mas densos que bañan las nubes foto-esféricas, y estos vapores metálicos son á veces transportados á las regiones superiores por chorros ascendentes de violencia inusitada. Cuando este fenómeno tiene lugar, se halla ligado invariablemente con una mancha del Sol.

Las protuberancias son meras masas de hidrógeno caldeado y otros gases cromo-esféricos, transportados á alturas considerables por las corrientes ascendentes, y que en la apariencia flotan en la atmósfera coronal.

El profesor Young consiguió á fuerza de ensayos, fotografiar las protuberancias, valiéndose del aparato que representa la figura 333. Se compone de una batería de prismas por la que pasa una primera vez el rayo luminoso por la parte inferior, y se recibe por un prisma rectangular que refleja la luz por completo, haciendo que pase una segunda vez por la parte superior de los prismas, refractándose de nuevo; de este modo se obtenia un efecto igual al que producirian trece prismas; el rayo luminoso entra en el instrumento por el tubo inferior, y despues de pasar la primera vez por la mitad inferior de los prismas y retroceder por la mitad superior, se recibe en el tubo vertical en donde se encuentra la cámara fotográfica.

El profesor Young no se atreve á formular teoría alguna acerca de la corona, pues su espectro demuestra que una porcion considerable de su luz procede de alguna materia gaseosa en extremo rarificada, que no puede identificarse con ninguna de las sustancias terrestres conocidas, y este gas, sea cual sea, existe á una altura no menor de cuatrocientas mil leguas sobre la superficie solar, constituyendo la *atmósfera coronal*.

Otra parte de su luz parece ser sencillamente una reflexion de la luz solar; pero de las fuerzas que dan lugar á la estructura

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

radiada de la corona, no tenemos ni la mas remota idea; las analogías que las colas de los cometas y las radiaciones de las auroras ofrecen con este fenómeno son bastante notables, pero por otra parte los espectros de la corona, de la aurora boreal, de los cometas y de las nébulas, son de todo punto desemejantes.

En cuanto á las manchas solares, no cabe ya duda de que son cavidades de la super-

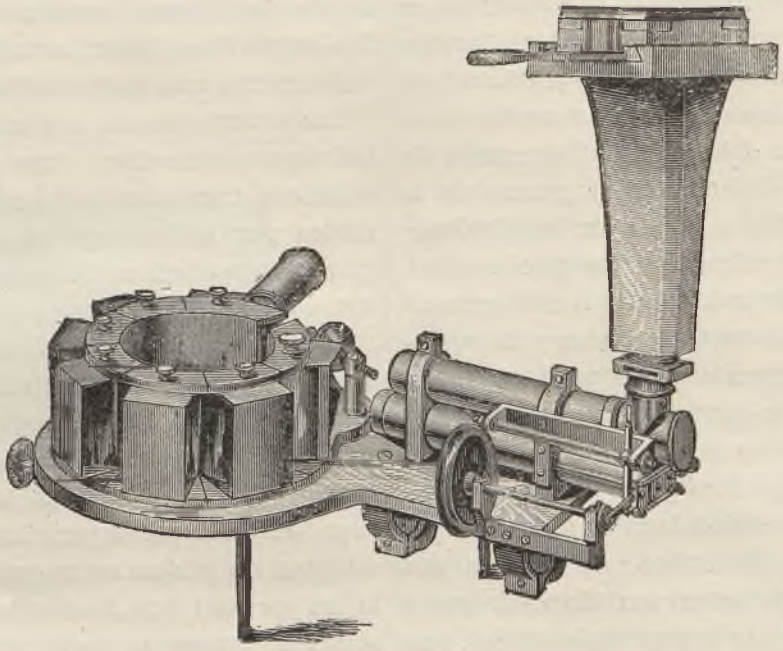


Fig. 333.— Cámara foto-espectro-gráfica del Profesor Young

ficie superior de la foto-esfera y de que su oscuridad se debe sencillamente á la accion absorbente de los gases y vapores que contienen en su interior. Es tambien positivo, que muy comunmente, si no de un modo invariable, tienen lugar unas erupciones de hidrógeno y de vapores metálicos todo al rededor del canto externo de la penumbra, viéndose al mismo tiempo una depresion considerable de la cromo-esfera sobre el centro de la mancha.

Young no acepta la interpretacion que ofrecen la mayor parte de los astrónomos sobre los detalles telescópicos de las manchas, y á su juicio la teoría de Faye es la mas razonable de todas las que han sido propuestas hasta aquí, la cual podrá modificarse en lo sucesivo de modo que permita dar cuenta de todas las dificultades. En cuanto á la periodicidad de las manchas no parece creíble que se deba á la accion planetaria, ó por lo menos, hasta hoy no cuenta esta hipótesis con pruebas sólidas en su apoyo.

Respecto de la relacion que parece existir entre las perturbaciones de la superficie solar y el magnetismo terrestre, nada dice Young, ó por lo menos, no presenta ninguna teoría para explicar el hecho; tampoco tiene idea concreta formada sobre la temperatura de la superficie solar, si bien cree que ha de ser superior á la de las puntas de carbon de la luz eléctrica; los resultados de los que basan sus cálculos en la ley de enfriamiento de Newton, que no es sino una mera aproximacion, son en concepto de Young manifiestamente falsos y exagerados: por otra parte, los cálculos de los físicos franceses son demasiado bajos por estar fundados en la ecuacion de Dulong y Petit, puesto que su exactitud depende del exponente numérico deducido de varios experimentos á bajas temperatu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ras, y en circunstancias y condiciones que en gran manera difieren de las que ofrece la superficie solar; la sensible constancia de la radiacion solar pudiera explicarse de un modo bastante satisfactorio, en la hipótesis de una lenta contraccion del diámetro solar.

Uno de los hechos mas importantes é inexplicados de la física solar, es, segun el profesor Young, el movimiento acelerado del ecuador del Sol, cuya explicacion perfecta daria la solucion de muchos de los demás problemas cuyas causas desconocemos.

Estas son, de un modo conciso, las opiniones del sabio astrónomo americano, quien las presenta con timidez y se halla dispuesto segun dice, á abandonarlas en cuanto se haga mas luz en estos asuntos delicados, especialmente en lo respectivo á la teoría de la rotacion del Sol, la causa y constitucion de las manchas y la naturaleza de la corona. Este mismo astrónomo atribuye una importancia capital á los fenómenos que produce el descenso de los productos de la condensacion, que en su concepto forman virtualmente una especie de piel ó cubierta constrictora que produce una gran presion sobre la masa gaseosa interna, semejante á la que ejerce la película de jabon de una burbuja, respecto del aire que contiene; á esta presion hay que achacar, en primer término, los fenómenos eruptivos de la cromo-esfera y de las protuberancias.

VI

Teoría de Langley

Segun este distinguido astrónomo, tambien americano, hay que abandonar la anticuada hipótesis en que se supone que la foto-esfera es un líquido incandescente, y que las manchas son productos análogos á las escorias de la misma sustancia, ó á nubes que flotan sobre la superficie luminosa. Segun las pruebas telescópicas directas, la foto-esfera es puramente gaseosa y el observador americano cree que estos vapores elevados son mas ligeros que los mas delgados cirros de nuestro propio cielo. Las observaciones de las fáculas y de la estructura granular de la superficie, demuestran que se hallan mas íntimamente ligadas con las formas cromo-esféricas vistas en el espectroscopio, y que concuerdan asimismo, con la idea de un sistema de corrientes generales que trasmitan el calor interno, generado por condensacion, á la superficie, arrastrando hácia abajo la materia fria absorbente.

Esta circulacion vertical llega hasta una profundidad bastante sensible, aun comparada con el diámetro solar; al mismo tiempo, se produce un movimiento horizontal que se ha observado en los que pudieran llamarse los estratos foto-esféricos superiores y sucesivos, de las inmediaciones de las manchas.

Las manchas demuestran que existe una accion ciclónica en un todo análoga á la que pudiera observarse en un flúido; su oscuridad se debe á la presencia á grandes profundidades, de la misma atmósfera obscura que da lugar á la formacion del medio gris en que parece que se hallan suspendidas las formas luminosas cromo-esféricas, y á cuyo través miramos desde la Tierra en los puntos en donde llena las aberturas del estrato foto-esférico; llega hasta las regiones internas del Sol, visibles por la escasa luz de las nubes de vapor luminoso, precipitado en capas mas bajas en las cuales se modifica el punto de rocío por los cambios de temperatura y presion; todas las observaciones parecen demostrar que el Sol es gaseoso en toda su masa, si bien con esto no se quiere decir que se niegue la precipitacion probable de los vapores foto-esféricos frios, de un modo semejante á los de la lluvia, condicion tal vez indispensable para la conservacion del equilibrio entre el frio y el calor del exterior al interior; ni se quiere decir que se llenen todas las condiciones de un flúido perfecto, pues las diferencias han de ser

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

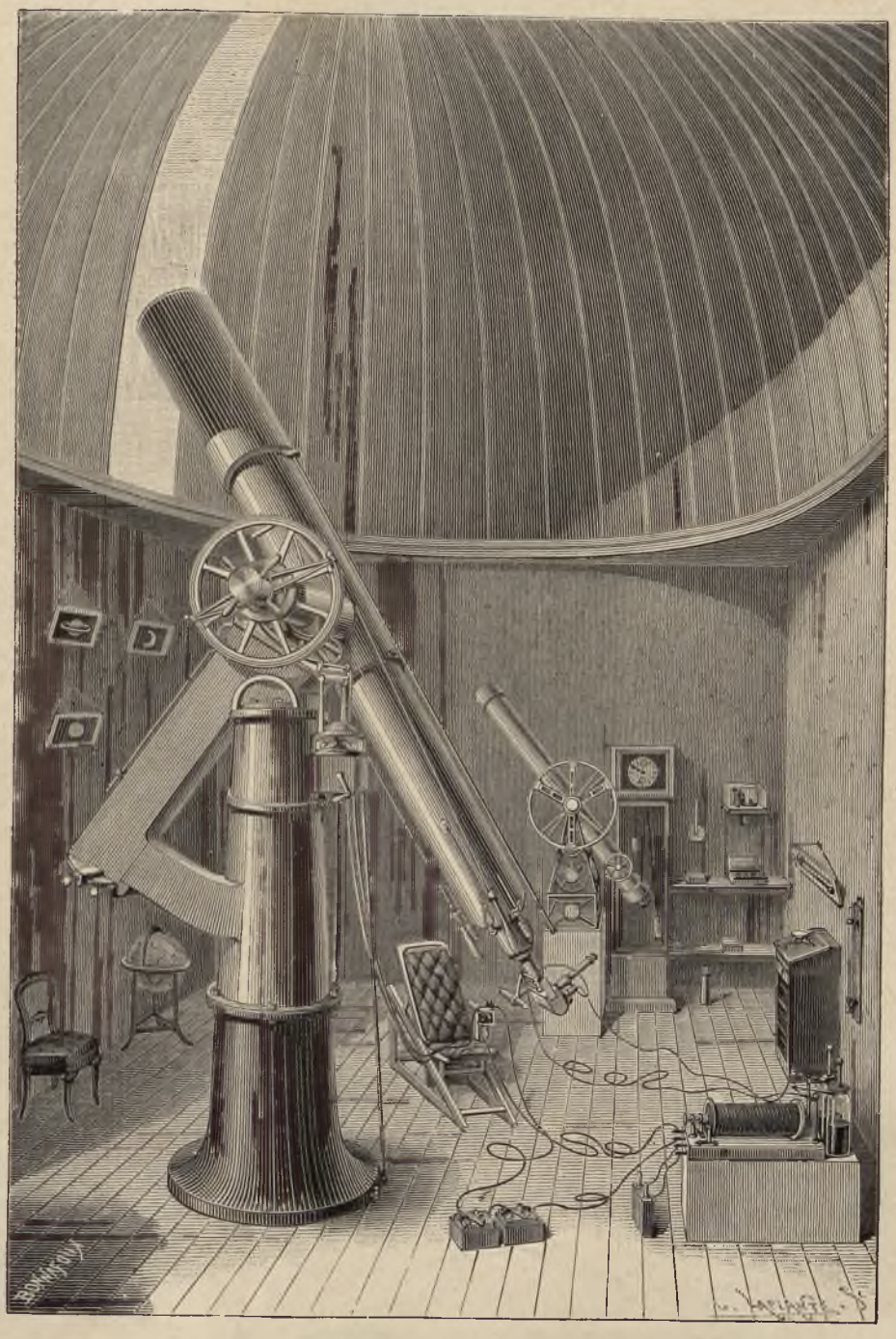
muy grandes, ya que no por otra causa, por la viscosidad producida por tan excesivo calor.

La temperatura del Sol debe ser mucho mas elevada de la que le asignan la mayoría de los físicos, que consideran que es comparable con la que se obtiene en las forjas de los laboratorios; pero no podemos con certidumbre asignarle ningun límite superior, mientras que la física no haga nuevos progresos y pase de su estado actual, en lo respectivo á sus reglas empíricas sobre la emision y la temperatura; por ello, y no por deficiencia en la delicadeza y precision de la astronomía física, nos encontramos en tan profunda oscuridad respecto de tan interesante punto.

Hasta ahora no se ha propuesto ninguna teoría sobre la constitucion del Sol que no se halle mas ó menos expuesta á la crítica, siendo la que mejor da cuenta de los fenómenos, la de Faye y que dejamos ya expuesta.

De la energía potencial del Sol podemos decir que la creemos bastante grande para suministrar una cantidad de calor como la actual por espacio de varios millones de años.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016



TELESCOPIO DE TULSE HILL

instalado por W. Huggins para sus estudios de espectroscopia celeste

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO VII

I

Espectroscopios estelares

Las investigaciones de los espectros de los planetas y de las estrellas fijas comenzadas por Fraunhofer, fueron continuadas en diversas épocas por Lamont, Donati, Brewster, Stokes, Gladstone y otros; pero sus trabajos se limitaron á observar la posicion de las rayas negras de los espectros y su relacion con las líneas de Fraunhofer del espectro solar, sin sospechar, ni remotamente, su naturaleza real ó enlace con la constitucion material de los cuerpos celestes. Hasta la época del descubrimiento de Kirchhoff de la teoría de las líneas de Fraunhofer en 1859, no fueron sometidos el Sol, los planetas, las estrellas fijas, las nébulas resolubles é irresolubles, los cometas y aun los meteoros, al análisis por medio de sus espectros.

Al recordar que la luz de las estrellas, y en particular la de las nébulas y los cometas, es en extremo débil, y que en un clima septentrional hay pocas noches favorables para observar estos objetos delicados, ya sea que el brillo excesivo de la Luna los eclipse, ó bien que los oscurezca una ligera niebla; y si se tiene presente tambien que puesto que los instrumentos participan del movimiento diurno ó rotacion de la Tierra, se hace necesario el empleo de un complicado reloj que les imprima un movimiento contrario para conservar estacionaria la imágen del astro en el campo visual, podrá formarse una idea aproximada de las dificultades inherentes á este género de observaciones de los cuerpos celestes por medio del análisis espectral, que tanto lustre ha dado á los nombres de Secchi, Director del Observatorio del Colegio Romano, de Huggins, Director del Observatorio de Upper Tulse Hill (véase la lámina) y de tantos astrónomos eminentes.

Es indudable que los espectroscopios construidos para el análisis exclusivo de los cuerpos terrestres no son adecuados al estudio de las luces estelares; ya se trate de medir las distancias de las líneas del espectro de una estrella, ó bien de comparar estas mismas líneas con las de una sustancia terrestre conocida, es menester adaptar el instrumento á un anteojo montado ecuatorialmente, esto es, á un anteojo que se mueva con la misma velocidad que la Tierra, pero en direccion opuesta, de modo que siga á una estrella desde su orto á su ocaso, conservándola constantemente en el centro del campo visual; el movimiento de un aparato de esta clase se obtiene con una máquina de reloj del modo que queda explicado en las páginas anteriores.

La imágen de una estrella fija que se obtiene en un anteojo, es un punto matemático; ahora bien, el espectro de un punto es una línea sin ancho sensible, y por lo tanto, impropia para la observacion. Con

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

objeto de obtener de un punto luminoso un espectro de anchura suficiente, hay necesidad de convertir primero el punto en una línea de luz, lo cual se consigue con facilidad por medio de una lente cilíndrica; luego se analiza con el prisma esta línea, proyectándola sobre la ranura, y tambien se puede formar primero un espectro lineal haciendo despues uso de la lente cilíndrica con objeto de aumentar su ancho. El primer método es el que se debe preferir siempre.

Es evidente que en estos estudios se necesitan combinaciones ópticas especiales, como v. gr., un gran objetivo ó lente condensadora para reunir la mayor cantidad de la débil luz de las estrellas, y condensarla en una corta línea luminosa; á causa de la debilidad del objeto examinado, es necesario limitar el poder dispersivo del espectroscopio, reduciéndolo á veces á un corto número de prismas.

Tambien es menester una combinacion particular en inmediata relacion con el espectroscopio, que permita convertir en vapor luminoso toda clase de sustancias terrestres, ya por medio del mechero de Bunsen, ora con el carrete de induccion de Ruhmkorff, enviando al espectroscopio la luz de esta suerte producida valiéndose del prisma de comparacion que cubre la mitad de la ranura, de modo que el observador pueda comparar con los espectros así formados, el espectro directo de la estrella.

Estas generalidades permitirán que se comprenda mejor la construccion de un espectroscopio estelar, y que nos familiaricemos con los detalles de su manejo práctico.

El primer espectroscopio estelar fué construido por Fraunhofer en 1823. Con objeto de observar los espectros de las estrellas fijas y de determinar al mismo tiempo la refrangibilidad de su luz, construyó un gran instrumento con un anteojo de 12 centímetros de abertura, en relacion con un prisma de flint de un ángulo de 37° 40′, del mismo diámetro que el objetivo. El ángulo formado por los rayos incidentes y emergentes era, poco mas ó menos, de 26°. Fraunhofer colocó el prisma delante del objetivo del anteojo, de modo que esta última pieza solo servia para analizar el espectro ya formado; este plan se abandonó por los observadores siguientes, quienes, como Lamont en 1838, dejaron pasar la luz de la estrella sin modificacion á través del objetivo del anteojo, analizando la imágen desde el extremo del tubo en donde se insertan los oculares, bien con un prisma sencillamente, ya valiéndose de un pequeño anteojo.

Los observadores romanos Respighi y Secchi adoptaron recientemente la primitiva idea de Fraunhofer adaptando á sus refractores un *espectroscopio-objetivo* construido por el famoso óptico Merz, de Munich.

En la fig. 334 se representa el aparato completo, dispuesto para adaptarlo al objetivo de un refractor; la fig. 335 representa la montura del prisma y la fig. 336 el prisma separado de su anillo.

El prisma P va montado en un aro metálico que gira en un eje horizontal, que por medio de los topes laterales a a_1 que se insertan en los tornillos b b_1, puede adaptarse á un segundo anillo. Este anillo externo gira al rededor de la caja que contiene todo el aparato, de manera que el prisma llegue á tomar todas las posiciones que se deseen y forme todos los ángulos posibles respecto del objetivo ó del eje del anteojo.

Puesto que los rayos que caen sobre el objetivo se refractan por el prisma, no se puede apuntar directamente el eje del anteojo á la estrella que se desee observar. Con objeto, por lo tanto, de facilitar los medios de encontrar la estrella, la caja que lleva el prisma está provista de una abertura en c por la cual se puede ver la estrella directamente; en el lado de la caja opuesto á esta abertura, va unido un sis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tema acromático de prismas *p*, de igual poder refractor que el prisma P, con cuyo medio se reduce mucho la dificultad de hallar la estrella.

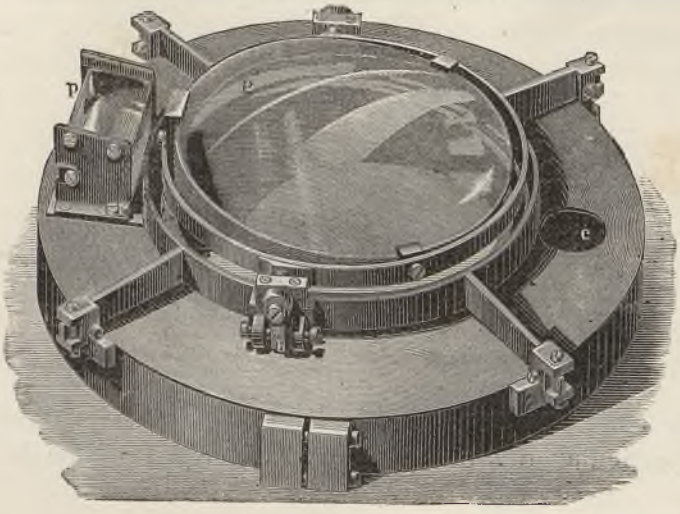


Fig. 334.—Espectroscopio-objetivo de Merz

El prisma tiene un ángulo de refraccion de 12°; está compuesto del vidrio flint mas puro y sin color, de manera que la pérdida de luz es á veces inapreciable; su abertura

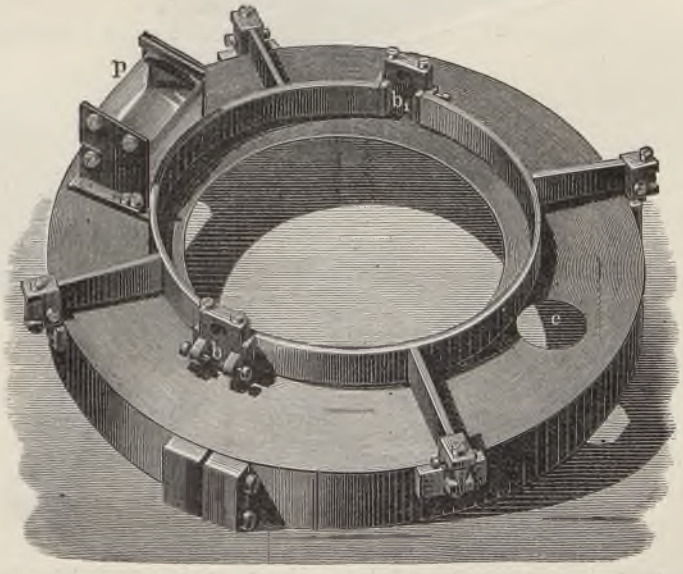


Fig. 335.—Espectroscopio-objetivo de Merz; montura del prisma

mide 16 centímetros y la montura está provista, como indica el dibujo, de todo lo necesario para ajustarla con exactitud.

Aunque estos prismas reducen el diámetro efectivo del refractor del Colegio Romano á menos de la mitad, la cantidad de luz que se obtiene excede en mucho á la del anteojo con un espectroscopio de vision directa colocado en lugar del ocular; la dispersion es, segun el P. Secchi, cuando menos seis veces mayor que la de los mas poderosos aparatos aplicados al tubo portaoculares; este particular exige confirmacion segun Lockyer, quien supone que los espectroscopios que se compararon debian de absorber mucha luz.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

También adaptó Merz el objetivo-prisma á las observaciones de vision directa, construyéndolo de una combinacion de prismas de crown y de flint corregidos de refraccion. La corta pérdida de luz que ocasiona esta combinacion es inevitable; en un ins-

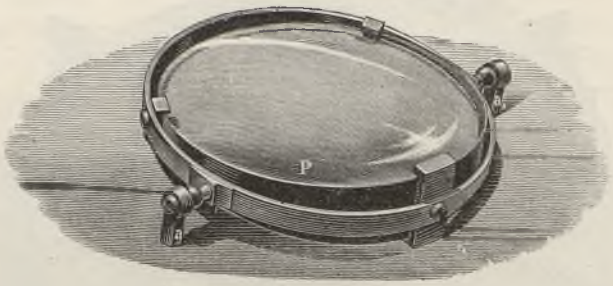


Fig. 336.—Objetivo-prisma de Merz

trumento de esta clase construido para el Observatorio particular del consejero Camphausen en Rüngsdorf, el ángulo de refraccion del prisma de crown era de 36°,

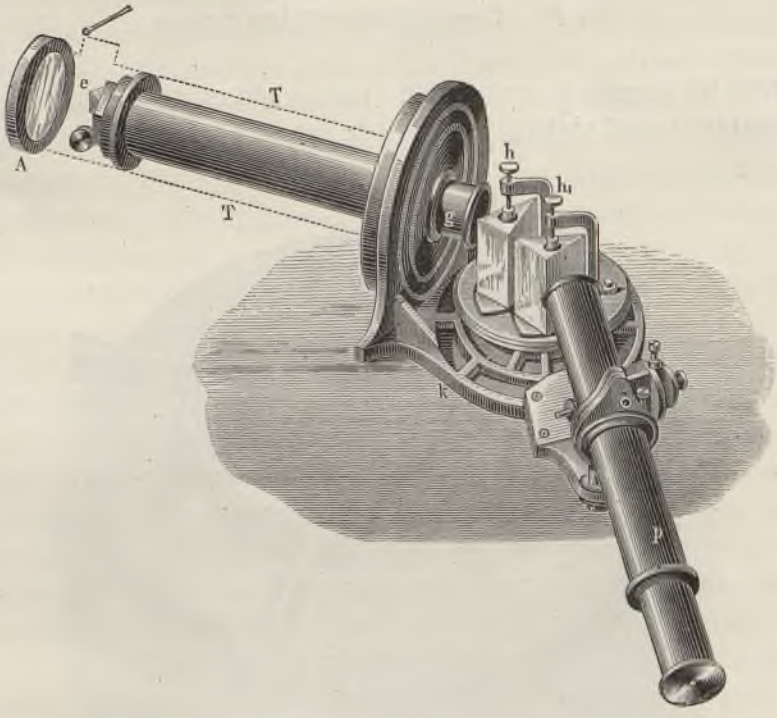


Fig. 337.—Espectroscopio estelar de Huggins; vista en perspectiva

y el correspondiente al de flint de 25°; el índice medio de refraccion del crown es de 1,5283 y el de flint 1,7610.

Cuando se emplea un espectroscopio ocular para analizar la imágen óptica de un cuerpo celeste, que es un punto luminoso si se trata de una estrella, cualquiera de los dos métodos descritos antes para ensanchar el punto luminoso con la lente cilíndrica puede adoptarse, colocando esta pieza delante ó detrás de la ranura. Algunos astrónomos sostienen que la lente cilíndrica debe colocarse siempre delante de la ranura.

El espectroscopio estelar con que efectuó Huggins sus primeras observaciones

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fué construido por Browning y se representan en las figs. 337, 338 y 339; el tubo externo T T del ocular es la única parte del anteojo ecuatorial que se ve en los dibujos, pues todas las demás se han omitido. El espectroscopio va unido al tubo porta-oculares del anteojo, que es un refractor de 21 centímetros de abertura y 3 metros de distancia focal, montado ecuatorialmente y con mecanismo de relojería.

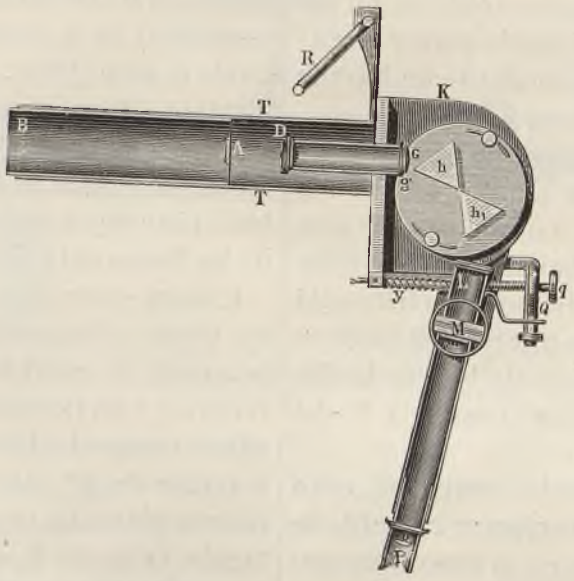


Fig. 338.—Espectroscopio estelar de Huggins; seccion horizontal

Dentro del tubo T T de la ecuatorial, corre un segundo tubo B, que lleva una lente cilíndrica plano-convexa A de 25 milímetros de abertura y 32 centímetros de distancia focal; esta lente está de tal modo colocada en el curso de los rayos conver-

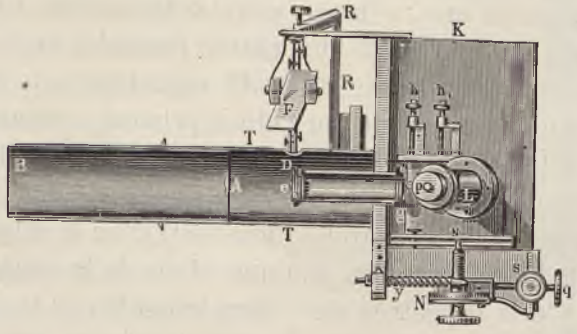


Fig. 339.—Espectroscopio estelar de Huggins; seccion vertical

gentes que salen del objetivo, que el eje de la superficie cilíndrica es perpendicular á la ranura D del espectroscopio, y con su auxilio se produce un espectro de suficiente anchura de la línea luminosa, si se coloca la ranura D exactamente en el foco del objetivo del anteojo.

Detrás de la ranura se coloca, como de costumbre, la lente colimadora *g* que sirve para que los rayos caigan paralelos sobre la primera cara de los prismas; la lente es acromática y tiene de foco 11 centímetros y de diámetro 12 milímetros. Con esta disposicion recibe la lente *g* toda la luz que diverge de la imágen lineal de la estrella cuando esta se coloca precisamente entre

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

los dos cantos de la ranura. Los rayos paralelos que emergen de la lente *g* atraviesan dos prismas de flint *h* h_1 de un ángulo de refraccion de 60° que los descomponen, formándose un espectro que se examina con el pequeño anteojo acromático *p*. Para medir las distancias relativas de las líneas del espectro se puede mover el anteojo sobre un eje por medio de un tornillo micrométrico muy fino *q y*.

El objetivo del anteojo analizador presenta una abertura de 15 milímetros y una distancia focal de 17 centímetros; el ocular que se emplea habitualmente amplifica unas 6 veces; el tornillo micrométrico está dispuesto de tal modo, que pueden medirse con exactitud intervalos de $^1/_{1800}$ de la distancia que hay entre las líneas A y H del espectro solar.

La luz de los elementos terrestres, cuyo espectro se trata de comparar con el de la estrella, se introduce en el espectroscopio del modo siguiente.

Una mitad de la ranura D está cubierta por el pequeño prisma *e*, y en frente va un espejo F (fig. 339) de tal manera unido al espectroscopio por el brazo R, que se pueda ajustar con facilidad; este espejo recibe la luz emitida por la sustancia que, colocada en una pinza sujeta en una pieza de ebonita, se convierte en vapor luminoso por la chispa de induccion, y se refleja por una abertura lateral del tubo T T dentro del anteojo y en el pequeño prisma *e*. Como al mismo tiempo pasa la luz de la estrella á través de la otra mitad de la ranura, se forman en el anteojo *p* dos espectros superpuestos, por manera que la coincidencia ó discrepancia de las líneas oscuras de la estrella y de las líneas brillantes de la sustancia terrestre pueden observarse con exactitud.

En sus investigaciones de los espectros estelares empleó Secchi, con preferencia, un espectroscopio simple de vision directa, á causa de que un aparato mas complicado, al adaptarlo á una ecuatorial, puede destruir el equilibrio del instrumento y perturbar la regularidad del movimiento del reloj.

El espectroscopio empleado por Secchi se representa separado de la ecuatorial en la fig. 340; M N es el tubo principal que se adapta en M atornillándolo en el tubo portaoculares G de la ecuatorial; á este tubo va unido el arco Q B C, á lo largo del círculo dividido C B, que puede recorrer á un lado y otro el anteojo Q O, girando sobre el eje *d*, por medio de un tornillo micrométrico muy fino *n*, se miden las 6 distancias de las líneas del espectro.

E es una lente cilíndrica acromática, cuyo eje puede colocarse ó en ángulo recto con la ranura, ó paralelamente á ella; *e* es la ranura y *s* un pequeño espejo de vidrio inclinado respecto de la ranura en un ángulo menor de 45°, cuya mitad superior, que no está plateada, permite que pase sin obstáculo la luz de la estrella, mientras que la mitad inferior, obrando como un espejo verdadero, refleja hácia el espectroscopio la luz de la sustancia hecha incandescente en el aparato eléctrico en L.

Las dos lentes acromáticas K K forman sus focos respectivos en la ranura y obran como colimadoras, haciendo que los rayos entren paralelos en los prismas.

El espectroscopio de vision directa de cinco prismas, sistema Hofmann y Janssen (fig. 341) *p q p' q' p''* descompone los rayos, y el espectro se observa con el anteojo analizador Q O en la direccion G *d*, de modo que el eje de la ecuatorial puede enfilarse directamente con la estrella.

En el tubo lateral R I se encuentra la lente colimadora R, en cuyo foco se dispone una pequeña chapa metálica T con una estrechísima ranura, movible hácia atrás y adelante por medio del tornillo micrométrico V_1; á través de esta ranura, pasa la luz de una lámpara encerrada en I, y forma una línea brillante muy delgada en el interior del tubo R I, que reflejada en el anteojo Q O por la superficie del primer

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

prisma p'', sirve al observador como señal en el exámen de las posiciones relativas de las líneas espectrales.

Con objeto de ver las rayas negras mas finas de los espectros y compararlas con las de las sustancias terrestres, se han

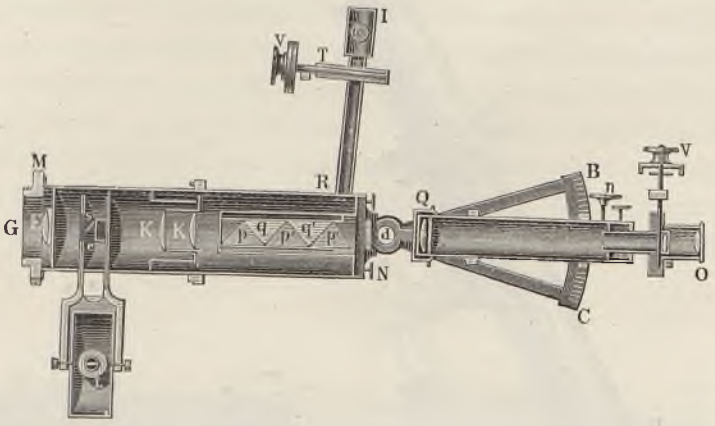


Fig. 340.—Espectroscopio estelar de Secchi

construido en estos últimos tiempos por Secchi y Huggins unos espectroscopios simples y compuestos, muy convenientes para adaptarlos á los grandes anteojos que admiten una gran dispersion de la luz.

En la fig. 342 presentamos una copia del espectroscopio compuesto de Secchi, sin ecuatorial; está destinado en particular al exámen de los cuerpos celestes que ofrecen un diámetro considerable. Por medio del tornillo O O′ se une el instrumento al tubo porta-oculares del refractor; en K, como en las disposiciones anteriores, hay una lente cilíndrica con cuyo auxilio la imágen de una estrella que aparece como un punto se ensancha en una fina línea de luz que cae precisamente en la ranura; F es la ranura, cuya mitad va cubierta por el prisma de comparacion p; B es la lente colimadora que sirve para dar paralelismo á los rayos antes de que hieran la cara anterior del primer prisma C; los dos prismas C y D son de flint pesado, de un ángulo de refraccion de 60° y están unidos á la plancha X Y Z; el espectro de la estrella se proyecta en el eje del espectroscopio de vision directa E F H O, que se compone el prisma ó batería E F formado de cinco, del anteojo analizador H O, y como en los aparatos anteriores, del tubo lateral K con la escala graduada; esta se mueve con el tornillo micrométrico M y cuando

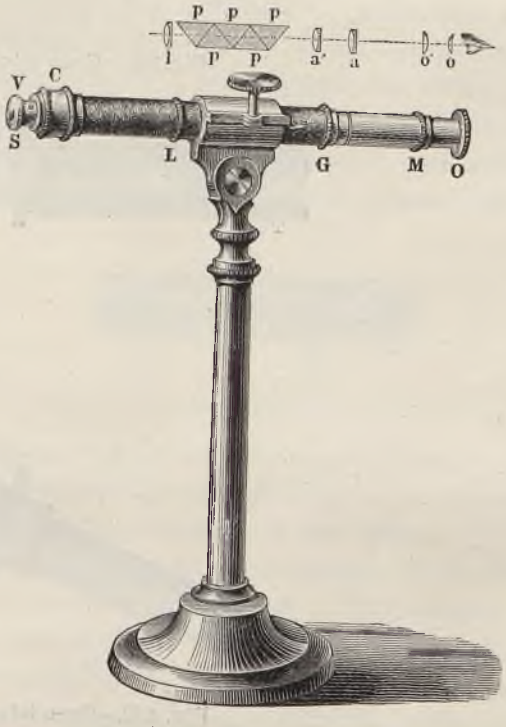


Fig 341.— Espectroscopio de vision directa de cinco prismas

funciona el instrumento se ilumina del modo usual y corriente con la llama de una lámpara ó bujía.

La imágen de la escala se proyecta por

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

reflexion en la superficie primera del último prisma hácia el anteojo O, en el cual se ven al mismo tiempo las divisiones de la escala y el espectro de la estrella; N es

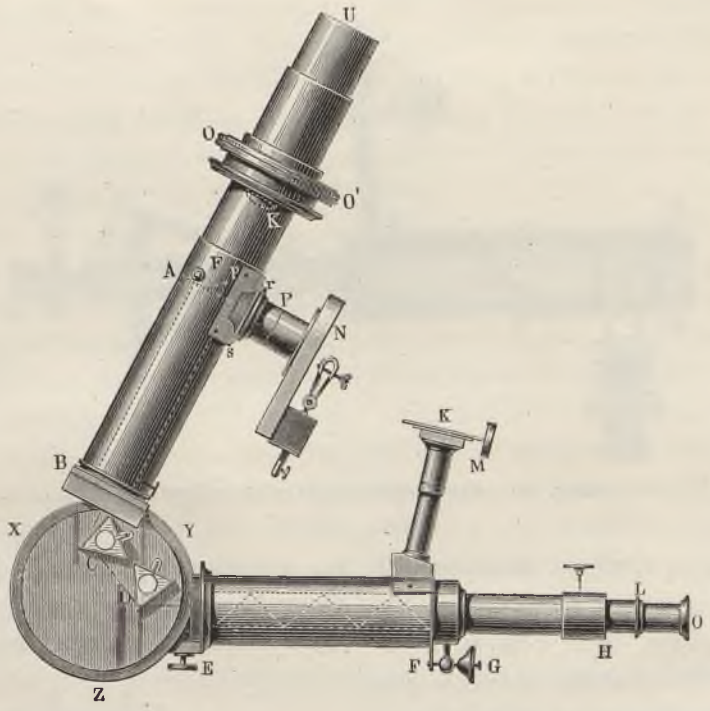


Fig. 342.—Gran tele-espectroscopio de Secchi

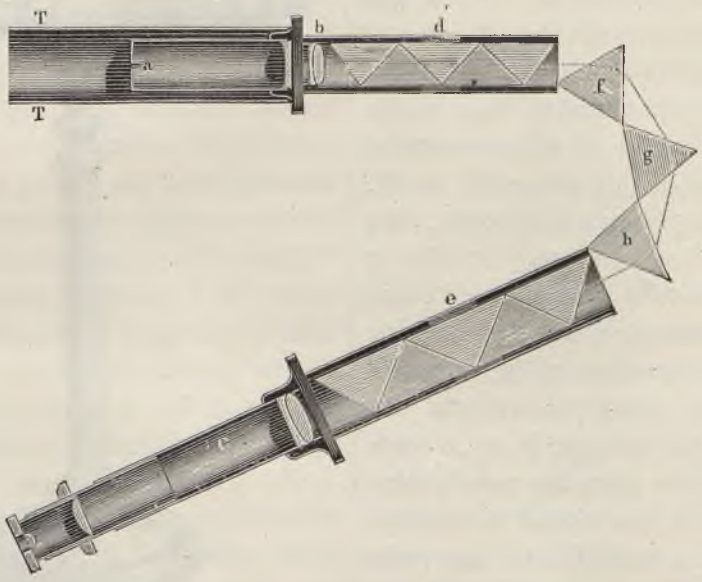


Fig. 343.—Gran tele-espectroscopio de Huggins

un soporte para recibir los tubos de Geissler.

En la fig. 343 se representa el gran tele-espectroscopio compuesto de Huggins; se compone de dos sistemas de prismas de vision directa formado cada uno de ellos de cinco prismas con una batería de tres prismas sencillos excelentes, dos de los cuales tienen un ángulo de refraccion de 60° y el otro de 45°, en junto trece prismas;

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el espectroscopio se atornilla del modo sabido en el tubo porta-oculares T T de la ecuatorial con máquina de reloj; *a* es la ranura, que tambien está provista de un prisma de comparacion y de los demás accesorios anteriormente descritos, para la observacion simultánea del espectro estelar y del perteneciente á las sustancias terrestres, producido por el carrete de induccion; *b* es la lente acromática colimadora, de 13 centímetros de distancia focal, que hace que los rayos entren paralelos en la ranura.

La luz es descompuesta, primeramente, por la serie de prismas *d;* luego se dispersan y separan mas los colores individuales por la batería prismática que sigue, compuesta de tres piezas *f* y *g* de 60° y *h* de 45, despues de lo cual viene á pasar de nuevo la luz á través de un segundo sistema de prismas de vision directa *e*, antes de llegar al objetivo del anteojo analizador *c*.

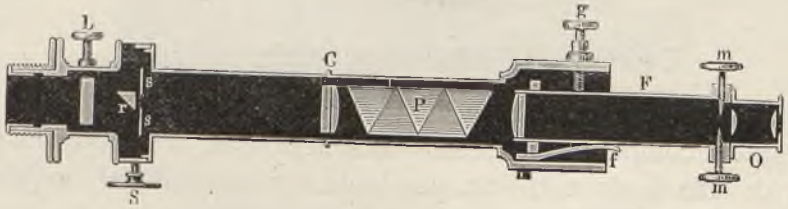


Fig. 344.—Espectroscopio simple y compuesto de Merz

La última serie de prismas *e* se coloca en un tubo adaptado al anteojo *c;* por medio de un tornillo micrométrico puede dirigirse el anteojo á cualquiera region del espectro, lo que constituye un accesorio indispensable en la observacion de las nébulas, toda vez que estos objetos presentan con frecuencia una luz que solo consta de dos ó tres clases de rayos colorados.

El prisma compuesto *e* puede emplearse ó no á voluntad, de manera que la fuerza dispersiva del instrumento varia segun quiera el observador entre los límites de $4^1/_2$ á $6^1/_2$ prismas de 60°. Las ventajas que presenta el poder reducir de esta suerte la fuerza dispersiva del instrumento se aprecia en particular cuando se observan objetos muy débiles ó cuando las condiciones atmosféricas son muy desfavorables.

La excelencia de los prismas y de todo el instrumento se demuestra por la gran pureza y finura del espectro, en el que aun con amplificaciones poderosas se separan y dividen las líneas mas finas de los metales que se volatilizan con la chispa eléctrica.

Para muchos y diversos objetos, sin embargo, y para aplicarlos á refractores pequeños se construyen otros espectroscopios de tamaño mucho mas reducido que el de los instrumentos anteriores; el espectroscopio de vision directa construido por Merz, de Munich, para la observacion



Fig. 345.—Espectroscopio simple de Merz

de las protuberancias solares, descrito en las páginas que anteceden, es un instrumento muy adecuado á este objeto, y por la sencillez de su construccion, de un manejo en extremo cómodo. Para adaptarlo al anteojo se atornilla al tubo porta-oculares, pues lleva el mismo paso de rosca, y se le agrega la lente cilíndrica L (fig. 344) innecesaria en las observaciones de las protuberancias, insertándola de tal modo que proyecte exactamente sobre la ranura *s s* la línea luminosa en que se convierte la imágen de la estrella.

Como no hay manera de alterar la dis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tancia entre L y *s*, el ajuste exacto de la línea de luz sobre la ranura se efectúa atornillando mas ó menos todo el instrumento; lo que aumenta ó disminuye la distancia de la lente L á la imágen de la estrella. Si al observar el espectro de las estrellas se nota que su luz es bastante poderosa, puede duplicarse la fuerza dispersiva introduciendo un segundo sistema de prismas, sin perder las ventajas de un espectroscopio de vision directa.

Tambien construye Merz unos espectroscopios estelares simples, para emplearlos con anteojos de mediano y escaso poder. La fig. 345 representa uno de estos instrumentos, que se componen de un ocular positivo O, de una lente cilíndrica de ajuste L y de un sistema de cinco prismas de vision directa, cuyo poder dispersivo vale unos 8° de D á H; de tal modo está dispuesto que, al separar los prismas de la lente L y del ocular O, se pueden introducir fácilmente entre el colimador C y el sistema de prismas del gran espectroscopio representado en la fig. 344 que está provisto de ranura; ambos instrumentos reunidos forman un espectroscopio ocular perfectamente adecuado á la observacion de los cuerpos celestes.



Fig. 346.—Espectroscopio en miniatura de Browning



Fig. 347.—Seccion longitudinal del espectroscopio en miniatura de Browning

Aun el mismo espectroscopio en miniatura de Browning, representado en la figura 346, que mide, incluyendo el tubo que contiene los prismas, unos 10 centímetros de largo, presenta un hermoso espectro si se dirige á una estrella brillante, y muestra con toda distincion las principales líneas oscuras; la construccion de este precioso instrumento se representa en la fig. 347.

El tubo externo lleva la ranura, que puede quitarse á voluntad y se ajusta fácilmente por medio de un anillo giratorio; en este tubo corre otro que lleva una pequeña lente acromática colimadora C, detrás de la cual se coloca el sistema de siete prismas P y una abertura O para el ocular, que no tiene lente alguna. Para emplearlo en observaciones estelares, se quita el tubo de la ranura y el tubo colimador C se atornilla en vez del ocular ordinario del anteojo. El espectroscopio se ajusta fácilmente haciendo que la imágen de la estrella caiga en el foco de la lente C de donde salen los rayos en direccion paralela y entran en la batería de prismas P, ofreciendo en O al observador un aguzado espectro lineal de la estrella. Introduciendo una lente cilíndrica adecuada entre el agujero O y el ojo, se obtiene un espectro de anchura suficiente para que se distingan las líneas oscuras si el instrumento se ha ajustado con toda precision.

Ultimamente ha conseguido este óptico

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

famoso agregar un prisma de comparacion y un micrómetro á este diminuto instrumento; de modo que en la actualidad es un espectroscopio completo que puede servir para investigaciones celestes y para trabajos de laboratorio.

No podemos dejar de hacer mencion de los espectroscopios simples empleados por Secchi y Huggins en los casos en que la luz es insuficiente, ó muy molesto el manejo de los grandes instrumentos. Huggins se sirvió durante largo tiempo de un espectroscopio de mano para observar el espectro de los meteoros y otros fenómenos de movimiento rápido en el cielo; instrumentos análogos se usaron en varias de las expediciones que se organizaron para observar el eclipse del 18 de agosto de 1868, en cuya ocasion fueron de grandísima utilidad.

Estos instrumentos, construidos por Browning, consisten principalmente, como



Fig. 348.—Espectroscopio de mano de Browning

indica la fig. 348, en un sistema de prismas de vision directa *c* y en un anteojo analizador *a b*. El objetivo acromático *a* tiene una abertura de 27 milímetros y una distancia focal aproximada de 24 centímetros. El ocular *b* se compone de dos lentes plano-convexas.

Como en estas observaciones se necesita un campo visual muy grande, en particular si se destina el instrumento al análisis de las estrellas fugaces, la lente mas próxima al objetivo *a* ó sea la lente del campo, es del mismo diámetro que aquel, y se halla fija en un tubo de corredera, de modo que la distancia entre las dos lentes del ocular puede regularse, y por consiguiente, aumentar ó disminuir la fuerza del instrumento, dentro de ciertos límites. El sistema de prismas se compone de un prisma de flint pesado y de otros dos de crown.

El campo visual de este espectroscopio abraza un espacio en el cielo de unos 7° de diámetro; el espectro de una estrella brillante tiene una longitud aparente de 3° y hasta el espectro de la gran nébula de Orion aparece como dos líneas brillantes sobre un fondo continuo.

Con objeto de probar el instrumento como espectroscopio de meteoros, observó Huggins el espectro de varios fuegos artificiales inflamados á la distancia de una legua. Las líneas brillantes de los metales incandescentes de los cohetes se veian con gran distincion, demostrando con toda certidumbre la presencia del sodio, magnesio, estroncio, cobre y otros metales. El mismo instrumento basta para mostrar algunas de las líneas de Fraunhofer en el espectro de los picos extremos de la Luna, y tambien las rayas oscuras de los espectros estelares.

Para dar cierta anchura al espectro de las estrellas, que en este instrumento aparece no mas que como una línea brillante, se coloca una pequeña lente cilíndrica en el ocular, inmediatamente delante del ojo. Como este aparato no tiene ranura, tan solo puede usarse en el exámen de objetos brillantes de escasa magnitud, ó tan lejanos, que presenten un diámetro muy pequeño.

II

Espectros de la Luna y de los planetas

Toda vez que los planetas y sus satélites carecen de luz propia y solo brillan por la luz que reflejan del Sol, deben sus espectros asemejarse mucho al del astro central; las diferencias que pudieran presentar

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

habria que atribuirlas, exclusivamente, á las modificaciones que experimentasen los rayos solares al atravesar las atmósferas de estos cuerpos, ó al reflejarse en su superficie.

Las observaciones de Fraunhofer en 1823, las de Brewster y Gladstone en 1860, y las mas recientes de Huggins, Miller y Janssen, están conformes y demuestran la completa igualdad que existe entre el espectro lunar y el del Sol. Los espectros de las diversas partes de su superficie examinadas en distintas condiciones de iluminacion, no presentan el menor indicio de que la Luna esté dotada de atmósfera. Como sabemos, los rayos solares que hieran la superficie de la Luna son reflejados hácia la Tierra; luego si la Luna estuviera rodeada de atmósfera, claro es que los rayos solares habrian de pasar primero por ella antes de llegar al suelo, atravesándola de nuevo en su salida al dirigirse á la Tierra, por manera que los rayos lunares que hieren nuestro ojo habrian cruzado la atmósfera lunar dos veces, en todo su espesor.

Si tal atmósfera existiera, el espectro formado por la luz de la Luna, es decir, por la luz del Sol reflejada en nuestro satélite, sufriria ciertas modificaciones que se manifestarian por la aparicion de algunas líneas de absorcion, distintas de las que presenta el espectro de la luz solar directa, de igual manera que varian las lineas telúricas segun que el Sol atraviesa un estrato mas ó menos denso de la atmósfera terrestre. Guiados por estas consideraciones, los astrónomos Huggins y Miller emprendieron una serie numerosa de observaciones sobre el espectro de la luz de la Luna, que con todo detalle se especifican en las *Transacciones Filosóficas* del año 1864; la Memoria de estos sabios terminaba con las palabras siguientes. «El análisis espectral de la luz reflejada por la Luna indica que nuestro satélite carece de atmósfera, ó que de tenerla ha de ser en extremo baja y rarificada.»

En otra ocasion efectuó el Dr. Huggins varias observaciones análogas sobre el espectro de una estrella en el momento de ser ocultada por la Luna. «Cuando se observa el espectro de una estrella poco antes del momento, ó en el momento mismo, de ser ocultada por el borde oscuro de nuestro satélite, pudieran presentarse algunos fenómenos característicos del paso de la luz de la estrella á traves de una atmósfera. Si existe una atmósfera lunar que pueda, ya por las sustancias de que esté formada, ya por los vapores que tenga en disolucion, ejercer una absorcion electiva sobre la luz de la estrella, deberia indicarse esta absorcion por la aparicion en el espectro de nuevas rayas oscuras, inmediatamente antes de su ocultacion por la Luna.

«Si una materia muy finamente dividida, acuosa ó de otro género, existe en torno de la Luna, los rayos rojos de la luz de la estrella tendrian que debilitarse en mas pequeño grado que los rayos de mayor refrangibilidad.

»Si hay alrededor del satélite una atmósfera libre de todo vapor y sin poder absorbente, pero de alguna densidad, en este caso, el espectro no se extinguiria por el borde de la Luna en el mismo instante en toda su longitud. Los rayos violetas y azules persistirian despues de la desaparicion de los rayos rojos.

»Observé con el mayor cuidado la inmersion del espectro de *epsilon* Piscium, en la ocultacion del 4 de enero de 1865, con objeto de estudiar este fenómeno, sin percibir el menor vestigio de atmósfera lunar.»

Los espectros de los planetas Vénus, Júpiter y Saturno se caracterizan tambien por la presencia de las líneas de Fraunhofer peculiares de la luz solar, pero contienen además las rayas telúricas que indican la presencia de una atmósfera acuosa.

El planeta Mercurio se halla casi siempre envuelto en los rayos solares, por manera que es muy difícil, no ya analizar su espectro, pero ni aun siquiera columbrarlo. Con

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el espectroscopio se ha examinado al hallarse muy cerca del horizonte, posicion muy desfavorable, y nada de particular se ha visto en su atmósfera.

La atmósfera de Vénus, segun nos revela el análisis espectral, ofrece una composicion análoga á la de la Tierra; en particular contiene vapor de agua que da lugar á la formacion de nubes, y en efecto, además de las manchas fijas que ya estudiamos, se observan otras de formas bastante variables. Segun Neison la atmósfera de Vénus presenta una refraccion horizontal de 54'65, y su densidad seria 1,89 mayor que la correspondiente á la atmósfera terrestre.

El espectro y color general de Marte fué escrupulosamente observado por el doctor Huggins durante una de las oposiciones del planeta; el espectroscopio que empleó fué el descrito anteriormente, y otro de un solo prisma de flint pesado con un ángulo de refraccion de 60°. En las regiones azul y añil se distinguian varios grupos de líneas; sin embargo, la debilidad de esta zona del espectro cuando se estrechaba la ranura para poder percibir de un modo distinto las rayas de Fraunhofer, no permitia medir con exactitud la posicion de las líneas marciales. Por esta razon no pudo Huggins determinar si estas líneas eran las correspondientes á igual region del espectro solar, ó si eran nuevas líneas que se debian á la absorcion que sufre la luz por reflexion en el planeta.

En la region del rojo existen varias lineas muy fuertes; se ve muy bien la raya *C* de Fraunhofer, cuya posicion se determinó satisfactoriamente por medio de medidas micrométricas efectuadas con el aparato. Desde esta línea se encuentra el espectro cruzado por rayas oscuras que se extienden hácia su parte menos refrangible. Una de ellas, muy acentuada, se determinó satisfactoriamente con el micrómetro y se hallaba situada entre C y B. Como esta raya no se encuentra en el espectro solar, hay que admitir que la produce la absorcion del planeta y, probablemente, la atmósfera que lo rodea. Las otras líneas del rojo pueden ser idénticas, en parte al menos, á B y A del espectro solar.

El 14 de febrero se observaron unas líneas débiles á ambos lados de D de Fraunhofer; las situadas en la parte mas refrangible de D eran mas fuertes que las que se veian en la region opuesta. Ocupaban, al parecer, posiciones que coincidian con los grupos de líneas que se manifiestan cuando la luz del Sol atraviesa los estratos mas bajos de la atmósfera, y se supone, por consiguiente, que se deben á la absorcion de los gases ó vapores de nuestra atmósfera. Las líneas del espectro de Marte indican la existencia probable de una materia análoga en la atmósfera del planeta. Creyó Huggins que estas líneas eran mas distintas en la luz del márgen del disco planetario, pero esta observacion no es de toda confianza. Que estas rayas no se producian por la porcion de la atmósfera terrestre que atravesaba la luz de Marte, se demuestra por la ausencia de líneas semejantes en el espectro de la Luna, que en la época de la observacion ofrecia menor altitud que el planeta.

Tambien observó Huggins el espectro de las regiones mas oscuras del disco de Marte. El espectro de la zona oscura situada debajo de la mancha blanca del polo austral, aparecia como una banda pulverulenta en comparacion con el espectro de las otras partes adyacentes mas brillantes. Este débil espectro parecia tener un tono de profundidad uniforme en toda su longitud, observacion que indica que la sustancia que forma las porciones mas oscuras de la superficie del planeta absorbe de igual manera todos los rayos del espectro; estas porciones, por lo tanto, han de ser de color neutral ó poco menos.

Segun Huggins, no debe considerarse el color rojo de Marte como producido por absorcion electiva, esto es, por un género de absorcion de ciertos rayos únicamente,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que de orígen á la aparicion de líneas oscuras en el espectro. Además, no parece probable que el tinte rojizo característico del planeta, provenga de la atmósfera de Marte, pues la luz reflejada en las regiones polares no presenta color alguno, por mas que esta luz tenga que atravesar un espesor mas considerable de atmósfera que la que procede de las regiones centrales del disco, y precisamente en la parte que corresponde al centro del planeta es mucho mas marcado el color.

Si el tinte se debiera, en efecto, á la atmósfera marcial, habria que suponer que esta no presentaba por todas partes una misma composicion, puesto que en unos puntos del disco planetario se ve de color mas claro, y en otros de tono mas profundo. En el estado actual de nuestros conocimientos sobre este asunto, solo se puede decir que el color distintivo del planeta tiene su orígen en la materia de que se componen algunas porciones de su superficie.

La observacion de Lockyer de que el color es mas intenso cuando la atmósfera del planeta se encuentra libre de nubes, concuerda evidentemente con la idea antes expresada; tambien la apoyan las investigaciones fotométricas de Seidel y Zöllner, que vamos á relatar con la mayor brevedad posible.

Demuestran estas observaciones, que Marte se asemeja á la Luna en las anomalías que ofrece la cantidad de luz que refleja, segun que aumenta y decrece su fase. Y tambien ha hallado Zöllner que el poder medio de reflexion de Marte en las distintas partes de su disco, viene á ser como la mitad, y no mas, del correspondiente al de la superficie lunar. Ahora bien, estos caractéres ópticos concuerdan con las observaciones telescópicas, que demuestran que en Marte se refleja la luz por completo, en la misma superficie del planeta.

Júpiter y Saturno, cuya luz procede evidentemente de una envoltura de nubes superior, son por el contrario, menos brillantes en las márgenes que en las partes centrales del disco; estos planetas presentan un poder reflector medio que varia entre tres y cuatro veces el de la Luna.

La anómala degradacion del brillo de la Luna en las fases que anteceden y siguen al plenilunio, de igual manera que su esplendor extraordinario en los limbos, pueden explicarse en el supuesto de que su superficie presente grandes desigualdades, y tambien por la propiedad reflectora particular que tengan algunas de las rocas de su suelo. Zöllner ha demostrado que si estos fenómenos se atribuyen empíricamente á ciertas desigualdades, en este caso su ángulo de elevacion media debe ser de 52°; en la misma hipótesis los cambios mas rápidos de Marte exigirian un ángulo de 76°.

Parece en extremo probable que las condiciones de la superficie que dan orígen á estos fenómenos son comunes á la Luna y á Marte. Estas consideraciones, á que hemos aludido en uno de los párrafos anteriores, dan lugar á pensar que estas condiciones superficiales representan particularidades que existen en la verdadera costra del planeta. En este punto es muy importante hacer notar que las partes mas oscuras del disco de Marte desaparecen gradualmente, y las porciones coloradas pierden su tono rojo distintivo, á medida que se aproximan al limbo.

Las observaciones de Herschel y del profesor Bond dan un poder reflector medio á la superficie de la Luna, análogo al de una roca gris de piedra arenisca. Esta afirmacion la confirmó Zöllner, segun el cual el poder refractor de la Luna y los planetas es como sigue:

Poder reflector de la Luna	=, 1736	de la luz incidente				
» »	» Marte	=, 2672	»	»	»	»
» »	» Júpiter	=, 6238	»	»	»	»
» »	» Saturno	=, 4981	»	»	»	»
»	» del papel blanco	=, 700	»	»	»	»
»	» de la piedra arenisca blanca	=, 237	»	»	»	»

De esta tabla resulta que Marte se apo-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dera de 7328 partes de la luz incidente que recibe, y que refleja el resto. La atmósfera nebulosa de Júpiter, tan brillante casi como el papel blanco, refleja mas de los seis décimos de la luz que cae en su superficie; por consiguiente, menos de los cuatro décimos de la luz que recibe este distante planeta están destinados á la economía de este mundo gigantesco.

Las investigaciones fotográficas de la Rue y otros, demuestran que los rayos de gran refrangibilidad, particularmente poderosos en accion quimica, sufren un efecto análogo. Hasta la presente nada sabemos del poder reflector de los planetas, en lo respectivo á los rayos de menor número de vibraciones que llamamos calor.

El espectro de Júpiter fué examinado hace poco por Browning, con un espectroscopio adaptado á su reflector de 32 centímetros de diámetro; su brillo es bastante escaso, de modo que la posicion de sus líneas no se puede determinar con gran precision. A pesar del excesivo esplendor que ofrece este magnífico planeta en el cielo, su espectro es mas débil que el de una estrella de segunda magnitud; esto se debe á que su brillo es mas aparente que real, y depende del gran tamaño de su disco en comparacion con las estrellas y de que su luz es reflejada y no directa.

En 1864 descubrió Huggins varias rayas oscuras en la region roja del espectro de Júpiter, que no coincidian con ninguna de las líneas de Fraunhofer del espectro solar, y entre ellas una que no correspondia á las rayas telúricas. Algun tiempo despues examinó el espectro de este planeta Le Sueur con el gran telescopio de Melbourne (Australia), y distinguió las líneas de absorcion descritas por Huggins.

Browning, tambien llegó á verlas en 1870, agregando que distinguia en la region verde del espectro, cerca del amarillo, varias líneas oscuras muy finas que coincidian con las que producen los vapores de la atmósfera terrestre, visibles en la parte correspondiente del espectro solar, cuando el astro del dia se encuentra cerca del horizonte. Si se pudiera admitir con algunos astrónomos que Júpiter fuera luminoso por sí mismo, habia motivo para atribuir estas líneas á ciertos elementos del planeta que no existiesen en el Sol, ó si acaso se hallan en este, no nos han sido revelados por efecto alguno de absorcion.

El espectro de Saturno, que es en estremo débil, fué examinado por Huggins, quien observó en él algunas de las líneas características del espectro de Júpiter; estas líneas se ven con menor distincion y claridad en la luz de las asas del anillo, de lo cual hemos de deducir que el poder absorbente de la atmósfera que circula en torno de estos apéndices anulares, es mas débil que el de la envoltura gaseosa del globo central.

Las observaciones de Janssen confirmadas por Secchi, han demostrado que en las atmósferas de Júpiter y Saturno existe el vapor de agua.

Secchi llegó á descubrir, posteriormente, algunas líneas en el espectro de Saturno que no coincidian con ninguna de las rayas telúricas, ni tampoco con las del espectro solar producidas por el vapor acuoso de la atmósfera de la Tierra. No es improbable, por consiguiente, que la atmósfera de Saturno contenga gases ó vapores semejantes á los que se extienden en la Tierra.

El espectro de Urano, que fué estudiado por Secchi, parece ser de un carácter en extremo notable; consta principalmente de dos bandas negras anchas, una en el azul verdoso, pero que no coincide con la raya F, y la otra en el verde cerca de la línea E; un poco mas allá de esta banda desaparece por completo el espectro, y en su lugar se ve un espacio vacío que se extiende por las regiones del amarillo y el rojo, en donde se columbra de nuevo una débil reaparicion de la luz. El espectro, por lo tanto, es igual al que se produciria si se extinguieran todos los rayos amarillos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la luz del Sol. La línea oscura del sodio D, se presenta, como sabemos, en la parte del espectro que ocupa este espacio no luminoso. O hay que atribuir, por consiguiente, este fenómeno extraordinario al influjo de dicho metal, ó bien el planeta Urano, cuyo espectro tan gran diferencia ofrece con el del Sol, es luminoso por sí mismo. ¿Acaso no habrá llegado el planeta á adquirir todavía el grado de consistencia que poseen los demás cuerpos del cortejo solar mas próximos á nosotros, que solo brillan por la luz del Sol reflejada? ¿Serán exactas las observaciones fotométricas de Zöllner, segun las cuales es muy posible suponer que este cuerpo se halla todavía en su proceso de condensacion y subsiguiente desarrollo, por los que ya pasó la Tierra?

A estas preguntas poco ó nada podemos contestar en la actualidad, y solo se resolverá el problema cuando haya observaciones que merezcan mayor confianza. De realizarlo así trató Huggins, quien presentó á la Real Sociedad una Memoria sobre el aspecto que presenta el espectro de Urano; es este continuo, sin que le falte ninguna porcion, en cuanto puede juzgarse por la debilidad de la luz, desde la línea C hasta G. Debido á la escasa luminosidad del planeta no pudo Huggins emplear una ranura bastante estrecha, como para que se presentasen las rayas de Fraunhofer; la notable absorcion que ofrece Urano se manifiesta por seis líneas muy acentuadas; la situacion de la menos refrangible solo puede apreciarse porque corresponde á la parte mas débil del espectro.

Las medidas de la banda mas refrangible indican que corresponde probablemente á la raya solar F; las comparaciones directas demuestran que coincide con la línea brillante del hidrógeno; tres de las líneas, segun acusaba el micrómetro, correspondian á las brillantes del aire. La banda cuya longitud de onda era próximamente de 572 millonésimas de milímetro, parecia ser menos refrangible que la doble línea del nitrógeno que se ve en su inmediacion. Las dos bandas planetarias menos refrangibles parecen coincidir con líneas brillantes, pero segun sospecha Huggins, las rayas del aire eran algo mas refrangibles. En el espectro de Urano no se advierte ninguna línea fuerte que corresponda con las mas acusadas del aire, esto es, la raya doble del nitrógeno del número 500 de la escala.

Con el mismo espectroscopio se tomaron medidas de las principales bandas brillantes del gas ácido carbónico, adquiriéndose por tal medio el convencimiento de que las bandas de Urano no se deben á la absorcion de esta sustancia.

Tampoco se ha encontrado que haya correspondencia con las líneas del sodio, ni con las de absorcion de la atmósfera terrestre.

Vogel halló ocho rayas oscuras, coincidiendo la del verde azulado con H *beta* del hidrógeno. Estas investigaciones son por todo extremo interesantes y aun no se ha dicho la última palabra sobre el asunto.

El espectro de Neptuno, que tambien fué examinado por Secchi, ofrece una gran semejanza con el de Urano; se caracteriza por tres bandas principales; la primera, que es la mas débil, está situada entre el verde y el amarillo, casi en el centro de D y *b*; su anchura es considerable, pero está muy mal definida en los bordes. Entre ella y el rojo hay una banda bastante brillante en la cual parece que termina bruscamente el espectro desapareciendo el resto de la zona roja.

Opina Secchi, que la ausencia del rojo no se debe á la escasa luminosidad del planeta, puesto que algunas estrellas menos brillantes que Neptuno muestran con toda claridad en el espectro el color rojo; la falta de este tono en el espectro de Neptuno debe, por lo tanto, atribuirse á la absorcion.

La segunda banda de absorcion se pre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

senta en la línea *b*; se halla bastante bien definida en sus cantos, pero es mucho mas difícil de observar que la anterior. La tercera banda se encuentra en el azul y es aun mas débil que la segunda.

Este espectro concuerda con el color general del planeta que es verde mar; interesa su estudio doblemente, por la coincidencia que ofrecen las bandas oscuras con las bandas brillantes de ciertos cometas, y con las bandas oscuras de las estrellas del cuarto tipo. Es posible que se deban al carbono, pero como son en extremo difíciles de medir y para observarlas hay que aguardar una noche adecuada, las cuales son muy raras, nada decisivo puede decirse sobre el particular.

Mientras que Júpiter y sus satélites presentan una imágen clara y detallada con una amplificacion de 350 diámetros, el disco de Neptuno, con igual poder, deja de verse con distincion y aparece con el canto nebuloso; esto no sucede siempre y en todos los casos, pues Lassell, en ocasiones favorables, ha podido observar con su gran telescopio de 7 metros, los discos de Urano y Neptuno tan bien definidos como el de Júpiter. Sin embargo, hay motivos para creer que Neptuno se halla rodeado por una masa nebulosa muy densa, de extension considerable, cuya naturaleza química nos es desconocida, ó bien que como Júpiter, Saturno y Urano, no ha llegado á alcanzar todavía el grado de densidad que precede necesariamente á la formacion de la superficie sólida.

Considera el P. Secchi que seria muy conveniente someter de nuevo este espectro á un exámen, empleando instrumentos mas poderosos y fijando así con mayor exactitud la posicion de estas bandas y viendo si presentan alguna relacion, bien con la luz de la corona solar, ya con la de la aurora boreal, sea con el espectro del carbono.

El gran brillo de este planeta, á pesar de la enorme distancia que lo separa del Sol, pudiera dar motivo para creer que fuese por sí mismo luminoso; el P. Secchi no pudo ver nunca bien terminado su disco, lo cual vendria en apoyo de la hipótesis que lo supone en estado nebuloso.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO VIII

I

Espectros de las estrellas fijas

Aunque las estrellas fijas por su inmensa distancia y escaso esplendor son menos notables, en la apariencia, que la Luna y los planetas, nos ofrecen, empero, siendo *focos de luz propia*, indicaciones mas completas acerca de su naturaleza íntima.

Las estrellas han sido en todo tiempo motivo de meditaciones para los astrónomos y los sabios, y de concepciones fantásticas para el vulgo, que no podia dejar de admirar sus bellezas y misterios. Analizadas con los anteojos y telescopios mas poderosos solo se percibian como un punto, mas brillante, eso sí, que á la simple vista, pero en cuanto á su constitucion permanecíamos en la misma ignorancia que antes.

Se supuso que las estrellas eran *verdaderos soles*, rodeados de planetas y estos de satélites, pero en la época en que se formuló esta opinion solo tenia por fundamento una analogía posible, y no era mas que una simple hipótesis, puesto que la observacion no nos habia revelado nada absolutamente, acerca de la composicion de estos puntos luminosos. Estas revelaciones, por tanto tiempo aguardadas, las debemos al análisis espectral que nos permite leer en la luz emitida por estos cuerpos celestes, su verdadera naturaleza y la composicion de sus elementos.

Esta luz nos pone en comunicacion telegráfica con los astros situados en el cielo á distancias infinitas; el espectroscopio es el telégrafo, las líneas espectrales son individualmente las letras del alfabeto, y su reunion como espectro forma el telégrama. No es tan fácil, sin embargo, comprender este lenguaje estelar, pero gracias á los trabajos de Secchi, Huggins, Miller y otros muchos, las principales estrellas y nébulas y los cometas de mayor brillo se han estudiado espectroscópicamente, obteniéndose pruebas evidentes acerca de su constitucion física.

Como los espectros estelares presentan una gran analogía con el espectro del Sol, puesto que son continuos y se hallan cruzados por líneas negras, hay motivo para aplicar tambien á las estrellas fijas la teoría de Kirchhoff, y para aceptar la misma explicacion de estos fenómenos semejantes, que ya hemos admitido al tratar del Sol.

En el supuesto de que la foto-esfera incandescente y vaporosa de una estrella, contiene ó se halla rodeada de vapores caldeados que absorben los mismos rayos de luz que emitiria si fuera luminosa de por sí, podemos descubrir por las líneas oscuras de los espectros estelares, las sustancias que constituyen la foto-esfera ó atmósfera de cada estrella.

Con objeto de averiguar este punto con toda certidumbre, hay necesidad de comparar las rayas oscuras de las estrellas con

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las líneas brillantes de las sustancias terrestres volatilizadas en la chispa eléctrica, y la completa coincidencia de las líneas brillantes características de un cuerpo terrestre, con igual número de rayas oscuras en el espectro estelar, justificará la conclu-

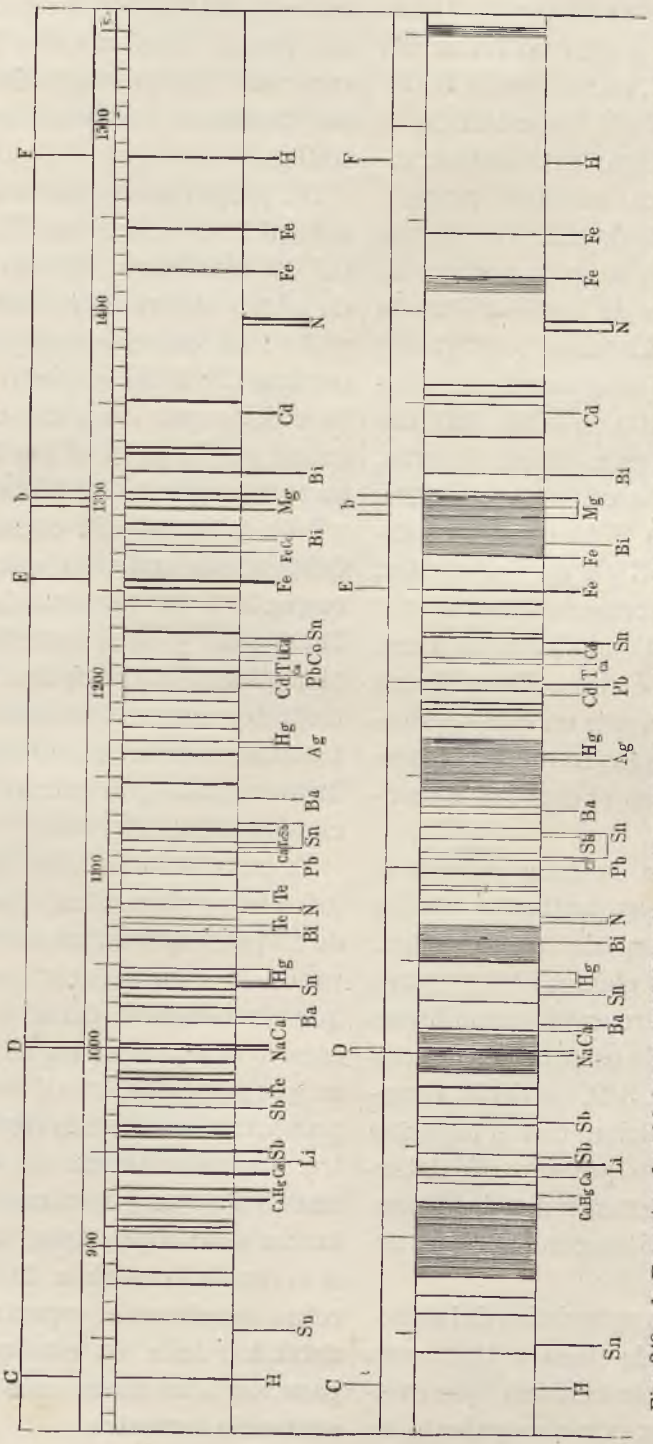


Fig. 349.—1: Espectro de Aldebaran (*alfa* Tauri).—2: Espectro de Betelgeuze (*alfa* Orionis), comparados con el espectro solar y los espectros de los elementos terrestres.

sion de que esta sustancia existe en la atmósfera de la estrella, conclusion tanto mas evidente cuanto mayor sea el número de líneas que coincidan en ambos espectros.

Con objeto de presentar el resultado de sus observaciones ante un auditorio numeroso, prepararon Huggins y Miller una serie de dibujos muy exactos, de los espectros

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

estelares mas notables, que luego reprodujeron, valiéndose de la fotografía, en unas placas de cristal de cinco centímetros de largo. Por medio de estas fotografías transparentes, iluminadas segun las tintas del espectro, es muy fácil, valiéndose de la linterna de Duboscq, y de la luz eléctrica, ó de Drummond, amplificar extraordinariamente estos espectros estelares, proyectándolos en la pantalla de manera que las líneas oscuras se vean de gran distincion.

El brillante espectro de dos estrellas de primera magnitud, Aldebaran (*alfa* Tauri) y Betelgeuze (*alfa* Orionis) sacado de estas fotografías se representa en la fig. 349. Las posiciones de todas estas líneas oscuras, ochenta próximamente en cada espectro, que cruzan la porcion del espectro continuo entre las líneas C y F de Fraunhofer, se determinaron escrupulosamente por Huggins y Miller repitiendo infinitas veces las medidas micrométricas. Estas líneas medidas, no obstante, son en corto número en comparacion de las innumerables rayas finas que se ven en el espectro de ambas estrellas.

Debajo del espectro de cada estrella se representan las líneas brillantes de los metales que sirvieron de comparacion. Estos espectros de los elementos terrestres aparecen en el espectroscopio como líneas luminosas sobre fondo oscuro, en la posicion que indica la fig. 349, es decir, exactamente en yuxtaposicion con el espectro de la estrella, de modo que se puede determinar con la mayor exactitud si las líneas brillantes coinciden ó no con las rayas negras de la estrella.

La doble línea D característica del sodio, por ejemplo, coincide línea á línea con otra raya oscura, doble tambien, que existe en ambas estrellas; por consiguiente, en las atmósferas de estos lejanos cuerpos hay vapores de sodio, y este metal forma uno de los elementos constitutivos de los núcleos de estos astros.

Las tres líneas brillantes Mg en el verde, están formadas exclusivamente por el vapor luminoso de magnesio; concuerdan en posicion con toda exactitud y línea por línea, con las tres rayas oscuras estelares *b*. Así que, de igual manera hemos de convenir en que el magnesio forma otro de los elementos componentes de las dos estrellas.

Del propio modo, las dos líneas brillantes intensas marcadas H, características del gas hidrógeno, situada en el rojo una de ellas y la otra en el límite entre el azul y el verde, coinciden precisamente con las oscuras C y F del espectro de Aldebaran, pero no, segun Huggins, con el de Betelgeuze; por lo tanto, el gas hidrógeno existe en la foto-esfera ó atmósfera de Aldebaran y falta en la estrella correspondiente *alfa* Orionis; sin embargo, estas conclusiones respecto á la carencia de hidrógeno en Betelgeuze y otras estrellas no se hallan plenamente confirmadas. De un modo semejante, otros elementos, entre ellos el bismuto, antimonio, teluro y mercurio, se ha averiguado que entran en la composicion de estas estrellas.

Es necesario señalar aquí respecto de todos estos elementos, que la certidumbre de su presencia en las estrellas no se apoya en la coincidencia de *una sola* línea, que únicamente daria un testimonio de escaso valor, sino en la coincidencia de un grupo de dos, tres ó mas rayas que se presenten en diversas regiones del espectro. La coincidencia de otras muchas líneas brillantes y oscuras de la misma sustancia se comprobaria, sin duda alguna, si la luz de la estrella fuera mas intensa, como sucede en el espectro solar, pero la debilidad de la luz estelar limita la comparacion á las líneas mas fuertes de cada sustancia terrestre.

Pudiera preguntarse, ¿qué elementos representan las otras innumerables líneas y bandas oscuras en las estrellas? Algunas de ellas se deben probablemente á vapores de elementos terrestres, que hasta ahora

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

no se han podido comparar con el espectro de las estrellas.

El hecho de que ciertas estrellas están dotadas de una atmósfera de vapor acuoso, se observó por Janssen y Secchi; la mayor parte de ellas pertenecen á la clase de las estrellas rojas y amarillas, y en sus espectros, como era de esperar, faltan las líneas del hidrógeno luminoso. Ya en 1864 notó Janssen la existencia de una atmósfera de vapor acuoso en la estrella Antares; y despues de una investigacion mas completa del espectro del vapor de agua efectuada en 1866 y de la que hemos dado cuenta en las páginas anteriores, y de un estudio de los espectros estelares llevado á cabo despues de verificado el eclipse total de Sol de 1868, en el aire extremadamente seco de las alturas de Sikkim (Himalaya), no pudo dudar por mas tiempo de que hay muchas estrellas rodeadas por una atmósfera semejante. A pesar de la sequedad del aire en los picos del Himalaya, se marcaban con mayor energía en el espectro de estas estrellas las líneas del vapor de agua, que en las observaciones efectuadas anteriormente, fenómeno que no puede atribuirse á la absorcion de la atmósfera terrestre y que ha de deberse, por lo tanto, á la de la estrella.

Los resultados de las comparaciones de los dos espectros estelares representados en la fig. 349, con los espectros de los elementos terrestres son como sigue:

ELEMENTOS TERRESTRES COMPARADOS CON ALDEBARAN

Coincidentes		No coincidentes		
1	Hidrógeno con las líneas C y F	Nitrógeno	3	líneas comparadas.
2	Sodio con la doble línea D	Cobalto	2	» »
3	Magnesio con la triple línea *b*	Estaño	5	» »
4	Cálcio con cuatro líneas	Plomo	2	» »
5	Hierro con cuatro líneas y con E	Cadmio	3	» »
6	Bismuto con cuatro líneas	Bario	2	» »
7	Teluro con cuatro líneas	Litio	1	» »
8	Antimonio con tres líneas			
9	Mercurio con cuatro líneas			

ELEMENTOS TERRESTRES COMPARADOS CON BETELGEUZE

Coincidentes		No coincidentes		
1	Sodio con la doble línea D	Hidrógeno	2	líneas comparadas.
2	Magnesio con la triple línea *b*	Nitrógeno	3	» »
3	Cálcio con cuatro líneas	Estaño	5	» »
4	Hierro con cuatro líneas y con E	Oro?		
5	Bismuto con cuatro líneas	Cadmio	3	» »
6	Talio?	Plata	2	» »
		Mercurio	2	» »
		Bario	2	» »
		Litio	1	» »

II

Tipos estelares de Secchi

Mientras que Huggins y Miller se ocupaban con el mayor empeño del estudio espectral de una centena de las estrellas mas brillantes, el P. Secchi, favorecido por el purísimo cielo de Italia, extendió estas observaciones á mas de quinientas estrellas fijas. Sin embargo, los trabajos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de los astrónomos ingleses y del Director del Observatorio del Colegio Romano no son del todo comparables; las observaciones de Huggins y Miller consistían principalmente en comparaciones directas hechas con el espectroscopio, de las líneas que se veian en el espectro de la estrella, con las líneas brillantes de las sustancias terrestres, investigacion que exigia muchos meses de trabajo sobre una misma estrella, mucho mas pesado que el de las medidas micrométricas de las principales líneas estelares á que se contrajo el estudio de Secchi.

Desde esa época se han agregado unas cien estrellas mas al catálogo del sabio astrónomo romano, de modo que en la actualidad contamos con un gran número de espectros de estrellas perfectamente conocidos, y que para mayor facilidad de su estudio se han dividido en cuatro tipos principales.

El primero corresponde á las estrellas blancas ó azuladas como Sirio *alfa* de la Lira, varias de la Osa mayor, Cástor, Markab, *alfa* del Serpentario etc., etc. El espectro de todas estas estrellas es casi continuo, salvo que se halla surcado por cuatro líneas negras fuertes que pertenecen al hidrógeno, pero invertidas, segun el conocido principio espectral de la absorcion. Estas cuatro rayas pueden verse fácilmente en las estrellas mas brillantes, pero en las mas débiles solo es perceptible la H *beta*, ó sea la F del Sol, pero generalmente es mucho mas ancha y dilatada en los bordes, sobre todo en Sirio; esta difusion de los cantos es indicio de una temperatura elevadísima y de una gran densidad de la atmósfera hidrogénica de las estrellas de este órden; se observan tambien trazas de otras líneas como de magnesio, sodio y varias de hierro, pero son debilísimas y exigen para poderlas observar una atmósfera muy tranquila.

Como las cuatro líneas principales corresponden al hidrógeno, claro es que han de estar situadas en el rojo, en el azul verdoso y en el violeta; la coincidencia de las rayas con las del gas hidrógeno terrestre se demostró por medio de los tubos de Geisler.

No siempre se columbran las rayas secundarias detalladas y precisas; en Sirio y en Vega son á las veces muy distintas, pero por lo comun apenas se perciben aunque el aire esté tranquilo, de donde se deduce que la atmósfera de estos cuerpos debe de ser algun tanto variable.

En las estrellas mas pequeñas la línea C del rojo es de observacion muy difícil á causa de la debilidad de la luz, y por el contrario, la línea correspondiente al azul es con frecuencia muy ancha; un ligero tinte azul se nota en el color general de estas estrellas, segun acabamos de manifestar; por consecuencia, sus espectros contienen poco rojo y amarillo, predominando el azul y el violeta.

Un espectro completo del primer tipo es el que se representa en la fig. 350, copiada de un dibujo de Huggins y que corresponde al espectro de Sirio; casi la mitad de las estrellas del cielo se encuentran incluidas en este tipo y sus espectros pueden examinarse aun con un anteojo de escaso poder.

Algunas de las rayas menos acentuadas pueden deberse á la absorcion telúrica de la atmósfera, porque en Sirio se han observado á menudo, cuando la estrella estaba baja y rara vez al encontrarse en el meridiano.

En *alfa* de la Lira se han llegado á observar hasta en el meridiano; que la difusion de las líneas principales del hidrógeno en las estrellas brillantes eran reales y no ilusorias se probó por Secchi, pues mientras que con el prisma objetivo en *beta* de los Gemelos se veian claramente las rayas finas, en Sirio y en Vega eran por el contrario difusas y anchas, hasta tal extremo, que no podian atribuirse á defectos del instrumento.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Muchas estrellas menores blancas parecen tener un espectro continuo y sin rayas, pero estudiadas con esmero se hallan de este tipo con líneas, empero, muy finas.

Esta clase es numerosísima y abraza, segun decimos, mas de la mitad de las estrellas visibles; para fijar su estado presente y asegurarnos de tal modo en lo futuro de los cambios de importancia que puedan sufrir, trazó el P. Secchi una lista de las principales estrellas, dispuesta segun la clase de sus tipos que, si bien incompleta, basta para fijar sus estados físicos en nuestra época.

Bueno será advertir que en varias estrellas análogas y de este tipo como en Procion, *alfa* del Aguila, *alfa* de la Vírgen, etc., se columbran bastantes líneas finas visibles con facilidad, en los mismos lugares en donde apenas se distinguen vestigios en las otras; de tal modo que estas parece que se hallan en un estado de transicion



Fig. 350.— Espectro de Sirio; primer tipo

de este tipo al siguiente, pero se sabe que estas estrellas son ligeramente variables y por eso mismo, hasta el tipo deja de presentar siempre la misma pureza.

2.° El segundo tipo es el de las estrellas amarillas, que presentan rayas finísimas; las líneas del hidrógeno tambien son visibles pero muy sutiles y no tan marcadas como en las del tipo anterior, siendo su espectro perfectamente igual al del Sol. La Cabra, Pólux, *alfa* de la Ballena, *alfa* de la Osa mayor y otras muchas pertenecen á este tipo. La finura de las rayas exige que el aire esté muy tranquilo para verlas con distincion. El sodio, el hidrógeno, el hierro y el magnesio son en extremo perceptibles.

Es un hecho de la mayor importancia el de que al variar de color algunas de estas estrellas, cambia la intensidad de las rayas de sus espectros. Así en Arcturo y Aldebaran, en sus períodos de luz rojiza, aumenta el ancho y crece la negrura de las líneas de un modo notable, llegando algunas á hacerse difusas como la D, presentando indicios de zonas de columnas y asemejándose al tercer tipo. Las estrellas del segundo tipo son tambien muy numerosas; comparando sus espectros en diversas épocas se han hallado tales diferencias que no es posible atribuirlas á errores de observacion y parece que pasan de este tipo al tercero como v. gr., *alfa* de la Hidra.

Como decimos, son estas estrellas muy difíciles de observar; las líneas negras del espectro de Capella y Pólux son en extremo finas y las de Arcturo y Aldebaran mucho mas anchas y mas fáciles de reconocer. Esta última estrella puede considerarse que ocupa una posicion intermedia entre el segundo y tercer tipo, mientras que Procion forma el lazo que une las estrellas del primero al segundo tipo.

Las líneas negras del espectro de las estrellas del tipo segundo coinciden tan exactamente con las mas acentuadas rayas de Fraunhofer, que estos astros pueden utilizarse, segun propuso Secchi, como patrones de comparacion en el estudio de los otros espectros, y en las correcciones del instrumento. Este estrecho parecido con el espectro solar, nos obliga á deducir que tales estrellas están compuestas de elementos semejantes á los que constituyen el Sol

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y que poseen una composicion física análoga á la del luminar del dia. Muchas de ellas presentan un espectro continuo que depende, á no dudar, de la finura de las líneas, no siempre visibles, por esta causa precisamente. Sin embargo, con un buen instrumento y en condiciones atmosféricas favorables, se perciben sin gran esfuerzo.

Al primer tipo pertenece la mitad de todas las estrellas observadas hasta aquí; de la mitad restante, quizás dos tercios, pueden considerarse como amarillas y corresponden al tipo segundo.

3.° El tercer tipo se encuentra en las estrellas anaranjadas y rojas; está formado por líneas negras y brillantes interpoladas con zonas y bandas oscuras y difusas; si están completas su número llega á nueve, dispuestas como otras tantas columnas acanaladas vistas á la carrera y con la luz de iluminacion hácia el lado del rojo. Son notables particularmente *alfa* del Escorpion, *omicron* de la Ballena, *beta* de Pegaso, *alfa* de Hércules y el prototipo de la clase que es *alfa* Orionis. De estas, y de otras menos hermosas, damos aquí un catálogo que puede ser de alguna utilidad á los aficionados á contemplar estas maravillas celestes.

CATALOGO DE ALGUNAS DE LAS ESTRELLAS MAS HERMOSAS DEL TERCER TIPO

Estrellas	Ascension recta 1870			Declinacion.		Magnitud.
	h	m	s			
omicron de la Ballena	2	12	47	+ 3°	34'	Variable
alfa de la Ballena..	2	55	29	+ 3	34	Idem
sigma de Perseo .	2	56	51	+38	15	Idem.
Schjell 44. . . .	4	45	11	+14	2	5
46	4	46	36	+ 2	17	5,5
59	5	24	36	+18	30	5,5
alfa de Orion. . .	5	48	0	+ 7	23	1 Variab
67	5	50	17	+45	55	5,6
120	9	2	50	+31	29	6
alfa de Hidra.. . .	9	21	12	— 8	6	—
Nueva	9	17	+	—21	42	1
137	10	53	6	—15	39	6
delta de la Virgen .	12	48	4	+ 4	6	—
160	13	22	37	—22	36	Variable.
162	13	43	14	+16	27	4
Arcturo.	14	9	44	+19	52	1
178	15	30	27	+15	32	7,5
Antares	16	21	27	—26	8	1
alfa de Hércules .	17	8	43	+14	33	Variable.
Nueva	18	14	40	+25	2	6
234	19	58	58	—27	36	7,5
254	21	39	48	— 2	49	6,5
beta de Pegaso. . . .	22	57	28	+27	23	2
266	23	0	27	— 8	42	2
267	23	11	44	+48	18	5,5

En las estrellas rojas son mas bien bandas que líneas de absorcion las que se distinguen, y se asemejan á las bandas que produce nuestra atmósfera en el espectro solar. La línea D del sodio no se encuentra claramente definida como en los números 1 y 2 de la fig. 349, esto es, que no forma una línea doble, ni simple, sino una faja ó expansion sombreada por los bordes; parece esto indicar que dichas estrellas se encuentran rodeadas de una atmósfera de grandísima potencia absorbente, cuya naturaleza solo se podrá averiguar rigorosamente, cuando se tenga un conocimiento mas perfecto del influjo que ejercen la temperatura y la densidad de los gases, sobre su propio espectro.

Unicamente unas treinta estrellas brillantes pertenecen á este tipo, y si se agregasen las de segunda magnitud llegaríamos á obtener un ciento, poco mas ó menos.

Segun la observacion de Secchi, es uno de los caractéres particulares de estas estrellas, que las líneas mas oscuras del espectro que separan las columnas, se presentan en el mismo sitio en todas ellas las líneas que mas se acusan son las del magnesio del sodio (D) y del hierro, que de igual manera que en el espectro solar, se ven á menudo mal definidas. Las líneas del hidrógeno aparecen tambien, pero no predominan como en los tipos anteriores; el gas hidrógeno, por lo tanto, existe en estos astros y si no se ven sus líneas características negras (C y F) como pasa v. gr. en *alfa* Orionis, segun las observaciones de Huggins (fig. 349 núm. 2), se explica la anomalía porque las líneas se *invierten* algunas veces y aparecen iluminadas, fenómeno que tambien se suele observar en el espectro de las manchas solares.

Como regla general, se asemeja muchisimo el espectro de estas estrellas al de las manchas solares, por lo que Secchi opina que las estrellas del tercer tipo difieren de las del segundo tan solo por el mayor espe-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sor de la envoltura gaseosa ó atmósfera que las rodea, y tambien por la falta de continuidad de sus foto-esferas; parece, pues, que estas estrellas han de tener manchas como nuestro Sol, pero, en proporcion, de dimensiones mucho mayores.

El cuarto tipo, que se compone de estrellas que no pasan de la sexta magnitud, se caracteriza principalmente por un espectro de tres bandas brillantes separadas por espacios oscuros; la banda mas brillante cae en el verde y por lo general aparece ancha y muy marcada; la segunda mucho mas débil, y con frecuencia poco visible, está situada en el azul, y la tercera, en el amarillo se extiende hasta el rojo en donde se separa en varias secciones.

Todas estas bandas luminosas presentan la particularidad de que son mas brillantes en el lado inmediato al violeta, en donde la luz termina bruscamente, mientras que hácia el rojo disminuye de un modo gradual hasta que desaparece.

Los espectros de esta clase se hallan, por lo tanto, en oposicion directa con los del tercer tipo en los que las bandas de columnas no son solo dobles en número en el mismo espacio, sí que tambien el máximo de luz se inclina hácia el rojo, al paso que la region mas oscura se encuentra hácia el violeta. Los espectros de los tipos tercero y cuarto no pueden considerarse, por lo tanto, como simples modificaciones de un único espectro original, sino mas bien como producido por sustancias completamente distintas unas de otras.

La extremada debilidad de estas estrellas impide que puedan examinarse con ranura, de modo que las sustancias que producen las bandas nos son muy imperfectamente conocidas; sus espectros, sin embargo, se asemejan al del carbono.

En este tipo se encuentran algunas estrellas muy curiosas, la mayor parte de color rojo de sangre y de magnitud escasa; ninguna pasa de la quinta magnitud y á pesar de esto presentan una luz bastante viva; en algunas la zona media se divide en varias líneas distintas y en otras son por completo uniformes. Con el prisma objetivo se resuelven estas líneas en zonas mas vivas que el resto y no en verdaderas rayas metálicas. Hé aquí una lista de las estrellas mas hermosas de este tipo.

CATÁLOGO DE ALGUNAS ESTRELLAS PRINCIPALES DEL CUARTO TIPO

Núm. del catálogo de Schjellerup.	Ascension recta 1870			Declinacion		Mag.	Notas
	h	m	s				
41	4	37	47	+67°	56	6	Hermosa.
43	4	43	23	+28	18	8	
51	4	58	41	+ 0	59	6	
78	6	27	36	+38	33	6½	Hermosa.
89	7	1	59	−11	43	7½	
124	7	45	4	−22	25	6½	
128	10	6	12	−34	41	7	
132	10	31	9	−12	43	6	Hermosa.
136	10	45	18	−20	34	6½	
152	12	39	1	+46	9	6	Magnífica.
159	13	19	52	−12	2	5½	
163	13	47	39	+40	59	7	
229	19	26	10	+76	18	6½	
238	20	9	30	−21	43	6	
249	21	26	3	+51	1	9	
252	21	38	59	+37	16	8,5	
273	23	39	45	+ 2	46	6	Hermosa.

Puede formarse una idea de los espectros de estas dos últimas categorías, que por brevedad se llaman de *columnata*, observando el espectro del ázoe en los tubos de Geissler excitados con mediana potencia eléctrica, en los que se distingue los espectros de persianas brillantes difusas, agrupadas en columnas separadas por zonas oscuras. Algunas de estas columnatas, sin embargo, son de un todo irresolubles en líneas finas y estos espectros se encuentran muy difícilmente en la química.

Además de estos cuatro tipos principales, hay otros grupos de estrellas que merecen una mencion particular; á ellos pertenecen, por ejemplo, las estrellas que componen la constelacion de Orion, y que por la finura de sus líneas espectrales debieran clasificarse en el segundo tipo; todas las estrellas de esta parte del cielo se distinguen por dos caractéres principales; todas presentan un color verde muy marcado, y las líneas de sus espectros son tan finas que se distinguen con gran dificul-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tad. La region de la Ballena y del Eridano, por el contrario, es notable por el gran número de estrellas amarillas que contiene; no se concibe que semejante distribucion pueda ser efecto de la casualidad y parece mas razonable suponer que dependa de la naturaleza y condiciones de la sustancia de que están llenas diversas partes del universo.

Forman una notable excepcion del cuarto tipo varias estrellas que presentan un espectro *directo* de hidrógeno y pueden clasificarse, segun Secchi, en un tipo quinto; la mas curiosa de todas es *gamma* de Casiopea, en cuyo espectro, segun las medidas de Huggins, aparecen las líneas H *alfa* (roja) y H *beta* (azul verdosa) en lugar de las rayas negras C y F, y además otra línea brillante en el amarillo que aparentemente coincide con D_3; la presencia de esta raya no se ha comprobado de un modo absoluto.

Espectros análogos se han observado en las estrellas variables *beta* de la Lira y *eta* del Navío, en cuyos espectros vió Le Sueur con el gran telescopio de Melbourne las líneas C, *b* F, una línea amarilla cerca de D (D_3?) y la mas intensa de las del nitrógeno, todas brillantes; los mismos fenómenos se observaron tambien en dos estrellas efímeras, de lo cual hablaremos mas adelante.

De todas estas observaciones parece resultar que, cuando menos, las estrellas de mayor brillo tienen una constitucion física semejante á la de nuestro Sol; su luz irradia, como la del luminar del dia, de una materia en estado de incandescencia suma y pasa á través de una atmósfera de vapores absorbentes; á pesar de esta conformidad de estructura hay empero, grandes diferencias en la constitucion de las estrellas entre sí; la agrupacion de los diversos elementos es peculiar y característica de cada estrella y debemos suponer que aun estas particularidades individuales están en perfecto y necesario acuerdo con el objeto especial de la existencia de la estrella y de su adaptacion á la vida animal de los mundos planetarios de que se encuentra rodeada.

El estudio espectral de los cuerpos celestes, á pesar del corto número de años que cuenta de existencia, ha dado resultados de inmensa importancia, y con satisfaccion debemos ver cuánto progresa y se extiende este maravilloso método de investigacion. La Sociedad Real ha puesto á disposicion de Huggins un hermoso anteojo de 36 centímetros de abertura, montado ecuatorialmente, para que se ocupe de un modo exclusivo de este género de estudios. Los astrónomos Vogel y Arrest emplean con el mismo objeto refractores de 25 y 30 centímetros; si se utilizaran, asimismo, los grandes instrumentos de reflexion como el de Lord Rosse y el nuevo del Observatorio de Paris, para no hablar de la gigantesca ecuatorial de Washington etc., no hay duda de que se descubririan nuevas é inesperadas maravillas, sobre todo si se instalaran estos instrumentos en lugar oportuno como, por ejemplo, en la cúspide del Etna en la Sicilia, y mejor aun en el vértice del Pico de Mulhacen en la cordillera de Sierra Nevada en España. En estos parajes presenta la atmósfera una transparencia excepcional, infinitamente superior á la de las ciudades, en cuyas cercanías se obstinan los astrónomos en seguir observando, á pesar de sus condiciones desfavorables.

III

Relaciones espectrales entre el Sol y las estrellas

Los hechos que acabamos de exponer nos indican que hay una analogía grande entre el Sol y ciertas estrellas, y tenemos necesidad, por consiguiente, de reunir algunas breves ideas sobre la constitucion del astro central para comprender con menos trabajo la composicion de los demás soles lejanos.

Siendo el Sol, pues, una estrella mas pró-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

xima que las demás y menos inaccesible á nuestras miradas, nos permite formular algunas hipótesis sobre la constitucion de los astros lejanos.

Hoy dia se sabe, segun demostramos antes, que el Sol es una masa incandescente cuya superficie externa está dotada de grandísima movilidad, y que presenta todos los accidentes propios de una masa flúida gaseosa ó semejante á nuestras nubes. De su parte interior nada sabemos, pero la estructura externa obliga á suponer que dicho estado se extiende á gran profundidad.

La estructura del estado superficial luminoso, ó foto-esfera, se asemeja á la de una masa flúida en la cual se hallaran suspendidos infinitos granos ó puntos mas brillantes, por lo cual presenta un aspecto reticular; las líneas negras que se encuentran en el espectro solar conocidas con el nombre de rayas de Fraunhofer, se producen por absorcion, esto es, que los rayos que faltan en el espectro son absorbidos por los vapores constituyentes de una de las envolturas solares, invisible por lo comun, pero que sin embargo se manifiesta en circunstancias determinadas. Sin esta envoltura presentaria el Sol un espectro continuo como los gases incandescentes bajo fuertes presiones, ó todo lo mas, se hallaria surcado por líneas mas brillantes; durante los eclipses solares se distingue este estrato absorbente, por lo general de poca altura, y solo se eleva en ocasiones determinadas cuando se verifican las crísis que llamamos erupciones.

De igual manera se encuentra probado que cada raya negra está formada por la absorcion de aquella misma sustancia precisamente, que si se viera directamente en estado de incandescencia, daria una raya luminosa en el mismo lugar y de idéntica refrangibilidad que la raya negra. Así, por ejemplo, la llama de alcohol en la cual arde un poco de sal comun, da una línea luminosa doble en el amarillo, producida por el vapor de sodio; si se coloca entre una llama ó foco luminoso de mayor potencia como la luz del arco eléctrico, y el espectroscopio, aparecerá en su lugar una raya negra, porque el vapor sódico absorbe con preferencia los rayos emitidos por la llama que tienen su misma refrangibilidad y por lo tanto, igual longitud de onda; el hierro, el magnesio, el talio hacen lo mismo, pero no se ha demostrado que así suceda con todas las sustancias.

Si se introduce en el espectroscopio la luz de la llama sódica, al lado de la luz del Sol, mediante el prisma de comparacion colocado delante de la ranura, se verá que las rayas luminosas del sodio y las D del Sol coinciden perfectamente; pero si el rayo solar atraviesa la misma llama de sodio incandescente, las rayas D del luminar del dia se hacen en el momento difusas y mal terminadas. Si en vez de la llama de alcohol y salmuera se usa el metal mismo incandescente, serán mas notables y marcados los fenómenos, y en el lugar de las rayas del sodio se formarán no solo fortísimas líneas negras de absorcion, sí que tambien anchas zonas oscuras y difusas en los bordes, en las regiones precisamente en que el sodio directo da líneas luminosas dilatadas. De este hecho se deduce que las rayas D del Sol se producen por el vapor de sodio, y generalizando, que una línea negra dada del espectro solar indica en la atmósfera del astro la presencia del vapor de esta misma sustancia, que vista aparte daria la misma raya luminosa.

En este principio se halla fundado el análisis espectral del Sol y con su auxilio se han determinado las numerosas sustancias que se encuentran en su atmósfera, ó mejor dicho, en su base, en un estrato compuesto de vapores de diversos metales, comparativamente delgado, pues solo mide dos ó tres segundos de altura, el cual se ve durante los eclipses totales cuando el cuerpo oscuro de la Luna oculta el disco brillante del Sol. En este caso, aparece el estrato formado por tantas líneas luminosas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

como negras se ven en las condiciones ordinarias de su espectro.

Sobre esta capa de vapores metálicos se encuentra otra envoltura de hidrógeno de 8 á 10 segundos de elevacion, mezclada con una sustancia que produce una línea amarilla brillante, inmediata á la del sodio, llamada helio por convencion y cuya naturaleza se desconoce; este estrato se llama, como sabemos, la cromo-esfera.

Tal es, en pocas palabras, la constitucion del Sol que resulta de los mas delicados estudios hechos hasta la presente; veamos ahora cómo podemos, sirviéndonos de estos conocimientos adquiridos, comprender los fenómenos que presentan las estrellas.

La consecuencia que naturalmente resulta de los hechos expuestos es, en primer lugar, que la naturaleza de la materia constitutiva del Sol y de muchas estrellas, es en un todo idéntica. Siendo de naturaleza solar los espectros de segundo órden, se puede asegurar, pues, sin temor de equivocarse, que estas estrellas tienen, no solo la misma composicion química que el Sol, sí que tambien igual grado aproximativo de densidad atmosférica y de temperatura.

Pero como es muy natural, no hay que suponer que tantos y tan diversos cuerpos tengan rigorosamente la misma proporcion en la calidad y densidad de las sustancias; por ejemplo, una gran parte de las estrellas están dotadas de una atmósfera hidrogénica mas densa, al paso que en otras es mas escasa y predominan otros vapores absorbentes metálicos ó no. La mayor densidad hidrogénica se deduce del hecho de que las líneas pertenecientes á este gas aparecen dilatadas y difusas.

Plücker y Cailletet demostraron que á una presion considerable, se dilatan por el borde las líneas del hidrógeno, y que si la presion es extraordinariamente poderosa se hace el espectro continuo. De tales extremos distamos mucho en cuanto á todas las estrellas visibles (salvo quizás *gamma* de Casiopea), de lo que se deduce que la presion no es en las estrellas muy superior á unas cuantas atmósferas, segun las medimos aquí en la Tierra. Pero no todo depende de la presion, porque se ha demostrado que hasta la elevacion de la temperatura ensancha las líneas, de modo que la causa pudiera ser esta muy bien, ó mejor las dos juntas, pues aun con la temperatura crece la tension molecular del gas, y por tanto la presion. Así, pues, las estrellas del primer tipo estarian dotadas de una atmósfera hidrogénica mas densa y mas cálida. Sus rayas metálicas serian mas difíciles de percibir, tal vez por la resistencia que ofrece al paso de los rayos la gran extension de dicha atmósfera hidrogénica, lo que es verdad, pues apenas se perciben.

Al observar, no obstante, que muchas de estas estrellas presentan rayas mas distintas, y que ocupan un lugar intermedio entre el primero y segundo tipo, nos vemos obligados á deducir que la constitucion de ambos tipos es idéntica en cuanto á la naturaleza de las materias, y que difieren solo en el grado de mayor ó menor densidad atmosférica y elevacion de temperatura.

Aunque la dificultad de distinguir en ciertos casos el segundo tipo del tercero y el ver cómo las primeras al cambiar de color tienden á hacerse del tercero, indica una escala gradual de transformaciones que se derivan, no de sustancias absolutamente diversas, sino del predominio de unas sobre otras. El hecho de que algunas como Aldebaran y Arcturo se aproximan al tipo tercero y muestran trazas de zonas cuando se ven de color rosado, adquiriendo así un espectro análogo al de las manchas solares, demuestra que aun en esas estrellas se presentan erupciones periódicas semejantes á las de nuestro Sol, y siendo en este caso su tipo análogo al que se halla en medio de los núcleos de las manchas, prueba que esas estrellas están dotadas de densas atmósferas de vapores metálicos con erupciones y emisiones va-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

riables con el tiempo. En ellas domina el sodio, el hierro, el calcio, y otras materias absorbentes, y quizás tengan tambien una temperatura mas baja como sucede con las manchas solares. Así, pues, las variaciones de estas estrellas se reproducirian por una sencilla modificacion en la fuerza absorbente que seria mayor unas veces y otras menor.

Hemos dado cuenta ya de que la estrella *omicron* de la Ballena se compone durante su mínimo de simples rayas destacadas, debidas quizás á las poderosas contracciones y dilataciones de sus zonas de absorcion; es probable que las estrellas del cuarto tipo, y otras, aparezcan pequeñas tan solo por la absorcion que experimenta su luz.

No obstante, los espectros de las estrellas de los tipos tercero y cuarto parecen indicar una constitucion algo distinta y en particular un exceso de ciertos elementos que faltan, ó son escasísimos, en los dos tipos precedentes. Como ya dijimos, no pueden estos espectros considerarse como simples realmente, pues están compuestos de dos, uno formado de rayas de absorcion metálica; el otro de zonas continuas y difusas, y entrambos presentan una depresion como la que se observa en el espectro de ciertas sustancias químicas; estas estrellas exhiben zonas difusas que en realidad no se descomponen en líneas; los espectros de esta clase se encuentran rara vez en los elementos terrestres y queda aun por hallar á qué sustancias pueden pertenecer.

El P. Secchi llegó á obtener uno bastante parecido á los de algunas estrellas rojas como la 152 de Schjellerup y otras varias de tres zonas, por medio de la chispa eléctrica descargada en vapores de bencina mezclados con aire atmosférico; el aparato empleado consistia en un globo con cuatro tubos colocados en las extremidades de dos diámetros perpendiculares; en dos de ellos se introducen unos reóforos de platino; otro de los tubos se coloca inmediato al espejito del espectroscopio, y el restante se deja libre para que circule el aire y para evitar las explosiones que pudieran ocurrir; un poco de bencina que se evapora en el globo produce la atmósfera que se ilumina con el paso de la descarga. El espectro que se obtiene presenta unas zonas complementarias que corresponden perfectamente con las del espectro estelar; con medios muy poderosos parecen lineales las zonas estelares, pero estas líneas son simples variaciones de intensidad semejantes á las estrías del nitrógeno en el espectro de primer órden, y no líneas aguzadas, segun comprobó Secchi examinando con el prisma objetivo las zonas de la estrella 152 de Schjellerup.

Este espectro, en su base, corresponde indudablemente al carbono; la posicion de las rayas medidas con el micrómetro se lo habia indicado ya á Secchi y la superposicion de la bencina se lo confirmó, pero como no veia las estrías conocidas del espectro carbonoso que se obtiene en la base de la llama y en los tubos de Geissler, quiso asegurarse del hecho mediante la cinta luminosa que aparece entre los carbones de una potente pila. Para efectuar esta observacion de un modo decisivo proyectó el arco luminoso que separa los carbones (con la linterna eléctrica que sirve para la proyeccion de los carbones) sobre un carton agujereado en el centro, detrás del cual se colocaba la ranura de un espectroscopio muy poderoso; haciendo caer entonces la parte central del arco eléctrico sobre la ranura, de modo que apareciesen bastante léjos las imágenes de ambos carbones, se veia en el campo un espectro hermosísimo que se debia al carbono y á su óxido. El espectro se hallaba formado por zonas continuas difusas y rayas luminosas brillantes de intensidad gradual; las zonas son indescomponibles en líneas distintas en el espectro de este arco.

Mas este espectro toma una apariencia diversa en los varios casos prácticos segun

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las combinaciones del carbono; en los tubos ordinarios de Geissler, y en la llama de una bujía en la base del pábilo, donde se ve una zona azul luminosa, aparecen acanaladas, esto es, surcadas por zonas menores. Lo mismo ocurre con las diversas combinaciones del oxígeno y del hidrógeno con el carbono, como v. gr. el acetileno, y tambien por la simple impureza de los tubos empleados, de manera que los espectros del carbono que dan varios autores son muy diferentes. Probablemente, las distintas rayas luminosas que vemos en estos espectros son las mismas líneas vivas metálicas que se observan en el espectro del arco eléctrico, pero que se hacen difusas por la falta de temperatura suficiente para dar las líneas del carbono puras y separadas por completo de las de su óxido. Parece, por tanto, que las tres zonas principales de las estrellas del 4.° tipo han de ser las *a b c* del espectro del carbono. Las últimas serian invisibles á causa de su debilidad.

En cuanto á la naturaleza de estos espectros diremos que el de columnas irresolubles parece debido á los óxidos y el de líneas finas á la sustancia elemental; además, estas mismas líneas son distintas segun la temperatura del cuerpo y el modo de emitir la luz, y segun el componente que se asocia al carbono de los gases en cuya composicion entra. Si, pues, en el arco eléctrico se dirige el espectroscopio, no sobre la parte central gaseosa, sino sobre los carbones que siempre son impuros y están por lo tanto mezclados con vapores de polvos metálicos, se tienen tambien, en este caso, los espectros superpuestos de zonas y de rayas de diversos metales además de los del carbono.

Los recientes estudios químicos de Lockyer han demostrado que era verdad la sospecha indicada de que los espectros de zonas acanaladas se deben á los óxidos, y las líneas á los cuerpos elementales. Los óxidos pueden subsistir cuando la temperatura no es muy elevada, de donde es dado admitir que las estrellas que presentan estas zonas han de tener una temperatura menos alta que las que dan únicamente rayas metálicas lineales. Diremos aquí, incidentalmente, que en la fusion del platino en los crisoles de cal se obtienen las líneas del óxido de calcio difusas, pero en el Sol se tienen lineales las del metal, de lo que se deduce que el Sol y ciertas estrellas tienen temperaturas superiores al platino fundente.

El espectro del tipo cuarto parece, pues, del carbono en cualquiera de sus múltiples formas; no hay que ocultar que no siempre se ha hallado la coincidencia exacta de las rayas estelares con las del gas, como seria menester para establecer semejante identidad con los espectros terrestres, pero no hay que dar á este punto mas importancia de la que realmente tiene.

Primeramente las líneas están bastante próximas y dentro de los límites que aprecian las medidas; segundo, esta sustancia tiene un espectro muy variable segun los elementos con que se halla asociada. Por otra parte, las distancias de estas zonas siguen la misma proporcion en las estrellas que en el gas, al menos para ciertos componentes, de modo que se hace difícil negar la intensidad de su orígen por una pequeña diferencia cualquiera en los límites, lo cual puede explicarse de otra suerte. No debe sorprender, pues, que este elemento se encuentre con bastante profusion en las estrellas, despues de haberse visto que se halla en abundancia en ciertos aerolitos y despues que los cometas nos han demostrado el espectro directo de esta sustancia combinada con el oxígeno y el hidrógeno. Se ha averiguado que los meteoros carbonosos no contienen realmente sino una dósis muy corta de carbono, y que en el resto no difieren mucho de los demás, y lo propio pudiera suceder con estas estrellas. Una pequeña adicion de carbono á los elementos químicos comunes pudiera

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

producir una variedad inmensa en la naturaleza proteiforme de estos elementos.

Da el carbono un espectro tan diverso para cualquiera cantidad que se le mezcle por pequeña que esta sea, que es difícil de establecer en qué condiciones se halle y de esto nacen, probablemente, todas las divergencias que se han encontrado. Así, por ejemplo, el óxido de carbono y el hidrógeno carburado tienen las mismas zonas, pero en uno la parte media es la mas viva y en el otro, por el contrario, es la mas débil.

Es muy importante la confrontacion de los dos tipos tercero y cuarto, los que, á primera vista, parecen análogos pero no lo son en realidad. Tomaremos como base del tercer tipo la estrella *alfa* de Hércules y para el 4.° la estrella 152 del catálogo de Schjellerup, por ser la mas hermosa de esta especie (A R = 12 h 39 ms D = + 46° 9′) que por esto mismo fué llamada *la Soberbia*. Hé aquí cómo describe el P. Secchi el aspecto de este astro en el momento en que lo encontró: «Magnífico objeto del cuarto tipo; es verdaderamente singular por su viveza; su color es rojo de sangre. El espectro se compone de tres zonas bastante luminosas y anchas; una amarilla, otra verde y la tercera azul; el color rojo que es de por sí mas oscuro y débil, tambien se encuentra, pero brilla poco. Todas las zonas son bastante luminosas, bien limitadas hácia el violeta y difusas en la parte que cae hácia el rojo. El contorno de las zonas está reforzado por rayas vivas en el extremo, y en el amarillo parecen dos hilos de oro; de igual modo que en el azul y en el verde por mas que no sean tan vivas. Es digno de observarse que mientras que las curvas de la luz y las estrías de este tipo cuarto se inclinan al violeta, en el tipo tercero se dirigen al rojo; las líneas divisorias del resto no coinciden todas en ambos tipos, pero sí algunas, y tambien dos á dos. Alguna semejanza hay entre este espectro y el de los cometas.»

Esta estrella lleva el núm. 4287 del catalogo de la Asociacion Británica; de las numerosas comparaciones efectuadas se obtuvieron tambien los resultados siguientes, confrontándola primero con Arcturo y luego con *alfa* de Hércules.

1.° La D del sodio no corresponde con la primera línea oscura de la estrella 152 Sch., pero sí con una zona mas débil, si bien la *b* de Arcturo concuerda con la negra de 152 Sch. situada en el verde. Ahora bien, *b* en Arcturo, corresponde al magnesio y aunque dista muy poco del carbono, no prueba la coincidencia que tambien la raya de la 152 sea del magnesio y muy bien pudiera ser del carbono.

Esta conclusion se obtuvo primero con el espectroscopio simple y fué confirmada luego con el mismo carbon usando el espectroscopio de ranura. En Arcturo corresponde la D á la zona débil de la estrella 152 que es del carbono, pero esta no es una verdadera línea, sino una sencilla expansion oscura; el 15 de mayo de 1869 se confrontaron entre sí las rayas del carbono, del sodio y del magnesio. Por la noche se midieron las mismas distancias de las líneas metálicas respecto de las líneas de la estrella, y se halló una coincidencia perfecta en todas las líneas principales del carbono que se pudieron medir; y solo se notó una dislocacion debida, probablemente, al cambio de espectroscopio.

2.° El espectro de la estrella es inverso del correspondiente á la bencina; su inversion es perfecta en las dos zonas primeras, y menos satisfactoria en la tercera; faltan en la estrella, además, las líneas brillantes del hidrógeno C, que se hallan en la bencina y otra *c* en el amarillo, del aire tal vez ó directa del carbono puro. Tambien tiene una ráfaga de rojo brillante que no se pudo medir. Se efectuaron comparaciones directas entre la estrella y la bencina y se vió con toda certidumbre la coincidencia de las zonas, llevando en cuenta, sin embargo, su inversion, pero eran bastante difí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ciles, porque el espectro de la estrella conserva la iluminacion y el de la bencina se transforma en un espectro lineal á cada alteracion eventual de temperatura y á cada oscilacion del aire; en las extremidades de las partes claras hay sobre la estrella líneas mas vivas, pero examinadas con el prisma objetivo se vió que no eran verdaderas líneas metálicas sino solo zonas difusas mas brillantes.

En la estrella del tercer tipo, y principalmente en *alfa* de Hércules, la raya negra del verde no coincide precisamente con el magnesio, sino que se encuentra un poco hácia el rojo, pero no mucho mas de lo que dista el carbono del magnesio, conservándose D en su puesto; ya sabemos que aun en la 152 se encuentra en este sitio una difusion débil y oscura, de modo que la sustancia parece ser, en este caso, tambien carbono; en *alfa* Hércules la zona ancha única estaba dividida profundamente en el punto en que ya se percibe una pequeña depresion aun en el carbono, en el punto inmediato á D. Hasta la luz viva que se ve en el espectro de la bencina cerca de *c* coincide con una línea negra de *alfa* de Hércules y produce divisiones de columnas.

Infinitas medidas han probado que los intervalos entre ciertas zonas negras de ambas estrellas se combinan perfectamente con las del carbono, probablemente con su óxido. Solamente habria la diferencia importante de que en el tipo tercero son las zonas directas, y en el cuarto se hallan invertidas. El que conozca la variedad infinita de los espectros carbonosos hasta aquí hallados por los químicos, no se sorprenderá de estas diferencias.

No queremos continuar cansando al lector con estos detalles, de modo que para concluir este punto diremos que, *los espectros estelares del* 1.° *y* 2.° *tipos tienen líneas de absorcion debidas á los vapores metálicos, como el Sol; los del tercer tipo y principalmente del cuarto, además de las rayas metálicas presentan tambien las de otros gases y muy probablemente las del carbono en estado de óxido ó en otra combinacion, y por lo tanto deben de tener una temperatura inferior á la de los otros dos tipos.*

El espectroscopio tambien nos ha revelado en el cielo otro hecho importante; que por lo comun las estrellas de un mismo tipo son mucho mas numerosas en un mismo lugar del cielo; así, por ejemplo, en las Pléyades, el Toro, la Osa mayor, etc., domina el espectro del primer tipo; en el Eridano, la Hidra etc., domina el amarillo. En Orion son del primer tipo generalmente, pero con líneas finísimas, y tantas, que podrian colocarse tambien en el segundo, aunque con rojo proporcionalmente escaso, pues parece que se ven como á través de un velo verde. ¿Será esto efecto de la masa nebulosa á cuyo través se perciben? Por otra parte, es caso frecuente encontrar dos ó tres estrellas rojas cerca de una principal del mismo color.

De aquí se podria colegir que las estrellas están distribuidas en grupos naturales formando grandes sistemas, conclusion confirmada por otros hechos.

El espectroscopio nos da tambien la explicacion de otros fenómenos estelares, pasajeros algunos de ellos como *el centelleo* de las estrellas; otros permanentes, como su variabilidad. Nos ocuparemos ahora del primero.

IV

Centelleo de las estrellas.

Entre los fenómenos mas hermosos que ofrece la contemplacion del cielo se encuentra el centelleo de las estrellas; se llama así, y tambien escintilacion, á la luz que lanzan ora viva, ya débil, blanca unas veces, roja ó verde otras, á guisa de reflejos de un diamante que arrebata al observador mas indiferente, constituyendo este hermosísimo fenómeno, cuya explicacion no está exenta de algunas dificultades. Hemos preferido tratar el asunto en este sitio

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

porque su análisis hubiera sido incompleta antes de conocer el método espectrométrico.

En primer lugar, es cosa indudable que el fenómeno no se debe á la estrella en sí misma, sino que se produce en el paso de sus rayos á través de nuestra atmósfera, segun sus condiciones y variabilidad; en la cima de los montes mas elevados, si hemos de dar crédito al testimonio de observadores eminentes, y en particular sobre el Etna, al decir de Tacchini, la luz de las estrellas es tranquila como la de los planetas; del propio modo es tranquila en las horas de calma que precede por lo general á la aparicion de las nubes que cubren el cielo cuando cae el viento; tambien es tranquila en las regiones de calma en el ecuador.

La vibracion es ordinariamente mas viva cerca del horizonte y disminuye con la altura del astro, esto es, con la diminucion del espesor de la capa atmosférica agitada que atraviesan los rayos; pero en los dias de viento impetuoso, en particular del norte, se aumenta de un modo notable hasta una altura grande, y á veces hasta el zenit. De aquí, por consiguiente, se deduce que el movimiento de las ondas atmosféricas es una de las condiciones necesarias para la produccion del fenómeno.

Pero á la simple vista no es posible estudiar escrupulosamente todas sus fases, y los instrumentos nos revelan mejor su mecanismo. Mirando las estrellas en las noches agitadas y de mucho centelleo, á través de un instrumento poderoso, se ven sus imágenes difusas, mal terminadas, circundadas de rayos y casi compuestas de muchas imágenes superpuestas dotadas de movimientos rapidísimos; no presentan en verdad aquel pequeño disco rodeado de tranquilos anillos, producidos por la difraccion dependiente de la abertura del objetivo, y que al propio tiempo son medida de la tranquilidad del aire. Con instrumentos medianos capaces de presentar mayor campo que los grandes, se observa que dando una ligera sacudida al tubo del anteojo, como un golpe seco con las yemas de los dedos, la imágen única se transforma en una curva luminosa cuyo perímetro está formado por arcos sucesivos distintos, de los colores del iris.

El hecho de esta curva colorada que indicó primero Nicholson, en el fondo no se diferencia gran cosa de lo que sucede cuando se hace girar rápidamente un carbon encendido en el aire, y se produce un arco continuo por la persistencia de la imágen en la retina; en el carbon es constante el color porque no varia su tinte, pero en la estrella están los arcos colorados de distintos matices porque cambia sucesivamente de tono, durante el brevísimo tiempo en que el telescopio oscilante transporta la imágen de un punto á otro en el campo visual. Este experimento ès por su naturaleza misma poco exacto, pero se ha reducido á reglas por el físico Montigny con introducir en el anteojo, á cierta distancia del ocular, una lente cóncava y excéntrica al eje del instrumento, dotada de un movimiento rápido de rotacion mediante un mecanismo adecuado; de este modo pudo obtener unas imágenes giratorias con cierta regularidad y medir varias particularidades del fenómeno, estableciendo, entre otras cosas, que las estrellas amarillas y rojas del segundo y tercer tipo centellean con menos rapidez que las blancas del tipo primero, y que el cambio de colores viene á ser hasta de 50 y 70 veces por segundo de tiempo.

A la simple vista parece que las estrellas cambian continuamente de lugar, pero esto no es cierto. Las estrellas sufren realmente oscilaciones á causa de los movimientos de la atmósfera, segun se observa con la polar cuando se encuentra en el meridiano, y á estas oscilaciones se deben, en gran parte, las inexactitudes de las observaciones de posicion absoluta, pero la simple oscilacion es poca cosa y

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

como no pasa de unos cuantos segundos de arco, vendria á ser imperceptible á la simple vista; en los mismos anteojos se ve que es un fenómeno bien distinto del centelleo y del cambio de color que lo acompaña, porque con frecuencia oscila la estrella sin mudar de color y sin presentar imágenes variables. A menudo oscilan los planetas en el borde, pero no centellean, excepcion hecha de Vénus en casos particulares, y especialmente cuando presenta fases muy estrechas.

Esta diferencia entre ambos fenómenos se hace evidente con el empleo del espectroscopio.

Observando una estrella centellante próxima al horizonte cuyo espectro presente rayas negras muy acusadas, como por ejemplo, Sirio, permanecian las líneas inmóviles, mientras que grandes ondas luminosas recorrian el espectro. Esta inmovilidad de las rayas espectrales en medio del movimiento de las ondulaciones fué observada por varios astrónomos invitados al efecto por Secchi, en el Observatorio del Colegio Romano; las ondulaciones van recorriendo todo el espectro, debilitando y reforzando sucesivamente todos los colores y caminan unas veces en sentido vertical y oblicuo otras. La estabilidad de las rayas negras es, por tanto, un indicio seguro de que la estrella en realidad no se movia, y de que todo el fenómeno consistia en un refuerzo sucesivo y una debilitacion que sufrian los colores espectrales, cuyas variaciones son la causa primera del centelleo.

Para semejantes movimientos ondulatorios estableció el P. Secchi algunas leyes que fueron confirmadas posteriormente por Respighi.

1.° Espectro vertical, estrella al oriente; las ondas espectrales caminan hácia el rojo, sea la que quiera la posicion del espectro producido por el prisma, y bien esté el extremo rojo en la parte superior ó en la inferior.

2.° Espectro vertical, estrella al occidente, caminan hácia el violeta, ya se halle este color abajo ó arriba.

3.° Espectro horizontal; las ondas caminan oblicuamente progresando hácia el rojo ó hácia el violeta, segun que la estrella se encuentra en el cielo oriental ó en el occidental.

De modo que la marcha de las ondas es independiente de la posicion del prisma y solo se halla sometida á la situacion de las estrellas segun que estas se encuentran á levante ó á poniente.

No es difícil averiguar dónde se encuentra el origen de estas ondulaciones; sabemos que la atmósfera cerca del horizonte hace el oficio de un prisma y que produce un espectro que se puede medir perfectamente, el cual, en el anteojo presenta el violeta abajo y el rojo en la parte superior, y como el anteojo invierte las imágenes la posicion verdadera del rojo es en la parte baja y la del violeta en la alta; el rayo mas refrangible es el mas elevado, como ocurriria mirando la estrella con un prisma cuyo vértice se dispusiera hácia arriba.

La longitud de este espectro la halló Bessel igual á algunos segundos; Struve, á 88° 33′ de distancia zenital obtuvo 22″ en su diámetro vertical, mientras que en el horizontal era de 8″, quedando asi 14″ para la verdadera dispersion. El P. Secchi lo midió varias veces en 1865 y entre el rojo medio y el azul medio encontró 2″,8 á 80 grados de distancia zenital. Teóricamente, segun los cálculos de Montigny, del rojo al violeta debiera haber un espacio de 4″,5 á 80° de altura. Las dimensiones, empero, de este espectro cerca del horizonte no son notables porque se alarga y se acorta visiblemente, y á veces alcanza un tamaño doble que en otras circunstancias; en estas dilataciones parece que el violeta se destaca sobre los demás colores, fenómeno observado tambien por Donati.

En este espectro natural se observan las mismas ondulaciones que en la combina-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cion espectroscópica, si bien son mucho menos sensibles; en el espectroscopio tenemos además la superposicion de dos espectros, esto es, uno debido á la dispersion del prisma y el otro á la dispersion de nuestra atmósfera. Es fácil descubrir materialmente que en una posicion del prisma, el espectro de la estrella es mas largo porque las dispersiones se suman, y en la opuesta es mas corto porque en parte se compensan las dispersiones, puesto que la dispersion atmosférica es muy pequeña en comparacion con la del prisma. Si se ponen ambos espectros en ángulo recto, nace otro defecto de la direccion de la diagonal, de igual manera que cuando se ponen dos prismas en una posicion semejante; diagonal, pero en nuestro caso no rigorosamente á 45°, porque las dispersiones son desiguales.

De estos hechos resulta que las ondas luminosas que se ven discurrir por el espectro de las estrellas cercanas al horizonte, nacen evidentemente de las variaciones que sufre el espectro de la estrella producido por nuestra atmósfera. En efecto, las palpitaciones del espectro atmosférico largo ó corto, ó interrumpido, combinándose con el espectro constante del prisma, deben producir en este variaciones de intensidad luminosa y de tono, segun que los colores se suman ó se destruyen.

Con arreglo á tales hechos, la explicacion del centelleo se reduce á definir cuál será la causa que produce los cambios de color en el espectro estelar atmosférico.

Supuso Arago que esto dependia de la interferencia de los rayos inmediatos que pasan á través de los estratos de aire de densidad desigual, desigualdad que hace que uno de los rayos se detenga una media onda respecto del otro, y venga á inferir las ondas de cierta longitud determinada, y permaneciendo las otras invariables, aparece la estrella del color complementario del destruido, si este era el rojo, permanecia verde la estrella, etc. Aunque esta teoría es ingeniosa, no satisface por completo, pues es difícil de hallar en la trasmision de las ondas aéreas las condiciones delicadas de la interferencia de los rayos.

Montigny indicó la diversa refraccion que sufren los rayos que pasan á través de las distintas capas atmosféricas; notó este observador, que el espectro que entra en el ojo está formado por los rayos que han atravesado diversas columnas de aire.

Esto se prueba considerando, como hacia Donati, el mecanismo de la vision de la estrella á través del prisma atmosférico. «Un rayo primitivamente blanco, se descompone al atravesar la atmósfera en varios rayos elementales diversamente colorados y divergentes entre sí, de modo que, si uno de ellos, por ejemplo, el rojo, llega al ojo del observador, no podrá llegar al mismo tiempo el violeta, que mas refractado, se encontrará mas abajo. El rayo violeta que llega al ojo del observador no pertenece, pues, al mismo rayo blanco de que procede el rojo, sino á otro rayo blanco emanado igualmente de la estrella, pero que ha penetrado en la atmósfera por un punto situado encima de aquel por donde entró el rayo blanco que produjo el rojo existente en el espectro solar.»

Mossotti obtuvo por el cálculo que los rayos que daban el rojo y el violeta extremos á 83° 33′ debieran distar á su ingreso en la atmósfera 8^m 78. Habiendo, pues, recorrido los rayos que llegan al ojo diversos caminos en la atmósfera y ofreciendo esta distintas densidades y refringencia, no es de extrañar que se desvien desigualmente y que produzcan las variaciones de refraccion y de sitio que hemos indicado.

Para comprender bien esta teoría es necesario traer á la memoria el mecanismo de la vision á través de los prismas. Si un rayo de Sol entra por una rendija y atraviesa un prisma cuya arista refringente es paralela á la rendija y se encuentra dirigida hácia arriba, se obtendrá en un carton el espectro con el rojo en la parte superior

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y en la inferior el violeta; pero si en lugar del carton se coloca el ojo y se mira la ranura á través del prisma, aparecerá este con el rojo abajo y el violeta arriba, porque es evidente que como el espectro presenta mayor anchura que la pupila, no puede esta recibirlo todo, y si lo ve completo es porque llegan á ella rayos que han caido sobre el prisma con distinta oblicuidad.

Esto es lo que ocurre con la estrella, por donde se ve que el rayo violeta que llega al ojo, arrancó de un punto mas alto que el rayo rojo.

No contento con esto Montigny recurre tambien á la reflexion total dentro del aire que pudiera desviar el rayo y separarlo por completo del ojo. Bastarian asimismo para la explicacion del fenómeno las simples ondulaciones atmosféricas, las que obrarian de igual manera que si fuesen ondas líquidas.

Si en un estanque de agua tranquila y transparente caen los rayos solares, se iluminará el fondo uniformemente, pero si la superficie se agita y forma ondas se verán en el fondo unas listas de colores prismáticos que caminan con rapidez. Un punto blanco fijo en el fondo se colora sucesivamente de rojo, amarillo, verde, azul, etc. Si se colocase el ojo en este punto veria que el objeto luminoso se coloraba de rojo, verde, etc., segun el rayo que lo recorria, sin que tuviese para ello que cambiar de sitio. Lo propio sucede cuando se ve una luz lejana á través de un prisma giratorio, como por ejemplo, los que sirven de adorno á las arañas. Un rayo luminoso que parte de una estrella atravesando la masa atmosférica se desvia mas ó menos hácia arriba ó abajo, segun que encuentra en su camino un sistema de ondas que por su densidad aumenta ó disminuye la refraccion, y por lo cual eleva ó deprime el espectro producido en el momento mismo de la dispersion. Este espectro movible pasa por delante de la vista del observador y produce la sensacion de tal ó cual color, dejando inmóvil casi, la estrella, que cambia de color pero no de sitio.

A menos de ver que las rayas espectrales de la estrella permanezcan inmóviles en el espectroscopio, mientras que en el caso presente esas rayas debieran de cambiar con la naturaleza del rayo iluminador que llega al ojo, y cuando se tiene, por ejemplo, el amarillo, habria de verse la línea D y con el azul la F. Ahora bien, no es esto lo que ocurre, pues las líneas permanecen fijas. Para explicar esta inmovilidad es necesario recordar otro hecho ya anteriormente conocido; esto es, que las estrellas ofrecen sucesivamente diversos colores, los que se suceden con tanta rapidez, que la mayor parte de ellos se reconstituyen y forman el blanco, y como hemos apuntado, para separar estos colores es preciso dar á la imágen un movimiento rápido.

La luz natural de la estrella debe, pues, considerarse como compuesta de dos partes; una blanca y constante, aunque producida como decimos por la recomposicion continua de los rayos espectrales simples; la otra variable, que va hiriendo poco á poco nuestro ojo, ora con un color, ya con otro. A la primera de estas masas de rayas se debe la imágen persistente que se ve en el espectroscopio con las rayas fraunhoferianas sensiblemente fijas; á la otra se debe el espectro atmosférico que va recorriendo el espectro fijo formado por el prisma, y esta segunda parte es la que unas veces aparece reforzada y otras mas débil en cada color. Porque si el rojo cae sobre el mismo rojo este tono será mas vivo; pero si cae sobre el verde se debilitará formando así una luz blanca que irá á unirse al espectro fijo de la estrella producido por el prisma.

Tal es, por tanto, la explicacion del hecho fundamental del centelleo que abarca y comprende las ideas que diversos físicos emitieron antes aun del invento del espectroscopio.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Tenemos, sin embargo, otros hechos accesorios que nos han sido revelados por este instrumento y que exigen una explicacion.

Hemos dicho que las ondas luminosas van recorriendo el espectro en una direccion determinada; que para las estrellas de Levante es hácia el rojo y para las de Poniente hácia el violeta.

Por mas que esto no sea rigurosamente constante, porque á menudo se ve lo contrario, y en particular en las noches en que el aire está agitado, no es fácil definir el sentido del movimiento; sin embargo, esta marcha es por lo general constante en aire tranquilo. Debe nacer primeramente de la sucesion relativa de las ondas áereas, las cuales se propagan con cierta regularidad en una direccion dada. Observaremos en primer lugar, que todas las observaciones de Secchi se hicieron durante las primeras horas de la noche; luego como la atmósfera está mas caldeada á Poniente del observador, en donde se encuentra el Sol, que en el cielo oriental, el curso ó movimiento del aire debe dirigirse de un modo opuesto en las dos regiones contrarias del horizonte.

El profesor Respighi invoca el movimiento de rotacion de la Tierra como causa influyente en semejante fenómeno óptico; segun el P. Secchi tambien pudiera admitirse esta explicacion. El aire hace siempre el oficio de prisma, y como la estrella de Poniente baja en virtud de la rotacion terrestre, tenderá á aumentar la refraccion y á elevar todo el espectro, de tal modo, que este se dirigirá hácia el violeta; en la parte de Levante, por el contrario como la estrella va subiendo disminuye la refraccion y tenderá á bajarlo, y por lo tanto se dirigirá hácia el rojo. Si el aire estuviese inmóvil, se efectuaria este movimiento con una continuidad rigurosa, pero á causa de sus oscilaciones tiene lugar á saltos, de manera, que suspendido por un instante en una fase de la onda, se hace mas rápido en la siguiente, produciéndose así el movimiento progresivo; pero como el movimiento de las ondas espectrales es incierto y á menudo contrario cuando los vientos soplan con impetuosidad, es evidente que, á lo menos esta causa, no es la única y tal vez tampoco la principal.

En el zenit es la oscilacion muy pequeña y por lo general se reduce á dar líneas longitudinales al espectro; pero aquí hay otra causa, la cual, si bien obra sobre el espectro aun en el horizonte, es de fuerza muy inferior y puede, por lo tanto, pasar desapercibida; nos referimos á la difraccion de los rayos de la imágen telescópica. La imágen espectral de la estrella se deforma necesariamente en nuestros aparatos á causa de la lente cilíndrica, y por eso se encuentra fuera de uno de los dos focos que tiene el anteojo provisto de este accesorio; por manera que cae en el espacio en que se encuentran los anillos secundarios de difraccion muy amplificados y difusos. Para formarse una idea de estos anillos basta observar una estrella fuera del foco del anteojo: ahora bien, esta imágen se encuentra en continua agitacion y á este movimiento se deben atribuir principalmente las estrías longitudinales que presenta la estrella en su espectro zenital.

En conclusion:

1.° El fenómeno del centelleo es atmosférico.

2.° Consiste en un cambio sucesivo de la intensidad y del color de la estrella, con pequeñas variaciones de lugar.

3.° Depende de la fuerza dispersiva de nuestra atmósfera.

4.° La ondulacion aérea hace que lleguen al ojo, sucesivamente, los diversos rayos colorados del espectro de la estrella, producido por la atmósfera y da lugar á la variacion de color.

5.° Si la ondulacion es muy fuerte puede tambien desviarse la imágen por completo del ojo y eclipsarse la estrella un instante, pero esto es raro.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

6.° La estrella permanece sensiblemente inmóvil porque el aire hace las veces de un prisma muy distante que con sus pequeños movimientos angulares envia á la retina rayas de diversas coloraciones del espectro, mientras que la parte principal de la imágen resulta de una continua recomposicion de los diversos colores superpuestos rápidamente.

V

Espectro de las estrellas binarias

En un cielo trasparente, en particular en los climas tropicales, no se presentan las estrellas como en nuestras latitudes, con la blancura del diamante; aquí y acullá se descubren con destellos rojos, azules, amarillos, en suma, de todos los colores imaginables, y por su brillo y hermosura pudiera decirse que eran rubíes, esmeraldas y zafiros los puntos luminosos que tachonan la celeste bóveda.

Estos colores son mas notables aun en las estrellas binarias, llamadas así segun vimos en las páginas anteriores, porque son grupos de dos ó mas soles que mutuamente se sostienen por atraccion y que giran en sus órbitas en relacion con sus masas, ora uno en torno del otro, ya ambos al rededor del centro comun de gravedad.

A la simple vista presentan el aspecto de una sola estrella, á causa de su estrecha proximidad; pero analizándolos con un telescopio de poder suficiente se dividen y separan en dos, tres, cuatro ó mas soles en íntima conexion; uno de los sistemas mas hermosos se encuentra en la constelacion de Orion, y se compone de diez y seis estrellas que á la simple vista parecen una sola. En algunos de estos grupos, cuyo número pasa de 6000 en la actualidad, se ha podido calcular el tiempo que emplea la estrella satélite en verificar su revolucion; tambien de esto nos ocupamos extensamente en otro sitio; pero bueno será recordar que una de ellas, situada en la Osa mayor, emplea 60 años, otra, de la Vírgen, 513, y *gamma* Leonis, 1200.

El famoso Camilo Flammarion, mas conocido en España por sus ensueños filosóficos que por sus trabajos de verdadero mérito, acaba de publicar un atlas y catálogo de estrellas binarias, que representa muchas horas de observacion y mas de estudio en el gabinete. Es uno de los mejores libros que ha dado á luz, por no decir el mejor de todos.

La diversidad de colores que exhiben las estrellas binarias les presta un interés mayor; así como la mayor parte de las estrellas brillan con luz blanca, ó si acaso amarilla y aun tambien roja, en las estrellas binarias es casi siempre la compañera azul, verde ó roja, contrastando de este modo con la luz blanca de la estrella mayor ó central.

Por largo tiempo ha sido el orígen de estos colores motivo de estudios é investigaciones. Se supuso que se debian á colores complementarios, y por lo tanto, estos no eran inherentes á las estrellas, sino que dependian de una ilusion óptica semejante á la que produce el mirar una pared blanca inmediatamente despues de contemplar el Sol, en cuyo caso aparece la pared cubierta de manchas violetas. Pero cubriendo sencillamente la estrella central, expediente que no tiene nada de complicado, se demuestra la inexactitud de esta suposicion, puesto que el color de la estrella pequeña permanece indiferente, aunque se oculte su compañera.

Zöllner, á quien debemos trabajos muy importantes sobre la luz y la constitucion física de los cuerpos celestes, fué el primero que indicó la idea de que, así como todas las sustancias conocidas en su cambio del estado incandescente al de una temperatura inferior, pasan por el calor rojo, de igual manera las estrellas fijas, en su proceso de desarrollo del estado de gas luminoso y brillante al período de líquido incandescente, y desarrollo subsiguiente de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

escorias flotantes ó formacion sucesiva de una superficie fria no luminosa, deben, al propio tiempo que disminuye su luz gradualmente, hallarse sujetas á un cambio de color.

En muchas estrellas coloradas, especialmente en las llamadas *nuevas*, se ha visto que el color recorre la escala desde el blanco hasta el amarillo y el rojo, de modo que la conjetura presenta muchos grados de probabilidad; pero que otras circunstancias deben de ejercer cierto influjo tambien en el color de las estrellas se demuestra por el cambio de tono que se ha observado que tiene lugar en la direccion opuesta; esto es, del rojo al blanco, de lo cual, entre otras estrellas, se puede citar á Sirio considerada por Ptolemeo y los antiguos como roja y que ahora nos parece blanca, y tambien á Capella, que primitivamente era roja y ahora brilla con una luz pálida azulada. Huggins y Miller han descubierto por medio del espectroscopio que el color de una estrella, no solo depende del grado de incandescencia del líquido caldeado ó núcleo sólido, si no tambien de la calidad del poder absorbente que pueda ejercer su atmósfera sobre la luz emitida por el núcleo luminoso.

Como el orígen de la luz estelar, observa Huggins, es una materia sólida ó líquida incandescente (Kirchhoff), parece muy probable que al tiempo de su emision sea la luz de las estrellas igualmente blanca. Los colores con que aparecen á nuestra vista deben, por consiguiente, producirse por ciertos cambios que la luz sufre despues de su emision y durante su trayecto. Es por otra parte evidente que, si las líneas oscuras de absorcion son mas numerosas ó están mas acentuadas en algunas partes del espectro con preferencia á otras, en este caso los colores particulares de estos puntos ofrecerán un tono mas bajo y apagado, y en todo caso aparecerian relativamente mas débiles que en las regiones del espectro en donde las líneas de absorcion son mucho menos numerosas. Mientras que de este modo se extinguirán en el espectro, ciertos colores particulares, los que persisten, como no sufren modificacion alguna, aparecen mas brillantes y dan sus propias tintas á la luz de la estrella originalmente blanca.

El espectro de Sirio, estrella conocida universalmente como una de las mas blancas y hermosas del cielo, se representa en la fig. 351; como debiera esperarse, los espectros de estas estrellas son notables por la carencia de grupos de bandas intensas de absorcion. Las líneas oscuras que atraviesan el espectro colorado, aunque muy numerosas y con una sola excepcion, igualmente distribuidas en todos los colores, son en extremo finas y delicadas, y por lo tanto, demasiado débiles para afectar la blancura original de la luz. La única excepcion consiste en cuatro líneas gruesas simples, una de ellas que corresponde á la C de Fraunhofer, otra á la F, mientras que la tercera cae muy cerca de G, lo cual, como ya hemos manifestado, indica con certidumbre la presencia del hidrógeno.

Si se compara este espectro con el de una estrella anaranjada, v. gr.: la mayor de las dos que componen el grupo *alfa* Herculis, aparece claramente la diferencia entre ambos espectros, pues el verde, azul y hasta los colores rojos en este espectro se encuentran debilitados por grupos de bandas oscuras muy intensas, mientras que los rayos anaranjados y amarillos conservan casi su intensidad original y predominan, por tanto, en la luz de esta estrella.

Despues de vencer grandes dificultades obtuvieron Huggins y Miller el mismo resultado de la observacion de una estrella doble telescópica y muy débil; de la bien conocida estrella *beta* del Cisne. En un gran anteojo contrastan de un modo muy notable y hermoso los colores de estas estrellas; el de la una anaranjado, y el de la otra azul, pero mas débil. En la estrella anaranjada se observan las líneas oscuras mas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fuertes y en grupos mas apretados en el azul y el violeta; la region anaranjada del espectro, que comparativamente está libre de bandas, da el color predominante á la luz. En la delicada compañera azul el grupo mas fuerte de líneas se encuentra en el amarillo, naranja y parte del rojo; de modo que habria que esperar, como sucede, el predominio del azul en la luz de esta estrella, y debiéramos verla del tono producido por la mezcla de los colores que subsisten despues de la absorcion de los rayos mencionados de la luz blanca.

Los colores de las estrellas se producen, sin duda alguna, por los vapores de ciertas sustancias que contienen en sus atmósferas respectivas; y como la constitucion química de la atmósfera de una estrella depende de los mismos elementos de que la estrella se componga y de su temperatura, seria posible averiguar las principales materias constituyentes de estos pequeños



Fig. 351 — Espectro de Sirio

mundos telescópicos si la posicion de las líneas oscuras de absorcion se determinara con toda escrupulosidad, ó si se pudieran comparar estas líneas con las espectrales de los elementos terrestres.

Entre las estrellas fijas se encuentran algunos ejemplares cuyo brillo varia de tiempo en tiempo en comparacion con los astros inmediatos; su luz aumenta ó disminuye y alterna en algunos casos desde la de una estrella de primera magnitud, hasta la invisibilidad completa; en unas tiene lugar este cambio de un modo constante, con lentitud y perfecta regularidad en la diminucion de su brillo; otras aumentan y disminuyen casi de un modo repentino.

Estas estrellas, que ya conocemos, se llaman variables, y el tiempo trascurrido entre dos épocas sucesivas de mayor esplendor, período de variabilidad. El descubrimiento de estos objetos es de fecha muy reciente, y los antiguos astrónomos solo nos dejaron alguna memoria incierta de varias estrellas que ya desaparecieron, de modo que no podemos encontrarlas en su puesto.

Este estudio lo han cultivado con gran aficion muchos y muy distinguidos astrónomos de la época presente como Argelander, Secchi, Hind, Heis, Schmidt, Schoenfeld, Arrest, Webb, Birmingham y otros muchos, con cuyos trabajos se ha reunido tal número de hechos, que con ellos se ha podido formar un cuerpo de ciencia precisa, que en union con la espectroscopia, nos revelará, sin duda alguna, el misterio que encierran estas maravillosas variaciones y apariciones.

La siguiente tabla indica las variaciones que presentan algunas de estas estrellas de período regular.

Estrellas	Variacion de brillo de	á	Período de variabilidad
eta Argus. .	1.ª magnit.	4.ª magnit	46 (?) años
R Cephei . .	6.ª »	11.ª »	73 (?) »
R Cassiopeæ. .	5.ª »	menos 14 »	428,9 dias
omicron Ceti	1.ª ó 2.ª »	9.ª 1/2 »	331,3363 »
S Cancri. .	8.ª »	10.ª 1/2 »	9,485 »
beta Persei.	2 1/2 »	4.ª »	2,867 »

De todas las estrellas variables, *omicron* Ceti ó Mira de la Ballena, es quizás la mas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

interesante, puesto que en su brillo máximo iguala á las estrellas de primera ó segunda magnitud; de interés nada inferior es *beta* Persei, que en dos dias y 13 horas y media brilla con el esplendor de una estrella de segunda magnitud, y luego súbitamente decrece su luz, llegando en tres horas y media á ser como la de una estrella de cuarta magnitud; aumenta de nuevo su esplendor y en un período análogo de tres horas y media alcanza su brillo primitivo. Todos estos cambios se verifican regularmente en el espacio de tres dias escasos, en cuyo tiempo la estrella permanece siempre visible á la simple vista.



Fig. 352.— Teoria de la modificacion de la luz de las estrellas, segun Zollner

¿De dónde proviene esta modificacion de la luz de las estrellas? Zöllner con gran perspicacia y apoyándose en numerosas observaciones de estos cambios de brillo, presenta una explicacion bien sencilla, suponiendo que la causa reside en la configuracion y distribucion de las masas oscuras de escorias, que se forman en el líquido caldeado al rojo del cuerpo estelar en proceso ó vía de enfriamento, y que á consecuencia de la rotacion de la estrella, sobre su eje y de la fuerza centrífuga de esta suerte originada, tomaran determinados rumbos en la superficie de la estrella, de un modo análogo á lo que se observa en los mares terrestres con los grandes témpanos que descienden de las regiones boreales.

A consecuencia de este particular movimiento relativo, las masas oscuras de escoria se dispondrian por sí mismas en un órden determinado, produciendo en la superficie de la estrella una distribucion desigual de la materia candente luminosa. Si esta distribucion tuviera lugar del modo que imagina Zöllner en la fig. 352 y la masa líquida brillante se dirigiese como indican las flechas en la direccion de *a* y *b*, ó en contra de la rotacion de la estrella, del propio modo que las corrientes polares de nuestra Tierra, y fuesen detenidas en su curso por el banco ó bajo de escorias, entonces el cambio de brillo de su luz y su aparicion periódica á cada revolucion sobre el eje, pueden explicarse sin gran esfuerzo.

Otros creen, por el contrario, con Stwart y Klinkerfues, que las estrellas variables son sistemas binarios muy estrechos y que una de las componentes, la que gira, ya sea cuerpo oscuro, ó incandescente y gaseoso, ó tambien una masa flúida candente produciria al pasar por delante del astro central, ora un eclipse parcial, bien una absorcion atmosférica de la luz, como con frecuencia ocurre en nuestro propio sistema planetario.

Es en extremo instructivo considerar cómo estas distintas teorías han sido modificadas por el análisis espectral. Si el cambio periódico en el brillo de la estrella se debe á una modificacion de su constitucion física ó á la interposicion de un cuerpo oscuro y opaco, ó si el cuerpo interpuesto, oscuro ó luminoso se encuentra rodeado por una atmósfera absorbente, todo ello se demostraria por las alteraciones del espectro que consistirian en un aumento de las líneas de absorcion, que se observan principalmente en el período de menor brillo.

Secchi, Huggins, Miller, consagraron mucho tiempo á estudios de esta naturaleza y los dos últimos observadores notaron que en el espectro de Betelgeuze (*alfa* Orionis) fig. 349-2, en febrero de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

1866, cuando la estrella se hallaba en su esplendor máximo, se perdió un grupo de bandas oscuras, cuyo lugar exacto se habia determinado escrupulosamente dos años antes, y correspondía al número 1069,5 de la escala, en cuyo punto caia una raya negra.

Tambien notó Secchi algunas modificaciones en una línea negra del espectro de la misma estrella en un período de mínimo esplendor; pero estas observaciones son todavía muy escasas y aisladas, para que se pueda deducir de ellas ninguna conclusion, en lo respectivo á las dos hipótesis anteriores.

Observó Secchi recientemente, que el espectro del núcleo de una mancha solar presenta una estrecha semejanza, con el que dan varias estrellas rojas como *alfa*, Orionis (Betelgeuze), *alfa* Scorpii (Antares) *alfa* Tauri (Aldebaran), *omicron* Ceti (Mira). Una serie de bandas oscuras de las que se ven en el espectro de Betelgeuze se pueden observar en la fig. 349-2, las que tambien se encuentran en el espectro de las manchas solares, de igual modo que en el de las estrellas indicadas, lo que nos induce á creer que el color rojo de estas estrellas proviene de la misma causa que produce las bandas de absorcion en el espectro de las manchas solares.

Como casi todas estas estrellas son variables, es muy probable que tambien tengan manchas que se manifiesten en períodos regulares, del mismo modo que las manchas del Sol. El período de variabilidad de la ley dependeria, pues, del período de formacion de las manchas, de igual manera que aparece nuestro Sol como una estrella variable, en la que el período de variacion de la luz coincide con el de frecuencia de las manchas.

Estos hechos nos sugieren varias reflexiones acerca de nuestro luminar. El Sol es, pues, una estrella variable; las variaciones undecenales de sus manchas y de las protuberancias ó erupciones, prueban que su actividad no es constante y que por ello debe variar asimismo en la intensidad de su luz. Pero la evaluacion directa de esta variabilidad y de su límite no es posible establecerla. La luz no se puede medir con precision y la magnitud de las manchas no prueba que aquella sea menor cuando son muy numerosas, porque aunque se demostrase que en las manchas hay menos luz y una temperatura mas baja, la mayor intensidad de las partes luminosas puede compensar la que falta en las regiones oscuras, lo cual es muy probable atendiendo á su mayor actividad, por completo demostrada en las épocas de manchas.

Igual inconveniente se halla en determinar la intensidad de su irradiacion térmica, respecto de la cual, sin embargo, tenemos medios mas precisos; porque como todas nuestras observaciones han de hacerse á través de la atmósfera terrestre, su continua variabilidad impide la medicion exacta del estado colectivo de su temperatura. Se ha buscado una prueba de esta variabilidad en la temperatura media climatológica anual y en la cantidad de lluvia recogida, pero no en todos los lugares corresponden tales variaciones al período mencionado. Meldrum la ha buscado en la frecuencia de las borrascas ciclónicas del ecuador, pero esto tampoco es bastante seguro.

Hallándose bien demostrado que la periodicidad de las manchas concuerda con la del magnetismo terrestre, y dependiendo este, al parecer, de las modificaciones térmicas del globo, es claro que tambien el Sol debe variar en cuanto á su luz y su calor. De modo que una variabilidad de la clase que se quiera es cierta, pero el demostrarla directamente es lo difícil; solo se puede asegurar que el color amarillento de la zona perimétrica del Sol, debido á la absorcion de su atmósfera, parece mayor en las épocas de pocas manchas; pero aun en este punto carecemos de medidas exactas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La misma intensidad enorme de su luz es un obstáculo para las mediciones y como la superficie de las manchas es pequeñísima respecto del resto del disco, pudiera ejercer un influjo muy escaso. Langley opina que no debe pasar de 29 centésimas de grado centígrado para nuestro globo, cantidad imposible de reconocer con nuestros actuales instrumentos meteorológicos.

Otro tanto puede decirse de la intensidad de la luz solar; en relacion con las estrellas la evaluó Wollaston en 20 mil millones de veces la de Sirio, pero otros la estimaron en 60 mil millones, lo que indica cuán grandes son las discrepancias; tan solo las investigaciones espectrales dando á conocer mejor la índole de estas variaciones podrán suministrarnos algunas medidas. Desde ahora es ya posible formar algunas conjeturas porque se ha visto que las erupciones son escasas en la época en que faltan las manchas, y es probable que así disminuya la actividad y por consecuencia la luz y el calor, y para ello aun en estas épocas se muestra la cromo-esfera bastante viva y hermosa. De modo que nada puede asegurarse de cierto, y si se escapan á nuestros medios de análisis las variaciones del Sol en períodos breves ¿quién podrá decir que este astro no varia en períodos largos hasta el punto de influir en la vida de nuestro globo? ¿Quién sabe si los períodos glaciales de la Tierra no habrán tenido un orígen semejante? Dejamos á otros mas capaces la resolucion de estos problemas y basta con haberlos indicado para comprender la importancia que entraña el estudio de la variabilidad de las estrellas.

VI

Análisis espectral de las estrellas efímeras

Entre las estrellas variables pudiéramos colocar tambien las que de vez en cuando, pero á intervalos muy largos, aparecen repentinamente en el cielo y desaparecen otra vez despues de un período mayor ó menor, y que siempre excitan el mas vivo interés, no solo por lo raro de su aparicion, sino por las tremendas revoluciones del espacio que anuncia su presencia.

Segun Humboldt, tan solo se registran 21 estrellas de esta clase en el espacio de 2,000 años, desde 134 antes de J. C. hasta 1848 de nuestra era, siendo la mas notable la que observó Tycho-Brahe en 1572, en la constelacion de Casiopea, que llegó á sobrepujar á Sirio y Júpiter, rivalizando en brillo con Vénus y que desapareció al cabo de 17 meses sin dejar á la vista el mas leve indicio de su existencia; apresurémonos á manifestar que el anteojo se descubrió treinta y siete años despues de este suceso.

Keplero vió en 1604 en el pié derecho del Serpentario otra estrella superior en brillo á Júpiter, pero que no llegaba á igualar á Vénus, y al cabo de 15 meses solo se veia con el auxilio del anteojo. Otras dos estrellas análogas que aparecieron en época reciente, una observada por Hind en 1848 y la otra vista en la Corona boreal en 1866, aunque perdieron pronto su efímero brillo, no llegaron á desaparecer del todo y aun se perciben como de décima y novena magnitud.

El 24 de noviembre de 1876, el astrónomo Schmidt, ventajosamente conocido por sus estudios sobre la Luna, examinando la constelacion del Cisne halló cerca de la estrella *ro*, otra estrella nueva de tercera magnitud, semejante en esplendor á la *mu* de Pegaso. Una particularidad característica de estas estrellas temporeras es que casi siempre aparecen de un modo repentino con brillo extraordinario y superior al de las de primera magnitud, sin que este siga en aumento gradual, al menos á la simple vista.

¿Debemos creer que estas estrellas *nuevas* son en efecto creaciones repentinas, como suponia Tycho-Brahe, y que las que han desaparecido se han aniquilado y destruido en realidad? ¿Podemos suponer con Riccioli que estos cuerpos celestes son lu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

minosos por uno de sus lados nada mas, y que por una semirevolucion súbita que en un momento dado les imprime el Creador vuelven á nosotros su mitad brillante?

Las observaciones recientes han quitado todo su valor á la primera suposicion, pues se ha probado con auxilio de las cartas celestes, que existia con anterioridad una pequeña estrella en el mismo lugar precisamente en que apareció y se inflamó la estrella efímera; la otra opinion es demasiado absurda para que se pueda refutar seriamente.

La estrella observada por Tycho, de igual manera que la que vió Keplero, son visibles todavía; segun Argelander la posicion de la primera en 1865 era, A R = 4 h 19 m 57s, 7 y D = + 63° 23′ 55″; y de la segunda segun Schönfeld en 1855 A R = 17h 21 m 57s con una variacion ánua de + 3,s 586 y D = — 21° 21′ 2″ con una variacion ánua de — 0s,055. Si, por lo tanto, la inflamacion repentina de una estrella en el cielo no indica la creacion de un astro nuevo, ni su desaparicion gradual su aniquilacion completa, podemos suponer con algunos visos de probabilidad que ambos fenómenos son los efectos sucesivos de una violenta conflagracion que tiene lugar en la estrella, ora en forma de erupcion de la materia líquida y candente del interior y su derrame ó inundacion por la superficie, ó bien de la ignicion de las jigantescas corrientes de gas que desde el interior buscan su salida.

Así como semejante suceso debe elevar la estrella á un estado de incandescencia extrema, obligándola á emitir una luz intensísima por algun tiempo, de igual manera el enfriamiento subsiguiente á esta combustion debe producirse con mas ó menos rapidez disminuyendo su brillo en consecuencia con rápida progresion, hasta que en determinadas condiciones deje la estrella de ser visible.

Afortunadamente para la ciencia, han tenido lugar en estos últimos años, segun decimos, varias apariciones de estrellas nuevas, en épocas en que el análisis espectral estaba ya al servicio de los astrónomos. En la noche del 12 de mayo de 1866, una estrella nueva de brillo superior á las de segunda magnitud, fué observada en Tuam por Birmingham, en la constelacion de la Corona Boreal; á la noche siguiente la columbró en Rochefort el ingeniero francés Courbebaisse, y tambien pudo percibirla unas cuantas horas antes el Dr. Julio Schmit, Director del Observatorio de Atenas, quien afirma que la nueva estrella no podia ser visible antes de las once de la noche del 12 de mayo, pues él mismo estuvo observando con su buscador de cometas la estrella R de la Corona y al investigar en sus inmediaciones por algun tiempo, no hubiera dejado de columbrarla si hubiese sido visible. En la misma noche (13 de mayo) decreció sensiblemente la luz del nuevo luminar y el 16 de mayo era comparable á una estrella de 4.ª magnitud; desde esta fecha comenzó á desvanecerse rápidamente desde 4,9 el 17 á 5,3 el 18, y de 5,7 el 19 á 6,2 el 20, hasta el extremo de que á fines del mes solo aparecia como de novena magnitud.

Que la estrella no era nueva lo indicó Schmidt, pues la halló en el *Durchmusterung des nördlichen Himmels* de Argelander con el núm 2765 en + 25° de declinacion. Argelander observó esta estrella el 18 de mayo de 1855 y el 31 de marzo de 1856 y en ambos casos la clasificó entre la 9.ª y la 10.ª magnitud.

Informado Huggins del descubrimiento de Birmingham el 14 de mayo, al dia siguiente 15, en union con Miller, comenzó á estudiar el espectro de la estrella en época en que su brillo no era inferior en mucho á la 3.ª magnitud. El espectro de esta estrella era muy notable y mostraba claramente que existian dos focos distintos de luz, cada uno de los cuales producia un espectro aparte; la cinta espectral estaba formada en efecto por dos espectros super-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

puestos é independientes; uno de ellos continuo y cruzado por líneas negras semejantes á las que exhiben el Sol y otras estrellas, al paso que el segundo constaba de *cuatro líneas brillantes*, que por su extremado brillo se destacaban de un modo marcadísimo sobre el fondo oscuro del primer espectro.

El espectro principal atravesado por líneas oscuras indica la presencia de una foto-esfera de materia incandescente, probablemente sólida ó líquida, rodeada de una atmósfera de vapores mas frios, que por absorcion producen las rayas negras. Este espectro de absorcion contiene unas bandas oscuras muy fuertes, de menor refrangibilidad que la línea D del espectro solar; un grupo de líneas finas se halla muy inmediato á D. Hasta este punto la constitucion de este objeto es análoga á la del Sol y las estrellas; pero la estrella nueva presenta tambien un espectro formado por líneas brillantes que denota la presencia de una segunda fuente de luz, que por la naturaleza del espectro es, indudablemente, un gas en extremo luminoso.

Huggins comparó el espectro de la estrella el 17 de mayo con el espectro del gas hidrógeno producido por medio de la chispa de induccion á través de un tubo de Geissler, y halló que dos de las líneas estelares mas fuertes coincidian con la azul-verdosa (H beta) del gas hidrógeno. Aparentemente tambien, la línea 1 en el rojo, coincidia con la H *alfa* del mismo gas, pero debido á la falta de brillo de la línea no pudo averiguarse la coincidencia con igual grado de certidumbre. El extremado brillo de estas líneas comparado con las partes del espectro continuo en donde aparecian, prueba que el gas luminoso tenia una temperatura superior á la de la foto-esfera de la estrella.

La estrella efímera de 1876 apareció en la constelacion del Cisne; su posicion era, A R=21^h 36^m 50^s y D=+ 42° 16′ 9″ y en ningun catálogo se registraba astro alguno en tal situacion; era pues una estrella nueva. Pronto, sin embargo, comenzó á apagarse y el 5 de diciembre era de 5.ª magnitud.

El 2 de diciembre la analizó Mr. Cornu con el espectroscopio y pudo observar en brevísimo tiempo, pues las condiciones atmosféricas eran muy desfavorables, que el espectro estaba formado en gran parte por líneas brillantes, y por consecuencia, provenia de un vapor ó gas incandescente. Algunos dias despues, y mejorado el tiempo, continuó sus estudios; «el espectro de la estrella, dice, se compone de cierto número de líneas brillantes que se destacan sobre una especie de fondo luminoso, interrumpido casi completamente entre el verde y el añil, de modo que á primera vista parece el espectro compuesto de dos partes separadas.» Señaló ocho líneas brillantes que en relacion á su brillo empezaban por la letra griega *alfa* y concluian con *theta* correspondientes á las longitudes de onda que siguen, expresadas en millonésimas de milímetro:

alfa	*delta*	*gamma*	*beta*	*zeta*	*eta*	*theta*	*epsilon*
661	588	531	517	500	483	451	434

Alfa eta y *epsilon* corresponden casi idénticamente con las tres líneas del hidrógeno C F y 434. *Delta* es la raya del sodio, ó mas bien la D_3 (helio) de la cromo-esfera solar; *beta* corresponde á la tripe raya *b* del magnesio; pero lo mas interesante es la coincidencia probable de las líneas *gamma* y *theta* con otras dos rayas, una de las cuales (1474 de Kirchhoff) pertenece y es característica de la cromo-esfera y de la corona, y la segunda que tambien se ve en la cromo-esfera. En resúmen, la luz de la estrella posee, al parecer, exactamente la misma composicion que la envoltura del Sol llamada cromo-esfera; tales son las palabras de Cornu.

Vemos, pues, que los espectros de estas dos estrellas contemporáneas son semejantes, y que presentan líneas luminosas, lo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que indica que en ellas tienen lugar varios incendios. Enlazando estos hechos con lo repentino de las apariciones luminosas de las estrellas y su rápido descenso desde la primera ó segunda magnitud, hasta la octava ó novena, han pretendido varios astrónomos establecer la hipótesis indicada antes, de que á consecuencia de alguna convulsion interna, se desprenden cantidades enormes de hidrógeno y otros ga-

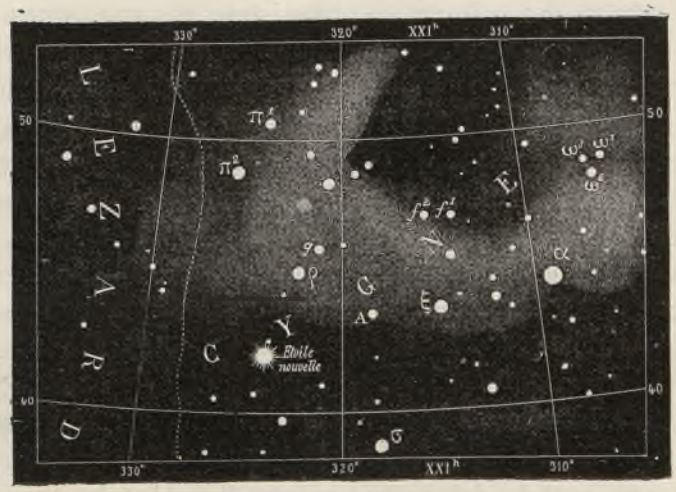


Fig. 353.—Posicion de la estrella efímera del Cisne, segun las observaciones de Schmidt. Magnitud de la estrella el 24 de noviembre 1876

ses, que en combinacion con otros elementos inflamados en la superficie de la estrella, envuelven todo el cuerpo súbitamente en un océano de llamas. El gas hidrógeno inflamado, en su combinacion con algun otro elemento, produce la luz caracterizada por



Fig. 354.—Espectro de la estrella efímera del Cisne segun las observaciones y medidas de Cornu

las dos bandas brillantes, del rojo y el verde; las demás líneas brillantes entre las cuales habria que suponer alguna del oxígeno, no se vió que presentaran la menor coincidencia con las rayas de este gas; el hidrógeno incandescente debiera de haber aumentado tambien, y en proporcion considerable, la temperatura de la materia sólida de la foto-esfera, adquiriendo esta mayor incandescencia y luminosidad, lo cual puede explicar cómo la primera estrella débil hubiera adquirido tan repentinamente, brillo tan extraordinario. Al agotarse el gas hidrógeno puesto en libertad, se apaga la llama de un modo gradual y con el enfriamiento subsiguiente de la foto-esfera se hace menos luminosa, volviendo la estrella á su primitiva condicion.

En contra de esta hipótesis se ha dicho que un desarrollo súbito de hidrógeno en cantidad suficiente para dar lugar al fenómeno de la inflamacion de la estrella, es un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

suceso poco probable; á lo cual puede agregarse que el espectro de estas estrellas no era de hidrógeno *incandescente* sino *luminoso*. Meyer y Klein dicen, por lo tanto, que el esplendor repentino de una estrella pudiera deberse á la precipitacion violenta de alguna gran masa, como un planeta, sobre una estrella fija, con lo cual la fuerza viva de la masa se convertiria en movimiento molecular, ó en otras palabras, en calor y luz.

El espectro del hidrógeno muy caldeado es el mismo siempre, sea la que quiera la naturaleza de la fuente de calor; la hipótesis de la combustion actual se formuló á consecuencia de las otras líneas brillantes observadas en el espectro de la estrella. Hoy dia sabemos que el Sol está rodeado de hidrógeno luminoso, y por lo tanto, en su espectro se ven siempre líneas análogas á las que se observan en la estrella; como estas rayas son débiles en comparacion de la gran intensidad de la foto-esfera del Sol, tienen que hacer que aparezcan menos oscuras las líneas C y F de Fraunhofer y no se ven por lo comun como rayas brillantes. Si observamos la parte mas oscura de una mancha solar en el punto en que la luz disminuida de la foto-esfera es inferior á la del hidrógeno, pueden hacerse visibles estas líneas brillantes; de modo que, en la estrella de la Corona, el hidrógeno de la envoltura hubiera debido tener una intensidad mas considerable relativamente al brillo de la foto-esfera. Ahora sabemos que un estado de cosas análogo parece ser permanente, ó por lo menos de carácter no del todo temporal, en *gamma* de Cassiopea y en algunas otras estrellas.

Tambien pudiera suponerse que la estrella de la Corona por su movimiento en el espacio, se hubiera puesto en contacto con algunas de las nébulas que en gran número cruzan los abismos del cielo en todas direcciones, y que por su estado gaseoso han de poseer una elevada temperatura. Esta colision habria de producir, necesariamente, la inflamacion de la estrella y la ignicion vehemente de su hidrógeno.

No debemos de olvidar que la luz, aunque mensajero rapidísimo, necesita, sin embargo, algun tiempo para franquear la distancia que nos separa de la estrella; la velocidad de la luz es de 75,000 leguas por segundo y la distancia de la mas próxima de las estrellas fijas (*alfa* Centauri) es de mas de seis millones de millones de leguas, de modo que su luz tarda en recorrerlas unos tres años y un cuarto. La gran convulsion física que se observó en la estrella de la Corona en 1866, fué por tanto un suceso que en realidad tuvo lugar antes de esa fecha, en una época á no dudar, en que el análisis espectral, al que debemos las noticias que tenemos sobre el problema, era por completo desconocido.

El P. Secchi ha descubierto recientemente al examinar con el espectroscopio la estrella variable R Geminorum, que su espectro indica lineas brillantes del hidrógeno que aparecian del mismo modo en el espectro de la estrella efímera T Coronæ borealis. La estrella daba además, otras bandas brillantes, de las que la mas notable coincidia con las bandas oscuras de *alfa* Orionis; un grupo cae en el verde (b) y se debe probablemente al magnesio, otro en el amarillo y corresponde al parecer, ó á la línea del sodio, ó á D_3 de las protuberancias solares. Las observaciones se efectuaron cuando la estrella habia alcanzado su brillo máximo, en poco superior á la séptima magnitud; el gran interés que entraña este fenómeno, especialmente en cuanto á la aparicion de las mismas líneas brillantes que caracterizan las protuberancias solares, hace que estas observaciones se prosigan durante todo el período de variabilidad, en cuanto lo permite la potencia luminosa del astro.

VII

Influjo del movimiento propio de las estrellas en el espacio, sobre la calidad de sus espectros.

En el párrafo III del capítulo V explica-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mos el principio que, aplicado al análisis espectral, nos permite en determinadas circunstancias averiguar por la dislocacion de las líneas del espectro de una estrella, si se acerca á nosotros, ó si se aleja, y tambien la velocidad de su movimiento. Se demostró que la dislocacion de una de las líneas del espectro hácia el violeta, indicaba que la longitud de la onda se acortaba en su trayecto hácia la Tierra, y por lo tanto que la estrella se acercaba á nosotros; la dislocacion hácia el rojo indicaba, por el contrario, que las ondas etéreas se han alargado y que la estrella por consiguiente, se aparta de nuestro globo.

El P. Secchi que fué el primero en ocuparse de este género de investigaciones, dirigió su anteojo á Sirio, colocando de tal manera el prisma del espectroscopio, que la línea F coincidiese exactamente con la imágen directa de la estrella; volvió luego el instrumento á otra estrella fija del mismo tipo en el que tambien era visible la línea F y observó su espectro muy escrupulosamente, para averiguar si esta raya coincidia asimismo, ó mostraba alguna dislocacion; su instrumento, empero, no era adecuado para estos estudios tan prolijos y los resultados obtenidos no fueron decisivos.

Con auxilio de instrumentos mas delicados y un aparato mejor y mas propio para estas medidas, comenzó y realizó Huggins una investigacion muy completa sobre este asunto. Por medio de una serie de observaciones preliminares estableció primero qué línea oscura muy marcada que aparecia en el espectro de Sirio correspondia con la del hidrógeno H *beta;* con tal objeto comparó la línea oscura de Sirio del modo corriente y usual con la línea H *beta* del espectro del hidrógeno formado por un tubo de Geissler, que coincide con la línea F de Fraunhofer del espectro solar y tambien con la línea H *beta* del mismo hidrógeno á la presion atmosférica.

De la posicion de estas tres líneas en relacion con la de Sirio y con ellas mismas resulta lo siguiente: Al paso que las líneas de comparacion coinciden exactamente, *la raya de Sirio está ligeramente dislocada hácia el rojo;* como esta línea de Sirio aparece mas ancha que la brillante del hidrógeno H *beta*, lo cual ocurre siempre con esta línea cuando el gas se halla sometido á cierta presion, es de suma importancia determinar si la expansion de la línea H *beta* del hidrógeno sujeta á determinada presion aparece en ambos lados igualmente, ó de un modo desimétrico.

En el primer caso es obvio que la posicion de la línea de Sirio no puede considerarse como una dislocacion producida por el movimiento, sino meramente como una expansion que se presenta en uno solo de los lados; en el segundo caso la línea brillante H *beta* debe caer exactamente en la mitad de la ancha línea de Sirio si solo es producida por expansion sin que se haya verificado dislocacion alguna al mismo tiempo. Halló Huggins, empero, en conformidad con las investigaciones de Lockyer y Frankland, que cuando la línea H *beta* del hidrógeno se ensancha á causa del aumento en la densidad del gas, este ensanchamiento tiene lugar siempre á entrambos lados con igualdad, y en el centro de la línea conserva su posicion. Es probable que la expansion de la línea de Sirio tenga un orígen semejante, pero al propio tiempo no puede haber duda de que *toda la línea sufre una dislocacion hácia el rojo en comparacion con la línea del hidrógeno terrestre.*

Esta dislocacion fué escrupulosamente medida por Huggins, quien halló que la línea F del espectro de Sirio importaba en la fecha de la observacion, próximamente, la cuarta parte de la distancia que hay entre D_1 y D_2. La diferencia entre las longitudes de onda de estas dos líneas D es 4,36 y segun algunos 6 millonésimas de milímetro; la dislocacion de la línea F en el espectro de Sirio corresponde, por lo tanto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

á un aumento en la longitud de onda de 0,109 ó 0,15 millonésimas de milímetro. Si se acepta que la velocidad de la luz sea de 75,000 leguas por segundo y la longitud de onda de la luz de la línea F de 486,50 millonésimas de milímetro, en este caso la dislocacion observada en la línea de Sirio indica que esta estrella se aleja de la Tierra con una velocidad de

$$\frac{75.000 \times 0{,}109}{486{,}50}$$

que son unas 17 leguas por segundo.

La Tierra juega algun papel, sin duda alguna, en la rapidez de este movimiento; en su circuito ánuo en torno del Sol cambia el sentido del movimiento de nuestro globo á cada instante, y hay dos posiciones en la órbita separadas entre sí 180°, en las que la direccion del movimiento coincide con la visual de Sirio. En uno de estos lugares se acerca la Tierra á la estrella y en el otro se separa, mientras que en otros dos puntos de la órbita distantes 90° de los primeros, el movimiento de la Tierra se efectúa en ángulo recto con la visual de la estrella, y por consecuencia, no ejerce el menor influjo sobre la refrangibilidad de los rayos.

En la fecha en que Huggins llevó á cabo estas investigaciones respecto de la línea de Sirio, se movia la Tierra en su órbita en sentido opuesto á la estrella con una velocidad de 5 leguas por segundo: quedaban, pues, para el movimiento propio de Sirio, en sentido contrario al de nuestro globo, unas 11,8 leguas.

Prosiguió Huggins sus investigaciones respecto de otras estrellas, y pudo convencerse de que para análisis tan delicados eran insuficientes los medios de que disponia; en consecuencia la Sociedad Real de Lóndres puso á su disposicion un refractor paraláctico ó paralático como quiere Arago, de 37 centímetros de diámetro, provisto de todos los accesorios mas delicados y precisos que se emplean en este género de observaciones.

Segun sus nuevos estudios, Sirio se aleja de la Tierra con una velocidad de 7 leguas por segundo, nada mas; Betelgeuze se acerca á nosotros 5 leguas por segundo de tiempo, Riget 4, Régulo 7, Castor 4; las estrellas *beta*, *gamma*, *delta*, *epsilon*, *zeta*, etc., de la Osa mayor se acercan tambien; Arcturo 14 leguas por segundo, Wega 12, *alfa* del Cisne 10, *alfa* de la Osa mayor 15; *gamma* del Leon, *epsilon* de Bootes, *alfa* de Pegaso, *alfa* de Andrómeda y otras muchas se aproximan asimismo á la Tierra.

Mas apenas se publicaron estos resultados de Huggins se observó que eran contrarios á los últimos del P. Secchi, lo que creaba cierta dificultad; Vogel se ocupó tambien de este asunto y halló en algunas estrellas resultados conformes con los del sabio jesuita, y en otros casos desemejantes.

Recordando que al emplear el número necesario de prismas para producir un espectro estelar de largo suficiente, se debilita tanto la luz que la comparacion exacta de las líneas oscuras de la estrella con las brillantes de los elementos terrestres es de una dificultad extremada; y si además se tiene presente que muchas bandas oscuras del espectro estelar están mal definidas en sus cantos y como la raya F del espectro de Sirio que es algo débil y de anchura variable, no debemos de tener una confianza absoluta en los resultados de estas observaciones, que en opinion de todos los astrónomos, deben recibirse con cierta incredulidad.

Con objeto de evitar en lo posible las grandes dificultades inherentes á la medicion de las pequeñísimas dislocaciones lineales de los espectros estelares, trató Zöllner de construir un espectroscopio, de tal disposicion, que el valor dispersivo fuera doble sin que se disminuyera al propio tiempo el brillo del espectro.

La construccion de este nuevo instrumento, llamado por Zöllner espectroscopio de inversion, es como sigue. La línea luminosa

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

formada por una ranura ó lente cilíndrica cae en el foco de una lente que, como en todos los espectroscopios, hace paralelos los rayos divergentes, esto es, en el foco de una lente colimadora; luego pasan los rayos á través de dos prismas compuestos, de vision directa, muy inmediatos entre si y de tal modo dispuestos que sus ángulos horizontales de reflexion se encuentren en lados contrarios, de modo que cada uno de ellos trasmite la mitad del haz que sale de la lente colimadora, descomponiendo así la totalidad de los rayos en dos espectros enviados en direcciones opuestas.

El objetivo del anteojo que une otra vez los rayos en una sola imágen, está dividido en una direccion perpendicular á la posicion horizontal de los ángulos de reflexion de los prismas, y cada mitad está dotada de un movimiento micrométrico, tanto en sentido paralelo como perpendicular á la línea de separacion. De este modo es posible hacer coincidir sucesivamente las líneas de un espectro con las del otro, y tambien colocar ambos espectros, á voluntad, en exacta yuxtaposicion, de manera que uno de ellos puede moverse debajo del otro como un nonio. Con esta construccion no solo se hace uso del delicado y sensible método de la doble imágen para apreciar cualquier cambio en la longitud de onda de las líneas espectrales, sino que cada variacion se duplica, porque su influjo se ejerce en distinta direccion en cada espectro.

Pudo Zöllner determinar con el espectroscopio de inversion la distancia entre las líneas D del espectro solar con un error probable de $^1/_{126}$ de esta distancia; si la distancia entre la fuente de luz y el observador cambiase con una velocidad de 6 leguas por segundo (que es poco mas ó menos la velocidad de nuestro globo) se produciria en el espectroscopio de Zöllner una dislocacion de las líneas espectrales igual á $^1/_3$ de la distancia entre las rayas D, cantidad casi cuarenta veces mayor que el error probable del instrumento.

En el Observatorio de Greenwich, modelo de esta clase de establecimientos, se repitieron algunas de las mediciones de Huggins á que antes hicimos referencia, y se obtuvo para Wega una velocidad de 5 leguas escasas, y para varias estrellas movimientos negativos, esto es, de recesion; el del Aguila era muy incierto y el de *alfa* de Pegaso de 5 leguas. Las estrellas, *beta*, *gamma*, *delta*, *epsilon* y *zeta* de la Osa mayor se alejan con una velocidad de 8 leguas por segundo, mientras que *alfa* y *eta* se aproximan. Siendo estos resultados contrarios á los que con frecuencia se obtuvieron en el mismo Observatorio y para las mismas estrellas, como manifiestan los cuadros publicados por el Director, y la enorme aberracion entre unas y otras observaciones, creyó el P. Secchi que en este punto pudiera existir algun error sistemático.

Emprendió con este motivo una investigacion concienzuda sobre las causas de error que pudieran ocurrir en este género de observaciones; el P. Secchi, aun antes de terminar por completo sus trabajos sobre este punto difícil, creyó poder asegurar que muchas de estas desviaciones podian consistir en verdaderos defectos del instrumento, y que aun prescindiendo de la duda que reina todavía sobre el principio teórico, carecemos de un medio práctico bastante seguro para determinar tales elementos. Despues de los estudios del ilustre jesuita, repitió Christie las observaciones en Greenwich y en un todo se halló conforme con Huggins. Langley tambien confirmó algunos de estos resultados respecto de la rotacion del Sol; pero á pesar de todo, aun hay motivo para dudar, tratándose de cantidades tan sumamente pequeñas. Además hay que advertir que el resultado experimental no bastaria para resolver la duda teórica, puesto que las variaciones espectrales podrian depender exclusivamente del movimiento verdadero de la Tierra, que se acercaria y alejaria de las estrellas, y no

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

porque estas se acercaran ó apartaran de nosotros. Por otra parte, si se evitasen estas dificultades prácticas y quedase fuera de duda la teoría, podríamos por tal medio llegar á explorar el movimiento propio, aun en la direccion del rayo visual, y componiéndolo con el movimiento lateral indicado por las observaciones meridianas, se podria determinar la resultante, al menos por aproximacion. Mas por ahora la pequeñez de la desviacion juntamente con las vacilaciones teóricas y con la dificultad de los experimentos hace que no nos inspire este método la misma confianza que los demás de la astronomía.

Para demostrar que con esto no exageramos las dificultades, diremos que el espectroscopio indicaba que el famoso cometa de Coggia de 1874, se acercaba á la Tierra con una velocidad de 18 leguas por segundo, y que en realidad resultó ser solo de 9.

VIII

Espectros de las nébulas y de los cúmulos estelares

Vamos ahora á ocuparnos del análisis espectral de los cuerpos mas lejanos que se conocen, de las regiones de los conglomerados de estrellas y de las nébulas que solo se perciben con el auxilio de los telescopios mas poderosos. Cuando se observa la celeste bóveda con un anteojo de mediano poder óptico, se perciben muchas nebulosas y cúmulos estelares que se destacan sobre el fondo oscuro del cielo, que á primera vista se tomarian por nubes pasajeras, pero que por la permanencia de sus formas se demuestra que son cuerpos celestes, aunque de carácter muy distinto del de los puntos luminosos llamados estrellas. Herschel pudo con su gigantesco telescopio de 14 metros resolver muchas de estas nebulosas en cúmulos de estrellas que solo eran grupos de soles individuales, en los que se podian separar y contar claramente millares de estrellas fijas, pero que distan tanto de nosotros que no nos es posible percibir el espacio que media entre ellas, por mas que sea en realidad de varios millones de leguas, y su luz, con una mediana amplificacion, parece que proviene de una masa débilmente luminosa.

Pero todas las nébulas, y el lector ya lo sabe, no se resuelven con el telescopio, y á medida que las nebulosas anteriores se convertian en estrellas, aparecian otras nuevas que resistian á un poder de 6,000, sugiriendo á su profundo investigador la teoría de que además de los millares de nébulas aparentes que se revelan á nuestra vista como sistemas de mundos separados y completos, hay todavía miles de nébulas reales en el universo, compuestas de la primitiva materia cósmica de la que habian de formarse los mundos futuros.

Lord Rosse, por medio de su telescopio de 17 metros de distancia focal, construido con sus propias manos, pudo resolver en estrellas muchas de las nébulas que resistieron á la potencia del instrumento de Herschel, pero en este caso tambien aparecieron nuevas nebulosas superiores al poder del inmenso telescopio.

Los telescopios, pues, no bastan para zanjar la cuestion y aveiguar si las nébulas irresolubles son ó no porciones de la primitiva materia de que se formaron las estrellas existentes; en este punto nos dejan en la mayor incertidumbre y por su medio no podemos saber si estas nébulas son masas de gas luminoso, que en el curso de los tiempos pasan por los varios estados de líquidos incandescentes (el Sol y las estrellas fijas), de escorias, ó formacion gradual de superficies frias y no luminosas (la Tierra y los planetas), y finalmente de congelacion completa (la Luna) ó si existen como sistemas de mundos distintos y perfectos; los telescopios sirvieron para plantear el problema sin simplificarlo ni resolver sus dificultades.

El misterio que no alcanzaba á revelarnos la potencia de los telescopios mas poderosos se ha descubierto el instrumento

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

insignificante en la apariencia, pero en realidad muy delicado y de sensibilidad casi infinita, que llamamos espectroscopio; á este modesto aparato debemos el saber con certidumbre que en la época presente existen nébulas luminosas como cuerpos aislados en el espacio, y que estos cuerpos son masas de gas luminoso.

El espléndido edificio trazado por Kant en su *Theorie des Himmels* en 1755 y construido por Laplace cuarenta y un años despues, ha recibido el apoyo mas sólido con los descubrimientos del espectroscopio; este aparato, en combinacion con el telescopio, nos da medios de averiguar algunas nuevas fases por que han debido pasar el Sol y los planetas en su proceso de desarrollo, ó transicion desde masas nebulares luminosas hasta su condicion presente.

En las formas de las nébulas se observa una gran variedad; mientras que unas son caóticas é irregulares y á las veces en extremo fantásticas, otras muestran las puras y hermosas curvas de una media luna, de un globo, ó de un círculo. Cierto número de las mas características fué fotografiado en cristal á instancias de Huggins, y últimamente se agregaron algunas otras, reproduciendo los delicados y exactos dibujos de Lord Rosse; se venden en las tiendas de los ópticos de Paris y Lóndres y están dispuestas de modo, que se pueden proyectar en la pantalla por medio de la lámpara eléctrica ó de la luz oxhídrica para que se estudien por un auditorio numeroso.

Es tan interesante este estudio, que á nuestro pesar creemos necesario repetir algunas de las descripciones presentadas en las páginas anteriores, con objeto de que el lector tenga presente los caractéres peculiares de estas formaciones maravillosas. La mayor y mas irregular de todas las nébulas se halla situada en la constelacion de Orion, casi debajo de las estrellas de segunda magnitud que componen el Cinturon ó las tres Marías; es visible á la simple vista, pero la dificultad de efectuar un mediano dibujo de este objeto es tan grande, y tanta la discrepancia de los que en diversas épocas han hecho los astrónomos, que se cree que su forma cambia con el tiempo, al menos en las porciones mas brillantes. En la fig. 355 se representa la parte central de la nébula, y mejor puede verse aun en la lámina; cuatro estrellas brillantes formando un trapecio están situadas en la region del centro, y una solo de ellas es visible á la simple vista; el color de la nébula es blanco verdoso, y largas porciones se extienden en ramas curvas que irradian aparentemente desde las partes mas brillantes.

Mucho menos irregular en la apariencia, es la Nube mayor de Magallanes ó Nubes del Cabo, pues son dos, situadas en el hemisferio austral; la magnitud de una de ellas viene á ser como de cinco veces la de la Luna; se ven distintamente á la simple vista, y son tan brillantes que sirven de marcas para reconocer los cielos y para calcular la hora de la noche.

El interés que despiertan estas nébulas irregulares y caóticas, se aumenta, si cabe, por el fenómeno de las nébulas espirales reveladas por los gigantescos instrumentos de Lord Rosse y de Bond. Como regla general, irradian de uno ó mas centros de materia luminosa innumerables ramas encorvadas en forma de espira que se disipan por un extremo en el espacio. Tambien hay algunas que no llegan á formar la espiral, como la del Navío, que parece la cola de un cometa (fig. 356).

Apenas se puede comprender que exista un sistema de tal forma nebulosa sin movimiento interno; el núcleo brillante, de igual manera que las ramas, se encorva en la misma direccion, lo que parece indicar una acumulacion de materia hácia el centro con un aumento gradual de densidad y movimiento rotatorio. Pero si en combinacion con este movimiento suponemos que exista un medio resistente, es difícil armonizar un sistema semejante con las leyes

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

conocidas de la mecánica; presentan, por consiguiente, un interés extraordinario las delicadas medidas que pudieran tomarse con objeto de averiguar si se producen algunos cambios en la forma de estos cuerpos que indiquen un movimiento rotatorio; por desgracia estas mediciones son muy difíciles é inseguras por la falta de contorno y la extremada debilidad de estos objetos nebulosos.

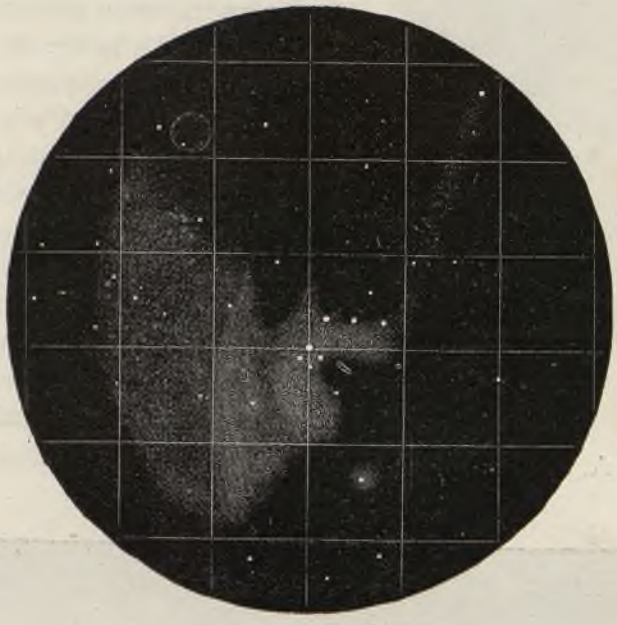


Fig. 355.—Gran nébula de Orion

El estado de transicion de la forma espiral á la anular, se demuestra en la nébula



Fig. 356.—Nébula del Navío llamada la hoz

que se representa en la fig. 68-1 de este tomo y corresponde al catálogo de Herschel núm. 604; entonces pasa á la forma simple ó compuesta de las nébulas anulares, cuyo tipo se encuentra en la constelacion de la Lira.

El espacio comprendido dentro de estos anillos elípticos no es por completo oscuro y se encuentra á veces ocupado por una luz débil y nebulosa, ó tambien en muchos casos por un núcleo brillante á cuyo alrededor se extienden varios círculos ó una masa uniforme nebulosa.

Segun que las nébulas nos presentan la superficie ó el borde, ó segun que nuestra visual es perpendicular ó mas ó menos oblicua respecto del plano del anillo, se aproxima su forma á un círculo, á un anillo ó á una elipse, y á veces tambien á una línea recta; cuando un anillo elíptico está muy alongado y el eje menor es mucho mas pequeño que el mayor, la densidad y brillo del aro disminuye á medida que su distancia al núcleo central decrece; esto tiene lugar hasta tal extremo en algunos casos, que los puntos mas apartados del anillo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dejan de ser visibles y parece que se rompe la continuidad; en este caso presentan el aspecto que se reproduce en la fig. 358.



Fig. 357.— Nébula elíptica

Las nébulas que presentan un borde medianamente acusado de forma circular ó ligeramente elíptica, parecen pertenecer á un estado de desarrollo muy superior. Por su semejanza con los planetas que brillan con luz blanca ó azulada, se les ha dado el nombre de nébulas planetarias; sus formas, no obstante, son muy diversas, pues unas parecen anulares y otras espirales. En la fig. 63-1 se representa una de estas nébulas planetarias, con dos estrellas centrales ó núcleos, rodeados por un espacio oscuro, detras del cual se distinguen las ramas espirales.

El tipo mas elevado de las nébulas es, sin duda alguna, el de las estrellas nebulosas, que se componen de una estrella de bastante brillo rodeada de una atmósfera ó disco circular luminoso, que unas veces se termina bruscamente y otras se disuelve de un modo gradual en el espacio.



Fig. 358.—Nébula doble

Hemos estudiado ya en el capítulo III del Libro IV todo lo que en la actualidad se sabe acerca de estos objetos maravillosos, segun las revelaciones de los telescopios de mas potencia; los informes que nos da el espectroscopio son mucho mas importantes, puesto que este instrumento nos ha revelado la naturaleza y constitucion

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de tan remotos cuerpos celestes. Debemos recordar aquí otra vez, que el carácter del espectro no solo indica cuál es la sustancia que emite la luz, sí que tambien su estado físico. Si el espectro es continuo y se compone de rayos de todos los colores ó grados de refrangibilidad, en tal caso el foco luminoso es un cuerpo *sólido* ó *líquido* en incandescencia; si por el contrario, se compone el espectro tan solo de *líneas brillantes*, entonces es seguro que la luz proviene de un *gas luminoso*; finalmente, si el espectro es continuo, pero se halla cruzado por líneas oscuras que interrumpen los colores, esto es indicio de que el foco luminoso es un cuerpo sólido ó líquido incandescente, pero que su luz ha pasado á través de una atmósfera de vapores de temperatura mas baja, que por su poder electivo de absorcion, extrae los rayos colorados que hubiera emitido el cuerpo si fuese luminoso por sí mismo.

Cuando Huggins dirigió por primera vez su tele-espectroscopio en agosto de 1864 á uno de estos objetos, que era la pequeña y brillante nébula 4374 del Catálogo de Herschel, halló con gran sorpresa, que el espectro en vez de ser una banda continua colorada como la de una estrella, consistia exclusivamente en *tres líneas brillantes*.

Esta sola observacion bastó para zanjar la cuestion por tanto tiempo debatida, á lo menos respecto de esta nébula particular, y para probar que no es cúmulo de estrellas distintas y separadas, sino un cuerpo gaseoso dotado de luz propia; en suma, ese espectro solo podria producirlo una sustancia en estado de gas. La luz de esta nébula, por consiguiente, es emitida, no por cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes, ni tampoco por gases en estado de extremada densidad, como sucede con el Sol y las estrellas, sino por un gas luminoso en estado sumo de rarificacion.

Con objeto de descubrir la naturaleza química de este gas, siguió Huggins el método usual de comparacion, y ensayó el espectro con las líneas de Fraunhofer y con las rayas brillantes de los elementos terrestres. La inspeccion de la fig. 359 muestra de una ojeada el resultado de estas investigaciones. La línea mas brillante (1) de la nébula coincide exactamente con la mas luminosa (N) del espectro del nitrógeno, que es doble. La línea mas débil de la nebulosa (3) tambien coincide con la azul-verdosa del hidrógeno H *beta*, ó lo que es lo mismo, con la F de Fraunhofer en el espectro solar. La línea media (2) de la nebulosa no coincidia con ninguna de las rayas brillantes de los treinta elementos terrestres con que se comparó; está muy cerca de la raya del bario B *alfa*, pero no llega á coincidir con ella.

Durante mucho tiempo se ocupó Huggins en averiguar por qué las líneas brillantes características de estos gases no son visibles en el espectro de la nebulosa; despues de Huggins se ocuparon del mismo asunto Secchi, Lockyer y Frankland. Todos estos observadores notaron, excepcion hecha del P. Secchi, que cuando se ilumina con la chispa eléctrica un tubo de Geissler lleno de hidrógeno ó de azoe y se coloca á cierta distancia de la ranura del espectroscopio, no solo aparece única la doble línea del nitrógeno, sino que las líneas luminosas restantes de ambos gases desaparecen por completo, menos las rayas que son visibles en el espectro de la nébula.

Frankland y Lockyer demostraron posteriormente que los espectros del hidrógeno y del nitrógeno á una temperatura baja y á una presion escasa, consisten únicamente en una sola línea en el verde, de lo que se deduce que *la temperatura de la nebulosa es inferior á la de nuestro Sol y que su densidad es muchísimo menor*.

El P. Secchi, en un opúsculo titulado: *Sulla grande nebulosa di theta Orionis*, publica un primoroso dibujo de este objeto magnífico y dice que halló por comparacion de la línea brillante del nitrógeno de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

la nébula con el espectro del nitrógeno terrestre, que corresponde á un espacio oscuro del espectro nitrogénico de primer órden y que á la vez coincide con una línea brillante del espectro de segundo órden. Como este espectro de segundo órden se produce por una chispa eléctrica de alta tension, deduce Secchi que la masa nebulosa debe hallarse en igual condicion que el nitrógeno terrestre en una corriente eléctrica de alta tension. Wüllner describe este estado y lo supone de temperatura muy elevada; Frankland y Lockyer afirman, por el contrario, que el espectro de segundo órden compuesto de pocas líneas brillantes pertenece á una temperatura mas baja que el espectro continuo de primer órden.

En estos últimos años volvió á ocuparse de este asunto Zöllner, quien por sus investigaciones sobre la analogía entre la luz emitida por las nébulas y la aurora boreal



Fig. 359.— Espectro de una nébula comparado con el del Sol y varios de los elementos terrestres

y la que se obtiene de los tubos de Geissler llega á la conclusion de que la temperatura de los gases inflamados en la nebulosa debe ser baja, por lo general, mientras que en los tubos de Geissler, por el contrario, es alta.

Muchos estudios habrá que hacer, sin duda alguna, antes de hallar el verdadero enlace y conexion que existe entre la tension de la corriente eléctrica y la temperatura y densidad del gas que por su medio se hace luminoso, y antes de que se pueda probar la exactitud de la suposicion de Huggins sobre la absorcion peculiar del espacio que haria que las otras líneas que se ven en el hidrógeno y nitrógeno terrestre se extinguiesen en la trasmision de la luz nebular á la Tierra.

Los primeros experimentos de Huggins demostraron respecto de los gases mencionados que cuando se disminuia la intensidad de su luz por cualquier medio, ya apartando la chispa de la ranura, ó bien por la interposicion de pantallas de cristal de color neutro, la línea de cada uno de los gases que coincidia con una de las líneas de la nébula era la última en desaparecer. Hasta ahora no sabemos qué es lo que pasa en la nebulosa, y si solo una línea de los gases que la componen se debe á la disminucion de su luz, por la trasparencia imperfecta del espacio inter-estelar que tiene que recorrer, ó si hay que atribuir el fenómeno á su débil luminosidad original.

Por comparaciones directas con la luz de una bujía halló Huggins que el brillo intrínseco de la nébula núm. 4628 es igual á $^1/_{1509}$; el de la nebulosa anular de la Lira corresponde á $^1/_{6032}$, y de la nébula de la Raposa á $^1/_{19604}$ de la intensidad de una bujía de esperma que quemase 160 granos por hora. Sobre estos resultados habria de influir la absorcion inter-estelar, dado caso que exista.

Todas las nébulas planetarias presentan el mismo espectro; las líneas brillantes aparecen con intensidad considerable en el espectroscopio y tienen bastante brillo

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

para que se les pueda comparar con las líneas luminosas del espectro de una bujía, aunque la nébula solo se perciba en el cielo como una estrella de novena magnitud; pero aunque las rayas de estos objetos se ven con toda distincion en circunstancias favorables, las líneas terrestres que han de servir para la comparacion no deben ser demasiado brillantes, y cuando se emplea la chispa de induccion hay que disminuir la intensidad de la luz interponiendo un cristal de color neutro.

El que se vean con tanta distincion las líneas de las nebulosas consiste en que su luz se halla concentrada en un corto número de rayas, mientras que la de la bujía se extiende en un espectro continuo; el principio es idéntico al que nos permite analizar el espectro de las protuberancias solares en pleno dia.

Durante los años de 1865 y 1866 examinó Huggins mas de sesenta nebulosas con el espectroscopio, principalmente con idea de averiguar si las que eran claramente resolubles con el telescopio en cúmulos de puntos brillantes, daban un espectro continuo ó compuesto de líneas luminosas. La extremada debilidad de estos objetos, y la circunstancia de que las investigaciones de esta clase pueden llevarse á cabo, únicamente, cuando no hay Luna y la atmósfera está por completo despejada, hace que la observacion espectroscópica de estos cuerpos celestes sea dificilísima, y los resultados inciertos. Unicamente repitiendo mucho las observaciones y las medidas por distintos astrónomos y en localidades diversas, se podrán anular las influencias perturbadoras y obtener resultados dignos de toda confianza.

Huggins divide las nebulosas en dos grupos.

1.° Nébulas que dan un espectro compuesto de una ó mas líneas brillantes.

2.° Nébulas que dan un espectro continuo en la apariencia.

Próximamente la tercera parte de las sesenta nebulosas observadas pertenecen al primer grupo; su espectro consiste en una, dos ó tres líneas brillantes; algunas muestran al propio tiempo un espectro continuo muy estrecho y débil. Son como sigue y sus números se refieren al catálogo general de Herschel.

NÉBULAS Y CUMULOS QUE DAN UN ESPECTRO CONTINUO SIN LÍNEAS

N.°	4373	37	H IV
	4390	6	
	4514	73	H IV
	4510	51	H IV
	4628		I H IV
	4447 nébula anular de la Lira.		
	4964		
	4532		Badajo.
	1189 nébula de Orion.		
	2102	27	H IV
	4214	5	
	4403	17	M
	4572	16	H IV
	4499	38	H IV
	4827	705	H II
	4627	192	H I
	385	76	M
	386	193	H I.
	2343	97	M
	4294	92	M
	4244	50	H IV
	116 nébula de Andrómeda.		
	117	32	M
	428 Andromedae.	55	
	826	2	H IV
	4670	15	M
	4678	18	H V
	105	151	H I
	307	156	H I
	575	156	H I
	1949	81	M
	1950	82	M
	3572	51	M
	2841	45	H V
	3474	63	M
	3636	3	M
	4058	215	H I
	4159	1945	h
	4230	13	M
	4238	12	M
	4244	50	H IV
	4256	10	M
	4315	199	H II
	4357	11	M
	4437	11	M
	4441	47	H I
	4473 Awers.	44	
	4485	56	M
	4526	2081	h
	4625	52	H I
	4600	15	H V
	4760	53	H I
	4815	233	H II
	4821	251	H II
	4879	212	H I
	4883		

Las fotografías sobre cristal que obtuvo Huggins de los dibujos mas interesantes de las nébulas gaseosas, comprendian tambien sus espectros lineales, de manera que entrambas representaciones pueden á un tiempo mismo proyectarse en la panta-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lla. La figura 360 se refiere á la nebulosa planetaria anular de la constelacion de Acuario, segun un dibujo de Lord Rosse; la nébula, cuyo anillo se nos presenta por su canto, ofrece un espectro de tres líneas brillantes, de las cuales, una se debe al nitrógeno y otra al hidrógeno.

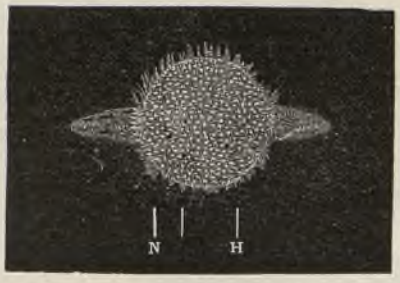


Fig. 360.—Nébula anular planetaria de Acuario con su espectro

La fig. 361 representa otra nébula, en escala mayor, tambien segun un dibujo de Lord Rosse; su estructura es esencialmente la misma que la de la anterior: una masa gaseosa brillante rodeada por un anillo brillante tambien, cuya superficie completa se dirige hácia nosotros, de modo que la forma de este cuerpo celeste es muy distinta de la que nos muestra el anterior; su espectro consta tambien de tres líneas brillantes.



Fig. 361.—Nébula estelar (H 450)

La nebulosa (H 4964) representada en la figura 362 demuestra, á primera vista, que es de carácter espiral; es muy notable á causa de su espectro que contiene cuatro líneas brillantes, dos de las cuales indican hidrógeno y una nitrógeno.

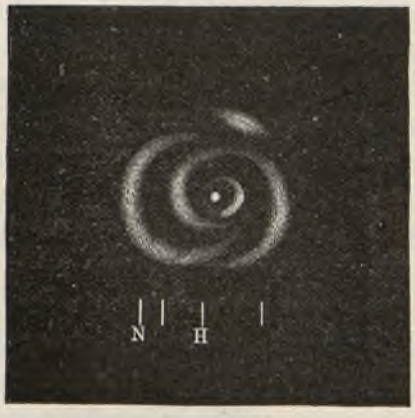


Fig. 362.—Nébula espiral (H 4964) con su espectro

El espectro de la nébula anular de la Lira (H 4447) consta, por el contrario, de una sola línea brillante que corresponde al nitrógeno. Cuando se dirige el espectroscopio á la nébula, de tal modo que la rajura la corte, aparece la línea brillante compuesta de dos rayas luminosas tambien, que corresponden á los segmentos superior é inferior del anillo. Estas dos líneas están unidas por una pequeña banda, que muestra que la débil porcion interior de la nébula es de la misma sustancia que la del anillo que la rodea.



Fig. 363.—Nébula anular de la Lira con su espectro

La gran nébula de Orion ha sido objeto de grandes investigaciones espectroscópicas; su espectro se compone de tres líneas brillantes muy notables, una de las cuales indica asimismo, la presencia del nitrógeno y otra la del hidrógeno.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Ultimamente repitió Huggins sus primitivas observaciones con instrumentos de poder mucho mayor, y comparó en particular estas dos líneas con las de los gases terrestres, en circunstancias en que daban un espectro cuatro veces mas largo que el que obtuvo en sus trabajos anteriores. El resultado de estas observaciones, seguidas durante varias noches, demostró la coincidencia completa, aun en este espectro tan extenso, de las líneas nebulares con las de los gases, de modo que ya no es posible dudar en lo respectivo á la identidad de estas rayas. La Memoria que sobre sus trabajos acerca de la gran nébula de Orion presentó Huggins á la Real Sociedad de Lóndres, es en extremo interesante por los detalles que da sobre la manera de proceder en sus investigaciones para evitar las dificultades que á cada paso se presentaban. Dice así: «En mi primera descripcion de esta nébula dije que la luz de todas las regiones de este maravilloso objeto era bastante fuerte para poderlas observar con mi instrumento, y conseguí que se resolviera en tres líneas brillantes parecidas á las que se representan en la pantalla. En la ocasion presente me ocupé, en primer lugar, de efectuar una comparacion tan escrupulosa como me fuera posible, entre el brillo de la línea mas fuerte y la línea correspondiente del espectro del nitrógeno.

»Mis primeras observaciones se llevaron á efecto con la luz de la chispa de induccion, que pasaba á través de un tubo cerrado á la lámpara, lleno de nitrógeno puro á una tension algo menor que la de la atmósfera, y que se reflejaba en el interior del instrumento por medio de un espejo y un prisma pequeño, de igual manera que en mis primeros ensayos. Tomé todas las precauciones imaginables para comprobar la exactitud de la posicion del espectro de comparacion, relativamente al de la nébula, colocando una pequeña lámpara delante del objetivo del modo ya descrito.

»La coincidencia de la línea de la nébula con la mas brillante de las líneas del nitrógeno, aunque sometida ahora á una investigacion mucho mas minuciosa, apareció tan perfecta como en las primeras observaciones. Creí que llegaría á descubrir alguna duplicidad en la línea de la nébula que correspondiese á las dos rayas componentes de la línea del nitrógeno; pero no me fué posible percibir la línea doble despues de una investigacion muy delicada; la raya de la nébula era mas estrecha que la doble del nitrógeno; esta última hubiera podido aparecer mas ancha á causa de la irradiacion, y era mucho mas brillante que la línea de la nebulosa.

»Delante del objetivo, y en la direccion de uno de sus diámetros se colocaron los electrodos de platino, de manera que la chispa estuviese lo mas cerca posible del centro de la lente; la chispa se hacia saltar en el aire. Aguardaba que el espectro fuese muy débil por las razones expuestas en mi comunicacion anterior, y me sorprendió mucho que tan solo una línea fuera visible en el gran espectroscopio al adaptarlo al tubo ocular del anteojo; esta línea coincidia con la de la nébula, de modo que en estas circunstancias el espectro del nitrógeno aparecia precisamente análogo al espectro de las nebulosas, cuya luz es, en la apariencia, monocromática. Este parecido se acusaba mas por la debilidad de la línea, por cuya causa aparecia mucho mas estrecha sin que se pudiera vislumbrar la existencia individual de sus dos componentes.

»Cuando observaba al mismo tiempo que esta línea, la correspondiente á la nebulosa, ví que se presentaba algo mas ancha; al completar el circuito de la batería coincidia la línea de la chispa tan exactamente con la raya nebular, que á la vista producia el efecto de un aumento de brillo repentino en esta última línea. Con objeto de efectuar la observacion y de comparar el aspecto relativo de las rayas, hice girar el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

anteojo de modo que la luz de la nébula ocupase la mitad inferior de la ranura. Entonces se vió la línea de la chispa algo mas ancha que la de la nébula, apareciendo como continuacion suya en una sola línea recta. Estas observaciones se repitieron muchas veces en distintas noches.

»Una falta aparente de coincidencia, que pudiera representarse por 0,02 de las divisiones de la cabeza tornillo micrométrico, seria la mas pequeña diferencia que se podria observar en las circunstancias en que se hizo la observacion. En la region del espectro en que aparece la línea del nitrógeno, el intervalo angular medido por 0,02 divisiones del micrómetro, corresponde á una diferencia en la longitud de onda de 0,0460 millonésimas de milímetro.

»En la época en que se llevaron á cabo las observaciones, se alejaba la Tierra de la region del cielo en que se halla situada la nébula, con la mitad de su velocidad de traslacion. Si se acepta que la velocidad de la luz sea de 75,000 leguas por segundo, y la longitud de onda del nitrógeno de 500,80 millonésimas de milímetro, el efecto de la mitad del movimiento de traslacion hubiera consistido en disminuir la refrangibilidad de la línea en 0,023, alteracion en la longitud de onda que corresponderia poco mas ó menos á 0,01 de la cabeza del gran micrómetro, cuyo intervalo es demasiado pequeño para que se pueda percibir.

»Estas observaciones nos enseñan que si la línea estuviese emitida por el nitrógeno, no se alejaria la nébula de nosotros con una velocidad superior á 4 leguas por segundo, pues este movimiento, sumado al de la Tierra en su órbita, hubiera producido una falta de coincidencia perceptible en el instrumento; además, que si la nébula se aproxima á nuestro sistema su velocidad pudiera ser tan considerable como de ocho ó diez leguas por segundo; su movimiento de aproximacion se ocultaria en parte á causa de la direccion opuesta que sigue el de la Tierra.

»La doble línea del espectro del nitrógeno no consiste en líneas perfectamente definidas y cortadas, sino que cada componente se presenta nebulosa y de ancho mayor que la imágen de la ranura; la anchura de estas líneas aparece relacionada con las condiciones de tension y temperatura del gas. Plücker afirma, que cuando se usa una chispa de induccion de gran potencia calorífica, se extienden las líneas hasta que llegan á unirse y forman una banda individual. Aun en el caso de haber duplicidad, deja el ojo de tener poder para percibir las líneas componentes si la intensidad de la luz se disminuye de un modo considerable.

»Aunque por mi parte no he podido comprobar la duplicidad de la línea correspondiente de la nébula, seria posible hallarla si se la observara en condiciones mas favorables; me inclino á creer que es simple.

»En mis tablas de las líneas del aire, estimé el brillo de cada una de las componentes de la doble línea en el espectro del nitrógeno como 10, y las componentes de la línea doble que le seguia en brillo en el anaranjado como 7 y 5, y las de una tercera línea doble en el lado menos refrangible de D como 6 y 4. Con referencia á estas dos líneas dobles dije al hablar del espectro de la nébula que si, no obstante, se debia esta línea al nitrógeno, habrian de verse otras líneas con igual facilidad, pues en particular hay dos fuertes líneas en el espectro del nitrógeno, una de las cuales, al menos, si existe en la luz de la nébula, debiera ser visible sin esfuerzo.

»Como la desaparicion de todo el espectro del nitrógeno, á excepcion de una sola línea doble, no se esperaba, por mas que en conformidad con mis primeras investigaciones examiné el espectro del nitrógeno con un espectroscopio de un prisma, de un ángulo de refraccion de 60° en el que la totalidad del espectro de C á G, se comprende en el campo visual, traté de mover entre el ojo y el pequeño analizador del es-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

pectroscopio una cuña de cristal de color neutro corregida de refraccion por medio de otro prisma semejante, pero de crown, y hallé que era sensiblemente igual en poder absorbente en las diversas partes del espectro visible. Cuando la parte mas oscura de la cuña ó prisma se colocaba delante de la vista, los dos grupos del anaranjado se extinguian casi por completo, mientras que las líneas del verde permanecian aun con brillo considerable. La línea que en estas circunstancias permanecia mas tiempo visible, despues de la mas brillante, era algo mas refrangible en el núm. 2,669 de la escala de mi mapa. Esta observacion se hizo con ranura estrecha.

»Cuando observé la chispa de induccion á una distancia de varios metros, con un prisma de vision directa colocado inmediatamente delante del ojo, me quedé sorprendido al ver que la doble línea del anaranjado aparecia mas brillante en el espectro, y cuando se interponia la cuña neutra, desaparecian todas las demas quedando esta solo visible.»

Recientemente se ha observado una cuarta línea en el espectro de esta nebulosa, por el capitan Herschel, por lord Rosse y tambien por el profesor Winlock del Observatorio del Colegio de Harvard, que es la misma que antes distinguió Huggins en la nébula H 4964 (fig. 362) y que aparentamente pertenece al hidrógeno. Este último observador indica que es muy probable que existan otras líneas débiles en este espectro, las que solo han de ser visibles con instrumentos mas poderosos.

Todos los cúmulos estelares que se dividen con el telescopio en puntos individuales brillantes, dan un espectro continuo sin líneas luminosas ni sombras oscuras. Hay, sin embargo, algunos ejemplos de nébulas resolubles, v. gr., la de Hércules, que presentan espectros distintos y particulares que constan de bandas y líneas oscuras. El espectro de esta nébula se termina bruscamente en el naranja en el lugar que ocupa la raya D, y aparece de brillo desigual, pero no se tiene certidumbre absoluta de que conste de líneas oscuras ó brillantes, por mas que sea esto último muy probable. Seria, pues, muy importante el investigar hasta qué punto y manera concuerda la clasificacion de las nébulas segun el espectroscopio, con la que se obtiene del análisis telescópico.

En la siguiente tabla se encuentran los elementos que ha reunido lord Oxmantown acerca de este punto interesante, habiendo el mismo observador con el gran telescopio de su padre revisado todas las observaciones efectuadas de las nébulas y cúmulos que fueron examinadas por Huggins.

	Espectro continuo	Espectros de líneas
Cúmulos	10	0
Resueltos ó aparentemente resueltos.	10	0
Resolubles ó aparentemente resolubles..	5	6
Azules ó verdes sin resolucion.	0	4
Sin resolucion aparente. . . .	6	5
	31	15
No observados en el telescopio de lord Rosse..	10	4
Total.	41	19

La mitad de las nébulas que dan un espectro continuo se han resuelto en estrellas, y próximamente una tercera parte mas son probablemente resolubles; de las que presentan un espectro lineal ni una sola ha sido resuelta de un modo cierto por lord Rosse. Considerando la extremada dificultad que va unida á las investigaciones de este género, apenas hay motivo para dudar de que haya un completo acuerdo entre los resultados del telescopio y del espectroscopio, y por lo tanto, las nébulas que dan un espectro de líneas brillantes deben considerarse como masas de gases luminosos, siendo sus principales componentes el hidrógeno y el nitrógeno.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO IX

I

Análisis espectral de los cometas

Ademas de los planetas que frios ya, ó en proceso de enfriamiento, obtienen su luz del incandescente Sol á cuyo alrededor giran en órbitas fijas y determinadas, siguiendo todos ellos su camino en un mismo plano casi á través de las estrellas del Oeste al Este, aparecen de vez en cuando unas estrellas errantes de aspecto especial que, por sus rápidos cambios de forma y tamaño, su fantástico contorno y su brillante luz, han sido en todo tiempo motivo de admiracion y asombro. Estos notables huéspedes del mundo sidéreo son ya conocidos del lector, pues al estudio de los cometas destinamos un buen espacio en el primer tomo de esta obra.

Ahora resumiremos brevemente lo que dijimos sobre este asunto, con objeto de entrar en el problema de su análisis espectrométrico mejor preparados y con todos los conocimientos que adquirimos, presentes en nuestra memoria.

Han conseguido los astrónomos averiguar con toda precision las leyes del movimiento de estos viajeros de las profundidades del espacio, pero en cuanto á saber algo acerca de su constitucion física, las dificultades que se han encontrado superan aun á las que ofrecen las nébulas. Cuando se les percibe por primera vez, se efectua su movimiento evidentemente en torno del Sol, pero con gran frecuencia en órbitas tan alongadas que casi no merecen el nombre de elípticas, las cuales forman entre sí toda clase de ángulos y siguen diversas direcciones, unas veces de Oeste á Este como los planetas, y otras en sentido opuesto. Algunos de estos cuerpos singulares se mueven en órbitas cerradas alrededor del Sol, con un período de revolucion regular; otros provienen de los abismos del universo y se presentan inesperadamente en nuestro sistema, retirándose á poco para no volverlos á ver jamás.

Hay cometas periódicos que efectuan su revolucion en un tiempo relativamente corto como de 3 á 76 años, pero otros como los de 1858, 1811 y 1844 invierten en completar su circuito 2,100, 3,000 y 100,000 años respectivamente. Se observan tambien diferencias de magnitud proporcionada, en relacion á los puntos de mayor aproximacion y alejamiento del Sol. El cometa de Encke se acerca al astro central de nuestro sistema doce veces mas en su perihelio que en su afelio; algunos de ellos, con una órbita que se extiende mas allá de la de Júpiter, se aproximan tanto al Sol que casi rozan su superficie. Newton suponia que el cometa de 1680 se acercó al Sol hasta tal punto que su temperatura hubo de ser unas dos mil veces superior á la del hierro fundente; á su mayor aproximacion distaba del astro central la sexta parte de su diámetro. El cometa de 1843

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tambien estuvo tan cerca del Sol en su perihelio, que pudo verse en plena luz del dia.

Muchos cometas presentan un disco planetario mas ó menos brillante que se llama núcleo, rodeado de una envoltura nebulosa que es la cabellera ó coma; estas dos partes forman la cabeza del cometa. En casi todos los cometas visibles á la simple vista, arranca de la cabeza un abanico luminoso, que es la cola, compuesto de una ó mas ramas brillantes de ancho y longitud variables, rectas unas veces, curvas otras, pero casi siempre dirigidas al lado contrario al Sol y formando la prolongacion de la recta que une el cometa y el globo central. Por otra parte, los cometas telescópicos carecen de cola generalmente, de manera que presentan el aspecto de una nebulosa de estructura mas ó menos regular y dotada de condensacion central.

Los cometas son trasparentes en toda su extension y no producen refraccion en la luz de las estrellas que se observan á su través. Recordaremos que Bessel vió una estrella fija á través del cometa de Halley y Struve otra á través del cometa de Biela ó Gambart, cuando distaban únicamente algunos segundos del centro del núcleo que en ambos casos pasó sobre las estrellas sin ocultarlas ni hacerles perder la menor cantidad imaginable de luz; por las escrupulosas medidas que se tomaron entonces y el movimiento calculado del cometa se demostró que la posicion de la estrella no cambió en lo mas mínimo por la refraccion de la luz.

Análogas observaciones se efectuaron respecto del cometa de Donati de 1858, y del que apareció en julio de 1861; muy cerca de la cabeza del primero, en donde el principio de la cola tenia unas 20,000 leguas de espesor, se veia la estrella Arcturo que brillaba con el mismo esplendor de siempre; el cometa de 1828 tenia un núcleo de 200,000 leguas de diámetro, y sin embargo, pudo columbrar Struve á través de este espesor considerable, una estrella de undécima magnitud, hecho que justifica la conclusion de Babinet deducida de sus propias observaciones, de que los cometas no ejercen influjo de ninguna especie sobre la luz de las estrellas, y que las de décima y undécima magnitud y aun menores todavía, pueden columbrarse á través de sus masas sin perder en lo mas mínimo su luz ni su color.

El núcleo de los cometas se modifica sensiblemente, tanto en su tamaño, como en su densidad, á medida que se aproximan al Sol; pero como no presentan un contorno claramente definido ó límite marcado, es muy difícil medir su diámetro con exactitud; los cometas de 1798 y 1805 tenian un núcleo cuyos diámetros median respectivamente 9 leguas y 11 leguas; el del gran cometa de 1811 llegó á alcanzar un diámetro de 150 leguas, al paso que el de 1843 alcanzó 1,900 leguas y el de 1845 nada menos que 3,000 leguas. El cometa de Donati midió el 1.° de setiembre de 1858, 5,600 leguas de diámetro y el 25 del mismo mes no pasaba de 615 leguas.

La envoltura nebulosa ó coma, se halla tambien sujeta á cambios de forma y de tamaño segun que el cometa se aproxima ó aleja del Sol; hay que suponer que la cola al aproximarse al Sol se extenderá y rarificará en extremo por su calor excesivo, pero en el núcleo se observa lo contrario exactamente, aunque no en todos los casos. En el cometa de Encke, por ejemplo, en el año de 1838, el diámetro de la cabellera el 9 de octubre era de 115,000 leguas, el 25 del mismo mes de 50,000 leguas, el 23 de noviembre de 15,000 y el 17 de diciembre tan solo de 1,200 leguas.

La cola es la prolongacion de la cabellera y en muchos casos se dirige en sentido contrario al del Sol, ya se aparte el cometa de este astro, ya se acerque á él en el curso de su órbita. La fig. 364 indica con toda claridad la posicion de las colas respecto del astro central del sistema solar; la cola

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

se representa encorvada con el lado convexo vuelto en direccion del movimiento del cometa; al propio tiempo este se presenta mas acusado que el correspondiente á la parte cóncava, como si algun medio resistente impidiera el progreso de la cola obligándola á permanecer atrasada. Esta posicion, empero, no la conserva siempre la cola, y se han visto cometas cuya cola se dirigia hácia el Sol y otros dotados de varias colas dispuestas en direcciones contrarias.

A medida que un cometa se aproxima al Sol aumenta por lo regular su coma, de modo que parece que el luminar del dia, ya por la accion del calor, ya por otra causa, contribuye esencialmente á la formacion de la cola y produce una separacion de las partículas materiales de la cabeza del cometa. La longitud de la cola rara vez es inferior á 200,000 leguas y en algunos casos se extiende á 40 y 50 millones de leguas; la anchura de la cola del gran cometa de 1811 era de unos cinco millones de leguas y su largo de 44 millones; la cola del segundo cometa del propio año me-

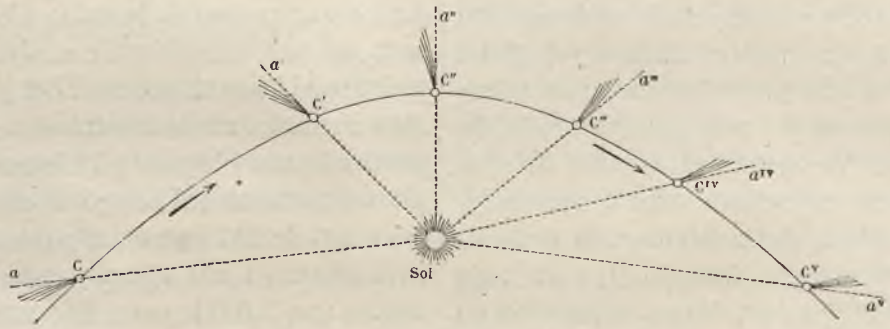


Fig. 364.—Posicion de las colas cometarias respecto del Sol

dia 46 millones de leguas; y sin embargo, la formacion de la cola tiene lugar en un espacio de tiempo muy corto, á veces de varias semanas, y aun de algunos dias.

El influjo que sobre la formacion de la cola ejerce su distancia al Sol se hizo patente con el cometa de 1680, pues cuando se hallaba en su perihelio caminaba con una velocidad de 480,000 leguas por hora y en dos dias desarrolló una cola de 21 millones de leguas de longitud.

Fácilmente se concibe que en tales circunstancias la masa de un cometa debe ser excesivamente pequeña; es muy probable que nuestra Tierra pasara el 30 de junio de 1861 á través de la cola del magnífico cometa llamado de Julio (fig. 365) que apareció repentinamente en los cielos, como por encanto, el 29 de junio sin que hubiera indicio de semejante contacto, salvo una fosforescencia particular de la atmósfera observada por Hind y tambien en el Observatorio de Liverpool. Del propio modo el cometa de 1776 pasó entre los satélites de Júpiter sin perturbarlos ni lo mas mínimo en sus posiciones relativas; no ocurrió lo mismo, empero, al cometa, porque la influencia de aquel astro colosal fué tan grande sobre la pequeña masa del cometa que lo desvió completamente de su camino arrojándolo en otra órbita del todo distinta, que en la actualidad recorre en unos veinte años.

Recordaremos tambien, antes de someter estos cuerpos al análisis prismático, el notable fenómeno que ofrecen los cometas de dividirse en dos porciones distintas, siguiendo cada una de ellas su órbita particular y como si fuesen dos cometas independientes; un fenómeno de esta clase tuvo lugar, segun llevamos referido, con el cometa de Biela mientras se le observaba en el año 1845; el 26 de noviembre apareció tan débil como una mancha nebulosa,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

poco redonda, con cierto aumento de densidad hácia el centro; el 19 de diciembre estaba mas alongada, y diez dias despues se dividió en dos masas nebulosas de iguales dimensiones, provista cada una de ellas de un núcleo y una cola, y durante tres

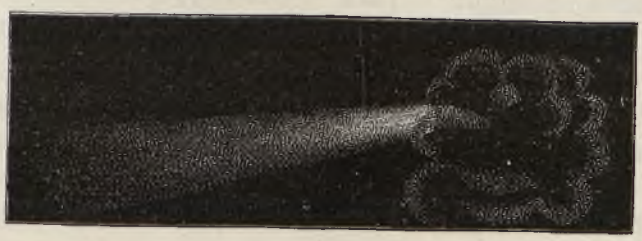


Fig. 365.—Cometa de Julio, el 30 de junio y 1.° de julio de 1861

meses siguió la una á la otra á la distancia de un décimo y luego de un quinto del diámetro de la Luna.

Volvió á presentarse la pareja en agosto de 1852, despues de haber caminado en convoy por una órbita comun alrededor



Fig. 366.—Subdivision del cometa de Biela

del Sol por espacio de mas de seis años y medio, pero la distancia entre ambas secciones habia aumentado mucho y de 62,000 leguas pasó á 540,000 leguas; pero no era esto todo; en conformidad con su conocido período, se aguardaba la vuelta de este cometa en el año de 1859 y tambien en 1866, en cuya fecha hubiera debido ser visible desde la Tierra, pues cortaba en su camino la órbita terrestre en el punto en que se hallaba nuestro globo el 30 de noviembre.

A pesar de las mas escrupulosas investigaciones no se pudo encontrar el cometa, y bien atraido por cualquier otro miembro del sistema solar se apartó de su órbita primitiva, ó ya, como por analogía puede deducirse, dejó de ser cometa adquiriendo otra nueva forma de existencia.

Hemos repetido estos detalles respecto de los fenómenos que presentan los cometas observados á la simple vista y especialmente con el telescopio, con objeto de pre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

parar el terreno y refrescar la memoria, para fundar en mejores condiciones el edificio de las nuevas teorías emitidas acerca de la constitucion y naturaleza física de estos cuerpos celestes, y tambien para contar con un punto de apoyo y de partida que nos sirva para comparar los hechos reunidos por la observacion telescópica con las que suministra el análisis espectral.

Estas cuestiones tienden, en primer lugar, á considerar si los cometas como las estrellas fijas y las nébulas, son luminosos por si mismos, ó si, como los planetas, brillan por la luz que reflejan del Sol; en segundo lugar, se refieren al estudio de su composicion material y constitucion física.

Que el núcleo de un cometa no puede ser por sí mismo un cuerpo oscuro y sólido como el de los planetas, se prueba por la gran transparencia de que están dotados; pero esto no excluye la posibilidad de que se compongan de innumerables partículas sólidas, separadas unas de otras, que al ser iluminadas por el Sol producen por reflexion de la luz el efecto de una masa homogénea; se ha deducido, por consiguiente, que los cometas están compuestos ó de una sustancia que, como un gas en estado de rarificacion extrema, tenga una trasparencia perfecta, ó de pequeñas partículas sólidas individualmente separadas por espacios intermedios, á cuyo través puede pasar la luz de una estrella sin el menor inconveniente, y que agrupados por sus mutuas atracciones y tambien por gravitacion hácia una aglomeracion central mas densa, se mueven en el espacio como una nube de polvo.

No es imposible que los cometas sin núcleo sean masas de gas á la temperatura del blanco, de constitucion semejante á la de las nébulas, y que los dotados de núcleos estén compuestos de partículas sólidas separadas. En todo caso, la relacion que recientemente indicó Schiaparelli entre los cometas y las corrientes ó lluvias metéoricas, nos obliga á suponer que en muchos cometas existe una agregacion de partículas de igual carácter.

Se creyó que la polarizacion de la luz nos daria medios de averiguar si la luz de un objeto era propia ó reflejada, y en vista de las observaciones hechas con tal objeto con los núcleos cometarios, se llegó á admitir con toda credulidad que los cometas brillaban con luz inherente á su misma naturaleza.

Pero esta clase de observaciones no son decisivas, ni mucho menos, porque en todos los polariscopios, la luz difusa, irregularmente reflejada, aparece tan poco polarizada como la que procede de un foco independiente.

El análisis espectral podia resolver este asunto de una vez, si se presentara un cometa de brillo suficiente para formar un espectro completo. Si la luz del cometa solo fuese la del Sol reflejada, su espectro se pareceria al de la Luna y los planetas, esto es, que seria continuo y estaria cruzado por las rayas de Fraunhofer. Pero para formar este espectro es indispensable una ranura muy estrecha y ninguno de los cometas que aparecieron en los primeros años del análisis espectral fué bastante brillante para permitir el exámen de su espectro con la ranura muy reducida.

Donati, de Florencia, fué el primero que examinó espectroscópicamente la luz de los cometas; comparando el espectro del cometa I de 1864 con el espectro de los metales que dan espacios oscuros mas anchos que las partes luminosas, halló que todo el espectro consistia en tres líneas brillantes.

El cometa de Tempel se observó en enero de 1866 por Secchi y Huggins, quienes hallaron que su espectro era continuo, excesivamente débil por sus dos extremos; presentaba tres líneas brillantes segun Secchi, y una sola segun Huggins. La línea observada por ambos astrónomos era la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mas brillante y estaba situada á mitad de la distancia que hay de *b* á F en el espectro solar.

En el dibujo que trazó el P. Secchi del espectro de este cometa ninguna de las tres líneas brillantes coincidia con las de la nébula de Orion; de aquí pudiera deducirse, que el núcleo al menos, es parcialmente luminoso por sí mismo y está compuesto de gas brillante. De otro lado, el espectro continuo prueba que parte de la luz es reflejada del Sol, porque no puede admitirse que la cabellera esté formada de partículas sólidas ó líquidas incandescentes.

El espectroscopio no nos dice nada en cuanto á la naturaleza ó condicion de una sustancia de la que solo recibimos luz refleja; es, sin embargo, probable, que la cabellera y la cola estén formadas de la misma sustancia que el núcleo. Estas observaciones, por consiguiente, no dieron mas resultado sino el de saber que un gas en estado luminoso se hallaba en el cometa; pero al propio tiempo, ora este mismo gas, ya otras regiones del cometa no luminosas, reflejaban la luz del Sol.

Durante los años 1866 y 1867 observó Huggins el espectro de dos pequeños cometas y vió que consistian en un espectro continuo y en otro de líneas brillantes; la luz de estos cometas estaba, por lo tanto, como la del cometa de Tempel, compuesta parcialmente de luz reflejada y de luz propia. Dice Huggins hablando del cometa de 1867: «En el espectroscopio forma la luz de la cabellera un espectro continuo; era imposible, á causa de la debilidad del núcleo, distinguir con seguridad el espectro de su luz que se proyectaba sobre el ancho espectro de la cabellera. No obstante, sospecho que existen dos ó tres líneas brillantes, pero mi observacion no es de confianza.»

En el año de 1868 volvieron á aparecer dos cometas periódicos de gran brillo, el de Brorsen (I) y el de Winnecke (II).

El cometa de Brorsen presentaba en el telescopio el aspecto de una nébula circular, en la cual aumentaba el brillo rápidamente de los bordes al centro, sin que se pudiera afirmar, empero, que tuviese un núcleo propiamente dicho; solo presentaba un débil rastro de cola, ó mas bien una escasa expansion de la cabellera al lado opuesto al Sol.

Examinó Secchi este cometa con un espectroscopio simple de vision directa y comparó su espectro con el de Vénus, haciendo que ambos cuerpos cayesen alternativamente en el mismo lugar del instrumento.

Huggins observó el cometa desde el 2 de mayo hasta el 13, y como Secchi halló que el espectro (fig. 367, núm. 5) era discontinuo y constaba de tres bandas brillantes; su longitud indicaba que la luz del centro de la cabeza del propio modo que la de la cabellera habian penetrado en el espectroscopio. La banda mas brillante de luz era la que estaba situada en la mitad del verde, entre las líneas *b* y F de Fraunhofer. Cuando el estado del cielo era muy favorable, se reducia esta banda á una simple línea brillante del ancho aparente del núcleo cometario; esta observacion no es de toda confianza.

La segunda banda, menos intensa, pero bastante brillante, sin embargo, estaba situada en el amarillo verdoso casi en el centro del espacio que hay entre las líneas *b* y D de Fraunhofer. En ocasiones se pudo tambien columbrar otra banda en el rojo, pero era muy difícil fijar su posicion. La tercera banda se encontraba en el azul hácia el violeta, á un tercio de la distancia que hay entre F y G.

Una luz excesivamente débil, que no se marca en la figura, se percibia al propio tiempo sobre todo el espacio del espectro, que indica la existencia de un espectro continuo en extremo débil.

Estrechando la ranura no se pudieron resolver en líneas estas bandas, como sucede con las bandas brillantes de las né-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

bulas, y solo se conseguia debilitar su luz hasta que llegaban á desaparecer por completo.

El espectro del cometa de Brorsen presenta una gran semejanza con el que observó Donati, pero difiere esencialmente

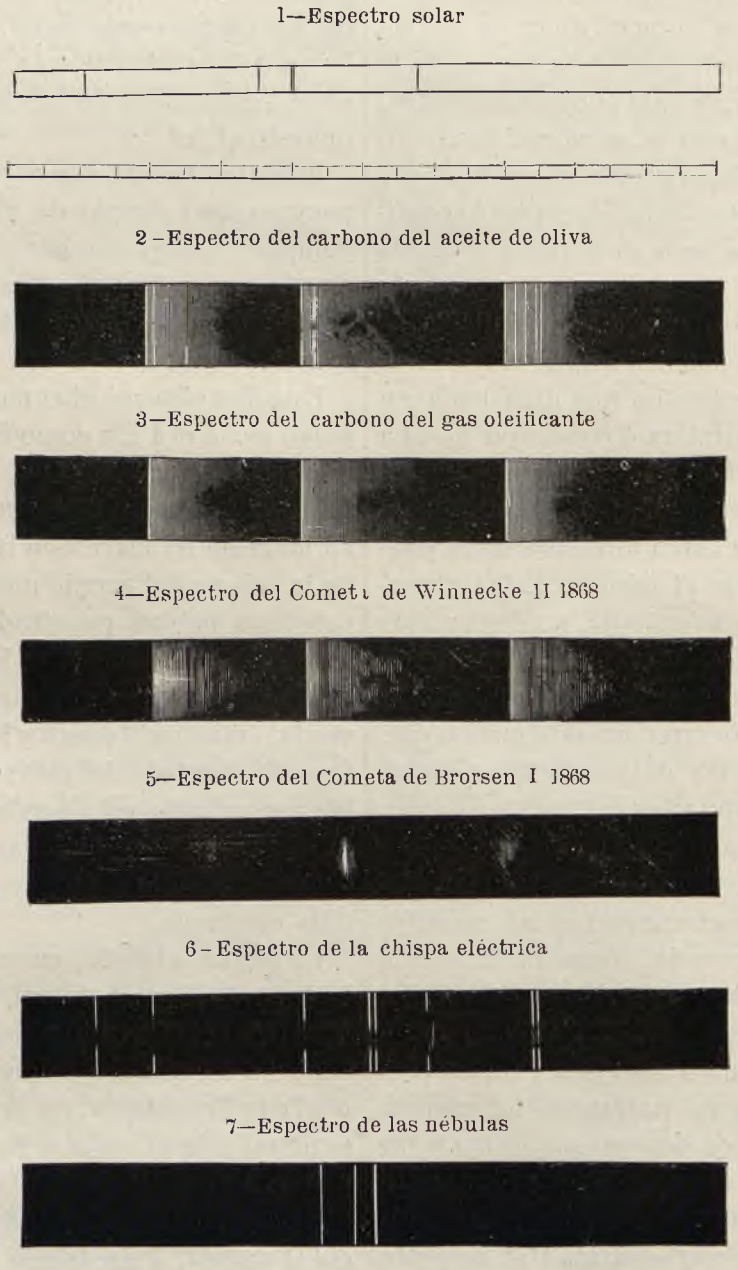


Fig. 367.—Espectros de los cometas de Brorsen y de Winnecke comparados con los del Sol, del carbono y de las nébulas

del espectro de las nébulas, no solo por su carácter, sino tambien por la posicion de las bandas luminosas; esto se nota fácilmente, y de una ojeada, comparando los espectros números 5 y 7 de la figura.

El cometa II de 1868 fué primeramente observado en la noche del 13 al 14 de junio por el Dr. Winnecke de Carlsruhe, y pronto alcanzó suficiente brillo para ser visible á la simple vista como una estrella de séptima ú octava magnitud. El diámetro de la cabellera, incluyendo la debilí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sima envoltura luminosa que la rodea, media próximamente 6′ 20″ y el largo de la cola era de mas de 1°.

La fig. 368, que representa este cometa, muestra que la cola salia recta de la cabellera y parecia no tener conexion alguna con el núcleo brillante; cuando el P. Secchi examinó este cometa el 21 de junio con un espectroscopio simple sin ranura, vió que el espectro consistia en tres bandas brillantes de luz, de las que la mas luminosa estaba situada en el verde; seguia otra de menor esplendor en el amarillo, siendo la mas débil la que caia en el azul. Luego que cambió este instrumento por un espectroscopio de Hofmann de vision directa, pudo definir claramente las tres bandas, llegando á desaparecer la luz dispersada. Comparando la posicion de estas líneas con las del espectro de diversos metales halló que la de en medio caia muy cerca de la línea *b* del magnesio, pero el



Fig. 368.—Cometa de Winnecke II 1868

espectro en totalidad no coincidia con el de ningun metal; distinguió, sin embargo, una gran semejanza entre el espectro del cometa y el del hidrógeno carbonado, de donde dedujo que una parte del cometa estaba producida por esta sustancia.

El incansable astrónomo inglés Huggins trató asimismo de estudiar este cometa con el telescopio y espectroscópicamente; pero no pudo observar el nuevo cuerpo hasta el 22 de junio, porque antes de esa fecha lo ocultaban los edificios inmediatos al Observatorio; en la noche del dia citado era el cometa mucho mas brillante que el de Brorsen y daba un espectro bastante perceptible que permitia efectuar medidas y comparaciones con el espectro de las sustancias terrestres.

El espectroscopio empleado constaba de dos prismas de 60°; el espectro apareció compuesto de tres bandas luminosas muy anchas (fig. 367 núm. 4) que se representan en la figura. En las dos bandas mas refrangibles ofrecia la luz mayor brillo en el extremo menos refrangible, disminuyendo gradualmente hácia el otro límite de las bandas. Esta gradacion de la luz no era uniforme en la banda del medio y mas brillante, que continuaba con el mismo esplendor casi en un tercio de su ancho, desde el lado menos refrangible; esta banda comenzaba, al parecer, en su lado mas brillante por una línea luminosa.

La menos refrangible de las tres bandas no presentaba una disminucion tan marcada en su brillo, aunque podia decirse que á pesar de su uniformidad era mas luminosa en el centro ó mitad de su ancho.

Estos caractéres particulares de la luz emitida por la materia cometaria, se pueden distinguir por algunas apariencias que presentan las bandas, á causa de la distribucion de la luz en la cabellera del come-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ta. Las dos bandas mas refrangibles se estrechan hácia el lado de mayor refrangibilidad á la vez que disminuyen de brillo; este aspecto no se debia á la distribucion desigual de la luz en las diversas partes de la cabellera, sino á que la luz de la cabellera es mas brillante hácia el centro y por lo tanto, era emitida por un área menor de materia cometaria.

La fuerte luz de la mancha central pudiera trazar la anchura total de la banda; pero la luz que rodeaba este punto, á medida que se hacia mas débil y ancha se veia á distancias mas cortas, de modo que la luz de las partes mas débiles cerca del márgen de la cabellera solo era visible en el lado mas brillante de la banda.

El brillo creciente de la cabellera en direccion de la mancha central aparecia tambien en esta banda como una línea luminosa cuyo eje se debilitaba por ambas extremidades.

En la misma noche tomó Huggins varias medidas de las posiciones de estas bandas, con el micrómetro del espectroscopio, que acusaban los números siguientes para el principio y fin de las tres bandas en la escala adoptada en el dibujo.

Primera banda.	1094	Segunda..	1298	Tercera.	1589
	1196		1440		1700

No pudo Huggins reducir estas bandas á líneas; cuando se estrechaba la ranura, disminuian tanto en ancho como en largo, á causa de la invisibilidad de las porciones mas débiles; creyó el mismo astrónomo que en la parte central brillante de la banda de en medio habia dos ó tres líneas luminosas cerca del límite menos refrangible; esta parte estaba formada por la luz que provenia de la mancha central brillante.

Como hemos dicho, la banda del centro empezaba probablemente con una línea brillante, pues en este punto estaba limitada con toda distincion; por el contrario, el lugar exacto en donde principiaban y terminaban las otras bandas no llegó á observarse con toda certidumbre. Cuando se colocaban las porciones marginales de la cabellera sobre la ranura, podian dibujarse aun las tres bandas de luz, pero cuando se debilitaba el espectro parecia continuo, y en este caso era la luz tan débil que nada se distinguia fuera de las bandas hácia el rojo ni hácia el violeta.

En la misma noche observó Huggins el cometa con el gran espectroscopio que da una dispersion igual á cinco prismas; en este instrumento se veia muy bien la banda central; conservaba su carácter nebuloso é irresoluble, y el principio definido y cortado como una línea brillante que ya indicamos, se veia con toda distincion.

Para que las comparaciones puedan efectuarse con mas facilidad, se presentan en la figura el espectro del cometa de Brorsen y el de una nébula gaseosa. El espectro del cometa de Brorsen constaba de tres bandas sobre un fondo continuo muy débil; estas bandas aparecian como indica el dibujo, esto es, mas angostas que las del cometa de Winnecke; no es posible afirmar hasta qué extremo depende este fenómeno de la debilidad de la luz de este último cometa; aunque las bandas del cometa de Brorsen caen dentro de los límites de posicion ocupados por las bandas anchas del cometa II, no corresponden con sus partes mas brillantes; en la de en medio creyó percibir Huggins dos líneas brillantes que aparecian mas cortas que la banda y que pudieran muy bien deberse al núcleo.

En la figura se ve que las bandas del cometa de Brorsen y las del cometa II ocupan en el espectro posiciones muy distintas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de las correspondientes á las nébulas. El espectro de las nébulas gaseosas consta de líneas verdaderas que se hacen mas estrechas á medida que se disminuye la abertura de la rendija.

Al dia siguiente estudió Huggins con toda escrupulosidad las observaciones del cometa, con la esperanza de encontrar alguna analogia entre su espectro y el de algunas sustancias terrestres; el espectro del cometa parecia revestir algunas de las formas del espectro del carbono, que este mismo astrónomo analizó con gran esmero en 1864; comparando el espectro del cometa con el dibujo del espectro del carbono, notó que las posiciones de las bandas, de igual manera que su carácter general y brillo relativo, concordaban exactamente con el espectro del carbono, cuando se hace descargar la chispa en el gas oleificante.

Aunque los caractéres esenciales del espectro del carbono permanecian constantes en todos los experimentos, se observaban ciertas modificaciones cuando el espectro se obtenia en diversas condiciones. Una de las líneas mas fuertes del carbono está situada en el rojo, en un punto algo menos refrangible que el que ocupa la línea del hidrógeno correspondiente á la C de Fraunhofer; pues bien, esta línea no se ve cuando el carbono se inflama por la chispa de induccion en presencia del hidrógeno. Otras dos modificaciones del espectro del carbono se dan en la figura 367.

El primer espectro representa el del carbono cuando la chispa del carrete con la botella de Leyde en el circuito, se hace pasar entre las puntas de platino masticadas en tubos de vidrio cerrados, y puesto casi en contacto con el aceite de olivas; en este espectro se ven las principales líneas fuertes que caracterizan al carbono. Las sombras de líneas finas que acompañan á las mas vigorosas no es posible representarlas exactamente á causa de las reducidas dimensiones del grabado. Un espectro igual á este se produce cuando salta la chispa en una corriente de cianógeno; podemos agregar que cuando la potencia calorífica de la chispa se reducia á cierto límite, aunque seguia verificándose la descomposicion del aceite, no se volatilizaba el carbono y el espectro era continuo.

El tercer espectro de la figura representa la modificacion de este tipo cuando se hace pasar la descarga en una corriente de gas oleificante; el vapor altamente caldeado del carbono emitia luz de la misma refrangibilidad que en el experimento del aceite, pero no se podian columbrar las líneas fuertes separadas, con una chispa de igual potencia. Las sombras no se componian de rayas finas y numerosas cuando el carbono se obtenia del gas oleificante y mas bien se presentaban como una luz nebulosa irresoluble.

Agregaremos para evitar conceptos equivocados, que en todos estos experimentos se veian tambien las líneas de otros elementos; pero como eran conocidas no habia necesidad de ocuparse de ellas.

En el experimento de la chispa en el gas oleificante, las tres bandas de la figura constituyen todo el espectro, á excepcion de una banda débil en su parte mas refrangible.

El espectro del cometa concordaba, al parecer, con el del carbono obtenido en estas condiciones; de modo que creyó Huggins necesario comparar directamente ambos espectros en el mismo aparato y á un tiempo mismo, empezando sus trabajos sobre este punto en la noche del 23 de junio.

La disposicion general del aparato usado en estas investigaciones es la que representa la figura 369. Una botella de vidrio *a* convertida en gasómetro, contiene el gas oleificante, y va unida á un tubo flexible *b* en el cual se sueldan dos hilos de platino; la parte del tubo que está enfrente de las puntas de los alambres se agujerea, cubriendo luego los orificios formados, con

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dos placas de vidrio bien planas que se sostienen en su sitio con una cinta de goma. Se colocaba este tubo en su verdadera posicion delante del espejo pequeño *c* del espectroscopio con cuyo auxilio se reflejaba la luz de la chispa en el instrumento, y se veia su espectro inmediatamente debajo del espectro del cometa. El espectroscopio empleado constaba de dos prismas de 60 grados.

El extremo mas brillante de la banda central del espectro cometario coincidia con el principio de la banda correspondiente del espectro de la chispa; como este límite de la banda se encontraba en ambos espectros perfectamente definido, se pudo observar de un modo bastante satisfactorio, y dada la potencia del espectroscopio, cabe decir que el error de su posicion no pasa de la distancia que hay entre las componentes de la línea doble D. Pero siendo los límites de las otras bandas menos dis-



Fig. 369.—Aparato de Huggins para observar el espectro de los hidro-carburos

tintos y perceptibles, no se pudo determinar su situacion con la misma exactitud.

La aparente identidad del espectro del cometa con el del carbono no se apoya únicamente en la coincidencia del espectro de las bandas, sino tambien en la notable semejanza de las bandas correspondientes en sus caractéres generales y brillo relativo, lo cual se nota muy bien en la banda central, cuya gradacion de brillo no es uniforme. Esta banda conserva en ambos espectros un esplendor casi igual para la misma proporcion de longitud.

El cometa de Winnecke II de 1868, fué examinado tambien en Paris por medios espectroscópicos por el astrónomo Wolf, quien notó asimismo que las tres bandas brillantes separadas unas de otras por espacios perfectamente oscuros, no podian reducirse á líneas estrechando la ranura, de manera que el espectro no presentaba ninguna analogía con el de las nebulosas.

El espectro del cometa I de 1870 fué examinado por Wolf y Rayet; constaba, lo mismo que el de los tres anteriores, de tres bandas brillantes que se extendian sobre un fondo continuo. Huggins da cuenta de sus observaciones espectrales sobre este nuevo cuerpo en los términos siguientes:

«El 7 de abril descubrió el Dr. Winnecke otro cometa, y pude examinarlo el 13 del propio mes y el 2 de mayo; en ambas fechas se presentó muy débil, particularmente en la segunda noche á causa de la presencia

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la Luna y de la opacidad de la atmósfera; su apariencia era la de una cabellera que se extendia al lado opuesto al Sol; observado en el espectroscopio pude percibir que la luz de la cabellera constaba casi exclusivamente, de tres bandas brillantes; la del centro, que era la mas luminosa, tenia una longitud de onda de 510 millonésimas de milímetro; no pude medir con exactitud la posicion de la banda menos refrangible, pero me parece que su longitud de onda seria de 545 millonésimas de milímetro. La tercera banda estaba situada á la misma distancia, poco mas ó menos, de la banda central en el lado mas refrangible.»

Tres años despues aparecieron otros cometas que tambien fueron analizados con el prisma, por Wolf y Rayet; hé aquí los resultados de sus observaciones.

«El cometa descubierto en Marsella por Borelly en la noche del 20 al 21 de agosto de 1873 presenta la forma de una nebulo-



Fig. 370.—Espectro del cometa IV de 1873.—1.°: El 26 de agosto.—2.°: El 29 de agosto

sidad circular de 2 minutos de diámetro próximamente, con un núcleo central bastante brillante; su espectro es continuo desde el amarillo hasta el violeta, debido en parte á la luz solar reflejada, y consta tambien de dos bandas luminosas una en el verde y otra en el azul. La banda verde es intensa, claramente limitada en el rojo y difusa hácia el violeta; la banda azul, cuyo esplendor es próximamente como de la mitad de la precedente, está tambien limitada en la parte del rojo y presenta cierta difusion hácia la del violeta. El espectro continuo ofrece mucho mas brillo que los cometas que hemos estudiado anteriormente, siendo al propio tiempo mucho mas estrecho. Tal vez se deberá á un núcleo sólido.»

El mismo año se descubrió en el Observatorio de Paris por los hermanos Henry, un cometa (IV 1873) cuya luz, estudiada con tres noches de intervalo, dió los espectros que se representan en la fig. 370. En la noche del 26 al 27 de agosto tenia el cometa la forma de una nebulosidad circular con una condensacion de luz muy viva en el centro; su aspecto era muy semejante al del cúmulo ó conglomerado estelar de la constelacion de Hércules visto en un instrumento de poder óptico insuficiente para resolverlo en estrellas. El espectro se componia de las tres bandas luminosas ordinarias, con la circunstancia de que la línea mas brillante, que caia en el verde, tenia una longitud doble que las otras dos; no presentaba el menor vestigio de espectro continuo.

En la noche del 29 al 30 tenia el astro una cola bastante ancha de 25′ de longitud, y el brillo del núcleo central habia crecido desde la séptima á la sexta magnitud. La cabeza del cometa ofrecia siempre un espectro compuesto de tres bandas luminosas, pero atravesado en este caso por un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

espectro continuo muy débil. Como el brillo del astro habia aumentado, se pudo efectuar la observacion espectral con una ranura relativamente estrecha, y la banda del verde tomó entonces un carácter mas acusado; en una parte de su longitud estaba terminada por ambos lados por una línea recta, mas brillante hácia la region del rojo. El brillo de las líneas amarilla y azul era tambien mayor.

En el primer semestre de 1874 se descubrieron cinco cometas nuevos; el primero el 20 de febrero por el Dr. Winnecke; el segundo el 11 de abril por Winnecke y Tempel; el tercero, que fué el mas brillante, por Coggia, visible á la simple vista durante el mes de julio; los otros dos fueron descubiertos en el Observatorio de Marsella por Borelly y Coggia respectivamente.

El P. Secchi examinó con el espectroscopio el segundo de estos cometas en la madrugada del 20 de abril; su luz era bastante hermosa y presentaba un núcleo nebuloso rodeado de un abanico de nebulosidad irregular. El espectroscopio simple aplicado al gran refractor de Merz, indicó vestigios de bandas, pero la difusion del objeto no permitia el empleo de este instrumento y fué necesario hacer uso del espectroscopio compuesto adaptado al anteojo, pues la debilidad era tal, que no se podia tener seguridad en lo que se observaba. Quitó entonces el P. Secchi el anteojo, observando únicamente con el espectroscopio y distinguió el espectro formado por tres bandas separadas; una en el verde azulado, otra en el verde propio y la tercera en el verde amarillento. La primera era la mas viva y extensa, y las otras dos, principalmente la de en medio, eran mas débiles. A primera vista juzgó el P. Secchi que estas bandas se hallaban en el mismo lugar que las de los demás cometas, pero no pudo llegar á efectuar medidas rigurosas.

El mismo astrónomo describe así sus observaciones espectroscópicas del cometa de Coggia.

«El 17 de mayo pude comprobar que el espectro estaba en realidad formado de bandas; dos de ellas, sobre todo, muy vivas, se hallaban situadas en el verde y en el verde amarillento; habiendo iluminado el tubo del anteojo delante de la ranura con la luz difusa de distintos gases, observé que las dos bandas brillantes principales correspondian con las del espectro del óxido de carbono y del ácido carbónico. La debilidad de la luz no me permitió reconocer las otras dos bandas.»

La luz de este cometa fué analizada por los astrónomos de Paris Wolf y Rayet; el 19 de mayo pudo este último efectuar una primera observacion algo completa; el astro tenia cerca de tres minutos de diámetro y su cola comenzaba á desarrollarse; analizada la luz con el prisma, daba un espectro continuo desde el anaranjado hasta cerca del azul (espectro del núcleo sólido) atravesado por tres bandas brillantes (espectro de la nebulosidad gaseosa); aunque presentaba el aspecto general de los espectros de estos astros, se diferenciaba por las dimensiones y esplendor relativo de sus diversas partes. Así pues, el espectro continuo del núcleo es por lo general ancho y difuso, y en el cometa de Coggia era, por el contrario, muy estrecho. De otro lado, las bandas luminosas trasversales, en lugar de difundirse hácia la parte mas refrangible, se terminaban hácia el rojo y el violeta por líneas rectas bastante acusadas; el hecho, notable en particular en la banda media mas larga y luminosa, era para llamar la atencion, pues se observaba por primera vez.

Otra observacion se hizo en la noche del 4 al 5 de junio que confirmó el hecho anterior.

«El espectro continuo, dice Rayet, correspondiente al núcleo, es en extremo delgado y casi tanto como el de una estrella vista en el mismo instrumento; hace recordar el espectro de una estrella de sexta magnitud, pero sin coloracion hácia

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las extremidades. El espectro se extiende por ambas partes mas allá de las tres bandas luminosas; el espectro de las bandas se compone de tres líneas que, por su refrangibilidad, corresponden al amarillo, al verde y al azul. La banda central es larga, muy luminosa, y cuando se estrecha convenientemente la ranura, se termina hácia el rojo y el violeta, por líneas rectas detalladas; de modo que aquel aspecto degradado que presentan los espectros cometarios no se encuentra en este caso; las bandas del amarillo y del azul tienen un brillo de la mitad próximamente que la anterior, y se difunden hácia los bordes acercándose al tipo ordinario.

»Si en vez de colocar la ranura del espectroscopio sobre la imágen focal, de mo-

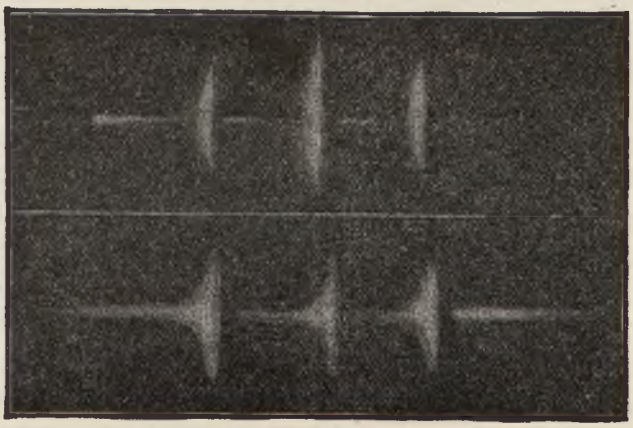


Fig. 371.—Espectros del cometa de Coggia ó III de 1874 segun las observaciones de Secchi

do que se obtenga á la vez el espectro del núcleo y el de la nebulosidad que lo rodea, se dispone la rendija de tal manera que corte la imágen de la cola, se obtiene un espectro que ofrece las tres bandas brillantes, ya descritas, sin rastro de espectro continuo, y separadas unas de otras por intervalos oscuros. En la cola no hay, pues, materia sólida incandescente en cantidad sensible.»

El P. Secchi repitió sus observaciones sobre la luz del cometa de Coggia, confirmando en sus resultados principales los estudios que acabamos de presentar. Las tres bandas brillantes y el espectro continuo que las cortaba trasversalmente, tenian en las fechas del 18 de junio y del 9 de julio, el aspecto que indica la fig. 371. El astrónomo del Colegio Romano llama la atencion sobre una particularidad que fácilmente se observa; queremos hablar de las interrupciones que presenta el espectro continuo en la proximidad de las bandas, muy sensibles sobre todo en la segunda observacion. «Observando, dice, el espectro con un prisma de Nicol, se veia debilitarse la parte continua de un modo considerable, mientras que las bandas conservaban todo su brillo. Esta observacion daria motivo para creer que el espectro continuo se debiese á la luz refleja.» Vemos, pues, que en este último punto difiere la opinion del P. Secchi de la expresada por los astrónomos de Paris antes expuesta, que consideran el espectro continuo como producido por un núcleo sólido en cierto estado de incandescencia. Parece cierto que la luz del cometa estaba polarizada, lo que se prueba por las observaciones efectuadas en Roma durante el mes de julio, pero tampoco hay razon de peso que se oponga á que el núcleo emitiese al mismo tiempo luz propia y á que reflejase en parte la del Sol. Esta cuestion no está re-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

suelta y todavía existe una duda sobre la naturaleza de la luz cometaria, segun habrá notado el lector, por las descripciones que hemos dado del exámen de varios cometas.

Vamos á agregar algunos detalles debidos al mismo astrónomo, quien pudo observar el cometa mas tiempo que sus colegas del Observatorio de Paris, como lo prueba la fecha del 17 de julio de la comunicacion que sigue.

«El cometa, dice, examinado con los oculares ordinarios era magnífico; el 9 de julio formaba un abanico rojizo (por contraste con el núcleo) de una abertura de 180 grados próximamente, de rayos curvilíneos que partian de un núcleo amarillo verdoso. Forzando el aumento hasta cien veces, se veia el núcleo coronado por tres penachos débiles y reducidos á una pequeña esfera difusa de 2 segundos escasos de diámetro. La carencia de límite marcado y el efecto producido por las amplificaciones poderosas, demostraban que el núcleo no estaba formado por ningun cuerpo sólido; los mismos aumentos mostraban, en efecto, los satélites de Júpiter con un disco perfectamente terminado.

»Invitado por Mr. Hind, traté de buscar el cometa durante el dia, pero sin resultado; parece poco probable que se columbre en tales condiciones, pues Júpiter, que es mucho mas brillante, tampoco es visible. El 17 de julio era enorme su cola y llegaba á la estrella *epsilon* de la Osa mayor, y su cabeza se hallaba bajo el horizonte; lo menos tendria 45 grados de longitud. El 13 se hallaba muy dilatado alrededor de la cabeza.»

Habiendo comparado el P. Secchi las posiciones de las bandas brillantes del espectro cometario con las de los espectros del óxido de carbono y del ácido carbónico, las halló correspondientes; pero empleando hidrocarburos, ninguna de las rayas hidrogénicas coincidia al parecer con las del cometa. Estos resultados prueban que los astrónomos no se hallan aun conformes en la interpretacion de los hechos relativos al análisis espectral, pues en una carta escrita en Moscou por Bredechin y dirigida á los observadores italianos, se lee que las posiciones de las bandas del espectro del cometa comparadas con las del carburo de hidrógeno de un tubo de Geissler, coincidian con las que tienen por longitud de onda 5633, 5164 y 4742 de la escala de Angstrom.

En Palermo observó Tacchini el cometa por métodos diversos. «Las rayas brillantes observadas en el espectro del cometa eran cuatro, las que referidas al espectro solar correspondian á las posiciones siguientes de la escala de Angstrom: 6770, 5620, 5110 y 4800. Las posiciones de estas rayas no pueden considerarse como rigurosamente exactas, á causa del medio que sirvió para obtenerlas, pero es claro que las tres últimas corresponden al espectro del carbono. La del rojo era menos distinta que las otras, porque en esta parte se presentaba el rojo muy vivo y difuso; esta raya solo se vió bien durante las primeras noches, es decir, á fines de junio y principios de julio. Las otras tres líneas no presentaban igual longitud y la mas extensa era la 5620; la 5110 era la mas viva de todas y parecia blanca casi, como ocurre con las rayas del magnesio despues de las erupciones solares. El espectro continuo del núcleo del cometa se proyectaba como sobre un fondo formado por un espectro solar mas intenso en el rojo, que, segun decimos, estaba mas dilatado. Esta hermosa cinta colorada solo se observaba en el paso del núcleo, el que visto simplemente con el ocular parecia de un color blanco-verdoso, mientras que el amarillo era sensiblemente rosa, aun cuando se ocultase el núcleo.

»En la viva luz solar que reflejaba el núcleo debieran mostrarse algunos vestigios de polarizacion, y para comprobar su existencia invité al profesor de física señor Pisati para que observase conmigo, con auxilio del polariscopio que tenia á su dis-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

posicion. Habiendo aplicado un bicuarzo al anteojo, aparecieron indicios de polarizacion, pero débiles; con un prisma de Nicol apareció la luz fuertemente polarizada, encontrándose su parte mas débil cuando la seccion principal del Nicol coincidia con la direccion de la cola, de donde se deduce que la luz estaba polarizada en un plano que pasaba por el Sol. El experimento se repitió tambien en la parte mas viva de la cola y se obtuvo el mismo resultado. Hácia la mitad de la cola era tan débil la luz que nada podia asegurarse con certidumbre, pero parece probable que la reflexion tuviera lugar en toda la longitud de la cola.»

Estas afirmaciones, tan terminantes, respecto de la polarizacion de la luz del cometa de Coggia, fueron confirmadas por las observaciones de Wright, efectuadas en los Estados-Unidos; segun este astrónomo, una porcion considerable de la luz del cometa proviene del Sol y la vemos por reflexion.

Es prematuro todavía sacar deducciones decisivas de estas observaciones, de mucho mérito, sin duda alguna, pero poco numerosas. El espectro de las tres bandas brillantes se deriva, incuestionablemente, de la luz del núcleo cometario y no de la que corresponde á la cabellera, que es demasiado débil y está muy mal definida para que pueda producir un espectro semejante; no hay inconveniente por tanto, en admitir que el núcleo sea luminoso por sí mismo, y muy verosímilmente, que está compuesto de un gas en estado de incandescencia que contiene carbono. Esta teoría la rechazó hace tiempo Prazmowski quien hizo algunos experimentos sobre la luz reflejada por tiras de papel colorado, débilmente iluminadas, y halló que el espectro de un cuerpo que el Sol ilumina con muy poca fuerza, presenta exactamente la misma apariencia que observaron Secchi y Huggins en el cometa de 1868 y en algunos de los posteriores; el espectro de bandas, por consiguiente, que daba este cometa, no prueba que el cuerpo fuese luminoso por sí mismo y aun la luz emitida por el núcleo puede ser tambien luz reflejada.

La hipótesis de Prazmowski es insostenible de todo punto. Huggins notó que un espectro de bandas brillantes debe producirse por un gas en estado fluorescente, pero en el caso de coincidir el espectro cometario con el del carbono queda el hecho sin explicar. Secchi afirma, en contra tambien de Prazmowski, que las bandas brillantes y las oscuras de absorcion que se ven en el espectro de la luz reflejada por una superficie de color, no presentan nunca esos bordes cortados que se observan en el espectro de los cometas; con su magnífico polariscopio notó la polarizacion de la cabellera, principalmente, sin columbrar el menor indicio en el núcleo, que, dado caso de que hubiera reflejado la luz del Sol, habria manifestado una polarizacion mucho mayor.

Enlazando estos diversos fenómenos se adquiere el convencimiento casi completo, de que los núcleos de los cometas, no solo emiten luz propia producto de un gas inflamado, sino que tambien reflejan como la cabellera y la cola, la luz del Sol; así, pues, nada hallamos que se oponga á la teoría que considera las masas cometarias formadas por pequeños cuerpos sólidos separados unos de otros, de igual manera que lo están los corpúsculos infinitesimales constituyentes de una nube de humo ó de polvo; y que á medida que el cometa se aproxima al Sol, los compuestos mas fusibles de estos pequeños cuerpos se volatilizan total ó parcialmente, y en estado de calor blanco alcanzan á las otras partículas sólidas, rodeando el núcleo de una nube, luminosa de por sí, de vapor inflamado. El análisis espectral no nos suministrará mas testimonios ciertos respecto de la naturaleza física de los cometas, hasta que aparezca uno de estos astros de gran brillo como el de Donati, por ejemplo, que pueda

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

examinarse en las diversas fases que presente.

II

Analisis espectral de los bólidos y estrellas fugaces

Hemos estudiado ya en otro lugar de esta obra, las leyes que rigen los movimientos y apariciones de los globos de fuego y meteoros luminosos que cruzan el espacio; de sus aspectos y formas y de sus trayectorias, tambien dijimos lo necesario para la clara inteligencia de este punto interesante de la ciencia astrónomica, y ahora vamos á ocuparnos de las revelaciones del análisis prismático sobre la naturaleza de estos cuerpos.

Se admite hoy dia casi de un modo universal, gracias á las recientes observaciones de Schiaparelli, Le Verrier, Weiss y otros, que estos meteoros, pequeños en su mayor parte, pero que á veces llegan á pesar muchas toneladas, son masas ó fragmentos de masas que giran, como los planetas, al rededor del Sol y que en su curso se aproximan á la Tierra, y atraidos por esta, penetran en la atmósfera inflamándose por el calor generado por la resistencia que ofrece el aire comprimido.

El análisis química de estos meteoros que han caido á medio quemar en la superficie terrestre en forma de piedras meteóricas, prueba que están exclusivamente compuestos de elementos iguales á los de nuestro planeta, y que en nuestro globo se hallan asimismo combinaciones químicas que se les asemejan mucho. Su constituyente principal es el hierro metálico mezclado con varios compuestos silíceos; en combinacion con el hierro va siempre el nikel y á veces el cobalto, el cobre, el estaño y el cromo; entre los silicatos hay que hacer especial mencion de la olivina por ser un mineral muy abundante en las rocas volcánicas. Tambien se ha hallado en las piedras meteóricas analizadas hasta la fecha el oxígeno, hidrógeno, azufre, fósforo, carbono, aluminio, magnesio, calcio, sodio, potasio, manganeso, titano, plomo, litio y estroncio.

El 12 de febrero de 1875 cayó un uranolito en el condado de Iowa (Estados Unidos) que fué analizado por Mr. Wright; era de naturaleza pedregosa y contenia un gran número de pequeños granos de hierro metálico acompañados de pirita magnética (troilita). Cuatro centímetros próximamente, del meteorito pulverizado dieron diversas cantidades de gases que variaban con la temperatura.

A 100 grados consistia la mezcla gaseosa en 95,46 por ciento de ácido carbónico y 4,54 por ciento de hidrógeno. De 200 á 250 grados se obtuvo una cantidad mayor de gases mezclados, como sigue: $CO^2 = 92{,}32$; $CO = 1{,}82$; $H = 5{,}86$. El experimento se terminó al rojo antes de que se acabase por completo el desprendimiento; la cantidad total de gas que se recogió representa, poco mas ó menos, unas dos veces y media el volúmen del meteorito empleado, ó sea aproximadamente veinte veces el del hierro. La tabla siguiente muestra la composicion de la mezcla gaseosa que se obtuvo á distintas temperaturas.

	A 100°	A 250°	Antes del rojo	Al rojo naciente	Al rojo
CO^2 . . .	95,46	92,32	42,27	35,82	5,56
CO. . . .	0,00 (?)	1,82	5,11	0,49	0,00
H. . . .	4,54	5,86	48,06	58,51	87,53
N. . . .	0,00	0,00	4,56	5,18	6,91

No se halló ni gas de los pantanos, ni hidrocarburos que fuesen absorbidos por el ácido sulfúrico fumante. El hidrógeno sulfurado, el ácido sulfuroso y el cloro faltaban asimismo.

Segun lo expuesto, es fácil ver que los gases extraidos del uranolito de Iowa difieren notablemente de los que encontró Graham en el hierro de Lenarte.

Estudió tambien Mr. Wright el espectro que daban estas mezclas gaseosas introducidas en los tubos de Geissler. Como habia motivo para esperar, este espectro era una superposicion de los del carbono y el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hidrógeno, siendo la intensidad del primero, relativamente, mayor que la del segundo.

A una presion de algunos milímetros solamente, era muy débil el espectro del hidrógeno y el otro casi lo ocultaba por completo. Las tres bandas medias del carbono eran muy brillantes, en particular la verde, que á todas superaba. En la parte mas ancha del tubo constituian estas bandas casi la totalidad del espectro, y la correspondiente al hidrógeno, esto es, la verde, se veia con gran dificultad. Estas tres bandas precisamente son las que se han observado en el espectro de los cometas y tienen el mismo órden relativo de intensidad.

Este hecho tiene cierta importancia porque demuestra que no es necesario admitir la presencia de hidrógenos carbonados en estos meteoros; basta la de los dos óxidos del carbono, sobre todo si no se pierde de vista que la tension debe ser excesivamente débil.

En resúmen, las conclusiones del autor son las siguientes:

1.° Los meteoritos pedregosos se distinguen de los hierros meteóricos en que los óxidos del carbono son los gases característicos en lugar del hidrógeno.

2.° La proporcion de ácido carbónico emitida es mayor á una temperatura baja y basta para ocultar el espectro del hidrógeno.

3.° La cantidad de gas que contiene un uranolito de gran tamaño, ó una nube de estos cuerpos pero pequeños, obra como un núcleo cómetario y basta para formar la cola y la cabellera.

4.° El espectro de estos gases es idéntico al que ofrecen varios cometas.

La altura á que aparecen los meteoros es muy variable y puede comprenderse entre los límites de 18 y 38 leguas; por término medio se admite la altura de 26 leguas. La velocidad con que caminan es tambien muy variable y generalmente no pasa de 11 leguas por segundo, ó sea vez y media la de la Tierra en su órbita; el máximo y el mínimo difieren en extremo, pues se ha estimado la velocidad de algunos meteoros en 5 leguas y la de otros en 40 leguas por segundo.

Cuando uno de estos uranolitos oscuros dotado de una velocidad de 660 leguas por minuto, encuentra á la Tierra, que á su vez corre por los espacios con una velocidad media de 458 leguas por minuto, y cuando á causa de la atraccion terrestre se aumenta su velocidad en unas 92 leguas por minuto, halla ese cuerpo una resistencia tan enorme, aun en las regiones de la atmósfera mas altas y rarificadas, que tiene que disminuir su velocidad y pierde en muy corto tiempo una parte muy importante de su fuerza viva; esta resistencia produce un resultado comun á todos los cuerpos, que estando en movimiento se detienen bruscamente.

Si se hace girar una rueda con gran rapidez, su eje, ó la chumacera que lo sustenta se caldea por el rozamiento hasta el rojo. En los cursos de física se hace sensible el calor que desarrolla el rozamiento por medio del siguiente experimento ideado por Tyndall:

Un tubo de vidrio lleno de agua (fig. 372) cerrado con un corcho puede recibir un rápido movimiento de rotacion alrededor de su eje. Durante su movimiento, se le sujeta con una pinza de madera forrada de cuero; el agua se va calentando gradualmente, acaba por llegar al punto de ebullicion, y en un momento dado salta el tapon seguido de un abundante golpe de vapor.

Cuando una bala de cañon choca repentinamente con gran velocidad contra una placa de hierro, como ocurre en el tiro al blanco, se ve saltar una chispa de la bala, aun en medio del dia; en análogas circunstancias una bala de plomo se funde parcialmente.

El calor de un cuerpo consiste en el movimiento vibratorio de sus moléculas; un aumento de este movimiento molecular es

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sinónimo de una elevacion de temperatura; cuando disminuyen estas vibraciones se dice que el cuerpo se enfria. Ahora bien, si un cuerpo en movimiento, como v. gr. una bala de cañon, choca contra una plancha de hierro, ó un meteorito percute contra la atmósfera terrestre, en proporcion que disminuye su velocidad, y se anula la accion externa por la presion del medio resistente sobre las moléculas anteriores, crece la vibracion de estas mismas partículas; este movimiento se comunica inmediatamente al resto de la masa, y por la aceleracion de esta vibracion en todas las partículas se eleva la temperatura del cuerpo.

Este fenómeno, que se verifica siempre que se interrumpe el movimiento de un cuerpo, se expresa diciendo que *el movimiento de la masa se convierte en vibracion molecular ó calor;* es ley sin excepcion que donde quiera que el movimiento externo de la masa disminuye, tiene lugar una accion interna equivalente entre sus partículas, que es el calor, y puede suponerse que hasta en los estratos mas altos y rari-

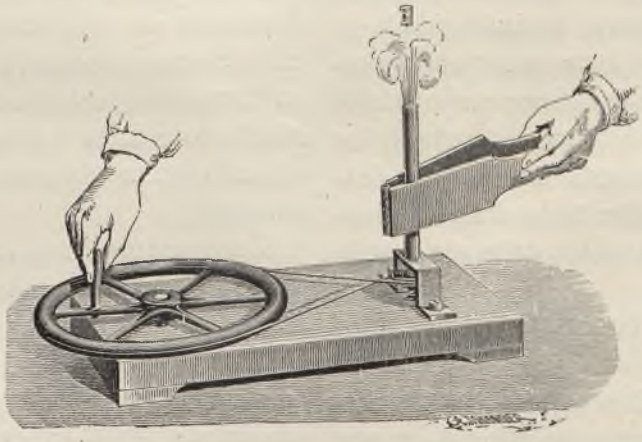


Fig. 372.—Calor desarrollado por rozamiento

ficados de la atmósfera terrestre, ha de disminuir rapidamente la velocidad del uranolito por su accion opuesta ó resistencia que le ofrece á su paso, así que poco tiempo despues de entrar en nuestra atmósfera, se acelera hasta tal grado la vibracion de las moléculas interiores, que su temperatura se eleva al calor blanco, fundiéndose una parte del meteorito si es de dimensiones considerables, ó disipándose en vapor si es suficientemente pequeño, dejando tras sí una estela luminosa de gases inflamados.

Haidinger, en una teoría que abraza todos los fenómenos que presentan estos cuerpos, explica la aparicion de un bólido ó estrella fugaz, suponiendo que el meteorito, á consecuencia de su rápido movimiento á través de la atmósfera, comprime el aire que halla por delante hasta que se hace luminoso; el aire comprimido en que brillan las partículas sólidas de la superficie del uranolito, lo rodea por todas partes, excepto por la superficie posterior del meteoro, en donde se forma un espacio vacío de hechura de pera, pareciendo al observador como un globo de fuego. Si varios de estos cuerpos entran en la atmósfera terrestre á un tiempo mismo, el mayor de ellos precede á los demás porque el aire ofrece menos resistencia á su superficie, proporcionalmente mas pequeña, el resto sigue el rumbo del primer meteoro, que es el único que aparece rodeado de un globo de fuego. Cuando á causa de la resistencia del aire se detiene el movimiento

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del meteoro, permanece por un momento en perfecto reposo, se extingue la bola de fuego ó bólido, el aire incumbente se precipita en el vacío que se forma detrás del cuerpo, el cual abandonado exclusivamente á la accion de la gravedad, cae verticalmente en la superficie de la Tierra.

La detonacion que por lo comun acompaña á estos fenómenos se explica con toda facilidad por la violenta concusion del aire que está detrás del uranolito, sin que sea menester atribuirla á un resultado de la explosion del mismo cuerpo.

Como muchos meteoros se extinguen antes de llegar á la Tierra, parece natural deducir que sus masas han de ser muy pequeñas. Si se averigua la distancia de un meteoro á la Tierra y tambien su brillo aparente en comparacion con el de un planeta, es posible, estimando su luminosidad por la analogía que ofrezca con una cantidad conocida de gas inflamado, apreciar el grado de calor desarrollado por la combustion del meteoro. Y como este calor se origina porque el movimiento del uranolito se interrumpe por la resistencia del aire, y como esta fuerza viva ó cantidad de movimiento depende de un modo exclusivo de la velocidad del cuerpo y tambien de su masa, es posible cuando se conoce la velocidad por observaciones directas, determinar la masa.

El profesor Alejandro Herschel calculó por este método que los meteoros del 9 y 10 de agosto de 1863, que igualaban en brillo á Vénus y Júpiter, debieran poseer una masa de tres á cinco kilógramos, y que los de brillo semejante al de las estrellas de segunda á tercera magnitud pesarian cuatro ó cinco gramos. Como la mayor parte de los meteoros que se observan ofrecen menor brillo que las estrellas de segunda magnitud, los meteoros débiles solo pesarán unos cuantos centígramos, pues segun los trabajos del mismo profesor, los cinco meteoros observados en la noche del 12 de noviembre de 1865, algunos de los cuales superaron en brillo á las estrellas de primera magnitud, tenian de peso, por término medio, unos tres decígramos; Schiaparelli estimó que el peso de un meteoro que observó en condiciones favorables no pasaria de nueve decígramos. Sin embargo, la masa de las piedras meteóricas que han caido en la Tierra es considerablemente mayor, segun hemos podido demostrar en otro lugar de esta obra. Tam-

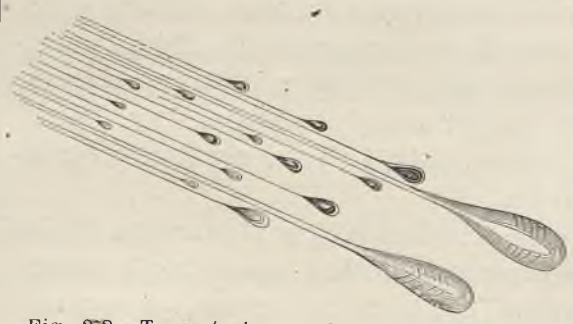


Fig. 373.—Trayectorias paralelas de los meteoros

bien es mayor la masa de las nubes meteóricas compuestas de pequeños cuerpos en número incalculable, que penetran en la atmósfera de nuestro planeta con trayectorias paralelas como indica la fig. 373, y que por su ignicion simultánea y caida hácia el suelo, presentan el aspecto de un gran meteoro roto en varios pedazos.

No hay que suponer, sin embargo, que la densidad de semejante nube cósmica sea tan grande cuando se encuentra fuera de la atraccion del Sol y de la Tierra, como cuando llega á caer en la superficie del globo. Segun los cálculos de Schiaparelli fundados en la observacion de los meteoros del mes de agosto, la distancia que media entre ellos es, poco mas ó menos, de 185 leguas; á medida que las nubes cósmicas que producen los meteoros se aproximan al Sol en su errante camino al venir de las profundidades del espacio, se va aumentando su densidad unos cuantos millones de veces, por consiguiente, la distancia entre los uranolitos de varios centígramos de peso, antes de que la nube principie á condensarse, puede ser superior á 16,000 leguas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Por lo que hemos aprendido respecto de la naturaleza y constitucion de los cometas, nébulas, nubes cósmicas y enjambres meteóricos, resulta que al parecer existe una gran semejanza de forma entre todos estos cuerpos. La afinidad que hay entre los cometas y los meteoros la reconoció Chladni, pero Schiaparelli, como llevamos dicho, fué el primero que tuvo en consideracion todos los fenómenos producidos por estos misteriosos cuerpos celestes, y con maravillosa perspicacia discutió las numerosas observaciones recogidas en el curso de los últimos años por Oppolzer, Peters, Bruhns, Heis, Le Verrier y otros observadores.

No solo demostró que las órbitas de los meteoros indicaban una estrecha coincidencia con las de los cometas, y que el mismo objeto puede aparecer á nuestra vista como cometa unas veces y otras como lluvias de meteoros, sino que tambien probó por cálculos matemáticos profundos y elegantes, que las dispersas masas cósmicas que conocemos con el nombre de nébulas, podrian, si en su viaje por el infinito se acercaran lo suficiente para experimentar la atraccion poderosa del Sol, convertirse en cometas y estos á su vez en enjambres de uranolitos.

Nos apartaria mucho de nuestro objeto presente, el discutir de nuevo la teoría de Schiaparelli y nos limitaremos á exponer sus principales puntos de vista.

Las nébulas se componen de materia cósmica en la que hasta ahora no existe punto central de condensacion y que todavía no ha adquirido densidad suficiente para formar un cuerpo celeste en el sentido vulgar de la palabra. La sustancia difusa de estas nubes cósmicas tiene poco enlace entre sus partículas y estas se hallan muy separadas, constituyendo de esta suerte masas de extension enorme, algunas de las cuales han tomado forma irregular y otras no. Como estas nubes de polvo celeste han de estar dotadas, de igual manera que nuestro Sol, de movimiento, sucederá á las veces que se acercarán á nuestro sistema lo bastante como para caer bajo el influjo de la atraccion solar; obra esta con mas energía en la parte anterior de la nébula que en la region posterior, y cuando todavía se encuentra á gran distancia, comienza la nébula á perder su forma esférica original y se alonga de un modo considerable.

Otras porciones de la masa nebulosa siguen continuamente á la parte anterior, hasta que la esfera se convierte en un largo cilindro cuya parte delantera, esto es, la mas próxima al Sol, es mas densa y puntiaguda que la parte posterior que conserva algun resto de su anchura primitiva. Al acercarse se completa mas la trasformacion de la nube cósmica; iluminada por el Sol la parte anterior, aparece á nuestros ojos como un núcleo denso, y la parte posterior, que se dirige al lado contrario del Sol, se presenta como una larga cola encorvada á causa del movimiento lateral que conserva la nébula, durante su progreso. Aparte de la nébula esférica original, completamente distinta de nuestro sistema solar, se ha formado un cometa que en sus cambios de condicion pasa á través de nuestro sistema para vagar de nuevo en el espacio, ó bien permanece como miembro perpetuo de nuestro sistema planetario.

La forma de la órbita en que circula depende de la velocidad original de la nube, de su distancia al Sol y de la direccion de su movimiento, de modo que su curso puede ser elíptico, hiperbólico ó parabólico; en los dos últimos casos se presenta el cometa en nuestro sistema para perderse de nuevo en los abismos del cielo, pero en el primero, esto es, si su órbita es elíptica, gira alrededor del Sol como los planetas, en un período fijo de tal ó cual número de años. De aquí se deduce, con toda evidencia, que las órbitas cometarias pueden presentar todos los ángulos posibles con la órbita

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la Tierra y que sus movimientos pueden ser directos ó retrógrados.

La historia de la nube cósmica no termina, empero, con su trasformacion en un cometa. Schiaparelli demuestra de un modo palmario, que como un cometa no es una masa sólida, sino que se compone de infinitas partículas cada una de las cuales posee un movimiento independiente, la cabeza ó núcleo mas inmediato al Sol debe completar su circuito, necesariamente, en menos tiempo que las porciones mas lejanas de la cola. Esta, por consiguiente, se quedará rezagada respecto del núcleo en el curso de la revolucion cometaria, y el astro que cada vez se alonga mas, se resolverá al cabo, total ó parcialmente, en un anillo de meteoros.

De este modo se esparce todo el cometa en pequeñas masas por su órbita, masas que son los cuerpos meteóricos oscuros que al penetrar en la atmósfera terrestre se hacen luminosos y aparecen como estrellas fugaces. En lugar del cometa circula entonces al rededor del Sol un ancho anillo de piedras meteóricas, que producen el fenómeno que observamos todos los años de la lluvia de estrellas del mes de agosto. Si este anillo es continuo y las masas meteóricas están esparcidas por todo el curso del primitivo cometa, ó si los meteoros individuales como en el enjambre de noviembre no llenan por completo toda la órbita y conservan aun en parte la forma cometaria, es cuestion que el tiempo ha de resolver con auxilio de la influencia solar, trasformando la nube cósmica; al cabo de los años, la materia constituyente de un cometa que describe su órbita al rededor del Sol, debe dispersarse en todo su trayecto; si la órbita primitiva fuese elíptica, se formará gradualmente un anillo meteórico de la sustancia del cometa del mismo tamaño y forma que la órbita original.

Schiaparelli ha descubierto una semejanza tan extraordinaria entre el curso de los meteoros de agosto y el cometa III de 1862, que no es posible abrigar la menor duda en cuanto á su completa identidad; de esto hemos hablado ya en otra parte, pero es de tanto interés, que no tememos cansar al lector ampliando nuestras anteriores consideraciones. Los meteoros que producen la lluvia anual de estrellas fugaces del 10 de agosto no se encuentran distribuidos por igual en todo el curso de la órbita; es posible distinguir todavía la aglomeracion de las partículas meteóricas que primitivamente formaron el núcleo cometario, de las otras porciones menos densas del cometa; así, pues, en el año 1862, la parte mas compacta de este anillo de meteoros por el cual pasa la Tierra anualmente en la noche del 9 al 10 de agosto, y que produce la aparicion de las estrellas fugaces, se vió con forma de cometa con cola y cabeza en sus partes mas densas, aproximarse al Sol y á la Tierra en el curso del mismo mes. Oppolzer, de Viena, calculó con todo esmero la órbita de este cometa que fué visible á la simple vista; Schiaparelli habia calculado préviamente la órbita del anillo meteórico á que pertenecen las estrellas fugaces del 10 de agosto antes de que penetren en la atmósfera de la Tierra; la identidad casi perfecta de ambas órbitas justificó la atrevida afirmacion del sabio italiano, de que el cometa III de 1862 está formado por los restos del cometa original que en el curso del tiempo produjo el anillo meteórico del 10 de agosto.

La diferencia entre los núcleos de los cometas y sus colas, convertidas ahora en anillo, estriba en que mientras la masa meteórica mas densa que forma la cabeza se aproxima tanto á la Tierra una vez cada ciento veinte años, hasta el punto de ser visible por la luz refleja del Sol, las porciones mas separadas de la cola que componen el anillo permanecen invisibles aunque nuestro planeta pase á su través todos los años el 10 de agosto. Fragmentos tan solo de este anillo compuesto de partí-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

culas meteóricas oscuras, se hacen visibles como estrellas fugaces cuando penetran en nuestra atmósfera por la atraccion de la Tierra, inflamándose por la compresion del aire.

Una nube de meteoros de tal carácter solo puede observarse, naturalmente, en los nodos de su órbita, esto es, en los puntos en que corta á la órbita de la Tierra y por consiguiente se encuentra en ellos al propio tiempo, de modo que los uranolitos pasen á través de nuestra atmósfera. La nébula que entra en la esfera de atraccion de nuestro sistema solar apareceria á su mínima distancia del Sol (perihelio) como cometa, y al atravesar la envoltura aérea de la Tierra, como lluvia de meteoros.

El cálculo demuestra que este anillo de meteoros mide en su diámetro mayor unos 4,000 millones de leguas; como la lluvia meteórica del 10 de agosto dura próximamente unas seis horas y la Tierra camina con una velocidad de 7 leguas escasas por segundo, se deduce que el espesor del anillo en el punto en que lo encuentra nuestro globo debe ser de 1.426,000 leguas.

Los cálculos de Schiaparelli, Oppolzer, Peters y Le Verrier han hecho que se descubra tambien el cometa que produce los meteoros de noviembre, que no es otro sino el pequeño cometa I de 1866 observado por primera vez por Tempel. Su trasformacion en un anillo de meteoros no está tan adelantada como la del cometa de 1862 núm. III; su existencia es de fecha mucho mas reciente, y por lo tanto, la dispersion de las partículas meteóricas á lo largo de la órbita y formacion subsiguiente del anillo, se hallan poco desarrolladas.

Segun Le Verrier, una nube cósmica entró en nuestro sistema en enero de 126, y pasó tan cerca del planeta Urano, que por su atraccion adquirió una órbita elíptica alrededor del Sol; esta órbita es la del cometa descubierto por Tempel y calculado por Oppolzer, é idéntica con la de los meteoros de la aparicion de noviembre. Desde esa fecha, esta nube cósmica, en forma de cometa, ha efectuado cincuenta y dos revoluciones alrededor del Sol sin que haya dado á conocer su existencia de otro modo, que por la pérdida de un número inmenso de sus componentes en forma de estrellas fugaces, cuando á cada revolucion cortaba el camino á la Tierra en el mes de noviembre, en períodos de treinta y tres años. Unicamente en su última revolucion que tuvo lugar el año 1866, se percibió por primera vez como cometa esta nube meteórica, que ahora forma parte de nuestro sistema solar.

La órbita de este cometa es mucho mas pequeña que la de los meteoros de agosto, extendiéndose en el afelio hasta la órbita de Urano y acercándose en su perihelio á la Tierra á una distancia igual á la que nos separa del Sol. Ejecuta su revolucion el cometa en unos treinta y tres años y tres meses y encuentra la órbita terrestre al aproximarse al Sol á fines de setiembre; va seguido por un amplio grupo de pequeños cuerpos meteóricos, que forman una cola ancha y larga que atraviesa la Tierra el 13 de noviembre; las partículas que se aproximan á nuestro globo y que atraidas por su masa penetran en la atmósfera, se inflaman y aparecen como estrellas fugaces; como durante tres años seguidos encuentra la Tierra la cola del cometa ó enjambre meteórico, en el mismo lugar, podemos deducir que su longitud no baja de 712 millones de leguas.

En comparacion con estas conclusiones importantes obtenidas por la observacion de los fenómenos y por el cálculo, que manifiestan la naturaleza y mútuo enlace de las nébulas, cometas, meteoros y bólidos, son de valor muy secundario los resultados del análisis espectral aplicado al estudio de estos últimos cuerpos. No es esto de extrañar, si consideramos la rapidez con que estos fulgentes meteoros cruzan por la atmósfera y lo difícil que es apuntarles con los espectroscopios en los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

breves instantes que dura su aparicion; antes de que se pueda dirigir el instrumento al meteoro ó bólido y de que se ajuste el foco, desaparece el objeto de la vista; por consiguiente, la aplicacion del análisis espectral al exámen de estos fugaces viajeros es puramente fortuita y solo puede emplearse con algun éxito en las noches en que todos los años, y en períodos conocidos de antemano, se sabe que ha de tener lugar una lluvia copiosa de estrellas fugaces.

En el año de 1865 consagró su atencion Alejandro Herschel al estudio de los meteoros del año siguiente, y sugirió la idea de que podian observarse con el espectroscopio, fundándose en que algunas observaciones espectroscópicas efectuadas préviamente, habian demostrado que el espectro de los meteoros era continuo y carecia de líneas oscuras. Browning, óptico famoso de Lóndres, sin rival en la construccion de espectroscopios, emprendió esta inves-

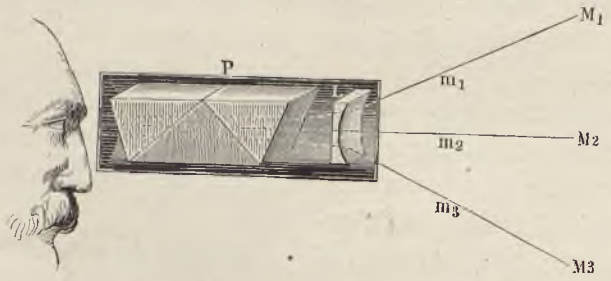


Fig. 374.—Espectroscopio de meteoros, de Browning

tigacion y observó en las noches del 9 y del 10 de agosto, y tambien en las primeras horas de la mañana del 14 de noviembre, en su Observatorio particular de Upper Holloway cerca de Lóndres, nada menos que setenta espectros de meteoros y de sus rastros.

El espectroscopio de mano que ya describimos, es muy á propósito para el análisis de las estrellas fugaces; mejor aun es el instrumento que se representa en la fig. 374, construido especialmente por Browning para su propio uso, con el cual el ángulo aparente se disminuye mucho, y que á causa de su gran campo visual facilita en extremo la observacion de las estrellas fugaces.

Este instrumento consiste en un prisma compuesto, de vision directa P, y de una lente cilíndrica plano-cóncava. M_1, M_2, M_3 indican tres posiciones sucesivas en el curso del meteoro, y m_1, m_2, m_3 manifiestan el camino seguido por los rayos desde el meteoro á la lente L; las líneas de puntos indican el curso que siguen los rayos al pasar á través del medio refringente.

El rayo m_1 llega al ojo al mismo tiempo que el rayo m_3, de manera que á la vista se presenta toda la region del cielo comprendida entre M_1 y M_3 y es posible observar, en consecuencia, la carrera del meteoro en ese trayecto, sin necesidad de mover el instrumento; en este espectroscopio parece que las estrellas fugaces no tienen movimiento y sus espectros se observan con toda comodidad. Browning consiguió observar con este pequeño aparato los espectros de algunos cohetes lanzados á corta distancia y aunque la velocidad angular de estas piezas de artificio era muy considerable, pudo, sin embargo, distinguir sin dificultad las líneas características de los metales que entraban en su composicion, esto es, del bario, estroncio, sodio, etc.

Si se coloca una lente bicóncava de foco mas largo que la cilíndrica, inmediatamente enfrente de L, y dirigida hácia el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cielo, entrarán en el ojo rayos dotados de mayor convergencia que M_1 y M_3, aumentándose por tal medio de un modo considerable, el campo visual del instrumento.

En vez de observar el espectro á la simple vista puede hacerse uso de un pequeño anteojo cuya posicion y direccion respecto de los prismas se representa en la fig. 250.

Para efectuar Browning sus observaciones, dirigió el instrumento al lugar del cielo de donde arrancaban los meteoros, y consiguió que varios de ellos entrasen en el campo visual del espectroscopio, de modo que sin mayor esfuerzo pudo determinar sus caractéres espectrales.

El espectro de las cabezas de los meteoros era principalmente continuo y aparecian en él todos los colores prismáticos del espectro solar, excepto el violeta; en algunos casos, sin embargo, predominaba el color amarillo; en otros se componia el espectro, casi por completo, de un tinte amarillento por mas que se percibian, aunque muy débilmente, todos los demás colores desde el rojo al verde. En dos meteoros se observó un espectro homogéneo de color agrisado; no habia diferencia perceptible en la luz de los núcleos de las estrellas fugaces de agosto y noviembre.

En el rastro ó cola de los meteoros de agosto solo se percibia una línea amarilla de intenso brillo, lo cual indica la presencia de un gas luminoso; esta linea podia compararse exclusivamente á la del sodio incandescente.

En los meteoros de noviembre, por el contrario, el espectro de la cola se caracterizaba por su continuidad y anchura, y tambien por su falta de color; la luz que generalmente era azul, verde ó gris de acero, parecia ser homogénea, pero esta apariencia pudiera provenir de la propia debilidad de la luz como sucede con las estrellas fijas inferiores á la tercera magnitud, en cuyos espectros faltan los rayos rojos y azules.

La línea amarilla que exhibe el rastro de los meteoros de agosto faltaba tambien en el de las estrellas fugaces de noviembre. El principal resultado de estas investigaciones se limita, por consiguiente, á establecer como hecho demostrado, que los meteoros son cuerpos sólidos incandescentes, y que existe una diferencia discernible en la composicion química de las lluvias meteóricas de agosto y de noviembre.

El enjambre de este último mes fué observado por el P. Secchi el año de 1868. Entre los numerosos meteoros que dejaron en el cielo un rastro luminoso, hubo uno, en particular, cuya estela duró quince minutos, siendo de brillo suficiente para que se pudiera examinar, sin gran trabajo, con el prisma. Halló el sabio jesuita que el espectro era discontinuo y que sus bandas principales eran roja, amarilla, verde y azul.

Además de esta observacion tuvo Secchi la fortuna de ver dos meteoros en el espectroscopio; la línea del magnesio se percibió con gran distincion y tambien aparecieron algunas mas en el rojo.

Debido á la gran dificultad que presenta la observacion espectral de los meteoros con instrumentos provistos de ranura, solo se emplean en estas investigaciones espectroscopios especiales con lente cilíndrica; si los cuerpos analizados ofrecen un diámetro muy sensible, es difícil ver las líneas destacadas con distincion, pero en otro caso, como, por ejemplo, en la mayoría de las estrellas fugaces y en los cohetes disparados á distancia, un ojo ejercitado percibe en el acto las líneas luminosas que exhiben estos objetos.

En el mes de julio de 1874 recibió el compilador de esta obra un espectroscopio de Browning, construido especialmente para el análisis de las estrellas fugaces, y que en algo se diferenciaba de los modelos que antes describimos; su objeto era estudiar algunos de los meteoros de la lluvia de agosto, y temeroso por las descripciones que se leen en los libros sobre la dificultad de columbrar estos cuerpos rapidísimos,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de no acertar en sus primeros ensayos, hizo lanzar á algunos cientos de metros de distancia de su observatorio, varios cohetes; desde el primero pudo con toda facilidad enfilarlo con el espectroscopio, de igual manera que el cazador apunta con su escopeta á la infeliz avecilla; ni uno solo de los cohetes dejó de analizarse, si bien no hay que negar que al final era mayor la destreza que al principio. Concluida la provision de cohetes quiso la buena fortuna que se celebrase en Cádiz una gran fiesta pública, en la que por varios dias se quemaron vistosos fuegos artificiales; los elementos de las sales que entraban en su composicion se determinaron con facilidad sorprendente.

A los pocos dias principiaba la colision de la Tierra con el enjambre meteórico y el compilador se hallaba bastante diestro en apuntar instantáneamente su espectroscopio á cualquier objeto, por veloz que fuese su movimiento. Las observaciones duraron desde las 9 de la noche del dia diez hasta las tres de la madrugada del once; la aparicion fué bastante lucida y todas las estrellas observadas pertenecian al grupo de las perseideas.

El número total de estrellas observadas con exactitud fué de 50; el espectro de 27 era continuo y por lo general faltaba el violeta, ó cuando menos estaba mal definido. En el rastro de casi todas ellas se observó, no obstante, la raya amarilla del sodio muy esplendente; el verde dominó en cinco y en una el azul. A la simple vista, esto es, al divisarlas antes de poderlas apuntar con el espectroscopio era su luz blanca por lo comun, y tambien verdosa; una sola manifestó tendencia al color azul.

Entre todas ellas fué notabilísimo un bólido bastante hermoso que apareció á 10^h 17^m 5^s cuyo rastro duró 1^m 30^s; presentó un espectro de absorcion en el que dominaba el verde, con muchas rayas negras finísimas; faltaba el violeta; en el rastro se destacaba la línea amarilla y se vieron tres ó cuatro espectros superpuestos como producidos por distintos focos, pero en todos se percibia la línea amarilla. Esto parecia indicar que el bólido se partió en varios fragmentos y que los diversos trozos hechos gaseosos y brillantes, formaron en el instrumento llamas distintas.

A los pocos meses debia de tener lugar la lluvia meteórica de noviembre y el observador pudo adquirir de nuevo cierta práctica gracias á los cohetes y otros fuegos de artificio, que todos los años se queman el dia 1.° de noviembre en un templo católico al regreso de una procesion.

Las observaciones comenzaron el dia 13 á las 11^h 3_m terminando el 14 á las 4^h de la madrugada; en este intervalo se observaron 35 meteoros. En las otras noches de observacion se aumentó este número á 44; las estrellas fueron por lo general débiles, de aparicion breve y de carrera rapidísima. El resultado del análisis espectroscópico presentó bastante diferencia con el obtenido en agosto, pues la raya amarilla de las perseideas no apareció en las leónidas, al menos aisladas, sino siempre en compañía del rojo y el verde, ora de este último no mas, y tambien del rojo solo.

En todos los casos no faltó nunca en los rastros de las estrellas que presentaron líneas brillantes, una raya verde, bien sola, ora asociada, como ocurrió en uno de los meteoros. De modo que la composicion química de las estrellas fugaces de agosto y noviembre no es igual; en las primeras predomina el sodio y en las segundas el magnesio ó el bario. La línea verde única, de estas últimas, parece corresponder al espectro del talio.

III

Análisis espectral de los relámpagos

Aunque estos meteoros son de orígen terrestre y muy bien pudiéramos excusarnos de hablar de ellos en esta obra, creemos que el lector verá con gusto los resultados obtenidos de su exámen espectroscópico.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Por la relacion y enlace íntimo que hay entre el relámpago y la chispa eléctrica, pudiera anticiparse que un destello ó ráfaga de electricidad meteórica, habria de presentar un espectro muy semejante al de la descarga eléctrica ordinaria que pasa á través del aire, y que por lo tanto, constaria de líneas brillantes pertenecientes al aire atmosférico, predominando entre todas la del nitrógeno. Esto se demostró de hecho por el capitan Herschel durante una tempestad, en la que fueron numerosísimos los relámpagos, y con auxilio del espectroscopio de mano ya descrito, halló que entre las innumerables líneas brillantes visibles, la azul del nitrógeno era la mas esplendente de todas, siguiendo luego la roja del hidrógeno H *alfa*; además de este espectro de líneas, era visible al propio tiempo un espectro continuo luminoso que mostraba los colores principales.

El espectro ordinario del relámpago produce una impresion de color verde y azul, ó mas bien azul verdosa; pero como en las fulguraciones muy brillantes se perciben todos los colores prismáticos, pudiera suponerse que la parte comprendida entre las líneas E y F es mucho mas brillante que el resto y que por ello predominan, al parecer, estos colores en el espectro.

La variacion de brillo relativo del espectro continuo y del espectro de líneas es muy sorprendente; á veces apenas son visibles las rayas y en otros casos, excepcion hecha de las líneas, no se percibe vestigio alguno de espectro.

La dificultad de distinguir las muchísimas líneas débiles se aumenta de un modo considerable por el carácter instantáneo del fenómeno; antes de que se haya podido escoger tal ó cual línea, la débil impresion causada en la retina ha desaparecido, y el recuerdo de la posicion de la línea á medio determinar se borra antes de que aparezca otro relámpago, de modo que no queda norma ni tipo que pueda servir de punto de comparacion.

Las observaciones mas completas que hasta ahora se han hecho sobre el espectro de la luz de los relámpagos se deben al profesor Kundt, de Zurich, quien observó mas de 50 apariciones luminosas de estos meteoros en distintas épocas, valiéndose de un espectroscopio de bolsillo; además del espectro de líneas brillantes aparecia siempre otro espectro formado por un gran número de bandas débiles poco mas anchas que las líneas, y dispuestas regularmente á intervalos iguales entre sí.

El espectro lineal consta de una y á veces de dos líneas entre el rojo extremo, de unas cuantas muy brillantes en el verde y de otras de menos brillo en el azul; además se perciben otras muchas de brillo escaso, pero perfectamente detalladas.

El espectro de los relámpagos ofrecia tan grandes diferencias, que mientras ciertas líneas eran muy brillantes en unos, desaparecian en otros por completo, siendo reemplazadas por una serie de líneas invisibles en otras fulguraciones. Iguales discrepancias presentaba el espectro de bandas coloradas; pues en unos relámpagos aparecian en el azul y el violeta, en otros en el verde, y tambien se percibian á veces en el rojo exclusivamente.

En muchas ocasiones cada relámpago ofrecia uno y no mas, de estos espectros; el lineal se veia por lo general en las descargas atmosféricas de forma quebrada, y el espectro de bandas en los relámpagos que consisten en la súbita iluminacion del cielo; tan solo en dos casos produjo la misma chispa, primero un espectro brillante de líneas perfectamente definido y luego, y de un modo repentino, exhibió un espectro de bandas igualmente distribuidas en toda su extension.

Cada uno de estos espectros corresponde á los distintos colores que á la simple vista se perciben en las dos clases de relámpagos; la luz de los relámpagos de forma quebrada es por lo comun blanca y la de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las fulguraciones informes principalmente roja, pero á veces tambien violeta y azulada. En esto hay conformidad con los diversos colores que presentan las descargas de las máquinas eléctricas segun la forma en que se manifiestan ya como chispa, ora como penacho luminoso. Así como la luz de la chispa que se hace descargar en el aire es mas ó menos blanca segun la naturaleza de los cuerpos que forman las puntas ó electrodos, de igual manera el color del penacho eléctrico es rojo ó violeta; la luz de la chispa eléctrica siempre da un espectro lineal y la del penacho muestra un espectro de bandas.

Las investigaciones de Kundt nos obligan á aceptar la conclusion de que la diferencia de los espectros de los relámpagos depende de la manera que tenga de descargarse la electricidad atmosférica, esto es, ó entre las mismas nubes, ó entre estas y la superficie del suelo.

Cuando una nube eléctrica se descarga en la tierra, tiene lugar el fenómeno en un estado de alta tension y va acompañado de un gran desarrollo de calor; así se ve la línea quebrada, ó como dicen los franceses en zig-zag, que pasa á través del aire atmosférico, es decir, á través de la mezcla gaseosa de oxígeno, nitrógeno, vapor de agua y ácido carbónico. Segun que uno ú otro de estos gases, ó que varios de ellos juntos se convierten en vapores luminosos por el paso de la descarga, toma diversos colores el espectro de los relámpagos.

Cuando, por el contrario, tiene lugar la descarga de una nube á otra, por lo comun toma la forma de un penacho con puntas, ó como si dijéramos, el aspecto de un peine, porque á consecuencia de la atraccion eléctrica anterior, ambas nubes adquirieron la forma dentada y en estas circunstancias rara vez se alcanza un grado de tension muy elevado, pasando la corriente con mucha frecuencia como una rápida sucesion de descargas, que aparecen de la hechura de un peine ó cepillo.

Las diversas clases que hay de descargas eléctricas van acompañadas de una variedad correspondiente, bajo este punto de vista; si la forma es de chispa, solo se oye un ruido estridente y seco; la descarga en forma de peine produce siempre el conocido y majestuoso redoblar del trueno.

Todos estos fenómenos nos llevan á una explicacion muy sencilla respecto de las varias clases de relámpagos, ora tengan forma de línea quebrada, de peine ó de fusilazo de verano; tambien es posible dar cuenta del ruido que acompaña á estas fulguraciones, pero aun quedan sin conocer muchos de los misterios que encierra el análisis espectral de los relámpagos, los que solo se resolverán cuando las observaciones sean mas numerosas y exactas.

IV

Espectros de la aurora boreal y de la luz zodiacal

El espléndido fenómeno que ofrece la manifestacion de una brillante aurora boreal va siempre acompañado por una perturbacion mayor ó menor de la aguja magnética, así que por mucho tiempo se supuso que las auroras se producian por el paso silencioso de la electricidad á través de las porciones rarificadas de los estratos superiores de la atmósfera terrestre, esto es, por una especie de descarga eléctrica semejante á la que tiene lugar en un tubo de Geissler lleno de aire muy rarificado.

Las observaciones espectrales de Angstrom sobre este fenómeno, no confirman la conjetura anterior, pues el arco luminoso que rodea el segmento oscuro y que nunca falta en las auroras débiles, da un espectro de una sola línea brillante, situada á la izquierda del conocidísimo grupo del calcio en el espectro solar. Además de esta línea comparativamente muy luminosa observó Angstrom con ranura mas ancha, vestigios de tres bandas muy débiles que casi llegaban á la línea F de Fraunhofer, pero solo en una ocasion aparecieron líneas

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ténues en esta zona durante las ondulaciones del arco.

La luz de la aurora boreal, es por lo tanto, casi homogénea ó monocromática. A estas observaciones efectuadas en el invierno de 1867 á 1868, se une un interés particular, porque en la luz zodiacal observó Angstrom de Upsala, la misma línea durante una semana completa, en el mes de marzo de 1867, en cuyo punto se vió con notable intensidad para esa latitud tan elevada; en las noches despejadas en que las estrellas brillan mucho y en que toda la bóveda celeste aparece como fosforescente, se perciben en el espectroscopio indicios de esta luz homogénea en el resplandor que proviene de todos los puntos del cielo.

La línea brillante mencionada, cuya posicion se determinó por Struve con el número 1259 de la escala de Kirchhoff (entre D y E) con un error probable de diez ó quince unidades, corresponde, segun Angstrom, á una longitud de onda de 0,0005567 de milímetro y no coincide con ninguna de las líneas conocidas de los elementos terrestres.

La hermosa aurora boreal que se manifestó el 12 de abril de 1869, visible en la Europa occidental, en Rusia y en la América del Norte, en cuya capital Nueva-York, ofreció un espectáculo admirable, fué observada espectroscópicamente en este último punto por el malogrado profesor Winlock. En oposicion á las observaciones de Europa, halló que el espectro consistia en cinco líneas brillantes, cuyas posiciones determinó segun la escala de Huggins y parecian corresponder á las divisiones 1280, 1400, 1550, 1680 y 2640. Las divisiones de la escala de Kirchhoff 1247, 1351 y 1473 corresponden á los tres primeros números.

El Dr. Winder observó repetidas veces el espectro de la aurora en la América septentrional; en el amarillo se veia casi siempre una línea amarilla brillante muy inmediata á D, pero menos refrangible, y que coincidia con una de las líneas oscuras del grupo telúrico que aparece en el espectro solar, cuando el luminar del dia se halla cerca del horizonte; además de esta línea habia otra mas débil en el verde y en una ocasion se percibió otra en el rojo.

La aurora boreal fué observada por Rayet y Soret el 15 y 16 de abril de 1869, percibiéndose en el espectro con toda claridad la línea auroral característica (longitud de onda 5567 diez millonésimas de milímetro, Angstrom) y tambien las líneas atmosféricas.

Flogel examinó por medio del espectroscopio la aurora boreal que apareció el 6 de octubre de 1869; en esta ocasion tambien fué la luz de carácter homogéneo, si bien abriendo moderadamente la ranura mostró el espectro exclusivamente la línea amarilla característica, cuya posicion se estimó que correspondia á la division 1230 de la escala de Kirchhoff. Cuando se ensanchaba la ranura hasta 1,3 milímetros, aparecia una luz verde muy débil situada cerca de la F del espectro solar; no se pudo concentrar esta luz en una línea luminosa por mas que se estrechó la ranura; en la direccion del rojo no se distinguió esta débil luminosidad, lo que aleja la idea de que pudiera deberse á algun reflejo estelar que penetrase en el instrumento.

El espectro de la aurora fué examinado por Mr. Ellery, de Melbourne, el 5 de abril de 1870; las radiaciones rojas eran muy brillantes y emitian bastante luz (como para permitir la lectura de un diario); la mas notable y brillante de las líneas del espectro era roja y mas refrangible que C; en el verde se veian dos bandas en la posicion de las rayas del calcio y otra banda nebulosa mas refrangible no se llegó á resolver en líneas. El segmento oscuro se apoyaba en el horizonte de la mar; encima se veia un arco de luz auroral verdosa, y de su bien definido contorno arrancaban los rayos rosados dirigiéndose hácia el zenit.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

La línea roja desaparecia en el momento en que se dirigia el espectroscopio á cualquier punto situado debajo del contorno indicado, y solo permanecian las líneas verdes; la pérdida y reaparicion de la línea roja era en extremo acusada segun que la ranura pasaba de la region roja á la del verde.

Esta misma aurora fué examinada por Schmidt en Lenepp (Provincias del Rhin). En este caso tambien constaba el espectro de una sola línea brillante y ancha, algo á la derecha de D hácia E, de intensidad variable, pues á veces decrecia mucho é inmediatamente despues brillaba con gran esplendor. En la vecindad de esta línea y extendiéndose hasta F, se veia una banda continua que con gran frecuencia se resolvia en tres líneas luminosas, aunque mas débiles que la primera.

En la noche del 24 al 25 de octubre de 1870 hubo una magnífica aurora boreal que fué visible en casi toda Europa hasta en las latitudes mas bajas, pues se observó desde el estrecho de Gibraltar; el fenómeno se reprodujo á la noche siguiente aunque con menor intensidad, si bien manifestó lo que llaman en los países septentrionales la *corona auroral*, espectáculo en extremo raro; numerosos rayos rojizos partian desde el segmento oscuro en todas direcciones para unirse en un punto situado al sur del zenit; todos estos rayos, cuya mayor parte eran de un rojo carmesí, cruzados por líneas blancas, convergian hácia el punto central mencionado, que conservó invariable su situacion respecto del horizonte.

El profesor Foster, de Berlin, halló que el espectro de la aurora del 25 de octubre se componia únicamente de la misma banda estrecha amarillo-verdosa cuya posicion ya se ha indicado, y que no coincide con ninguna línea de los elementos terrestres conocidos. No obstante, en las porciones del cielo que á la vista parecian carecer de iluminacion, revelaba el espectroscopio con toda claridad la línea característica de la aurora. El Dr. Tietjen afirma que algunas semanas antes, en el mismo Observatorio, en las noches en que no se percibia el menor vestigio de aurora, mostraba el espectroscopio la misma línea en varios puntos del cielo.

En la misma noche, Capron, de Guildford, observó en el espectro de la aurora una línea muy brillante en el verde, que era visible con gran distincion en todas partes del cielo, pero que se mostraba con notable lucidez en los rayos blancos de plata de la aurora. Además de esta línea se veia en el rojo otra, mucho mas débil, que corresponde al litio.

Un observador de St. Mary Church, Torquay, describe el espectro diciendo que constaba de cuatro líneas en el rojo y una en el verde; de ellas una muy marcada de color rojo estaba cerca de C; otra tambien fuertemente acusada, amarilla y pálida, cerca de D; otra mas pálida cerca de F y una mas débil aun detrás de esta última; tambien se distinguia un espectro continuo débil que se extendia de D hasta F.

La línea inmediata á C era la mas brillante de todas; por su posicion y color venia á corresponder al espacio que media entre las líneas rojas del litio y el calcio. Opina el observador que aquí se hallaban superpuestos dos espectros, uno producido por los rayos rojos, que constaba de cuatro rayas y del débil espectro continuo: y formado el otro por el resto de la luz dando orígen á la línea verdosa de las cercanías de D.

Gibbs, que observó en Lóndres en la misma noche, solo vió una línea en el rojo, muy semejante á C (H *alfa*) y otra raya en la region verde pálida del espectro.

Elger, de Bedford, tambien observó una banda roja en las inmediaciones de C; una banda blanca muy brillante cerca de D; la línea característica de la aurora, antes mencionada como visible el 25 de octubre en todas las regiones del cielo; una línea débil y mal definida cerca de F y tambien otra

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

raya excesivamente ténue situada á mitad de distancia entre estas dos últimas. La banda roja faltaba en el espectro de los rayos blancos de la aurora y las otras tres líneas permanecían visibles siempre. Segun esta observacion, el espectro que presenta la aurora no es el mismo en todas sus partes.

En la misma noche fué observada la aurora por Zöllner, en Leipzig, con un espec-pectroscopio en miniatura de Browning, y obtuvo el espectro representado en la figura 375. Con objeto de reunir suficiente luz, ensanchó la ranura algun tanto razonable, y para conseguir una aproximacion suficiente en la situacion de las líneas de la aurora, produjo simultáneamente las del litio y el sodio por medio de una lamparilla de alcohol.

La línea (2) en la region verde del espectro, es con toda probabilidad, la línea característica de la aurora (1474 de Kirch-



Fig. 375.—Espectro de la aurora boreal segun las observaciones de Zollner

hoff); la roja (1) en este caso tambien, solo se veia con distincion cuando se dirigia el instrumento á las regiones del cielo que parecian de un rojo profundo, mientras que la raya verde (2) se veia con mucho brillo en todas las porciones de la aurora. En las regiones azules del espectro, las bandas débiles *alfa* y *beta* se veian alguna que otra vez; la mas notable era *beta* por su anchura que se destacaba sobre el fondo iluminado.

Los observadores ingleses hablan de unas bandas brillantes cerca de F, mal definidas y en extremo débiles, y tambien de un espectro continuo que se extendia de D á F; Zöllner, por el contrario, considera que estas bandas mal definidas en el azul, son los restos del espectro continuo que se rompe por las bandas oscuras de absorcion *alfa* y *beta*.

Solo despues de haber desaparecido la aurora, pudo Zöllner observar con el mismo espectroscopio, el espectro del hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y ácido carbónico de los tubos de Geissler; llegó este observador á convencerse por las observaciones simultáneas que efectuó de los espectros del sodio y del litio, de que la línea roja de la aurora (1) no coincidia con las partes mas brillantes del espectro de ninguno de estos cuatro gases.

Es mas refrangible que la línea roja del hidrógeno H *alfa*, en lo cual convienen tambien los observadores ingleses, y segun Zöllner, pudiera estar situada muy cerca del grupo de rayas telúricas *a* del mapa de Angstrom, cuya longitud media de onda es de 0, 0006279 de milímetro.

Como las líneas principales del espectro de la aurora boreal no coinciden con las de los espectros de los elementos terrestres, opina Zöllner que si la luz desarrollada por la aurora es principalmente de carácter eléctrico, análogo al de los gases rarificados que se iluminan en tubos, han de poseer una temperatura inferior á la que se necesita para hacer luminosos nuestros gases en los tubos de Geissler.

El espectro de la aurora boreal, por consiguiente, no coincide con ninguno de los espectros conocidos de los gases de nuestra atmósfera, porque es espectro de un órden particular que hasta ahora no se ha producido por medios artificiales.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Hace falta todavía medir con mayor escrupulosidad la posicion de las diversas líneas del espectro de la aurora boreal, á diversas distancias del polo norte, especialmente dentro del círculo polar, antes de que se pueda dar una explicacion mas completa del fenómeno.

Despues de las observaciones sobre el espectro de la luz zodiacal efectuadas por Angstrom y otros, se ocupó particularmente del estudio de este fenómeno el profesor Wright del Colegio de Yale en los Estados Unidos, y de cuyos trabajos polariscópicos sobre el mismo asunto ya hablamos en las páginas anteriores. Este observador halló que la luz zodiacal está constantemente polarizada en un plano que pasa por el Sol, y dedujo naturalmente, que emanaba de este astro y que nos es trasmitida por reflexion en la superficie de los cuerpos sólidos extendidos por el espacio. Sus recientes observaciones publicadas en 1874, confirman esta manera de ver y establecen los hechos siguientes:

1.° El espectro de la luz zodiacal es continuo y sensiblemente el mismo que el de la luz solar débil ó crepuscular.

2.° Ninguna banda ó raya brillante se reconoce como perteneciente á este espectro.

3.° No hay ninguna prueba acerca de la relacion que pueda existir entre la luz zodiacal y las auroras polares.

No tenemos necesidad de enumerar las dificultades prácticas que tuvo que vencer el catedrático citado, para llegar á estudiar espectros tan débiles como los de la luz zodiacal y de la crepuscular; se trataba, en efecto, de determinar con precision suficiente la posicion de sus líneas características, sin auxilio de ninguna claridad ó iluminacion extraña, que hubiera podido hacerlas invisibles.

Con este objeto se sirvió M. Wright de un espectroscopio de Duboscq modificado de la manera siguiente:

«La pieza metálica que une el ocular al tubo móvil del anteojo, se reemplaza por otra pieza provista en cada uno de sus lados, de una abertura estrecha; en esta abertura y perpendicularmente al eje del tubo, se adapta con toda solidez un cuadro pequeño, rectangular, que lleva dos diafragmas movibles á voluntad por medio de unos tornillos que pasan por sus extremidades; la longitud del cuadro permite que el diafragma recorra la totalidad del campo del instrumento. Los bordes interiores de los diafragmas están de tal modo cortados, que forman dos líneas rectas perpendiculares á la direccion de su movimiento. Ajustadas exactamente al foco del ocular, se proyectan sobre la escala como dos líneas muy bien definidas que se pueden hacer paralelas á las rayas del espectro, girando el tubo convenientemente.

»Como estas líneas son algo curvas á causa de su paso á través del prisma, conviene colocar la escala en medio del campo, tomando las medidas á partir del centro de los diafragmas. En algunos casos se disminuia tambien la longitud de la ranura de modo que fuese por completo despreciable la curvatura de las rayas.»

Con este aparato, y tomando por lo demás todas las precauciones imaginables para que el ojo conservase toda su sensibilidad, no pudo Mr. Wright descubrir diferencia alguna entre el espectro de la luz zodiacal y el correspondiente á los resplandores crepusculares. De otro lado, así parece resultar plenamente de los dibujos que acompañan su explicacion.

La frecuente aparicion en el espectro zodiacal de una banda brillante, que coincide en absoluto con la de la aurora boreal, parece indicar á primera vista, que entre estos dos fenómenos hay cierta analogía. Despues de un gran número de observaciones llegó M. Wright á adquirir el convencimiento de que esta banda no se presenta mas que cuando existe en el cielo una verdadera aurora y que no pertenece, por consiguiente, al espectro de la luz zodiacal.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En contra de las observaciones de Wright pueden presentarse las efectuadas por Piazzi Smyth en Palermo, por el P. Secchi en Roma y por otros observadores. Segun estos últimos astrónomos, el espectro de la luz zodiacal no está formado por rayas monocromáticas en el sentido riguroso de la frase; se halla constituido por una banda azul verdosa, notablemente difusa, algo mejor terminada en el lado menos refrangible, sin que presente la menor relacion con la de la aurora boreal, ni tampoco con la raya 1474 de Kirchhoff.

Se asemeja á todas las luces azuladas ó débiles como la de los animales fosforescentes; estas, reforzadas y analizadas con atencion dan colores débiles y un espectro continuo, pero como no podemos reforzar la luz zodiacal, hemos de contentarnos con analizarla tal y como ella es.

Lo que no se puede negar es que la banda de su espectro no se confunde con la de la aurora boreal, y tal vez Respighi y Angstrom tomaron por luz zodiacal la de alguna aurora difusa que accidentalmente la acompañase.

Terminaremos esta parte de nuestro trabajo insertando un artículo sobre la luz zodiacal que hace cuatro años apareció en el *Bullettino Meteorológico dell' Osservatorio del Collegio Romano*, debido á un observador español. Dice así: «Hace ya algunos años que me dedicaba al estudio de este interesante fenómeno, pero como carecia de los instrumentos indispensables para investigarlos y habia una concordancia perfecta entre mi exámen á la simple vista y el que se describe en las obras de astronomía, no crei necesario presentar una relacion mas del espectáculo descrito anteriormente por tantos observadores famosos.

»Ultimamente he adquirido algunos instrumentos de bastante mérito, de los que me he servido con buen éxito y he podido hacer varias observaciones delicadas é interesantes, y me hallaba dispuesto á publicarlas, cuando llegó á mis manos un trabajo del profesor Wright, en el que de un modo concluyente se establecen hechos tan contrarios á los que yo he observado, que, sin hacerme vacilar en el juicio que tenia formado de mis observaciones, me pareció oportuno ocultarlas en un cajon de mi bufete, temiendo que su publicacion pudiera ser acogida con dudas y desconfianzas.

»He necesitado, pues, la excitacion benévola y poderosa de un ilustre amigo mio, para decidirme á dar á la estampa mi modesto trabajo, que llevado á buen fin con toda mi ingenuidad, no dejará de provocar algunas protestas por parte de ciertos observadores.

»Con objeto de que se pueda estimar convenientemente el grado de confianza que merecen las observaciones, me parece oportuno dar una idea de la situacion de mi observatorio, y de los medios é instrumentos de que me he valido.

»La ciudad de Cádiz forma un polígono casi regular de unos cinco kilómetros escasos de perímetro y se encuentra rodeada por el mar por todas partes, menos por el Sudeste, en donde una estrechísima lengua de tierra la une al continente.

»Mi observatorio es una torre de 40 metros de altura sobre el nivel medio del mar, y está situado al N. N. O. de la ciudad, separado del mar por algunas decenas de metros; ningun obstáculo me oculta el horizonte y en tiempo claro y sereno se extiende mi vista sobre un inmenso cristal circular de ocho leguas de radio.

»¡Cuántas veces la contemplacion de la naturaleza desde este balcon de Europa, me ha sumergido en profundas reflexiones!

»Como en esta ciudad no hay fábricas ni industrias en que se emplee el vapor, no se turba la trasparencia del aire con el humo de las chimeneas, etc., de modo que poco despues de la puesta del Sol se restablece el equilibrio térmico entre el mar y la ciudad, y gracias á la pequeña extension

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de esta y á la pureza del aire se enfria rápidamente, permaneciendo el cielo de una tranquilidad excepcional que permite las observaciones mas delicadas. No me parece exagerado el asegurar que en muchas ocasiones el cielo de Cádiz solo puede ser aventajado en pureza por el que se descubre en la cima de la altas montañas. Desgraciadamente estas buenas condiciones solo tienen lugar por la noche, pues durante el dia el gran calor que absorbe la ciudad produce algunas corrientes en la atmósfera que perjudican en extremo á la pureza de las imágenes, á lo cual se debe la gran dificultad que se experimenta en el estudio de las protuberancias solares.

»En esta torre, pues, principié mis observaciones desde el 2 de febrero y aun las continúo, porque todavía se ve con facilidad la luz zodiacal, que solo se pierde cuando se eleva la Luna sobre el horizonte. El tiempo por lo general fué favorable y solo una ó dos noches me ví obligado á suspender la observacion, ora por la impetuosidad del viento, ya por los vapores atmosféricos.

»El aspecto que presenta la luz zodiacal en el horizonte de Cádiz es por todo extremo interesante, y su intensidad luminosa supera á la de la Vía láctea en su parte mas brillante de la constelacion del Cisne.

»Su tinte ó coloracion no es homogéneo en toda su superficie, ni conserva todas las tardes el mismo tono; es blancuzca desde el vértice hasta los 30 ó 40 grados, y desde esta altura hasta el horizonte va tomando un color anaranjado mas fuerte, á medida que la region explorada se aproxima á la línea del mar.

»La semejanza de este color con el que presenta la Luna eclipsada, me sugirió la idea de que este color cobrizo pudiera deberse á la atmósfera terrestre; observé con la mayor atencion lo que ocurria mientras iba desapareciendo la luz, y á partir de la altura que he indicado sobre la tinta blancuzca ó lechosa, apenas sufria la menor alteracion, hasta que los últimos rayos se perdian en el mar.

»Todas las noches favorables se repitió la observacion y siempre se obtuvo el mismo resultado.

»La altura del vértice del cono la determiné por comparacion con alguna estrella vecina, y la de esta con el sextante; los resultados obtenidos presentan algunas diferencias y la altura mayor fué de 70 grados.

»Algunas noches se nota hácia el este, cierto resplandor que no es del crepúsculo porque dura dos ó tres horas despues de la puesta del Sol; no llega á adquirir una forma bien determinada, por mas que se parece algun tanto á un hierro de lanza; su color es blancuzco.

»No sé si será debido al cansancio y debilidad de mi vista, ó al fenómeno mismo, pero he creido percibir cierto movimiento ondulatorio ó de vibracion en toda la extension del huso luminoso. Esta manifestacion no era constante, y por el contrario, en otros casos la tranquilidad y placidez de la luz le prestaban, por decirlo así, un carácter mas misterioso.

»Debo advertir, por mas que parezca inútil, que no es esta la primera vez que me ocupo de este fenómeno y que lo he observado en otros lugares de España y en el Mediterráneo, pero nunca se me presentó con tanta belleza y esplendor como ahora.

»Habiendo descrito ya el aspecto que presenta el fenómeno á la simple vista, paso ahora á ocuparme de los resultados obtenidos por medio del análisis espectral. Las observaciones se llevaron á cabo con la mayor escrupulosidad y sin idea alguna preconcebida, y al considerar la discordancia que presentan con las que efectuó el profesor Wright, no sé qué pensar. Sus trabajos hechos con la mayor delicadeza dan, empero, un resultado negativo, mientras que los mios efectuados con instrumentos modestos y comprobados muchas veces, son positivos; no puedo dudar de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sus conclusiones, pero tampoco de las mias. El tiempo y los trabajos de otros observadores darán la razon en este punto á quien corresponda.

»Primeramente me serví de un espectroscopio de bolsillo de Browning, y lo dirigí á la parte central é inferior del cono luminoso; inmediatamente percibí un espectro continuo, débil y casi me atreveria á decir monocromático, con cierto parecido con el que ofrecen los rastros de algunas estrellas fugaces.

»A poco, y familiarizado ya con el espectro, ví destacarse una ténue y ligera línea amarillenta ó verdosa, que al principio me pareció del sodio, pero pronto me convencí de que era mas refrangible; abrí un poco la rendija y se ensanchó la línea perdiendo su finura. En el resplandor que se divisaba al este, es decir, en la parte opuesta del cielo, era visible el espectro, pero no se distinguia la raya amarilla y era necesario ensanchar la rendija para percibirla. En otros puntos del cielo ví tambien el espectro continuo, pero con mayor dificultad. Con el espectroscopio de meteoros noté un espectro continuo con dos dilataciones mas luminosas que correspondian á la línea amarilla mencionada y á la region del azul.

»Apliqué entonces al refractor un espectroscopio de Hofmann, de cinco prismas, bastante bueno; el espectro se presentó débil, pero perfectamente definido y con mas luz que el del cometa de Coggia que fué analizado con el mismo instrumento. La línea verde ó amarillenta me pareció que estaba situada entre la D y la E, á igual distancia de ambas. La dilatacion que me dió el espectroscopio de meteoros se convirtió en una línea muy débil mas refrangible que F.

»Agrandando la ranura aumentaba el esplendor y el espectro continuo que formaba el fondo, pero los bordes perdian detalles y se hacian difusos; á medida que iba explorando el cono luminoso de abajo arriba, se debilitaban las rayas hasta que á los 30° ó 40° desaparecian por completo quedando solo el espectro continuo; esta observacion la repetí muchas veces y en noches distintas.

»A la tarde siguiente y cuando todavía duraba el crepúsculo vespertino, dirigí el anteojo armado con su espectroscopio á la parte mas baja en que debia de aparecer la luz zodiacal, y apenas se borraron los últimos destellos del crepúsculo se presentó el espectro continuo y poco despues las dos rayas mencionadas. De antemano habia preparado las pilas y el carrete de induccion de Ruhmkorff y tenia tambien dispuestos unos tubos de Geissler, para determinar la posicion de las rayas con la mayor exactitud que mis escasos medios me permitian.

»Despues de mucho trabajo y habiéndome rodeado de infinitas precauciones para evitar la entrada de cualquiera luz extraña, me encerré en la habitacion de la torre que ventilé muy bien para no turbar la pureza de la imágen con la diferencia de temperatura y observé por una gran ventana que mira al S. O.

»Entre los varios tubos de que me serví para determinar la posicion de las rayas se hallaba uno que contenia oxígeno; este gas da un espectro que consta de varias líneas, siendo muy notable entre ellas una de color amarillo; entre esta y la primera de las del grupo verde se encontraba la de este mismo color de la luz zodiacal. Si adoptamos la escala de Kirchhoff y damos á la línea A el núm. 405, á la C el 694, á la D el 1004 y á la E el 1523, me parece que se debe asignar á la raya verde de la zodiacal el núm. 1480 ó algo menos. No creo necesario manifestar que esta no es mas que una aproximacion.

»El espectroscopio de Hoffmann que empleo es excelente para los colores mas refrangibles del espectro, de modo que el azul y el violeta son muy extensos y brillantes.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

»Traté de determinar la posicion de la raya azul y pude conseguirlo con bastante dificultad, empleando un tubo de gas hidrógeno carbonado; la raya parecia coincidir con un grupo de cuatro líneas vaporosas del tubo de Geissler, y estaba colocada á la izquierda de F; le he asignado el n.° 2270 de la misma escala de Kirchhoff.

»Hasta aquí llega la parte principal de mis observaciones, efectuadas en febrero y marzo, si bien debo de agregar que todavía se presenta (mayo) la luz en el horizonte de Cádiz, y que una de estas noches la he enseñado á varias personas extrañas á la ciencia que la vieron sin dificultad alguna. Las rayas brillantes casi no se hubieran distinguido á no conocer de antemano su existencia.

»De estas observaciones, que en parte al menos me parecen nuevas, creo que puede deducirse la confirmacion de la idea emitida por algunos astrónomos, que atribuyen al Sol una atmósfera luminosa mucho mas dilatada que la que se ha podido columbrar durante los eclipses totales, cuya parte inferior y mas cercana al Sol, estará formada por la corona, y cuyo límite se extenderá hasta Vénus y la Tierra. Mi deseo seria que algun astrónomo con mayor conocimiento y medios mas perfectos, tratase de comprobar si las rayas que he visto coinciden con alguna de las que exhibe la corona; pudiera suceder que el número 1480 que se aplicó á la raya verde debiera ser el 1474 de la aurora boreal vista anteriormente, y en todo caso mi observacion será una prueba mas en su favor.

»En cuanto á la línea azul, aunque estoy bien persuadido de su existencia, no puedo decir lo mismo de su posicion y podrá corresponder ó no, al espectro de los carburos de hidrógeno; pero si tal coincidencia se probase, recordando que la materia de los cometas ha de dirigirse gradualmente hácia el Sol como gran centro de atraccion, no debe sorprendernos la íntima relacion que el espectroscopio demuestra entre la constitucion física de este astro y los cuerpos carbonosos que vienen á alimentarlo.

»Otros con mayor derecho podrán tratar esta cuestion que no hago mas que indicar y que no me hallo con fuerzas para discutir.»

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

TERCERA PARTE

LO PASADO, LO PRESENTE Y LO FUTURO DE NUESTRA TIERRA

INTRODUCCION

En el largo camino que hemos recorrido, no habremos dejado de observar que la ciencia que nos ha ocupado, la Astronomía, ofrece tres períodos perfectamente distintos que, relacionándose con los fenómenos, las leyes que los rigen y las fuerzas de que dependen estas leyes, nos enseñan el curso que esta ciencia ha seguido en sus progresos.

El primer período abraza las observaciones de los astrónomos anteriores á Kopérniko sobre los movimientos aparentes de los cuerpos celestes y las hipótesis que imaginaron para someter al cálculo estas apariencias. En el segundo período deduce Kopérniko los movimientos de la Tierra sobre su propio eje y al rededor del Sol, y descubre Keplero las leyes de los movimientos planetarios. Finalmente, en el tercer período, apoyándose Newton en estas leyes, se remonta al principio de la gravitacion universal, y aplicando los geómetras el análisis á este principio, deducen todos los fenómenos astronómicos y las numerosas desigualdades del movimiento de los planetas, de los satélites y de los cometas. De esta suerte se ha convertido la Astronomía en un vasto problema de mecánica, lo que se prueba si no, recordando el brillante descubrimiento de Le Verrier, que sin alzar su vista al cielo, sin haber observado jamás un astro ni haber manejado un instrumento, señaló con la misma seguridad que emplearia un geógrafo para marcar una ciudad en un mapa mudo, la posicion que debia ocupar en medio de los astros y á millones de leguas del Sol, el ignorado y remotísimo Neptuno.

Puede decirse tambien, que la Astronomía es la solucion de un gran problema de mecánica cuyas constantes arbitrarias son los elementos de los movimientos celestes; presenta la certidumbre que resulta del inmenso número y de la variedad de los fenómenos rigurosamente explicados, y de la sencillez del principio que basta por sí solo para explicarlos. Recibió este principio una nueva confirmacion cuando se descubrieron Urano y Neptuno que, como sus antiguos colegas, se sometieron á la ley general.

Tal es, sin duda alguna, la constitucion del sistema solar; el globo inmenso del Sol foco principal de los movimientos diversos de este sistema, gira en veinticinco dias y medio sobre sí mismo; su superficie está cubierta por un océano de materia luminosa; á cierta distancia se mueven los planetas y sus satélites en órbitas casi circulares y en planos que presentan una inclinacion muy escasa respecto del ecuador solar. Cometas innumerables vienen de las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

profundidades inmensas del espacio y despues de acercarse al Sol, vuelven á alejarse á distancias que prueban que su imperio se extiende mucho mas allá de los límites conocidos del sistema planetario. Este astro no obra solo por su atraccion sobre todos los globos obligándolos á moverse á su alrededor, sino que les comunica su luz y su calor. Su accion bienhechora hace que nazcan los animales y plantas que pueblan la superficie de la Tierra, y por analogía podemos suponer que en los demás planetas produzca efectos semejantes, porque lo mas natural es pensar que la materia cuya fecundidad vemos que de tan diversos modos se desarrolla, no debe ser estéril en Vénus, ni en Marte, cuerpos tan análogos á la Tierra, ni en el gigantesco Júpiter, pues todos estos planetas, de igual manera que el globo terrestre, tienen sus dias, sus noches y sus años, y lo que es mas, sus atmósferas y borrascas iguales á las nuestras.

Nacido el hombre para la temperatura que goza en la Tierra, no podria, segun creemos, vivir en los demás planetas; pero, ¿no es por todo extremo verosímil, que en esos mundos existan una infinidad de organizaciones relativas á las diversas temperaturas de los globos de este universo? Si la sola diferencia de los elementos y los climas ocasiona tal variedad en los productos terrestres, ¿cuáles no serán las discrepancias que presentarán entre sí los diversos planetas y sus satélites? Imposible nos es formarnos la menor idea acerca de estos fenómenos, pero no por ello deja de ser menos probable su existencia.

Por mas que los elementos del sistema de los planetas sean arbitrarios, tienen entre sí, no obstante, relaciones que pueden ilustrarnos en cuanto á su orígen; á poco que se reflexione sorprende el ver que todos los planetas se mueven alrededor del Sol de occidente á oriente y casi en un mismo plano; los satélites giran en torno de sus primarios en el mismo sentido, y poco mas ó menos en el mismo plano que los planetas; por último, el Sol, los planetas y los satélites cuyos movimientos de rotacion se han podido observar, giran sobre sí mismos en el sentido y casi en el plano de sus movimientos de proyeccion.

Ofrecen los satélites, bajo este punto de vista una particularidad en extremo notable; su movimiento de rotacion es exactamente igual á su movimiento de revolucion, de manera que presentan constantemente á su primario el mismo hemisferio; por lo menos así se ha observado en la Luna, en los cuatro satélites de Júpiter y en el último de Saturno que son los únicos cuya rotacion está plenamente comprobada.

No es posible que fenómenos tan extraordinarios se deban á causas irregulares; sometiendo al cálculo su probabilidad, se ha visto que hay mas de cuarenta mil millones de probabilidades contra una, en pro de una causa real y en contra de los accidentes casuales ó fortuitos, lo cual forma una probabilidad muy superior á la de la mayor parte de los acontecimientos históricos que con tanta confianza admitimos; tenemos, pues, que creer, al menos con igual confianza, que una causa primitiva ha dirigido los movimientos planetarios.

Otro fenómeno del sistema solar, tambien notabilísimo, es la pequeña excentricidad de las órbitas de los planetas y satélites, al paso que las de los cometas son muy alongadas; las órbitas de este sistema no ofrecen tipos intermedios entre una excentricidad considerable y otra pequeña.

En este punto nos vemos tambien obligados á reconocer una causa regular; la casualidad no hubiera dado una forma casi circular á las órbitas de todos los planetas; es, pues, necesario que la causa determinante de los movimientos de estos cuerpos las haya hecho casi circulares. Es preciso además que la gran excentricidad de las órbitas de los cometas y la direccion de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

TERCERA PARTE

LO PASADO, LO PRESENTE Y LO FUTURO DE NUESTRA TIERRA

INTRODUCCION

En el largo camino que hemos recorrido, no habremos dejado de observar que la ciencia que nos ha ocupado, la Astronomía, ofrece tres períodos perfectamente distintos que, relacionándose con los fenómenos, las leyes que los rigen y las fuerzas de que dependen estas leyes, nos enseñan el curso que esta ciencia ha seguido en sus progresos.

El primer período abraza las observaciones de los astrónomos anteriores á Kopérniko sobre los movimientos aparentes de los cuerpos celestes y las hipótesis que imaginaron para someter al cálculo estas apariencias. En el segundo período deduce Kopérniko los movimientos de la Tierra sobre su propio eje y al rededor del Sol, y descubre Keplero las leyes de los movimientos planetarios. Finalmente, en el tercer período, apoyándose Newton en estas leyes, se remonta al principio de la gravitacion universal, y aplicando los geómetras el análisis á este principio, deducen todos los fenómenos astronómicos y las numerosas desigualdades del movimiento de los planetas, de los satélites y de los cometas. De esta suerte se ha convertido la Astronomía en un vasto problema de mecánica, lo que se prueba si no, recordando el brillante descubrimiento de Le Verrier, que sin alzar su vista al cielo, sin haber observado jamás un astro ni haber manejado un instrumento, señaló con la misma seguridad que emplearia un geógrafo para marcar una ciudad en un mapa mudo, la posicion que debia ocupar en medio de los astros y á millones de leguas del Sol, el ignorado y remotísimo Neptuno.

Puede decirse tambien, que la Astronomía es la solucion de un gran problema de mecánica cuyas constantes arbitrarias son los elementos de los movimientos celestes; presenta la certidumbre que resulta del inmenso número y de la variedad de los fenómenos rigurosamente explicados, y de la sencillez del principio que basta por sí solo para explicarlos. Recibió este principio una nueva confirmacion cuando se descubrieron Urano y Neptuno que, como sus antiguos colegas, se sometieron á la ley general.

Tal es, sin duda alguna, la constitucion del sistema solar; el globo inmenso del Sol foco principal de los movimientos diversos de este sistema, gira en veinticinco dias y medio sobre sí mismo; su superficie está cubierta por un océano de materia luminosa; á cierta distancia se mueven los planetas y sus satélites en órbitas casi circulares y en planos que presentan una inclinacion muy escasa respecto del ecuador solar. Cometas innumerables vienen de las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

profundidades inmensas del espacio y despues de acercarse al Sol, vuelven á alejarse á distancias que prueban que su imperio se extiende mucho mas allá de los límites conocidos del sistema planetario. Este astro no obra solo por su atraccion sobre todos los globos obligándolos á moverse á su alrededor, sino que les comunica su luz y su calor. Su accion bienhechora hace que nazcan los animales y plantas que pueblan la superficie de la Tierra, y por analogía podemos suponer que en los demás planetas produzca efectos semejantes, porque lo mas natural es pensar que la materia cuya fecundidad vemos que de tan diversos modos se desarrolla, no debe ser estéril en Vénus, ni en Marte, cuerpos tan análogos á la Tierra, ni en el gigantesco Júpiter, pues todos estos planetas, de igual manera que el globo terrestre, tienen sus dias, sus noches y sus años, y lo que es mas, sus atmósferas y borrascas iguales á las nuestras.

Nacido el hombre para la temperatura que goza en la Tierra, no podria, segun creemos, vivir en los demás planetas; pero, ¿no es por todo extremo verosímil, que en esos mundos existan una infinidad de organizaciones relativas á las diversas temperaturas de los globos de este universo? Si la sola diferencia de los elementos y los climas ocasiona tal variedad en los productos terrestres, ¿cuáles no serán las discrepancias que presentarán entre sí los diversos planetas y sus satélites? Imposible nos es formarnos la menor idea acerca de estos fenómenos, pero no por ello deja de ser menos probable su existencia.

Por mas que los elementos del sistema de los planetas sean arbitrarios, tienen entre sí, no obstante, relaciones que pueden ilustrarnos en cuanto á su orígen; á poco que se reflexione sorprende el ver que todos los planetas se mueven alrededor del Sol de occidente á oriente y casi en un mismo plano; los satélites giran en torno de sus primarios en el mismo sentido, y poco mas ó menos en el mismo plano que los planetas; por último, el Sol, los planetas y los satélites cuyos movimientos de rotacion se han podido observar, giran sobre sí mismos en el sentido y casi en el plano de sus movimientos de proyeccion.

Ofrecen los satélites, bajo este punto de vista una particularidad en extremo notable; su movimiento de rotacion es exactamente igual á su movimiento de revolucion, de manera que presentan constantemente á su primario el mismo hemisferio; por lo menos así se ha observado en la Luna, en los cuatro satélites de Júpiter y en el último de Saturno que son los únicos cuya rotacion está plenamente comprobada.

No es posible que fenómenos tan extraordinarios se deban á causas irregulares; sometiendo al cálculo su probabilidad, se ha visto que hay mas de cuarenta mil millones de probabilidades contra una, en pro de una causa real y en contra de los accidentes casuales ó fortuitos, lo cual forma una probabilidad muy superior á la de la mayor parte de los acontecimientos históricos que con tanta confianza admitimos; tenemos, pues, que creer, al menos con igual confianza, que una causa primitiva ha dirigido los movimientos planetarios.

Otro fenómeno del sistema solar, tambien notabilísimo, es la pequeña excentricidad de las órbitas de los planetas y satélites, al paso que las de los cometas son muy alongadas; las órbitas de este sistema no ofrecen tipos intermedios entre una excentricidad considerable y otra pequeña.

En este punto nos vemos tambien obligados á reconocer una causa regular; la casualidad no hubiera dado una forma casi circular á las órbitas de todos los planetas; es, pues, necesario que la causa determinante de los movimientos de estos cuerpos las haya hecho casi circulares. Es preciso además que la gran excentricidad de las órbitas de los cometas y la direccion de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

su movimiento en todos sentidos sean sus resultados necesarios, pues considerando las órbitas de los cometas retrógrados con una inclinacion superior á 100 grados respecto de la eclíptica, se ve que la inclinacion media de las órbitas de todos los cometas observados se aproxima mucho á 100 grados, como debe ser si estos cuerpos han sido lanzados al acaso.

¿Cuál puede ser esta causa primitiva? En el segundo libro de la tercera parte de esta obra expondremos las diversas hipótesis elaboradas por los sabios acerca de estos fenómenos, las que presentamos con la desconfianza que debe inspirar todo lo que no es resultado de la observacion ó del cálculo.

Sea la que quiera la causa verdadera, es evidente que los elementos del sistema planetario están ordenados de modo que participe de la mayor estabilidad posible, á menos de que se vea perturbado por fuerzas extrañas. Por el solo hecho de que los movimientos de los planetas y de sus satélites son casi circulares y se dirigen en el mismo sentido y en planos poco diferentes, oscila este sistema en torno de un estado medio del que no se separa jamás sino pequeñísimas cantidades. Los movimientos medios de rotacion y de revolucion de estos diversos cuerpos son uniformes y sus distancias medias á los focos de las fuerzas principales que los animan son constantes; todas las desigualdades seculares son periódicas. Las mas considerables se refieren á las que afectan los movimientos de la Luna con relacion á su perigeo, á sus nodos y al Sol y se elevan á varias circunferencias; pero tras un gran número de siglos vuelven á restablecerse.

En este largo intervalo, todas las partes de la superficie lunar se presentarian sucesivamente á la Tierra, sin la atraccion de la esferóide terrestre que hace que la rotacion de la Luna participe de estas grandes desigualdades, y que se nos presente siempre el mismo hemisferio de este satélite, permaneciendo el otro invisible.

De igual manera, la atraccion recíproca de los tres primeros satélites de Júpiter estableció primitivamente, y conserva ahora, la relacion que se percibe entre sus movimientos medios, y que consiste en que la longitud media del primer satélite, menos tres veces la del segundo, mas dos veces la del tercero es constantemente igual á dos ángulos rectos. En virtud de las atracciones celestes, es casi siempre igual la duracion del año en cada planeta; el cambio de inclinacion de su órbita respecto de su ecuador, encerrado en límites estrechos, solo puede producir variaciones ligeras en la temperatura de las estaciones. Se diria que la naturaleza lo tiene todo dispuesto en el cielo para asegurar la duracion del sistema planetario, por vías semejantes á las que vemos que sigue en la Tierra y que causan nuestra admiracion, para conservar los individuos y perpetuar las especies.

Pero antes de penetrar en este *mare magnum* de hipótesis y suposiciones, en el que con tanto cuidado debemos navegar para evitar los escollos de la religion, de la poesía y de la historia, tenemos que presentar al lector algunos puntos de vista teóricos, relativos á las vicisitudes por que ha pasado el globo terrestre.

Limitados son los materiales de nuestra historia, pero así y todo, abrazan períodos de tiempo incalculables; debemos de tener presente tambien, que en estos estudios no podemos apoyarnos en el testimonio ocular y en la observacion personal de los hechos en el momento de su aparicion, como ocurre en los acontecimientos de la historia de los pueblos, de donde extraemos la parte mas considerable de nuestros conocimientos.

La explicacion de estos fenómenos nos la suministrarán únicamente los hechos que la Tierra nos pone de manifiesto en nuestra propia época, puesto que ahora mismo sigue trabajando en modelar su superficie por los mismos procedimientos que empleó allá en la noche de los tiempos, y desde

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que existe en el espacio en estado de cuerpo individual. Hoy dia, repetimos, modifica á nuestra vista, siquiera lentamente, su aspecto externo de igual manera que antes, pues no pára jamás, de modo que para escribir su historia debemos comenzar por adquirir un conocimiento exacto del estado presente, y apoyados en esta base podremos intentar la explicacion y descripcion sumaria de los períodos primitivos.

Cuando en nuestro estudio hallemos fenómenos que salgan del dominio de los conocimientos de lo presente, apoyaremos nuestras explicaciones en analogías basadas en los hechos actuales; daremos á estas analogías un grado de verosimilitud tanto mayor, cuanto mas completa sea la comparacion que podamos establecer con los fenómenos modernos, y mientras mas fácil nos sea fundarlas en las leyes generales de la naturaleza.

Estas explicaciones, á las que damos el nombre de hipótesis, desempeñan siempre un papel de mucha importancia en nuestra historia del universo; en este terreno y en el de las probabilidades nos quedaremos con tanto mas gusto, segun que el momento que consideramos se aparte mas de lo presente y segun que los hechos que le sean respectivos estén mas ó menos ilustrados por los sucesos del período actual. De este modo, los estudios hechos sobre el estado primitivo del globo han conducido siempre á resultados que respondian á los progresos del espíritu de observacion y al estado general de los conocimientos físicos.

Seria muy interesante el seguir en su conjunto la historia de estos dos instrumentos de nuestra ciencia, y el ver cómo se han perfeccionado poco á poco apoyándose uno en el otro, resumiendo luego los juicios y opiniones propuestas hasta hoy acerca del desenvolvimiento de la creacion; pero lo extenso del asunto no nos permite efectuar esta digresion, y nos contentaremos con saber que las teorías emitidas en todo tiempo pueden reducirse á dos opiniones fundamentales, que se distinguen con los nombres de *neptunismo* y *vulcanismo*.

Segun la teoría neptuniana, era el globo terrestre, en su primera forma, una mezcla de materias disueltas ó suspendidas en el agua; estas últimas se depositaron en capas estratificadas mientras que la evaporacion del agua hacia que las materias disueltas se precipitaran y pasasen al estado sólido; entonces se unia el todo y se iba superponiendo, produciéndose capas sobre las cuales se extendian nuevos depósitos, continuando así hasta que la totalidad de las dos materias se agotaba y quedaba el agua completamente purificada. El neptunismo pretende además, que todos los elementos del globo terrestre insolubles en el agua, se precipitaron en una mezcla caótica con mayor ó menor rapidez segun su gravedad, formando los mas pesados el primer núcleo sólido y luego los otros sucesivamente con arreglo á su ligereza específica. Este núcleo sólido se formó por la cristalizacion de las materias que tenia primero el agua en disolucion; esta separacion y cristalizacion se explicaban haciendo que el agua perdiera poco á poco la propiedad que tenia para poder disolver estas materias, ó mantenerlas en estado de disolucion, propiedad que ha perdido en nuestros dias.

Estas materias cristalinas formaron la armadura en que se apoyaron los depósitos terrosos, sobre los cuales aparecen todavía sus picos y cimas. De este modo explicaban los neptunianos el orígen de las montañas y de los depósitos estratificados de naturaleza térrea colocados en su base, en las llanuras que las rodean. El agua se acumuló en las partes mas bajas, y cuando en época posterior hubo equilibrio entre la evaporacion y las lluvias desprendidas de la atmósfera, se restableció el nivel de los mares de un modo invariable.

Tal era la hipótesis neptuniana fundada en consideraciones cuya refutacion defini-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tiva fué imposible, mientras faltaron pruebas que demostrasen que se le habia atribuido una generalidad de que por completo carecia. Antes de entrar en el exámen de estas observaciones, vamos á discutir, siquiera sea de paso, los hechos en que se apoya mas particularmente la teoría neptuniana.

Cuando se estudia con atencion la estructura de los terrenos llanos, se observa casi siempre que los elementos de que se componen están colocados en estratos superpuestos; no solo se reproducen estas capas casi en todas partes, sí que tambien se suceden, donde quiera que se les encuentra, en un mismo órden siempre; y si á menudo se ha observado que falta alguna de ellas en la serie, nunca se ha visto que aparezcan las capas en una sucesion normal diferente de la que siguen en todas partes; hablamos exclusivamente de los terrenos horizontales.

La misma naturaleza interna de estas capas habla mas bien en favor del depósito sucesivo en el agua, que el carácter de su yacimiento; en efecto, por lo comun están compuestas de materias insolubles en el agua y poseen de un modo muy caracterizado, todas las propiedades que observamos todavía en los depósitos acuosos llamados sedimentos.

La sustancia térrea está finamente dividida y sus elementos se han aglomerado por una accion mecánica, y segun que su estructura es mas concreta ó mas porosa, poseen grados diversos de dureza y resistencia. Consiste la masa siempre, en arcilla, marga ó cal, puras unas veces y otras mezcladas íntimamente con arenas y cuarzos; toman diversos nombres segun su naturaleza arcillosa, margosa ó calcárea, ó bien segun que predomina la arena hasta que llega á formar la masa total del depósito.

Cada capa presenta en su interior una disposicion estratificada, ya gruesa, ora delgada, y tanto en ocasiones, que casi no se percibe; entonces toman el nombre de esquistos arcillosos, margosos, calcáreos y otros. Es imposible dudar de la formacion por capas de esta textura esquistosa, y cuando en todos estos depósitos encontramos restos indubitables de organismos que solo pueden vivir en el agua y que por lo tanto han vivido en ella, podemos admitir sin dificultad, que estas capas son depósitos acuosos y que en la época de su formacion, el agua, en cuyo seno se depositaron, se hallaba ya poblada de séres vivos.

Estos restos de cuerpos organizados conocidos con el nombre de fósiles, ya pertenezcan á séres acuáticos ó á séres terrestres, nos llevan á la misma conclusion; ninguna sustancia orgánica, en efecto, ni aun la misma sustancia calcárea que forma las conchas y el esqueleto de los animales, puede resistir al fuego, y ni aun siquiera se conserva intacta bajo el influjo de una temperatura elevada. Las capas que contienen fósiles no pueden haber pasado, por lo tanto, por un estado de fusion ignea y solo pueden resultar de disoluciones ó mezclas acuosas.

En donde quiera que se encuentren estos fósiles denotan un modo de formacion por depósito en el seno del agua; si pertenecen á séres terrestres, dan la prueba mas evidente de que en los tiempos en que vivian, existia ya la tierra firme y de que el globo habia dejado de ser un océano inmenso sin orillas.

Su yacimiento, y la formacion acuosa de las capas en que se les encuentra, ponen fuera de duda que el mar se extendia entonces sobre estos puntos de la Tierra, y que recogió despues de muertos los organismos que vivian en las orillas; este fenómeno pudo verificarse de dos maneras; ó bien se extinguieron por muerte natural y las corrientes los arrastraron, ó bien los mares desbordados los sumergieron, depositándose luego sobre ellos nuevas capas. Estos hechos incontestables, establecen perfectamente el orígen neptuniano de los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

fundamentos del globo dispuestos en capas paralelas; esta teoría es muy natural y tan evidente, como puede serlo una verdad científica.

Pero el globo terrestre no se compone únicamente, de yacimientos estratificados; una gran parte, la mas considerable de todas, posee una estructura distinta llamada cristalina ó compacta; las rocas de esta naturaleza no se pueden considerar como el resultado de un depósito mecánico; es en extremo raro que contengan fósiles y debemos deducir que cuando se formaron, todavía no existian organismos, ó tambien que se han formado segun un proceso contrario á la conservacion de las sustancias orgánicas. Cuando en seguida comprobamos que las rocas cristalinas ó compactas situadas á mayor profundidad que todas las capas estratificadas poseen las mismas propiedades, la misma estructura y los mismos elementos que las formaciones privadas de fósiles, es claro que tenemos derecho para suponerles un orígen análogo ó estado primitivo de fusion ígnea.

Esta manera de ver, en cuanto á tales rocas, se halla generalmente aceptada, de igual modo que el orígen acuoso de los yacimientos estratificados cubiertos de fósiles. Por otra parte, como nos explica satisfactoriamente la posibilidad de las grandes revoluciones de la superficie del globo, tenemos un motivo mas para admitirla como hecho demostrado. Tales son las razones que justifican el *vulcanismo* con tanta fuerza como el *neptunismo* puede serlo por lo que antes dijimos acerca de los yacimientos terrestres estratificados. Pero no basta para admitir la posibilidad del vulcanismo que se encuentren en diversos puntos de la superficie del globo masas cristalinas sin fósiles. Esta teoría reclama tambien para sí la prioridad de la formacion de la Tierra; afirma que el globo en su orígen solo estaba compuesto de una materia flúida de fusion ígnea, quizás tambien transformada en vapores, y que poco á poco, por el enfriamiento sucesivo de las capas externas pasó de esta condicion al estado sólido; trata de probar este aserto por la existencia de los volcanes en actividad de la época presente, y por la semejanza de sus productos con las rocas cristalinas ó compactas sin fósiles. Se apoya sobre todo en el aumento de temperatura que se advierte á medida que nos acercamos al centro de la Tierra, y en la observacion de los cuerpos celestes que pertenecen á nuestro propio sistema solar, y que se encuentran todavía medio condensados ó poseen un grado distinto de densidad.

El vulcanismo admite, pues, en el orígen de las cosas un estado de fluidez del globo, pero no de fluidez *acuosa* sino de *fusion*. No solo reconoce el depósito regular de todas las materias telúricas flúidas alrededor de un punto central, sino que afirma que este proceso es el único posible, si su opinion es exacta. Proclama además que los depósitos por capas de las materias enfriadas y su superposicion recíproca obedecen á las leyes de la gravedad específica. Concede que los yacimientos estratificados con fósiles pueden considerarse como depósitos de los mares primitivos, los que, en su calidad de elemento mas ligero, debieron de extenderse sobre la corteza térrea ó pedregosa.

Pero rechaza la suposicion de los neptunianos, de que en el principio se elevasen las rocas cristalinas sobre las capas primitivas mas antiguas de la costra terrestre enfriada y que al pié de estas rocas, consideradas como su núcleo sólido, se depositaron las masas estratificadas. Por el contrario, afirma, que la corteza ya solidificada se desgarró de vez en cuando por causas diversas y que las materias en fusion, ó ablandadas por el calor, saltaron por estas quiebras llegando á endurecerse en un medio mas frio hasta solidificarse del todo.

Estas masas, continuando su accion, le-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vantaron sobre sus lados las capas estratificadas que las cubrian y dieron orígen á las primeras tierras firmes. La desigualdad del suelo, la oblicuidad de sus yacimientos causada por la elevacion de las montañas parecen en esta teoría fenómenos muy naturales que no puede explicar el neptunismo exclusivo; fenómenos que reproducidos por causas idénticas y análogas, se siguieron verificando hasta que poco á poco toda la tierra firme actual salió por encima del nivel mar.

Esta hipótesis, aunque imposible de demostrar empíricamente por el testimonio de la vista, se apoya en hechos que parecen prestarle una gran fuerza; todos los fenómenos de la superficie de la Tierra militan en su favor y la confirman de un modo admirable, de modo que le corresponde el primer puesto y hay que dejar el segundo al agua, cuya accion ha sido tambien importantísima por lo que ha contribuido á trazar y modelar los contornos de la superficie del globo.

En las páginas siguientes hallará motivo el lector para enlazar estas teorías geológicas con las grandes concepciones cosmogónicas de Herschel, Kant y Laplace.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO PRIMERO

LA TIERRA Y EL CIELO

CAPÍTULO PRIMERO

I

Tiempos primitivos de la Tierra

Mas adelante probaremos cumplidamente, ó trataremos de hacerlo al menos, que en un momento de la evolucion cósmica, se desprendió del Sol una masa gaseosa, que giraba sobre su propio eje y tambien alrededor de su punto de partida, por cuyo movimiento adquirió poco á poco la forma esférica; una parte de los gases se convirtió en atmósfera y otra dió orígen al agua; la masa central, líquida tambien, conservó una temperatura muy elevada, y pudiéramos compararla á un mar de fuego. Insensiblemente se fué enfriando la superficie de este piélago y una primera costra separó el flúido ígneo interior, de las envolturas que ya se habian formado. La temperatura de esta costra tenia que ser elevadísima, de modo que el agua que la rodeaba se convertia en vapor y ascendia en vapores densos, que al llegar á cierta altura, se enfriaban resolviéndose en lluvias copiosas.

La atmósfera tenia una composicion particular, predominando en ella el ácido carbónico, y las sales en las aguas.

En medio de estas aguas salinas y terrmales, de este aire pesado y saturado de vapores, sobre rocas desgarradas y sin consolidar apenas, levantadas por el océano de fuego que les servia de lecho, apareció por primera vez la vida en nuestro globo. Algunas plantas humildísimas como las algas y los musgos, algunos animales de un órden ínfimo, como los corales v. gr., fueron los primeros seres que se presentaron, precursores de tantas maravillas futuras.

El período treinta mil veces secular que comienza con estos primeros fenómenos forma la infancia de nuestro planeta; entonces cubrian los mares casi toda la extension del globo; el fondo de estos océanos se señala por la primera costra que poco á poco se fué solidificando; comenzaron á dibujarse las orillas, pues ya sobre las aguas aparecian los picos de los montes mas elevados. La Tierra era un mar infinito con algunas islas muy separadas unas de otras; era un archipiélago inmenso.

Esta primera corteza, estos terrenos anteriores á los demás y que rebasaron el nivel de las aguas, son los que se llaman eruptivos. Tambien se les da el nombre de primitivos á causa de la edad que tienen los mas antiguos, de ígneos ó plutónicos

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

por su orígen, y finalmente de macizos ó cristalinos por la estructura que presentan todas las rocas que los constituyen.

Sin embargo, los primeros terrenos eruptivos estaban surcados por las aguas diluviales que caian sobre ellos sin cesar, con

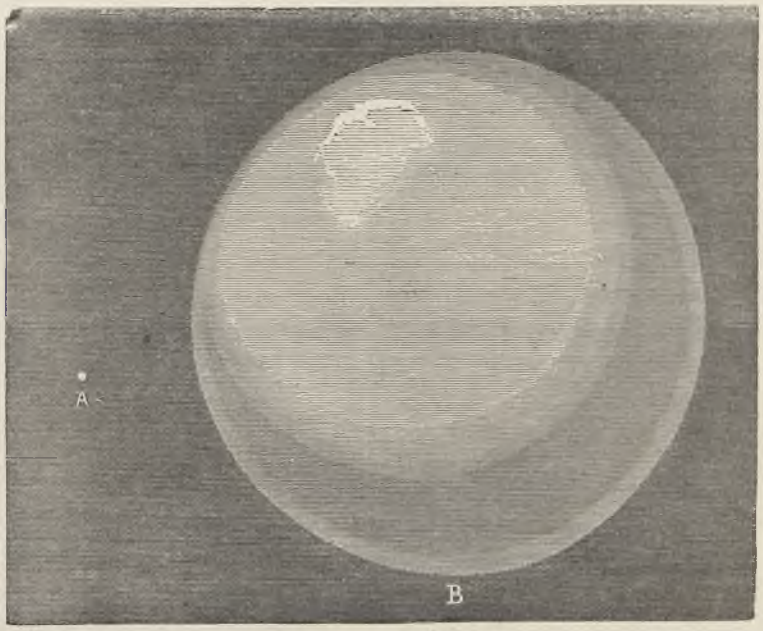


Fig. 376.—La Tierra gaseosa y la Tierra sólida

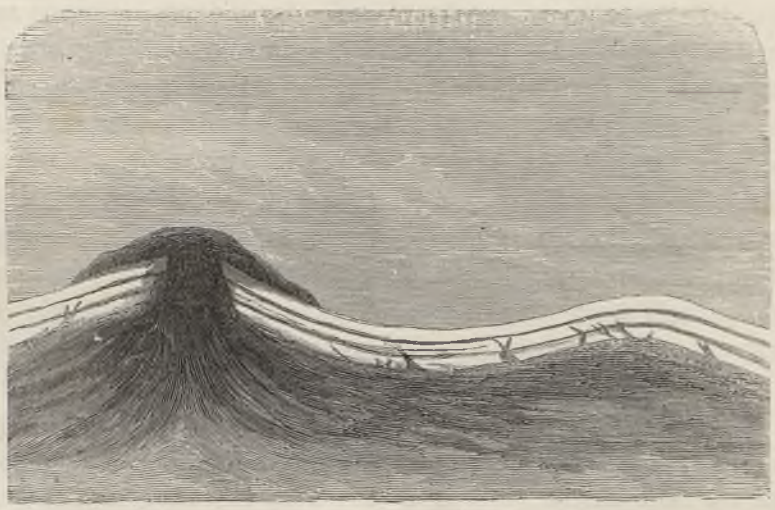


Fig. 377.—Formacion de las montañas primitivas, plutónicas ó cristalinas

una abundancia superior á la de los mas terribles temporales de la época presente. Bloques colosales arrancados violentamente de la roca maciza, eran arrastrados por las aguas á gran distancia de su primer asiento; los mas pesados se detenian en mitad de su camino, y los dotados de menor masa continuaban su incierto rumbo dejando muchos compañeros rezagados, hasta que llegaban á su destino molidos y pulverizados, esto es, como arena finísima y casi impalpable. Como el fenómeno era continuo, ó por lo menos de larguísima duracion, se formaban los sedimentos en el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

seno mismo de las aguas; los bloques de mayores dimensiones, reunidos y soldados entre sí con un cemento de hierro y arcilla, se conocen por los geólogos con el nombre de conglomerados. Las rocas areniscas y granujientas depositadas á gran distancia de los conglomerados se llaman grés, y las alternativas que hay de rocas con grandes ó con pequeños fragmentos demuestran que en la formacion del globo



Fig. 378.—Gruta de estalactitas

ha habido sucesivamente momentos de tranquilidad y de agitacion, de modo que bajo este punto de vista la historia de la Tierra se parece á la de las sociedades.

Del grés se pasa á las rocas de grano todavía mas fino, á las arcillas. Estas alternan con los calcáreos, que por lo general provenian de los manantiales termales y eran verdaderas precipitaciones químicas como las que, en mayor escala, se forman á nuestra vista en los productos de las aguas minerales en las estalactitas de las cavernas. Sin embargo, otros muchos depósitos calcáreos tienen un orígen distinto y fueron v. gr., secretados por los corales; otros sedimentos, calcáreos ó silíceos están compuestos solamente de despojos acumulados de animales microscópicos; entonces como ahora, se valia la naturaleza de los infinitamente pequeños para edificar los continentes.



Fig. 379. — Huellas de un animal é impresion de las gotas de lluvia

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Todas las rocas de que acabamos de hablar forman parte de una misma clase de terrenos que, en oposicion á los eruptivos, se llaman sedimentarios, acuosos ó neptunianos. El agua y el fuego, Neptuno y Pluton, se dividen el imperio de la geología, y los partidarios de Táles y de Heráclito han llegado en nuestros dias á firmar un tratado de paz definitivo.

Los terrenos de sedimento se llaman tambien estratificados porque se encuentran en masas aplastadas continuas, divididas en capas ó estratos cuya superposicion se ha comparado muchas veces con el aspecto que presentan las hojas de un libro; en estos lechos se encuentran restos de plantas y de animales, la mayor parte de especies acuáticas, que confirman una vez mas el orígen de estos terrenos. Estos restos organizados se llaman fósiles ó vulgarmente petrificaciones; tambien se perciben las huellas que dejaron impresas en el suelo blando, las pisadas de los animales y las gotas de lluvia. Uno de los caractéres mas importantes de los fósiles es el de pertenecer, casi siempre, á especies ó géneros que se han extinguido, como si la vida hubiera tenido necesidad de cambiar varias veces de modelos antes de llegar á los que últimamente ha adoptado.

Los fósiles son los archivos mas seguros y los monumentos mas positivos de que podemos servirnos para reconstituir lo pasado de la Tierra; su estudio ha llegado á formar una ciencia que es la paleontología ó ciencia de los séres extinguidos, fundada por Cuvier, quien llamaba á sus adeptos arqueólogos de una nueva clase, puesto que los fósiles son, en efecto, las medallas de la geología, y los bancos que los contienen las hojas en que se halla escrita la historia de la formacion de la Tierra.

Los terrenos de sedimento experimentaron profundas modificaciones en contacto con las rocas eruptivas; el fuego los coció hendiéndolos en todos sentidos, modificó su composicion é introdujo en ellos nuevos elementos. Los bancos de arcilla se convirtieron en esquistos y pizarras, y las rocas se exfoliaron en un sentido distinto del de la estratificacion regular; desaparecieron todos los vestigios de los fósiles y estos terrenos sedimentarios así transformados, se llaman metamórficos por el cambio que sufrieron en virtud del fuego, de las aguas termales y tambien de los vapores.

La edad primitiva del globo se extiende desde el instante en que comenzaron los depósitos de erupcion y sedimento mas antiguos, hasta aquel en que terminan las grandes selvas hulleras. La arquitectura de nuestro planeta comienza por los gigantescos cimientos que forman como una base solidísima; están compuestos de esquistos metamórficos, satinados y lustrosos, en los cuales brilla la mica, el talco jabonoso, el cuarzo hialino ó cristal de roca compacto y de grano duro, depositado probablemente por las aguas silíceas, ó arrancado á las rocas graníticas preexistentes.

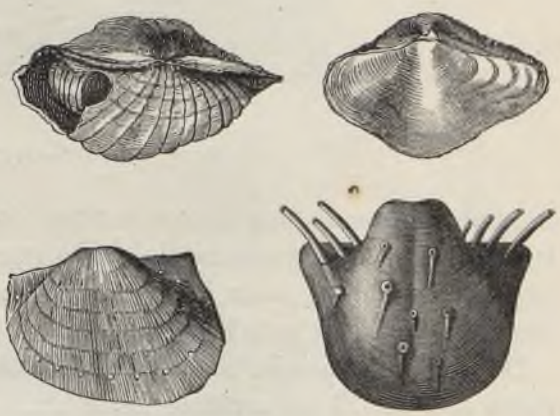


Fig. 380.—Diversos géneros de espiriferos y productos

Despues de los esquistos que dominan en espacios inmensos, vienen bancos de conglomerados de grés, pizarras y calcáreos; estos últimos, por lo corriente, pasan á ser mármoles, es decir, que son compactos, de textura cristalina y capaces de recibir un hermoso pulimento. La fauna fósil ó coleccion de animales extinguidos es numerosa y variada, y no tarda la vida en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

adquirir nuevo vigor en cuanto lo permiten las condiciones de los medios; en union



Fig. 381.—Trilobites

con los corales y los radiados aparecen á poco los moluscos, cuyos despojos ó conchas hallamos en todos los terrenos, naciendo y muriendo en este período varios géneros como los *calcéolos*, *espiríferos* y *productos*.

Con los moluscos hay que citar los crustáceos, una de cuyas familias, la de los trilobites, que toman su nombre de la parte dorsal del esqueleto que está dividida en tres lobas, desaparece por completo despues del período primitivo. Los peces son tambien muy abundantes, y muchas especies que no llegaron á alcanzar los mares de la edad siguiente, por ejemplo, los amblipteros, vivian en bandadas en estas primeras aguas. El gran número de trilobites y de peces que caracteriza este período terrestre, ha hecho que muchos geólogos lo llamen trilobítico, y otros como Agassiz,

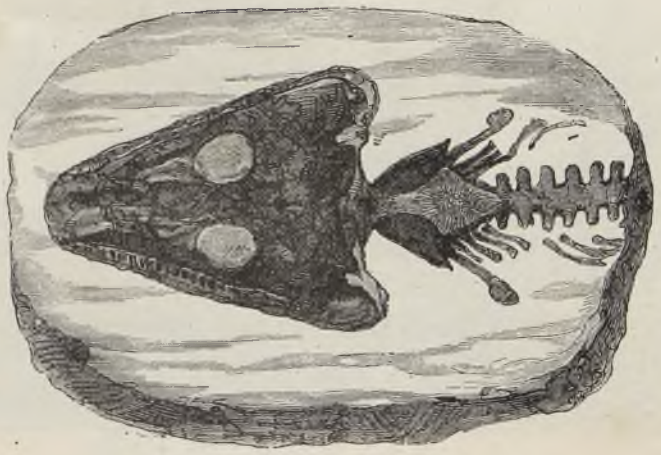


Fig. 382.—Cabeza y cuello del arquegosauro; tamaño natural

el reinado de los peces; mas claro y exacto seria decir sencillamente el reinado de los crustáceos; algunos reptiles, entre los que se cuenta el arquegosauro ó primer lagarto, aparecen al finalizar el período primitivo. Tambien se ven insectos, pero los séres superiores como las aves y los cuadrúpedos no pueden presentarse todavía.

La flora fósil ó reunion de vegetales de estos remotísimos tiempos no presenta un interés menor que la fauna; despues de algunas vacilaciones, se nos ha presentado la vida vegetal en todo su esplendor; en todo el globo reina una temperatura tórrida y en el aire predomina el vapor de agua y el ácido carbónico, y ya sabemos cuán esenciales son estos dos elementos para la vida de las plantas. Estas circunstancias hacen que el carbono se deposite fácilmente en las selvas ante-diluvianas, llegando á formar capas poderosas en las que se modelan las hojas y los troncos que concurren á su produccion, depositándose á sus piés en bancos de turba. En los esquistos y en los grés se conservan sus impresiones, y los lechos de estas rocas pue-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

den considerarse como los herbarios de la flora primitiva. Esta era la juventud de la Tierra y el suelo se hallaba cubierto de plantas hermosas y gigantescas; por todas partes crecian las calamitas enormes, las cicádeas, los helechos arborescentes, las colosales lapidodendrones precursoras de las palmas y coníferas, y otra multitud de árboles que luego desaparecieron ó que solo se encuentran en las zonas tropicales. El descubrimiento de esta extinguida flora vegetal se debe á un naturalista francés, al famoso Brogniart.

Así como la vida animal estaba circunscrita á un reducido número de especies, ofrecian los vegetales, por el contrario, un desarrollo que jamás han vuelto á alcanzar; algunas plantas acuáticas y pantanosas,



Fig 383.—Cuencas carboniferas

como los licopodios y otras, recuerdan en nuestros dias las elegantes plantas hulleras, y comparadas á estas últimas vienen á ser como la graminea mas humilde al lado de la soberbia encina, ó como el modesto líquen ante la gigantesca sequoia de los bosques vírgenes de California.

Tales eran la flora y la fauna de la infancia de la Tierra; por momentos se modificaba la vida en virtud de las perturbaciones que producian las conmociones volcánicas, que hacian penetrar á través de la costra pastosa aun del globo, los granitos y los pórfidos. Se producian levantamientos inmensos que alcanzaban á un meridiano entero, y de esta suerte se acusaban los primeros montes y cordilleras en cuya base se iban á depositar nuevos sedimentos. En medio de estas espantosas conmociones nunca llegó á desaparecer por completo la vida, pero se extinguieron para siempre especies numerosas que jamás han vuelto á aparecer.

Al levantar las rocas eruptivas las cordilleras, abrian tambien en los terrenos depositados numerosas grietas paralelas á la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

direccion de los montes, y por estas chimeneas naturales subian en forma vaporosa las emanaciones metaliferas que arrancaban del foco central; varios metales, pero sobre todo el oro, la plata, el estaño, el mercurio, el plomo y el cobre se depositaban en estos filones: otros como el hierro y el zinc corrian en arroyos y se depositaban lentamente; unos y otros formaban lo que pudiera llamarse el depósito metálico de lo porvenir, como la hulla debia ser á su vez la fuente de calor mas fecunda de que habria de servirse algun dia la especie humana.



Fig. 384.—Helecho restaurado

Así trascurrió la edad primera del planeta, que muchos geólogos llaman período primario; otros dicen períodos de transicion, nombre que le dió Werner, el jefe de los geólogos alemanes, porque marca el tiempo trascurrido entre el depósito de los primeros terrenos igneos que Werner llamó primitivos y el de los terrenos de sedimento no modificados, que apellidaba secundarios. Los ingleses han dado á esta época el nombre de *paleozóica*, esto es, de los animales antiguos, porque en efecto contiene los despojos de los primeros séres.

Subdividen los sabios el período primario en varias épocas distintas ó terrenos, que son, empezando por los mas antiguos, las épocas cambriana, siluriana, devoniana

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y hullera. Dos de los maestros de la geología inglesa, Sedgwick y Murchison, propusieron las tres primeras denominaciones, que fueron adoptadas posteriormente por casi todos los geólogos de Europa. Los nombres de cambriano y siluriano se derivan del país de Cambria (cimbrios) y de Siluria, que son hoy el de Gales y el de Cumberland, en los que precisamente ha adquirido mayor desarrollo este terreno,



Fig. 385.—Calamita restaurada

en Inglaterra; el nombre de devoniano hace recordar el condado de Devon, del que se ha tomado el tipo de la formacion devoniana.

Los geólogos americanos protestaron en contra de las denominaciones inglesas y á su vez propusieron la de los terrenos *canadiense*, *laurenciano* y *tacónico*, nombres tomados de los territorios y montes de la América septentrional; debemos de confesar que en justicia, para estudiar á fondo estas formaciones primitivas, hay que recurrir á los Estados-Unidos; pues en este país se han desarrollado en escala mucho mas vasta que en el antiguo continente.

En la serie de las clasificaciones geológicas tan solo el nombre del terreno hullero se ha respetado por todos los geólogos sin distincion de nacionalidades, y tiene por lo menos la ventaja, de traer á la memoria

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el utilísimo producto que se extrae de este estrato. A las veces, no obstante, el terreno hullero carece de carbon y solo presenta yacimientos de grés amarilloso, de calcáreos azul oscuro y de esquistos negros, que tambien son los fieles compañeros de la hulla, cuando el terreno está completo. En este último caso, forma á menudo el combustible unas capas gigantescas de las que se extraen productos de superior calidad.

Antes de la época del terreno hullero propiamente dicho, ya se habia mostrado la hulla en los terrenos silúrico y devoniano; pero es una hulla dura, sin gas, antracitosa y hasta cierto punto calcinada por la proximidad ó contacto de las rocas eruptivas; sobre el terreno hullero, en los períodos secundario y terciario, se vuelve á encontrar la hulla, pero seca, rica á veces en productos gaseosos, friable y de polvo pardo. El terreno hullero, salvo algunos casos excepcionales, es por excelencia el yacimiento del verdadero combustible mineral, de la hulla perfecta, clara, brillante, bituminosa, que por destilacion da un cok denso, sonoro y de reflejos argentinos; el terreno hullero, pues, está perfectamente denominado y no es fácil que pierda su nombre aunque sus compañeros se llamen de distinto modo, segun las ideas dominantes de los geólogos ó la vanidad nacional de los países.

En el Reino Unido de la Gran Bretaña se encuentra la parte inferior de la formacion en los condados metalíferos de Cornouailles y Devon, en el país de Gales, en Escocia é Irlanda. La parte superior, el terreno hullero, existe á su vez en todos los distritos carboníferos de los tres reinos, en los *países negros* como dicen los ingleses.

La Bélgica descansa casi por completo en las formaciones primarias y se halla tan favorecida como su vecina la Inglaterra, en la distribucion de las sustancias minerales mas apreciadas, esto es, la hulla y el hierro. En Alemania existen las formaciones que nos ocupan en el Harz, en la montaña de las Minas que separa la Sajonia de la Bohemia y en otros puntos. En España tenemos hierro y carbon en Asturias, Vizcaya, Cataluña, Andalucía, etc., que salieron de las aguas al mismo tiempo que casi todo el relieve actual de Suecia y Noruega.

En la América del Norte toda la cordillera de los Alleghanys, á cuyo alrededor se extienden los lechos hulleros mas vastos y fecundos que se conocen, y la Sierra Nevada de California, cuya vertiente occidental abunda en oro y la oriental en plata, pero en masas muy considerables, tambien pertenecen, en parte, á la edad primitiva. En la misma época debieron aparecer tambien las sierras argentíferas de Méjico y de la América central; en la América del Sur aun no habian aparecido los Andes, pero en el Brasil se acusan algunas cordilleras porfíricas que encierran en sus entrañas el oro, el diamante y el topacio.

Las formaciones primarias de sedimentos y las rocas eruptivas que las levantaron y metamorfosearon, imprimieron á los países cuyos relieves constituyen, un carácter particular; la angulosidad y dureza de los contornos de las masas graníticas y porfíricas, el color sombrío, el curso tortuoso de los estratos que muchas veces se pliegan y repliegan, dan al paisaje un tono enérgico y salvaje. El influjo de los caractéres geológicos se deja sentir principalmente en las producciones agrícolas y hasta en la historia política de los pueblos; en las cimas escarpadas de los montes se edificaron la mayor parte de los castillos feudales, y en las estrechas gargantas y peligrosos desfiladeros se libraron batallas tan famosas como las de las Termópilas y Roncesvalles. En Francia, la Bretaña, tierra granítica de cuarzo y pizarra, se opuso con energía á su anexion á la corona y una vez sometida guardó invariablemente la fe jurada á los nuevos reyes. En las islas británicas, el país de Gales, los irlandeses y los escoceses, todos de raza autóctona ó gaélica, opusieron á la invasion anglo-sajona una

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

resistencia que tal vez no ha terminado todavía. En España los gallegos, los astures, los vascos y los aragoneses deben á la rudeza de sus montañas sus principales caractéres distintivos; de Asturias salió Pelayo para resistir los progresos de la invasion musulmana y en la guerra de la Independencia solo se extendia el dominio de los invasores hasta á donde alcanzaba la fuerza de sus cañones. La Córcega y la Cerdeña nunca fueron completamente sometidas por los romanos, y sus habitantes manifiestan todavía grandísimo amor á la independencia.

Estos y otros ejemplos que pudiéramos aducir, indican la curiosa relacion que liga al hombre con la piedra, y el aspecto y carácter de un país con la historia y costumbres de sus habitantes; no son estos hechos aislados y menos paradójicos, pues se manifiestan hasta en las habitaciones tristes y sombrías de las primeras formaciones en que el hombre solo puede disponer para construir sus miserables viviendas, de los grés amarillentos, de la pizarra y los esquistos; así se ve en Francia, en Bélgica y en Inglaterra, en todos los pueblos de los distritos hulleros, que las casas están construidas con materiales primitivos, y el aspecto de estas rocas da á las poblaciones cierto aire de tristeza. El influjo del medio en que se desarrolla la vida de los pueblos es incontestable en la historia, en las artes y en la etnología. Si los egipcios no hubiesen tenido á su disposicion el granito del Nilo, no habrian podido dejar á la posteridad sus imperecederos monumentos; en todas partes podemos hacer las mismas observaciones, y hemos leido que un filósofo llega al extremo de decir que de los medios depende el carácter literario de un país. Sin ser tan absolutos, podemos conceder una influencia incontestable á las condiciones externas de las naciones. En las etapas que vamos á recorrer hallaremos nuevos testimonios de este influjo poderoso.

II

Edad media de la Tierra

Los distintos períodos que componen la historia de la Tierra, pueden compararse á los de la historia de las sociedades. Acabamos de presenciar los sucesos ocurridos en los tiempos primitivos, y ahora vamos á describir los que tienen relacion con la época media ó Edad media de la Tierra, que los geólogos llaman período secundario. Los terrenos que se depositan desde que principia este período, se asemejan algo á los precedentes y encontramos tambien esquistos bituminosos y grés rojos que recuerdan los esquistos y grés hulleros. Se pasa como por transicion insensible de una época á otra, y pudiera aplicarse á la geología la frase de Linneo respecto del reino animal, de que la naturaleza no procede por saltos.

El primer terreno que se forma despues del carbonífero es el *pérmico*, nombre tomado de la provincia de Perm, al pié de los Ourales en Rusia, en donde sus yacimientos son muy considerables; sobre el terreno pérmico se extiende el que llaman todos los geólogos *triásico*, porque contiene una triada de capas que son, empezando á contar por abajo, el grés, el calcáreo conchífero y las margas irisadas.

Sobre el terreno triásico hay un depósito inmenso que se llama *jurásico*. Este nombre fué propuesto por Humboldt, quien observó que su tipo se encontraba muy desarrollado en las montañas del Jura; todos los geólogos han admitido esta denominacion, pero los ingleses prefieren llamar á la parte superior de este terreno *oolítico* ú *oolita*, porque en él se encuentran rocas calcáreas y ferruginosas de granos redondeados como los de los huevos de los peces (oolita, piedra formada de huevos); y á la parte inferior, grupo *liasico* ó *lias*, nombre que dan los canteros británicos á los bancos que explotan.

El terreno jurásico se compone princi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

palmente de calcáreos compactos, cristalinos á veces, de margas y de arcillas; estas rocas ocupan extensiones inmensas y las montañas que forman afectan un relieve particular; sus capas no están quebrantadas ni forman pliegues como el período



Fig. 386. — Animales microscópicos del terreno cretáceo

anterior; por el contrario, están alineadas en bancos inclinados que se desprenden de las vertientes de los cerros como los cimientos de una construccion gigantes-



Fig. 387.—Diversas especies de ammonites

ca. Otras veces se hallan los bancos á grandes alturas, diseñándose á modo de murallas naturales y de baluartes cortados á pico.

Sobre el terreno jurásico se apoya el cretáceo; este debe su nombre á los bancos de creta que encierra, tan abundantes en todos los países de Europa y del mundo entero; en la base del terreno cretáceo se encuentran los grés verdes de que se han servido los geólogos como de un horizonte para dividir esta formacion en dos estratos, el inferior ó de grés verde y el superior ó de creta propiamente dicho.

Durante el período secundario se depositaron los terrenos pérmico, triásico, ju-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rásico y cretáceo, y se desarrolló la vida con formas nuevas y mas perfectas; en algunos momentos fueron tan abundantes los animales microscópicos, que sus despojos componen terrenos completos como el de la creta, en los que revela el microscopio millares de millares de estos pequeños séres. Los corales continuaron sus incesantes trabajos en el seno de estos mares, del mismo modo que los efectuan en la actualidad en muchos puntos, principalmente en los trópicos, edificando pacientemente en el fondo de los abismos arrecifes y bancos calcáreos, núcleos de futuras islas y aun de dilatados continentes.

Al mismo tiempo que los pólipos, trabajan las estrellas de mar y las asterias, nacidas imperfectamente á fines de los tiempos primitivos y en extremo abundantes en las eras jurásica y cretácea.

Los moluscos, muy abundantes ya al terminar el período anterior, se presentan



Fig. 388.—Ammonites restaurado

en la época jurásica en bancos muy compactos. En primera línea vienen los ammonites, cuyo nombre se deriva de la semejanza que presenta el aspecto externo de su concha con el cuerno de Ammon. Estos moluscos navegantes, afines de los nautilos, poblaron con sus familias numerosas todos los mares jurásicos. Sin temor de ser desmentidos podemos asegurar que el nombre de ammonítico cuadraria muy bien á la serie de terrenos cubiertos materialmente por sus restos. Nacidos los ammonites en el período secundario, desaparecen por completo antes de la época cretácea en la cual solo se encuentran los nautilos de especies variadas y entre otras, la de los argonautas que viven en nuestra época y navegan por el Océano Indico con sus velas desplegadas.

Las conchas bivalvas que con su doble manto cubren los moluscos acéfalos, las ostras, las vénus, las almejas y otras, poblaron de bancos petrificados, al mismo tiempo que los ammonites, los terrenos secundarios de sedimento.

A la cabeza de los moluscos se encuentran los pulpos y las sepias ó calamares; desprovistos por la naturaleza de envoltura calcárea, dejaron en todo el terreno jurásico la parte ósea que forma como el eje interior de su cuerpo. Estas petrificaciones han sido bautizadas con el nombre de blemnitas ó piedras puntiagudas por la forma que presentan; antiguamente se designaban con el nombre de piedras de rayo porque se suponia, sin duda, que provenian del paso de la chispa á través de las rocas.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Las sepias abandonaron en los terrenos secundarios no solo su parte ósea dorsal ó interna, sí que tambien á veces, sus bolsas de tinta que en nuestros dias les sirven aun para cegar á sus enemigos, cuando se ven perseguidas muy de cerca. Un geólogo inglés que descubrió una de estas bolsas llena, en el lias, se apresuró á diluirla, y pintó el fósil con su misma sepia representando con tinta antediluviana los caractéres del animal.

Los infusorios, radiados y moluscos no son los únicos séres que pueblan la formacion secundaria; los peces, numerosísimos ya á fines del período primitivo, continuan ahora reproduciéndose en proporcion in-



Fig. 389.—Ejemplares de coprolites

calculable, y los lechos del terreno pérmico se hallan cubiertos de huesos de estos animales hasta tal punto, que los esquistos



Fig. 390.—Plesiosauro

negros bituminosos que forman uno de los grupos de este terreno, se llaman muchas veces esquistos de peces; el betun que contienen estos esquistos se debe, indudablemente, á restos descompuestos de los mismos animales que en ellos fueron sepultados. Continuaron los peces progresando durante la época jurásica y los bancos calcáreos de Sohlenhoffen, en Alemania, están por completo petrificados con restos de estos y otros animales. En la época cretácea aparecen los tiburones, cuyos dientes triangulares, cortados como los de una sierra, se hallan esparcidos en la creta, aunque no con tanta abundancia como en la edad siguiente. Los antiguos, que ignoraban por completo la significacion de los fósiles, llamaban á estos restos petrificados *glossopetrus* ó piedras en forma de lengua; en todas estas petrificaciones solo veian una especie de juego de la naturaleza, un *ludus naturæ* y hasta un *stercus diaboli*,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

frases latinas que servian para explicar con benevolencia los asuntos difíciles de la naciente geología.



Fig. 391.— Peterodáctilo

Además de los moluscos y los peces que tan abundantes son en los terrenos secundarios, hallamos en ellos otros mudos testigos de esos tiempos perdidos en la inmensidad de lo pasado; los reptiles, que comenzaron á mostrarse con timidez al finalizar el período primitivo, son abundantísimos en esta época, marcando el terreno jurásico la era de su desarrollo máximo. El famoso naturalista Agassiz llama á este período, de los reptiles, así como al anterior dió el nombre de reinado de los peces. En esta formacion principalmente, se encuentran muchos despojos de vertebrados y tambien sus excrementos petrificados que se llaman coprolites.

Los ingleses tienen pasion por la geología, y se cuenta de una señora de esta nacion que poseia una galería de gran riqueza, que cuando iban los aficionados á visitar su notable museo, ella misma se apresuraba á acompañar á los curiosos mostrándoles todos los objetos de su coleccion; pero al final se retiraba y un criado traia gravemente en una bandeja cubierta con un lienzo, un hermoso ejemplar de un fósil

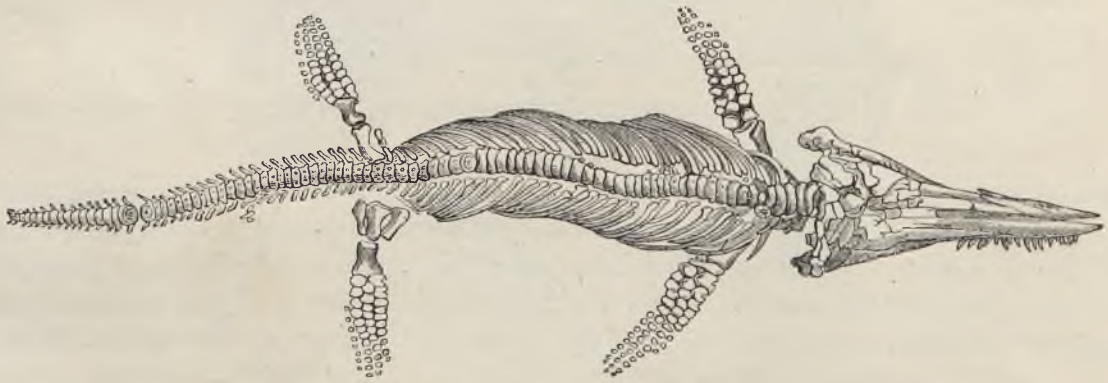


Fig. 392.—Ictiosauro

coprolítico. Hasta este extremo delicado llevan su pudor las damas inglesas.

En la orilla de los mares y en la superficie de las aguas jurásicas, vivian el plesiosauro afine del lagarto, el peterodáctilo, el archeopterix, especies de dragones alados de grandes proporciones y que participan del saurio y del ave. El ictiosauro, por el contrario, es á un mismo tiempo pez y reptil.

No debemos de considerar estos animales, sin embargo, como séres extraños ó especies de monstruos ante-diluvianos que hubieran servido como para modelar tímidamente los primeros esbozos de la vida; la naturaleza procede con arreglo á un plan mas racional.

Era este, como decimos, el reinado de los reptiles y todos los tipos intermedios que luego desaparecieron tenian su razon de ser; en nuestros dias vemos que existen asimismo, los murciélagos y los peces vo-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ladores, clasificados con toda distincion por los naturalistas, de modo que los ensueños y delirios de la imaginacion que tanto se complace en poblar de séres imaginarios los primeros tiempos de la Tierra, y de que abusaron tanto los antiguos, son imposibles en el dia gracias á las revelaciones de la ciencia.

Las verdades naturales son tan grandiosas, que no necesitan para causar nuestro asombro revestirse con el manto de la poesía; en este caso la poesía es la verdad y la verdad nos anonada. La naturaleza juega con un elemento que jamás llegará el hombre á someter, y este es el tiempo que invierte en sus obras, desarrollándolas lentamente y en larguísimos períodos, porque la naturaleza es eterna, pero nosotros, viajeros de un dia en el planeta, solo formamos uno de los escalones de la serie final de los séres.

Podemos considerar terminado el desarrollo de la vida del período secundario con la aparicion de los reptiles; en Inglaterra, Francia y otros países, se han hallado restos de aves en la creta, y huesos petrificados de mamíferos de la familia de los kanguroos, mas estos ejemplos no se reproducen en otros puntos y para confirmarse exigen pruebas mas sólidas, toda vez que solo en la edad siguiente aparecen en realidad las aves y los vertebrados superiores.

Menos brillante que la fauna, es la flora de la formacion secundaria; sin embargo, despues de la época hullera se perpetuan algunas de las selvas frondosas que dieron origen al carbon de piedra y varias plantas como los helechos, las cicádeas, las walaquias, etc., ascienden del terreno carbonífero hasta el pérmico, en el que las walaquias, precursoras de las coníferas, y las cicádeas antepasados de las palmas, alcanzan su desarrollo máximo; aparecen algunas especies nuevas que no dejan de presentar cierta semejanza con las de la gran época carbonífera.

En las formaciones pérmica y triásica dió lugar la descomposicion de estas plantas, algunas de las cuales eran de especie marina, á fuentes abundantes, lagos y rios subterráneos de petróleo y de sal, que la sonda ha descubierto en nuestra época; tales son los famosos yacimientos de aceite de piedra de los Estados Unidos, en la Pensilvania y el Ohio. Tenemos que declarar á fuer de imparciales, que otros geólogos atribuyen estos manantiales minerales á las emanaciones desprendidas del foco central del planeta, que se elevan á través de las fisuras ó grietas del suelo.

La exuberancia de la vegetacion hace que se sigan formando bancos de hulla en los terrenos pérmico, triásico y cretáceo, pero esta hulla se presenta en capas delgadas, es seca, agrietada y fibrosa y ofrece la textura de la madera, de modo que los geólogos se obstinan en darle el nombre de lignito, como si solo se hallase formada de leñoso.

En todo el período secundario abundan tanto las plantas de órden inferior, como los mismos helechos. Los asientos del terreno jurásico y cretáceo presentan marcas numerosas de fucoides petrificados; sin embargo, se advierte cierta marcha progresiva en la escala vegetal, y las criptógamas y monocotiledóneas dejan poco á poco su puesto á las plantas dicotiledóneas, siendo estas últimas las que reinan en absoluto, á lo menos en nuestro clima, en el período siguiente; pero esta vez el progreso es tan solo relativo y no parece absoluto como en la serie animal.

Nuestras selvas actuales, no admiten comparacion, ni aun echando mano de los bosques vírgenes de los trópicos, con la majestad y amplitud de las florestas hulleras del período primitivo, habiendo por el contrario, un progreso positivo en la escala zoológica. Gradualmente se pasa de los animales inferiores á los séres mas perfectos, apareciendo el hombre el último, despues de haberse mostrado todos los mamíferos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Cuvier divide el reino animal en cuatro grupos principales que son, los radiados ó zoófitos, los articulados ó anélidos, los moluscos y los vertebrados. Los radiados comprenden entre otros, á los corales: los articulados á los crustáceos é insectos: los moluscos á los pulpos, sepias y en general á todos los animales de concha; finalmente, los vertebrados se subdividen en cuatro grandes clases; peces, reptiles, aves y mamíferos. El desarrollo de la vida en la serie de las formaciones geológicas parece haber seguido este plan.

A fines del período secundario salió de las aguas la mayor parte del mundo actual, por ejemplo, casi toda la América, de modo que el llamado nuevo continente es, segun todas las probabilidades, el mas antiguo. Las dos terceras partes de Francia se forman en esta época uniéndose algunas de las islas que constituian el archipiélago anterior; lo mismo puede decirse de la mayor parte de Inglaterra, de España, Italia, Prusia, etc.

El período secundario experimentó dislocaciones semejantes al primitivo, en virtud de las fuerzas volcánicas, y los granitos y pórfidos siguieron elevando las montañas que iban creciendo á medida que se aumentaban las capas de sedimento. Los montes del país de Gales, de la Turingia, el Monte Viso, la cordillera pirináica y los Apeninos, pertenecen á la edad secundaria: el levantamiento de las primeras cordilleras corresponde respectivamente, á las épocas pérmica, triásica y jurásica, y el de las últimas á la época cretácea.

Otras rocas, llamadas por los geólogos dioritas, eufotidas, serpentinas, etc., aparecieron á través de los cráteres secundarios, y poco á poco van ocupando el puesto de los granitos y pórfidos, cuyas expansiones disminuyen gradualmente hasta que cesan por completo. Esta parte de la geología es bastante confusa, y no existe una buena clasificacion que determine los caractéres de todas estas rocas de aspecto variado; los ingleses y alemanes han resuelto hasta cierto punto la cuestion, reuniéndolas en un solo grupo bajo los nombres de *greenstones* y *grünstein*, que significan en ambas lenguas rocas ó piedras verdes. El nombre de rocas ofiolíticas ó serpentíneas les ha sido aplicado con mucha exactitud por algunos geólogos españoles.

Estas rocas verdes y sus congéneres las graníticas y porfíricas, no solo levantaron y dislocaron las formaciones secundarias para alinearlas en montes elevados, sino que tambien abrieron en el suelo como en el período precedente, grandes barrancos y grietas numerosas, semejantes á las que producen los modernos temblores de tierra. En estas fisuras siguieron depositándose las sustancias metálicas, de tal modo, que casi todos los filones como los llama hoy la ciencia, eran cavidades longitudinales que se llenaron en tiempos posteriores; las aguas y vapores mineralizados que recorrian estas fisuras, depositaron en ellas las sustancias pedregosas y cristalinas que acompañan siempre á la parte metálica de los filones, y de esta suerte se formó la ganga al mismo tiempo que el mineral. Los fenómenos que ocurren á nuestra vista en los canales naturales ó artificiales por donde corren las aguas termales, son los últimos testimonios de esos procesos de lo pasado, que se verificaban en inmensa escala, antes de que llegasen á su limitadísima condicion actual.

La violenta aparicion de las rocas verdes dió orígen, además de las fisuras rellenas despues por los metales, á la aparicion de estos cuerpos que se depositaron en contacto con la masa eruptiva; esta teoría justifica el nombre de rocas metalíferas que se da á las veces á las rocas de erupcion. Por último, algunos yacimientos metálicos obraron como rocas de levantamiento, presentándose como una sola masa; un ejemplo de esta clase se encuentra en los yacimientos ferruginosos de la orilla oriental

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de la isla de Elba, que se explotan hace mas de tres mil años y dan á este diminuto territorio una riqueza considerable.

No deben su orígen todos los yacimientos metalíferos á las rocas eruptivas; los famosos esquistos de peces del Mansfeld (Prusia sajona), están impregnados de cobre sulfurado, y todos los mineros siguen en este punto la tecnología alemana llamándolos esquistos cúpricos (Kupferschiefer). Los grés rojos de Corocoro cerca de Paz, en Bolivia, contienen granos y laminitas de cobre y de plata metálica; en ambos casos, probablemente, ha sido el metal arrastrado por las aguas, pero tenemos que admitir el concurso de corrientes electromagnéticas en medio de las disoluciones, para explicar los depósitos de cobre y de plata no aleados, como en el lago Superior y en Corocoro. Otros muchos yacimientos tienen un orígen químico ó acuoso sencillamente, v. gr., todas las rocas ferruginosas que tan abundantes son en el terreno jurásico; en el mismo caso se hallan casi todos los depósitos que forman capas irregulares y conglomerados, sean las que quiera sus edades y naturaleza, y ya pertenezcan á la época primaria ó á la secundaria, que contienen sal, yeso, azufre ó minerales metálicos.

No constituyen los metales la riqueza exclusiva del período secundario, pues por sus capas se hallan extendidos con profusion, casi todos los minerales mas útiles al hombre. Hablamos ya del carbon y del petróleo, y en el trias se encuentra el yeso, el alabastro y la sal, en tal cantidad este último cuerpo, que Orbigny propuso que se le diera el nombre de terreno salinífero á uno de los grupos del trias. En el terreno jurásico se encuentran, primeramente, los mármoles estatuarios como los de Siena, Carrara y Paros, y en órden mas modesto, pero no menos digno de estimacion, merecen citarse los calcáreos bituminosos y litográficos, las piedras de cal hidráulica y de cemento, mas apreciadas en nuestros dias que la puzzolana volcánica ó famoso cemento romano.

Hemos de señalar tambien en el terreno jurásico los bancos de arcilla que tanto desarrollo han dado á la cerámica artística y comun, permitiendo al arte de la construccion el empleo en cantidades inmensas de los ladrillos, azulejos, tejas y tuberías. En el terreno cretáceo merece una mencion especial la creta, que es su producto útil por excelencia, y en toda la serie secundaria del terreno pérmico al cretáceo, las piedras de cantería para las construcciones; á este terreno deben los arquitectos los mejores materiales de su arte. Los terrenos pérmico y triásico suministran grés muy afamados. Hay algunas localidades que poseen bancos que se explotan para trasportar sus productos á largas distancias; por ejemplo, los ingleses extraen de un banco azul situado en Caen (Francia) los sillares que necesitan para la restauracion de la catedral de Cantorbery, edificada con el mismo material en el siglo XII.

Casi siempre se trasforma el calcáreo jurásico en mármol, que á su vez se emplea como piedra de construccion; todos los palacios de Génova están construidos con mármol de Carrara, y hasta tal punto se prodiga este material en la patria de Colon que se llama á esta capital la ciudad de mármol. Se emplea tambien la creta como piedra de construccion, y á pesar de ser tan porosa y tierna que casi puede cortarse con un cuchillo, llega á endurecerse mucho con el contacto del aire: la ciudad de Tours, en Francia, está casi toda edificada con este material, de modo que, como antes dijimos, el relieve geológico de una comarca se refleja hasta en el aspecto de sus ciudades.

Las condiciones geológicas del suelo dan asimismo sus caractéres principales á la agricultura de los terrenos de la edad secundaria, y en ninguno de ellos se prueba mejor esta verdad que en el jurásico. Los

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

depósitos calcáreos y arcillosos que caracterizan esta formacion son los mas favorables para las plantas; contiene el suelo cal y sílice, y los bancos de arcilla, por su parte, deteniendo las aguas, permiten que estas depositen las sales alcalinas indispensables á la nutricion vegetal. Los terrenos de la edad jurásica son notables por sus praderas y por la abundancia de aguas que, detenidas en su filtracion por las capas de marga y arcilla, corren subterráneamente y aparecen luego en la superficie como vastos estanques; en España hay muchas fuentes de esta clase.

En el terreno jurásico se encuentran tambien las grutas y cavernas mas famosas; las columnas naturales de que se hallan revestidas en su mayor parte y las elegantes estalactitas, se han formado átomo tras átomo, por las filtraciones y evaporacion lenta de las aguas calcáreas, en el techo y el suelo de la excavacion; otro tanto puede decirse de las incrustaciones que tapizan las paredes. No es tan fácil de explicar el orígen de las cavernas; algunas se deben á inmensas fisuras producidas por las dislocaciones del terreno, y otras se atribuyen á la erosion ó desgaste producidos por las aguas ácidas, pero esta última suposicion tiene pocos partidarios.

El carácter que ofrecen los paises de formacion triásica ó cretácea, es muy distinto del de la anterior. Los grés del trias son favorables á la vegetacion arbórea como lo demuestran los Vosgos y la Selva Negra, donde forman las encinas y pinos, bosques espesísimos; dan estos grés á las montañas un relieve redondeado particular, que á veces las hace asemejarse á vetustas ruinas de castillos y grandes edificios. Los terrenos de la edad cretácea son tambien favorables al cultivo de la vid, de igual manera que los del período jurásico.

El sello de dureza impreso á los pueblos por las formaciones primitivas desaparece en las épocas secundarias; de los pueblos de montañeses y pastores se pasa á los pueblos agrícolas y con estos últimos principia la vida civilizada.

III

Edad moderna de la Tierra

Los tiempos modernos de la historia de la Tierra comprenden lo que los geólogos llaman período terciario, el cual se divide en tres épocas que son, la inferior, media y superior. Los depósitos de rocas análogas á las precedentes continuan produciéndose, si bien su textura es menos cristalina, los calcáreos son menos compactos y el grano de los grés menos apretado; en cambio forman los conglomerados, principalmente en la base y en la parte superior de los terrenos, yacimientos enormes que no se veian en las épocas anteriores y que parecen producidos por diluvios inmensos que hubieron de quebrantar la superficie del suelo; en este caso, no se trata ya de grandes y gigantescas tempestades, sino del levantamiento de los montes que precipitaron las aguas por sus vertientes hasta llegar á los valles y cuencas.

Los principales sedimentos que se encuentran en las formaciones terciarias son los grés, los calcáreos, las arcillas y los bancos de yeso, de sal y de azufre; en muchos estratos se encuentran tambien capas de hulla, seca por lo general y grasa excepcionalmente, y minerales de hierro. En todas las formaciones geológicas se encuentran con mayor ó menor abundancia los minerales que tan útiles habian de ser al hombre en épocas posteriores; el mineral de hierro v. gr., que da á las rocas que lo contienen un tinte característico, se encuentra repartido con tal abundancia en todas las formaciones terrestres, que se le ha llamado el pintor de la naturaleza. El gran mineralogista Haüy dice: «Cuando la naturaleza toma el pincel, se encuentra en la paleta, por lo general, el hierro oxidado.»

En medio de las formaciones terciarias es mas rápido el desarrollo de la vida que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en las épocas precedentes; los moluscos y peces siguen siendo muy abundantes; los insectos reaparecen formando familias numerosísimas y las aves se hallan en todas partes. Como el progreso continua sin descanso en la serie animal, nacen los mamíferos alcanzando muy pronto un desarrollo increible, hasta tal extremo, que podemos llamar á este período el reinado de los cuadrúpedos. Vivian entonces los paleóteros, los deimóteros, los antracóteros que desaparecieron para siempre, siendo reemplazados por los hipopótamos y jabalíes de nuestra época; los mastodontes, abuelos de los elefantes modernos, pacian tranquilos en los inmensos terrenos que habian de cubrir mas tarde con sus huesos colosales. En varios sedimentos, como en los yesos



Fig. 393.—Gran Paleótero

de las cercanías de Paris: en los yacimientos carboníferos del Monte Bamboli, en la Toscana: en los terrenos arcillosos del Valle del Arno entre Florencia y Arezzo: en los depósitos calcáreos de Pikermi, cerca de Atenas, se han encontrado verdaderas necrópolis de estos extinguidos animales. Pudiera decirse que todos ellos juntos y á un tiempo mismo, se hundieron huyendo de un enemigo comun, ante alguna gran revolucion geológica que á todos alcanzó, envolviéndolos en los lugares en que se encontraban y sin permitirles salir de ellos. No es posible negar la existencia de estos inmensos cataclismos; la fauna fósil del Atica se asemeja en extremo á la que hoy vemos en el continente africano, y es probable que en aquella época estuviesen unidas el Africa y la Grecia y participasen del mismo clima. No deja de ser curioso que la mitología helénica haya como adivinado estos hechos, que en época tan posterior habia de revelar la ciencia, y que la fábula del Leon de Nemea halle cierta confirmacion en los tiempos pasados del Atica.

El primer estudio formal de los mamíferos fósiles del terreno terciario, se debe al gran naturalista Cuvier, pues antes de la publicacion de sus importantes trabajos, creian unos que esos animales eran monstruos que algun cataclismo de la naturaleza habia enterrado, esto es, las esfinges y dragones alados de la antigüedad; otros creian reconocer en estos restos huesos humanos, v. gr., los del gigante Teutobocos rey de los cimbros, derrotado por Ma-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

rio, y mejor aun los del hombre contemporáneo del Diluvio, *homo diluvii testis* como se decia en la lengua sabia de esos tiempos.

Otros naturalistas, menos ignorantes en asuntos anatómicos, pero dotados, sin embargo, de una gran dósis de credulidad, veian en la mayor parte de estos fósiles los huesos de los elefantes de Annibal y probaban con la historia en la mano cuán difícil era que se equivocasen.

En esta época histórica tan próxima á la nuestra, aun no habia nacido la geología positiva; las huellas de las conchas y los peces eran un verdadero escollo para los naturalistas que no podian explicar su situacion; al cabo apareció Cuvier creando la paleontología, despues de fundar la ana-

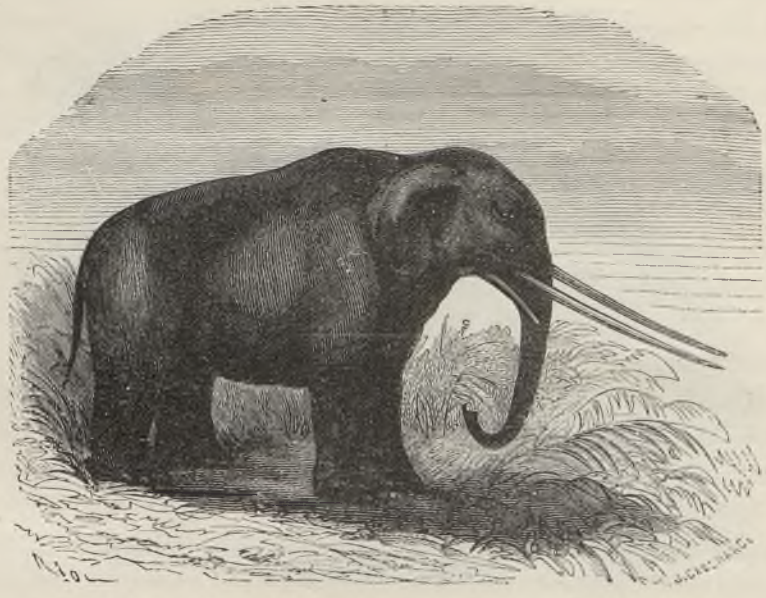


Fig. 394.—Mastodonte restaurado

tomía comparada; relacionando y aproximando respectivamente estas diversas osamentas petrificadas, estudiando la forma y disposicion de los dientes conservados casi siempre en perfecto estado gracias al marfil de que están revestidos, contando las vértebras, midiendo los fémures, comparando los huesos de la pélvis, de la pierna ó del pié, restableció poco á poco en su forma verdadera todos estos esqueletos dispersos, que por primera vez aparecieron reconstituidos ante el tribunal de la ciencia.

«Me encontraba, dice Cuvier, en el caso de un hombre á quien hubieran entregado los restos mutilados é incompletos de varios cientos de esqueletos, que pertenecieran á una veintena de animales distintos: era menester que cada hueso encajase en el que estaba destinado á recibirlo, de modo que esto venia á ser una resurreccion



Fig. 395.—Dientes de mastodonte

en miniatura, pero me faltaba la trompeta todo poderosa; mas las leyes inmutables prescritas á los séres vivientes suplieron esta falta, y á la voz de la anatomía comparada, cada hueso y cada parte de hueso volvió á ocupar su puesto. Me faltan voca-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

blos para pintar el placer que experimenté al ver, á medida que descubria un nuevo carácter, desarrollarse sucesivamente todas las consecuencias mas ó menos previstas de este mismo carácter; los piés se conformaban á lo que los dientes habian anunciado, y á su vez los dientes concordaban con las indicaciones de los piés; los huesos de las piernas, de los muslos, todos los que debian reunir estas dos partes extremas, se hallaban conformes como de antemano se habia juzgado; en una palabra, cada una de estas especies renacia por decirlo así, de uno solo de sus elementos.»

La vida animal se desarrolla fuerte y gigantesca en el sistema terciario, sufriendo la vida vegetal transformaciones no menos sorprendentes; la flora de este período difiere de la correspondiente á los anteriores, y poco á poco han llegado á colocarse en el primer lugar los vegetales dicotiledóneos. A esta familia pertenecen todos los grandes árboles frutales ó florestales que hoy dia se elevan aun en nuestros países, de tronco fibroso y señalados en la parte externa por capas concéntricas que marcan su progreso ánuo. El cedro, el pino, la encina, el castaño, el álamo, el peral, la parra, etc., aparecen en la época terciaria, completándose la flora cada vez mas; los vegetales dicotiledóneos tienen tambien sus precursores en la formacion cretácea, pero sin embargo, no desaparecen todavía de nuestros terrenos los grandes monocotiledóneos; así, pues, las palmas han dejado aquí y acullá, sus marcas ó señales impresas en las capas calcáreas de los grés y las arcillas terciarias. Pudiera decirse que en esta época reinaba en toda Europa un clima tropical ó poco menos; en medio de estas selvas se depositaron las capas de carbon fósil, de lignito y de madera petrificada de la edad terciaria; al pié de estas selvas se extendian grandes lagos ó pantanos, en cuyo seno nacieron los peces de agua dulce y vivieron numerosos batracios. Las enormes tortugas terciarias y los trionix vivian tambien á corta distancia de estos parajes, y parecia que el mundo se animaba y trataba de embellecerse para recibir dignamente al hombre, cuya aparicion debia de tardar poco.

Y sin embargo, todavía tenian que verificarse cataclismos terribles y violentas erupciones volcánicas en el mundo, antes de que el hombre se presentase en la escena de la vida. Las rocas eruptivas de los períodos precedentes, los granitos y los pórfidos dejan de extenderse en la aurora del período terciario; el levantamiento de las rocas verdes disminuye de intensidad hasta que termina por completo, pero entonces intervienen las rocas volcánicas propiamente dichas, las traquitas y los basaltos, cuyas erupciones dejan aun sentir su influjo en nuestros dias en todos los volcanes activos. Cordilleras elevadas como las de Córcega y Cerdeña, los Alpes, el Himalaya y los Andes, se elevan sucesivamente en medio de inmensas conmociones y de grandiosos diluvios. Tal vez fué el hombre primitivo á un tiempo mismo espectador y víctima del último de estos espantosos cataclismos, lo que explicaria las persistentes tradiciones que conservan tantos pueblos, sobre las revoluciones terrestres que marcaron sus propios orígenes. Los volcanes apagados, entre otros los de la Auvernia, de las orillas del Rhin y del Asia menor, son testimonio de estas erupciones terciarias superiores en intensidad y duracion á todas las precedentes.

Algunos de estos fenómenos volcánicos parecen haber sido la causa, en el nuevo mundo, de una segunda aparicion de metales preciosos; manantiales de agua caliente y alcalina recorrieron el suelo y extendieron aquí y acullá el oro en pepitas, como si el mas precioso de los metales al presentarse en los terrenos superiores, hubiese venido á anunciar la aparicion del hombre.

Dijimos que las formaciones terciarias encerraban en sus entrañas tantos pro-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ductos minerales útiles como los anteriores; las celebradas minas de sal de Wielizka y las de azufre en Sicilia, forman unas especies de conglomerados ó sacos, en medio de los terrenos terciarios; la mayor parte de las minas de hulla seca y de hierro de la Provenza pertenecen á la misma edad, pero particularmente abundan estos terrenos en rocas útiles de construccion; v. gr., los cortes silíceos que se encuentran en la base, y componen mármoles de colores muy estimados en otro tiempo, como el de Alepo; la arcilla plástica, el calcáreo de granos, el de cemento, el yeso, los grés silíceos, las piedras de molinos duras y porosas, las arenas amarillas y ferruginosas, son muy abundantes en las formaciones terciarias.

Los romanos emplearon todos estos materiales en la construccion de sus mejores monumentos; el acueducto de Segovia, el circo de Itálica, el puente de Trajano y otros; en suma, casi todos los grandes monumentos que dejaron en España los dominadores del mundo, están construidos con materiales de la época terciaria.

Los edificios mas hermosos de Italia están tambien fabricados con estas piedras; sin embargo, emplearon los italianos el mármol del terreno secundario para decorar sus iglesias, museos, jardines y palacios; con los materiales terciarios embellecieron sus hermosas ciudades. Florencia está adoquinada con *macigno*, especie de grés azulado que se divide en grandes placas y que se unen en el suelo formando un inmenso mosáico. Con *macigno* edificó Orgagna los famosos arcos que decoran la loggia de las Lanzas y que tanto contribuyeron á adelantar la hora del renacimiento de las artes en Etruria; el grés *macigno* tiene el grave defecto de ser heladizo, es decir, que se hiende con la escarcha, de modo que la loggia de Orgagna está bastante deteriorada, aunque se encuentra bajo el puro cielo de Italia.

El *Bargello*, antiguo palacio del podestá; el Palacio Viejo, que ocuparon los primeros Médicis; el palacio Pitti, donde se alojaron sus descendientes, ya grandes duques y dueños de la república; el palacio Riccardi, el Strozzi, cuyo techo coronó con una cornisa el arquitecto Cronaca, rival de Miguel Angel; todos estos monumentos famosos están construidos con material calcáreo de la formacion terciaria. Todos los edificios públicos ó particulares de la hermosa ciudad de Florencia, están fabricados con la misma piedra, que es dura y consistente, pudiéndose labrar con esmero y sin que haya que temer las intemperies, pues sus aristas se conservan vivas durante muchísimo tiempo; de esta piedra son los muros ciclópeos de los etruscos y con ella se han construido casi todos los edificios de la Toscana; las elegantes ciudades de Florencia, Pisa, Siena, Lucca, Liorna y otras cien, deben la mayor parte de sus fábricas á las rocas del terreno terciario, mas aun que á los mármoles de las colinas de Carrara y de los Apeninos. La abundancia y excelente calidad de los materiales de construccion que se hallan en Etruria fueron motivo para que en todo tiempo hayan sido los tirrenos pueblos de albañiles y arquitectos; en ninguna parte del mundo, ni aun en la época actual, se edifica mejor que en Toscana. Además, al pié de las montañas del Apenino, todos son escultores, esto es, nacen escultores, ó cuando menos, decoradores en mármol, *marmista*.

En Volterra, sitio en que el alabastro es muy abundante, desde que los tirrenos fundaron la ciudad hace mas de tres mil años, y abrieron las primeras canteras de alabastro de las inmediaciones, todo el mundo, de igual manera, nace artista. La multitud de objetos de alabastro tan delicadamente trabajados como copas, vasos, estatuas, que adornan museos y colecciones particulares, proceden de Volterra; casi todas las familias de esta comarca se dedican á la industria del alabastro, y mientras el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

jefe de la familia permanece en casa trabajando la piedra, el hijo anda corriendo el mundo para dar salida al producto paterno.

Desempeña tambien un puesto muy importante en la arquitectura italiana una roca formada en la última época de la edad terciaria, y cuyos depósitos van á continuarse en la edad siguiente, el *travertino;* es esta piedra porosa, blanda y se corta con el cuchillo, pero toma muy bien el mortero y se endurece con el aire de un modo particular; la mayor parte de los monumentos antiguos de Roma están edificados con travertino, cuyo nombre se deriva del Tiber ó Tibur; de travertino están hechas las dobelas de la cloaca máxima, construida en Roma por arquitectos etruscos, en tiempos de los Tarquinos y cuya abertura que da al rio desde hace dos mil y quinientos años, no se ha compuesto jamás, porque no ha habido tampoco necesidad de ello.

Tambien es de travertino el circo de Flavio ó Coliseo, que todavía causa la admiracion de los viajeros; la ciudad de Rómulo está situada sobre un suelo volcánico apagado desde los tiempos históricos y debe á la puzzolana un cemento hidráulico de primer órden, llamado cemento romano; la puzzolana es una tierra ó ceniza de color pardo, aglutinada y dura, pero que se disgrega fácilmente; la de Pouzzoli, en particular, era muy estimada y de ella se derivó su nombre.

Las famosas catacumbas de Roma, asilo ó templo de los primeros cristianos, se deben á las excavaciones practicadas en las canteras de puzzolona. Sin embargo, segun los estudios recientes de Rossi, las catacumbas cristianas se excavaron para que sirvieran de sepultura á los adeptos de la nueva religion; esta era la costumbre tambien de los etruscos que desde los primeros tiempos en Chiusi, en Etruria, y en Roma bajo el reinado de Tarquino, sepultaban sus cadáveres en las cuencas de puzzolana; segun Rossi, los primeros cristianos tomaron esta costumbre de los etruscos ó la trajeron de Judea.

En Nápoles y en Siracusa hay tambien unas catacumbas famosas, pero las de Sicilia se deben, sin duda alguna, á la explotacion de antiguas canteras; en Siracusa se enseña la célebre Oreja de Dionisio, que es el sitio en donde, segun se dice, se ponia el tirano á escuchar los lamentos de las víctimas que sus infames caprichos condenaban á las minas.

Son tambien muy nombradas las catacumbas de Paris, antiguas excavaciones subterráneas, de las que ha salido piedra á piedra por espacio de quince siglos, desde Juliano á Napoleon, la gran capital de Francia, que al principio no fué mas que la modesta Lutecia. En la actualidad encierran las catacumbas las osamentas de treinta generaciones, que llenaban los cementerios de la nueva Babilonia.

De los terrenos volcánicos, contemporáneos eruptivos de los sedimentos terciarios, se sacan tambien, además de la puzzolana, rocas macizas muy duras, pero que se labran sin gran esfuerzo; los asirios, egipcios y romanos emplearon el basalto en sus edificios, sobre todo en columnas, etc., y para adoquinar los grandes caminos ó vías militares. Los cimientos de muchos edificios notables de la Edad media, como por ejemplo, la catedral de Colonia, son asimismo de rocas volcánicas, y en nuestra época hay algunas ciudades que están construidas con basalto; todos los edificios de las islas de la Reunion y de Mauricio, peñascos aislados del Océano Indico, están fabricados con basalto. En Nápoles tambien se hace mucho uso de esta piedra y de la traquita.

Los terrenos volcánicos dieron á determinados países un relieve particular; Roma descansa sobre siete colinas de basalto, de *peperino* (pórfido volcánico) y de traquita; este suelo movedizo, atormentado en otro tiempo por el fuego subterráneo y sacudido

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

aun en nuestra época por los temblores de tierra, parece que anunciaba por su rudeza y por los fenómenos geológicos que acompañaron y siguieron á su aparicion, lo que habia de ser mas tarde la raza dominadora del mundo.

Nápoles se encuentra colocado tambien sobre un suelo volcánico, y el Vesubio parece que lo amenaza y anuncia su destruccion; pero la ciudad no está en el monte, sino en el llano, á la orilla del mar, muellemente recostada ante su golfo magnífico y bañada por el Sol y las aguas; un pueblo de estas condiciones no puede ser conquistador, y en efecto, primero los tirrenos y mas tarde los helenos, establecieron sus colonias comerciales, mientras que en los desfiladeros del interior los salvajes montañeses, en particular los samnitas, de quienes descienden los bandoleros de los Abruzzos, luchaban contra todo poder extranjero.

La cultura de los terrenos de formacion terciaria ofrece un sello muy distinto de la de los terrenos anteriores. Los grandes prados naturales ó artificiales, las vastas selvas de pinos y hayas, los inmensos bosques de encinas y castaños, casi han desaparecido. No obstante las tierras volcánicas y los grés silíceos de la época terciaria sirven aun para la cultura del castaño y la encina, y en particular para la del primero; en las colinas calcáreas abundan los pinos, la vid y tambien se da el trigo; los pueblos se reparten entre el campo y las ciudades y salvo en algunos puntos como en las mesetas basálticas elevadas, se han dulcificado las costumbres de los feroces habitantes primitivos; los de los países terciarios caminan á la cabeza de la civilizacion y no solo se establecen en la desembocadura de los rios principales, de estas carreteras que andan como decia Pascal, sino que pueblan poco á poco sus orillas atraidos por la facilidad de las comunicaciones; las condiciones físicas del suelo y las económicas que son su consecuencia, contribuyen al bienestar de los países de la edad terciaria, que formados últimamente, se enriquecieron con los despojos de los depósitos precedentes que agregaron á su caudal propio; en la edad terciaria salieron del fondo de las aguas las cuencas de las principales ciudades de Europa, cuyos contornos recibirán las últimas modificaciones al finalizar la edad siguiente.

IV

Período contemporáneo de la formacion terrestre.

Hemos llegado al período que se designa en geología con el nombre de cuaternario á causa de la posicion que ocupa en el órden de las formaciones; en este período tuvieron lugar diluvios numerosos, quizás los mayores que jamás ocurrieron; por esto se le da á veces el nombre de *diluvium*, sobre todo para caracterizar sus comienzos. Decimos período contemporáneo porque en esta edad, que dura todavia, apareció el hombre por primera vez; el advenimiento de nuestra especie puede servir asimismo para designar este período con el apelativo de reinado del hombre, como los crustáceos, reptiles y cuadrúpedos sirvieron para denominar las edades precedentes.

Los formidables diluvios que tuvieron lugar en la aurora del período contemporáneo dejaron en todas partes vestigios de sus efectos poderosos, como los enormes depósitos de cantos rodados, las gruesas capas de arena, colocados frecuentemente á tales alturas, que jamás podrian alcanzar las aguas actuales. En todas partes se encuentran testigos á quienes interrogar sobre estas inundaciones inmensas: las leyendas de todos los pueblos guardan el recuerdo de estos fenómenos espantosos, confirmando los descubrimientos geológicos las tradiciones de los hebreos, de los indios y de casi todos los pueblos orientales. El hombre primitivo nacido apenas, fué arrastrado y destruido en una de estas catástrofes; en algunos depósitos diluvia-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nos se hallan hoy dia sus huesos mezclados con otras osamentas fósiles de mamíferos que luego han desaparecido por completo, ó han emigrado á otros climas.

Estos tiempos geológicos en que vivió el hombre fósil son muy anteriores á la fábula; el elefante primogenius ó de crines, el rengífero, el oso de las cavernas, el rinoceronte ticorino, la hiena de las cavernas y otros animales, vivian entonces con el hombre en nuestras latitudes; el elefante de crines ó velloso ha desaparecido rigurosamente, el rengífero se ha retirado poco á poco á las regiones polares, y el oso de



Fig. 336.—Bloque errático de los Alpes

las cavernas ha cedido el puesto á otras especies.

Para explicar la presencia del rengífero en las comarcas templadas de Europa, en donde con tanta frecuencia se hallan sus restos fósiles, hay precision de admitir una temperatura media mucho mas baja que la que reina hoy dia en estas mismas latitudes, siendo lo contrario, empero, mas fácilmente aceptable. Si la Tierra, primero en estado de masa gaseosa ígnea, líquida luego y mas tarde pastosa, se ha ido solidificando y enfriando poco á poco, el fenómeno ha tenido que verificarse de un modo gradual; es necesario suponer, pues, que en las épocas geológicas mas antiguas que la nuestra, eran las temperaturas del aire y del suelo mas elevadas que en el período actual. Casi todos los geólogos modernos profesan esta opinion y solo exceptuan esta fase del diluvium que llaman época glacial. En este momento, dicen, casi toda Europa estaba cubierta de hielo, y para confirmar su opinion se apoyan en los ejemplares de rocas estriadas y pulimentadas que se encuentran á grandes distancias de su punto de partida y que fueron arrastradas por los antiguos ventisqueros de igual manera que en la época actual. Citan asimismo, los enormes bloques erráticos que se encuentran á cientos de leguas de la roca originaria, aislados, perdi-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dos, testigos silenciosos que señalan una fase de la era del diluvium. Los ventisqueros de los Alpes llegaron á extenderse de este modo hasta Lyon, á lo largo del Valle del Ródano y sobre todo en el Jura, siguiendo la cuenca del Aar.

En este caso no podemos invocar, como los antiguos, el trabajo de los gigantes, ni las explosiones volcánicas tan inadmisibles como el supuesto anterior, ni aun el transporte por las aguas torrenciales; las estrías numerosas de estos bloques y las aristas vivas que conservan, dos fenómenos que se encuentran en los ventisqueros actuales, nos obligan á rechazar el trasporte por el agua; tenemos que admitir los ventisqueros, ó cuando menos, los hielos flotantes y deshielos análogos á los que hoy dia presenciamos en los rios de la América septentrional, por ejemplo, el San Lorenzo.

En Europa se encuentran muchos bloques erráticos en Prusia y en la Rusia septentrional; estas rocas provienen, al parecer, de los granitos de Suecia y Laponia; balsas de hielo cargadas de bloques cruzaron el Báltico de igual manera que los que arrancan hoy del polo y chocan en las costas de América ó de Islandia. En Francia, los Vosgos, el Jura, la Saboya y los Pirineos están llenos de bloques erráticos: en Suiza é Italia los Alpes, y en España, las vertientes de la cordillera Astúrica. En el país de Gales se encuentran tambien á lo largo de la cordillera pennina que forma el eje longitudinal ó espina dorsal de Inglaterra; en estos bloques se ha reconocido asimismo, una variedad del granito noruego. En Austria, al pié de los Cárpatos, en Rusia alrededor del Cáucaso, y en Siria en las vertientes del Líbano, se hallan tambien estas moles enormes arrastradas por el hielo. Por último, se ven en el Himalaya, en los Alleghanys, en los Andes y en la cuenca del rio de las Amazonas.

Los fenómenos glaciales de extension inmensa y de larguísima duracion señalan una parte de la época diluviana; en Suiza se cuentan hasta dos épocas glaciales distintas, separadas por una era menos fria. Los naturalistas, los físicos y los astrónomos formularon infinitas conjeturas para explicar estos hechos de un modo satisfactorio, y si bien algunos trataron de negarlos, tuvieron al cabo que rendirse ante su majestuosa evidencia. ¿Cómo pudieran justificarse, en efecto, los acarreos de estas moles inmensas á tan grandes distancias, á no acudir al expediente de los ventisqueros? Las avalanchas y deshielos de lagos alpinos ocasionados por la fusion de las nieves, aunque importantes en sí mismos, solo pueden servir para explicar limitados fenómenos locales; tenemos, pues, que recurrir forzosamente á los ventisqueros movibles, hoy dia extinguidos, y padres de los que en la actualidad existen; pero ¿quién podrá indicar el orígen de los antiguos?

Para responder de una sola vez á todos los casos, imaginaron varios sabios que los polos y el centro de gravedad del globo hubieran podido experimentar una dislocacion, y tambien que momentáneamente se hubiese interpuesto entre el Sol y la Tierra sirviendo como de pantalla, una materia cósmica desconocida. Otros autores invocaron el movimiento de traslacion que transfiere nuestro sistema planetario, y el paso de la Tierra á través de los espacios celestes congelados; en esta parte del viaje, remolcada la Tierra por el Sol, hubiera llegado á helarse. No faltan algunos que han recurrido á hipótesis mas racionales quizás, buscando la causa de los grandes fenómenos glaciales y del cambio de clima, en la desaparicion de ciertos continentes y en la elevacion de otros. El desierto de arena del Sahara salió del fondo del mar á principios de la época diluviana; este fenómeno basta para que la mayor parte de la Europa central, dominada por los Alpes, quedara sujeta al influjo del viento cálido del desierto, el simoun, llamado en el Mediterráneo y costas de Italia sirocco,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

el cual engendra en Suiza el *foehn* ó *favonius* de los latinos; entonces se fundieron algunos ventisqueros alpinos, depositando en los mismos lugares los bloques de roca que llevaban en su seno.

Queda por explicar la desaparicion de los antiguos ventisqueros del norte de Europa. ¿Quién sabe si en efecto llegó á existir la famosa Atlántida de que habla Platon por oidas, y si al sumergirse dió orígen al Océano Atlántico, del que arrancó inmediatamente la corriente del golfo (*gulf-stream*) mejicano que de tan singular manera caldea una parte de la Europa septentrional?



Fig 397.—Mammouth restaurado

El levantamiento de la cordillera de los Andes, que se verificó durante la época cuaternaria, basta por lo demás, para explicar el orígen del *gulf-stream*; entonces se formó el istmo de Panamá y separó las aguas del Océano Atlántico de las del Pacífico.

La corriente del golfo mejicano hubiera podido tomar al principio una direccion que en poco se diferenciase de la que sigue en la actualidad, caldeando levemente las orillas de la Siberia, que de este modo hubiesen disfrutado de un clima casi templado. En esta época habian podido vivir en el Asia septentrional el mammouth ó elefante primitivo que, sorprendido por los hielos en uno de los enfriamientos repentinos, quedó preso y enterrado en el sitio. Hace pocos años se encontró en Siberia un mammouth conservado casi intacto con carne y piel, y hasta con el pelo que le servia de melena, lo que indica que habitaba un clima bastante frio ya.

Estas son las explicaciones que presentan los partidarios de los ventisqueros para dar cuenta de los hechos descubiertos; pero como los bloques erráticos se encuentran casi en todas partes, no es posible imaginar para cada punto un levantamiento ó una depresion, ó la aparicion de tal parte de un continente y la desaparicion de otra parte, y menos aun de un continente entero; ó tambien suponer que una corriente cálida submarina oriunda de los trópicos llegaba á tal costa y que otra corriente fria volvia de los polos. No es posible llevar tan adelante las conjeturas y especulaciones; las razones que presentan los anti-ventisqueristas, de los simples

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

trasportes de los bloques erráticos por las aguas, no son aceptables en absoluto, y en cuanto á los elefantes hallados intactos en los hielos de la Siberia, parece difícil admitir que hayan descendido con el diluvio asiático desde las vertientes del Himalaya; la distancia que hay de uno á otro punto es demasiado grande; además, se pueden presentar en contra de estos naturalistas como pruebas concluyentes, la melena protectora del elefante que denota un clima frio y las especies análogas halladas en otras regiones á una con el rengífero. En Francia se han encontrado huesos de ese mismo elefante en el diluvium de la época glacial, y segun creemos tambien en España se han hecho últimamente descubrimientos análogos.

Despues de los fenómenos diluvianos y glaciales que acabamos de estudiar, principia una época mas tranquila y cálida que se puede llamar de aluvion ó reciente, y que comprende ya las edades mitológicas: á poco comienza la historia, y con ella los fenómenos geológicos actuales que pasan á nuestra vista; estos fenómenos son, principalmente, en el órden sedimentario, la formacion de las turbas, de los deltas de los rios, del progreso de las dunas, los depósitos de los bancos coralíferos y de los grés marinos, el trasporte de los aluviones por las lluvias y las tempestades. Y en el órden eruptivo, el levantamiento ó depresion de las costas, los temblores de tierra y las erupciones volcánicas; sin embargo, se puede asegurar que el curso de esta nueva era no se señaló por ninguna revolucion violenta. La calma de la naturaleza parece que habia de preceder al advenimiento de la civilizacion; pero, ¿qué son los ocho ó diez mil años de la época histórica comparados con la duracion inmensa que exigen para producirse los mas sencillos fenómenos geológicos?

Los depósitos cuaternarios, en contra de lo que pudiera creerse, están asimismo tan abundantemente provistos como los anteriores, de todos los minerales indispensables al hombre; los yacimientos metalíferos llamados placeres son de esta época, y contienen, segun las localidades, oro y platino en estado metálico, hierro y estaño en estado de minerales oxidados, y por último, gemas de mucho valor, como el diamante, el zafiro y el rubí.

Los placeres se componen de arenas sueltas, de cantos rodados y á veces de lechos compactos de arcilla, enterrados á grandes profundidades; las materias de que están formados pertenecieron casi siempre á rocas preexistentes, que aun se encuentran en los mismos lugares. Sin embargo, como ya vimos tambien, hay quien cree que el oro se debe al paso de los manantiales calientes y alcalinos, que llevando el metal en disolucion, lo dejaron que se depositase poco á poco.

Los minerales de hierro llamados de aluvion y en granos tambien, son asimismo de edad diluviana ó reciente; estos depósitos llenan unas cavidades como bolsas ó sacos, que están abiertas en mitad de los terrenos cuaternarios ó de las formaciones de edad anterior.

El mineral de hierro llamado de los pantanos, de los lagos y de los prados, á causa de los puntos en que se le encuentra, es hermano del anterior y como él se debe á depósitos de manantiales ferruginosos, algunos de los cuales obran aun á nuestra vista, enseñándonos los procedimientos que siguió la naturaleza en las formaciones geológicas de lo pasado.

Pertenecen tambien á los depósitos de la edad cuaternaria las turberas, vasto conglomerado de plantas acuáticas y fibrosas que cubren el fondo de los antiguos lagos y pantanos, ó que se encuentran depositados en determinadas mesetas. Estos vegetales semifósiles, se encuentran entrelazados y como soldados en una sola pieza y producen un combustible bastante regular despues de lavados y comprimidos, y mejor aun si se les destila.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En las turberas mas antiguas se encuentran huesos de animales extinguidos y en las mas modernas restos de la industria del hombre primitivo ó civilizado; estos hechos prueban que el depósito de turba es continuo en algunos puntos y que ha seguido tambien en los tiempos históricos.

Las rocas que utiliza el arte de la construccion son bastante abundantes en los terrenos cuaternarios; primero hallamos la arena y los cantos rodados en los que hay que comprender los de los cursos de aguas actuales, y que con ventaja se emplean en la fabricacion de los morteros: luego viene la arcilla que sirve para la fabricacion de ladrillos, azulejos, tejas etc.; tambien hay que contar el travertino que sirve de piedra de construccion y de mampostería, y por último los bloques erráticos que en Pomerania se buscan en el suelo valiéndose de la sonda.

En la India, en las islas del Océano Indico, en Arabia, en el mar Rojo, etc., se explotan los depósitos de corales como piedra de construccion y tambien para extraer la cal que contienen. Finalmente, las lavas, las arcillas y las cenizas volcánicas, datan de la época diluviana ó presente, y se emplean en las construcciones como mampostería ó puzzolana, como las rocas volcánicas antiguas.

Algunos minerales particulares de los que ha sabido la industria sacar un gran partido, se encuentran en los terrenos cuaternarios. Debemos de citar particularmente el guano, compuesto de bancos de excrementos fósiles extendidos por diversas islas tropicales, pero sobre todo en el Perú, en las islas Chinchas, donde jamás llueve. Las aves marinas de las épocas pasadas, las garzas reales, pelícanos, alcatraces y otros, que se alimentaban pesadamente de peces, venian á estas islas á digerir su comida, cayendo á veces muertos sobre sus mismos excrementos, pasando al estado fósil. Todavía se ven en esas aguas é islas, entregarse estos volátiles al mismo trabajo que sus antepasados, pero el guano antiguo es mucho mejor que el moderno. Cuando los Incas vivian felices en su imperio floreciente, antes de la bárbara conquista de los españoles, reconocieron las propiedades fertilizadoras de este abono casi mineralizado y llegaron á prohibir, bajo severísimas penas, que se matase á las aves marinas que seguian confeccionando el guano; poco despues de la conquista se perdió el uso de este abono que se volvió á recuperar en época reciente. Las islas Chinchas forman un verdadero tesoro para el Perú, mas rico aun que sus minas mas famosas.

Al mismo tiempo que citamos el guano, debemos de hacer mencion de la sal de nitro (nitrato de soda) que existe tambien en el Perú en las arenas de Iquique; proviene este nitro de las fuentes minerales secas en la actualidad; se levigan las arenas y se deja cristalizar la sal; la sal de natron ó álcali natural (carbonato de soda) que se obtiene en ciertos lagos desecados del alto Egipto, de la Abisinia y de la India, es muy semejante al nitro peruano. Entre los productos de importancia de la época actual, hay que contar el ácido bórico, del que se extrae el bórax y que se explota en los *soffioni* (chorros de vapor) y *lagoni* (lagunas) de la Toscana y la California; luego la sal amoníaco (clorhidrato amónico), el alumbre y el azufre que se recoge en todas las solfataras ó cráteres á medio apagar.

El interés que presenta el estudio de la época cuaternaria no reside exclusivamente en la abundancia y variedad de los minerales útiles; la vegetacion desempeña asimismo, un papel importantísimo en esta formacion, pues hallando condiciones mas propicias que en las épocas anteriores, se desarrolla con nuevo vigor; la descomposicion lenta de las raíces y las hojas dió orígen al humus y al mantillo, y en los terrenos planos ó de escasa pendiente regados por las aguas, se levantaron poco á

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

poco bancos enormes de tierra vegetal. Las vegas mas ricas se apoyan en las formaciones diluviana y aluvial; en ellas crecen el trigo, el cáñamo, el maíz y el arroz; las llanuras de Castilla, las vegas de Andalucía y las tierras negras del Danubio están formadas por los despojos de la edad cuaternaria; la fertilidad de los aluviones del Nilo es bien conocida. Las tierras que producen en la India el arroz, el algodon y la caña, fueron tambien trasportadas por las aguas diluviales.

Los vegetales que nacieron y se desarrollaron durante la época diluvial difieren muy poco de los que crecen en nuestros dias, y otro tanto puede decirse de las especies animales.

Habíanse formado ya los climas, y los distintos representantes del mundo organizado, se escalonaron poco á poco segun las comarcas y las latitudes; las palmas se establecieron en las regiones tropicales; los perezosos fósiles de que formaba parte el enorme megaterio, se hallaban limitados á la América del Sur, único país en donde se encuentra ahora esta especie animal viva; los kanguroos fósiles se hallaban á su vez en la Australia.

La época glacial vino á romper por breve tiempo la armonía progresiva que hasta entonces parecia reinar en el desenvolvimiento del globo, pero despues volvió á establecerse la marcha regular; se extinguieron algunas especies todavía, é insensiblemente llegamos á la época presente, en la cual prosiguen su obra los elementos geológicos, sin que apenas nos apercibamos de ello. La vida de las sociedades es tan corta, y probablemente lo será tanto tambien la de la humanidad en su condicion presente, que los progresos insensibles de estos grandes fenómenos pasan á nuestra vista casi desapercibidos.

Sin embargo, no es posible negar, que desde los tiempos históricos se han verificado cambios geológicos de importancia, que han alterado el relieve del suelo y la climatología de diversas comarcas.

© Agencia Estatal de Meteorología: 2016

CAPÍTULO II

I

Antigüedad del hombre

Tenemos necesidad de volver á hablar de uno de los séres que últimamente aparecieron en el postrer período geológico, esto es, del hombre primitivo, tal y como debia ser cuando por la primera vez contempló desnudo, asombrado, inquieto y miserable, el mundo que se extendia ante su vista.

En todo tiempo ha sido asunto de la meditacion de los filósofos y de los estudios de los naturalistas, el orígen del hombre; si tratamos de remontarnos hasta inquirir cómo se verificó la aparicion del primer gérmen, podemos considerar el problema como insoluble en el estado actual de la ciencia; pero si nos concretamos únicamente á determinar la época cierta en que el hombre, perdiendo los últimos vestigios de la animalidad, por vez primera aparece como un nuevo, y por ahora último peldaño de la escala de los séres, la cuestion se limita mucho y puede resolverse con alguna aproximacion á la verdad, puesto que solo se trata de fijar una fecha geológica.

El problema, pues, se reduce á saber si el hombre apareció en la aurora del período cuaternario, ó si despues tan solo, de las perturbaciones que marcan los primeros tiempos de este período, esto es: ¿vivió el hombre en compañía de los grandes mamíferos extinguidos del diluvio, del mammouth ó elefante primitivo, del rinoceronte ticorino, del rengífero, del ciervo jigante y del oso, de la hiena y del leon de las cavernas? ¿Se encuentran sus huesos entre los de estos animales? En una palabra: ¿el hombre es fósil ó no?

Hace muy pocos años que, puesto de moda el asunto, se discutió con la severidad que exige su importancia, y quedó resuelta la cuestion; el hombre es ante-diluviano. Su antigüedad es anterior á los orígenes de la historia, y las fuentes de la fábula se pierden en los comienzos del postrer período geológico; en otro tiempo, fundándose en los documentos históricos, se daban al hombre de seis á diez mil años de existencia y aun parecia esta cifra exagerada; para todo esto se tenia presente las tradiciones hebraicas y los anales chinos que presentan con el texto mosáico grandes discrepancias, pues mientras este último habla de un diluvio que cubrió toda la Tierra y subió quince codos sobre las mas altas montañas, los fastos de la China, mucho mas antiguos, no dicen una palabra de este espantoso suceso.

La cuestion del hombre fósil, ó si se quiere, de la antigüedad de la especie humana, ha sido siempre una de las preocupaciones de la ciencia; los antiguos geólogos del último siglo llegaron hasta el extremo de llamar hombre diluviano, *homo diluvii testis* y *preadamita*, esto es, abuelo de Adam, á los restos de las salamandras

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hallados en el terreno cretáceo: los geólogos de nuestro siglo fueron mucho mas tímidos, y en nuestros propios dias hay quien vacila en admitir la existencia del hombre fósil, por no ponerse en contradiccion con las leyendas de algunos pueblos orientales, tan ignorantes como crueles. Cuando presentaron á Cuvier unas osamentas de mamíferos extinguidos, en los que se veian figuras trazadas por la mano del hombre, se dice que respondió: «No existe el hombre fósil!» A decir verdad, el célebre *Discurso sobre las revoluciones del globo* no está escrito en este sentido, y aunque no niega Cuvier que se pueda encontrar algun dia el hombre antidiluviano, se complace en este escrito, en demostrar mas bien la juventud, que la antigüedad del hombre.

Los discípulos de Cuvier permanecieron fieles á esta doctrina, y cada vez que se encontraban en las cavernas nuevos utensilios de piedra tallados por la mano del hombre y huesos humanos mezclados con los de las hienas, osos, leones y rengíferos fósiles, pretendian que estos hechos nada probaban, y que deshielos pluviales semejantes á los que se verifican ahora en las inundaciones, transportaron bajo tierra estos restos; que por otra parte, muy bien hubieran podido servir las cavernas de guarida en distintas épocas, á los animales carniceros, los cuales habrian arrastrado á ellas para comerlos á su sabor, á los inofensivos animales herbívoros, siendo esta la causa de hallarse mezclados todos esos huesos. Vino luego el hombre primitivo que tambien se refugió en estas grutas, que llegaron asimismo á servirle de sepultura, dejando en ellas sus armas y herramientas, esto es, las puntas de flechas y lanzas de piedra, las hachas, cuchillos, etc., mezcladas y cementadas con las osamentas de los antiguos mamíferos, pero asegurando siempre que estos animales habian vivido antes que el hombre.

En este estado se hallaba la cuestion, cuando un naturalista de mucho mérito, convertido luego á la doctrina del hombre fósil, escribió en el *Diccionario de historia natural* de Orbigny, un artículo sobre las cavernas, que decidia definitivamente el problema. El hombre no era contemporáneo de los grandes mamíferos fósiles del período cuaternario, y el autor ampliaba, para probar su aserto, las razones que antes presentamos. En vano varios geólogos de Alemania, Bélgica, Inglaterra y otros países, desde principios de este siglo, habian señalado en algunas grutas vestigios positivos que probaban la coexistencia del hombre y de los cuadrúpedos primitivos; inútil que hubiesen mostrado osamentas de animales trabajadas y adornadas por el hombre; inútil que como en Engis, cerca de Lieja, se hubiese descubierto un cráneo fósil en 1833 y que diez años antes se hubiesen asimismo hallado restos humanos en el limo del Rhin á veintiocho metros de profundidad, pues la mayoría de los geólogos rechazaba con desden pruebas tan convincentes.

Esto no obstante, ocurrió que un arqueólogo coleccionista, habitante de Abbeville en Francia, anunció al mundo científico que hacia ya varios años, habia encontrado en el diluvium de su provincia, silex tallados, casi todos de una misma forma, del tipo de las hachas célticas, los que consideraba como las primeras herramientas del hombre, y á falta de huesos fósiles se valia de estos restos para proclamar con una persistencia que jamás se desmintió á pesar de las contradicciones y argumentos que se le opusieron, la antigüedad de la especie humana. Pero ni los descubrimientos de este geólogo, que se llamaba M. Boucher de Perthes, ni los de otros muchos individuos, efectuados en distintos lugares, pudieron convencer á los sabios franceses, que en este punto, como en otros muchos, se obstinaron en defender en contra de los testimonios de la ciencia, las preocupaciones que habian creado las leyendas y tradiciones de los pueblos asiáticos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En 1857 se descubrió en una caverna de Neanderthal, cerca de Dusseldorf (Baviera del Rhin) un cráneo que segun los antropologistas presentaba caractéres muy particulares; por su forma mas parecido tenia con el cráneo de un gorila ó de un chimpanzé, que con el del hombre, pero los geólogos siguieron impertérritos en su idea, y vieron en este notable ejemplar, como dice Vogt, no un mono perfeccionado, sino un descendiente de Adan degenerado.

En este estado se hallaba el asunto en 1860, cuando M. Lartet, francés, y M. Christy, geólogo inglés, pasaron por una aldea que se llama Aurignac, situada en el alto Garona; hacia ocho años que un cantero habia descubierto en una gruta cerrada hasta entonces por una gran losa y que casualmente se separó, una sepultura primitiva; el alcalde de la localidad, que era médico, despues de comprobar que las osamentas provenian de diez y siete cadáveres distintos de hombres, mujeres y niños, se apresuró á transportarlos al campo santo, sin sospechar, ni remotamente, la importancia que tenian para la ciencia, y con el exclusivo objeto de acallar los rumores que circulaban entre las comadres, que suponian que la caverna habia estado habitada por unos bandidos y monederos falsos, feroces asesinos y terror de la comarca en tiempos antiguos. Estos restos humanos que desde la época prehistórica reposaban tranquilamente en la gruta de Aurignac, despues de arrancados de su primera sepultura fueron enterrados en el cementerio en la fosa comun, sin que el mismo sepulturero supiese precisamente el sitio.

Cuando llegó Mr. Lartet el hecho no tenia remedio, pero este geólogo hizo abrir nuevamente la caverna y encontró varios lechos de osamentas pertenecientes á diversos mamíferos, mezclados con tierras arenosas formando todo un conjunto aglutinado; al lado de los huesos se hallaron armas y herramientas de silex. Un hueso de rinoceronte presentaba una hendidura hecha al parecer por el hombre, con objeto de extraer la médula; en algunos huesos de rengífero se veian señales análogas en la union de los tendones, que sin duda se cortaron para hacer hilos ó cuerdas. En vista de estos hechos, no era posible dudar por mas tiempo: el hombre habia sido contemporáneo de todas las especies extinguidas.

Posteriormente se completaron estos descubrimientos en diversos puntos de Europa, encontrándose infinitos objetos de silex, huesos de rengíferos labrados por



Fig. 398.—Cuchillo de silex, hallado en la caverna de Aurignac

la mano del hombre, como puntas de flechas, lanzas, mangos de puñales, agujas para coser, etc.; por último, y este es el descubrimiento mas importante de todos, se encontraron unas chapas de marfil ó de esquisto, con dibujos muy groseros que representaban diversos animales, como el rengífero, el elefante de melena, etc.

En la misma época (1860-63), otros dos geólogos hacian practicar excavaciones en las grutas de los Pirineos, con buen éxito, y Boucher de Perthes en Abbeville, halló otra multitud de silex grabados y una mandibula humana fósil, segun declaró el congreso de naturalistas de diversas naciones que se reunió con tal objeto. Debemos de confesar, sin embargo, que la autenticidad de este hueso no está muy satisfactoriamente determinada, pero en 1865, en el terreno superior del valle del Arno, se descubrió un cráneo de carácter antiquísimo, y un año despues escarbando en las grutas de Bélgica, confirmó M. Dupont los descubrimientos que acabamos de relatar, en unas treinta cavernas que sirvieron de habitacion ó de sepultura al hombre; la pre-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sencia de huesos de rengíferos, de osos, hienas, elefantes y rinocerontes, mezclados con restos humanos, demuestran que en una misma época ocuparon unos y otros las cavernas.

Parece, pues, que no debemos dudar ya de la antigüedad de la especie humana, y casi todos los geólogos, convertidos á la nueva doctrina, fijan el orígen ó aparicion



Fig. 399.—Dibujo de un mammouth, hecho por un artista fósil

del primer hombre en las primeras etapas de la época cuaternaria. M. Donoyer encontró cerca de Chartres, en el terreno terciario superior, huesos del elefante meridional (*Elephas meridionalis*) característico de esta época, en los que se ven unas señales hechas sin duda alguna con un instrumento cortante; en el mismo sitio encontró poco despues otro geólogo, una gran cantidad de hachas y cuchillos de silex.

¿Qué tendria de particular que á fines del período terciario, en un momento en que las condiciones climatológicas hubiesen sido favorables á la aparicion del menos defectuoso de los séres, se hubiera presentado éste? No hay ninguna razon de peso que se oponga á la aparicion del hombre, en cuanto todos los elementos necesarios para su conservacion se hallaron reunidos y modificados convenientemente.

A pesar de tantas pruebas como militan en favor de la gran antigüedad del hombre, no todos los sabios tienen en este punto la misma opinion, y en Francia y España, principalmente, hay muchos geólogos de los mas afamados, que niegan la existencia del hombre fósil; segun estos naturalistas, los depósitos de las cavernas, los aluviones con silex tallados y huesos son recientes, y en todo caso han sufrido cambios de lugar. Si en ellas se encuentran restos humanos, no es menos cierto que el hombre vino despues de los grandes mamíferos, y si los huesos de este animal están cortados y hendidos, pueden provenir las señales de otros animales carniceros; y si tambien se hallan labrados y esculpidos los huesos, tuvo lugar el trabajo del hombre mucho tiempo despues de la muerte del animal.

Pero es el caso que á veces se complica la cuestion, y no es tan fácil cortarla de plano como en las circunstancias anteriores.

En el diluvium intacto del valle de la Alsacia, se han encontrado en dos ocasiones distintas, restos humanos fósiles; son tambien difíciles de rechazar las pruebas que ofrecen los dibujos grabados con la punta de una piedra en los huesos hallados en las cavernas, y que representan un elefante, ó un rengífero, ora un oso, un caballo ó un buey primitivo. Estos dibujos echan por tierra todos los argumentos de los adversarios del hombre fósil; pues aunque todavía resisten diciendo que apenas se reconocen los dibujos, y que en cambio en otros casos tienen caractéres demasiado artísticos para fecha tan remota, la verdad es que estas razones son de poca fuerza. Contestan algunos antropologistas que desde la edad del rengífero, que es como se llama la época del hombre fósil, habian recibido las razas humanas todas sus cualidades distintivas y que el hombre que vivia con el rengífero demostraba una disposicion artística particular. Llegan algunos hasta el extremo de reconocer en el cráneo de Rafael una analogía extraordinaria con el del hombre de la época del rengífero.

Pero si el campo geológico está dividido en cuanto á la existencia del hombre antidiluviano, no sucede lo mismo en cuanto á la teoría de la grande antigüedad de la especie humana, pues en este punto todos los sabios están de acuerdo; se nos revela

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

esta antigüedad por los depósitos de corales y grés marinos, por los de las turbas, por los «kjökkönmödding» (desperdicios de cocina) de Dinamarca, que son unos conglomerados de conchas, por las ciudades lacustres alpinas y por las *terramares* de Módena.

Los depósitos de corales y de grés cuaternarios, formados en las orillas de ciertos mares, como en la Guadalupe v. gr., en cuanto á los corales: en Toscana, Cerdeña y Chile para los grés, encierran restos humanos y hasta esqueletos completos, en union de vasijas de barro ordinario y armas de silex tallado.

Las turberas en sus capas sucesivas presentan restos de diversas clases y vienen á ser como un verdadero museo, en el que se hallan clasificados los objetos con arreglo á un órden cronológico, desde las últimas convulsiones del globo, hasta la edad histórica actual; se ve tambien, que hasta las esencias vegetales varian con el tiempo y en Dinamarca al pino sucede la encina y á esta el haya.

Los kjökkönmödding, estudiados recientemente en las costas de Dinamarca, están compuestos de conchas comestibles como ostras, almejas, etc., mezcladas con huesos de rengíferos, de castor, de perro y otros animales; tambien se hallan herramientas de silex y hueso que muestran por todas partes el uso del fuego, pero no se ve ningun instrumento de bronce ni el menor vestigio de vasijas de barro. Frecuentemente yacen inmediatos á las costas actuales; otras veces, no obstante, se hallan muy al interior, á una distancia de hasta veinte leguas. Su contenido y situacion indican una fecha posterior á la de la extincion de los grandes mamíferos, pero primordial á la de la domesticidad; se pretende que algunos de ellos no tienen menos de cien mil años.

En las ciudades lacustres descubiertas desde el año 1854 en las orillas de los lagos suizos, en el de la Saboya y en Lombardía, en la vertiente meridional de los Alpes, se hallan asimismo vestigios de la industria primitiva del hombre; herramientas y armas de silex y hueso, vasijas de barro, telas groseramente tejidas, y en otros puntos adornos de bronce y de hierro, pedazos de ámbar y estaño y á las veces alhajas de oro.

De las ciudades lacustres se han extraido algunos cráneos humanos y otros muchos huesos de animales; así como en las turberas, se suceden los depósitos cronológicamente, y se pasa de la infancia de la humanidad y de la mas completa barbarie á una especie de semi-civilizacion; el bronce (aleacion de cobre y estaño) y el ámbar denotan que en esa época efectuaba ya el hombre viajes dilatados, y que sostenia relaciones comerciales con el norte de la Europa, puesto que el estaño habia de provenir del Cornouailles inglés, y el ámbar de las orillas del Báltico; tambien se han encontrado granos de trigo y otros cereales en varias ciudades lacustres, que á su vez indican que comenzaba á practicarse el cultivo de la tierra.

La raza que habitaba en estos lagos construyó sus habitaciones sobre pilotes ó conglomerados de piedra como practican en la actualidad los indígenas de la Nueva Zelandia; estas primitivas poblaciones de los Alpes vivian en el agua, para ponerse á cubierto, sin duda alguna, de los ataques de los animales feroces, tan numerosos en aquella época en la Helvecia, y cuyas osamentas se encuentran entre las ruinas de las ciudades lacustres; el hombre antehistórico tuvo que disputar su alimento y su morada á los animales salvajes, á los sanguinarios felinos, y la fábula de Hércules y del Leon de Nemea no se aparta tanto de la verdad como pudiera creerse á primera vista. De igual manera, en lo respectivo al hombre de las cavernas, la leyenda de los trogloditas que nos trasmitieron los griegos y romanos, se apoya hoy en los hechos confirmados por la geología.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Las *terramares* del ducado de Módena entre el Pó y los Apeninos, son iguales á las habitaciones lacustres; á la orilla de lagos y pantanos que hoy han desaparecido, acamparon las primeras tribus italianas, constituyendo sus barracas tambien sobre



Fig. 400.—Armas, utensilios y joyas de las habitaciones lacustres de Suiza.

1: Hacha de silex con mango. —2: Hacha de cubo (bronce) —3: Anzuelo de bronce.—4: Hacha de piedra con doble mango —5: Sortija de bronce.—6: Brazalete de idem.—7 y 8: Arpones de asta de ciervo.—9: Alfiler de hueso —10: Hacha de bronce —11: Cuchillo del mismo metal.—12: Hachas-martillos de idem.

pilotes clavados en el fondo del agua; en estas terramares, del propio modo que en las habitaciones lacustres, se encuentran restos humanos y de mamíferos, de los que viven aun distintas especies, vasijas de barro y asta de ciervo, armas y utensilios de bronce y tambien de hierro.

La tierra que contiene todos estos despojos es alcalina, está mezclada con fosfato y nitrato de cal y puede servir de abono, lo cual explica el nombre que le dieron los campesinos modeneses, *terramara*, por corruptela de *terra-marna*.

Los tiempos prehistóricos ó infancia de la humanidad, se dividen en dos grandes épocas; la de la piedra y la de los metales. La época de la piedra se subdivide en edad de la piedra bruta y en edad de la piedra pulimentada. La época de los metales comprende la edad de bronce, ó mejor del cobre y el estaño, y la edad de hierro con la cual comienza la historia.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Esta es la última edad de la humanidad puesto que todavía estamos en ella, pero hubo de pasar por muchas fases antes de llegar hasta nosotros: la edad de oro y plata de los poetas y la edénica de la leyenda asiática, no existieron jamás, pero no es imposible que las alcancen nuestros descendientes despues de alguna gran convulsion del globo, y despues que sufra nuestro organismo una nueva evolucion.

Se caracteriza la edad de piedra por la abundancia de instrumentos, herramientas y armas de silex tallados ó pulimentados de formas muy conocidas; la mas frecuente es la triangular ó de corazon, llamada hacha ó celtéa, porque hace recordar las hachas célticas que se encuentran en los dólmenes ó túmulos de la época de los celtas; despues de las hachas vienen los cuchillos, los rascadores y luego las puntas de flechas y de lanzas, y mas rara vez los punzones, sierras, etc.; estos útiles de silex se hallan en todas las formaciones cuya fecha parte de la época humana, en los diluvium, en los depósitos de las cavernas y en los aluviones intactos ó movidos.

Las herramientas de piedra se remontan hasta la edad histórica ó contemporánea, puesto que los hallamos hoy dia en uso en los pueblos salvajes; no puede por tanto, argüirse fundándose en el descubrimiento de los silex tallados, respecto de la gran antigüedad del hombre en tal ó cual punto de la superficie del globo. La antropología vino en auxilio de la geología, estudiando los cráneos fósiles y los del hombre primitivo; en casi todos estos cráneos se reconoce la forma braquicéfala, esto es, redonda, y prognata ó de ángulo facial muy agudo, y la mandíbula proclive, como en el mono y en general todos los mamíferos. El cráneo del hombre civilizado de Europa es mas bien dolicocéfalo ó alongado, elíptico ortognato, es decir, de ángulo facial muy abierto y con dientes rectos.

La pequeñez de las manos caracteriza el tipo braquicéfalo, lo cual explica el reducido tamaño de las empuñaduras de las espadas y jabalinas de la edad de bronce; el tipo braquicéfalo se encuentra en nuestros dias en casi todas las razas indígenas, al parecer, de la Europa, v. gr., los vascos, una parte de las razas helvética, liguria, escandinava y lapona. El tipo dolicocéfalo se halla en las razas emigradas, por ejemplo, en la céltica ó gaélica que se une á la rama ariana.

La mayor parte de los lingüistas, historiadores, etnólogos, aceptan hoy como verdad demostrada, que hubo una gran emigracion de los arias ó pueblo primitivo del Asia, que se extenderian desde la vertiente septentrional del Himalaya, ó cuando menos, desde las mesetas del Asia central ú ombligo del mundo segun le dicen, hasta las regiones europeas. Con estos abuelos asiáticos se enlazan las razas indias, persas, semíticas, helenas, latinas y célticas que forman como otros tantos enjambres desprendidos en el curso del viaje.

A estos abuelos asiáticos debe la raza blanca sus facultades intelectuales y morales, sus lenguas y religiones. Las razas amarilla y negra forman otras ramas de la gran familia humana y parece difícil que estas tres agrupaciones procedan del mismo tronco.

Los partidarios de la unidad de la especie, admiten que por la influencia exclusiva de los medios, pasó la raza blanca á ser negra en Africa y amarilla en la Mogolia, pero ¿cuánto tiempo no se hubiera necesitado para esto? ¿Qué inmensa serie de siglos no hubieron de exigir esas trasformaciones, cuando en los tiempos históricos, es decir, desde hace á lo menos seis ú ocho mil años en Egipto y Asiria y diez mil en China y en la India, las pinturas y bajos relieves de los monumentos nos demuestran que las razas china, india, judía, asiria, egipcia y etiópica ofrecen los mismos caractéres y el mismo tipo que en la época actual? Si los partidarios de la unidad de la especie humana son consecuen-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tes, deben, pues, admitir la existencia del hombre fósil, lo cual haria remontar á cien mil años el nacimiento de nuestro primer padre. Tan solo un período tan largo pudo permitir las diversas modificaciones que afectan las razas segun los países que se estudian.

Hemos dicho cien mil años y ahora vamos á explicar qué hizo el hombre durante estos mil siglos. Tuvo que purgar la tierra de una parte de los animales feroces que la ocupaban é hizo poco á poco habitables sus inmensos dominios. Creó las artes y antes que otra alguna, la arquitectura, edificando su primera vivienda: inventó la industria tallando los silex y huesos y extrayendo luego los minerales de los que obtuvo los metales que supo alear en buenas proporciones; para esto ideó hornos y moldes y métodos de fundicion.

Nacieron entonces la agricultura, los telares y la navegacion, á las que siguieron la escultura, la pintura, el grabado y á poco la escritura que pinta y esculpe la palabra. Con los metales se halló la base de los valores, la moneda, y desde entonces se reemplazó el cambio por el comercio que á su vez sirvió para desarrollar la marina.

Aquí tropezamos con los confines de la historia, y el hombre primitivo, el hombre prehistórico se borra y desvanece ante el hombre civilizado; este último tiene á veces una historia muda y los pueblos que elevaron los dólmenes y sembraron las llanuras del Mississippi, el Yucatan, las islas de la Sonda, el reino de Siam y otros parajes de monumentos extraños, grandiosos, que revelan con frecuencia elevadas inspiraciones artísticas, no nos han trasmitido, empero, sus leyendas. Pudo tener lugar, pues, una era brillante de civilizacion, anterior á las que conocemos: por otra parte, el estado estacionario de muchos pueblos salvajes, fijos siempre en la edad de piedra ó en los primeros impulsos de la edad de bronce y de hierro nos demuestran que los tiempos de barbarie primitiva pueden durar eternamente.

No debe maravillarnos, pues, que la especie humana cuente mas de cien mil años de existencia, y tal vez lo natural seria que nos asombrásemos del escaso progreso intelectual y moral que hemos adquirido desde la edad histórica.

Los eternos problemas del alma y de la vida, se encuentran en el mismo estado que cuando el hombre empezó á balbucear, y la ciencia actual es incapaz de resolverlos: todo lo mas que ha descubierto, despues de tantos siglos de tinieblas absolutas, son algunas de las magníficas leyes que rigen el gran todo.

II

La Tierra actual

Acabamos de asistir á la formacion de la Tierra y á la aparicion sucesiva de los séres, y ahora vamos á resumir y completar el estudio del planeta en su estado actual y como lo vemos despues de las convulsiones geológicas por que ha pasado sucesivamente.

El globo terrestre se halla rodeado por una envoltura gaseosa, de espesor limitado, que algunos no hacen pasar de quince leguas. Debajo de la atmósfera se encuentran las aguas y la corteza sólida, que como una balsa flota sobre un mar de fuego interno; tan delgada es esta costra, que si se supone reducida la Tierra á las dimensiones de una manzana, representará la cáscara la parte sólida y la carne el océano en ignicion.

La existencia de este mar no es una mera hipótesis, pues la forma del globo terrestre, que es la de una esferoide aplanada por los polos y ensanchada por el ecuador prueba el estado flúido primitivo del planeta. El cálculo y el experimento demuestran, en efecto, que esta es la forma que tomaria una esfera líquida que girase al rededor de su eje.

El aumento de temperatura que se nota

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en el termómetro á medida que se desciende hácia la parte interna del globo demuestra que el fuego central no se ha apagado todavía; la elevacion de temperatura viene á ser por término medio, de tres grados por cada cien metros, segun demuestran los estudios practicados en las sondas artesianas y en los mas profundos pozos de minas. A tres mil metros bajo el nivel del suelo, esto es, menos de una legua, se obtiene la temperatura del agua hirviendo y á pocas leguas todos los cuerpos y metales se hallan en estado de fusion.

Basta con estas pruebas para demostrar la existencia del mar de fuego, que por sí solo explica todos los fenómenos geológicos plutónicos que marcan lo pasado del planeta; entre los fenómenos actuales debidos al fuego central hay que citar los manantiales termales y los *soffioni* ó vapores boracíferos, los *geysers* ó vapores silíceos que se desprenden con estrépito por las fisuras del suelo en varios países; luego las erupciones volcánicas, los temblores de tierra y finalmente los movimientos lentos ó pulsaciones del globo.

Son los volcanes como válvulas de seguridad que dan salida al exceso de presion de la caldera; tan exacta es en este caso la figura, que las filtraciones de las aguas marinas ó continentales producen siempre las erupciones volcánicas pasando súbitamente al estado de vapor en contacto con el mar ígneo.

Los temblores de tierra están provocados por la misma causa; algunos autores admiten que se deben á las mareas del océano de fuego que obra contra la corteza sólida, ó tambien á la contraccion que experimenta al enfriarse la superficie de este mar, pues entonces se aproxima la balsa que nos sustenta, produciéndose trepidaciones violentas acompañadas de crugidos y enormes fisuras.

Los movimientos lentos que hemos llamado pulsaciones del suelo, son unos temblores de tierra casi insensibles; en algunos puntos, como en Suecia, se ha comprobado desde hace siglo y medio que las costas se elevan progresivamente, y lo mismo se observa en Chile. En otros lugares como en las orillas del golfo de Nápoles, en Pozzuoli, se han observado desde el principio de la era cristiana unas depresiones y elevaciones del piso; hubo una época, verbigracia en que las columnas del templo de Serapis llegaron á sepultarse bajo las aguas hasta unos seis metros, que es la mitad de su altura, incrustándose esta parte de moluscos y conchas litófagas, que se hicieron visibles al asomar de nuevo toda la columna. Ahora bien, el nivel del mar no varia como prueban las leyes de la mecánica; luego tenemos que admitir, precisamente, que el nivel del suelo es el que cambia. La existencia del mar de fuego da cuenta de estas oscilaciones lentas ó movimientos respiratorios de la tierra y para ello basta admitir que por efecto del enfriamiento se contrajo poco á poco la parte ígnea, hundiéndose el suelo en unos puntos, y elevándose en otros como los brazos de una balanza.

No debemos de olvidar que algunos autores niegan hoy dia la fluidez interior del globo fundándose en la imposibilidad que hay de explicar ciertas leyes de la astronomía, como por ejemplo, la de la precesion de los equinoccios, ú oscilacion regular del eje terrestre al rededor de la perpendicular á la eclíptica, si no se admite una esferoide maciza y compacta; segun esos físicos, los temblores de tierra y las erupciones volcánicas se deben á fenómenos puramente químicos y locales, á corrientes electro-magnéticas y á lagos subterráneos de materias ígneas. Pero el distinguido naturalista Perrey explica satisfactoriamente los temblores de tierra con auxilio de las mareas del mar de fuego y demuestra que estas trepidaciones siguen con corta diferencia las mismas leyes que las mareas del océano ocasionadas por la atraccion combinada de la Luna y el Sol sobre la Tierra.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En todo esto hay que llevar en cuenta los errores inherentes del espíritu humano, que siempre procede por accion y reaccion en las ciencias especulativas, y la geología se encuentra aun en este número, al menos en lo respectivo á la explicacion de los fenómenos. En estos últimos años se ha puesto de moda el atacar la hipótesis del fuego central y la teoría cosmogónica de Laplace; ambas hipótesis, empero, son firmísimo apoyo de la geología. Pretenden algunos sustituir á la teoría del fuego central la hipótesis de Davy, quien consideraba la corteza sólida del globo como las cenizas y escorias de los metales alcalinos, en constante ignicion debajo de la costra terrestre; á mayor profundidad y en la parte inferior de este lago de fuego, se encuentra la esfera sólida. Pero Davy, como inventor de los metales alcalinos, sentia hácia ellos cierta propension y sin querer les atribuia en la vida del globo puestos que jamás ocuparon.

La costra sólida del globo ó balsa que flota sobre un mar de fuego, se halla rodeada por una masa enorme de agua salada, circunscrita por las playas y colinas de tierra, de elevacion superior; forman estas tierras unas islas pequeñas ó grandes, llamándose en el primer caso islas propiamente dichas y en el segundo continentes. Presentan algunas islas un interés particular, como por ejemplo las de la Oceanía, que lentamente edifican los corales á lo largo de los volcanes submarinos y que parecen destinadas á ser núcleos de futuros continentes; un levantamiento ó erupcion volcánica general, elevará algun dia los escalones que unen entre sí á estas islas, mientras que una parte correspondiente del globo desaparecerá tal vez bajo las aguas del océano: así debió sumergirse en otro tiempo la Atlántida de los egipcios y de Platon.

Cuando se estudia el relieve de las islas y continentes, se notan unas protuberancias y depresiones que son los montes y los valles. Las montañas obedecen en su direccion á leyes matemáticas y no se hallan diseminadas al azar por la superficie del globo, este descubrimiento importantísimo se debe al geólogo francés Beaumont.

La direccion de las cordilleras regula la de los valles correspondientes y sirve para fijar los principales accidentes geológicos de una comarca, la alineacion de las fuentes termales, de los filones metálicos y de otros yacimientos de minerales útiles y las rupturas subterráneas del suelo. De las montañas dependen ante todo, los valles que, considerados en lo respectivo al régimen de las aguas que los recorren, forman lo que se llaman cuencas hidrográficas; las cuencas están separadas unas de otras por las líneas de las cimas que pasan por los puntos culminantes de las cordilleras; las aguas que caen en una cuenca se reunen en el valle principal desde donde se dirigen al mar. La evaporacion se apodera de ellas nuevamente, las eleva en el aire en forma de vapores á veces invisibles; y se condensan en nubes espesas que, trasportadas por el viento, se resuelven en lluvia en cuanto sobreviene el menor enfriamiento. Vuelve el agua á caer por las laderas de los montes como por un tejado, llega á los valles laterales y de nuevo se encamina al mar por la cañada principal, fertilizando y fecundando los campos vecinos y dando al aire la humedad indispensable á la vida.

Otra parte de las aguas, que forman corrientes subterráneas, aparecen como surtidores y manantiales continuos ó intermitentes: unas veces se cargan en su trayecto bajo el suelo de sustancias químicas y dan orígen á las fuentes minerales, que son frias ó termales, segun la profundidad del manantial; las aguas minerales son gaseosas, alcalinas, ferruginosas, sulfurosas, ioduradas, etc., y adquieren estas propiedades al pasar por minas de distintas clases.

En una palabra, la tierra absorbe el agua

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

como una esponja y el agua recorre todas las grietas y cavidades subterráneas como circula la sangre por nuestras venas y arterias; restituye la tierra lo que toma, y puede decirse que si toda el agua de los continentes viene del mar por evaporacion, al mar vuelve por la lluvia. Mas todavía: el calor del Sol eleva en el aire la molécula líquida que al caer de nuevo en el suelo trasforma en fuerza motriz una parte del calórico que sirvió para suspenderla. Al caer el agua de las lluvias en la cima de las montañas mas altas en donde la temperatura es siempre inferior á la del hielo fundente, se conserva en el estado de nieve, de la cual se funde una parte en el verano y la otra, mas elevada, no se derrite nunca, produciendo las nieves perpetuas cuyo límite inferior de altura varia con los climas y las latitudes.

Forman estas nieves eternas los ventisqueros, que con su lenta marcha producida sin duda por su propio peso y el declive del suelo, se adelantan hácia los valles; en su seno arrastran, ya delante, ora á los lados, grandes bloques de rocas que por rozamiento se rayan y pulimentan, los que abandonan en cualquier punto de su carrera, si por acaso llegan á derretirse; este, como sabemos, es el orígen de los bloques erráticos. Los fenómenos de los ventisqueros actuales ofrecen la mayor analogía con los de la época del diluvium que tantas huellas han dejado de su paso.

La presencia de las nieves eternas en la cima de las montañas elevadas se debe á la baja temperatura que reina en estos tristes parajes. El termómetro, que sube á medida que descendemos en el interior de la tierra, baja por el contrario segun que nos elevamos en el aire; de los experimentos realizados en las ascensiones aerostáticas y al trepar por los montes, resulta que la ley de esta diminucion viene á ser, poco mas ó menos, de un grado por una elevacion vertical de doscientos metros, de donde se deduce que en el ecuador en que la temperatura media anual es de veinticinco á treinta grados, hay que subir cinco ó seis mil metros para encontrar los hielos perpetuos: en los trópicos la ascension se limitaria á cuatro mil metros; en los climas templados á dos ó tres mil, á mil ó quinientos en las zonas frias, y en las regiones polares, por último, principiarian los hielos en el mismo nivel del suelo.

El frio que reina en las alturas explica cómo en un mismo país á medida que se asciende, cambia la vegetacion; en Méjico se cultivan en los llanos las plantas mas deliciosas que crecen en los climas intertropicales, en las mesetas las de los países templados, y en la cima de sus montes crecen las yerbas de la Laponia.

La presencia de las nieves eternas en las regiones que hay al rededor de los polos se debe al frio de estas desiertas comarcas, que reciben los rayos solares muy oblicuamente, de modo que la temperatura casi no pasa de cero grados; de la diminucion de esta oblicuidad á medida que nos acercamos al ecuador, provienen los climas.

El descenso de la temperatura en la cresta de los montes depende de otra causa; los rayos solares atraviesan el aire sin caldearlo, pues todos los gases son malos conductores del calórico; el calor de la atmósfera en la proximidad del suelo solo resulta de la reflexion de los rayos solares por la parte superficial de la costra terrestre; por esto, aunque al elevarnos en el aire nos acercamos al Sol, disminuye la temperatura.

En cuanto á las estaciones, ya sabemos que provienen de la mayor ó menor inclinacion con que los rayos solares hieren la superficie del globo en el curso del año; sabemos tambien que la Tierra describe en un año una curva elíptica alrededor del Sol, y que el plano del ecuador terrestre forma con el del ecuador solar un ángulo de poco mas de veintitres grados: esto se llama oblicuidad de la eclíptica ó de la órbita que describe la Tierra en torno del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Sol. Las estaciones cambian segun que el planeta ocupa tal ó cual posicion en la eclíptica y segun que los rayos solares caen mas ó menos perpendicularmente sobre el suelo, y no dependen de que la Tierra esté mas cerca ó mas léjos del Sol; al contrario, cuando está á mayor distancia de este luminar en el solsticio de verano, comienzan para nuestro hemisferio los grandes calores. Si estuviesen en el mismo plano el ecuador terrestre y el solar, en todas partes se disfrutaria de un clima igual sin variedad en las estaciones.

Las aguas marinas que componen los océanos son saladas y probablemente lo fueron siempre; la superficie de los mares forma las tres cuartas partes de la superficie terrestre, hasta tal punto, que si se corta el globo en dos hemisferios por cierto meridiano determinado, en uno de ellos solo habrá agua y estarán en el otro los continentes rodeados de agua asimismo.

Los océanos, de igual manera que los continentes, comprenden varias subdivisiones; el Océano Atlántico separa como un inmenso rio el mundo nuevo del antiguo; el Océano Pacífico que se extiende entre el nuevo mundo y el Asia, baña los archipiélagos oceánicos, la costa oriental de Australia y las grandes islas de la Sonda. Desarróllase el Océano Indico entre el Sur del Asia, la costa oriental de Africa y la orilla occidental australiana. Finalmente, en el polo norte se encuentra el Océano boreal y en el sur el austral, que son ambos los mares glaciales. En los polos hay unos casquetes de hielo perpetuo de los que se desprenden durante el verano unos témpanos enormes que arrastrados por las corrientes del mar, van á encallar en Terranova en nuestro hemisferio y hácia el cabo de Buena Esperanza en el hemisferio austral.

Los océanos se subdividen en mares; el mas famoso es el Mediterráneo santificado por el trabajo, como dijo un gran orador, y en cuyas orillas florecieron las civilizaciones cantadas por Homero y Virgilio. El estudio de los fenómenos que en otro tiempo ocurrieron en la Tierra, nos enseña que los océanos no estuvieron siempre encerrados en sus límites actuales; lo que ahora es tierra se hallaba en otra época sepultado bajo las aguas, de lo cual quedan pruebas tan palpables como todas las que hemos presentado. Así, pues, en el interior de los continentes se encuentran lagos salados, restos en su mayor parte de antiguos mares, v. gr., el mar Caspio, el mar Muerto, el de Aral y el gran lago salado de Utah.

Los océanos obedecen á unos movimientos superficiales regulares, que tienen lugar dos veces al dia y que se llaman mareas, que se deben, como hemos explicado en otra parte, á las atracciones combinadas de la Luna y el Sol sobre la Tierra; presentan además los océanos unos movimientos interiores que se llaman corrientes. La mas famosa é importante de estas es la que parte del golfo de Méjico y que por tal razon llaman los ingleses *Gulf stream* ó corriente del golfo. Las aguas calientes de esta especie de vasto rio submarino atraviesan oblicuamente el Océano Atlántico y costean la Escocia y la Noruega, elevando la temperatura de estos países.

Como es fácil de suponer, la corriente del golfo facilita en gran manera la navegacion entre la América del Norte y la Europa; puede decirse que es un rio cuyo curso siguen los buques al dirigirse del nuevo al antiguo continente. Una contracorriente que baja del polo hácia el banco de Terranova, llena en parte el vacío producido por el curso del *gulf-stream*, y hace que disminuya la temperatura de los países que costea; Nueva York, que se halla situada en el mismo paralelo de latitud que Nápoles, tiene unos inviernos comparables, por lo crudos, con los de San Petersburgo.

Otra corriente polar que reina á lo largo de la costa del Pacífico al lado contrario de la América del Norte y que llega á entrar

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

hasta en la bahía de San Francisco, produce el mismo fenómeno; San Francisco, que está á la misma latitud que Lisboa, no tiene verano propiamente dicho, al paso que á cincuenta leguas en las tierras, al pié de Sierra Nevada en la region de los *placeres*, se asemeja la temperatura á la del Senegal ó la Siria. Sube el termómetro en el verano á cincuenta grados centígrados á la sombra y tan terrible es el calor que se siente en esta comarca, que algunos suponen que el nombre de California que dió Cortés á *El Dorado*, viene de los vocablos latinos *calida fornax*.

La envoltura gaseosa de la Tierra se compone de oxígeno y nitrógeno en las proporciones aproximadas de un quinto de oxígeno y cuatro quintos de nitrógeno respecto del volúmen total; en peso vienen á estar en la proporcion de un cuarto de oxígeno y tres cuartos de nitrógeno; tambien existe en el aire el vapor de agua en cantidad variable, y una media milésima de ácido carbónico.

El aire, ó mas bien, el oxígeno que contiene (pues el nitrógeno es un gas inerte), desempeña una funcion importantísima, toda vez que es indispensable á la respiracion de los animales y las plantas y á la combustion; la respiracion viene á ser tambien una especie de combustion ú oxidacion de la sangre. En los animales superiores se une en los pulmones el oxígeno del aire, al carbono y al hidrógeno de la sangre, produciéndose ácido carbónico y vapor de agua. Este fenómeno químico va acompañado de cierto desprendimiento de calor, que es lo que conocemos como calor animal.

El vapor de agua y el ácido carbónico que resultan de la respiracion de los animales y de la combustion, ó que naturalmente se encuentran esparcidos por el aire, sirven á su vez para la respiracion de las plantas, cuyas hojas descomponen el vapor de agua y el ácido carbónico fijando el hidrógeno y el carbono y restituyendo el oxígeno al aire; esta doble evolucion hace que el aire conserve siempre los mismos principios en proporcion igual.

Encuéntrase surcada la atmósfera por corrientes que mezclan todos los elementos que la constituyen, transportando las semillas vegetales á distancias muy considerables; sirven tambien estas corrientes de auxiliares de la navegacion, y al americano Maury deben los marinos el descubrimiento de las corrientes regulares de la atmósfera y de los océanos. Los rios aéreos se llaman vientos y se deben al caldeo desigual del aire, que hace que las partes frias afluyan hácia el lugar abandonado por el aire caliente; en una habitacion el aire caldeado sube por la chimenea, mientras que el aire frio se introduce por debajo de las puertas.

El equilibrio de la atmósfera se halla, pues, perturbado á cada instante; cuando las causas de estas perturbaciones son normales siguen los vientos una direccion constante ó regular; entre los vientos constantes son los mas notables los alisios que en nuestro hemisferio soplan del Nordeste y en el hemisferio Sur del Sudeste; estos vientos tan útiles para la navegacion del Atlántico, fueron los que llevaron á Colon al nuevo mundo.

El orígen y la direccion de los vientos alisios se explican fácilmente; vienen estos vientos de los polos, ó mas bien de las regiones septentrionales para reemplazar el aire caliente y rarificado del ecuador, que á su vez llega á estas comarcas. Si el movimiento de rotacion de la Tierra tuviese el mismo valor en todos los paralelos, soplarian los alisios directamente de norte á sur en el hemisferio boreal, y de sur á norte en el austral; pero como los diversos puntos de la superficie de la Tierra y de la atmósfera que con ella gira, están animados de una velocidad que decrece á medida que nos apartamos del ecuador, punto de donde arrancaron los vientos alisios, estos tienen por consecuencia,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

una velocidad inferior á la del lugar á que se dirigen, lo que explica, dado su retraso, porqué tratan de ganar la velocidad que les falta en el ecuador, soplando hácia el oeste en un sentido opuesto al del movimiento de la Tierra; por el contrario, las corrientes opuestas superiores que parten del ecuador soplan hácia el este.

Tanto ó mas notables que los alisios son los ciclones ó tornados; estos vientos irregulares nacen muy cerca del ecuador, están dotados de un movimiento de rotacion parabólico y caminan en el mismo sentido que las agujas de un reloj en el hemisferio austral y en direccion contraria en el nuestro. Hoy dia, gracias á los trabajos de Pinddington y Faye, tienen los marinos reglas exactas y seguras para evitar el encuentro de estos torbellinos atmosféricos, que producen las borrascas mas terribles.

Tales son los principales fenómenos físicos que nos ofrecen la tierra, el agua y el aire; entre trópicos vemos que se presenta la naturaleza adornada con todas sus galas y dotada de una fecundidad asombrosa; en todas partes se encuentra el agua, la luz y el calor, que son los tres elementos que exige la tierra para producir; en ese clima aparece la fauna tan rica y variada como la flora; las conchas mas hermosas y las aves de mas brillante plumaje se encuentran solo en las zonas tropicales, pero en estas mismas comarcas crecen los ofidios venenosos y sanguinarios felinos. El reino mineral compite dignamente con sus compañeros: el oro, las perlas, el diamante, todas las gemas y los metales preciosos se encuentran en estos países con gran profusion.

En los climas templados encuentra el hombre otros productos y maravillas; estos países son la patria por excelencia de los animales domésticos, del vino y del trigo; del carbon de piedra, de la industria metalúrgica y de los grandes ferro-carriles.

Los climas polares tienen tambien su mundo especial y en ellos se refugiaron las ballenas, los osos blancos y los rengíferos, pero privados de calor y cubiertos eternamente de nieve, nunca llegará á fijarse en ellos la civilizacion; en otros tiempos de la edad de la Tierra, tuvieron una vegetacion mas poderosa y crecieron helechos arborescentes y plantas tropicales en bosques espesos, que llegaron á producir por descomposicion, capas de hulla recientemente descubierta y que ya se han explotado en los viajes de exploracion; tambien vivieron en estos tristes parajes los saurios de las tierras calientes, cuyos restos se han hallado debajo de los hielos á cierta profundidad.

Parece demostrado que en las épocas geológicas ofrecian los climas mayor desemejanza que en la actualidad, puesto que desde los tiempos históricos no se advierte que haya ocurrido cambio alguno. El hombre es incapaz de medir la duracion del mas pequeño fenómeno geológico y la Tierra de ahora se nos presenta como si siempre hubiera sido lo mismo; esto consiste en que el tiempo que nos abruma, no existe para la naturaleza, y la inmensa duracion de los siglos representa en sus anales un solo segundo.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO III

I

Sistemas cosmogónicos de los antiguos

La ciencia astronómica hubo de nacer probablemente en la India; sin embargo, segun la leyenda de Osiris que fué el conquistador mas antiguo, divinizado por los egipcios, parece que estos introdujeron en la India el uso de la semana y el del año hebdomadario formado por trece meses de cuatro semanas cada uno, division que todavía conserva este último pueblo á pesar del año sidéreo que promulgó su primer legislador *Manou*. Los brahmas de la India y los sacerdotes egipcios sabian determinar las latitudes por medio del gnomon, orientando exactamente sus pagodas y pirámides; tambien conocieron estos pueblos el cálculo de los eclipses, pero todos sus conocimientos estaban mezclados con infinitas supersticiones.

Los chinos estaban tan adelantados como los indios, y su civilizacion, que data de fecha muy remota, les permitió darse cuenta de los principales fenómenos astronómicos. Los caldeos, muy amantes de la astronomía, atribuian á Belo su invento; llegaron á tener nociones bastante exactas sobre la naturaleza del globo y creian que podria dársele la vuelta en el término de un año, caminando sin cesar. Segun ellos, eran los cometas unas estrellas errantes; sabian predecir los eclipses, pero los explicaban bastante mal; la Luna era oscura por uno de sus lados y luminosa por el otro. Sin embargo, segun Diodoro de Sicilia, no ignoraban los caldeos que la causa de los eclipses de Luna se debe al paso de de nuestro satélite por el cono de sombra que proyecta la Tierra en el espacio, y que por lo tanto, recibia su luz del Sol. Conocian tambien el período llamado de Saros y sabian que al cabo de diez y ocho años vuelve el Sol en su conjuncion ú oposicion, á encontrarse á la misma distancia de los nodos de la órbita lunar á que se hallaba al comenzar este período, de modo que los eclipses reaparecen á los diez y ocho años en los mismos dias del año, en el mismo órden y ofrecen las mismas circunstancias físicas.

Ya pertenezca la prioridad del estudio de la astronomía á los egipcios ó á los indios, es indudable que esta ciencia fué cultivada con esmero durante muchos años, antes de que los griegos constituyeran su nacion. Todas las escuelas cosmogónicas orientales, esto es, las de los chinos, persas, caldeos, asirios, indios y egipcios, cuyas doctrinas se trasmiten por la palabra ó por la escritura, proclaman generalmente un solo principio como orígen del mundo material, que es el del agua. Se concibe, en efecto, que en la mayor parte de esos países en donde domina el agua, y en los que rios famosos como el Ganges y el Nilo de grandes deltas, cubren la tierra con sus aluviones y sus sedimentos, debió de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ser este sistema de formacion de los cimientos terrestres el que antes que otro alguno imaginaran los filósofos.

Los griegos obtuvieron sus conocimientos astronómicos de los egipcios, pero agregaron el elemento del fuego, y la escuela jónica proclamaba ambos á un mismo tiempo. La idea del fuego habia de presentarse naturalmente á los filósofos de estos países, conmovidos por las fuerzas plutónicas y expuestos á los terribles fenómenos de los temblores de tierra y las erupciones volcánicas.

El agua y el fuego, que unos reemplazaron por el aire y otros por los átomos, eran pues, los principios creadores de todas las cosas en los doctrinas de la escuela jónica. Fué partidario del agua Táles, que nació en Mileto, ciudad de la Jonia, 640 años antes de Jesucristo, y estudió en el Egipto; vuelto á su patria determinó la altura de los objetos por la sombra que proyectaban; predijo los eclipses, calculó los solsticios y trató de determinar la relacion del diámetro del Sol con la circunferencia que suponia que describia este astro al rededor de la Tierra. Buscaba este filósofo, que fué el primero de los sabios de Grecia, la semilla del universo, y admitia, como llevamos dicho, que el agua era el principio generador de todas las cosas; segun Aristóteles y Diógenes Laercio, Táles no era materialista y afirmaba que el movimiento se originaba por una fuerza viva, hecha invisible; pero daba demasiada latitud á la idea del alma, suponiendo que el iman tenia una y otra el ámbar amarillo, pues esta última sustancia, como es sabido, tiene la propiedad de atraer los cuerpos ligeros despues que se electriza por frotamiento.

Anaximandro pasa por discípulo de Táles, segun Eusebio, y era, asimismo, natural de Mileto; fué muy hábil en la construccion de cartas geográficas, si hemos de atenernos al testimonio de Diógenes Laercio, y tambien fabricó muchos relojes de Sol y diversas clases de esferas. Creia en la esfericidad de la Tierra, que colocaba en el centro del mundo; sabia tambien que la Luna brilla por la luz que el Sol le presta, pues este astro era un fuego muy puro cuya magnitud igualaba á la de la Tierra. Inventó tambien este filósofo varios instrumentos para medir las épocas de los solsticios y de los equinoccios; segun sus ideas cosmogónicas, el principio de todas las cosas era el infinito, inalterable en su esencia, pero que se trasformaba en una serie de variaciones sin cambio de las leyes primordiales. Para Anaximandro el movimiento era eterno y una propiedad inherente al caos original; era la causa de la reunion de las sustancias homogéneas y de la disgregacion de las sustancias heterogéneas; este curso lento de modificaciones marcó varias edades de la Tierra, entre otras, la aparicion de los animales que co nocemos. Estas combinaciones sucesivas son, en el fondo, el principio de la evolucion aplicado á la materia universal.

Entre los filósofos que ilustraron la escuela jónica citaremos á Anaximenes, tambien de Mileto, que floreció 550 años antes de J. C. Era partidario del aire y suponia que este elemento sustentaba á la Tierra á cuyo alrededor giraban los cielos sólidos. El principio de la cosmogonía de este filósofo era, pues, el aire, dotado de eternidad, inmensidad é infinidad; es decir, que para él llenaba el aire los espacios celestes con exclusion de toda sustancia, estaba dotado de movimiento eterno y constituia por sí mismo la esencia de todas las cosas. Las condensaciones y dilataciones del aire ocasionadas por el movimiento, engendraban ciertos fenómenos cuyo resultado era la produccion del fuego, del agua y de la tierra, sin que el elemento primitivo, el aire, experimentase ninguna alteracion en su naturaleza íntima.

Para completar la exposicion de las doctrinas de la escuela jónica, tenemos necesidad de decir algo de un filósofo que se hizo célebre por sus concepciones de un ór-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

den mas elevado que las de todos sus predecesores: nos referimos á Anaxágoras, natural de Clazomene, que vivió unos 500 años antes de J. C. Admitia este grande hombre dos principios inmutables, material el uno y el otro espiritual ó inteligente, superior al primero y organizador del mundo físico. El punto de partida de la cosmogonía de Anaximandro constituia una especie de panteismo materialista, y á Anaxágoras estaba reservada la concepcion filósofica de un sér superior y distinto de la materia, como inteligencia motriz y ordenadora.

Pitágoras nació en Samos 584 años antes de la era cristiana y viajó durante largo tiempo por el Egipto y la India. Fué este el primer filósofo que concibió el sistema planetario que hoy llamamos de Kopérnico; veia en los planetas y la Tierra cuerpos que giraban en torno del Sol, centro del mundo; nuestro globo estaba dotado de un movimiento de rotacion que era la causa del movimiento diurno aparente; este todo armonioso ejecutaba una especie de melodía. Dividió Pitágoras el año en 365 dias y algunas horas, fundándose en sus propias observaciones y suponia que el firmamento era una bóveda esférica sólida. Este gran filósofo creia en un solo Dios dotado de un espíritu infinito y creador del mundo; los números eran el principio de nuestros conocimientos y representaban las formas y las sustancias; todo se podia expresar por relaciones numéricas, siendo las causas generatrices la divinidad y el destino. Era partidario de la metempsícosis que aprendió en Egipto, pues el alma, emanacion del fuego central, estaba formada de éter caliente y frio y podia pasar de un cuerpo á otro.

Heráclito adoptó la teoría del fuego, y Demócrito, que veia en la Vía láctea una aglomeracion de estrellas, inventó los átomos que con tanto calor defendió Epicuro un siglo despues. La escuela jónica principió en el siglo VII antes de J. C., floreció durante el VI y el V y de Jonia pasó á Grecia.

Platon, que se inspiró en estas doctrinas y estudió asimismo con los egipcios, fundó en el siglo IV antes de J. C. la escuela helénica; confirmó la tradicion de un gran diluvio, recogida ya por los griegos, y dió cuerpo á la leyenda del Tártaro ó rio de fuego de los infiernos que constantemente arde en el centro de la Tierra. Acabamos de ver en los capítulos anteriores que estas dos ideas las acepta en la actualidad la geología. Platon tomó tambien de los sacerdotes egipcios, divulgándola en su escuela, la creencia de una Atlántida ó mundo que se sumergió en el Océano á consecuencia de un violento cataclismo; llegó á generalizar esta creencia, pues dice en su libro de la Naturaleza: «El género humano ha sufrido y sufrirá varias destrucciones, las mayores por el fuego y por el agua.»

Aristóteles, discípulo de Platon y *Príncipe de los filósofos*, nació en Stagira 384 años antes de nuestra era; observó una ocultacion de Marte por la Luna, otra de una estrella por Júpiter y un cometa; fué partidario de los cielos sólidos y admite la uniformidad en el movimiento del octavo y último. En la *Física* trata la cuestion del movimiento de la Tierra para refutarla; demuestra el peso del aire con el experimento de que un globo vacío pesa menos que cuando está lleno de aire y supone que el gran fenómeno de la circulacion de la sangre lo conocia todo el mundo.

En su libro de los meteoros es mas explícito que Platon en cuanto á las convulsiones del globo, pues dice: «Donde estaba la Tierra aparecerá el mar y donde se encuentra el mar se mostrará de nuevo la Tierra..... Estos cambios tienen lugar á despecho de nuestra voluntad; las naciones mueren y desaparecen antes de completar su curso.» Debemos á Aristóteles una idea muy exacta que el progreso de las ciencias ha confirmado completamente: que el movimiento es un hecho universal

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

y capital. Considera la naturaleza como un principio causa del movimiento y coloca á Dios fuera de la naturaleza; el principio activo de nuestra existencia es el alma que participa del cuerpo y es de orígen divino. No admite la casualidad sino como enlace invisible entre ciertos objetos; llegó á entrever este filósofo lo que hoy dia admiten los sabios, á saber, que todo está ordenado segun ciertas leyes inmutables y para fines desconocidos.

El infinito es un principio y jamás un acto: difiere del mundo, cuya eternidad admite como consecuencia de la perpetuidad del movimiento. El espacio se demuestra por la presencia sucesiva de distintos cuerpos en un mismo lugar, lo cual dista mucho de ser una definicion. Niega Aristóteles el vacío y en este punto parece que se contradice, pero cuida de no confundir la materia con el espacio, como Platon en el *Timeo*; todo cuanto dice del tiempo está ligado á la idea del movimiento; véase sino el pasaje siguiente: «Pero si el alma dejase de ser casualmente, ¿habria tiempo todavía, ó no? Esta pregunta puede uno hacérsela, pues cuando el sér que debe contar no existe, es imposible de igual manera que haya ninguna cosa numerable; y por consiguiente tampoco hay número, pues el número solo es lo que se ha contado ó lo que es susceptible de contar. Pero si en el mundo no hay mas que el alma y en el alma el entendimiento que posee la facultad natural de contar, en ese caso es imposible que el tiempo exista si el alma no existe; y por consiguiente, el tiempo no es, en esta hipótesis, sino lo que es simplemente en sí mismo.»

La cuestion de la permanencia de los séres tan debatida en estos últimos tiempos, ocupó tambien al gran filósofo estagirita, quien sostenia que ninguna clase de mezcla podia alterar los géneros y las especies; cada sér proviene eternamente de un sér semejante á él y que existia antes que él; esta era tambien la opinion de Demócrito y de Platon. En estos últimos tiempos, el gran naturalista inglés Cárlos Darwin, en su magnífica obra titulada el *Orígen de las especies*, emite la idea de que todo el reino animal desciende de cuatro ó cinco tipos primitivos, cuando mas, extendiendo asimismo su teoría al reino vegetal, hasta tal punto de que todos los séres organizados podrian descender de una forma única y primordial. Este autor, pues, es contrario á la teoría que supone la permanencia inalterable de los géneros y se muestra partidario decidido de la hipótesis de las transformaciones sucesivas que lentamente sufrieron algunos séres primitivos, que al cabo de mucho tiempo y de una larga serie de modificaciones, produjeron todas las especies que se observan en la actualidad.

Uno de los astrónomos mas famosos de la antigüedad fué Pyteas, de Marsella, que vivió unos 300 años antes de J. C.; estableció un gnomon que observado en el solsticio daba una sombra cuya longitud era á la altura total del esciaterio como 499 es á 1440. Eratóstenes, que fué el primero que trató de medir la Tierra por medios astronómicos, estimaba tanto la observacion de Pyteas, que la empleó como uno de los fundamentos de su geografía. Hiparco siguió el ejemplo de Pyteas y determinó el paralelo de Bizancio, valiéndose de la sombra del gnomon. La pasion de Pyteas por la astronomía y la geografía le hizo emprender grandes viajes muy peligrosos en aquella remota fecha; se aproximó bastante al polo ártico navegando por el Océano occidental, y como notó que á medida que avanzaba en su camino, mas se alargaban los dias en el solsticio de verano, llegó hasta la isla de Tulé en donde salia el Sol á los pocos minutos de haberse puesto.

De regreso de sus viajes publicó sus descubrimientos que fueron acogidos como los ensueños de un visionario; las relaciones de los viajeros modernos confirmaron

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuanto Pyteas dijo, de modo que debemos considerarle como el primero que se acercó lo bastante al polo para distinguir los climas por la diversa duracion de los dias y las noches. Se ignora el lugar y la fecha de la muerte de Pyteas.

Arquímedes, que floreció en Siracusa doscientos años antes de la era de Cristo, construyó una esfera de vidrio cuyos círculos representaban los movimientos celestes.

Aristarco de Samos, de la escuela de Alejandría, investigó las distancias de la Tierra al Sol por un procedimiento teóricamente exacto, y el error de sus resultados hay que atribuirlo á la falta de buenas observaciones. Halló que el diámetro del Sol era la 720.ª parte de su órbita ánua; este guarismo daba alguna luz en lo relativo á las verdaderas dimensiones del Sol, la Luna y la Tierra; este astrónomo fué el único de su escuela que admitió el movimiento de la Tierra por cuyo motivo lo acusaron de impío.

La oblicuidad de la eclíptica la determinó Eratóstenes; inventó las armellas, hizo observaciones exactas y midió aproximadamente la longitud del circuito terrestre; la sencillez de su método ha hecho que se adopte por los astrónomos modernos; consiste en fijar dos puntos en un mismo meridiano, medir sus distancias y averiguar el ángulo que forman en el centro del globo las verticales prolongadas de ambas estaciones. Esta operacion la efectuó en Egipto, entre Siena y Alejandría, suponiendo que la primera ciudad se encontraba precisamente bajo el trópico de Cancer; los dos lugares no están, sin embargo, en un mismo meridiano y la distancia que hay entre ellos no fué medida, sino estimada; reduciendo su resultado á las medidas actuales se obtienen 9,818 leguas como valor de la circunferencia completa del globo terrestre.

Hiparco floreció unos 170 años antes de J. C. y fué el mejor astrónomo de la antigüedad; sabia calcular y predecir los eclipses que podian ocurrir en el trascurso de 600 años; la imperfeccion de sus métodos y las tablas que calculó, no le permitian responder de la exactitud de sus resultados pasado ese período; formó este hombre notable un catálogo de 1,026 estrellas, cuyas distancias angulares midió, fijando sus posiciones por medidas delicadas para la época en que se efectuaron; las repartió en 49 constelaciones.

Adoptó Hiparco la oblicuidad de la eclíptica hallada por Eratóstenes, despues de comprobar su exactitud; determinó la duracion del año observando el regreso del Sol al mismo equinoccio, en cuyas medidas se valió de las sombras de un estilo. Despues de efectuar estas observaciones durante varios años con objeto de atenuar en lo posible los errores naturales, comprobó la desigualdad de los dias y las estaciones. Admitia este grande astrónomo el movimiento del Sol al rededor de la Tierra y trazó las curvas que describen ese luminar y la Luna en torno del globo. Además, estimó con bastante exactitud las distancias de la Tierra al Sol y á la Luna, é indicó el medio de obtener la longitud y la latitud de un lugar por observaciones astronómicas; su descubrimiento principal fué el de la precesion de los equinoccios, fenómeno que averiguó observando que las estrellas tienen un movimiento de occidente á oriente al rededor de los polos de la eclíptica.

La aparicion de Hiparco forma época en la historia de la astronomía, y puede decirse, que desde este astrónomo hasta Kopérnico no dió la ciencia un solo paso. El descubrimiento astronómico mas importante que debemos á la antigüedad es el de la precesion de los equinoccios cuyas consecuencias todas señaló Hiparco con gran lucidez y claridad; dos de ellas llaman mas particularmente la atencion. A causa de la precesion de los equinoccios no se hallan siempre las mismas estrellas y cons-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

telaciones en el firmamento durante las noches de cada estacion; en el curso de los siglos las actuales constelaciones de invierno llegarán á ser constelaciones de verano y recíprocamente; el astro de mediano brillo que con justa razon llamamos ahora la Polar, distaba mucho del Polo en tiempo de Hiparco, y volverá á alejarse dentro de algunos siglos. La denominacion de polar ha sido dada y se dará sucesivamente á estrellas muy distantes entre sí.

De la Gran Grecia y el nuevo Egipto pasaron á los romanos las doctrinas de la escuela itálica; los poetas de este pueblo de guerreros y legisladores reunieron y sintetizaron en versos magníficos toda la ciencia cosmogónica de ese tiempo. Sin embargo, uno de los maestros de la poesía latina que al mismo tiempo es uno de los espíritus mas elevados que honran á la humanidad, el gran Lucrecio, siguió mas bien las doctrinas de Demócrito y Epicuro sobre los átomos, padres de nuestro universo; todos los cuerpos de la naturaleza deben su orígen al concurso de estos elementos primitivos y no al aire, la tierra, el agua y el fuego. Casi todo el poema de Lucrecio versa sobre esta idea, y sea la que quiera la opinion que se tenga formada respecto de su obra, es indudable que las doctrinas que su autor expone llevan el sello de una filosofía austera y viril y revelan un sentimiento elevado de los grandes fenómenos naturales.

Virgilio, profundo admirador de Lucrecio, reanima ó resucita la teoría de los cuatro elementos que su maestro habia rechazado: dice así en sus *Bucólicas:* «Cantaba Sileno cómo en la inmensidad del vacío se reunieron los gérmenes de las tierras, del aire, del mar y del fuego líquido; cómo salió todo de estos elementos y cómo el globo, pastoso al principio, se endureció; cómo se hizo la costra terrestre que encerró al mar en sus límites y revistió poco á poco formas distintas. Cantaba los continentes asombrados á la vista de los rayos del nuevo Sol, y las lluvias que caian de lo alto de las nubes suspendidas. Cantaba los primeros bosques salidos del suelo y los animales, poco numerosos todavía, errantes por las desconocidas montañas.»

En todo este pasaje confirmado por la ciencia moderna, se revela una gran elevacion de ideas; la cosmogonía de Virgilio es mas exacta que otras muchas muy celebradas.

Ovidio explica tambien en versos armoniosos la formacion y los cambios sucesivos del globo; dice así en sus *Metamorfósis* suponiendo que habla Pitágoras. «He visto lo que antes era un continente sólido, convertirse en mar; he visto tierras producidas por las aguas y conchas marinas enterradas léjos del Océano..... Lo que era llano se transformó en valle por los torrentes y los diluvios aplanaron las montañas.»

El geógrafo Estrabon participa de las ideas de Ovidio respecto de las modificaciones de los continentes cubiertos y abandonados por las aguas de un modo sucesivo, y se expresa en términos mas claros aun, acerca del levantamiento y depresion de las tierras y de los efectos dinámicos del fuego central; en todo esto razona con el mismo aplomo que un geólogo moderno. Cuando oye decir que las conchas petrificadas que se encontraban en los calcáreos que sirvieron para edificar las Pirámides, conchas que llamamos ahora *numulites*, provenian de las lentejas esparcidas en el suelo por los trabajadores, rechaza la asercion fundándose en que en su país natal, que era la ciudad de Amásea, se hallaban tambien estos mismos fósiles; los geólogos modernos los han señalado en efecto, en diversos puntos del Asia menor, justificando la observacion del geógrafo griego.

Séneca el filósofo, tambien se expresa muy acertadamente sobre los cataclismos que deben señalar el fin de la época geológica actual. «El agua y el fuego, dice, dominan aquí abajo; de ellos salió todo y todo concluirá por ellos.»

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

En cuanto á Plinio el naturalista, cuyo nombre extrañaria el lector que no citásemos, se expresa en este asunto con su falta de crítica habitual y se limita á exponer cuantas opiniones llegaron á sus oidos, sin discutirlas ni calificarlas.

Hasta la caida del Imperio conservó el mundo romano sin modificarlas en lo mas mínimo, las ideas cosmogónicas de los maestros de las escuelas griegas y latinas. Claudio Ptolemeo que vivia en Alejandría por los años de Cristo 138, estableció un sistema astronómico que duró hasta 1530: modificó el catálogo de Hiparco y formó 48 constelaciones de las estrellas mas notables: 12 alrededor de la eclíptica; 21 en el hemisferio septentrional y 15 en el austral. En su obra el *Almagesto*, consignó un gran número de observaciones y problemas antiguos sobre la geometría y la astronomía. Colocaba la Tierra inmóvil en el centro del mundo y hacia girar á su alrededor de occidente á oriente en el curso de un mes á la Luna; Mercurio giraba en tres meses, Vénus en ocho, el Sol en un año, Júpiter en doce, Saturno en treinta y las estrellas en veinticinco mil. Además de estos movimientos periódicos, suponia que los astros estaban dotados de otra oscilacion diurna de oriente á occidente. Su descubrimiento mas notable es el de la *eveccion*, una de las tres grandes desigualdades que perturban el movimiento de la Luna.

Alfonso X rey de Castilla y de Leon apellidado el Sabio, gastó 400 mil ducados en la construccion de las *Tablas alfonsinas* calculadas en 1252 poco despues de su advenimiento al trono; con este objeto reunió en Toledo los sabios mas famosos de su época, sin parar mientes en la religion que profesasen; entre ellos se encontraba Juan de Cremona. Durante mucho tiempo se consideraron estas tablas como las mas perfectas, y la duracion del año se fijaba en $365^h\ 5^h\ 49^m\ 16^s$, siendo su error de 28^s únicamente. El fruto de los trabajos de esta reunion de astrónomos fué la construccion de un código astronómico publicado hace poco bajo la direccion de D. Manuel Rico y Sinobas y por cuenta del gobierno. La edicion es magnífica y consta de cinco volúmenes en folio.

El rey D. Alfonso el Sabio se ocupó tambien de alquimia, y en concepto de los ignorantes habia encontrado la piedra filosofal pues suponia que sabia hacer oro; murió en 1284 y se le tuvo en concepto de impío por sus relaciones con los sabios judíos y árabes, y sobre todo por la independencia que manifestó respecto de la corte de Roma.

En la misma época, poco mas ó menos, el franciscano Rogelio Bacon propuso al papa Clemente IV la correccion del calendario que solo tuvo lugar 313 años despues en el pontificado de Gregorio XIII.

El siglo XIV fué estéril para las ciencias y solo produjo teólogos, literatos y alquimistas; el renacimiento de las ciencias en la segunda mitad del siglo XV preparó los progresos modernos. En 1640 apareció en Alemania Regiomontano, cuyo verdadero nombre es Juan Müller; estudió con Purback autor de un compendio del *Almagesto*. Regiomontano publicó unas efemérides para treinta años, observó el cometa de 1472 y fué el primero que trató de determinar su distancia á la Tierra.

II

Progresos de la astronomía anteriores al siglo XIX

Al principiar los tiempos modernos se reanimó, á influjos de la Reforma, el espíritu analítico, y renacieron las discusiones cosmogónicas; se preguntaban los pensadores, si no de dónde salió este globo, al menos de dónde proceden las rocas sólidas que lo constituyen y las señales de los séres organizados que se encuentran en los terrenos; trataban de averiguar tambien si estas huellas son juegos de la naturaleza, imágenes debidas á las fuerzas plásticas ocultas, al influjo de los planetas y estrellas como hasta entonces se creia, ó si de-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

bian de considerarse como el testimonio mas cierto de la existencia de séres que vivian en esos mismos terrenos á medida que se formaban, en cuyos lechos dejaron estos séres sus despojos.

Uno de los genios mas completos de ese tiempo fué Leonardo de Vinci, que se consagró al culto de la ciencia con tanto ardor como al del arte; este famoso artista escribió que las conchas fósiles se petrificaron en el limo de las aguas que llamamos ahora depósitos sedimentarios, y que pertenecen á especies y épocas diferentes. El médico y poeta Fracastor divulgó estas ideas y aprovechó para entrar en liza el descubrimiento que acababa de verificarse de las conchas y peces fósiles en los terrenos del Veronesado, y hace observar, como Vinci, que estas petrificaciones se encuentran clasificadas regularmente y por capas.

En 1543 se publicó en Nuremberga la famosa obra de Kopérnico *De las Revoluciones celestes*, en la que este grande hombre expuso su gran innovacion de la movilidad de la Tierra en torno del Sol, cuyas primeras nociones forman parte de los principios de Pitágoras; colocaba el canónigo de Thorn el Sol en el centro del sistema y hacia girar á su alrededor á Mercurio en tres meses, á Vénus en ocho, á la Tierra en un año, á Marte en dos, á Júpiter en doce y á Saturno en treinta. Explica el movimiento diurno de la esfera celeste dotando á la Tierra de un movimiento de rotacion sobre su eje de occidente á oriente; este suceso forma época en los fastos de la astronomia, pues la teoría de la inmovilidad de la Tierra queda derrotada y en cambio se proclama la pluralidad de los mundos.

El sistema de Kopérnico que ya dejamos explicado en otro lugar, parece muy natural y se deduce del papel que la Tierra desempeña como planeta, y nuestro espíritu, habituado como está á considerar las cosas bajo el punto de vista de la ciencia moderna, admite sin repugnancia el movimiento de nuestro globo; pero si nos remontamos á los tiempos de Kopérnico, y consideramos que entonces los sabios de primer órden se dejaban subyugar por las preocupaciones mosáicas y las doctrinas peripatéticas, hemos de admirar, forzosamente, la audacia de este genio superior, que rompió los lazos ficticios y las falsas ruedas de un mecanismo complexo é insostenible.

En efecto, no se trataba de circunscribir el progreso en un círculo estrecho para satisfacer la falsa interpretacion de una leyenda absurda y grosera, sino de que ésta concordara con el texto de la verdadera organizacion del mundo.

Tres años despues, ó sea en 1546, nació Tycho-Brahe; estudió en Leipsick y luego fué á vivir con un tio suyo entregándose á sus estudios favoritos; el rey de Dinamarca cedió á Tycho la isla de Huen asignándole una pension considerable; en este sitio se edificó el celebérrimo castillo de Uraniburgo en cuya torre mas alta estableció su observatorio; el resto del palacio estaba destinado á laboratorios de química ó alquimia y tenia diversas salas para distintos usos.

Creyendo Tycho-Brahe que el sistema de Kopérnico no era conforme á la tradicion y reconociendo al propio tiempo la falsedad del de Ptolemeo, volvió á colocar la Tierra en el centro del mundo, é hizo girar á su alrededor de occidente á oriente, á la Luna en un mes y al Sol en un año, acompañado de los planetas Mercurio y Vénus, el primero en tres meses y el segundo en ocho. Alrededor de la Tierra y el Sol, y siempre en el mismo sentido, circulaban Marte en dos años, Júpiter en doce y Saturno en treinta, transportando estos dos últimos planetas sus satélites. Por último las estrellas fijas ejecutaban una revolucion alrededor de la Tierra en mas de 25,000 años. La rotacion diurna, comun á todos los astros, era para él una realidad. A fin de explicar las diferentes circunstancias que se presentaban suponia que los plane-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tas trazaban una curva de epicicloide, es decir, de forma circular espiral.

Tan grande llegó á ser la celebridad de Tycho que fueron á visitarle los reyes de Escocia y de Dinamarca; Keplero fué á Uraniburgo como discípulo, y la exactitud que halló en las observaciones de su maestro le permitió emplearlas útilmente para llevar á cabo los descubrimientos que lo han inmortalizado. Perseguido Tycho tuvo que refugiarse en el Holstein viviendo de una pension que le pasaba el emperador Rodolfo; en esta fecha le auxiliaron en sus trabajos Keplero y Longomontano; este gran observador estaba imbuido en las preocupaciones astrológicas y en esto se parecia á todos los astrónomos sus contemporáneos.

Galileo, primer filósofo y matemático del gran duque de Toscana, Cosme II, nació en Florencia en 1564; con auxilio de sus instrumentos descubrió los cuatro satélites de Júpiter, halló las leyes de la gravedad en la superficie de la Tierra (movimiento uniformemente acelerado) y las de las oscilaciones del péndulo; estas dos últimas leyes permitieron á Huyghens, á fines del siglo XVII, construir los primeros relojes de volante.

Sostenia Galileo el sistema de Kopérnico en las lecciones que daba en la universidad de Pádua, lecciones que dieron lugar á una polémica muy viva por parte de los peripatéticos partidarios de las doctrinas de Ptolemeo; á tal extremo de exaltacion llegaron los ánimos, que el venerable Galileo fué denunciado desde el púlpito por un fraile ignorante y fanático. En 1632 publicó el sabio florentino su popular obra de los *Diálogos* en la cual trata muy á la larga del doble movimiento de la Tierra sobre su eje y al rededor del Sol.

No queremos hablar de la prision y proceso de Galileo en Roma, á donde fué llamado por un Oficio que se titulaba Santo, pero que las personas de buenos sentimientos apellidan execrable; tendríamos que disponer de mucho espacio para demostrar la mala fe con que procedió la Inquisicion en contra del ilustre astrónomo á quien aplicó tormentos físicos y morales. Este mismo tribunal, oprobio de la civilizacion, hizo quemar vivo en Roma años antes al generoso Bruno, defensor de la pluralidad de los mundos habitados.

Bernardo Palissy, noble hijo del trabajo, segun sus propias palabras, no tuvo mas libros ante sus ojos que el cielo y la tierra, fué el primero que proclamó en época mas moderna, que los fósiles son restos de animales que vivian en otros tiempos y que algunas especies han desaparecido por completo, sin que los juegos de la naturaleza tengan nada que hacer en estas petrificaciones. Este gran artista fué víctima asimismo de la intransigencia religiosa, y murió viejo, pobre y desvalido en un miserable calabozo de la Bastilla.

En este mismo siglo nació Keplero, en el país de Witemberga, y murió en Ratisbona en 1571; estudió teología en Tubinga, y las matemáticas y astronomía con Moëstlin, que fué quien en su viaje á Italia comunicó á Galileo las ideas de Kopérnico. La astronomía permaneció una serie de siglos á merced de las teorías producidas por la imaginacion, sin que pudiera presentar los caractéres de certidumbre de una ciencia exacta, hasta despues del descubrimiento de los principios que comprenden los movimientos reales de los cuerpos celestes; para esto era necesario introducir en el cielo la mecánica, separar las complicaciones que ofrecen las apariencias de los efectos positivos contrarios á los prejuicios tan antiguos como la misma ciencia.

Mas para llegar á este grado de perfeccion y para someter al cálculo apoyado en el experimento, las órbitas planetarias, era indispensable poseer un gran número de observaciones exactas ó con errores muy pequeños para que no falseasen los resultados de una teoría que debian sancionar las manifestaciones de la naturaleza. Sustituyó Kopérnico á las apariencias celestes la

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

realidad de los movimientos planetarios, y despues que fijó el Sol como centro comun de las órbitas descritas á su alrededor, le fué preciso dar cuenta exacta de las formas de las trayectorias y de todas las circunstancias dependientes de los movimientos observados; en una palabra, era menester descubrir las leyes que rigen la existencia del sistema solar, y conociéndolo así Tycho Brahe, consagró su vida á este trabajo, efectuando numerosísimas observaciones de gran exactitud, como si presintiese que algun genio privilegiado habia de sacar de sus guarismos la verdad con tanta impaciencia aguardada.

Este descubrimiento inmortal estaba reservado á Keplero; puede decirse de este hombre, tan justamente célebre, que es el legislador de la astronomía, puesto que á él debemos el conocimiento de las leyes á que obedecen todos los planetas en su circulacion al rededor del Sol. De esta época data la trasformacion de la astronomía; todas las hipótesis mas ó menos erróneas hasta entonces ideadas, cedieron el puesto al cálculo apoyado en los verdaderos principios naturales; las curvas keplerianas se hicieron elípticas, teniendo todas un foco comun, que es el Sol; los tiempos que invierten los planetas en pasar de una posicion á otra, se ligaron con los espacios trazados por los radios vectores, y los grandes ejes de las órbitas se relacionaron con las duraciones totales de las revoluciones.

Estas tres verdades, conocidas con el nombre de leyes de Keplero, son la base de todo el edificio astronómico, precediendo, como exploradoras, al gran principio de la gravitacion universal hallado por Newton, causa comun de todos los movimientos celestes y explicacion completa de todas las perturbaciones planetarias.

Era Keplero hombre religioso y de piedad ardiente, condiciones que resaltaron en todos sus escritos; cuando residia en Graetz, donde enseñaba astronomía, le encargaron la redaccion de un almanaque; para aumentar su despacho no tuvo reparo el gran astrónomo en insertar varias predicciones sobre el tiempo y los sucesos políticos, fundadas en la astrología, con la particularidad de que algunas se realizaron al poco tiempo casi en los términos anunciados, con lo cual su crédito se remontó á las nubes. Los biógrafos afirman que Keplero era superior á las preocupaciones de su siglo y que no creia en la astrología adivinatoria, pero su correspondencia demuestra, por el contrario, que en esta época, y aun muchos años despues, estaba persuadido del influjo de los astros en todos los sucesos de la naturaleza.

En una de sus cartas aplica sus principios al hijo de su maestro Möestlin, nacido unos meses antes, y al que declara amenazado de un gran peligro. «Creo que no podrá vivir,» dijo, y en efecto, el pobre niño murió. En la misma época precisamente, perdió Keplero uno de los suyos, y al condolerse mutuamente los dos amigos en tan tristes circunstancias, se expresa Keplero sobre la astrología en términos graves, y no hay que pensar que en semejante ocasion pudiera hablar con ironía. Pero como todas sus predicciones no se realizaban, llegó poco á poco á perder confianza en sus pronósticos; sin embargo, decia Keplero que siendo la astrología hija de la astronomía, debia de alimentar á su madre y continuó durante toda su vida haciendo pronósticos y horóscopos segun las reglas del arte, á todas las personas que se los encargaban y pagaban. Pero léjos de abusar de la credulidad de los clientes, les declaraba que sus conclusiones no eran del todo ciertas, y que podrian realizarse ó no.

Entusiasmado Keplero ante la sabiduría que rige el mundo y la majestad de los problemas á que debia consagrar su vida, exclama: «Bienaventurado el que estudia los cielos y aprende á despreciar lo que mas admira el mundo; las obras de Dios valen para él mas que todo, y su estudio le procura cada dia nuevos y mas puros placeres.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Padre del mundo, la criatura que te has dignado elevar á la altura de tu gloria, es como el rey de un vasto imperio y casi semejante á Dios, puesto que sabe comprender tu pensamiento.»

Coordinando y comparando las observaciones de Tycho Brahe vió Keplero que era imposible ponerlas de acuerdo con la hipótesis de los movimientos circulares, pues habia diferencias demasiado considerables entre las posiciones deducidas de la teoría y las que daban las observaciones: adoptó, por consiguiente, el sistema de Kopérnico, y trató de hallar las verdaderas trayectorias de los planetas. Despues de 24 años de tentativas y ensayos infructuosos, descubrió por fin las leyes matemáticas que dirigen el movimiento de un planeta en torno del Sol; como estas leyes le daban en teoría resultados casi idénticos á los de las observaciones, dedujo que debian ser verdaderas.

En el prefacio de su libro *Armónica del mundo* que apareció en 1619, se leen estas palabras: «La suerte está echada: entrego al público mi obra que será leida por la edad presente ó por la posteridad; puede aguardar su lector: ¿no esperó Dios por espacio de seis mil años á que hubiera un contemplador de sus obras?»

En este libro de Keplero se advierte un carácter eminentemente religioso y filosófico; se dedica á examinar las ciencias con toda libertad, buscando en el conjunto de las cosas las relaciones necesarias que tienen entre sí, y dirige sus investigaciones hácia la unidad armónica que enlaza las partes con el todo. Llama la atencion el deseo que expresa de conocer el universo en cuyos cuerpos grandes ó pequeños veia una simple partícula de la organizacion total. El misticismo de Keplero resplandece en todos sus escritos al mismo tiempo que su filosofía religiosa y positiva. La creacion es una maravillosa armonía en el órden físico y en el órden moral; todo tiene vida y se encuentra animado. La causa del movimiento de los astros reside en sus almas, por lo cual reina una regularidad tan grande; la misma Tierra es un animal en la que los metales son las venas, el agua los humores orgánicos y los vegetales los cabellos; su alma es un fuego subterráneo que hace vivir toda la superficie; su asiento está en el centro, y de allí irradia en todos sentidos los cambios é impresiones que sufre.

El Sol, foco de luz y de calor, es asimismo el centro de una fuerza atractiva y de una razon perfecta; su accion sobre la especie humana y su destino es superior á la de todos los demás astros.

En la primera mitad del siglo XVII floreció Descartes, que, en la totalidad de los estudios cosmogónicos, solo dejó un sistema completamente desacreditado en la fecha presente. Suponia este filósofo que la materia creada por Dios, fué dividida en cubos yuxtapuestos unos contra otros, sin intersticios, y que en seguida, por el impulso divino, formaron estos cubos un doble movimiento que hizo girar cada partícula al rededor de su centro y otras varias al rededor de un centro comun; siguióse de aquí la rotura de los ángulos y una trasformacion de la figura primitiva en figura esférica. Las partes de los ángulos rotos formaron una materia muy sutil y otra irregular.

Los tres elementos de este filósofo eran, pues, en primer lugar la materia sutil, luego los cuerpos esféricos ó sustancias globulosas y por último la materia irregular; una cierta porcion de esta masa girando al rededor de un centro comun operó la separacion de sus elementos; el tercero, que era el mas macizo de todos, llega entonces á la circunferencia del torbellino; el primer elemento gana el centro, y el segundo, de masa intermedia, permanece necesariamente á la mitad. Como vemos, suponia Descartes el lleno absoluto (en oposicion al vacío absoluto), y como la masa infinita de la materia puede dividirse en una infinidad de esferas circulantes, organizó los torbe-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

llinos. Con mayor razon podia repartirse en torbellinos la masa finita de la materia, y la nuestra, que tiene por centro al Sol, es la única de que podemos saber algo. Tales son, en esencia, las ideas del gran innovador, que poco á poco modificaron sus discípulos.

En la época en que el famoso Neper inventaba los logaritmos, esto es, á fines del siglo XVI, dividió el astrónomo Bayer las principales estrellas en 60 constelaciones; por entonces vivia Riccioli, conocido por su nuevo *Almagesto* y su selenografía; en union con el P. Grimaldi aumentó 305 estrellas al catálogo de Keplero.

A principios del siglo siguiente, en 1611, nació Hevelio en Dantzick; calculó las posiciones de 1,553 estrellas y descubrió la libracion de la Luna; en su selenografía se consignan sus observaciones de los planetas.

Picard publicó una obra sobre la medicion de la Tierra cuya circunferencia era de 9,000 leguas de 2,282 toesas de Paris; en 1667 fijó con otros astrónomos el sitio en que debia edificarse el Observatorio de Paris, cuya construccion empezó en el mismo año. Por encargo de sus colegas de la Academia se encaminó á Uraniburgo para determinar la verdadera posicion del Observatorio de Tycho-Brahe.

Juan Domingo Cassini nació en Perinaldo, condado de Niza, el año de 1625; apenas contaba veinticinco años cuando fué nombrado profesor de astronomía en Bolonia; en 1652 observó un cometa y en 1654 determinó la meridiana de la iglesia de Santa Petrona; en 1661 se ocupó en determinar las longitudes por medio de los eclipses de Sol. Descubrió cuatro satélites de Saturno, sus movimientos de rotacion y tambien los de los satélites de Júpiter y el aplanamiento de este planeta. Estableció las leyes de la libracion de la Luna y en 1682, observó el cometa de Halley.

Midió Cassini en 1670 siete grados de la meridiana del Observatorio de Paris, operacion que comenzó Picard en 1669.

Se atribuye á Cassini el descubrimiento de la luz zodiacal que llevó á cabo en 1683; segun sus observaciones, es esta luz mas intensa por la tarde que por la mañana, variando su magnitud en pocos dias de 60 á 100°, variaciones que presentan cierta relacion con las manchas solares, de tal suerte, que habria una dependencia directa y no solo una coincidencia fortuita entre la debilidad de la luz zodiacal en 1688 y la ausencia de manchas ó fáculas del disco en aquel mismo año.

La luz zodiacal, segun sabemos, es uno de los fenómenos cuya causa se ignora todavía y fué estudiada con atencion por primera vez por Cassini; el aspecto de esta luz es variable y su estado casi permanente, aunque hay ocasiones en que su brillo supera al de la Vía láctea; su intensidad aumenta á medida que nos acercamos al ecuador y en esta region se admira el fenómenos en todo su esplendor; las ocasiones mas favorables para observarla son en primavera despues del crepúsculo y en el otoño antes de la salida del Sol.

El célebre Huyghens que nació en Holanda en 1629, vió el primero el anillo de Saturno y el cuarto de sus satélites; perfeccionó los telescopios dióptricos; inventó los péndulos astronómicos y los muelles de reloj. Este genio poderoso modificó tambien los torbellinos de Descartes y halló un método para medir la fuerza centrífuga.

Es bien sabido que haciendo girar una honda, la tension de la cuerda es mayor cuanto mas rápido es el movimiento de rotacion que se le imprime; al propio tiempo soporta la mano un esfuerzo que crece con la velocidad del movimiento; esta fuerza que tiende á alejar del centro de rotacion un cuerpo que circula, es la fuerza centrífuga; es opuesta á la fuerza centrípeta que tiende, por el contrario, á aproximar el cuerpo á su centro de rotacion. La fuerza centrífuga se ejerce en todos los planetas, de modo que si de repente cesara la atraccion solar, cada uno de ellos se aleja-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ria en línea recta, segun la tangente á la curva relativa al punto que ocupase en el momento de cesar la atraccion. La combinacion de esta última fuerza llamada tangencial y de la fuerza centrífuga, es la que ocasiona el movimiento en una línea curva cerrada.

Todos los cuerpos situados en la superficie de la Tierra experimentan el influjo de la fuerza centrífuga, desarrollada por la rotacion de nuestro planeta sobre su eje; á esta influencia se debe la forma de nuestro globo, primitivamente flúido, pues su máximo se encuentra en el ecuador y va disminuyendo á medida que nos aproximamos á los polos, en cuyo punto es nula.

El efecto inmediato de esta fuerza es disminuir la intensidad de la gravedad, cuyo valor absoluto en un punto cualquiera es igual al valor observado, agregándole el de la fuerza centrífuga, en este punto; en general se obtiene el valor de la fuerza centrífuga dividiendo el cuadrado de la velocidad por el radio de curvatura; las principales consecuencias que se deducen para el movimiento circular son las siguientes:

La fuerza centrífuga es á la gravedad como el duplo de la altura debido á la velocidad de un móvil, es al radio de la Tierra.

La fuerza centrífuga es directamente proporcional al radio del círculo y se halla en razon inversa del cuadrado de los tiempos de una revolucion completa.

Si dos cuerpos circulan uniformemente en círculos distintos, sus fuerzas centrífugas estarán en razon directa de los cuadrados de sus velocidades respectivas, divididos por los radios de los círculos.

Las tablas astronómicas de La Hire se publicaron en 1702: este astrónomo, que nació en 1610, continuó hácia el norte la meridiana emprendida por Picard, al mismo tiempo que Cassini la prolongaba por el Sur.

Picard trabó conocimiento en Copenhague con Roemer, nacido en 1644 en Arhus (Dinamarca); este último astrónomo estableció que los adelantos ó atrasos de las fechas en que se verificaban los eclipses de los satélites de Júpiter, respecto de los mismos elementos que arrojaban los cálculos, variaban proporcionalmente á las distancias de este planeta á la Tierra; dedujo que las diferencias se debian á la luz cuya velocidad era limitada, y calculó su valor fijando en 10 ú 11 minutos el tiempo que invertia en recorrer la distancia que hay de la Tierra al Sol.

La distancia que nos separa de Júpiter cuando nos encontramos lo mas cerca posible de este planeta, es el exceso de su distancia al Sol respecto del mismo argumento para la Tierra; cuando nos encontramos lo mas léjos posible de Júpiter, la distancia de nuestro globo al planeta viene á ser la suma de su radio vector mas el nuestro, hallándose el Sol entre ambos astros; fácilmente se ve que tomando la diferencia entre el máximo y el mínimo de la distancia de la Tierra á Júpiter, se obtiene el eje mayor de la órbita terrestre; pero al pasar de la primera posicion á la segunda, se aleja de Júpiter nuestro globo, y por consecuencia la luz que nos envia invierte mas tiempo en recorrer este trayecto, retrasándose, pues, el momento en que se verifica el eclipse de un satélite; estos retardos van aumentando hasta la distancia máxima, y en este instante, su suma representa el tiempo empleado por la luz para llegar hasta nosotros desde uno de los satélites.

Por esta época adquirieron las observaciones astronómicas mayor grado de precision, gracias al invento del micrómetro, que generalmente se atribuye á Auzout; este precioso aparato sirve para medir con gran exactitud los diámetros de los planetas, las distancias angulares de las estrellas y los ángulos de posicion de los cuerpos celestes.

Vamos ahora á llegar al momento en que cambia de aspecto la astronomía y se con-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

vierte en una ciencia verdaderamente exacta. A las hipótesis y suposiciones extravagantes suceden las verdades apoyadas en el cálculo; los últimos vestigios de las supersticiones astrológicas desaparecen de la region serena de la ciencia y las eternas leyes de la naturaleza ocupan su lugar como verdaderos principios y cimientos del edificio. Las consecuencias que de ello resultan, el desarrollo de los efectos analizados y traidos á su causa comun sancionan y justifican la inmutabilidad de las fuerzas y medios que pone en juego la creacion, y nos llevan finalmente al conocimiento de la organizacion de nuestro sistema solar. Las ciencias exactas, al encontrar una aplicacion digna de los misterios de la naturaleza, van á revelar el genio del hombre demostrándole la conciencia de su verdadera grandeza, al mismo tiempo que su insignificante pequeñez. Esta época grande y famosa se venia preparando lentamente ya hacia mucho tiempo; el principio filosófico, siempre investigando las leyes y causas de los principios, habia comunicado, podemos decirlo así, una especie de intuicion sobre alguna y desconocida trasformacion radical, gracias á los descubrimientos realizados despues de la muerte del canónigo de Thorn. La ciencia que mejor demuestra las bellas aplicaciones que pueden hacerse del cálculo, parece como que debia divulgar las leyes que gobiernan el universo, puesto que todo en él concurre á conservar la armonía, apoyándose en la geometría y en la mecánica; hacia falta hallar el lazo que unia estos diversos principios descubiertos, y al cabo llegó el momento en que habia de verificarse esta gran revolucion.

Vió Newton la luz por primera vez en Volstrop, pueblo situado en Inglaterra; los portentosos descubrimientos que llevó á cabo este insigne filósofo, en las matemáticas, la física y la astronomía, hacen que se le considere como uno de los genios mas ilustres que ha producido la humanidad.

El gran Newton, espíritu creador, genio fecundo y pensador exigente, meditando sobre las leyes de Keplero y las particularidades del movimiento lunar, concibió algunas dudas acerca de las soluciones que en aquel entonces podia dar la ciencia; comprendió que la fuerza llamada de gravedad podia extenderse sin inconveniente hasta la Luna, y comprobó la realidad de esta concepcion. Estimulado su espíritu por este primer paso, no descansó hasta disipar todas las nubes que hasta entonces habian ocultado la percepcion del descubrimiento científico mas importante del mundo; nos referimos al conocido principio de la atraccion universal, del cual se deducen consecuencias importantes.

Anunció primero este sabio ilustre que la rotacion de la Tierra al rededor de su eje debia ser la causa del aplanamiento de los polos; que la accion de una esfera homogénea ó formada de capas homogéneas sobre un punto externo, era igual á la que se obtendria si toda la masa esférica se hallase concentrada en su centro; que la precesion de los equinoccios se debia al influjo primitivo de la Luna y del Sol sobre el anillo ecuatorial de nuestro globo; que el fenómeno de las mareas dependia asimismo de la misma accion atractiva de la Luna y el Sol. Esta ley le permitió determinar tambien inmediatamente y sin dificultad de ningun género, la accion recíproca de dos cuerpos celestes, como por ejemplo, el Sol y la Tierra, uno de los cuales tiene una masa considerable respecto del otro.

Consiste esta accion en la rotacion de la Tierra al rededor del Sol, trazando una curva plana, elíptica y de la que el luminar del dia ocupa uno de los focos y con una velocidad representada por la proporcion que hay entre las áreas descritas por los radios vectores y los tiempos invertidos en recorrerlas. Este enunciado, que es el de las dos primeras leyes de Keplero, resulta de la fuerza impulsiva primordial, combinada con la atraccion.

Considerando que los demás planetas se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

encuentran todos en iguales condiciones de pequeñez respecto del Sol, y cuyas distancias respectivas son muy grandes relativamente á su masa, tropezamos con la tercera ley de Keplero, que enlaza las distancias de los planetas al Sol con los períodos de sus revoluciones al rededor del mismo astro. Estas tres leyes, consecuencias del principio de Newton, sirven recíprocamente para deducir la gravitacion universal.

Pero es necesario no perder de vista que el principio de Newton es matemáticamente exacto, y que las leyes de Keplero solo se aproximan á la verdad, y que se encontraron á causa únicamente de las dos condiciones principales que acabamos de recordar.

Al enunciar el descubrimiento de Newton se ve que si se coloca frente al Sol y la Tierra un tercer cuerpo, esto es, otro planeta, el movimiento primitivo de la Tierra deberá sufrir unas modificaciones resultantes de la accion que ejercerá este nuevo planeta, en virtud del mismo principio de la atraccion; se producirán deformaciones y perturbaciones en la elipse que trace la Tierra al rededor del Sol, á causa de la accion atractiva del nuevo cuerpo; este último tambien experimentará alguna modificacion en su camino y no describirá una elipse regular, como sucedería inevitablemente, sin la intervencion de la Tierra.

Si en vez de los tres cuerpos, consideramos un número mayor y en presencia unos de otros, se complican sobremanera los movimientos, y las perturbaciones son mucho mas sensibles é irregulares á medida que se aumenta el número de los cuerpos. El problema de las perturbaciones fué un legado que dejó Newton á sus sucesores; como hemos visto, previó algunas de sus principales consecuencias, pero no llegó á resolverlo por completo; la solucion del problema de los tres cuerpos solo fué posible cuando los progresos del análisis matemática aplicado á un asunto tan elevado, permitió abarcar todas las circunstancias que en él concurren.

Aquí debemos señalar un punto de gran alcance, en nuestra opinion, respectivo al progreso de las ciencias; hemos visto que las leyes de Keplero se condensaron en un principio único; el de la atraccion universal. La posesion exclusiva de estas leyes no hubiera permitido determinar exactamente los movimientos efectuados por la materia diseminada en los espacios celestes sino de una manera aproximada, en cuanto á las trayectorias que se cruzan en el sistema solar. Pero la potencia de la fórmula general que caracteriza á la gravedad como propiedad esencial de la materia, permite al astrónomo dirigir sus miradas con buen éxito á los grupos de estrellas múltiples é investigar sus movimientos, sin temer que en sus investigaciones se levante alguna imposibilidad material; los únicos límites que no puede salvar son los del sentido de la vista y del análisis.

Este carácter, que es el sello de la verdad, solo lo presenta la astronomía en el estado actual de nuestros conocimientos, y concretándonos á la química en nuestro paralelo, ciencia que sin duda ocupa el segundo puesto en la marcha progresiva, vemos cuán distante se halla todavía del punto de exactitud que hemos fijado. El número de los cuerpos simples aumenta diariamente y en vano buscamos el término hácia que convergen para concentrarse en él todas las propiedades que tan profundamente modifican las apariencias de los cuerpos y multiplican sus fenómenos. En una palabra, aun no sabemos dónde buscar el orígen, el principio comun capaz de resumir la significacion de la química.

Entre los contemporáneos de Newton descollaron algunos hombres de primer órden, que realizaron trabajos y descubrimientos de mucha importancia; de algunos de ellos hemos hablado ya.

Flamsteed, que nació en 1646, formó un catálogo de 3,000 estrellas y descubrió el famoso cometa de 1680. El astrónomo Halley cuyo nombre llena el mundo, calculó

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

los elementos del cometa de 1682 y predijo su vuelta para fines de 1768 ó principios del año siguiente; este cometa es uno de los 24 cuyas órbitas investigó Halley. El 30 de noviembre de 1677 observó el paso de Mercurio por el disco del Sol; este astrónomo anunció tambien el paso de Vénus para el 5 de junio de 1761 y dió un método para deducir la verdadera distancia de la Tierra al Sol. Fué asimismo el primero que halló la aceleracion secular del movimiento medio de la Luna.

En la Universidad de Goetinga hubo un profesor muy hábil llamado Tobías Mayer, que nació en Marbach en 1723; publicó unas tablas excelentes del Sol y de la Luna, mucho mas exactas que las que existian hasta entonces. En 1765, á los tres años de la muerte de este astrónomo acordó la cámara de los Comunes de Inglaterra conceder á los herederos de Mayer una recompensa de tres mil libras esterlinas, por los servicios que sus tablas habian prestado en la determinacion de las longitudes.

En 1727 descubrió Bradley la aberracion de las estrellas; notó este astrónomo que estos astros describian al parecer todos los años una elipse muy pequeña, de un eje mayor de unos 40 segundos de grado; pudo explicar satisfactoriamente el fenómeno, combinando la velocidad de luz con la de la Tierra en su órbita; al investigar la distancia de las estrellas y sus paralajes, halló tambien la velocidad de luz, operando como se ve, con rayos directos. Debemos á Bradley, además, el descubrimiento de una especie de balanceo del globo terrestre conocido con el nombre de nutacion.

El movimiento de la Tierra, combinado con el de la luz que emana de un astro, determina, pues, el efecto que se llama aberracion; un rayo luminoso nos hiere en una direccion compuesta de su velocidad y de la nuestra; esta es la ley del paralelógramo de las fuerzas, pero como no nos apercibimos del movimiento de la Tierra, pues para nuestro sentido se halla esta inmóvil, toda vez que participamos de su movimiento, recibimos tan solo la impresion de la direccion de los rayos luminosos, modificados por la velocidad que nos anima; produce esto una diferencia entre el lugar en que vemos la estrella y aquel en que realmente se encuentra; así que cada estrella parece estar dotada de un pequeño movimiento propio cuyo período dura un año y en cuya virtud parece que todas oscilan al rededor de un lugar medio del cual se apartan á ambos lados unos veinte segundos y un tercio. Las que se hallan fuera de la eclíptica describen unas pequeñas elipses de amplitud variable segun sus distancias á este plano, pero de una longitud constante de $40'' \, {}^{2}/_{3}$. Tambien hay lo que se llama aberracion en latitud.

El trabajo del meridiano que pasa por el Observatorio de Paris fué continuado vigorosamente por Lacaille, quien tambien publicó unas tablas de refracciones desde el orto de un astro hasta los 89° de altura; pasó Lacaille cuatro años en el Cabo de Buena Esperanza en donde observó mas de 10,000 estrellas, muchas de ellas catalogadas por primera vez; midió tambien las paralajes del Sol, de la Luna, de Vénus y de Marte.

En esta época tan fecunda en descubrimientos astronómicos, se establecieron en Europa las principales sociedades científicas. Cárlos II instituyó en 1660 la Real Sociedad de Lóndres. La Academia de Ciencias de Paris se fundó seis años despues, en 1666. En Berlin se estableció la Sociedad Real en 1700 bajo los auspicios del rey Federico.

Mientras que hombres ilustres se dedicaban con ardor á fundar los cimientos del sistema del mundo, se llevaban á cabo al mismo tiempo, trabajos de mucha importancia relativos á la medicion de la Tierra; vimos ya que Picard halló 9000 leguas como valor de la circunferencia de nuestro globo, lo que da 57,060 toesas para la longitud de un grado. Este trabajo llevado á efecto

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

entre Paris y Amiens, lo continuaron Cassini y La Hire hasta Dunquerque y Collioure.

En 1672 observaba en Cayena, Richer, en donde descubrió la variacion de la gravedad en la superficie de la Tierra, que aumenta del ecuador á los polos; obtuvo este resultado al observar que su péndulo de segundos oscilaba con menos rapidez en Cayena que en Paris.

Despues de este descubrimiento principió á aceptarse la idea de que la Tierra se encontraba aplanada por los polos y ensanchada por el ecuador, ó en otros términos, que su forma era la de una elipsoide de revolucion; resultado que debia obtenerse mas tarde de las operaciones emprendidas para medir los meridianos. Mechain continuó las medidas hasta Barcelona, mientras que Delambre efectuaba una nueva determinacion en Francia.

La importancia de estos trabajos era tan evidente, que todos los paises y con gobiernos distintos tomaron parte en ellos; así, pues, el arco francés que se extiende hoy hasta la isla de Formentera, se prolongó por el norte y llegó á Greenwich.

La Academia de ciencias de Paris nombró en 1736 una comision que se componia de Maupertuis, Clairaut y otros astrónomos para que fuese á Laponia á medir un arco septentrional; de la que fué al Perú con el propio objeto formaban parte dos sabios españoles, los oficiales de marina D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa y los astrónomos franceses La Condamine, Bouguer y Godin; de estas medidas se dedujo un aplanamiento que variaba entre $^1/_{232}$ y $^1/_{304}$.

En América se efectuaban otras operaciones, en las Indias orientales, en Inglaterra, Italia, Hungría, Dinamarca, Prusia, etcétera. La comision nombrada en 1790 por la Academia, debia ocuparse de la base del nuevo sistema métrico; admitió, en principio, la necesidad de fijar una unidad de medida natural é invariable, independiente de la posicion particular de cada nacion. Se rechazó el péndulo por depender del tiempo y de la localidad y se adoptó el meridiano, porque siendo una línea comun á todos los países, no puede excitar rivalidades de ninguna especie; habiéndose adoptado como medida fundamental la diezmillonésima parte del cuarto del meridiano terrestre, se trató de llevar á cabo la medicion de un arco de meridiano.

Fueron comisionados para el desempeño de esta empresa Delambre y Mechain, quienes dividieron las operaciones en dos partes; una entre Dunquerque y Rhodez y la otra entre Rhodez y Barcelona; en 1837, Bessel astrónomo aleman de mucho mérito, calculó nuevamente las dimensiones de nuestro globo, operando con arcos cuya suma se extendia á 50 grados 34 minutos de longitud y á unos 70° en latitud; estos trabajos se han continuado últimamente, y el gran arco índico se extiende lo menos unos 20°.

El gran matemático Clairaut se ocupó asíduamente de investigar en teoría la forma de la Tierra, y fué el primero que dió la solucion completa del problema de los tres cuerpos; ya hemos visto hace poco que este problema consistia en la determinacion matemática de los movimientos relativos de tres astros sometidos á sus acciones mutuas, en virtud del principio de la atraccion universal.

Generalizar este problema, esto es, extenderlo á un número cualquiera de planetas, ha sido siempre el objetivo constante de los trabajos de los geómetras; su desarrollo, las consecuencias á que nos lleva, las diversas particularidades que presenta, ora en las desigualdades que se observan en los movimientos, ya en las que revela el análisis, son las principales cuestiones de que se han ocupado los mas insignes matemáticos, y sirven de base solidísima á la astronomía.

De la cuestion de la figura del globo se ocuparon asimismo Alembert y Legendre; este último perfeccionó la teoría hasta el

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

punto de hacerla concordar exactamente con los resultados obtenidos de las medidas geodésicas.

Habia indicado Newton la causa de la precesion de los equinoccios, fenómeno que hace describir al eje del mundo un círculo de 50° de diámetro en 26,000 años; pero la demostracion matemática pertenece á d'Alembert, que señaló que este efecto se debia realmente á la accion del Sol y de la Luna sobre la masa ecuatorial que excede de la esfera, cuyo radio es la mitad del diámetro polar. Demostró igualmente d'Alembert que la nutacion del eje de la Tierra está enlazada con la atraccion, y que su período tenia igual duracion que la línea de los nodos lunares para describir una circunferencia entera.

Como es bien sabido, la Luna presenta siempre la misma cara á la Tierra; esto resulta del aspecto de sus manchas que es siempre sensiblemente el mismo, de modo que nuestro satélite gira sobre sí mísmo al propio tiempo que ejecuta una revolucion completa en torno de la Tierra. Sin embargo, observando Cassini con atencion escrupulosa, llegó á descubrir la libracion de la Luna, que resulta de un conjunto de fenómenos, y cuya traduccion consiste en un pequeño cambio de los bordes del hemisferio visible, los cuales varían ligeramente y dejan que se perciba una estrecha banda del hemisferio opuesto, á la derecha unas veces y otras á la izquierda, de manera que parece que el astro se balancea al rededor de su eje. Este fenómeno lo explicó al cabo Lagrange, enlazándolo con la gravitacion universal.

Hizo observar este gran geómetra que en el orígen de las cosas, cuando la Luna pasó al estado sólido, obedecia á la accion atractiva de la Tierra y debió de afectar una forma aplanada con un ecuador elíptico; esta forma no la podemos observar, y la prolongacion de uno de los diámetros de la Luna por el lado de la Tierra, es causa de que nunca veamos la cara opuesta de nuestro satélite; la atraccion de la Tierra hubiera bastado para hacer iguales los períodos de rotacion y revolucion de la Luna si por acaso hubiesen presentado una ligera diferencia; la misma atraccion hubiese hecho coincidir las intersecciones del ecuador de la Luna y de su órbita con el plano de la eclíptica, suponiendo que estas intersecciones hubieran diferido en una pequeña cantidad.

Antes de hablar del astrónomo moderno mas notable que ha producido la humanidad desde la muerte de Newton, señalaremos algunos genios de los que mayores servicios han hecho á la ciencia. Bailly, víctima de la revolucion francesa, compuso una historia de la astronomía y otra el profundo Delambre.

Para analizar convenientemente los trabajos inmensos de Herschel, que fué un observador exacto y escrupuloso, y los del gran Laplace, continuador de Newton, debemos hacer una observacion que nos parece esencial; esto es, que la astronomía se presenta bajo dos aspectos muy característicos y toma la forma matemática cuando se aplica á la investigacion de los movimientos de los cuerpos celestes, de sus volúmenes, masas, etc. Y se convierte en astronomía física cuando se ocupa de la naturaleza, constitucion, forma, etc., de los astros; segun esto, se distinguen las observaciones: 1.° En observaciones meridianas, que sirven para fijar las posiciones de los astros por sus ascensiones rectas y declinaciones en el momento en que pasan por el meridiano del observador. Los instrumentos principales destinados á este uso en los observatorios son el anteojo meridiano y el círculo mural. 2.° En observaciones efectuadas con los instrumentos paralácticos, cuyo objeto es seguir un cuerpo celeste en todo el trayecto que recorre sobre el horizonte; se usan útilmente para estudiar la constitucion física del Sol, de la Luna, de los planetas, cometas, etc. 3.° Y finalmente, en observaciones sobre la constitu-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cion física, efectuadas con los anteojos astronómicos y telescopios, empleando las mayores amplificaciones posibles.

Las observaciones meridianas, y las concernientes á la investigacion de los planetas, cometas, etc., sirven para la astronomía matemática; tambien sirven para el propio objeto las observaciones de estrellas múltiples y generalmente todas las relativas á fijar sus posiciones en la esfera celeste. Las demás se refieren á la astronomía física. Ciertas observaciones, como las de los eclipses, refracciones atmosféricas, etc., son del dominio de la astronomía general; estas distinciones, por lo demás, no son absolutas, pero caracterizan los dos géneros de aptitudes que dividen á los astrónomos en observadores y geómetras. En el breve resúmen que vamos á hacer de los trabajos de dos grandes hombres, hallaremos la confirmacion complela de lo que decimos.

Nació Herschel en Hannover á fines de 1738; sus principales trabajos se contraen á la astronomía estelar, y estudió todas las cuestiones relativas á este ramo de la ciencia, resolviéndolas con sagacidad extraordinaria; sus observaciones sobre las estrellas dobles le hicieron admitir que en estos grupos no se encuentran las estrellas reunidas ópticamente ó en la apariencia, sino que en realidad forman verdaderos sistemas, de modo que las pequeñas circulan al rededor de las mas brillantes. Halló tambien que es muy probable que los núcleos de las estrellas nebulosas forman con sus envolturas sistemas particulares de estrellas brillantes, rodeados de atmósferas considerables y luminosas por sí mismas. De este hecho dedujo este astrónomo eminente consecuencias gigantescas; estas atmósferas se condensan con el tiempo y concluyen por reunirse en un núcleo central, como parece resultar de las observaciones de las nébulas intermedias entre las homogéneas, igualmente luminosas en todos sus puntos, y las estrellas nebulosas que presentan el aspecto de la cabeza de un cometa. Al cabo de mucho tiempo, debe terminar esta trasformacion con el nacimiento de nuevas estrellas ó existencia de nuevos soles. Era tal la potencia de los instrumentos de Herschel, que formó catálogos de 2,500 nébulas, cuando antes de sus trabajos solo se conocian 96; notó que se hallan dispuestas por capas y que forman estratos, y que los espacios mas pobres en estrellas ofrecen mayor número de nebulosas; en la Vía láctea pudo observar Herschel en un cuarto de hora mas de 116,000 estrellas en las regiones mas densas. Segun las ideas cosmogónicas de este astrónomo, seria la Vía láctea un estrato inmenso compuesto de una cantidad innumerable de estrellas, casi á una distancia igual unas de otras; este estrato se hallaria contenido por dos superficies planas paralelas, muy inmediatas relativamente á su prodigiosa prolongacion. El Sol formaria parte de este estrato, y se hallaria situado á corta distancia del centro; como el rayo visual se dirige en el sentido de las grandísimas dimensiones del estrato, se concibe que debe encontrar una multitud de estrellas, al paso que en el otro sentido, ó sea en el de su espesor, el número de estrellas será mucho mas pequeño; de modo que las apariencias todas de condensaciones y variaciones de la luz se explicarian al mismo tiempo que la disposicion casi exacta de la Vía láctea, segun un círculo máximo de la esfera celeste.

Creyó este ilustre astrónomo haber observado en distintos casos volcanes en ignicion en la Luna, pero las observaciones ulteriores no han confirmado esos anuncios. Determinó Herschel la duracion de la rotacion de Marte y el valor de su achatamiento; los cambios que observó en las manchas que presenta este planeta en sus polos le hicieron suponer que estuviesen formadas por grandes masas de hielo y nieve; creia que Marte estaba rodeado de atmósfera, si bien no pudo comprobar su existencia de una manera tan positiva como en el planeta Vénus.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

A Herschel se debe tambien el descubrimiento de que los satélites de Júpiter, de igual manera que la Luna, efectúan sobre sí mismos un movimiento de rotacion en el mismo tiempo que invierten en hacer una revolucion al rededor del planeta. Asimismo determinó el período de rotacion de Saturno y su achatamiento; comprobó la existencia de su atmósfera, hizo numerosas observaciones sobre su anillo, y descubrió los satélites 6.° y 7.°.

Ahora que hemos trazado tan imperfectamente la larga serie de los descubrimientos realizados en la astronomía física por el mas hábil de los astrónomos observadores, vamos á exponer, muy á la ligera, los descubrimientos efectuados en la astronomía matemática por el mas eminente de los astrónomos geómetras que han sucedido á Newton; nos referimos al ilustre Laplace, nacido en Beaumont-en-Auge (Francia) en 1749. Este grande hombre legó á la humanidad cuatro obras inmortales: la *Mecánica celeste*, la *Exposicion del Sistema del Mundo*, la *Teoría analítica de las probabilidades* y el *Ensayo filosófico de las probabilidades*. En esta última obra, menos conocida que las anteriores, indica Laplace la fuente de sus descubrimientos mas importantes.

La consideracion de las probabilidades, dice, puede servir para desentrañar las pequeñas desigualdades de los movimientos celestes, envueltas en los errores de observacion, llegándose á la causa de las anomalías observadas en estos movimientos. De este modo, habiendo Laplace sometido al cálculo de las probabilidades un gran número de observaciones lunares, pudo descubrir la desigualdad del movimiento lunar en latitud; esta desigualdad hizo que reconociera otra en el movimiento de la Luna en longitud, que producia la disminucion observada por Mayer en la ecuacion de la precesion aplicable á nuestro satélite; en vista de estos resultados pudo fijar el achatamiento de la Tierra, concordando el valor que halló, con escasa diferencia, con el obtenido por las mediciones meridianas y el péndulo.

La consideracion de las probabilidades le hizo reconocer tambien la causa de la ecuacion secular de la Luna; habian comprobado los astrónomos una aceleracion en el movimiento lunar, comparando los antiguos eclipses con las modernas observaciones de la Luna. Lagrange y otros geómetras buscaron, pero en vano, en las perturbaciones de este movimiento los términos de que depende esta aceleracion; el exámen minucioso de las observaciones antiguas y modernas, y tambien el de los eclipses observados por los árabes, demostró á Laplace que habia muchas probabilidades en favor de tal suposicion.

Ocupóse entonces de nuevo de la teoría de la Luna, y reconoció que su ecuacion secular se debia á la accion del Sol sobre nuestro satélite, combinada con la variacion secular de la excentricidad de la órbita de la Tierra, lo que le condujo al descubrimiento de las ecuaciones seculares de los movimientos de los nodos y del perigeo de la órbita lunar. La notable conformidad de esta teoría con todas las observaciones antiguas y modernas, segun despues se ha visto, le dan un sello perfecto de exactitud; una disminucion en la excentricidad de la órbita terrestre aumenta la velocidad de la Luna y recíprocamente.

La aceleracion observada en nuestro satélite desde los tiempos mas remotos hasta nuestros dias, se cambiará, pues, en un retraso cuando la excentricidad de la órbita de la Tierra aumente, y estas variaciones tendrán lugar periódicamente y dentro siempre de los mismos límites.

Este es uno de los descubrimientos mas hermosos de Laplace, que emana de las ideas filosóficas que guiaron al ilustre astrónomo, tal vez con mas fruto que todas sus combinaciones numéricas. Vió que los geómetras habian supuesto siempre que la atraccion se ejercia instantáneamente, al paso que admitiendo que su propagacion se

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

efectúe en cierto tiempo, debia de resultar por precision una desigualdad ó ecuacion secular respecto del movimiento de la Luna. Buscando en seguida el valor en tiempo de esta comunicacion atractiva de la Tierra sobre la Luna, halló que debia de ser unos ocho millones de veces superior á la velocidad de la luz.

Tuvo Laplace la suerte de encontrar, cuando menos pensaba en ello, lo que muchos geómetras habian buscado inútilmente durante algun tiempo, y halló medios de explicar, por la gravitacion únicamente, la aceleracion secular de la Luna, que tanto preocupaba á los astrónomos. Trabajando para formar la teoría de los satélites de Júpiter, vió que la variacion secular de la excentricidad de la órbita de este planeta producia ecuaciones seculares en sus movimientos medios, lo que fué para este gran genio un verdadero rayo de luz; apresuróse á trasportar este resultado á la Luna y halló así que la variacion secular de la excentricidad de la órbita terrestre producia en el movimiento medio de la Luna una ecuacion secular que cuadraba bastante bien con la que anteriormente se dedujo de las observaciones. Halló asimismo que la propia causa producía tambien ecuaciones seculares en los movimientos del nodo y del perigeo de la órbita de la Luna.

La fuerza media del Sol para dilatar la órbita de la Luna, dice Laplace, depende del cuadrado de la excentricidad de la órbita terrestre, aumentando y disminuyendo con esta excentricidad, de lo cual han de resultar en el movimiento de la Luna unas variaciones contrarias, análogas á la ecuacion ánua, pero cuyos períodos incomparablemente mas largos, abrazan un gran número de siglos.

El cálculo de las probabilidades condujo asimismo al ilustre geómetra á la causa de las grandes irregularidades de Júpiter y Saturno.

Comparando Halley las observaciones modernas con las antiguas, halló una aceleracion en el movimiento de Júpiter y un retraso en el de Saturno; para conciliar las observaciones, sometió estos movimientos á dos ecuaciones seculares de signos contrarios y crecientes, como los cuadrados de los tiempos trascurridos desde 1700. Euler o y Lagrange sometieron al análisis las alteraciones que debia producir en estos movimientos la atraccion mutua de ambos planetas; hallaron efectivamente las ecuaciones seculares, pero eran tan diversos sus resultados, que uno de ellos, cuando menos, debia ser erróneo.

Acometió Laplace este importante problema de la mecánica celeste, y reconoció la invariabilidad de los movimientos medios planetarios, con lo que desaparecieron las ecuaciones seculares introducidas por Halley en las tablas de Júpiter y Saturno; solo quedaban, pues, para explicar las grandes irregularidades de estos planetas, las atracciones cometarias, á las que muchos astrónomos recurrieron en efecto, ó la existencia de una desigualdad de período largo, producida en los movimientos de ambos planetas por su accion recíproca, y afectada por signos contrarios en cada uno de ellos.

Aparecia muy probable esta desigualdad en vista de un teorema que halló Laplace, segun el cual, se acelera el movimiento de Júpiter y el de Saturno se retrasa, lo que es conforme con la observacion de Halley; además, la aceleracion de Júpiter que resulta de este mismo teorema es al retardo de Saturno, muy aproximadamente, como la relacion de las ecuaciones seculares propuestas por Halley. Considerando los movimientos medios de Júpiter y Saturno, pudo reconocer con facilidad que dos veces el de Júpiter no supera sino en una cantidad muy pequeña á cinco veces el de Saturno.

El período de una desigualdad de tal argumento seria próximamente de nueve siglos, y su coeficiente perteneceria al órden de los cubos de las excentricidades de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

las órbitas; pero sabia Laplace que, en virtud de las integraciones sucesivas, adquiere por divisor el cuadrado del pequeñísimo multiplicador del tiempo en el argumento de esta desigualdad, lo que puede darle un gran valor, por manera que la existencia de esta desigualdad le pareció, pues, muy probable. La observacion siguiente aumenta, si cabe, su probabilidad.

Suponiendo nulo su argumento hácia la época en que Tycho Brahe efectuaba sus observaciones, vió que Halley hubo de hallar, comparando las observaciones modernas con las antiguas, las alteraciones que indicó, al paso que la comparacion de las observaciones modernas entre sí, debia de ofrecer alteraciones contrarias y semejantes á las que dedujo Lambert de esta comparacion. No vaciló, pues, Laplace en emprender el cálculo largo y penoso, indispensable para asegurarse de la existencia de esta desigualdad; los resultados del cálculo le confirmaron por completo en esta idea, haciéndole conocer además un número grande de desigualdades diversas que, llevadas en cuenta debidamente, permitieron que las tablas de Júpiter y Saturno llegasen á tener tanta precision como las mismas observaciones.

Valiéndose del cálculo de las probabilidades pudo descubrir Laplace la notable ley de los movimientos medios de los tres primeros satélites de Júpiter, segun la cual, la longitud media del primero, menos tres veces la del segundo, mas dos veces la del tercero, es rigurosamente igual á la semicircunferencia. La aproximacion con que los movimientos medios de estos astros satisfacen á la ley desde la fecha en que se descubrieron, indicaba su existencia con gran certidumbre, y Laplace buscó la causa, por tanto, en su accion mutua. El exámen profundo de esta accion hizo ver al ilustre geómetra, que basta que en el orígen se hayan aproximado á esta ley las relaciones de sus movimientos medios dentro de ciertos límites, para que su accion mutua la haya establecido conservándola en vigor. Así, pues, estos tres cuerpos se balancearán eternamente en el espacio segun la ley enunciada, á menos de que causas extrañas como los cometas, no vengan á cambiar bruscamente sus movimientos en torno de Júpiter.

El sistema planetario tal y como se conocia en aquella época, formaba un conjunto de once planetas y diez y ocho satélites; los movimientos de rotacion del Sol, de los seis planetas, de la Luna, de los satélites de Júpiter, de uno de los de Saturno y de los de su anillo se hallaban bien comprobados; agregando estos movimientos á los de revolucion, constituian cuarenta y tres movimientos que se dirigian en el mismo sentido; halló Laplace, fundándose en el cálculo de las probabilidades, que semejante disposicion no podia deberse á la casualidad sino en la proporcion de uno contra cuarenta mil millones. Considerando, por otra parte, que la inclinacion respecto del ecuador solar del mayor número de estos movimientos es muy pequeña, dedujo que una causa primera dirigió los movimientos planetarios. Reconoció, asimismo, el efecto de una causa regular en la escasa excentricidad de las órbitas de los planetas y de los satélites, respecto de la considerable alongacion de las elipses cometarias, sin que hubiese grados intermedios, y sin que esta causa influyera en las direcciones de los cometas, toda vez que observamos que indistintamente se mueven hácia adelante y en sentido retrógrado.

Estas consideraciones dieron lugar á que el gran geómetra elaborase su sistema cosmogónico como amplificacion del ideado por Kant, y que vamos á exponer en el párrafo que sigue.

III

Cosmogonias de Kant y de Laplace

El gran filósofo Kant puede considerarse, bajo un punto de vista puramente cien-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tífico, como el fundador de la hipótesis nebular, porque basó sus especulaciones en el exámen de los caracteres presentes del sistema solar y en la doctrina newtoniana de la gravitacion mutua de todos los cuerpos. Su razonamiento puede condensarse de un modo breve, en los siguientes términos.

Al examinar el sistema solar se ofrecen á nuestra consideracion dos accidentes notables; el uno que los seis planetas y nueve satélites (número que en la época de Kant se conocia) se mueven en círculos al rededor del Sol, no solo en la misma direccion en que el astro central gira sobre su eje, sí que tambien en el mismo plano, con corta diferencia. Este carácter comun del movimiento de tantos cuerpos, no es posible que se deba á la casualidad, de modo que nos vemos obligados á admitír que se produce por alguna causa original comun á todos los planetas.

De otro lado, cuando consideramos los espacios en que circulan los planetas, los hallamos vacíos de materia ponderable ó poco menos, pues si se encuentra en ellos alguna sustancia, está en tal estado de rarificacion, que no produce el menor efecto en los movimientos planetarios; no hay por lo tanto, ningun enlace material entre los planetas capaz de hacer tomar á todos ellos una direccion comun. ¿Cómo pues, podremos conciliar este movimiento en un mismo sentido con la falta de toda conexion ó enlace entre los cuerpos?

El medio mas natural es suponer que en una época existió ese enlace que hoy echamos de menos y produjo la uniformidad que en la actualidad se observa; esto es, que hubo un tiempo en que la sustancia de que están formados los cuerpos planetarios llenaba el espacio entero que media entre ellos. «Supongamos, dice Kant, que la materia de que se formaron los cuerpos de nuestro sistema solar, se hallaba al principio de las cosas resuelta en sus elementos originales y llenaba todo el espacio del universo en que circulan esos cuerpos.»

En este caos no pudo haber formacion alguna, pues esta, y la separacion de los cuerpos por la gravitacion mutua de las diversas partes de la masa, fué un fenómeno que tuvo lugar en época posterior; pero, como era natural, unas partes de la masa presentaban mas densidad que otras y habian de reunir á su alrededor la materia rarificada que llenaba los espacios intermedios; las agrupaciones de mayor tamaño atraerian á su seno las mas pequeñas y así continuó el proceso hasta que en lugar de la masa caótica original, se formaron unos cuantos cuerpos redondos.

Si examinamos los resultados de esta hipótesis á la luz de la ciencia moderna, vemos que todos los cuerpos de este modo formados, deben poseer un centro comun, y en este caso tendríamos en vez de una coleccion de cuerpos como el sistema solar, un Sol único formado por la combinacion de todos ellos. Al tratar de demostrar cómo las masas mas pequeñas llegaron á girar al rededor de las mayores en órbitas circulares, dejan los razonamientos de Kant de ser completamente satisfactorios; segun parece, creia este sabio filósofo que el movimiento rotatorio podia producirse indirectamente por las fuerzas repulsivas que obrasen entre las masas mas rarificadas de la materia condensada, produciéndose una especie de movimiento vorticoso.

Pero las leyes de la mecánica demuestran que la suma total del movimiento rotatorio de un sistema no puede nunca aumentarse ni disminuirse por la accion mutua de sus distintas partes, así que el movimiento rotatorio actual del Sol y los planetas debe ser equivalente al que tuvieron desde el principio.

Es muy notable que la idea de la trasmutacion gradual de las nébulas en estrellas se le ocurriera á Herschel, no por las relaciones del sistema solar, sino por el exámen de las mismas nebulosas. Creia

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

este astrónomo que la mayor parte de estos cuerpos estaban compuestos de inmensas masas de vapor fosforescente, y supuso que estas masas debian de condensarse gradualmente al rededor de su propio centro, ó en torno de las partes dotadas de mayor densidad, hasta convertirse en una estrella ó en un cúmulo estelario.

Al clasificar las numerosas nébulas que descubrió, llegó á creer que se alejaban de su vista los diversos estratos ó zonas que resultaban de la operacion; en las nébulas grandes, débiles y difusas, parecia como que no habia empezado aun el proceso de condensacion; las mas pequeñas, pero de brillo superior, se hallaban muy condensadas en su parte central, hasta tal punto, que su conversion en estrellas parecia muy cercana; habia otras, sin embargo, en las que ya se percibian las estrellas acabadas de formar, y finalmente, en los cúmulos estelarios se observaba la condensacion completa.

Como hace notar Laplace, seguia Herschel la condensacion de las nébulas del mismo modo que podemos estudiar en un bosque, el crecimiento de los árboles comparando los de distintas edades que se perciben al propio tiempo. Las revelaciones espectroscópicas de la naturaleza gaseosa de las verdaderas nébulas, fortifican la opinion de Herschel y nos confirman en la idea de que estas masas se condensan todas en estrellas ó cúmulos estelarios, en el trascurso del tiempo.

Laplace aceptó la hipótesis nebular fundándose en consideraciones análogas á las que pocos años antes presentó el ilustre filósofo de Kœnigsberg. Segun el gran matemático, la causa productora ó directriz de los movimientos de los planetas que les comunicó un impulso casi circular y en un mismo sentido al rededor del Sol, tuvo que ser, precisamente, un flúido que se extendiese hasta los límites del mundo solar y que rodease al astro radiante como una atmósfera inmensa; habiéndose disipado poco á poco el excesivo calor que permitia la conservacion de este estado, se contrajo progresivamente la envoltura atmosférica, hasta reducirse á los límites que le conocemos en la actualidad.

En el estado primitivo en que suponemos que se hallaria el Sol, habia de parecerse á las nébulas que nos revela el telescopio, compuestas de un núcleo mas ó menos brillante, rodeado de una nebulosidad que, condensándose en la superficie del núcleo, hubo de transformarlo en estrella al cabo de cierto tiempo. Si por analogía se concibe que todas las estrellas estuviesen formadas por esta materia, puede suponerse que á su estado anterior de nebulosidad precedieron otros muchos estados semejantes, en los cuales se encontraba la materia nebulosa cada vez mas difusa y el núcleo menos denso y luminoso. Así se llega remontándose tan léjos como nos es posible, á una nebulosidad tan sumamente difusa, que casi no se podria suponer su existencia. Este es, en efecto, el primer estado de las nébulas observadas por Herschel con particular esmero, y en las que siguió los progresos de condensacion, no de una sola, toda vez que este progreso únicamente seria sensible para nosotros al cabo de muchos siglos, sino de todo el conjunto. Observó primero la materia nebulosa extendida en conglomerados diversos en distintas partes del cielo, del que ocupa una gran extension; en algunos de estos cúmulos vió la materia débilmente condensada alrededor de uno ó mas núcleos poco brillantes. En otras nébulas brillan los núcleos con mayor fuerza respecto de la nebulosidad que los rodea.

Llegan en virtud de una condensacion ulterior á separarse las atmósferas de cada núcleo, resultando nébulas múltiples formadas por núcleos brillantes muy próximos, y rodeados de su atmósfera particular; á las veces se condensa la materia nebulosa de un modo uniforme, produciendo las nébulas planetarias. Por último, un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

grado mayor de condensacion transforma todas estas nébulas en estrellas.

Las nébulas clasificadas segun este concepto filosófico, indican con extraordinarios visos de probabilidad, su futura trasformacion en estrellas, y el estado anterior de nebulosidad de las estrellas existentes. En apoyo de las pruebas obtenidas de estas analogías, enuncia Laplace una gran serie de consideraciones que vamos á condensar en el menor espacio posible.

Habia observado ya Mitchel las escasas probabilidades que habia para admitir que las Pléyades, por ejemplo, se hubiesen agrupado por casualidad, en el reducido espacio que ocupan en el cielo: de donde dedujo que este grupo y los demás que se le parecen, son producto de una causa primitiva ó de una ley general de la naturaleza. En una palabra, resultan de la condensacion de las nébulas en varios núcleos.

Tal es el orígen de las estrellas binarias que provienen de nébulas de doble núcleo, cuyos movimientos estudió Herschel y entre las cuales se cita como ejemplo notable la 61.ª del Cisne. Comprobó Herschel que las dos estrellas que la forman están animadas de movimientos propios al rededor de su centro comun de gravedad, y por esta causa se considera que el Sol estuvo en otro tiempo rodeado de una vasta atmósfera, segun resulta del exámen de los fenómenos de su sistema de planetas. Una circunstancia tan notable, da á la existencia de este estado anterior del Sol un grado de probabilidad que se acerca mucho á la certidumbre.

¿Pero cómo pudo la atmósfera solar determinar los movimientos de rotacion y de revolucion de los planetas y satélites? Si estos cuerpos hubiesen penetrado profundamente en esa atmósfera, su resistencia les hubiera hecho caer en el Sol; tenemos, pues, que creer con fundado motivo, que los planetas se formaron en los límites sucesivos de la atmósfera solar, que al contraerse por enfriamiento, debió abandonar en el plano de su ecuador unas zonas de vapor que la atraccion mutua de sus moléculas cambió en distintas esferoides. Estas zonas dieron orígen á los planetas aislados, ó á los grupos de planetas y de asteroides.

Para que hubiese ocurrido otra cosa, para que las zonas desprendidas de la nebulosa general hubieran conservado la forma de anillos concéntricos al Sol, era indispensable la continuacion de un equilibrio perfecto entre las diversas moléculas que componian estos anillos; pero segun la expresion de Laplace, habria sido esto una casualidad extraordinaria.

Dividiéronse los anillos, y los restos mas considerables atrayendo y agregándose á los demás, formaron nuevos centros ó núcleos nebulosos. Importa hacer notar ahora, que cada uno de ellos estaba animado de dos movimientos simultáneos, de rotacion el uno al rededor de su propio centro, y el otro de traslacion en torno del centro comun. Además, como estos dos movimientos solo eran la continuacion del movimiento anterior general, su sentido siguió la misma direccion que el de la rotacion de todo el sistema ó del núcleo solar.

Una vez formados los planetas, se comprende perfectamente cómo estas nébulas, parciales, semejantes á la nébula total, pudieron dar orígen á nuevos cuerpos que gravitasen y girasen al rededor de cada una de ellas; este es el orígen de los satélites.

Explica luego Laplace por qué no se formaron nuevos satélites y por qué estos cuerpos secundarios presentan siempre la misma cara al planeta á cuyo al rededor circulan; consiste esto en que la corta distancia á que se encuentran dió á la atraccion del cuerpo primario un influjo preponderante, y como los satélites se hallaban todavía en estado de fluidez, se alongaron hácia el centro del planeta, de lo que resultó que el movimiento de rotacion fué de período casi idéntico al de su movimiento

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

de revolucion. Trascurrido cierto número de oscilaciones, llegaron á ser rigurosamente iguales ambos períodos.

Al hablar de la formacion del anillo de Saturno, dice el profundo geómetra, que la distribucion de la masa de sus anillos al rededor de su centro y en el plano de su ecuador resulta naturalmente de esta hipótesis y sin ella es inexplicable; estos apéndices circulares pueden considerarse como pruebas constantes de la primitiva extension de la atmósfera de Saturno y de sus contracciones sucesivas.

M. Plateau, físico belga, dotado de gran ingenio, consiguió demostrar experimentalmente varios de los fenómenos que acabamos de describir; para ello se valia de una masa flúida que sustraia á la accion de la gravedad terrestre, de modo que todas sus partes se hallasen solicitadas exclusivamente por sus atracciones mutuas, y luego imprimia á la masa un movimiento de rotacion cada vez mas rápido.

El aparato se reduce á una cuba ó caja rectangular de paredes trasparentes, que se llena de agua y alcohol que tenga la misma gravedad específica que el aceite; se introduce en la mezcla el extremo de una pipeta de vidrio llena de aceite; se separa el dedo del orificio superior de la pipeta, é inmediatamente aparece en el extremo inferior una gota de aceite, que crece y se hincha hasta que adquiere las dimensiones de un guisante, de una avellana, y aun de una nuez si el experimento se lleva á cabo con habilidad. Tal es, pues, la forma que toma un líquido que puede agrupar sus moléculas con entera libertad y sin obstáculo alguno.

Con agua no podria salir bien el experimento, puesto que su gravedad es superior á la del aceite, y no pasaria la gota de la superficie del líquido, en donde formaria una especie de elipsoide muy aplanada, toda vez que debia de ponerse en equilibrio, y que la fuerza de atraccion de la Tierra es mayor que la de las moléculas de aceite entre sí. Con espíritu de vino ó alcohol rectificado tampoco se realizaria el experimento, porque en este caso descenderia el aceite hasta el fondo del vaso, así como antes quedó flotando en la superficie; mas si

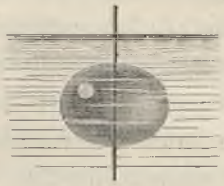


Fig. 401.—Achatamiento de una esfera líquida sin peso, sometida á un movimiento de rotacion sobre su eje

primero se vierte en el vaso del alcohol y luego se agrega prudencialmente una mezcla al espíritu de vino y agua cuya densidad específica sea igual á la del aceite, y se agrega además una cortísima cantidad de alcohol tan pequeña que no llegue á producirse la mezcla de los tres líquidos, se hará

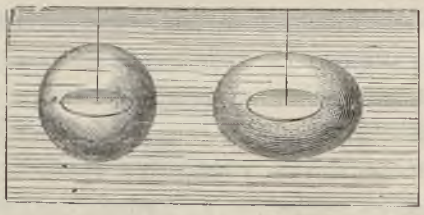


Fig. 402.— Experimento de Plateau: prueba experimental del achatamiento de los planetas

entrar el aceite en la capa intermedia, en cuyo caso tomarán las gotas la forma globular, representando, por decirlo así, un globo perfecto.

Si en este estado hacemos girar la esfera de aceite sobre su eje, cambia su forma y se convierte en una esferoide aplanada en las dos extremidades del eje de rotacion. Este experimento puede repetirse con mucha facilidad procediendo del modo que indicamos, con globos de aceite en aguardiente rebajado. Se suelda un disco de metal á un alambre susceptible de girar rápidamente por medio de un rodaje apropiado; se introduce el disco en la mezcla alcohólica dejando fuera necesariamente el rodaje, y se dispone la varilla de tal suerte que al

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

girar sobre su eje no sufra sacudidas de ningun género.

Dispuesto todo con el mayor esmero, se deja escurrir una gota de aceite á lo largo del alambre en la parte superior del disco, é inmediatamente se forma un globo alrededor de este y de una parte de la varilla; si se hace girar entonces el alambre con mucha lentitud, adquirirá la gota líquida una parte del movimiento cuya velocidad se irá aumentando; en cuanto se hace visible la rotacion del globo de aceite, cambia

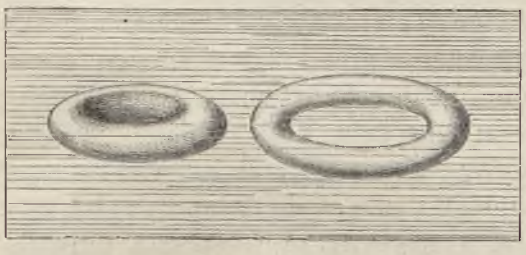


Fig. 403.—Experimento de Plateau que demuestra la formacion del anillo de Saturno

de figura, se aplana como una naranja ó como los planetas, y acelerando hábilmente la rotacion puede llegarse á formar una elipsoide tan aplanada, que el diámetro de la gota tenga una longitud doble que el eje; si se aumenta mas todavía la velocidad, cesa la cohesion, se desprende la zona exterior y la elipsoide se trasforma en un anillo circular. En este momento explica á un tiempo el fenómeno las zonas que se desprendieron en el orígen de la masa solar y la existencia presente del anillo de Saturno.

Por último, si se exagera mas aun el movimiento de rotacion y se continúa con un disco de mayor diámetro, la fuerza centrífuga impele las particulas del medio ambiente hácia el anillo, que se rompe en varias masas aisladas, las que se agregan individualmente en esferas; durante cierto tiempo conserva cada una de ellas un movimiento propio de rotacion en sentido igual al del anillo. Esta última fase del fenómeno ofrece una analogía extraordinaria con la formacion de los centros de condensacion que en la hipótesis que estamos analizando, son orígen de los planetas del mundo solar y mas tarde de sus satélites.

Tal es la famosa teoría nebular de Laplace, que tantas controversias promovió á poco de publicarla su ilustre autor. Principia, como hemos visto, no por una masa simplemente nebulosa, sino por el Sol rodeado de una atmósfera ígnea, de la cual se formaron los planetas. En esta hipótesis se supone que el Sol es mas antiguo que los planetas, pues de otro modo hubiera sido imposible explicar la lentitud del movimiento rotatorio del Sol sobre su eje; si este cuerpo se formó de una materia homogénea que uniformemente se extendiese hasta la órbita de Mercurio, no se hubiera condensado en un globo que girase sobre su eje en veinticinco dias, sino en una elipsoide tan plana quizás como una lenteja, impidiéndole la fuerza centrífuga que adquiriese la figura esférica.

Pero condensándose primero las sustancias mas densas en un cuerpo probable como el que hemos descrito, el rozamiento de la atmósfera no condensada disminuiria la rotacion del Sol, y comunicándose á los planetas embrionarios la fuerza rotatoria que perdia, hizo que se apartasen á grandes distancias.

En conformidad con la hipótesis de Laplace se supuso siempre que los planetas superiores se formaron primero; hay un punto flaco, no obstante, en esta teoría respecto á la formacion de los anillos; supone el ilustre matemático que cuando las fuerzas centrífuga y centrípeta se equilibraban en los límites externos de las masas giratorias, las porciones exteriores se separaron del resto, que continuó contrayéndose hácia el centro. Si los anillos planetarios se formaron por tal procedimiento despues de la separacion de cada uno de ellos, hubo de condensarse la atmósfera á la mitad de su diámetro casi, antes de que pudiese desprenderse otro anillo, pues vemos que cada planeta se encuentra en conjunto á una

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

distancia doble poco mas ó menos de la que corresponde al otro cuerpo inmediato.

Pero no habiendo cohesion entre las partículas de vapor, era imposible la separacion de estas inmensas masas de las porciones exteriores de la masa principal giratoria; en el momento en que se equilibraron las fuerzas, dejarian las porciones exteriores de la masa de tender hácia el Sol, y se separarian parcialmente de las porciones inmediatas que las rodeaban: luego se separarian de nuevo, y así sucesivamente, esto es, que en lugar de una serie de anillos, se veria un disco muy chato formado por un número infinito de anillos concéntricos unidos todos entre sí.

Si examinamos el asunto con mayor atencion, veremos que todo el razonamiento en que se supone que las porciones internas de la masa hubieron de separarse de las partes externas, exige modificaciones muy importantes. En su primitivo estado, cuando se extendia á mucha mayor distancia que los actuales confines del sistema solar, la atmósfera nebulosa y rarificada tenia que ser de forma esférica ó poco menos; á medida que se iba contrayendo, acentuándose mas al propio tiempo el efecto de la fuerza centrífuga, tomaria la forma de una esferoide aplanada. Al llegar á tal punto la contraccion que las fuerzas centrífuga y de atraccion se hallaban casi equilibradas en el límite ecuatorial de la masa, hubiera cesado por completo la contraccion en el sentido del ecuador, limitándose á las regiones polares, dirigiéndose las partículas no hácia el Sol, sino hácia el plano del ecuador solar.

De este modo tenemos un aplanamiento constante de la atmósfera esferoidal hasta que se redujo á un delgadísimo disco chato, que muy bien pudo separarse en anillos de los que se formaron los planetas, de igual manera que en la suposicion de Laplace; en este caso no habria diferencia marcada en la edad de los planetas, si bien los anillos internos mas pequeños se condensarian en planetas con mayor rapidez que los situados en la extensa zona exterior.

En el corto período que cuenta la astronomía de precision, no se ha observado cambio alguno en nuestro sistema. La Tierra, el Sol y los planetas conservan la misma magnitud y presentan siempre igual aspecto; las estrellas muestran sus brillantes destellos lo mismo ahora que antes, y en la forma de la mayor parte de las nébulas no se advierte la menor variacion.

El calor que recibimos del Sol es siempre igual, sin que se haya observado en él alteracion alguna, ni tampoco en el número medio y la extension de las manchas de su superficie. Y sin embargo, tenemos motivos para creer, que todas estas cosas cambian y que algun tiempo vendrá en el cual el estado del universo será muy distinto del que en la actualidad ofrece á nuestra vista; un ejemplo sencillísimo bastará para probar que es posible deducir las modificaciones y cambios que puede sufrir un estado de cosas inmóvil en la apariencia.

Supongamos que un curioso al recorrer un edificio momentáneamente abandonado, encuentra un reloj en marcha; si desconoce las leyes de la mecánica, no hallará razon alguna que le indique que el reloj no anduvo antes durante un período de tiempo indefinido y que la péndola seguirá oscilando y las agujas dando sus vueltas regulares por todo el tiempo que subsista la fábrica; el curioso ve un ciclo continuo de movimientos, y no halla motivo alguno que se oponga á que el reloj caminase sin pasar desde el momento de su creacion y que así continúe hasta que por completo se deteriore.

Pero si conociese nuestro observador las leyes de la mecánica y tratase de inquirir la fuerza que mantiene las saetillas y la péndola en movimiento, veria que esta fuerza se trasmite á la péndola por medio de un sistema de ruedas, cada una de las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuales se mueve con mucha mayor lentitud que la que se encuentra en frente de él, y que sobre la primera rueda un poco mas suspendido de una cuerda, puede percibir el sosegado movimiento de la rueda que obra sobre la péndola, y quizás tambien el de la rueda inmediata, pero en el corto espacio de tiempo que dura su observacion no llegará á comprobar la rotacion de las demás piezas del rodaje. Mas si se fija en la accion de unas ruedas sobre las otras, fácilmente comprenderá que todas deben moverse y que este movimiento se produce por el descenso gradual de la pesa, aunque parezca que esta conserva siempre la misma posicion, pudiendo afirmar con seguridad completa, que aunque no vea moverse la pesa, debe esta acercarse de un modo gradual al suelo, porque el sistema de la máquina giratoria implica necesariamente la lenta caida del motor.

Conociendo el número de dientes de cada rueda y de cada piñon, es posible averiguar cuántos centímetros desciende cada dia y averiguando el espacio que recorre se puede calcular cuántos dias se necesitarán para que la pesa llegue al suelo; cuando esto suceda se parará el reloj puesto que la caida ó descenso de la pesa es lo que conserva el movimiento de la péndola. Por consiguiente, se deduce con toda evidencia, que la pesa estaba ayer mas alta que hoy, y mas alta todavía el dia anterior, de modo que hay medios de calcular su posicion lo mismo hácia atrás que hácia adelante; este cálculo demuestra que hubo un tiempo anterior en el que la pesa se encontraba en la parte mas elevada de su carrera, y aunque no se haya observado el movimiento en realidad, se ha podido ver con los ojos de la razon que la pesa recorre cierto y determinado curso desde la retenida del reloj hasta el piso en que se apoye; demuestra tambien que algun poder tuvo que darle cuerda y ponerlo en marcha, y que á menos de que el mismo poder no intervenga de nuevo, la pesa ha de llegar al suelo en cierto número de dias, parándose entonces el reloj.

El cambio progresivo correspondiente que se manifiesta en las operaciones de la naturaleza consiste en una trasformacion constante del movimiento en calor y en una pérdida, constante asimismo, del calor, por irradiacion en el espacio. El famoso físico inglés Thomson dice que en la naturaleza tiene lugar una disipacion constante de energía.

Todos sabemos que el Sol ha irradiado su calor en el espacio durante el curso completo de su existencia: una porcion pequeñísima de este calor llega á la Tierra y conserva la vida y el movimiento en su superficie; toda esta porcion del calor solar, despues de realizar sus funciones, se irradia hácia el espacio por la Tierra misma. La parte de calor solar radiante que recibe nuestro globo, es relativamente de escasísima importancia, toda vez que la irradiacion del gran luminar se efectúa en todos sentidos, y que la Tierra solo se apodera de una fraccion que puede representarse por la relacion de su magnitud aparente vista desde el Sol, con toda la esfera celeste, y que el cálculo demuestra que viene á ser como 1 es á 2,170.000,000.

Las estrellas irradian calor de igual manera que el Sol; su existencia se ha comprobado por medio del termo-multiplicador, condensando sus rayos en el foco del telescopio, y hay motivos para creer que la luz y el calor estelar se encuentran en proporcion análoga que la luz y el calor del Sol; donde quiera que haya luz estelar blanca, debe de haber, asimismo, calor estelar, y como se ha visto que en general dan las estrellas mas luz que el Sol, hay que suponer que tambien dan mas calor, de modo que tenemos una radiacion continua de todos los cuerpos visibles del universo, que hubo de principiar en el instante en que se formaron.

Hasta hace muy poco no se sabia que esta radiacion implicaba el consumo de un

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

algo necesariamente limitado, y por consiguiente se creia que el fenómeno podria continuar produciéndose eternamente, sin que el Sol y las estrellas perdieran en lo mas mínimo su energía; pero hoy dia se ha averiguado que no puede producirse el calor sino gastándose fuerza presente ó potencial, en algunas de sus formas, y se sabe tambien que el caudal ó almacen de fuerza tiene que ser necesariamente limitado.

Una de las doctrinas mejor establecidas de la ciencia moderna dice, que la fuerza no puede sacarse de la nada siendo en este punto igual á la materia, que tampoco puede provenir de la nada; crear la fuerza seria un milagro tan imposible y absurdo como la creacion repentina de un mundo sin elementos primordiales. Por lo cual no puede esta irradiacion durar siempre, á menos de que la fuerza invertida en producir calor no vuelva al Sol en tal ó cual forma. Que en la actualidad no vuelve, puede considerarse como moralmente cierto; no se conoce ley alguna relativa á la irradiacion, excepto que su propagacion se efectúa desde el centro radiante en línea recta; si el calor volviese al Sol desde los espacios, tendria que partir de un número infinito de puntos, esto es, de toda la esfera celeste, para concentrarse en el luminar del dia, y la Tierra, por tanto, interceptaria el calor emitido de igual manera que el recibido por el Sol, ó de otro modo, que recibiríamos tanto calor del espacio durante la noche, como el Sol nos envia por la mañana, lo que, como sabemos perfectamente, dista mucho de ser verdad y aun se puede asegurar que el único calor que recibimos del espacio es el que irradia de las estrellas.

Puesto que el calor solar no vuelve por ahora al Sol, tenemos que investigar qué es lo que le sucede, y si en algun caso no podrá haber una compensacion que permita que todo el calor perdido vuelva otra vez al luminar del sistema; si seguimos el calor radiado á través de los abismos del espacio, podemos elaborar tres hipótesis posibles respecto de su destino final.

1.—Podemos suponer que se aniquila en absoluto, del propio modo que se supuso primeramente que se aniquilaba, al perderse por rozamiento.

2.—Puede continuar su camino directo por el espacio eternamente.

3.—Puede tambien, por algun medio que nos es desconocido, reunirse finalmente y volver á los focos de donde emanó.

La primera hipótesis no se considera por los pensadores del siglo, como verdaderamente filosófica; en nuestra filosofía científica la doctrina de que la fuerza no puede aniquilarse se considera tan exacta y verdadera, como el principio de que las fuerzas no se crean; al propio tiempo puede sostenerse que estas doctrinas relativas á la increabilidad ó indestructibilidad de la materia y de la fuerza, no tienen fundamento propio y que la verdad absoluta de este principio no se puede probar por induccion, especialmente en el caso de la fuerza.

Las medidas mas escrupulosas de la fuerza que es posible realizar en todas circunstancias, demuestran que no está sujeta á pérdidas sensibles por trasmision ó transformacion; pero este hecho solo no prueba que no sufra alguna pérdida al pasar por el espacio, en períodos que se cuentan por cientos de millares de millones de años. Hay tambien esta diferencia esencial entre la fuerza y la materia; que la última la concebimos como formada por partes individuales que conservan su identidad á pesar de todos los cambios de forma que experimentan, mientras que la fuerza viene á ser una cosa en la que no concebimos semejante identidad.

Así, pues, cuando hacemos que se evapore en nuestra mano una gota de agua, podemos seguir con la imaginacion el camino de cada una de sus moléculas en el aire, en las nubes y de nuevo en la Tierra

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en tal ó cual gota particular de lluvia, de modo que si tuviéramos medios de seguir su trayecto podríamos decir ahora mismo: —Esta copa contiene una, dos, ó veinte de las moléculas idénticas que se evaporaron de nuestra mano hace un mes ó hace un año.—

En esta idea de la identidad independiente de cada molécula de materia, se funda la opinion de la indestructibilidad de la materia, porque la materia no se puede destruir sin que la destruccion alcance á las moléculas individuales, y cualquiera causa que pudiera destruir una sola molécula, tendria poder para destruir igualmente todas las moléculas del universo.

Pero en la fuerza no es posible hallar ni partes ni identidad; una cantidad determinada de calor puede invertirse sencillamente en levantar un peso, en cuyo caso desaparece el calor y es reemplazado por un mero cambio de posicion, esto es, por algo que no se concibe que pueda ser idéntico al calor mismo. Si dejamos caer el peso se desarrollará una cantidad de calor igual á la que se necesitó para elevarlo, pero aunque igual en cantidad, no puede considerarse como idéntica á la manera que el agua condensada del vapor es idéntica á la que se evaporó para formar el vapor.

Si por acaso nos indicaran las medidas diferencias en las cantidades, no podríamos decir por esto solo que habia habido destruccion de algo que préviamente existia, como sucederia si el vapor condensado no fuese igual al agua evaporada. Por lo tanto, al paso que la doctrina de la indestructibilidad de la fuerza se admite universalmente como un principio científico, no puede, empero, decirse que se halla establecida su perfecta exactitud por induccion.

La segunda hipótesis de que el calor radiado por el Sol y las estrellas prosigue su curso eternamente por el espacio, se conforma mejor con nuestras concepciones científicas. En la época presente recibimos calor de la estrella mas distante visible en el telescopio, y este calor, segun el mejor juicio que podemos formar, viene caminando hace miles de años, sin haber experimentado pérdida de ninguna clase. Bajo este punto de vista toda radiacion emanada alguna vez de la Tierra ó del Sol, sigue aun su curso á través de los espacios estelares, sin mas disminucion que la que se produce por su extension en un área mayor. Sobre este asunto presenta un ejemplo notable un escritor moderno, que dice así: «Si un sér inteligente tuviese una vista tan fina que pudiera ver los objetos mas pequeños con luz escasísima, y estuviera dotado de un movimiento tan rápido que pudiese pasar de un salto de un sistema estelar á otro en pocos años, en este caso, observando la Tierra á una distancia mucho menor que la de la estrella mas distante, la veria gracias á la luz que emitió unos cuantos miles de años antes; fijando la atencion podria este sér imaginario ver repetirse de nuevo el drama completo de la historia humana, menos las acciones ocultadas por las nubes ú otros obstáculos para la radiacion luminosa; la luz de todo acto humano ejecutado con cielo sereno y despejado, prosigue su curso entre las estrellas, y solo necesita el poder que antes mencionamos, para que al cabo de miles de años se sorprenda de nuevo la accion viajando por los espacios insondables.»

Si esta hipótesis es exacta, el calor que irradian el Sol y las estrellas se pierde para siempre, al menos para estos cuerpos, pues no se conoce medio alguno por el cual vuelva al luminar del dia el calor de esta suerte disipado, que se invierte en producir vibraciones en el medio etéreo que constantemente se dilata mas y mas en el espacio.

La tercera hipótesis, como la primera, es una simple conjetura elaborada por la necesaria imperfeccion de nuestro conocimiento. Todas las leyes de la irradiacion y todas nuestras concepciones del espacio,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nos llevan á la conclusion de que el calor radiante del Sol no puede volver jamás á este astro; esta reflexion solo podria resultar si el espacio tuviera una curvatura tal, que lo que nos parece línea recta, se volviese sobre sí misma, segun las ideas de un gran matemático aleman; ó tambien, porque el medio etéreo cuyas vibraciones constituyen el calor, fuese de extension limitada, ó finalmente, por algun medio que nos es todavía desconocido en absoluto.

La primera idea es puramente especulativa y no cabe sobre ella discusion; las otras dos suposiciones son en verdad de carácter tan científico como puede serlo la teoría de la inductibilidad de la fuerza.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

LIBRO SEGUNDO

EL UNIVERSO INVISIBLE

CAPÍTULO PRIMERO

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO

En las páginas que anteceden hemos descrito el aspecto que presenta el universo segun las revelaciones del telescopio, y ahora vamos, siguiendo nuestro plan, á investigar con auxilio de los descubrimientos realizados, cuál es la estructura ó conformacion del universo considerado en totalidad. En este asunto vamos á caminar por un terreno mucho menos sólido bajo nuestras plantas que el que hasta aquí hemos recorrido, puesto que llegamos á los límites del saber humano. La mayor parte de nuestras conclusiones son por necesidad hipotéticas, y se hallan sujetas á los cambios que exijan los descubrimientos sucesivos.

Procuraremos apartarnos de las opiniones puramente especulativas, y solo daremos acogida á las conclusiones que presenten algun fundamento aparente, ya por la observacion, ora por analogía. El entendimiento del hombre no puede dejar de ocuparse de las maravillas de la creacion en su concepcion mas amplia, y la ciencia cumple su elevada mision alumbrando con sus vivos resplandores esta senda oscura para evitar que se acepten conclusiones contrarias á la verdad ó esencia de los hechos observados.

La primera cuestion que se nos presenta en el órden regular es la que sigue:

¿Cómo se hallan dispuestas en el espacio las estrellas que en número de cuarenta á cincuenta millones nos revelan los telescopios?

La observacion directa nos enseña cuál es su disposicion respecto á la direccion de nuestro sistema, y ya hemos visto que la inmensa mayoría de las estrellas pequeñas perceptibles en los grandes telescopios, se encuentran agrupadas en un anillo ó banda celeste que se llama la Vía láctea; pero no por eso llegamos á saber sus posiciones absolutas, pues para determinarlas tendríamos que conocer, no solo sus distancias, sí que tambien la direccion de cada estrella, y fuera parte de una docena de estos cuerpos cuyas paralajes se han podido medir, no tenemos medios de conocer las distancias estelares, por manera que todo lo que podemos hacer es formar conjeturas mas ó menos probables, fundadas en la magnitud aparente de las estrellas individualmente consideradas y en las leyes de su distribucion.

Si todas las estrellas estuviesen dotadas del mismo brillo intrínseco, podríamos es-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

timar fácilmente sus distancias por sus magnitudes aparentes, así que el juicio fundado en esta última circunstancia es el mas acertado de todos, y en él se apoyan la mayor parte de las conjeturas ideadas por los primeros observadores.

Antes del invento del anteojo no pudo haber opinion alguna de mediano fundamento respecto de la estructura del cielo estrellado. Ya vimos cuán arraigada se hallaba en los hombres la idea de la esfericidad del universo, pues el mismo Kopérnico participaba de ella, y probablemente creia tambien que el Sol habia de estar situado en el centro de la esfera; antes de que pudiera darse ningun paso respecto á la verdadera concepcion del universo habia que desterrar esta idea, reconociendo que el Sol es sencillamente una de las innumerables estrellas que forman el universo.

La posibilidad de que en efecto así sucediese, parece haberse ocurrido primero á Keplero, que no llegó á aceptar la idea por completo, á causa de la falsa concepcion que tenia formada del brillo relativo de las estrellas; decia que si el Sol fuese una de las infinitas estrellas fijas de resplandor igual esparcidas uniformemente por el espacio, no podria haber mas de doce que se encontraran á su distancia mínima de nosotros; vendria luego otra serie á una distancia triple y así sucesivamente; y puesto que cuanto mas distantes están han de aparecer mas débiles, pronto alcanzaríamos un límite pasado el cual no se veria estrella alguna, y sin embargo, á menudo vemos estrellas numerosísimas de igual magnitud en cúmulos muy apiñados, como en el cinturon de Orion v. gr., mientras que el número total de estrellas visibles se cuenta por millares.

Deduce Keplero, por lo tanto, que las distancias individuales de unas estrellas á otras son mucho menores que sus distancias al Sol, hallándose situado este luminar muy cerca del centro de una region comparativamente vacía.

Si Keplero hubiese sabido que se necesita la luz de cien estrellas de sexta magnitud para alcanzar el brillo de una de primera, seguramente no habria llegado á esta conclusion; un cálculo muy sencillo le hubiera demostrado que con doce estrellas como unidad de distancia, doblando esta medida su número hubiera sido cuatro veces mayor: nueve veces á distancia triple, y así sucesivamente hasta que en la décima esfera se llegarian á contar mas de cuatro mil estrellas.

Mil y doscientas estrellas de la superficie de la décima esfera habrian de ser, segun el cálculo, de sexta magnitud, número muy aproximado al que revelan los catastros modernos. Cierto es que donde se agrupan muchas estrellas brillantes como en Orion, por ejemplo, sus distancias respectivas son probablemente inferiores á la que las separa del Sol; pero siendo esta aglomeracion completamente excepcional, no puede indicar una reunion general de todas las estrellas como suponia Keplero.

El gran filósofo de Kœnigsberg, el famoso Kant, sin ser precisamente un astrónomo práctico, llegó por inducciones especulativas á fundar una teoría del sistema estelar, que como hemos visto poco há, estuvo muy en boga durante mucho tiempo. Notando que los cielos se hallan circundados por la Vía láctea y sabiendo que la luz de este hermoso cinturon se halla producida por el resplandor de infinitas estrellas demasiado distantes de nosotros para que sean visibles individualmente, dedujo que el sistema estelar se extendia mucho mas léjos en la direccion de este círculo que en los demás sentidos. En otros términos, imaginó que las estrellas estaban dispuestas en un estrato comparativamente delgado, y que el Sol se encontraba muy cerca de su parte central. Al mirar por el canto esta capa vemos un número inmenso de estrellas, pero en una direccion perpendicular son en comparacion muy escasas las estrellas que se perciben.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Este delgadísimo estrato sugirió á Kant la idea de que nuestro sistema solar se le asemejase en su disposicion general; debido á la pequeña inclinacion de las órbitas planetarias, se encuentran los cuerpos que lo componen esparcidos en una capa delgada asimismo, y con agregar una gran multitud de planetas que circulen en torno del Sol en órbitas diversamente inclinadas, tenemos una representacion en miniatura del sistema estelar segun la hipótesis del profundo filósofo; si se hubiera conocido en su época la zona de pequeños planetas que circulan entre Marte y Júpiter, no hay que dudar que la opinion de Kant hubiese sido mejor acogida por la gran semejanza que en este caso ofrecia el sistema planetario con su supuesto sistema estelar; y si el número de los pequeños planetas creciese en cantidad suficiente, los veríamos como una especie de Vía láctea al rededor del zodíaco, pero perteneciente á nuestro sistema y resoluble en cuerpos distintos con auxilio del telescopio, de igual manera que la verdadera Vía láctea se resuelve en estrellas.

Así como los planetas se mantienen á sus distancias precisas y no se precipitan ni unos sobre otros ni sobre el Sol en virtud de la fuerza centrífuga desarrollada por sus revoluciones en sus órbitas, de igual manera supuso Kant que se conservaban las estrellas apartadas unas de otras por su movimiento de revolucion en torno de algun centro comun. En aquella época se desconocian completamente los movimientos propios de las estrellas, y objetaron algunos astrónomos que las estrellas ocupaban siempre una misma posicion en el cielo, de generacion en generacion, y que por consiguiente no giraban al rededor de ningun centro.

A esto replicó Kant que el período de revolucion era tan largo y tan lento el movimiento, que no podia percibirse con los imperfectos medios de observacion de que entonces se disponia, pero que las generaciones futuras, á no dudar, comparando sus observaciones con las de sus antepasados, hallarian el movimiento propio de las estrellas. Hemos visto ya que esta conjetura del gran pensador de Kœnigsberg se ha confirmado por completo en los tiempos modernos, pero el movimiento no es del género que exigia su hipótesis; en esta teoría todas las estrellas deben moverse en direcciones casi paralelas á la de la Vía láctea, precisamente como en el sistema planetario, en el que todos los cuerpos caminan en planos paralelos á la eclíptica; pero los movimientos propios hasta aquí observados, no presentan una direccion comun y no siguen ley alguna, excepcion hecha por término medio de cierta preponderancia que manifiesta hácia la constelacion de Hércules, que se atribuye al movimiento presente de nuestro Sol en tal sentido.

Llevando en cuenta esta preponderancia, vemos que las estrellas se mueven á la ventura en todos sentidos aparentemente y de ningun modo en órbitas regulares como suponia Kant; tan solo la inmensa nube de estrellas de que se compone la Vía láctea pudiera moverse con cierta regularidad, y dentro de poco veremos qué fundamentos presenta esta hipótesis.

La teoría kantiana supone que el sistema que acabamos de describir está formado por el inmenso estrato de estrellas de la Vía láctea que tachonan el firmamento, y en el que incluye todas las estrellas separadamente visibles en nuestros telescopios; pero no llega á suponer que este sistema, á pesar de su inmensidad, constituye todo el universo material. En las nébulas veia otros sistemas análogos, á distancias tan enormes, que la luz combinada de sus millones de soles aparece como una débil nube en los telescopios mas poderosos; esta idea de que las nébulas fuesen otras tantas vías lácteas estuvo mas ó menos en boga entre los escritores populares hasta una

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

época muy reciente, en que los descubrimientos del espectroscopio la echaron por tierra, puesto que demostró que estos cuerpos eran, por lo general, masas gaseosas en estado incandescente.

Poco tiempo despues de la aparicion de la obra de Kant, esbozó Lambert un sistema análogo, pero mucho mas trabajado; suponia en él que el universo estaba dis-

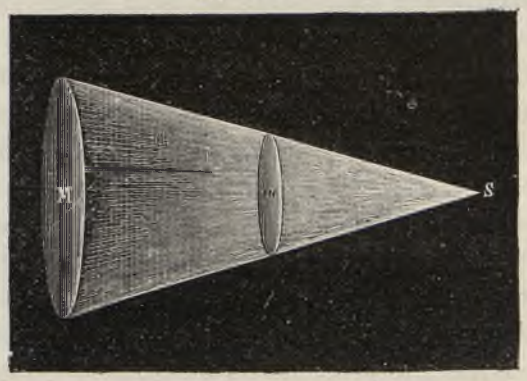


Fig. 404.—Variacion de las áreas visuales segun la distancia de los objetos

puesto en sistemas de órdenes distintos; los mas pequeños que conocemos son los formados por un planeta con sus satélites á su alrededor como centro; el sistema que sigue en órden de magnitud es el solar, en el que hay cierto número de sistemas menores que giran al rededor del Sol. Cada una de las estrellas individuales que vemos es un sol, y tiene su cortejo de planetas que giran á su alrededor, de modo que hay tantos sistemas solares como estrellas se cuentan en el cielo. No están, empero, estos sistemas, sembrados á la ventura, sino que se hallan divididos en grupos superiores que se distinguen en nuestros anteojos como cúmulos estelares. Un número inmenso de estos cúmulos forma la Vía láctea y el universo visible tal y como se presenta á nuestros ojos. Es posible que haya tambien sistemas superiores formados de vías lácteas y esto de un modo indefinido, sino que sus distancias son tan enormes que escapan á nuestra investigacion.

Cada uno de los sistemas menores visibles para nosotros, tiene su cuerpo central, cuya masa es mucho mayor que la de los cuerpos que giran á su alrededor, carácter que Lambert extiende á los demás sistemas; como los planetas son mayores que sus satélites y el sol mayor que sus planetas, supuso, pues, que cada cúmulo estelar habia de tener un gran cuerpo central á cuyo alrededor giraban los respectivos sistemas solares. Como estos cuerpos centrales son invisibles para nosotros, supuso tambien que debian ser opacos y oscuros.

Todos los sistemas, desde el mas pequeño al mas grande, se suponian regidos en masa por una ley universal de gravitacion.

Pero como hasta ahora no se ha encontrado el menor vestigio de estos centros opacos, tenemos que confesar que las sublimes ideas de Lambert, carecen de fundamento científico en absoluto y por consiguiente han caido en el mayor descrédito.

Herschel fué el primero que investigó la estructura del sistema solar utilizando una larga y continuada serie de observaciones emprendidas con un propósito determinado; su manera de proceder se reduce á enumerar, en primer lugar, todas las estrellas visibles en un telescopio poderoso, en una porcion dada del cielo, esto es, á efectuar unas especies de sondas de estrellas. Hizo uso de un telescopio de 50 centímetros de abertura que amplificaba 160 veces, y cuyo campo visual media un cuarto de grado de diámetro, esto es, próximamente la mitad del diámetro de la Luna llena, así que cada sonda ó cuento, incluia todas las estrellas visibles en un espacio que media la cuarta parte de la superficie aparente del disco lunar.

Del número de estrellas visibles en cada uno de los campos visuales, dedujo á qué distancia relativa se extendia su vista, suponiendo uniforme la distribucion de las estrellas por todo el espacio incluido en el cono de vista del telescopio.

Cuando un observador mira por un anteojo dirigido á los cielos, comprende su campo de vision un espacio que constan-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

temente se ensancha por todos lados, á medida que la distancia es mayor; y el lector algo versado en la geometría observará que este espacio forma un cono cuyo vértice se encuentra en el foco del anteojo y su base circular á la distancia extrema á que alcanza el instrumento; el volúmen de este cono es proporcional al cubo de la distancia á que se extiende: por ejemplo, si el telescopio alcanza dos veces mas, el cono visual no será únicamente dos veces mas largo, sino que su base se duplicará en todas direcciones, de modo que el volúmen del cono será ocho veces mayor, y

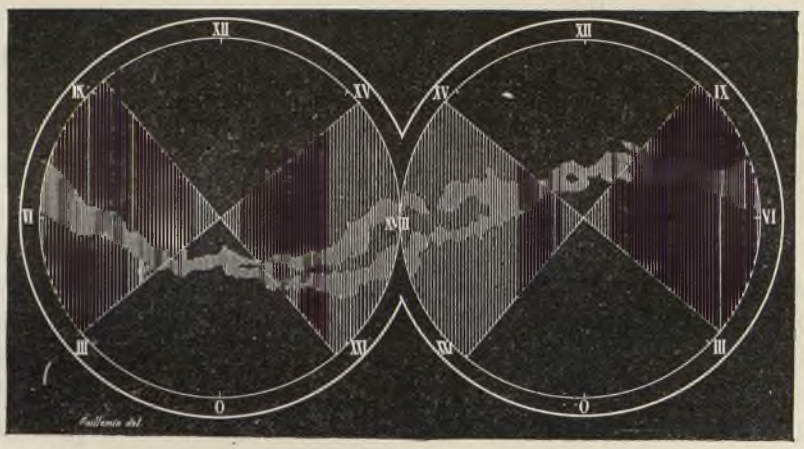


Fig 405 — Distribucion de las estrellas de la 1 ª á la 7 ª magnitud y coincidencia de los máximos con la Vía láctea

con arreglo á la hipótesis de Herschel, contendrá un número de estrellas ocho veces mayor; asi que, cuando este observador halló que en tal ó cual region del cielo eran las estrellas ocho veces mas numerosas que en otros puntos, dedujo que el sistema estelar se extendia una cantidad doble en la region citada.

Conoció Herschel la imposibilidad de contar todas las estrellas visibles en su telescopio, pues para conseguirlo se hubiera visto obligado á dirigir su instrumento muchísimos miles de veces á una misma region del cielo; limitó, por tanto, su catastro á una especie de faja ó cinturon que se extendia algo mas de la mitad de la esfera celeste y que cortaba á la Vía láctea en ángulo recto; contó las estrellas de esta zona en 3,400 campos telescópicos. Comparando el número medio de estrellas en diferentes regiones, con la posicion de la zona ocupada por la Vía láctea, vió que las estrellas eran mas numerosas en esta region y que disminuian gradualmente á medida que se alejaban de la Vía láctea.

He aquí las frases de Herschel: «Si solo se consideran las tres ó cuatro clases de estrellas mas brillantes, se ve que están distribuidas en la esfera, de un modo casi uniforme; no obstante, se observa cierto predominio marcado en su número, particularmente en el hemisferio austral, á lo largo de una zona que sigue la direccion de un círculo máximo que pasa por *epsilon* de Orion y *alfa* de la Cruz del Sur; pero si hacemos cuenta de todas las estrellas visibles á la simple vista, se comprueba un aumento rápido en el número, á medida que nos aproximamos á los bordes de la Vía láctea.»

La figura 405 demuestra que las regiones de ambos hemisferios que contienen mayor número de estrellas son las que cubre la Vía láctea en su mayor extension.

La tabla siguiente puede servir para dar

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

una idea de la distribucion, pues indica el número proporcional de estrellas en el campo de vista del telescopio, para cada seis zonas de distancia á la Vía láctea.

Primera zona de	90° á 75°	de la Vía láctea.			4 estrellas por campo
Segunda	»	75 á 60	»	»	5
Tercera	»	60 á 45	»	»	8
Cuarta	»	45 á 30	»	»	14
Quinta	»	30 á 15	»	»	24
Sexta	»	15 á 0	»	»	53

Estos números son como promedios, y no demuestran las desigualdades reales que existen en la distribucion estelar en determinadas regiones del cielo; á las veces no se percibia en el campo del instrumento mas que una estrella solitaria, mientras que en otros casos aparecian muchos cientos.

Adoptando la hipótesis de la distribucion uniforme de las estrellas, dedujo Herschel de sus primeras investigaciones, que el sistema solar presentaba la forma que Kant supuso, extendiéndose en todos sentidos á una distancia cinco veces mayor en la direccion de la Vía láctea, que perpendicularmente á esta. La modificacion mas importante que hizo consistia en suponer que una grieta ó raya inmensa se extendía de canto por todo el sistema, desde la circunferencia hasta cerca del centro; esta hendidura corresponde á la division de la Vía láctea, que principia en la constelacion de verano el Cisne, hácia el norte, pasa por el Aguila, el Serpentario y el Escorpion hasta el hemisferio austral.

Estimando la distancia por la disposicion y magnitud aparente de las estrellas, pudo calcular el espesor medio del estrato estelar, que mide de arriba abajo 155 unidades y de diámetro 850 unidades: como unidad se toma la distancia media de una estrella de primera magnitud.

Suponiendo que esta distancia la recorra la luz en el espacio de 16 años, suposicion fundada en la paralaje media que se admite para una estrella de esa magnitud, habria que admitir que la luz necesitaria cerca de 14,000 años para atravesar el espacio que hay entre los dos límites del sistema, y 7,000 años para llegar hasta nosotros.

Las deducciones de Herschel se fundan en la hipótesis de que las estrellas ofrecian una misma densidad en todas las regiones del sistema estelar, así que el número de estrellas en cualquiera direccion, nos da como un índice de la profundidad de las estrellas en ese sentido. Un estudio mas detenido demostró á Herschel la necesidad de modificar esencialmente sus conclusiones; las estrellas binarias y múltiples y los cúmulos estelarios, ofrecen ejemplos indudables que demuestran que varias estrellas se hallaban mucho mas inmediatas unas á otras que la regla general.

Para demostrar exactamente el fundamento de este cambio de opinion, haremos notar que si el aumento de densidad en la direccion de la Via láctea fuese por completo regular, de modo que no existiesen grandes diferencias en la densidad del número de estrellas en dos regiones adyacentes, en este caso, su primera teoría podria considerarse como bien fundada. Pero estas irregularidades son muy frecuentes y caeríamos en un absurdo si pretendiésemos explicarlas por la primera hipótesis de Herschel; por ejemplo, cuando se dirige el anteojo hácia las Pléyades, se percibe, probablemente, un número de estrellas seis ú ocho veces mayor que en las regiones inmediatas.

Mas suponiendo igual el espesor verda-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

dero de las estrellas, resultará que en esta direccion particular se extenderán las estrellas á doble distancia que en las partes vecinas del cielo, esto es, que hallaremos como un cilindro de estrellas largo y estrecho que se dirige hácia nosotros.

Como en muchos puntos del cielo se distinguen cúmulos de esta clase, hemos de suponer que existen muchos dardos ó clavos semejantes; en otras regiones, especialmente al rededor de la Vía láctea, se encuentran muchos espacios casi desprovistos de estrellas; para explicar este hecho, hemos de suponer que existen largas y estrechas hendiduras que se extienden hasta nuestro Sol, de modo que el sistema estelar presentaria la forma de una inmensa estrella de mar, lo cual es muy poco probable.

La única explicacion racional que puede darse sobre la configuracion de un grupo de estrellas que aparezca en el telescopio rodeado de un espacio comparativamente vacío, se reduce á considerar que el objeto observado sea un verdadero conglomerado estelar ó region en que las estrellas se hallen mas agrupadas y en mayor número; ahora bien, todos podemos ver á la simple vista que la Vía láctea no forma una banda continua y uniforme, sino que en una gran parte de su trayecto está compuesta de un número considerable de masas nebulosas irregulares interrumpidas por espacios relativamente obscuros; en este caso tenemos que confesar forzosamente que en estos puntos hay una agrupacion real de estrellas y que no se trata tan solo de una zona en la que los límites del sistema estelar se encuentran mas extendidos.

Ignoramos si Herschel se preocupó de este particular, pues el método que adoptó en sus sondas para estimar las distancias relativas de las estrellas visibles, fué muy otro; consistia en juzgar las distancias á que alcanzaba el telescopio, no por el número de estrellas que presentaba á la vista, sino por su brillo. Si todas las estrellas fuesen del mismo esplendor intrínseco, de modo que las diferencias de sus magnitudes aparentes dependiesen solo de sus diversas distancias á nosotros, nos permitiria este método fijar la distancia de cada estrella aisladamente; pero como sabemos que las estrellas no tienen todas el mismo brillo intrínseco, no es posible aplicar este método á ninguna estrella particular, lo cual sabia Herschel perfectamente.

No quiere esto decir, sin embargo, que no podamos formarnos así una idea de las distancias relativas de las clases ó grupos de estrellas, pues aunque es posible que una estrella de quinta magnitud esté mas cerca de nosotros que otra de cuarta, no podemos dudar, empero, de que la distancia media de todas las estrellas de quinta magnitud es superior á la de las estrellas de cuarta magnitud, y hasta en una proporcion que admite una exactitud tolerable. Hé aquí cómo procedió Herschel en sus cálculos.

Supongamos que al rededor de nuestro Sol se traza una esfera de tal magnitud que fuese igual al espacio medio ocupado por una sola de las estrellas visibles á la simple vista; esto es, si suponemos que la porcion del espacio del sistema estelar que ocupan las seis mil estrellas mas brillantes esté dividido en seis mil partes, en este caso la esfera seria igual á una de estas partes. El radio de la esfera no diferiria mucho probablemente de la distancia de la estrella fija mas próxima, distancia que podemos tomar como unidad. Supongamos luego una serie de esferas mayores, trazadas todas al rededor de nuestro Sol como centro, y cuyos radios sean 3, 5, 7, 9, etc. Los volúmenes de estas esferas serán como los cubos de sus diámetros, y la primera contendrá $3 \times 3 \times 3 = 27$ veces el volúmen de la esfera unidad y podrá contar 27 estrellas; la segunda será de 125 volúmenes primitivos, por lo tanto contendrá 125 estrellas y así sucesivamente en las otras esferas.

Designa Herschel por órdenes las diver-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sas distancias de estas capas de estrellas; las comprendidas entre las esferas primera y tercera son de primer órden de distancia; las que se hallan entre la tercera y la quinta son de segundo órden, etc., etc. Comparando la capacidad estelar de las diversas esferas con el número de estrellas de distintas magnitudes, halló el resultado que sigue:

Orden de distancia	Capacidad estelar	Magnitud	Numero de estrellas de esta magnitud
1	26	1	17
2	98	2	57
3	218	3	206
4	386	4	454
5	602	5	1,161
6	866	6	6,103
7	1,178	7	6,146
8	1,538		

Como vemos, no hay correspondencia entre los órdenes de distancia calculados y las magnitudes segun se estiman en la escala corriente; pero halló Herschel que esto dependia de que las magnitudes corresponden á una escala de distancia completamente distinta de la que él adoptó; en su escala crecian las distancias en progresion aritmética, mientras que en el órden de magnitudes el aumento se efectúa en progresion geométrica. En consecuencia, las estrellas de sexta magnitud corresponden al octavo, noveno y décimo órden de distancias, esto es, que tendríamos que trasportar una estrella de la primera magnitud á ocho, nueve ó diez veces su distancia presente para hacerla brillar como una estrella de sexta magnitud.

Trató Herschel de medir con este sistema la extension de la Vía láctea, y dedujo que era insondable con su telescopio de seis metros, que á su juicio penetraba hasta el 900 órden de distancia, es decir, que alcanzaba á distinguir estrellas situadas á una distancia 900 veces mayor que las estrellas de primera magnitud. Aunque no llegó Herschel á emplear asíduamente en este género de investigaciones su gran telescopio de doce metros, creia poder asegurar, por los ensayos practicados, que tan imposible era llegar á los límites de la Vía láctea con este gigantesco instrumento como con el mas modesto de seis metros.

Este astrónomo sin rival, á quien fué dado penetrar en las profundidades de la creacion primero que ningun otro hombre, no prosiguió sus teorías acerca de los límites del sistema estelar, que en su juicio se extendia en la direccion de la Vía láctea hasta las últimas regiones á donde podia penetrar su telescopio.

Si calculamos el tiempo que la luz necesitaria para venir desde los últimos límites á que segun Herschel alcanza nuestra vista, veremos que viene á ser de unos 14,000 años ó mas del doble del tiempo deducido de sus primeras sondas; podemos asegurar que el tiempo que necesita la luz para llegar hasta nosotros desde las estrellas visibles mas distantes se mide por miles de años; hemos de admitir, no obstante, que los cálculos de Herschel acerca de las dimensiones de la Vía láctea son exageradas, puesto que se apoyan en el supuesto de que todas las estrellas tienen el mismo brillo absoluto. Si las estrellas mas pequeñas visibles en su telescopio fuesen por término medio del mismo esplendor intrínseco que las mas brillantes, estaría bien fundada la conclusion; pero si suponemos que hay diferencias en el esplendor, es imposible, por los datos de Herschel, decidir si la pequeñez de estas estrellas proviene de su gran distancia ó de su reducido tamaño.

Despues de los trabajos de Herschel, se ocupó del mismo asunto un astrónomo eminente, M. Struve, director del Observatorio de Pulkowa; sus investigaciones se fundaron principalmente en el número de estrellas de diversas magnitudes que halló Bessel en una zona de treinta grados de

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ancho, que se extiende todo al rededor de los cielos, quince grados á cada lado del ecuador, con las que combinó las sondas estelares de Herschel.

La hipótesis en que basaba su teoría era muy semejante á la que habia empleado este astrónomo en sus últimos trabajos, en cuanto á la suposicion de que las magnitudes de las estrellas dan, por término medio, la medida de sus distancias relativas; suponiendo, como Herschel, cierto número de esferas concéntricas trazadas alrededor del Sol, cuyos espacios sucesivos correspondian á estrellas de diversas magnitudes, halló que á medida que se alejaban era mayor la condensacion de las estrellas en la Vía láctea y cerca de esta zona. Esta conclusion se deduce perfectamente del hecho

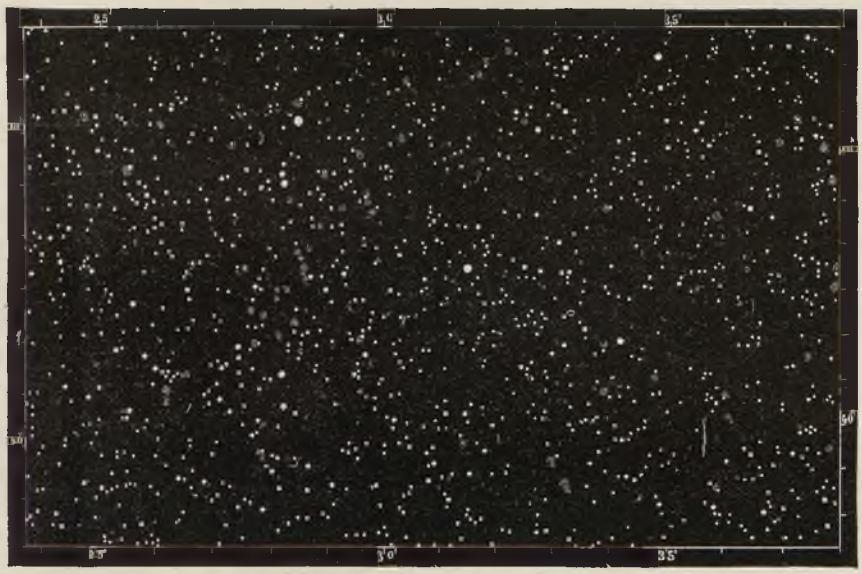


Fig. 106.—Region nebulosa de la Cabellera de Berenice, carta de Proctor

que ya hemos mencionado, de que mientras mas pequeñas son las estrellas, mas considerable es su condensacion en la Vía láctea.

Halló Struve que si tomamos únicamente las estrellas que con toda comodidad se perciben á la simple vista, esto es, las superiores á la quinta magnitud, se presentan tan apiñadas en la Vía láctea como en las demás regiones del cielo; pero las de sexta magnitud se encuentran mas condensadas en esa zona, y todavía mas las de séptima y así sucesivamente, siendo constantemente mayor la desigualdad de su distribucion á medida que crece la potencia telescópica.

De todo esto dedujo Struve que el sistema estelar debia considerarse como compuesto por varios estratos de estrellas de distintas densidades, paralelos todos al plano de la Vía láctea; las estrellas están mas apiñadas en el centro de la capa ó estrato interior, y nuestro Sol se encuentra muy próximo al punto central; al separarnos por ambos lados de esta capa, decrece gradualmente el número de estrellas sin que lleguemos, no obstante, á ninguna frontera bien señalada.

Así como si nos fuese posible elevarnos en la atmósfera á gran altura, hallaríamos que disminuia constantemente la densidad del aire, pero de un modo tan gradual que no podríamos decir cuál era su término, de igual manera, segun las ideas de Struve, se manifestaria el fenómeno de la distribucion de las estrellas, si pudiéramos subir en una direccion perpendicular á la Vía láctea.

Presenta este mismo astrónomo la si-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

guiente tabla del espesor ó densidad de las estrellas á ambos lados del plano principal, siendo la unidad de distancia el radio máximo á que podia penetrar en los abismos del cielo el telescopio de Herschel:

Distancias desde el plano principal	Densidad	Distancia media entre las estrellas próximas
En el plano principal.	1, 0000	1,000
0, 05 del plano principal	0,48568	1,272
0, 10 » » »	0,33288	1,458
0, 20 » » »	0,23895	1,611
0, 30 » » »	0,17980	1,772
0, 40 » » »	0,13021	1,973
0, 50 » » »	0,08646	2,261
0, 60 » » »	0,05510	2,628
0, 70 » » »	0,03079	3,190
0, 80 » » »	0,01414	4,131
0,866 » » »	0,00532	5,729

Esta condensacion de las estrellas cerca del plano central y su disminucion progresiva á ambos lados, se indican únicamente como la expresion del reparto medio ó general de estos cuerpos. Es probable que aun en el plano central se hallen las estrellas mucho mas apiñadas en unas regiones que en otras, y que á medida que nos alejamos de este plano su diseminacion varíe de unas zonas á otras; no es posible negar que existe una disminucion gradual, pero contra la tabla que sobre este extremo construyó Struve y que insertamos mas arriba, puede presentarse la grave objecion de que su autor, de igual manera que Herschel, supone que las diferencias entre las magnitudes de las estrellas dependen por completo de sus distintas distancias á la Tierra. Si bien en los puntos en que la distribucion de las estrellas es casi uniforme, no nos lleva esta suposicion á errores muy graves, varía el caso por completo cuando tropezamos con masas irregulares de estrellas, y especialmente en los puntos en donde nuestros telescopios presentan hasta los límites del sistema estelar. En el segundo caso no podemos separar las estrellas pequeñas que se encuentran dentro del límite y las mayores situadas fuera de él, y el adelgazamiento ó disminucion gradual que supone Struve, puede explicarse por las grandes diferencias que presentan las estrellas en su brillo absoluto.

Recientemente se han efectuado nuevas investigaciones en este asunto, en particular por el astrónomo inglés Proctor; supone que todas las teorías sobre la disposicion del sistema estelar fundadas en la hipótesis de que las estrellas son de un brillo intrínseco semejante, ó de que ofrecen cierta igualdad de distribucion en diversas regiones, son por completo ilusorias; segun las observaciones y cartas celestes levantadas por este astrónomo (figs. 406 y 407) las infinitas estrellas diseminadas en los espacios celestes no se hallan muy separadas unas de otras, y forman, por el contrario, grandes sistemas realmente aglomerados; en los dos fragmentos de las cartas de Proctor, que insertamos, se puede seguir la disposicion que presentan las estrellas y nébulas, las que forman líneas de puntos luminosos, disposicion que no es posible atribuir á la casualidad. La Vía láctea pudiera ser muy bien una reunion de sistemas semejantes, sin que presentase la extension que le asignó Herschel.

Hasta qué extremo deben hacernos modificar nuestras anteriores opiniones en ese asunto estos nuevos trabajos de Proctor, solo se podrá determinar despues de hacer mayor número de observaciones sobre los cúmulos estelarios de diferentes magnitudes; podemos, sin embargo, conceder, que presentan las estrellas una tendencia á reunirse en grupos, mucho mas acentuada de lo que antes se creia.

Sobre esta tendencia dan mucha luz los curiosos resultados obtenidos por Wilson, relativos á las órbitas de algunas estrellas binarias. Halló Struve que el gran

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

movimiento propio comun al par de estrellas 61 del Cisne, famoso por la determinacion de su paralaje, era tan considerable, que no habia posibilidad de dudar de su enlace físico, por mas que no se hubiese percibido la mas ligera desviacion en sus movimientos, producidos por sus atracciones mutuas.

M. Wilson llegó á confirmar recientemente este resultado, examinando la serie completa de las medidas del par, efectuadas desde 1753 á 1874, que no presentan la menor desviacion, pero que parecen indicar que cada una de las estrellas componentes sigue un curso con completa independencia de la otra, pero como acabamos de decir, se mueven demasiado unidas para que pueda creerse que en realidad son independientes. La única conclusion que podemos aceptar es que cada una de ellas describe una órbita inmensa al rededor de su centro comun de gravedad, órbita que puede tener varios grados de diámetro aparente y en la que el tiempo de revolucion se cuenta por millares de años. De aquí á dos mil años se hallarán tan separadas, que no podrá sospecharse que exista entre ellas enlace alguno.

Otro ejemplo de esta clase se sospecha que existe en la estrella doble Cástor ó *alfa Geminorum;* segun M. Wilson, la órbita de esta estrella binaria es aparentemente hiperbólica, lo cual indicaria que entre estas estrellas no hay enlace físico de ninguna especie, pero que al continuar sus rumbos por el espacio podrán llegar á aproximarse tanto, que se encuentren dentro de los límites de sus atracciones mutuas. Si así sucediera, se volverán á separar gradualmente como dos buques que se encuentran en el Océano y siguen luego sus respectivos destinos.

No es posible, empero, aceptar como hecho establecido, la órbita hiperbólica de Wilson, porque es muy difícil en este caso percibir la diferencia que hay entre una órbita elíptica muy abierta y una órbita hiperbólica; el movimiento comun propio es de tal naturaleza, que nos vemos obligados á admitir que ambos cuerpos forman en realidad un sistema, cuyos componentes se separan á gran distancia.

Ahora bien, estos descubrimientos de estrellas binarias que se mueven al rededor de un centro comun de gravitacion, en órbitas de magnitud inmensa, hacen suponer que exista en los cielos un gran número de pares, conglomerados y sistemas de esta clase, cuyos miembros se encuentran tan ampliamente separados que jamás pudo creerse que hubiera entre ellos el menor enlace, y muy posible seria que los grupos dispersos dotados de movimiento propio comun formasen sistemas semejantes.

La exposicion que acabamos de hacer de las opiniones sustentadas por graves y profundos pensadores y astrónomos respecto de la disposicion y estructura del universo visible, presenta un ejemplo de lo que podríamos llamar evolucion del conocimiento científico; de ninguno de los grandes hombres cuyos trabajos hemos analizado, puede decirse que fundaron sus teorías en principios erróneos en absoluto, y ninguno de ellos, sin embargo, llegó á alcanzar la verdad completa; sus tentativas por descubrir el misterio que ante ellos se alzaba, pueden compararse á las de un curioso que tratara de determinar la estructura exacta de un gran edificio que viese á lo léjos y á la escasa luz del crepúsculo matutino; notaria primero este observador, la existencia real de la fábrica y bosquejaria sus líneas externas que tomaria por sus verdaderos contornos; á medida que crece la luz observa que su primer bosquejo apenas se parece á la forma verdadera que presenta ahora el edificio, y por lo tanto modifica su dibujo segun el nuevo aspecto que ofrece á su vista; en su primera tentativa, y con el deseo de pintar en sus propios lugares las columnas, pilastras, ventanas y puertas, tomó los batientes de sombras de las columnas, por ventanas, y otros paños

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

mas iluminados, por puertas, y por columnas, las pilastras. A pesar de estas equivocaciones, puede considerarse que el dibujo es correcto hasta cierto punto, sin que se hallen en él errores demasiado groseros, y las mejoras sucesivas que se van haciendo en el boceto hasta llegar al cuadro definitivo, no consisten en borrar á cada paso progresivo lo que ya se habia dibujado, sino en la correccion y aumento de los detalles.

De carácter análogo son nuestros progresos en el conocimiento de la naturaleza, pero en el caso de que ahora nos ocupamos, es tan grande la distancia, tan escasa la luz y tan limitadas é incompletas nuestras ideas acerca de los principios de que se compone la vasta fábrica, que no pode-



Fig. 407.—Region nebulosa de la Virgen, carta de Proctor

mos pasar de un bosquejo groserísimo de algunas de las líneas principales de contorno; hay algunos caracteres, aunque escasos, que se pueden describir con mediana aproximacion á la verdad, pero en otros es tan vago nuestro conocimiento que solo podemos llegar á un grado mayor ó menor de probabilidad.

Vamos ahora á resumir estos puntos del modo mas concreto que nos sea posible.

1.º—Sin ocuparnos para nada de las nébulas, y limitándonos al sistema estelar, podemos decir con certidumbre moral, que la gran masa de estrellas que compone este sistema se extiende en todos sentidos, en un plano amplísimo que pasa á través de la Vía láctea; en otros términos, la gran mayoría de las estrellas que podemos ver con el telescopio están contenidas en un espacio de la forma de un disco redondo y aplastado, cuyo diámetro es de ocho ó diez veces su espesor. Esta fué la idea de Kant confirmada posteriormente por Herschel y Struve.

En suma, forma la base fundamental de la estructura que supusieron estos observadores, la opinion de Kant de que en esta disposicion hay cierto parecido con el sistema solar en el cual todos los planetas se mueven al rededor de un plano central,

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

está perfectamente fundada. El espacio, pues, en donde hallamos mayor número de estrellas, está limitado por dos planos paralelos que forman las superficies superior é inferior del disco que hemos descrito, situados á muy corta distancia uno de otro, respecto de su extension total; esto es, quizás una octava parte de esta dimension.

2.°—Dentro del espacio que hemos descrito no se hallan repartidas las estrellas con uniformidad, sino que en su mayor parte se hallan agrupadas en cúmulos mas ó menos irregulares, con intersticios comparativamente vacíos; estos grupos no tienen por lo general límites definidos, pues se funden y mezclan unos con otros en gradacion insensible; puede calcularse que el número de estrellas de cada grupo oscila entre dos y muchos miles; las masas mayores están formadas de otras mas pequeñas en diversas proporciones, de un modo análogo á las densas nubes atmosféricas amontonadas unas sobre otras en un dia de verano.

3.°—Nuestro sol, con su séquito de planetas, está situado cerca del centro del espacio mencionado, por manera que vemos casi el mismo número de estrellas en puntos diametralmente opuestos del cielo.

4.°—Las seis ó siete mil estrellas que nos rodean fácilmente visibles á la simple vista se hallan diseminadas por el espacio con cierta uniformidad, con la sola excepcion de algunos cúmulos cuyas estrellas componentes son poco numerosas y se encuentran ampliamente separadas.

5.°—El disco que hemos descrito no representa la forma del sistema estelar, sino únicamente los límites en que se encuentra comprendido; la carencia de fronteras bien determinadas, ora de los cúmulos estelarios, ya del sistema estelar y el número de regiones comparativamente vacías que se observan entre los conglomerados, nos impiden que asignemos una forma mas definida al sistema, que la que pudiéramos dar á una nube de polvo. El espacio amplio y delgado en que las estrellas se encuentran mas apiñadas, puede llamarse, empero, region galáctica.

6.°—A cada lado de la region galáctica se hallan las estrellas mas diseminadas, pero probablemente no se extienden, ni con mucho, á la distancia del diámetro de la zona láctea; es, sin embargo, imposible fijar límite alguno, no solo á causa de nuestra ignorancia acerca de la distancia exacta de las estrellas mas pequeñas que columbramos con nuestros telescopios, sino tambien porque la densidad de las estrellas disminuye muy gradualmente á medida que nos acercamos á los límites.

7.°—A cada lado de la region galáctica y estelar, encontramos una region nebular, en la que no se perciben estrellas, sino un gran número de nebulosas, las que disminuyen á medida que nos aproximamos á la region galáctica y en la cual poquísimas se distinguen.

Hemos expuesto las sublimes ideas de Kant y Lambert, quienes al ver los cuerpos de nuestro sistema solar preparados, por decirlo así, para efectuar sus revoluciones sin cambio permanente durante un período de tiempo indefinido, razonaron por analogía, suponiendo que el universo estelar estaba construido segun el mismo plan general, y que cada estrella tenia su órbita prefijada, en cuyo circuito habia de moverse durante un período ilimitado. No siguieron esta especulacion Herschel y Struve, quienes procediendo segun un plan mas científico, consideraron que era necesario averiguar cómo se hallan ahora las estrellas, antes de tratar de decir la clase de órbitas en que se mueven.

Careciendo como carecemos de un conocimiento exacto respecto de la estructura y extension del sistema estelar, es imposible decir con certidumbre cuál será el estado del sistema despues de un período de millones de años que habrian de transcurrir para que las estrellas efectuaran una revo-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

lucion al rededor de un centro. Pero así como al describir la constitucion del sistema estelar, hemos encontrado ciertos caracteres, que nos han servido para fundar nuestras conclusiones con bastantes visos de probabilidad, de igual manera, en lo respectivo á los movimientos y órbitas de las estrellas, hay algunas proposiciones que podemos sustentar como muy próximas á la certidumbre.

En cuanto á la estabilidad del sistema podemos asegurar en primer término, con gran probabilidad, que las estrellas no forman un sistema estable en el mismo sentido en que aplicamos este vocablo al sistema solar; sistema estable llamamos al que está constituido de tal manera, que el movimiento de las estrellas se efectúa en torno de un centro, en una órbita determinada, volviendo á cada revolucion á su punto de partida, de modo que el sistema en conjunto conservará la misma forma general, iguales dimensiones y disposicion durante las innumerables revoluciones de los cuerpos que lo componen. Es casi indispensable á la existencia de este sistema, el tener un gran cuerpo central, cuya masa ha de ser mucho mayor que la de los cuerpos individuales que giran á su alrededor; pudiera eludirse la necesidad de este cuerpo central, en el supuesto de que las estrellas tuvieran un movimiento regular y cierta disposicion, que no se observan en el sistema solar, segun se nos presenta en la actualidad. La cuestion, pues, se reduce á lo siguiente: ¿hay algunos inmensos centros de atraccion á cuyo alrededor circulan las diversas agrupaciones de estrellas, ó existe acaso algun centro á cuyo alrededor giren todas las estrellas que componen el universo visible?

Con arreglo á nuestros conocimientos actuales estas preguntas hay que contestarlas negativamente; á juzgar por analogía, todo nos induce á creer que si existiesen esas masas centrales, no solo serian mayores que las demás estrellas, sino mucho mas brillantes en igual proporcion; nada nos impide, sin embargo, admitir la existencia de cuerpos oscuros inmensos como suponia Lambert, pero este supuesto es, en verdad, muy improbable; aunque hay como hemos visto, grandes diferencias entre las estrellas en lo respectivo á sus magnitudes, en ninguna se advierte esta preeminencia sobre las demás, que presenta el sol respecto de los planetas que le rodean.

Pero la prueba mas concluyente de que las estrellas no circulan al rededor de ningun centro atractivo determinado, se halla en la variedad é irregularidad de sus movimientos propios, que en otro lugar describimos; hemos demostrado que cuando los movimientos de un gran número de estrellas se toman en conjunto formando un promedio, se nota una preponderancia de movimiento hácia la constelacion de Hércules, que segun se supone se debe al movimiento de nuestro Sol y sus planetas en esa direccion; y que cuando se comparan los movimientos de las estrellas en la misma region, se observa á menudo entre ellos, cierto parecido.

Esta tendencia hácia una ley regular solo afecta á masas muy grandes de estrellas y no implica que tal regularidad exista igualmente en los movimientos de las estrellas individuales, puesto que si así fuera, las veríamos girar en órbitas circulares, de igual manera que giran los planetas al rededor del Sol. El movimiento de cada estrella individual, es por lo comun tan distinto del que ofrecen sus vecinas, que esta sola consideracion basta para rechazar como muy improbable la idea de que estos cuerpos giren en órbitas definidas en torno de grandes centros de atraccion.

El ejemplo mas extraordinario de estas irregularidades de que hablamos, lo ofrecen las estrellas de movimiento propio rapidísimo, que caminan hácia adelante con tal velocidad, que la gravitacion de todas las estrellas conocidas no podria detenerlas hasta que hubieran pasado de los límites

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

del universo visible; en este caso se encuentra la estrella 1,830 del catálogo de Groombridge, que presenta un movimiento propio aparente, superior á los de todas las demás estrellas.

La escrupulosa determinacion de la paralaje de esta estrella parece demostrar que su distancia es tan inmensa, que este ángulo mide tan solo una décima de segundo, esto es, que una línea tirada del Sol á la Tierra y vista desde la estrella, subtenderia un ángulo de una décima de segundo; pero su movimiento aparente, segun se observa en la actualidad, pasa de siete segundos cada año, que viene á ser setenta veces la paralaje, de lo que se deduce que la estrella recorre un espacio setenta veces mayor que la distancia de la Tierra al Sol, en el trascurso de un año. Si, como es probable, el movimiento de la estrella se efectúa en una direccion oblicua á la línea visual, debe ser su velocidad muchísimo mas considerable, pero sin llevar esto en cuenta, vemos que la estrella podria recorrer la distancia que hay de la Tierra al Sol en unos cinco dias, por manera que su velocidad pasa, probablemente, de 80 leguas por segundo.

Para apreciar la significacion de esta enorme velocidad, hemos de advertir que la que puede adquirir un cuerpo celeste al caer sobre un centro de atraccion, es limitada en cada uno de los puntos de su carrera; por ejemplo, un cuerpo que cae en la superficie de la Tierra desde una distancia infinita, y sobre el cual obra exclusivamente la atraccion del globo, solo adquirirá una velocidad de unas 3 leguas escasas por segundo; vice-versa, un cuerpo proyectado desde la Tierra con esta misma velocidad, jamás podria detenerlo en su camino la exclusiva atraccion de la Tierra, si bien la obligaria á describir una órbita elíptica al rededor del Sol.

Si la velocidad pasara de 11 leguas por segundo, tampoco podria detenerlo la misma atraccion del Sol y erraria eternamente por los espacios estelares; mientras mayor sea la distancia al Sol de donde arranque el cuerpo, menor será la velocidad que ha de transportarlo; en la órbita de Urano viene á ser la velocidad necesaria de unas dos leguas por segundo y en la órbita de Neptuno menor aun de esta cantidad: á mitad de la distancia que hay entre el Sol y la estrella *alfa* del Centauro, vendrá á ser de 1,600 metros en doce segundos, esto es, la cuarta parte de la velocidad de una bala de cañon.

Si conociésemos las masas de cada una de las estrellas y su disposicion en el espacio, seria muy fácil comprobar esta velocidad límite para un cuerpo que cayera de una distancia infinita sobre cualquier punto del sistema estelar. Si pasase de este límite el movimiento de una estrella, esto solo demostraria que no pertenecia al universo visible y que se trataba de un astro viajero que caminaba por el espacio infinito con tal velocidad, que las atracciones combinadas de todas las estrellas jamás podrian detenerlo.

Examinemos con mayor atencion el caso de esta errante estrella y veamos qué relacion presenta su velocidad respecto de la atraccion probable de todas las estrellas que existen dentro de los límites á que alcanza el telescopio; el número de estrellas visibles actualmente con los instrumentos mas poderosos, se aproxima á 50 millones; pero para tomar un límite por exceso probable, supondremos que en las regiones ocupadas por las estrellas mas distantes que muestra el telescopio, hay cincuenta millones mas, tan pequeñas, que no podemos verlas y que en totalidad forman cien millones. Supondremos tambien que estas estrellas tienen, por término medio, cinco veces la masa del Sol, y que se hallan diseminadas en un estrato cuyo diámetro solo podria atravesar la luz en un período de treinta mil años.

Por otra parte, un cálculo matemático sobre la fuerza de atraccion que ejerce este

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

sistema de masas, demuestra que un cuerpo que cayera de una distancia infinita hácia el centro del sistema, adquiriria una velocidad de 10 leguas por segundo. Recíprocamente, un cuerpo proyectado desde el centro de este sistema con una velocidad superior á 10 leguas por segundo, no solo lo cruzaria de parte á parte, sino que entraria en el espacio infinito para no volver jamás; si el cuerpo estuviese en otro punto que no fuese el centro del sistema, bastaria con una velocidad menor que la que hemos indicado como límite, que probablemente viene á ser una octava parte de la velocidad de la estrella 1,830 de Groombridge.

La fuerza necesaria para imprimir una velocidad determinada á un cuerpo que cae de una altura cualquiera, es proporcional al cuadrado de la velocidad, esto es, que se necesita una fuerza cuádruple para doblar la velocidad y nueve veces mayor para triplicarla y así sucesivamente, de modo que para que la velocidad fuese ocho veces mayor, seria menester que la masa de atraccion fuese igual á sesenta y cuatro veces la primitiva masa. Luego entonces, si la estrella en cuestion pertenece á nuestro sistema estelar, las masas ó esferas de atraccion de ese sistema han de ser mucho mayores de lo que indican las investigaciones astronómicas y telescópicas.

Podemos plantear el dilema en forma concisa diciendo: ó los cuerpos que componen nuestro universo son inmensamente mas macizos y numerosos de lo que indica el exámen telescópico, ó la estrella 1,830 de Groombridge es un cuerpo fugitivo que recorre una órbita infinita á través del espacio infinito con tal cantidad de movimiento, que la atraccion de todos los cuerpos del universo jamás podrá detener su curso.

Imposible nos seria decidir entre estas dos alternativas, y menos indicar lo que presenta mas visos de probabilidad; que la estrella no puede detenerse ni separarse de su curva hasta que pase el límite extremo á que alcanza el telescopio, puede considerarse como razonablemente cierto; esta evolucion puede exigir para realizarse dos ó tres millones de años. Si en ese momento llegara á ser atraida por fuerzas de que la ciencia no tiene la menor noticia, que hagan que la estrella retroceda á su punto de partida, ó si continuará su camino recto eternamente, es lo que no podemos decir.

El mismo dilema puede aplicarse á la historia anterior del cuerpo; si la velocidad de 80 leguas ó mas por segundo con que camina sobrepuja á la que puede producirse por la atraccion de todos los demás cuerpos del universo, en este caso debe de haber vagado por los espacios *ab-initio*, y procediendo de una distancia infinita, debe pasar ahora á través de nuestro sistema por primera y única vez.

Pudiera preguntarse si en la hipótesis de Lambert de los inmensos cuerpos de atraccion invisibles por su falta de luz, no tendríamos los centros necesarios para dar estabilidad general al sistema estelar y para contener á la estrella de que hablamos en alguna órbita regular.

La respuesta de los astrónomos es negativa.

Para asegurar esa estabilidad debieran moverse casi con velocidad igual las estrellas situadas á una misma distancia de los centros de atraccion; un centro bastante poderoso para contener á un cuerpo que camina con una velocidad de 80 leguas por segundo en una órbita regular, debiera obrar tambien sobre otras muchas estrellas que se mueven con mas lentitud, atrayéndolas á su inmediata vecindad, subvirtiendo así el sistema; por manera que tenemos razones poderosas que no nos permiten admitir la existencia de esos cuerpos inmensos no luminosos, y aun existiendo, no llenarian nuestro objeto.

Como resultado general de nuestra investigacion podemos decir que el universo estelar no presenta ese aspecto de estabilidad invariable que observamos en el sistema solar, y que las estrellas se mueven

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

en cursos irregulares que dependen de su situacion respecto de las estrellas inmediatas, modificándose segun los cambios de situacion que experimentan; si las estrellas carecieran de movimiento, todas se precipitarian hácia el centro comun y el resultado seria la ruina universal; pero los movimientos que en la actualidad presenciamos bastan para impedir que se realice esta catástrofe, suministrando á cada estrella un depósito de fuerza que, por lo general, servirá para evitar que choque con sus vecinas.

Por lo tanto, si alguna estrella cayese hácia un centro tal ó cual de atraccion, la velocidad que adquiriria con su caida la apartaria de nuevo en direccion opuesta, por manera que así pueden continuar estas oscilaciones bajo el influjo de fuerzas variables, por tanto tiempo como dure el universo en su forma actual.

Esta conclusion no será, sin duda, muy del agrado de los entusiastas por las sublimes especulaciones de Kant y Lambert; mientras que á los que piensan que el universo material está construido como para durar eternamente, les parecerá muy improbable. Pero considerando los inmensos períodos que se necesitarian para que la gravitacion mutua de las estrellas efectuara cualquier cambio de importancia en el sistema estelar, bien vemos que esas opiniones no deben acogerse con tanto calor.

Hemos demostrado que serian necesarios miles de miles de años para que se produjese un cambio de importancia en la disposicion de las estrellas que observamos á la simple vista; el tiempo que exigirian todas las que se columbran con el telescopio para reunirse en virtud de sus propias atracciones, habria que contarlo por millones de años. Si el universo ha existido en su estado presente desde la eternidad y debiera existir eternamente, la inmensidad de estos períodos en nada influiria en el asunto, porque un millon de años y un segundo, son cantidades iguales respecto de la eternidad.

Pero la ciencia moderna parece que asigna una duracion finíta á nuestro sistema en su forma actual y nos trasporta á los tiempos en que no existian ni el Sol ni los planetas, sino en estado de gases inflamados. Cuánto hemos de retroceder para llegar á esa fecha, no lo podemos decir con certidumbre, si bien hay astrónomos que aseguran que el período debe contarse por millones de años, pero no por cientos de millones. Indican tambien estos astrónomos que el Sol y las estrellas han de apagarse y que la naturaleza toda se verá envuelta en tinieblas y desolacion, á menos de que algun poder desconocido no restablezca las fuerzas disipadas de los cielos. La época de esta catástrofe no es posible fijarla, pero probablemente no se halla tan lejana como para que el sistema estelar en el entretanto pueda subvertirse por la mutua gravitacion de sus miembros. Los cuerpos que forman nuestro sistema solar pueden ser considerados como ruedas de una máquina, que debieran de efectuar millones de revoluciones antes de pararse; á menos de que haya un equilibrio constante entre las fuerzas opuestas por cuyo influjo se mueven, mucho antes de que la máquina se inutilice, se desarreglará el movimiento. Así, pues, aunque pueda estudiarse la disposicion actual de las estrellas sin referirse para nada á su orígen, sin embargo, cuando tratamos de penetrar en las leyes de sus movimientos y prever los cambios de estados que estos pueden ocasionar, tropezamos con el problema de su duracion, y por consiguiente de su principio y fin.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO II

PORVENIR DEL PLANETA

Hemos visto en las teorías cosmogónicas expuestas anteriormente que la Tierra fué primero un sol y que luego se solidificó formándose en su superficie una corteza, segun dijo el primero Descartes; para las necesidades de la geología basta con esta definicion erigida en principio, sin que haya necesidad de remontarse mas alto, y para trazar la historia de la Tierra basta consultar los archivos del globo y pasar de unos á otros hasta llegar á un período anterior á todo monumento; despues de este período, que pudiéramos llamar cosmogónico, tuvieron principio, en realidad, las edades geológicas, pero ese período tenebroso precisamente, es el que ha tenido el privilegio de excitar el espíritu investigador de los genios poderosos de Buffon, Leibnitz, Descartes, Kant, Laplace y otros. En todo tiempo las teorías cosmogónicas, esto es, las que se relacionan con el nacimiento del mundo, han sido motivo de preocupacion para la humanidad y para los grandes pensadores encargados de iluminarla é instruirla.

Ya hemos visto lo que debemos creer en cuanto á los orígenes de nuestro globo, y habiendo fijado ya ese punto de partida indispensable, trataremos de deducir de él, despues de haber estudiado las edades geológicas, cuál es el porvenir que está reservado á este pobre planeta.

Volvamos á la frase profética de Descartes, de que la Tierra es un sol solidificado en su superficie; hemos visto cómo se ha formado la corteza de este sol, cómo creció poco á poco, efectuándose el trabajo de un modo lento pero continuo, en el curso del tiempo; ahora es fácil calcular, no por años, sino por miles de años ó milenarios geológicos, el tiempo que ha exigido hasta aquí la formacion terrestre, haciendo caso omiso del período cosmogónico. Este período, este espacio de tiempo que por lo comun llamamos infinito, es asequible á nuestras medidas, y por tanto limitado; por manera, que el mundo no es tan viejo como pudiera creerse, y con algunas centenas de millones de años tendríamos bastante para cubrir completamente el período cosmogónico.

Las formaciones geológicas vienen á ser como el calendario de las edades, y los terrenos como las piedras miliarias colocadas en la ruta eterna del tiempo; por el conjunto total de estas formaciones y por el espesor reunido de los cimientos que componen los diversos terrenos, es posible determinar la edad presente del planeta; los minutos de este cronómetro pueden representarse por siglos. Un profesor americano, Dana, calculó que tomando por término de comparacion el período cuaternario, tuvieron que necesitar los fenómenos del período terciario una duracion doble, los del

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

período secundario triple, y por último, los del período primario corresponderian á una duracion catorce veces mayor.

Ahora bien: el tiempo que se puede conceder al período cuaternario, ora se tomen por base las erosiones de los rios en las orillas, ya el espesor de los depósitos diluvianos, el progreso de los antiguos ventisqueros ó las oscilaciones del suelo, es próximamente de doscientos mil años. Partiendo de esta cifra y llevando en cuenta las relaciones establecidas anteriormente, se llega á un total de cuatro millones de años ó cuarenta mil siglos, como duracion de las formaciones que precedieron á la edad contemporánea; de estos cuarenta mil siglos, cuatro mil pertenecen al período terciario, ocho mil al período secundario, ¡y veintiocho mil al período primario.

De este cálculo resulta que el tiempo necesario para la formacion de los sedimentos terrestres es mucho menos considerable de lo que se hubiera creido á primera vista; por lo demás, podemos discutir las cifras anteriores y admitir cien mil siglos en lugar de cuarenta mil, como duracion completa de todos los fenómenos geológicos; pero no es este el punto de la dificultad, puesto que el hombre no es el que ha arreglado el cronómetro de las edades terrestres, y aunque no se perciba el movimiento de las agujas, no es posible negar las duraciones relativas de cada período, y en este concepto son por todo extremo interesantes las consecuencias del cálculo.

Vemos, primero, que la duracion de las formaciones geológicas ha venido disminuyendo de un modo continuo desde los tiempos primitivos hasta la edad contemporánea; por consiguiente, estamos autorizados para decir que el desarrollo y crecimiento del planeta ha transcurrido ya, y que habiendo pasado nuestro globo por los períodos de su juventud y de su edad viril, ha llegado realmente á su vejez, por mas que su existencia no pase de cuarenta y dos mil siglos.

De la vejez á la decrepitud no es grande la distancia, y de la decrepitud á la muerte es mas corto aun el paso; el porvenir del planeta no es, pues, muy halagüeño; considerado bajo el punto de vista y en relacion con la suerte reservada á la especie humana, las leyendas de casi todos los pueblos dictadas como por un espíritu de intuicion infalible, preven el fin del hombre y del mundo, y en este sentido la tradicion y la ciencia se dan la mano, de igual manera que en la relacion de los fenómenos diluviales y desaparicion de ciertos animales.

Pero, ¿cómo terminará el globo terrestre? ¿Se detendrá en el hombre la serie geológica? ¿Será este como con tanta soberbia proclama, el último sér nacido, el rey de la creacion, el fin y objeto predilecto de la naturaleza, ó despues que el hombre desaparezca á consecuencia de algun gran cataclismo en el que se extirpe todo el género humano, se presentará un sér mas perfecto inaugurando la era de un nuevo período geológico? Este sér presentido ó adivinado por las religiones al hablar de esos espíritus para los que no pasan ni el tiempo ni el espacio, ¿llegará á sentar su planta en el globo, dotado de nuevo relieve, con una atmósfera mas pura y con una fauna y una flora mas perfectas y menos nocivas?

Si nos atenemos á las previsiones de la geología, hay que contestar afirmativamente, y un dia desaparecerá este hombre cruel y sanguinario para ser reemplazado por otra criatura mas perfecta y generosa; para este sér dotado de gran superioridad física y moral, será fácil la resolucion de los grandes problemas de la filosofía y los misterios de la naturaleza se presentarán á su vista como procesos lógicos de comprension sencillísima.

Pero, ¿y despues de este sér que apenas discernimos, vendrá otro mas perfecto aun en el cual se encarnará en mayor proporcion esta esencia divina, este *nescio quid*

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

divinum, de que participan todos los séres por ínfimos que parezcan, y entre los que descuellan el hombre y la hormiga? La materia no perece, y si nada se crea, nada tampoco se aniquila, y si ningun átomo de materia desaparece del mundo físico, con tanto mayor motivo no podrá abandonar el mundo animado la mas pequeña partícula de vida.

La suma total de vida que hay en el globo permanece constante, y tan solo su forma puede variar con el tiempo y revestir aspectos distintos mas complicados y perfectos. Este es el nudo del problema, y como no hay nada que parezca indicar que el ciclo de los períodos geológicos ha concluido, llegará un dia en que el hombre desaparecerá para irse á reunir con los séres que le precedieron y será reemplazado por otras especies superiores; pero todas estas modificaciones y trasmutaciones de la vida no bastarán á impedir que el mundo tenga fin; el mundo nació, el mundo morirá, dice el poeta; y este fin que la ciencia considera hoy dia como cierto, señalará la última fase del porvenir del planeta, sobre la cual vamos á detenernos un instante.

Como ya tuvimos ocasion de apuntar ligeramente al tratar de los cometas, se atribuyó á estos cuerpos extraños la facultad de poder chocar con la Tierra, y reducir á polvo nuestro mísero planeta; estos absurdos terrores de la Edad media se repitieron en nuestro siglo, y en 1816 corrió como muy válido el rumor de que el fin del mundo se hallaba próximo, y hasta se fijaba la fecha del fatal acontecimiento, que habia de ocurrir precisamente el 18 de julio; pocos dias despues apareció en un periódico de Paris un artículo satírico de Hoffmann en el que este crítico se burlaba en los términos siguientes de la hipótesis del choque de la Tierra con un cometa.

«Un gran geómetra (Laplace), que ha expuesto con toda perfeccion el sistema del mundo, y cuya obra hace ley, ha tenido la bondad de tranquilizarnos respecto de los atrevidos cometas de Lalande, sin llegar, empero, á infundirnos una confianza absoluta, segun podrá juzgar el lector por el párrafo siguiente que vamos á copiar literalmente.

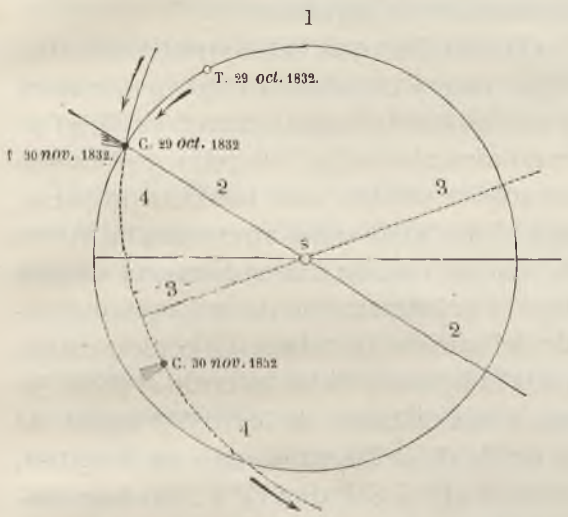
«La escasa probabilidad de tal encuen»tro puede llegar á ser muy grande, acumu»lándose durante una larga serie de siglos.» Ahora bien: hace ya muchos siglos que ningun cometa ha tropezado con nuestro globo, y como la probabilidad de este desastre crece con el tiempo, segun dice nuestro gran geómetra, me parece que seria muy prudente el ir pensando en arreglar nuestros asuntos, pues en dos ó tres mil años, á mas tardar, veremos una nueva representacion de esta gran tragedia.»

Pasó este terror por el momento, pero las ideas supersticiosas no se destierran tan fácilmente y con auxilio de la ignorancia que aun todavía existe respecto de la astronomía, aparecen de vez en cuando estos mismos temores de los cometas, tan profundos en la Edad media en todas las clases de la sociedad; hay, sin embargo, una diferencia esencial entre las creencias supersticiosas de otros tiempos y la credulidad, por desgracia muy frecuente, de nuestros dias, respecto de los cometas, pues antes la aparicion de un cometa pasaba por una especie de suceso sobrenatural, por un aviso del cielo y las consecuencias funestas del paso del terrible astro eran otros tantos decretos de la Providencia sin relaciones directas, mecánicas ó físicas, con el mismo astro.

En nuestros dias nace el temor de que el encuentro fortuito de un cometa con la Tierra, es un fenómeno posible en el órden natural; así, pues, un anuncio científico mal interpretado dió orígen en 1773 á terrores quiméricos, que fácilmente se propagaron en el vulgo ignorante, tan dispuesto á aceptar siempre los mayores absurdos que mas se avienen con sus creencias místicas. En apoyo de nuestra opinion vamos á citar dos ejemplos.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

El primero lo hallamos en el cometa de seis años y tres cuartos ó de Biela, cuyo paso se predijo astronómicamente para el año 1832; acababa Olbers de publicar los elementos y efemérides del cometa descubierto por Biela en 1826, y cuyo regreso para el otoño de 1832 habia sido calculado por Damoiseau; el 29 de octubre, antes de media noche, debia pasar por su nodo el nue-



1: Orbita de la Tierra.
2: Linea de los nodos.
3: Eje de la órbita.
4: Orbita del cometa

Fig. 409.—Orbitas de la Tierra y del cometa de Biela en 1832; posiciones relativas de ambos astros

vo cometa, es decir, que debia cortar el plano de la órbita terrestre en un punto situado un poco hácia adentro de esta curva; la distancia del nodo á la órbita no pasaba de 4,66 radios de nuestro globo; cuatro radios y dos tercios vienen á ser unas 7430 leguas, de modo que por escasas que fueran las dimensiones del núcleo y de la cabellera, habia motivo para creer que la órbita terrestre fuese cortada por la nebulosidad cometaria en la noche del 29 de octubre, pues segun las observaciones de Olbers en 1805, las dimensiones del cometa pasaban de cinco radios terrestres.

No era preciso mas para que informado el público de estos detalles se propagase rápidamente la noticia de que pronto iba á ocurrir un choque entre la Tierra y un cometa, y nuestro globo habria de saltar hecho pedazos en colision tan terrible. Los aficionados á las noticias de sensacion olvidaron un punto importante, y de este cabo suelto se apoderó Arago para publicar un artículo que calmara la ansiedad del público; despues de afirmar que en efecto, el 29 de octubre una parte de la órbita de la Tierra se hallaria comprendida en la nebulosidad del cometa, dice así el ilustre astrónomo:

«Solo tenemos ahora que resolver un punto esencial: en el momento en que el cometa esté tan cerca de nuestra órbita que su nebulosidad envuelva algunas de sus partes, ¿en dónde se encontrará la Tierra?

»Ya he dicho que el paso del cometa á muy corta distancia de *cierto punto* de la órbita terrestre, tendrá lugar el 29 de octubre antes de media noche, pero la Tierra no llegará á ese punto hasta el 30 de noviembre por la mañana, esto es, un mes despues. Basta recordar ahora que la velocidad media de la Tierra en su órbita es de 674000 leguas diarias y un cálculo sencillísimo demuestra que el cometa de 6 años y $^3/_4$, á lo menos en su aparicion de 1832, se hallará siempre á mas de 20 millones de leguas de la Tierra!»

Bien hizo Arago en limitar sus avisos tranquilizadores á la aparicion de 1832, pues este mismo cometa vino, si no á chocar, pues nadie se ha apercibido de este encuentro, á rozar al menos la superficie de la Tierra cuarenta años despues.

Es muy difícil, segun resulta de los cálculos de los astrónomos, que nuestro globo llegue á chocar con el núcleo de un cometa; pero dada la enorme extension de sus colas y envolturas, es mucho mas probable que la Tierra pudiera llegar á pasar á través de las inmensas nebulosidades que constituyen los apéndices cometarios; al propio tiempo seria muy inverosímil considerar las masas de estas nebulosidades como dotadas de valor apreciable. Sean las

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

que quiera las ideas que se tengan acerca de su naturaleza, y ya se les considere con Cardano y aun otros astrónomos de nuestro siglo, como simples efectos de óptica sin realidad material, ó como las porciones mas tenues de la atmósfera del cometa proyectadas por una fuerza repulsiva cualquiera, es indudable que solo tendremos que ocuparnos de unas cantidades de materia en extremo raras y de densidad escasísima, y aunque no es posible que una materia tan tenue pueda chocar ni producir efecto mecánico de ninguna clase sobre la Tierra, no es tan evidente que la sustancia de las colas no llegue á producir modificaciones sensibles en la atmósfera de nuestro globo.

Antes de examinar lo que ocurriria si la Tierra atravesase la cola de un cometa, parece natural averiguar primero si no ha ocurrido nunca un suceso de esta especie; y segun la opinion de varios astrónomos contemporáneos, nuestro globo se halló efectivamente el 30 de junio de 1861, envuelto por algun tiempo en la nebulosidad que formaba la cola mayor del gran cometa de este año. M. Valz al publicar los elementos del cometa, agrega: «Resulta que habiendo pasado el cometa por su nodo el 28 de junio á la distancia 0,132 de la órbita de la Tierra, la que se encontraba unos 2° mas hácia adelante del nodo, tuvo que hallarse comprendida en la cola acostada sobre el plano de la eclíptica.»

Otro astrónomo del Observatorio de Paris, M. Loeroy, dijo tambien que era muy probable que la Tierra hubiese tocado la cola del cometa hácia el 28 de junio; pero Pape, astrónomo de Berlin, era de contraria opinion y segun sus cálculos habia un millon de leguas de intervalo entre la cola del cometa y nuestra atmósfera; Valz atribuye la discrepancia á que el astrónomo aleman solo asigna 3° á la anchura aparente de la cola mientras que él la halló de 6° y el P. Secchi de 8. Al presentar Le Verrier los elementos calculados por Loeroy é Hind agregaba: ¿Ha pasado la Tierra á través de la cola del cometa? Esta pregunta, tan sencilla en la apariencia, es en el fondo muy complexa; los cálculos son muy complicados y faltan datos para resolverlos con certidumbre.»

El venerable astrónomo inglés Hind opinaba por la afirmativa y dirigió al periódico «The Times» una larga carta de la que extractamos lo siguiente:

«Permitidme que llame vuestra atencion sobre una circunstancia relativa al cometa y que no tuve presente cuando os dirigí mi comunicacion fecha 3 de julio; parece que no solo es posible, sino tambien probable, que el dia 30 de junio atravesara la Tierra la cola del cometa á una distancia de dos tercios próximamente de su longitud á partir del núcleo. La cabeza del cometa estaba en la eclíptica á 6h de la tarde el 28 de junio á una distancia de 5.470,000 leguas de la órbita de la Tierra, siendo su longitud, visto desde el Sol, de 279° 1'. En este momento se encontraba la Tierra á 2° 4' detrás de este punto, al cual debió llegar poco despues de las diez el domingo último. Rara vez forma la cola de un cometa la prolongacion exacta del radio vector ó línea que une el núcleo con el Sol, y en su extremidad describe casi siempre una curva.

»Segun el grado de curvatura observado el 30 y la direccion de la órbita del cometa, me parece que la Tierra hubo de encontrar probablemente la cola del astro en la mañana de este dia, ó tal vez se halló en una region recorrida momentos antes por la sustancia cometaria.»

El astrónomo Liais observó el mismo cometa en el Brasil y es mas afirmativo en sus conclusiones; funda su asercion en sus propias observaciones antes y despues del paso respecto del ancho y direccion de la cola del cometa y tambien sobre los elementos de la órbita calculados por Seeling; no podemos entrar en estos detalles algo complicados, pero daremos á conocer sus resultados principales.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

No solo llegó á penetrar la Tierra en la cola del cometa, sino tambien la Luna, el 30 de junio por la mañana, y á 6^h 12^m del mismo dia, se hallaba nuestro globo sumergido en el apéndice cometario á una profundidad de 110,000 leguas.

Ahora bien, admitiendo como un hecho positivo el paso de nuestro planeta á través de la cola del cometa de 1861, ¿llegaron á observarse algunos fenómenos particulares que pudieran atribuirse á este encuentro singular? Para responder á esta pregunta nos limitaremos á exponer las observaciones siguientes.

Decia M. Hind, en la misma carta que antes copiamos: «Puedo agregar que el domingo último, cuando tan perfectamente se veia el cometa en la region boreal del cielo, se produjo una fosforescencia ó iluminacion de la bóveda azulada que atribuí á una aurora boreal; esta fosforescencia inusitada la observaron tambien otras personas, y considerando cuán corta es la distancia que nos separaba del cometa esa noche, tal vez sea un punto de investigacion interesante el averiguar qué efecto pudiera atribuirse á nuestra proximidad á las regiones en que se hallaba el cometa. Si esta iluminacion del cielo hubiera sido observada en toda la Tierra, revestiria el hecho un carácter muy significativo.»

El 30 de junio otro astrónomo inglés, M. Lowe, observó un resplandor extraño de tono amarillo y fosforescente, que hubiera tomado por una aurora boreal, á no ser por la intensidad que conservaba la luz del crepúsculo.

Vemos, pues, que el influjo de los cometas sobre la Tierra es bien escaso y que difícilmente puede achacárseles la destruccion ó fin de nuestro planeta. Estudiemos ahora esta otra hipótesis.

La nébula que en cierta fecha se desprendió del Sol, abandonó en su camino á la Luna; esta, satélite rezagado pero fiel, giró al rededor de la Tierra, como nosotros circulamos en torno del Sol, y pasó por las mismas edades geológicas que el planeta de donde se desprendió; pero como su volúmen era inferior, efectuó sus revoluciones en mucho menos tiempo.

Hoy dia carece la Luna de aire y de agua; la vida la ha abandonado y árida y glacial pasea por el firmamento su disco desierto, iluminando las noches de la Tierra á la que envia, como compañera generosa y bienhechora, todos los rayos que recibe del Sol.

¿No parece que el porvenir reservado á nuestro globo ha de ser semejante al de la Luna? Llegará un dia, dentro de mucho tiempo, pero al fin llegará, en que desaparecerán de la superficie terrestre el agua y el aire; los químicos se han ocupado ya en calcular que las rocas absorben diariamente cantidades importantes de agua y de aire. De otro lado, si se compara el lecho y régimen de los rios segun se encontraban al comenzar el período cuaternario con el que presentan hoy dia, se observa con asombro el volúmen enorme de las aguas corrientes de otro tiempo y el pequeñísimo caudal que arrastran ahora entre sus estrechas riberas.

Del propio modo, tampoco admite comparacion la vegetacion de los tiempos modernos con la de las pasadas épocas geológicas; serian menester hoy dia millares de siglos para que se pudiera formar la mas tenue capa de hulla; en las edades antediluvianas, pero sobre todo durante la época hullera, exigian los depósitos de combustible mucho menos tiempo, y esto consistia en que el aire, como ya vimos, tenia entonces una composicion distinta y era mucho mas rico que hoy en oxígeno, en vapor de agua y en ácido carbónico, elementos todos en extremo favorables á la vegetacion.

La diminucion sucesiva del agua, la lenta modificacion del aire, la absorcion por causas diversas del líquido y el gas indispensable á la vida, llevarán poco á poco á la Tierra al estado de la Luna y ese dia, convertida en astro errante como su satéli-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

te, paseará asimismo por el cielo su disco despoblado. Los tres estados de sol ó planeta ígneo, de tierra ó planeta habitado y de luna ó planeta desierto, ¿no forman, por decirlo así, las tres metamorfósis por que deben pasar sucesivamente todos los astros planetarios?

Esta es una teoría geológica, pero los astrónomos son aun mas precisos, y calculan por la diminucion secular de la rotacion terrestre, que algun dia se detendrá el globo y que poco antes un período glacial mucho mas importante que todos los anteriores, hará que desaparezca la vida de la superficie del planeta.

Pero detengámonos un momento para examinar la hipótesis del enfriamiento secular de la Tierra.

Presenta nuestro planeta un ejemplo notable de enfriamiento ó pérdida progresiva de calor, inferior al Sol únicamente; segun hemos demostrado antes, el interior de la Tierra está á una temperatura mas elevada que la parte externa y esta misma diferencia debe hacer que pase el calor de las regiones mas calientes á las mas frias; para que pueda observarse este fenómeno, es necesario que en la parte interna haya un gran depósito de calor.

Sea la que quiera la opinion que se tenga formada de la cuestion de la fluidez de la Tierra, hay que admitir que en sus primeros tiempos poseyó una temperatura mas elevada de la que ofrece ahora; puede ponerse como ejemplo, el caso de una piedra caldeada y que se hallase en medio de un campo, pues cualquier físico podria afirmar que la piedra se habia puesto al fuego, y le seria posible calcular tambien el tiempo transcurrido desde que se apartó. Respecto al orígen del calor, dos son las hipótesis mas aceptadas; una de ellas, fundada en la teoría nebular, dice que la Tierra se condensó en su orígen como una masa fundida y que no se ha enfriado del todo, y la otra sostiene que nuestro planeta recibe su calor de alguna fuente externa; esta era asimismo la creencia de Poisson que explicaba el aumento de temperatura suponiendo que el sistema solar pasó en algun período primitivo á través de una region del espacio mas cálida que la que va recorriendo en la actualidad.

Esta opinion es en la época presente por completo insostenible, por varias razones poderosas. El espacio en sí mismo no es cálido y la Tierra hubo de obtener su calor por pasar muy cerca de un cuerpo caliente; una estrella que pasara tan cerca de la Tierra que pudiera caldearla, hubiera perturbado totalmente las órbitas planetarias por su atraccion, y destruido la vida en la superficie del globo por su calor.

Así, pues, remontándonos en el estudio del calor de la Tierra, llegamos á los tiempos en que su temperatura era la del blanco; mas atrás la vemos envuelta en la atmósfera ardiente del Sol y antes aun la contemplamos como un vapor incandescente. Respecto al tiempo necesario para su enfriamiento, no podemos hacer cálculos muy exactos, pues nos faltan muchos argumentos; debido á la solidez de la última costra de la Tierra, el calor que pierde no se halla en proporcion conocida con la temperatura interior, y si pudiéramos calcular por cuánto tiempo ha irradiado la Tierra calor en la proporcion que ahora, llegaríamos á contar el período por cientos ó miles de millones de años. El punto de la dificultad estriba en el hecho de que cuando se formó una corteza sólida sobre la Tierra fundida, tuvo lugar un cambio repentino en la progresion del proceso de enfriamiento; durante todo el tiempo que el globo continuó derretido se establecieron unas corrientes constantes entre su superficie y el interior, sumergiéndose constantemente las porciones superficiales que eran reemplazadas por nueva materia cálida que ascendia del interior.

Pero una vez formada la corteza sólida y continua, solo pudo llegar el calor á la superficie á través de la costra, y por mas que

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

esta no tuviese sino unos cuantos metros de grueso, haria el efecto de una pantalla impidiendo la completa dispersion del calor; á medida que la corteza se enfriaba se verificarian enormes erupciones de materia derretida procedente del interior, que rápidamente perderia su calor contribuyendo así á aumentar el espesor de la costra precedente.

No debemos de perder de vista un hecho que en parte asemeja la Tierra al Sol, esto es, que la mayor parte del calor que pierde la Tierra por irradiacion se renueva por su contraccion: es verdad que su temperatura debe bajar alguna cosa, pero por cada grado que pierda la Tierra por irradiacion, puede asegurarse que ganará ciento por contraccion; considerando la Tierra exclusivamente, es difícil marcar un límite exacto al tiempo que ha durado el enfriamiento desde que se formó la primera costra.

El cambio repentino producido en la irradiacion de un cuerpo derretido por la formacion de una costra sólida sobre su superficie puede darnos alguna idea acerca de la terminacion probable del poder calorífico del Sol; si este astro llegase á enfriarse tanto que su superficie se solidificara, cesaria rápidamente de irradiar el calor necesario para conservar la vida en nuestro globo; en su estado actual de irradiacion, llegará el Sol á tener la densidad de la Tierra dentro de unos doce millones de años, y mucho antes de esa fecha podria formarse la costra permanente que indicamos.

La teoría cósmica general que ya estudiamos, explica la supuesta constitucion física de Júpiter, de que hablamos al ocuparnos de este planeta; en la hipótesis nebular, como vimos, no difieren gran cosa las edades de los planetas, y los mas pequeños, por consiguiente, se enfriarian antes que los mayores; es muy posible que debido á las grandes masas de Júpiter y Saturno, la progresion de su enfriamiento haya sido tan lenta que todavía tenga que pasar algun tiempo antes de que se forme en su superficie una corteza sólida. En este caso aparecerian luminosos por sí mismos á no impedirlo las inmensas atmósferas que los rodean, llenas de nubes y vapores, que detienen una gran parte del calor interno, prolongando por tal medio el proceso de enfriamiento.

De lo que hemos dicho parece resultar, que las amplias inducciones de la ciencia moderna, concuerdan con las especulaciones de los espíritus pensadores de los tiempos pasados, y que la creacion del universo material, mas que como un acto, se nos presenta como un proceso natural que comenzó cuando el universo era una masa de vapor ígneo que llenaba los espacios estelares; aun prosigue su curso inevitable y terminará cuando el sol y las estrellas se reduzcan á masas frias y oscuras de materia muerta.

El atento lector deseará saber á la altura á que hemos llegado, si esta opinion cosmogónica puede recibirse como un hecho científico demostrado, ó si solo es un resultado mas ó menos probable que la ciencia indica, pero de cuya validez no sale garante; esto último, á nuestro juicio, es lo mas acertado, pues todas las conclusiones se apoyan necesariamente en el postulado de que las leyes de la naturaleza no pueden modificarse y que en sus operaciones jamás intervinieron poderes sobrenaturales; esto es, poderes ó causas distintas de las que ahora conocemos y que obrasen de diverso modo.

El exámen de la exactitud de este postulado, mas pertenece al dominio de la filosofía que al de la ciencia astronómica, y todo lo que podemos decir en su favor es que, por regla general, mientras mejor se comprende, mas difícil se hace dudar de su probabilidad; y cuanto podemos decir en favor de la hipótesis nebular se reduce á considerar que las operaciones de la naturaleza, en su sentido mas amplio y cuando las estudiamos investigando sus oríge-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

nes, parecen llevarnos al mismo principio de la inmutabilidad de las eternas leyes de la materia.

Triste, pues, es el fin que se prepara á nuestro globo sin que esté en nuestras manos el evitarlo; pero de los anuncios científicos podemos deducir una moral; la de no considerar al hombre mas grande de lo que es; su vida apenas llega á un segundo en comparacion con el mas insignificante de los fenómenos geológicos, lo que no fué parte para impedir que en su necio orgullo se proclamase rey de la creacion y creyese que el mundo entero se habia hecho para él!

La ciencia le ha marcado su humilde puesto entre los demás séres y ha rebajado tambien la categoría de este miserable globo que nos sustenta; la casa y el inquilino perecerán y la ciencia puede decir con el Ecclesiastes: *acuérdate, hombre, de que eres polvo y en polvo has de convertirte.*

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

CAPÍTULO III

LA PLURALIDAD DE LOS MUNDOS HABITADOS

Extrañará al lector que hayamos dejado tan poco espacio para tratar del asunto que sirve de epígrafe á este capítulo, cuando tantas páginas y aun obras completas andan por ahí dedicadas al estudio de este problema pavoroso para algunos espíritus tímidos: la pluralidad de los mundos habitados. Mas, para obrar así, nos ha guiado el principio de que en una obra científica, siquiera popular, no debe darse acogida sino á los hechos comprobados ó á las inducciones fundadas en la observacion y el experimento, y á la verdad, le falta mucho todavía á la hipótesis de la habitabilidad de los planetas para reunir estas condiciones.

Cuando consideramos los planetas como mundos semejantes al nuestro y las estrellas como soles, acompañada cada una de ellas de su cortejo de satélites, se ocurre naturalmente la idea de que pueda haber otros planetas además de la Tierra que sean mansion de séres inteligentes. El averiguar si por regla general hay otros planetas de esta suerte poblados, es en extremo interesante, no solo por lo que se relaciona con el puesto que ocupamos en la creacion, sino tambien porque nos demostraria la mayor grandeza del universo; creen muchos pensadores que el descubrimiento de la vida en los otros mundos seria la conquista mas grande que pudiera realizar el telescopio. Hasta ahora no poseemos ningun indicio positivo que nos permita afirmar que hay vida en los otros mundos, y la esperanza de descubrirla es tan remota, que este asunto ha dejado de ocupar la atencion de los astrónomos formales; tan solo algunos soñadores se empeñan en defender esas ideas que tan bien se amoldan con sus fantásticas concepciones acerca del alma y del destino futuro de la criatura.

El espíritu de la ciencia moderna es absolutamente contrario á las especulaciones ó problemas cuya resolucion no puede alcanzarse con demostraciones verdaderamente científicas, y la contestacion unánime de los astrónomos respecto de las preguntas sobre la vida en los demás mundos, se reduce á afirmar que en este asunto no saben ni una sola palabra, y que careciendo de datos para formular una opinion se abstienen de emitirla. No obstante, y á pesar de esto, hay muchos que especulan sobre el asunto, y si bien la ciencia no puede darnos una respuesta categórica, sirve al menos para guiarnos en nuestras teorías limitándolas á sus términos convenientes. No estará de mas, por lo tanto, el demostrar hasta qué punto concuerdan la especulacion y la generalizacion de la ciencia.

Primeramente vemos que al rededor del Sol se mueven ocho grandes planetas en

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

cuyo número entra el que nos sirve de morada; el telescopio nos muestra otros soles, y en tal cantidad, que contarlos es imposible, pues su número se eleva, sin duda alguna, á muchos millones.

¿Serán esos soles, como el nuestro, centros de sistemas planetarios? Si pudiéramos llegar á construir telescopios de tanto alcance que nos mostrasen esos planetas situados á las inmensas distancias de las estrellas fijas, quedaria en el mismo punto resuelta la cuestion, pero todos los planetas de nuestro sistema desaparecerian de nuestra vista aun ayudada por los telescopios mas poderosos que es posible imaginar, á una distancia muchísimo menor que la que nos separa de la mas próxima de las estrellas fijas; de modo que la observacion ocular no nos da, en el caso presente, los informes que necesitamos.

Hemos de acudir, pues, á consideraciones cosmológicas, y estas pueden llevarnos á la conclusion de que si todo el universo se produjo por la condensacion de una masa nebulosa, la misma causa que originó los planetas que rodean al Sol, pudo producir igual efecto en los demás soles. Pero ya demostramos que la simetría de forma y disposicion que se observa en nuestro sistema, no es fácil que se encuentre en la condensacion de masas tan irregulares como la gran mayoría de las nébulas, las que mas bien siguen, por regla general, las órbitas irregulares de las estrellas binarias, por manera que en esos mundos lejanos giran los planetas, probablemente, en órbitas circulares.

Además aun admitiendo la existencia de los planetas en número infinito, ¿qué pruebas tenemos de su habitabilidad? Hay un planeta, sin contar el nuestro, que es la Luna y en la cual nos basta el telescopio para decidir la cuestion; este cuerpo carece de aire y de agua y por consecuencia es impropio para el desarrollo y conservacion de la vida orgánica; las especulaciones de algunos ilusos que suponen la habitabilidad del otro hemisferio del satélite, solo pueden calificarse de esfuerzos de imaginacion, pero esfuerzos extraviados.

Los planetas primarios están á una distancia demasiado considerable para que podamos formar un juicio acertado sobre la naturaleza de sus superficies, y lo poco que de ellos columbramos parece indicar que su constitucion es en extremo diversa. Marte presenta con la Tierra muchos puntos de semejanza y es, por lo tanto, el planeta que con mayor fundamento podemos suponer habitado.

Casi todos los demás cuerpos dan muestras de hallarse rodeados por atmósferas inmensas de nubes y vapores, por las que no puede penetrar la vista, de modo que no tenemos medios de averiguar lo que hay debajo de esas nubes. En conjunto, podemos considerar que las probabilidades son contrarias á la idea de que una porcion considerable de los cuerpos celestes se hallen dispuestos para servir de habitacion á animales semejantes á los que pueblan la Tierra, y que el número de los que reunen las condiciones necesarias para producir y conservar la civilizacion es limitadísimo, en comparacion con la totalidad.

Esta conclusion se funda en el supuesto de que las condiciones de la vida son iguales en los demás mundos y en el nuestro, lo cual puede negarse porque no somos nosotros, ciertamente, los que hemos de poner límites al poder creador de la naturaleza, ni hemos de señalar tampoco las condiciones en que puede desarrollarse la vida respecto de los medios que la rodeen, puesto que la inmensa escala de adaptacion de nuestro globo, en el que viven animales en unos puntos en que otros moririan inmediatamente, hace que flaqueen por su base todas las hipótesis fundadas en la imposibilidad de que nuestros animales terrestres vivieran en los planetas.

El único camino científico que podemos seguir en este punto, se reduce á examinar si hay en la Tierra límite alguno á la adap-

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

tabilidad; una ligerísima inspeccion demuestra, que así como no existe límite bien definido que marque dónde concluye ó dónde empieza la vida, las formas superiores de la vida animal, por otra parte, distan mucho de existir de igual manera en todo género de condiciones, pues estas se restringen mas á medida que crece la supeiroridad del tipo.

Sabemos muy bien que no hay ningun animal que dé muestras de inteligencia por pequeña que esta sea, que pueda desarrollarse sino por el influjo combinado del aire y el agua y entre ciertos límites de temperatura bastante estrechos; que en las profundidades del océano solo se desarrollan unas formas de vida de nivel intelectual muy bajo; que no hay poder de adaptacion bastante enérgico en la naturaleza de nuestro globo que permita al hombre conservar un grado superior de inteligencia ó vigor físico, en las regiones polares, y que los calores de la zona tórrida tambien imponen ciertas restricciones al desarrollo de nuestra raza, de todo lo cual podemos deducir, que si en la superficie de nuestro globo ocurrieran grandes cambios, si se enfriase hasta bajar á la temperatura de los polos ó se elevase hasta la del ecuador, ó se cubriese de agua gradualmente, ó perdiese su atmósfera, las formas animales mas elevadas que existen ahora no podrian adaptarse á ese nuevo estado de cosas y el tipo animal descenderia, si no quedaba del todo destruido.

No tenemos la menor razon que nos autorice á creer que puedan vivir bajo las aguas animales mas inteligentes que el pez, ni en las tristes é inhospitalarias comarcas polares séres dotados de inteligencia superior á la del esquimal. Si aplicamos estos principios al asunto de que nos estamos ocupando, llegamos á la conclusion de que en vista de la inmensa diversidad de condiciones que existen probablemente en el universo, tan solo habria unos cuantos parajes favorecidos en los que seria posible hallar algun desarrollo interesante de la vida.

Otro género de consideraciones análogas nos lleva, asimismo, á igual conclusion; algunos escritores entusiastas se complacen no solo en poblar de habitantes los planetas, sino que llegan á calcular su número por las leguas cuadradas que presentan esos globos, y lo que es mas grave, entre estos habitantes distribuyen por los continentes una buena cantidad de astrónomos, armados, como es consiguiente, de telescopios mejores que los nuestros, con los que espian cuanto pasa en esta pequeña bola de fango. Que esto es imposible, seria presuncion negarlo, pero que es en extremo improbable, á lo menos en el caso de los planetas, puede verse, considerando la corta fecha que cuenta la civilizacion de nuestro globo, en comparacion con la existencia del mismo globo como planeta.

La Tierra hace que gira en su órbita diez millones de años; el hombre existe en su forma actual hace á lo menos diez mil años; la civilizacion cuenta cuatro mil y desde que se inventó el anteojo han trascurrido doscientos.

Si por acaso hubiese venido á visitarnos algun ángel con intervalos de diez mil años, en busca de séres inteligentes, bien seguro es que se hubiera vuelto otras mil veces completamente desengañado y en la firme creencia de que nuestro globo estaba deshabitado.

Razonando por analogía, podríamos suponer que el individuo que pasara de un planeta á otro y de sistema en sistema buscando séres inteligentes, experimentaria un desengaño análogo, pues solo los hallaria despues de examinar muchos miles de planetas.

Parece, por consiguiente, en cuanto podemos razonar por analogía, que las probabilidades son favorables á que únicamente una fraccion muy pequeña de los planetas se hallen poblados por séres inteligentes; pero cuando reflexionamos que el número

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

posible de planetas se cuenta por cientos de millones, esta pequeña fraccion puede, en realidad, ser muy grande, y en su número infinito contarse muchos de ellos que estén poblados por séres muy superiores á nosotros en la escala intelectual. En este punto podemos dar rienda suelta á nuestra imaginacion, con la certidumbre moral de que la ciencia por ahora, ni ha de alentarnos en nuestras especulaciones, ni debe rechazar en absoluto los atrevidos ensueños de algunos escritores.

FIN

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

APÉNDICES

I

LISTA DE LAS NÉBULAS Y CÚMULOS ESTELARES MAS NOTABLES

	Ascension recta	Declinacion
Cúmulo 47 Tucani. . . .	0 h 19 m	72° 45′ S
Gran nébula Andromedæ. .	0 36	40 37 N
Nébula.	0 42	25 57 S
»	3 29	36 32 S
» variable de Tempel .	3 39	23 23 N
» » de Hind .	4 15	19 14 N
Cúmulo globular. . . .	5 9	68 55 S
» »	5 10	40 11 S
Gran nébula de Orion . . .	5 29	5 29 S
Nébula variable de Chacornac	5 30	21 8 N
» de *epsilon* Orionis. .	5 30	1 17 S
»	5 39	69 10 S
» y cúmulo. . . .	7 36	14 32 S
Cúmulo.	7 48	38 13 S
»	8 45	12 15 N
Nébula planetaria .	9 11	36 7 S
» » . . .	9 18	57 47 S
»	9 45	69 38 N
» planetaria. . .	10 2	39 51 S
» » . . .	10 19	18 2 S
» » . . .	11 8	55 40 N
» espiral	12 13	15 5 N
» » . . .	12 17	16 29 N
»	12 34	10 57 S
»	12 36	33 12 N
Cúmulo.	13 7	18 48 N
Nébula.	13 18	42 23 S
Cúmulo del Centauro. .	13 20	46 41 S
Nébula espiral ó anular . .	13 25	47 49 N
Nébula espiral..	13 30	26 16 S
» »	13 32	17 16 S
Cúmulo.	13 37	28 59 N
»	15 12	2 33 N
»	15 38	37 23 S
Nébula resoluble	16 10	22 41 S
Gran nébula Hérculis.. . .	16 37	36 42 N
Cúmulo.	16 41	1 44 S
»	16 51	3 54 S
»	16 52	44 29 S
»	16 54	29 56 S
Pequeña nébula anular. . .	17 14	38 21 S
» » » . . .	17 22	23 39 S
Cúmulo	17 31	3 10 S
Nébula.	17 55	23 2 S
Cúmulo nebuloso. . . .	17 57	24 21 S
Nébula.	18 14	16 13 S
Cúmulo	18 29	24 0 S
Nébula anular de la Lira. .	18 49	32 53 N
» variable.	19 5	0 50 N
» del badajo.	19 54	22 24 N
Pequeña nébula anular. . .	20 11	30 12 N
Nébula planetaria. . . .	20 17	19 44 N
» del Cisne..	20 40	30 17 N
» planetaria. . . .	20 58	11 50 S
Cumulo.	21 27	1 22 S
»	21 34	23 43 S
Nébula planetaria azul. . .	23 20	41 53 N

II

ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR.—CUADRO PRIMERO

Planetas	Periodo de la revolucion sidérea expresada en dias	Duracion relativa de la revolucion sidérea	Movimiento angular medio diurno	Velocidad lineal ó de traslacion relativa	Periodo de la revolucion sinódica en dias	Excentricidad de la órbita	Inclinacion de la órbita respecto de la ecliptica	Autoridades
Mercurio	87,9693	0,241	1° 5′ 32″,4	1,607	115,88	0,20560478	7° 0′ 7″,71	Le Verrier.
Venus. .	224,7008	0,615	1 36 7 ,7	1,176	583,92	0,00684331	3 23 34 ,83	»
La Tierra	365,2564	1,000	59 8 ,2	1,000	»	0, 0167701		»
Marte .	686,9796	1,881	31 26 ,5	0,810	779,98	0,09326113	1 51 2 ,28	»
Júpiter.	4332,5848	11.862	4 59 ,1	0,439	398,90	0, 0482331	1 18 41 ,37	»
Saturno. .	10759,2198	29,456	2 0 ,5	0,323	378,10	0, 0560419	2 29 39 ,80	»
Urano. .	30686,8208	84,014	42 ,2	0,228	369,67	0, 0465775	0 46 20 ,92	Newcomb.
Neptuno.	60126,72	164,610	21 ,6	0,183	367,50	0, 0087195	1 46 58 ,75	»

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR.—CUADRO SEGUNDO

Planetas	Distancia media al Sol		Masa	Densidad		Gravedad en la superficie	Volúmen	Luz y calor recibidos del Sol
	Unidades astronómicas	Millones de leguas		Tierra=1	Agua=1	Tierra=1		
El Sol. . .	»	»	Unidad	0,2552	1,444	27,71	1279266,8	
Mercurio	0,3870988	14,38	1 / 5 000,000	1,21	6,85	0,46	0,054	6,674
Vénus. . .	0,7233322	26,85	1 / 425,000	0,850	4,81	0,82	0,868	1,911
La Tierra	1,	37,14	1 / 326,800	1,000	5,66	1,00	1,000	1,000
Marte. . . .	1,5236914	54,21	1 / 2 950,000	0,737	4,17	0,39	0,157	0,431
Júpiter. . .	5,202800	193,08	1 / 1047,88	0,2435	1,378	2,64	13 89,990	0,037
Saturno. .	9,538852	354,38	1 / 3501,6	0,1325	0,750	1,18	864,694	0,011
Urano. . .	19,18338	712,38	1 / 22,600	0,226	1,28	0,90	75,253	0,003
Neptuno. .	30,05437	1116,24	1 / 19,380	0,204	1,15	0,89	85,605	0,001

ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR.—CUADRO TERCERO

Planetas	Diámetros á la distancia media de la Tierra		Diámetros aparentes		Diámetro aparente del Sol visto desde cada planeta	Diámetro medio en leguas
	Polar	Ecuatorial	Máximo	Mínimo		
El Sol. . .	32′ 00″,00	32′ 0″,00	32′ 34″,6	31′ 30″,1		345,935
Mercurio. .	0 6 ,68	0 6 ,68	12 ,0	4 ,4	4,965″	1,204
Vénus. . . .	0 17 ,10	0 17 ,10	62 ,0	9 ,5	2,657	3,080
La Tierra. . .	0 17 ,64	0 17 ,70	»	»	1,922	3,185
Marte. . .	0 9 ,36	0 9 ,42	23 ,0	3 ,3	1,261	1,694
Júpiter. . . .	0 184 ,2	0 195 ,8	46 ,0	30 ,0	369	34,594
Saturno. . .	0 146 ,3	0 162 ,8	20 ,0	15 ,5	201	30,860
Urano. . .	0 70 ,7	0 70 ,7	4 ,3	3 ,5	100	12,349
Neptuno. .	0 77 ,0	0 77 ,0	2 ,6	2 ,6	64	13,877

III

LISTA DE LOS PRINCIPALES TELESCOPIOS DEL MUNDO

Reflectores

Puntos en que se hallan instalados	Diámetro	Construido por	Puntos en que se hallan instalados	Diámetro	Construido por
Observatorio de lord Rosse	1m,83	El mismo conde de Rosse en 1844	Observatorio de lord Rosse	0m,91	El mismo conde de Rosse.
» de Mr. Lassel (Inglaterra).	1 ,22	El mismo Lassel en 1860.	» del profesor Draper (Nueva-York) .	0 ,71	Su dueño.
Observatorio de Melbourne (Australia).	1 ,22	Grubb, óptico, en 1870.	Observatorio de Tolosa. .	0 ,80	Foucault y Eichens.
Observatorio de Paris. . .	1 ,19	Martin y Eichens, ópticos, en 1875.	» de Lassel (Inglaterra).	0 ,61	Su dueño.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Refractores

Puntos en que se hallan situados	Diámetro	Constructor y fechas	Puntos en que se hallan situados	Diámetro	Constructor y fechas
Observatorio de Washington	66 c[M]	Clark é hijos 1873.	Observatorio de la Universidad de Michigan E. U	31 c[M],6	Fitz.
Observatorio de Viena	66	Grubb 1877.	Observatorio del Colegio Vassar. E. U.	31,1	Clark é hijos.
» de Mr. Newall (Inglaterra)	63	Cook é hijos 1870.	Observatorio de la Universidad de Oxford	30,8	Grubb.
Observat.° de Estrasburgo	48	Merz y Mähler.	Observatorio de la Universidad de Cambridge	30,4	Cauchoix.
» de Chicago	45,5	Clark é hijos 1862.	Observatorio de Dublin.	30,4	Cauchoix.
» de Mr. Vander Zee (Nueva-York)	45	Fitz.	» del profesor Draper (Nueva-York).	30,4	Clark é hijos 1876.
Observatorio del Colegio de Harvard. E. U.	38	Merz y Mähler 1843	Observatorio de Mr. White (Nueva-York).	30,4	Clark é hijos.
Observatorio de Pulkowa	38	Merz y Mähler 1840	Observatorio de Córdoba, República Argentina	28,3	Fitz.
» de Mr. Huggins	38	Grubb.	Observatorio de Munich.	27,8	Merz.
Observatorio de lord Lindsay	38	Grubb	» de Copenhague.	27,8	Merz.
Observatorio de Lisboa.	37	Merz y Mähler.	Observatorio de Madrid.	27	Merz 1865.
» de Paris	33	Eichens.	» de San Fernando.	26	Brunner 1869.
» de Mr. Rutherfurd (Nueva-York)	33	Su dueño.			
Observat.° de Greenwich	31,6	Merz é hijos 1860.			

IV

CATÁLOGO GENERAL DE LOS ELEMENTOS DE LOS COMETAS DEL SISTEMA SOLAR

Números.	Fecha del paso por el perihelio	Longitud del perihelio	Longitud del nodo ascendente	Inclinacion	Excentricidad	Distancia perihelia	Movimiento	Observaciones
1	Enero 14 66	325° 0′	32′ 40′	40° 30′	1, 0	0,4446	R	
2	Marzo 29 141	251 55	12 50	17 0	Periódico	0,7200	R	Cometa de Halley.
3	Noviembre 10 240	271 0	189 0	44 0	1, 0	0,3715	D	
4	Octubre 20 539	313 30	58 ?	10 0	1, 0	0,3412	D	
5	Julio 9 565	88 0	158 0	62 0	1, 0	0,7184	R	
6	Agosto 28 568	316 47	294 36	4 2	1, 0	0,8894	D	
7	Abril 7 574	143 39	198 17	46 31	1, 0	0,9630	D	
8	Junio 6 770	357 7	90 59	61 49	1, 0	0,6422	R	
9	Marzo 1 837	289 3	206 33	11 0	1, 0	0,5800	R	
10	Diciembre 30 961	268 3	350 35	79 33	1, 0	0,5519	R	
11	Setiembre 12 989	264 0	84 0	17 0	Periódico	0,5683	R	Cometa de Halley.
12	Abril 1 1066	264 55	25 50	17 0	Periódico	0,7200	R	Cometa de Halley.
13	Febrero 15 1092	156 20	125 40	28 55	1, 0	0,9281	D	
14	Setiembre 21 1097	332 30	207 30	73 30	1, 0	0,7384	D	
15	Enero 30 1231	134 48	13 30	6 5	1, 0	0,9478	D	
16	Julio 12 1264	241 38	157 40	35 5	1, 0	0,3117	D	
17	Marzo 31 1299	3 20	108 8	68 57	1, 0	0,3179	R	
18	Junio 15 1337	2 20	93 1	40 28	1, 0	0,8282	R	
19	Octubre 13 1366	66 0	212 0	6 0	1, 0	0,9581	D	
20	Noviembre 8 1378	299 31	47 17	17 56	Periódico	0,5835	R	Cometa de Halley.
21	Octubre 16 1385	101 47	268 31	52 15	1, 0	0,7737	R	
22	Noviembre 4 1433	281 2	133 49	79 1	1, 0	0,3395	R	
23	Junio 8 1456	301 0	48 30	17 56	Periódico	0,5855	R	Cometa de Halley.
24	Octubre 7 1468	356 3	61 15	44 19	1, 0	0,8533	R	
25	Febrero 28 1472	48 3	207 32	1 55	1, 0	0,5646	R	
26	Diciembre 24 1490	58 40	288 45	51 37	1, 0	0,7376	D	
27	Enero 4 1491	113 0	268 0	75 0	1, 0	0,7550	R	
28	Setiembre 3 1506	250 37	132 50	45 1	1, 0	0,3860	R	
29	Agosto 25 1531	301 12	45 30	17 0	0,267391	0,5799	R	Cometa de Halley.
30	Octubre 19 1532	135 44	119 8	47 27	1, 0	0,6125	D	
31	Junio 14 1533	217 40	299 19	28 14	1, 0	0 3269	D	
32	Abril 22 1556	274 15	175 26	30 12	1, 0	0,5049	D	
33	Agosto 10 1558	329 49	332 36	73 29	1, 0	0,5773	R	
34	Octubre 26 1577	129 42	25 20	75 10	1, 0	0,1775	R	
35	Noviembre 28 1580	108 29	19 7	64 34	0,998631	0,6025	D	Periódico.
36	Mayo 6 1582	256 15	229 18	60 47	1. 0	0,1683	R	
37	Octubre 8 1585	8 8	37 41	6 6	1, 0	1,0948	D	
38	Febrero 8 1590	217 57	165 37	29 30	1, 0	0,5677	R	
39	Julio 18 1593	176 19	164 15	87 58	1, 0	0,0891	D	
40	Julio 26 1596	270 55	330 21	51 58	1, 0	0,5672	R	
41	Octubre 26 1607	301 38	48 40	17 12	0,967089	0,5880	R	Cometa de Halley.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Números	Fecha del paso por el perihelio			Longitud del perihelio		Longitud del nodo ascendente		Inclinacion		Excentricidad	Distancia perihelia	Movimiento	Observaciones
42	Agosto	17	1618	318°	20′	293°	25′	21°	18′	1, 0	0,5130	D	
43	Noviembre	8	1618	3	5	75	44	37	12	1, 0	0,3895	D	
44	Noviembre	12	1652	28	19	88	10	79	28	1, 0	0,8475	D	
45	Enero	26	1661	115	16	81	54	33	1	1, 0	0,4427	D	
46	Diciembre	4	1664	130	33	81	16	21	18	1, 0	1,0256	R	
47	Abril	24	1665	71	54	228	2	76	5	1, 0	0,1065	R	
48	Febrero	24	1668	40	9	193	26	27	7	1, 0	0,2511	D	
49	Marzo	1	1672	46	59	297	30	83	22	1, 0	0,6974	D	
50	Mayo	6	1677	137	57	236	49	79	3	1, 0	0,2806	R	
51	Agosto	18	1678	322	48	163	20	2	52	0,626970	1,1453	D	Periódico.
52	Diciembre	17	1680	262	49	272	9	60	40	0,999985	0,00622	D	Periódico.
53	Setiembre	14	1682	361	56	51	11	17	45	0,967920	0,5829	R	Cometa de Halley.
54	Julio	13	1683	86	31	173	18	83	48	0,983247	0,5535	R	Periódico.
55	Junio	8	1684	238	52	268	15	65	49	1, 0	0,9611	D	
56	Setiembre	16	1686	77	0	350	35	31	22	1, 0	0,3250	D	
57	Noviembre	29	1689	269	41	90	25	59	5	1, 0	0,0189	R	
58	Noviembre	9	1695	60	0	216	0	22	0	1, 0	0,8435	D	
59	Octubre	18	1698	270	51	267	44	11	46	1, 0	0,6913	R	
60	Enero	13	1699	212	31	321	46	69	20	1, 0	0,7440	R	
61	Octubre	17	1701	133	41	298	41	41	39	1, 0	0,5926	R	
62	Marzo	13	1702	138	47	188	59	4	25	1, 0	0,6468	D	
63	Enero	30	1706	72	36	13	11	55	14	1, 0	0,4269	D	
64	Diciembre	11	1707	79	55	52	47	88	36	1, 0	0,8597	D	
65	Enero	14	1718	121	40	127	55	31	8	1, 0	1,0254	R	
66	Setiembre	27	1723	42	53	24	14	50	0	1, 0	0,9988	R	
67	Junio	13	1729	320	31	310	38	77	5	1,0050334	4,0435	D	Cometa hiperbólico
68	Enero	30	1737	325	55	226	22	18	21	1, 0	0,2228	D	
69	Junio	8	1737	262	37	123	54	39	14	1, 0	0,8670	D	
70	Junio	17	1739	102	39	207	27	55	43	1, 0	0,8480	R	
71	Febrero	8	1742	217	34	185	35	67	4	1, 0	0,7655	R	
72	Enero	10	1743	92	58	67	32	2	16	1, 0	0,8382	D	
73	Setiembre	20	1743	247	16	6	15	45	38	1, 0	0,5236	R	
74	Marzo	1	1744	197	14	45	48	47	8	1, 0	0,2223	D	
75	Marzo	3	1747	277	2	147	19	79	7	1, 0	2,1985	R	
76	Abril	28	1748	215	1	232	52	85	27	1, 0	0,8406	R	
77	Junio	18	1748	278	47	33	8	67	3	1, 0	0,9465	D	
78	Octubre	21	1757	122	58	214	13	12	50	1, 0	0,3375	D	
79	Junio	11	1758	267	38	230	50	68	19	1, 0	0,2153	D	
80	Marzo	12	1759	303	10	53	50	17	37	0,9676844	0,5845	R	Cometa de Halley.
81	Noviembre	27	1759	53	38	139	40	79	3	1, 0	0,8021	D	
82	Diciembre	16	1779	139	4	79	20	4	42	1, 0	0,9618	R	
83	Mayo	28	1762	104	2	348	33	85	38	1, 0	1,0090	D	
84	Noviembre	1	1769	84	57	356	18	72	34	0,9954268	0,4983	D	Periódico.
85	Febrero	12	1764	15	15	120	5	52	54	1, 0	0,5552	R	
86	Febrero	17	1766	143	15	244	11	40	50	1, 0	0,5053	R	
87	Abril	26	1769	251	13	74	11	8	2	0,864000	0,3990	D	Periódico
88	Octubre	7	1769	144	11	175	4	40	46	0,9992490	0,1227	D	Periódico.
89	Agosto	14	1770	356	16.	132	0	1	35	0,786839	0,6743	D	Periódico.
90	Noviembre	22	1770	208	23	108	42	31	26	1, 0	0,5282	R	
91	Abril	19	1771	104	3	57	52	11	15	1,0093698	0,9035	D	Orbita hiperbólica.
92	Febrero	16	1772	110	9	257	16	17	3	0,724510	0,9860	D	Cometa de Biela
93	Setiembre	5	1773	75	17	121	8	61	15	1,002490	1,1283	D	Orbita hiperbólica.
94	Agosto	15	1774	317	28	180	45	83	20	1,028295	1,4328	D	Orbita hiperbólica.
95	Enero	4	1779	87	14	25	4	32	31	1, 0	0,7132	D	Periódico.
96	Setiembre	30	1780	246	36	123	41	54	23	0,999946	0,0963	R	
97	Noviembre	28	1780	246	52	142	1	72	3	1, 0	0,5153	R	
98	Julio	7	1781	239	11	83	1	81	43	1, 0	0,7759	D	
99	Noviembre	29	1781	16	3	77	23	27	12	1, 0	0,7634	R	
100	Noviembre	19	1783	50	3	55	45	44	53	0,5395345	1,4544	D	Periódico.
101	Enero	21	1784	80	44	56	49	51	9	1, 0	0,7079	R	
102	Enero	27	1785	109	52	264	12	70	14	1, 0	1,1434	D	
103	Abril	8	1785	297	30	64	34	87	32	1, 0	0,4273	R	
104	Junio	30	1786	156	38	334	8	13	36	0,84836	0,3348	D	Cometa de Encke.
105	Julio	8	1786	158	38	195	24	50	59	1, 0	0,5942	D	
106	Mayo	10	1787	7	44	106	52	48	16	1, 0	0,3489	R	
107	Noviembre	10	1788	99	8	156	57	12	28	1, 0	1,0630	R	
108	Noviembre	20	1788	22	50	352	24	64	30	1, 0	0,7573	D	
109	Enero	16	1790	58	25	172	50	29	44	1, 0	0,7173	R	
110	Enero	28	1790	111	45	267	9	56	58	Periódico	1,0633	D	Cometa de Tuttle.
111	Mayo	21	1790	273	43	33	11	63	52	1, 0	0,7980	R	
112	Enero	13	1792	36	21	190	42	39	46	1, 0	1,2925	R	
113	Diciembre	27	1792	135	53	283	15	49	7	1, 0	0,9668	R	
114	Noviembre	4	1793	228	42	108	29	60	21	1, 0	0,4034	R	
115	Noviembre	20	1793	71	54	2	0	31	31	0,9734211	1,4951	D	Periódico.
116	Diciembre	21	1795	156	41	334	39	13	42	0,8488828	0,3344	D	Cometa de Encke.
117	Abril	2	1796	192	44	17	2	64	55	1, 0	1,5781	R	

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Números	Fecha del paso por el perihelio			Longitud del perihelio		Longitud del nodo ascendente		Inclinacion		Excentricidad	Distancia perihelia	Movimiento	Observaciones
118	Julio	9	1797	49°	27′	329°	16′	50°	41′	1, 0	0,5266	R	
119	Abril	4	1798	105	7	122	12	43	45	1, 0	0,4846	D	
120	Diciembre	31	1798	34	27	249	30	42	26	1, 0	0,7795	R	
121	Setiembre	7	1799	3	38	99	23	51	2	1, 0	0,8403	R	
122	Diciembre	25	1799	190	23	326	30	77	5	1, 0	0,6244	R	
123	Agosto	8	1801	183	49	44	28	21	20	1, 0	0,2617	R	
124	Setiembre	9	1802	332	9	310	16	57	1	1, 0	1,0942	R	
125	Febrero	13	1804	148	45	176	48	56	29	1, 0	1,0711	D	
126	Noviembre	21	1805	156	47	334	20	13	33	0,8461753	0,3404	D	Cometa de Encke.
127	Enero	1	1806	109	28	251	16	13	37	0,7457068	0,9070	D	Cometa de Biela
128	Diciembre	28	1806	97	3	322	23	35	3	1,010182	1,0819	R	Orbita hiperbólica.
129	Setiembre	18	1807	270	55	266	47	63	10	0,9954878	0,6461	D	Periódico.
130	Mayo	12	1808	69	13	322	59	45	43	1, 0	0,3899	R	
131	Julio	12	1808	252	39	24	11	39	19	1, 0	0,6080	R	
132	Setiembre	29	1810	52	45	310	21	61	11	1, 0	0,9757	D	
133	Setiembre	12	1811	75	1	110	25	73	2	0,9950933	1,0355	R	Periódico.
134	Noviembre	10	1811	47	27	93	2	31	17	0,9827109	1,5821	D	Periódico.
135	Setiembre	15	1812	92	19	253	1	72	57	0,9545412	0,7771	D	Periódico.
136	Marzo	14	1813	69	56	60	48	21	14	1, 0	0,6991	R	
137	Mayo	19	1813	197	43	42	40	81	2	1, 0	1.2160	R	
138	Abril	25	1815	149	2	83	29	44	30	0,9312197	1,2128	D	Periódico.
139	Marzo	1	1816	267	36	323	15	43	5	1, 0	0,0485	D	
140	Febrero	7	1818	95	7	250	4	20	2	1, 0	0,7333	D	
141	Febrero	25	1818	182	45	70	26	89	44	1, 0	1,1977	D	
142	Diciembre	4	1818	103	7	90	7	62	41	1, 0	0,8479	R	
143	Enero	27	1819	156	59	334	33	13	37	0,8485841	0,3353	D	Cometa de Encke.
144	Junio	27	1819	287	5	373	44	80	46	1, 0	0,3411	D	
145	Julio	18	1819	274	41	113	11	10	43	0,7551903	0,7736	D	Cometa Winnecke.
146	Noviembre	20	1819	67	19	77	14	9	1	0,6867458	0,8926	D	Periódico.
147	Marzo	21	1821	239	29	48	41	73	33	1, 0	0,0618	R	
148	Mayo	5	1822	192	48	177	25	53	36	1, 0	0,5042	R	
149	Mayo	23	1822	157	15	331	25	13	20	0,8444643	0,3460	D	Cometa de Encke.
150	Julio	16	1822	219	54	97	51	97	43	1, 0	0,8461	R	
151	Octubre	23	1822	271	40	92	45	52	39	0,9963021	1,1451	R	Periódico.
152	Diciembre	9	1823	274	34	303	3	76	12	1, 0	0.2265	R	
153	Julio	11	1824	260	17	334	19	54	34	1, 0	0 5913	R	
154	Setiembre	29	1824	4	31	279	16	54	37	1,0017345	1,0501	D	Orbita hiperbólica.
155	Mayo	30	1825	273	55	20	6	56	41	1, 0	0,8991	R	
156	Agosto	18	1825	10	14	192	56	89	42	1, 0	0,8835	D	
157	Setiembre	16	1825	157	15	334	27	13	21	0,8448885	0,3449	D	Cometa de Encke.
158	Diciembre	10	1825	318	47	215	43	33	33	0,9954285	1,2468	R	Periódico
159	Marzo	18	1826	109	49	251	27	13	33	0,7466012	0,9024	D	Cometa de Biela.
160	Abril	21	1826	117	11	197	30	39	57	1,0089597	2,0029	D	Orbita hiperbólica.
161	Abril	29	1826	35	48	40	29	5	17	1, 0	0,1882	R	
162	Octubre	8	1826	57	48	44	6	25	57	1, 0	0,8528	D	
163	Noviembre	18	1826	315	30	235	6	89	22	1, 0	0,0269	R	
164	Febrero	4	1827	33	30	184	28	77	36	1, 0	0,5065	R	
165	Junio	7	1827	297	32	318	10	43	39	1, 0	0,8082	R	
166	Setiembre	11	1827	250	57	149	39	54	5	0,9992730	0,1378	R	Periódico.
167	Enero	9	1829	157	18	334	30	13	21	0,8446245	0,3456	D	Cometa de Encke.
168	Abril	9	1830	212	12	206	22	21	16	1, 0	0.9214	D	
169	Diciembre	27	1830	310	59	337	53	44	45	1, 0	0,1259	R	
170	Mayo	3	1832	157	21	331	32	13	21	0,8454141	0,3435	D	Cometa de Encke.
171	Setiembre	25	1832	227	55	72	27	43	19	1, 0	1,1835	R	
172	Noviembre	26	1832	109	56	248	12	13	12	0,7513780	0,8793	D	Cometa de Biela.
173	Setiembre	10	1833	224	21	323	28	7	18	1, 0	0,4643	R	
174	Abril	2	1834	276	34	226	48	5	57	1, 0	0,5150	R	
175	Marzo	30	1835	206	9	58	56	9	3	1, 0	2.0514	R	
176	Agosto	26	1835	157	23	334	35	13	21	0,8450356	0,3444	D	Cometa de Encke.
177	Noviembre	15	1835	304	32	55	10	17	45	0,9673909	0,5866	R	Cometa de Halley.
178	Diciembre	19	1838	157	27	331	37	13	21	0,8451775	0,3440	D	Cometa de Encke.
179	Enero	4	1840	192	12	119	58	53	6	1,0002050	0,6185	D	Orbita hiperbólica.
180	Marzo	12	1840	80	18	236	49	59	13	0,9978836	1,2214	R	Periódico.
181	Abril	2	1840	324	12	186	3	79	52	1, 0	0,7483	D	
182	Noviembre	13	1840	22	32	248	56	57	57	0,9698526	1,4808	D	Periódico.
183	Abril	12	1842	157	29	334	39	13	20	0,8447904	0,3450	D	Cometa de Encke.
184	Diciembre	15	1842	327	16	207	49	73	34	1, 0	0,5043	R	
185	Febrero	27	1843	278	40	1	15	35	41	0,9999157	0.5538	R	Periódico.
186	Mayo	6	1843	281	30	157	15	52	45	1,0001798	1,6163	D	Orbita hiperbólica
187	Octubre	17	1843	49	33	209	30	11	23	0,5558997	1,6922	D	Cometa de Faye.
188	Setiembre	2	1844	342	31	63	49	2	55	0,6176539	1,1864	D	Periódico.
189	Octubre	17	1844	179	36	31	39	48	36	0,9990083	0,8554	R	Periódico.
190	Diciembre	13	1844	296	2	118	19	45	39	1,0003530	0.2517	D	Orbita hiperbólica
191	Enero	8	1845	91	20	336	44	46	51	1, 0	0,9053	D	
192	Abril	21	1845	192	33	347	7	56	24	1, 0	1,2546	D	
193	Junio	5	1845	262	3	337	49	47	42	0,9898742	0,4016	R	Periódico.

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Números	Fecha del paso por el perihelio			Longitud del perihelio		Longitud del nodo ascendente		Inclinacion		Excentricidad	Distancia perihelia	Movimiento	Observaciones
194	Agosto	9	1845	157°	44′	334°	20′	13°	8′	0,8474362	0,3382	D	Cometa de Encke.
195	Enero	22	1846	89	6	111	8	47	26	0,9924026	1,4807	D	Periódico.
196	Febrero	10	1846	109	3	245	54	12	35	0,7566060	0,8564	D	Cometa de Biela.
197	Febrero	25	1846	116	28	102	41	30	56	0,7933880	0,6501	D	Cometa de Brorsen.
198	Marzo	5	1846	90	27	77	34	85	6	0,9620891	0,6637	D	Periódico.
199	Mayo	27	1846	82	39	161	18	57	36	1,	0	1,3747	R
200	Junio	1	1846	240	8	260	29	30	24	0,7213385	1,5286	D	Periódico.
201	Junio	5	1846	162	6	261	53	29	19	0,9899389	0,6337	R	Periódico.
202	Octubre	29	1846	98	47	4	38	49	30	0,9933127	0,8294	D	Periódico.
203	Marzo	30	1847	276	2	21	42	48	40	0,999929	0,0426	D	Periódico.
204	Junio	12	1847	137	42	173	25	80	17	1,	0	2,1172	R
205	Agosto	9	1847	246	45	338	17	83	26	0,9985879	1,7661	R	Periódico.
206	Agosto	9	1847	21	21	76	42	32	38	0,9974348	1,4843	R	Periódico.
207	Noviembre	9	1847	79	12	309	49	19	8	0,972560	0,4879	D	Periódico.
208	Noviembre	14	1847	274	13	190	50	71	51	1,0001326	0,3290	R	Orbita hiperbólica.
209	Setiembre	8	1848	310	35	211	35	84	28	1,	0	0,3198	R
210	Noviembre	26	1848	157	47	334	22	13	9	0,8478280	0,3370	D	Cometa de Encke.
211	Enero	19	1849	63	15	215	13	85	2	1,	0	0,9596	D
212	Mayo	26	1849	235	45	202	33	67	8	0,9978863	1,1590	D	Periódico.
213	Junio	8	1849	267	6	30	32	66	55	0,997830	0,8943	D	Periódico.
214	Julio	23	1850	273	25	92	53	68	11	0,9988519	1,0814	D	Periódico.
215	Octubre	19	1850	89	16	206	0	40	9	1,	0	0,5653	D
216	Abril	1	1851	49	42	209	31	11	22	0,5549601	1,6999	D	Cometa de Faye.
217	Julio	9	1851	322	56	148	25	13	55	0,6592674	1,1733	D	Cometa de Arrest.
218	Agosto	26	1851	310	59	223	41	38	9	0,9968586	0,9843	D	Periódico.
219	Setiembre	30	1851	338	46	44	21	73	59	1,	0	0,1420	D
220	Marzo	14	1852	157	51	334	23	13	8	0,8476726	0,3375	D	Cometa de Encke.
221	Abril	19	1852	278	42	317	29	49	11	1,0525041	0,4369	R	Orbita hiperbólica.
222	Setiembre	22	1852	109	8	245	51	12	33	0,7558650	0,8606	D	Cometa de Biela.
223	Octubre	12	1852	43	14	346	10	40	55	0,9189170	0,2500	D	Periódico.
224	Febrero	23	1853	153	44	69	34	20	13	0,990412	0,0915	R	Periódico.
225	Mayo	9	1853	201	44	40	58	57	49	0,9893194	0,9087	R	Periódico.
226	Setiembre	1	1853	310	57	140	31	61	20	0,7294246	0,3070	D	Periódico.
227	Octubre	16	1853	302	15	220	6	61	0	1,0012289	0,1727	R	Orbita hiperbólica.
228	Enero	2	1854	56	39	227	1	66	1	1,	0	2,0456	R
229	Marzo	24	1854	213	49	315	27	82	33	1,	0	0,2771	R
230	Junio	22	1854	272	58	347	49	71	8	1,	0	0,6473	R
231	Octubre	27	1854	94	28	324	29	40	55	0,9933246	0,7987	D	Periódico.
232	Diciembre	15	1854	165	9	238	8	14	9	0,9864041	1,3575	D	Periódico.
233	Febrero	5	1855	226	38	189	44	51	24	0,9651850	2,1935	R	Periódico.
234	Mayo	29	1855	239	29	260	11	23	10	0,9959970	0,5649	R	Periódico.
235	Julio	1	1855	157	53	334	26	13	8	0,8477869	0,3371	D	Cometa de Encke.
236	Noviembre	25	1855	86	2	51	35	10	11	0,997255	1,2323	R	Periódico.
237	Marzo	21	1857	74	44	313	10	87	56	0,9992144	0,7725	D	Periódico.
238	Marzo	28	1857	115	46	101	45	29	49	0,8022946	0,6206	D	Cometa de Brorsen.
239	Julio	17	1857	249	36	23	41	58	58	0,9989984	0,3675	R	Periódico.
240	Agosto	23	1857	21	47	200	49	32	46	0,9803714	0,7468	D	Periódico.
241	Setiembre	30	1857	250	8	14	58	56	3	0,9969135	0,5629	R	Periódico.
242	Noviembre	19	1857	44	13	139	19	37	49	0,9969918	1,0090	R	Periódico.
243	Noviembre	28	1857	323	3	148	27	13	56	0,6598094	1,1704	D	Cometa de Arrest.
244	Febrero	23	1858	115	52	269	3	54	24	0,820903	1,0255	D	Cometa de Tuttle.
245	Mayo	2	1858	275	40	113	31	10	48	0,7541036	0,7688	D	Cometa Winnecke.
246	Mayo	2	1858	195	59	170	43	23	0	1,	0	1,2097	D
247	Junio	5	1858	226	6	324	58	80	3	1,	0	0,5443	R
248	Setiembre	29	1858	36	13	165	19	63	2	0,9962933	0,5785	R	Periódico.
249	Octubre	18	1858	157	57	334	29	13	4	0,8463915	0,3407	D	Cometa de Encke.
250	Setiembre	22	1858	49	52	209	40	11	22	0,5577360	1,6948	D	Cometa de Faye.
251	Octubre	12	1858	4	13	159	45	21	17	1,	0	1,4270	R
252	Mayo	29	1859	75	21	357	21	83	32	1,	0	0,2010	R
253	Febrero	16	1860	173	45	324	3	79	36	1,	0	1,1973	D
254	Marzo	5	1860	50	16	8	56	48	13	1,	0	1,3083	D
255	Junio	16	1860	161	31	84	43	79	18	0,997240		0,2921	D
256	Setiembre	28	1860	111	59	104	14	28	14	1,	0	0,9539	R
257	Junio	3	1861	243	22	29	56	79	46	0,9834631		0,9207	D
258	Junio	11	1861	249	4	278	58	85	26	0,9853832		0,8224	D
259	Diciembre	7	1861	173	31	145	7	41	57	1,	0	0,8391	R
260	Febrero	6	1862	158	0	334	31	13	5	0,8467094		0,3399	D
261	Junio	22	1862	229	20	326	33	7	54	1,	0	0,9813	R
262	Agosto	22	1862	344	41	137	27	66	26	0,9612708		0,9626	R
263	Diciembre	18	1862	125	10	355	45	42	23	1,	0	0,8026	R
264	Febrero	3	1863	191	23	116	56	85	22	0,9999470		0,7948	D
265	Abril	4	1863	247	15	251	16	67	22	1,	0	1,0681	R
266	Abril	20	1863	205	31	249	59	85	29	1,	0	0,6284	D
267	Noviembre	9	1863	94	43	97	30	78	5	1,	0	0,7066	D
268	Diciembre	27	1863	60	24	304	43	64	29	1,	0	0,7715	D
269	Diciembre	29	1863	183	7	105	1	83	19	1,000650		1,3131	D

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Números	Fecha del paso por el perihelio			Longitud del perihelio		Longitud del nodo ascendente		Inclinacion		Excentricidad	Distancia perihelia	Movimiento	Observaciones
270	Julio	27	1864	185°	32′	174°	51′	65	1′	1, 0	0,6640	R	
271	Agosto	15	1864	304	12	95	14	1	52	0,9967771	0,9093	R	Periódico.
272	Octubre	11	1864	159	18	31	45	70	18	0,9999532	0,9312	R	Periódico.
273	Diciembre	22	1864	321	43	203	13	48	52	1, 0	0.7709	D	
274	Diciembre	27	1864	162	24	160	54	17	7	1, 0	1.1146	R	
275	Enero	14	1865	141	16	253	3	87	32	1, 0	0,0260	R	
276	Mayo	23	1865									D	Cometa de Encke.
277	Enero	11	1866	60	29	231	26	17	18	0,9054198	0,5765	R	Periódico
278	Febrero	14	1866	50	0	209	45	11	22	0.5575383	1,6822	D	Cometa de Faye.
279	Enero	19	1867	75	52	78	36	18	13	0.8490551	1,5725	D	Periódico.
280	Febrero	27	1867	162	40	168	36	6	7	1, 0	1.1243	D	
281	Mayo	23	1867	236	3	101	13	6	23		1.2870	D	Cometa de Tempel.
282	Noviembre	7	1867	313	35	64	58	95	33		0,3304		
283	Abril	17	1868	116	2	101	14	29	23	0,8080913	0.5968	D	Cometa de Brorsen.
284	Junio	27	1868	287	8	53	19	48	9		0,5822	D	Cometa de Encke
285	Setiembre	16	1868	—		—		—		—	—		
286	Noviembre	7	1868	—		—		—		—	—		
287	Junio	30	1869	275	56	113	33	10	48	0,751885	0.7815	D	Cometa Winnecke
288	Octubre	8	1869	124	41	311	24	68	49		1,2289	R	
289	Noviembre	20	1869	40	37	292	57	6	56		1,1028		
290	Julio	12	1870	362	15	140	4	57	19		0.9904	R	
291	Setiembre	3	1870	7	53	12	56	99	21		1,8166	D	
292	Setiembre	23	1870	318	41	146	25	15	39	0,634904	1,2803	D	Cometa de Arrest.
293	Diciembre	19	1870	9	26	94	15	30	15		0,4290	R	
294	Junio	10	1871	139	43	278	41	87	54		0.6749	D	
295	Julio	26	1871	308	11	211	57	101	59		1.0834	R	
296	Noviembre	30	1871	116	5	269	17	54	17	0,821054	1.0301	D	Cometa de Tuttle.
297	Diciembre	20	1871	28	45	146	50	98	50		0,7008	R	
298	Diciembre	29	1871	158	12	334	54	13	8	0,8493573	0.3329	D	Cometa de Encke.
299	—		1872	—		—		—		—	—	—	
300	—		1872	—		—		—		—	—	D	Cometa de Biela.
301	Mayo	9	1873	238	43	78	43	9	46	0,5173827	1.2872	D	Cometa de Tempel.
302	Junio	25	1873	306	10	120	54	12	43	0,5441511	1.3445		Periódico.
303	Setiembre	10	1873	36	57	230	39	84	3	1, 0	0,7948	R	
304	Octubre	1	1873	302	59	176	44	58	31	1, 0	0,3884	R	
305	—		1873	—		—		—		—	—	D	Cometa de Brorsen.
306	—		1873	—		—		—		—	—	D	Cometa de Faye.
307	Noviembre		1873	83	12	249	23	30	45	1, 0	0,7525	D	Cometa 1818 I?
308	Marzo	9	1874	300	36	31	51	58	17	1, 0	0.0439		
309	Marzo	14	1874	302	16	274	7	31	32	1, 0	0 8861	D	
310	Julio	8	1874	270	59	118	40	66	16	1, 0	0,6743	D	
311	—		1874	—		—		—		1, 0	—	—	
312	—		1874	—		—		—		1, 0	—	—	

V

ELEMENTOS ELÍPTICOS DE LOS COMETAS PERIÓDICOS DE REGRESO COMPROBADO POR LA OBSERVACION

Número	Períodos de la revolucion siderea	Distancia perihelia	Distancias afelias	Épocas de los pasos perihelios			Longitudes de los perihelios			Longitudes de los nodos ascendentes			Inclinaciones			Excentricidades	Direccion del movimiento	Nombre del cometa
	Años																	
1	3,285	0,33287	4,086528	Dic.	29	1871	158°	12′	24″	334°	34′	9″	13°	7′	35″	0,84935	D	Encke.
2	5,483	0,59676	5,622475	Abril	17	1868	116	2	3	101	14	6	29	22	39	0,80809	D	Brorsen.
3	5,591	0,78151	5,518260	Junio	30	1869	275	56	1	113	33	21	10	48	19	0,75188	D	Winnecke
4	5,963	1,28720	5,295630	Mayo	9	1873	238	1	6	78	43	19	9	45	49	0,517382	D	Tempel.
5	6,567	1,28028	5,733117	Set	23	1870	318	40	50	146	25	23	15	39	12	0,63490	D	Arrest.
6	6,587	0,86016	6,167319	Set	24	1852	109	20	24	246	5	16	12	33	25	0,75520	D	Biela boreal.
	6,629	0,86059	6,196874	Set.	23	1852	109	13	21	246	9	11	12	33	47	0,75611	D	Biela austral
7	7,413	1,68217	5,921525	Feb.	14	1866	50	0	27	209	45	28	11	22	6	0,55753	D	Faye.
8	13,811	1,03011	10,48294	Nov.	30	1871	116	4	36	269	17	12	54	17	0	0,82105	D	Tuttle
9	76,370	0,58895	35,41121	Nov.	15	1835	304	58	41	55	38	3	17	44	45	0,96728	R	Halley

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

VI

PLANETAS ASTERÓIDES DESCUBIERTOS HASTA FIN DE AGOSTO DE 1879, CUYAS ÓRBITAS ESTÁN COMPRENDIDAS ENTRE LAS DE MARTE Y JÚPITER

Número y nombre	Astrónomo que lo descubrió	Lugar y fecha del descubrimiento		
1 Céres.	Piazzi	Palermo	1.° enero	1801
2 Pálas	Olbers.	Brema	28 marzo	1802
3 Juno.	Harding.	Lilienthal.	1.° setiembre	1804
4 Vesta.	Olbers	Brema	29 marzo	1807
5 Astrea	Hencke	Driessen..	8 diciembre	1845
6 Hebe.	Hencke	Driessen.	1.° julio	1847
7 Iris.	Hind	Lóndres.	13 agosto	1847
8 Flora	Hind	Lóndres.	18 octubre	1847
9 Metis	Graham.	Markree	26 abril	1848
10 Higia.	Gasparis	Nápoles	12 abril	1849
11 Partènope.	Gasparis.	Nápoles	11 mayo	1850
12 Victoria.	Hind	Lóndres	13 setiembre	1850
13 Egeria.	Gasparis	Nápoles	2 noviembre	1850
14 Irene.	Hind.	Lóndres	19 mayo	1851
15 Eunomia.	Gasparis.	Nápoles	29 julio	1851
16 Psiquis.	Gasparis.	Nápoles.	17 marzo	1852
17 Tetis.	Luther.	Bilk	17 abril	1852
18 Melpómene	Hind.	Lóndres.	24 junio	1852
19 Fortuna	Hind.	Lóndres	22 agosto	1852
20 Massalia.	Gasparis.	Nápoles	19 setiembre	1852
21 Lutecia.	Goldschmidt	Paris.	15 noviembre	1852
22 Caliope.	Hind.	Lóndres	16 noviembre	1852
23 Talia.	Hind.	Lóndres	15 diciembre	1852
24 Temis.	Gasparis.	Nápoles	5 abril	1853
25 Focea.	Chacornac	Paris	6 abril	1853
26 Proserpina.	Luther.	Bilk	5 mayo	1853
27 Euterpe	Hind	Lóndres	8 noviembre	1853
28 Belona	Luther.	Bilk.	1 marzo	1854
29 Anfitrite.	Marth	Durham	1.° marzo	1854
30 Urania	Hind	Lóndres	22 julio	1854
31 Eufrosina.	Fergusson.	Washington.	1.° setiembre	1854
32 Pomona.	Goldschmidt.	Paris.	26 octubre	1854
33 Polimnia.	Chacornac.	Paris.	28 octubre	1854
34 Circe.	Chacornac.	Paris.	6 abril	1855
35 Leucotea.	Luther.	Bilk	19 abril	1855
36 Atalante.	Goldschmidt	Paris	5 octubre	1855
37 Fides.	Luther	Bilk.	5 octubre	1855
38 Leda.	Chacornac.	Paris	12 enero	1856
39 Leticia.	Chacornac	Paris	8 febrero	1856
40 Harmonia	Goldschmidt	Paris	31 marzo	1856
41 Dafne.	Goldschmidt.	Paris	22 mayo	1856
42 Isis.	Pogson	Oxford	23 mayo	1856
43 Ariadna.	Pogson.	Oxford	15 abril	1857
44 Nisa.	Goldschmidt	Paris.	27 mayo	1857
45 Eugenia	Goldschmidt.	Paris	27 junio	1857
46 Hestia	Pogson.	Oxford.	16 agosto	1857
47 Aglaya	Luther.	Bilk	15 setiembre	1857
48 Doris.	Goldschmidt	Paris.	19 setiembre	1857
49 Pales	Goldschmidt	Paris	19 setiembre	1857
50 Virginia	Fergusson.	Washington	4 octubre	1857
51 Nemausa.	Laurent.	Nimes	22 enero	1858
52 Europa	Goldschmidt	Paris.	6 febrero	1858
53 Calipso	Luther.	Bilk.	4 abril	1858
54 Alejandra	Goldschmidt	Paris	10 setiembre	1858
55 Pandora.	Searle	Albany	10 setiembre	1858
56 Melete.	Luther.	Bilk	9 setiembre	1859
57 Mnemosina.	Luther.	Bilk	22 setiembre	1859
58 Concordia	Luther.	Bilk	24 marzo	1860
59 Elpis	Chacornac	Paris.	12 setiembre	1860
60 Eco	Fergusson	Washington.	15 setiembre	1860
61 Danae	Goldschmidt	Chatillon.	19 setiembre	1860
62 Erato	Forster.	Berlin..	14 setiembre	1860
63 Ausonia	Gasparis.	Turin	10 febrero	1861
64 Angelina.	Tempel	Marsella..	4 marzo	1861
65 Cibeles.	Tempel.	Marsella	8 marzo	1861
66 Maya.	Tuttle.	Cambridge	9 abril	1861
67 Asia.	Pogson.	Madras.	17 abril	1861
68 Lelo.	Luther.	Bilk.	29 abril	1861
69 Hesperia	Schiaparelli	Milan	29 abril	1861
70 Panopea	Goldschmidt	Fontenay	5 mayo	1861
71 Niobe.	Luther.	Bilk	13 agosto	1861
72 Feronia.	Peters.	Cambridge (E U)	12 febrero	1862
73 Clitia	Tuttle.	Cambridge	7 abril	1862
74 Galatea.	Tempel.	Marsella	29 agosto	1862
75 Euridice.	Peters.	Clinton	22 setiembre	1862

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Número y nombre	Astrónomo que lo descubrió	Lugar y fecha del descubrimiento
76 Freia	D'Arrest.	Copenhague. . . . . 21 octubre 1862
77 Frigga.	Peters	Clinton . . . . . 12 noviembre 1862
78 Diana	Luther.	Bilk . . . . . 15 marzo 1863
79 Eurinome	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 14 setiembre 1863
80 Safo	Pogson.	Madras. . . . . 3 febrero 1864
81 Terpsicore	Tempel	Marsella . . . . . 30 setiembre 1864
82 Alcmena	Luther.	Bilk. . . . . 27 noviembre 1864
83 Beatriz.	Gasparis.	Nápoles . . . . . 26 abril 1865
84 Clio.	Luther	Bilk . . . . . 25 agosto 1865
85 Io	Peters.	Clinton . . . . . 19 setiembre 1865
86 Semele	Tietjen	Berlin.. . . . . 4 enero 1866
87 Silvia	Pogson	Madras. . . . . 16 mayo 1866
88 Tisbe	Peters	Clinton. . . . . 15 junio 1866
89 Julia	Stephan.	Longchamp . . . . . 6 agosto 1866
90 Antiope.	Luther.	Bilk. . . . . 1 " noviembre 1866
91 Egina.	Borrelly	Longchamp . . . . . 4 noviembre 1866
92 Undina.	Peters.	Clinton . . . . . 7 julio 1867
93 Minerva	Watson	Ann-Arbor . . . . . 24 agosto 1867
94 Aurora	Watson	Ann Arbor . . . . . 6 octubre 1867
95 Aretusa	Luther	Bilk . . . . . 23 noviembre 1867
96 Egle.	Coggia.	Marsella . . . . . 17 febrero 1868
97 Cloto	Tempel.	Marsella . . . . . 17 febrero 1868
98 Jante	Peters	Clinton. . . . . 18 abril 1868
99 Dike.	Borrelly.	Marsella . . . . . 28 mayo 1868
100 Hécate	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 11 julio 1868
101 Helena.	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 15 agosto 1868
102 Miriam	Peters	Clinton. . . . . 22 agosto 1868
103 Hera	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 7 setiembre 1868
104 Climene.	Watson	Ann-Arbor . . . . . 13 setiembre 1868
105 Artemis.	Watson.	Ann-Arbor. . . . . 16 setiembre 1868
106 Dione.	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 10 octubre 1868
107 Camila.	Pogson	Madras . . . . . 17 noviembre 1868
108 Hécuba.	Luther.	Bilk . . . . . 2 abril 1869
109 Felicitas	Peters.	Clinton . . . . . 9 octubre 1869
110 Lidia	Borrelly	Marsella . . . . . 19 abril 1870
111 Ate	Peters.	Clinton . . . . . 14 agosto 1870
112 Ifigenia.	Peters	Clinton. . . . . 19 setiembre 1870
113 Amaltea	Luther.	Bilk. . . . . 12 marzo 1871
114 Casandra	Peters.	Clinton . . . . . 23 julio 1871
115 Thyra.	Watson	Ann-Arbor . . . . . 6 agosto 1871
116 Sirona	Peters	Clinton . . . . . 8 setiembre 1871
117 Lomia.	Borrelly.	Marsella . . . . . 12 setiembre 1871
118 Peito.	Luther	Bilk. . . . . 15 marzo 1872
119 Altea.	Watson.	Ann-Arbor. . . . . 3 abril 1872
120 Laquesis.	Borrelly.	Marsella , ... 10 abril 1872
121 Hermione.	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 12 mayo 1872
122 Gerda	Peters.	Clinton. . . . . 31 julio 1872
123 Brunilda	Peters.	Clinton. . . . . 31 julio 1872
124 Alceste.	Peters.	Clinton. . . . . 23 agosto 1872
125 Liberatrix.	Próspero Henry.	Paris. . . . . 11 setiembre 1872
126 Veleda.	Paul Henry.	Paris . . . . . 5 noviembre 1872
127 Johanna	Próspero Henry.	Paris . . . . . 5 noviembre 1872
128 Nemesis	Watson	Ann-Arbor . . . . . 25 noviembre 1872
129 Antigone	Peters	Clinton. . . . . 5 febrero 1873
130 Electra	Peters.	Clinton . . . . . 17 febrero 1873
131 Vala	Peters	Clinton. . . . . 24 mayo 1873
132 Æthra	Watson.	Ann-Arbor. . . . . 13 junio 1873
133 Cirene.	Watson.	Ann-Arbor , ... 29 julio 1873
134 Sofrosina.	Luther.	Bilk. . . . . 27 setiembre 1873
135 Herta.	Peters.	Clinton. . . . . 18 febrero 1874
136 Austria	Palisa	Pola. . . . . 18 marzo 1874
137 Melibea.	Palisa.	Pola. . . . . 21 abril 1874
138 Tolosa.	Perrotin.	Tolosa (Francia). . . . . 19 mayo 1874
139 Juewa	Watson	Pekin . . . . . 10 octubre 1874
140 Siva	Palisa.	Pola. . . . . 13 octubre 1874
141 Lumen.	Paul Henry	Paris. . . . . 13 enero 1875
142 Polana.	Palisa.	Pola . . . . . 28 enero 1875
143 Adria	Palisa.	Pola . . . . . 23 febrero 1875
144 Vibilia.	Peters.	Clinton. . . . . 3 junio 1875
145 Adeona	Peters	Clinton. . . . . 3 junio 1875
146 Lucina	Borrelly	Marsella . . . . . 8 junio 1875
147 Protogenia	Schulhof.	Viena. . . . . 10 julio 1875
148 Galia	Próspero Henry.	Paris . . . . . 7 agosto 1875
149 Medusa	Perrotin	Tolosa. . . . . 21 setiembre 1875
150 Nuva.	Watson.	Ann-Arbor. . . . . 18 octubre 1875
151 Abundancia.	Palisa.	Pola . . . . . 1.° noviembre 1875
152 Atala	Paul Henry.	Paris. . . . . 2 noviembre 1875
153 Hilda	Palisa.	Pola . . . . . 2 noviembre 1875
154 Berta.	Próspero Henry.	Paris. . . . . 4 noviembre 1875
155 Scylla.	Palisa	Pola . . . . . 8 noviembre 1875
156 Xantipa.	Palisa.	Pola . . . . . 22 noviembre 1875

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Número y nombre	Astrónomo que lo descubrió	Lugar y fecha del descubrimiento
157 Dejanira	Borrelly.	Marsella . . . . . 1.º diciembre 1875
158 Coronis.	Knorre	Berlin. . . . . 4 enero 1876
159 Emilia.	Paul Henry	Paris . . . . . 26 enero 1876
160 Una	Peters	Clinton . . . . . 20 febrero 1876
161 Ator.	Watson.	Ann-Arbor. . . . . 16 abril 1876
162 Laurencia.	Próspero Henry	Paris. . . . . 21 abril 1876
163 Erigone.	Perrotin.	Tolosa.. . . . . 26 abril 1876
164 Eva	Paul Henry	Paris. . . . . 12 julio 1876
165 Loreley.	Peters.	Clinton. . . . . 9 agosto 1876
166 Rodope.	Peters	Clinton . . . . . 15 agosto 1876
167 Urda	Peters	Clinton . . . . . 28 agosto 1876
168 Sibila.	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 28 setiembre 1876
169 Celia.	Próspero Henry.	Paris . . . . . 28 setiembre 1876
170 Maria.	Perrotin.	Tolosa. . . . . 10 enero 1877
171 Ofelia.	Borrelly.	Marsella . . . . . 13 enero 1877
172 Baucis.	Borrelly.	Marsella . . . . . 5 febrero 1877
173 Ino.	Borrelly.	Marsella. . . . . 2 agosto 1877
174	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 2 setiembre 1877
175	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 1.º octubre 1877
176 Idunna	Peters	Clinton . . . . . 14 octubre 1877
177 Irma.	Paul Henry.	Paris . . . . . 5 noviembre 1877
178	Palisa	Pola . . . . . 6 noviembre 1877
179	Watson.	Ann-Arbor . . . . . 11 noviembre 1877
180 Garumna.	Perrotin.	Tolosa . . . . . 20 enero 1878
181	Cottenot	Marsella . . . . . 2 febrero 1878
182	Palisa	Pola. . . . . 7 febrero 1878
183	Palisa.	Pola. . . . . 8 febrero 1878
184 Deiopeia.	Palisa	Pola . . . . . 28 febrero 1878
185 Eunike.	Peters	Clinton . . . . . 1.º marzo 1878
186 Celuta	Henry	Paris
187	Coggia	Marsella
188 Menippe.	Peters	Clinton . . . . . 26 junio 1878
189 Phtia	Peters.	Clinton . . . . . 17 setiembre 1878
190 Ismene	Peters	Clinton. . . . . 29 setiembre 1878
191 Kolga	Peters.	Clinton . . . . . 30 setiembre 1878
192	Palisa.	Pola . . . . . 17 febrero 1879
193 Ambrosia	Coggia	Marsella . . . . . 28 febrero 1879
194	Peters.	Clinton . . . . . 21 marzo 1879
195	Palisa.	Pola . . . . . 28 abril 1879
196 Filomela	Peters	Clinton. . . . . 17 mayo 1879
197	Palisa.	Pola. . . . . 21 mayo 1879
198 Ampela.	Borrelly	Marsella . . . . . 13 junio 1879
199		
200	Peters.	Clinton. . . . . 28 julio 1879
201	Palisa.	Pola. . . . . 7 agosto 1879

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

INDICE

DE LAS MATERIAS QUE CONTIENE EL TOMO SEGUNDO

Págs.

LIBRO CUARTO

LAS ESTRELLAS Y LAS NEBULAS

Introduccion 5
Capítulo primero —*Las estrellas á la simple vista.*—I. - Número y magnitud de las estrellas. 7
II.—Las constelaciones 10
III —Estrellas nuevas y variables 18
IV.—Estrellas nuevas ó efímeras. 21
Capítulo II —*Las estrellas con el telescopio* — I —Estrellas dobles y múltiples. 26
II.—Cúmulos de estrellas. 34
III.—Distancias de las estrellas. 38
IV.—Movimientos propios de las estrellas. . 43
Capítulo III —*Las nebulosas.*—I.—Nébulas estelares, planetarias y estrellas nebulosas total ó parcialmente resolubles. 48
II.—Nébulas notables, espirales y de forma irregular 55
III.—La Vía láctea y los grupos de nebulosas. 61
IV.—Distribucion de las nébulas. 65

LIBRO QUINTO

FENOMENOS FISICO-ASTRONOMICOS

Capítulo primero.—*Las mareas.* - I. Causas físicas de las mareas 68
II.—Particularidades de las mareas. . . . 72
Capítulo II.—*Eclipses y ocultaciones.* - I — Teoría general de los eclipses 75
II.—Eclipses de Sol. 79
III.—Eclipses de Luna. 83
IV.—Ocultaciones. 86
V.—Eclipses de los satélites de Júpiter. . . 88
Capítulo III.—*Leyes y perturbaciones astronómicas.*—I.—Variacion secular de la oblicuidad de la ecliptica y nutacion 90

Pags.

II.—Aberracion de la luz. 92
III —Sistemas astronómicos. 94
IV.—Distancia de la Tierra al Sol deducida de los pasos de Vénus. 106
Capítulo IV. — *Gnomónica.* — *El calendario* — I.—Teoría y principios de los relojes de Sol ó cuadrantes solares 111
II.—Construccion y trazado de los cuadrantes solares. 113
III.—Primeras divisiones del tiempo. . . . 116
IV.—Divisiones del año. 119

SEGUNDA PARTE

EL ANÁLISIS ESPECTRAL

Introduccion 125

LIBRO PRIMERO

EL CALOR Y LA LUZ EN EL LABORATORIO

Capítulo primero —I — Potencia lumínica de la llama. 129
II —El mechero de Bunsen y la luz de magnesio. 133
III —La llama oxhídrica. 136
IV —La chispa eléctrica y el carrete de induccion. 138
V. — Iluminacion de los gases; tubos de Geissler. 143
VI —La luz eléctrica 146
Capítulo II - *La luz; su analogía con el sonido.* — I — La luz; su analogía con el sonido . . 156
II —Propagacion y velocidad de la luz . . 161
III — Reflexion de la luz 173
IV.— Refraccion de la luz 176
V.— Refraccion en los prismas. 185
Capítulo III —*Anteojos y telescopios* — I. — Refraccion de las lentes. 188
II.—Los refractores. 191
III.—Los reflectores 195

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

Págs.

IV.—El ojo y la vision 197
Capítulo IV.—*Los espectros* —I—Refraccion de los diversos colores del prisma 202
II —El espectro solar 205
III—Espectros de las luces oxhídrica y eléctrica 207
IV.—Fenómenos de fosforescencia 212
V —Diversas clases de espectros 216
Capítulo V.—*El espectroscopio*.—I—El espectroscopio 222
II —Métodos de determinar las distancias respectivas de las líneas del espectro . . 227
III —Espectroscopio compuesto 239
IV —Designacion de las líneas del espectro. 223
V—Métodos para exhibir los espectros de las sustancias terrestres 235
VI.—Los colores de los objetos naturales. 250
Capítulo VI I —El micro-espectroscopio . . . 255
II.—Inversion del espectro 260

LIBRO SEGUNDO

EL ESPECTROSCOPIO Y LOS ASTROS

Capítulo primero.—I —El espectro solar y las rayas de Fraunhofer 270
II—Líneas telúricas del espectro solar . . . 282
III.—Análisis espectral de las manchas solares 288
Capítulo II —I —Fotografías de los eclipses totales de Sol 295
II —Eclipse total de Sol del 18 de agosto de 1868 301
III —Eclipse total de Sol del 7 de agosto de 1869 308
Capítulo III.—I —Observaciones espectrales de las protuberancias 313
II.—La corona y su espectro 322
III —Eclipse total de Sol de 1870 324
Capítulo IV —I —El tele-espectroscopio; método para observar las protuberancias en pleno Sol 340
II —La cromo-esfera y su espectro 347
III.—Método para observar las protuberancias en pleno Sol 363
IV.—Erupciones solares 380
V.—Distribucion de las protuberancias . . 388
Capítulo V.—I —Relacion entre las protuberancias y las faculas 394
II.—Relaciones entre las manchas y las protuberancias y el diámetro solar . . . 397
III—Direccion y velocidad de las corrientes gaseosas del Sol 416
Capítulo VI —I.—Consideraciones sobre la constitucion física del Sol 426
II —Teoría de Wilson ó de Herschel . . . 430
III —Teoría de Kirchhoff 434
IV —Teoría del P. Secchi 436
V.—Teoría de Faye 442

Págs.

VI—Teoría del profesor Young 444
VII—Teoría de Langley 447
Capítulo VII.—I —Espectroscopios estelares . 449
II —Espectros de la Luna y de los planetas 459
Capítulo VIII —I.—Espectros de las estrellas fijas 466
II —Tipos estelares de Secchi 469
III—Relaciones espectrales entre el Sol y las estrellas 474
IV—Centelleo de las estrellas 480
V.—Espectro de las estrellas binarias . . . 486
VI —Análisis espectral de las estrellas efímeras 491
VII —Influjo del movimiento propio de las estrellas en el espacio, sobre la calidad de sus espectros 495
VIII —Espectros de las nébulas y de los cúmulos estelares 499
Capítulo IX—I —Análisis espectral de los cometas 510
II —Análisis espectral de los bólidos y estrellas fugaces 526
III—Análisis espectral de los relámpagos . . 535
IV —Espectros de la aurora boreal y de la luz zodiacal 537

TERCERA PARTE

LO PASADO, LO PRESENTE Y LO FUTURO DE NUESTRA TIERRA

Introduccion 546

LIBRO PRIMERO

LA TIERRA Y EL CIELO

Capítulo primero.—I —Tiempos primitivos de la Tierra 553
II.—Edad media de la Tierra 562
III.—Edad moderna de la Tierra 570
IV.—Período contemporáneo de la formacion terrestre 576
Capítulo II.—I —Antigüedad del hombre . . . 583
II —La Tierra actual 590
Capítulo III.—I —Sistemas cosmogónicos de los antiguos 597
II —Progresos de la astronomía anteriores al siglo XIX 603
III.—Cosmogonías de Kant y de Laplace . . 618

LIBRO SEGUNDO

EL UNIVERSO INVISIBLE

Capítulo primero —*Estructura del universo* . . . 629
Capítulo II.—*Porvenir del planeta* 646
Capítulo III —*La pluralidad de los mundos habitados* 655
Apéndices 659

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

PAUTA

PARA LA COLOCACION DE LAS LÁMINAS

TOMO PRIMERO

	Páginas.
Dimensiones comparadas del Sol con los principales planetas	72
Sistema planetario	71
El globo terrestre Distribucion de los continentes y los mares	184
La Tierra vista en el espacio en la época del solsticio de verano	220
Teoria de las estaciones	224
Fases de la Luna	246
La Luna en su primer cuarto	248
Un paisaje lunar. Vista ideal de la region montañosa del Sudoeste	280
Carta topográfica de la Luna	296
Paisaje lunar. Vista ideal de la region de los Apeninos	306
La Tierra vista desde la Luna	342
Eclipses total y parcial de Luna	344
Eclipse de Sol por la Tierra, vista ideal desde la Luna	344
Marte	388
Júpiter, segun un dibujo de Warren de la Rue	422
Jupiter observado por Tacchini el 20 de enero de 1873	426
Saturno observado por L. Trouvelot el 30 de diciembre de 1874	458
Saturno, segun las observaciones de Bond, Struve y los dibujos de Warren de la Rue	462
El cometa Donati visto en Paris	612
Cometa de Donati segun P. G. Bond	614
Cometas de 1577, 1680 y 1769	614
Cometa de Halley	616
Cabezas y núcleos de los cometas	628
Lluvia de estrellas fugaces	674
Explosion del bólido de Queengouck	682
La luz zodiacal en el Japon	694

TOMO SEGUNDO

El cielo del horizonte de Paris	12
El cielo austral	16
Estrellas de colores	34
Cúmulos estelares (dos láminas)	36
La gran nebulosa de Orion	50
Nebulosa de la Dorada y de Eta de Argos	50
Via láctea boreal	64
Via láctea austral	64
Eclipses de Sol	80
Paso de Vénus por el disco del Sol el 6 de diciembre de 1882	110
Gran anteojo ecuatorial del Observatorio de Paris	194
Aspecto de la azotea del Observatorio de Paris	194
Gran telescopio de espejo plateado	196
Gran anteojo meridiano del Observatorio de Paris	196
Gran telescopio de lord Rosse en Parsonstown (Irlanda)	196
Proyeccion del espectro de la luz de cal	206
Cuadro de espectros	216
Protuberancias solares observadas durante el eclipse total de 1860	294
Eclipse total de Sol del 18 de agosto de 1868	304
Eclipse total de Sol del 7 de agosto de 1869	308
Aspecto de la corona durante el eclipse de 1871	334
Observatorio de Bekul	338
Protuberancia solar observada por Zollner el 29 de agosto de 1869	376
Protuberancia solar observada por Young el 7 y 8 de octubre de 1869	376
Protuberancias solares observadas por Respighi en 1870	378
Telescopio de Tulse Hill	448

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología. 2016

© Agencia Estatal de Meteorología, 2016

© Agencia Estatal de Meteorología 2010

EL
TELESCOPIO
MODERNO

2

T.P.G.

520.2
TEL
ARC