

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL  
SUBSECRETARIA DEL AIRE

---

SERVICIO METEOROLÓGICO ESPAÑOL

---

Serie A, núm. 7.

# La radiación cósmica en Madrid y en Valencia

POR EL

PROFESOR DR. A. DUPERIER

Meteorólogo jefe de la Sección de Investigaciones  
Catedrático de Geofísica en la Facultad de Ciencias de Madrid

VALENCIA  
TIPOGRAFIA MODERNA  
AVELLANAS, 9 — TELÉFONO 11062  
1957

0.27+  
1)  
5



AEMET-BIBLIOTECA



1013655

© Agencia Estatal de Meteorología. 2018



R. 13.885

Sig M 21.6 (460.27 + 460.31)

# LA RADIACIÓN CÓSMICA EN MADRID Y EN VALENCIA

POR

A. DUPERIER





LA RADIACION COSMICA EN MADRID  
Y EN VALENCIA

A. CUBELU





# LA RADIACIÓN CÓSMICA EN MADRID Y EN VALENCIA

por A. DUPÉRIER

## RÉSUMÉ :

Nous rendons compte dans ce travail des mesures de radiation cosmique qui ont été faites en Espagne pour la première fois.

Ces mesures en valeur absolue ont été effectuées avec des chambres d'ionisation de Kolhörster de 4 l. à peu près de volume intérieur. Le gaz enfermé étant de l'air dont la densité est de 0,001193 g/cm.<sup>3</sup>.

L'électromètre, d'après le système de Wulf-Kolhörster, est situé dans la chambre et constitue lui-même le corps de déperdition. Son capacité électrique moyenne est: 0,285 cm.

L'ionisation résiduelle de l'appareil est de 1,089 I cm.<sup>-5</sup> sec.<sup>-1</sup>. La sensibilité, comme représentée par la constante *K* d'Eve,  $K = 5,02 \cdot 10^9 \frac{\text{paires d'ions}}{\text{cm.}^3 \cdot \text{sec.}} / \frac{\text{g R}_a}{\text{cm.}^2}$ .

Pour les mesures on a employé dans chaque endroit deux chambres tout pareilles dont l'étude comparative soigneusement effectuée avait donné des résultats satisfaisants. Voici les valeurs obtenues pour l'intensité de la radiation cosmique à Madrid et à Valence:

|                    | MADRID       | VALENCIA  |
|--------------------|--------------|---|
| Lat. :             | 40° 25'      | 39° 29'   |
| Alt. :             | 668 m.       | 30 m.   |
| Radiation cosmique | 2,55 I ± 4 % | 2,10 I ± 4 % cm. <sup>-5</sup> sec. <sup>-1</sup> . |

La variation relative plus exacte est d'accord avec celle qui a été dernièrement obtenue dans les études à diverses altitudes.

1. El proceso de ionización incesante a que, en un lugar cualquiera de la superficie terrestre, se encuentra sometida una masa gaseosa mantenida en una vasija herméticamente cerrada constituye un hecho bien conocido desde hace treinta años. Se entiende, naturalmente, que la vasija está cuidadosamente limpia y que el gas utilizado, antes de encerrarle, ha sido escrupulosamente desprovisto de toda impureza radiactiva. En estas condiciones, la ionización que aparece en el interior del recipiente es provocada por la radiación  $\gamma$  que, proviniendo de las substancias radiactivas contenidas en el suelo y en el aire, es susceptible de atravesar sus paredes; pero es igualmente conocido que si se determina esa ionización y se valora la que esta radiación es capaz de producir aparece siempre una diferencia a favor de aquella que no logra tener justificación suficiente en los residuos radiactivos inevitables de la cara interna de



la pared de la vasija. La ionización que así, por esta diferencia, se manifiesta y que no debe su origen a la radiactividad de la Tierra es atribuída a un agente que nos viene del exterior, designado hoy, como se sabe, con el nombre de radiación cósmica.

Esta radiación, desde que Hess en 1911 y Kolhörster en 1913 dejaron bien establecida su existencia, está siendo objeto de estudios numerosos y apasionados y nadie ignora los progresos decisivos a que ellos nos han conducido ya en nuestros conocimientos sobre la estructura de la materia. En particular, la determinación de su intensidad, que fué el primer fin propuesto, y la de su distribución sobre la superficie terrestre gozan todavía de especial predilección, y a ello fué consagrado este trabajo.

2. Para la medida de los rayos cósmicos se atiende justamente a los fenómenos de ionización provocados por ellos en la materia. Si se establece un campo eléctrico en el seno de una masa gaseosa, la conductibilidad que adquiere el gas en virtud de la radiación cósmica permitirá el paso de una corriente eléctrica, cuya intensidad servirá para representarnos la cuantía de la intensidad de aquélla. La dificultad estribará solamente en la medida de corrientes tan pequeñas. Si, en efecto, consideramos que es un volumen de diez litros de aire en condiciones normales el que se encuentra sometido a la radiación, la corriente de saturación que resulta no vale más que algunas unidades del orden de  $10^{-15}$  amperios. Es menester, pues, recurrir a métodos electrométricos de alta sensibilidad si no se quiere extender demasiado el tiempo de duración de las medidas.

Con estas consideraciones, imaginemos un condensador de capacidad  $C$  centímetros entre cuyas armaduras se encuentra el gas de volumen normal  $L$  cm.<sup>3</sup>. Si  $V$  es la diferencia de potencial establecida en voltios, la caída de potencial en un segundo viene dada por

$$\Delta Q = C \cdot \frac{\Delta V}{300}$$

donde  $Q$  es la carga en unidades electrostáticas cegesimales. Si  $e$  representa la carga elemental del ión, el número  $N$  de pares de iones producidos por cm.<sup>3</sup> y por segundo es

$$N = \frac{\Delta Q}{L \cdot e} = \frac{1}{300} \cdot \frac{C}{L} \cdot \Delta V$$



y si el valor de  $\Delta V$  que se mide es el correspondiente al minuto y se hace  $e = 4,774.10^{-10}$  u. e. s., se tiene finalmente,

$$N = \frac{1}{300 \times 60 \times 4,774.10^{-10}} \cdot \frac{C}{L} \cdot \Delta V$$

o bien

$$N = 1,164.10^5 \cdot \frac{C}{L} \cdot \Delta V \text{ iones cm.}^{-3} \text{ seg.}^{-1} \quad [1]$$

El condensador de referencia o cámara de ionización a que esta fórmula se aplica, consiste simplemente en una vasija metálica llena de un gas y herméticamente cerrada, en cuyo interior y aislado de sus paredes se encuentra el órgano que constituye la armadura interna. En unos aparatos, el electrómetro que sirve para la medida de la descarga forma un sistema independiente de la cámara, y en otros, la parte móvil de aquél constituye justamente el órgano interno de la cámara cuya pérdida de carga se somete a la observación. El primer tipo de aparatos permite el empleo de electrómetros monofilares, con cuyo concurso, y gracias sobre todo a los perfeccionamientos introducidos en este método por Hoffmann (1), es posible lograr muy altas sensibilidades y, como consecuencia, gran acortamiento en la duración de las medidas; pero las dificultades en conseguir buenos aislamientos y la necesidad de la constancia del voltaje de baterías auxiliares, entre otros inconvenientes, hacen que estos aparatos no sean transportables y quede limitado su empleo a medidas de laboratorio. Por el contrario, el segundo método, constituido por el otro grupo de aparatos, y después de los mejoramientos introducidos por Wulf (2) y Kolhörster (3), permite simplificar la técnica de las medidas y, dando mayor solidez al instrumento, extender el campo de experimentación cuanto las necesidades de la investigación lo requieran.

Además de las cámaras de ionización, es hoy de uso extraordinariamente frecuente el empleo del tubo contador de Geiger y Müller para registrar el paso de los rayos cósmicos a través del instrumento. Como se sabe, el funcionamiento de estos aparatos es diferente. Un contador de Geiger y Müller consiste esencialmente en un tubo de cinc o de latón en cuyo interior y a lo largo de su eje

(1) Hoffmann, Gerl. Beit. z. Geophysik, 20, 12 (1928).

(2) Wulf, Phys. ZS., 11, 811 (1910).

(3) Kolhörster, Probl. Kosm. Phys. Hamburg (1924).



se encuentra un hilo de hierro revestido de una capa de óxido o de barniz. La presión del aire encerrado, del orden de algunos milímetros de mercurio, se ajusta a la diferencia de potencial establecida entre el tubo y el hilo de modo que la ionización provocada por el paso de un rayo cósmico da lugar a una corriente registrable de muy corta duración.

Finalmente, el empleo de la cámara de condensación de Wilson constituye otro medio potente que ha contribuido ya a desentrañar en mucho el complicado proceso de la ionización y de la acción en general de los rayos cósmicos sobre la materia.

3. El estudio que nosotros hemos llevado a cabo ha sido efectuado con cámaras de ionización del tipo de Kolhörster. Estos aparatos consisten en recipientes cilíndricos de lámina de hierro, de 2,5 mm. de espesor, cubiertos en su base anterior por una tapadera de latón de 3,5 mm. y dispuesta de manera que asegure el cierre hermético de la cámara. Su volumen es de cuatro litros aproximadamente.

Con arreglo a la fórmula [1], la sensibilidad del instrumento, representada por la caída de potencial en la unidad de tiempo, es directamente proporcional al volumen del gas contenido en la cámara, por lo cual sería conveniente hacer el volumen de ésta lo más grande posible; pero si se tiene en cuenta que la intensidad del campo establecido en el interior ha de ser durante todo el tiempo que llena la observación superior a 10 volt/cm., que es el valor mínimo aproximadamente necesario para mantener el régimen de saturación, la diferencia de potencial a establecer entre el órgano sometido a la descarga y las paredes crecerá con  $L$ , lo cual no permitirá aumentar este volumen indefinidamente ya que el empleo de tensiones demasiado grandes obligaría a utilizar electrómetros de escasa sensibilidad. Esta circunstancia y la conveniencia de un fácil transporte limitan el valor de  $L$ .

El gas que llena el recipiente es aire exento de emanación. Para reducir su volumen a las condiciones normales y, al mismo tiempo, vigilar la constancia de su densidad, la tapa de latón, a que antes nos hemos referido, lleva un barómetro y un termómetro que permiten determinar debidamente la presión y temperatura interiores.

La armadura interna del condensador que constituye la cámara va en el centro de ésta y sirve al mismo tiempo de electrómetro. Consiste esta parte del instrumento en dos hilos muy finos de cuarzo platinado en forma de  $U$  y ligados por sus extremos a una varillita metálica y vertical sobre soporte aislador. Al establecer el



campo, estos hilos se repelen moviéndose en un plano horizontal, y como fuerza de restitución actúa la reacción elástica correspondiente a la deformación por flexión. La separación de los hilos se mide con un microscopio, ante el cual aparecen éstos como dos rayas negras verticales y paralelas. Finalmente, el soporte aislador de la varillita que, como antes hemos dicho, lleva los hilos, es de cuarzo y va sólidamente unido al objetivo del microscopio.

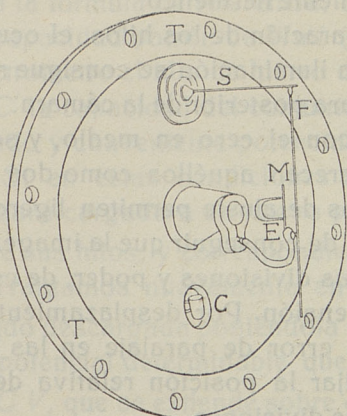


Fig. 1.

Para mejor comprensión, en la fig. 1 va representada esta región del aparato. *T* es la tapa de latón vista por dentro que, juntamente con el barómetro y el termómetro mencionados más arriba, lleva el microscopio; las partes *S* y *F* constituyen la sonda de carga del electrómetro. *S* es una barrita metálica que penetra en la cámara a través de un aislador de ámbar; de ella pende el hilo de hierro *F* que en su posición natural no toca a la varilla *M* que soporta los hilos *E* del electrómetro, pero que pueden llevarse en contacto merced a la orientación adecuada de un imán susceptible de girar alrededor de un eje fijo en la cara exterior de *T*. Por último, *C* es una capsulita de vidrio con sodio para asegurar en lo posible la sequedad del aire interior.

En estas condiciones, las cámaras de Kolhörster cumplen debidamente las exigencias experimentales. Por una parte, es el electrómetro tan pequeño y tan ligero que ello le hace extraordinariamente apto a resistir las incidencias de carácter mecánico que pueden presentarse en el curso de su empleo y en el transporte especialmente; y por otra, el hecho de que los hilos y el soporte aislador sean de cuarzo asegura la falta de influencia práctica de la



temperatura en sus determinaciones. Además, a causa de la naturaleza misma del aislador, el aislamiento es también extraordinario. La pérdida de electricidad a través de él es solamente algunas centésimas de la descarga natural que sufre el aparato cuando se abandona sin protecciones especiales a la acción de las radiaciones exteriores. Esto, naturalmente, en tanto que el aire interior se conserve suficientemente seco, lo cual es de esperar si el cierre se mantiene efectivamente hermético.

Para medir la separación de los hilos, el ocular del microscopio lleva una escala cuya iluminación se consigue merced a una ventana practicada en la cara posterior de la cámara. Esta escala va dividida en 160 partes con el cero en medio, y sobre ella, según ya hemos indicado, aparecen aquéllos como dos rayas negras verticales. Cuatro tornillos de ajuste permiten ligeros desplazamientos del microscopio a fin de conseguir que la imagen de los hilos ocupe la región central de las divisiones y poder, de este modo, utilizar la escala en toda su extensión. Por desplazamiento lineal del ocular se consigue evitar el error de paralaje en las lecturas, y por giro del mismo se logra fijar la posición relativa de los hilos con los trazos que marcan las divisiones.

Según la fórmula [1], la medida de la ionización exige, en primer lugar, para venir en conocimiento de  $\Delta V$ , la calibración del electrómetro. Esta ha sido realizada con el concurso de baterías de acumuladores «nife» y un voltímetro de precisión de Hartmann & Braun con escala hasta 750 voltios, leyendo el número de divisiones comprendidas entre los bordes internos de los hilos con objeto de no preocuparse grandemente de las ligeras modificaciones que puede sufrir la posición de los hilos en su situación de reposo. Esta separación en función del voltaje constituye una curva de forma sensiblemente rectilínea a partir de unos 90 voltios hasta los 360 que aproximadamente corresponden al límite superior de la escala; la pendiente de la curva da el valor medio de 0,46 divisiones por voltio. De esta manera, como, dadas las dimensiones de la cámara, el régimen de saturación queda establecido con una diferencia de potencial de 100 voltios poco más o menos, se dispone de una extensión utilizable en las medidas de 130 partes de escala. Finalmente, la calibración ha sido repetida cuantas veces se temió que pudo haber sufrido alteración, no apreciándose nunca variaciones sensibles.

El volumen de la cámara, del que se deduce  $L$ , volumen normal del aire, nos ha sido suministrado por la casa constructora Günther



& Tegetmeyer por pesada con agua. He aquí los valores correspondientes a los dos aparatos que nosotros hemos utilizado: para la cámara 1,  $V_1 = 3.967 \pm 3 \text{ cm.}^3$ , y para la 2,  $V_2 = 3.967 \pm 3 \text{ cm.}^3$ . De éstos y de los datos de presión y temperatura se deducen:

$$L_1 = 3.660 \text{ cm.}^3 \pm 0,1 \%, \quad L_2 = 3.700 \text{ cm.}^3 \pm 0,1 \%$$

La capacidad  $C$  del órgano sometido a la descarga, y que interviene igualmente en la fórmula de referencia, ha sido determinada con auxilio de una capacidad patrón de Wulf (1). Supongamos en contacto con el electrómetro el hilo de hierro de la sonda de carga y designemos por  $C'$  la capacidad del conjunto así constituido que llevamos a un elevado y conveniente potencial, por otra parte, innecesario conocer. Si en estas condiciones separamos la sonda, el electrómetro quedará cargado a un nuevo potencial  $V_1$ , medible por la separación de sus hilos, y correspondiente a una cantidad de electricidad  $C V_1$ . Traigamos nuevamente en contacto la sonda, después de haber sido descargada poniéndola un momento a tierra, y sea  $V_2$  el nuevo potencial determinable que adquiere el conjunto merced a la carga  $C V_1$  que se extiende sobre él. Se tiene entonces:

$$C V_1 = C' V_2 \text{ o bien } C = C' \cdot \frac{V_2}{V_1}.$$

Basta ahora determinar  $C'$ . Para ello, esta capacidad, puesta en comunicación con una capacidad cilíndrica variable y patrón de Wulf, se lleva a la tensión  $V_1$ , con lo cual la carga total adquirida será  $(C' + W_1) V_1$ , si  $W_1$  es el valor de la capacidad elegida de Wulf. Se aparta ésta y se lee el nuevo potencial  $V_2$  que adquiere el sistema de la sonda más el electrómetro al quedar aislado en estas condiciones. Si ahora se pone éste a tierra, la carga perdida será  $C' V_2$ , y la que resta sobre  $W_1$  vendrá dada por la diferencia  $(C' + W_1) V_1 - C' V_2$ . Traigamos otra vez en contacto la capacidad de Wulf después de interrumpida la comunicación del sistema con el suelo, y variemos aquélla hasta alcanzar el valor  $W_2$  necesario para restituir al conjunto el potencial primitivo  $V_1$ . Se tiene en estas condiciones:

$$(C' + W_1) V_1 - C' V_2 = (C' + W_2) V_1$$

(1) Wulf, Die Faden-Elektrometer, Berlín (1933).



o bien

$$C' = \frac{V_1'}{V_2} (W_1 - W_2)$$

de donde

$$C = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{V_1'}{V_2} (W_1 - W_2).$$

Al hacer de este modo la determinación de  $C$  se han guardado todas las precauciones necesarias. Por ejemplo, como el extremo de la sonda por donde se hace el contacto con la fuente de potencial sale, naturalmente, al exterior, para evitar la influencia del experimentador se protege aquél, a modo de pantalla electrostática, con un tubo metálico que se atornilla a la tapa de la cámara. El pequeño valor de  $C$  exige todos esos cuidados.

Claro está que el valor que así se obtiene es sólo un valor medio, puesto que la capacidad del electrómetro debe variar con la separación de los hilos; pero ya se ha procurado en la determinación elegir los potenciales de manera que la posición de los hilos oscile aproximadamente entre los mismos límites que van a servir después para su empleo.

Autoriza, por otra parte, a obrar así, el resultado obtenido en un estudio que nosotros hicimos hace tiempo en el laboratorio de Kolhörster en Alemania. Utilizando una fuente de ionización constante (un preparado de radio), determinamos allí las descargas producidas durante tiempos iguales para diversas posiciones de los hilos del electrómetro a lo largo de la escala. El aparato estudiado era enteramente similar a los que ahora nos referimos, y el resultado fué que desde tensiones de 90 ó 100 voltios en adelante las caídas de potencial eran prácticamente invariables, o sea que más allá de ese límite las variaciones de capacidad se mantenían insensibles.

Operando, pues, de la manera indicada, nosotros hemos obtenido para  $C$  los resultados siguientes, como promedios de un número suficiente de determinaciones: para el aparato 1,  $C = 0,285 \text{ cm.} \pm 1,5 \%$ , y para el 2,  $C = 0,288 \text{ cm.} \pm 1,5 \%$ .

Estos valores contrastan notablemente con los que nos han sido proporcionados por el laboratorio de Kolhörster, en el Observatorio de Potsdam, donde también fueron estudiadas las constantes de nuestros aparatos. Allí obtuvieron respectivamente para  $C$ :  $0,335 \text{ cm.} \pm 2 \%$  y  $0,314 \text{ cm.} \pm 2 \%$ .

No nos explicamos el origen de tan gran discrepancia, máxime que en el laboratorio de Potsdam siguieron el mismo método en la



determinación de esta constante. Allí utilizaron, como capacidad patrón, un condensador también de Wulf calibrado en el Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, y nosotros nos servimos de una capacidad del mismo tipo con certificado de garantía por la casa Leybold; pero ni siquiera es posible pensar que la causa de la discrepancia sea debida a un error sistemático en ninguno de estos dos patrones, pues mientras nosotros obtenemos capacidades sensiblemente iguales para los dos aparatos los valores obtenidos en Potsdam difieren entre sí en más del 6 por 100.

Para decidir, no obstante, puede servir la comparación de los resultados obtenidos con el empleo simultáneo de las dos cámaras. Observemos primeramente que la ecuación [1] puede escribirse en la forma

$$N = F \cdot \Delta V \text{ iones cm.}^{-3} \text{ seg.}^{-1}$$

donde  $\Delta V$  es, como ya dijimos, la caída de potencial por minuto y  $F$  un factor constante para cada aparato, dado por

$$F = 1,164 \cdot 10^5 \cdot \frac{C}{L}$$

Como en el valor de  $L$ , del orden de  $3.500 \text{ cm.}^3$ , no es presumible ningún error apreciable, toda la inseguridad del factor  $F$  radica en la magnitud de  $C$ . Si tomamos nuestros números, resultan para  $F$ , con  $L_1 = 3.660$  y  $L_2 = 3.700 \text{ cm.}^3$ , valores sensiblemente iguales

$$F_1 = F_2 = 9,05 \pm 1,5 \%$$

En cambio, con los datos de Potsdam resultarían  $F_1 = 10,65$  y  $F_2 = 9,90 \pm 2 \%$ .

En todas nuestras determinaciones hemos utilizado constantemente las dos cámaras, obteniendo siempre valores concordantes con el empleo de los factores  $F$  calculados a partir de las constantes determinadas por nosotros. Por el contrario, los otros factores conducen a discrepancias entre los resultados superiores a las que pudieran ser atribuidas a los errores experimentales.

Por estas razones, para nuestro estudio hemos decidido adoptar las constantes que se expresan a continuación:

| Cámara | L                      | C                      | F                 | R                    | K                                 |
|--------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1      | 3.660 cm. <sup>3</sup> | 0,285 cm. $\pm 1,5 \%$ | 9,05 $\pm 1,5 \%$ | 1,089 I $\pm 0,8 \%$ | 5,02.10 <sup>9</sup> I $\pm 3 \%$ |
| 2      | 3.700 »                | 0,288 » $\pm 1,5 \%$   | 9,05 $\pm 1,5 \%$ | 0,851 I $\pm 0,8 \%$ | 4,99.10 <sup>9</sup> I $\pm 3 \%$ |

La penúltima columna designada por R se refiere a la ioniza-



ción residual por  $\text{cm.}^3$  y por segundo en el interior de cada una de las cámaras. Como se sabe, este resto de ionización, en más o en menos, no falta nunca por grande que haya sido el esmero puesto en dejar el interior libre de todo residuo radiactivo. La determinación de su magnitud fué realizada en el laboratorio de Kolhörster, revistiendo cada una de las cámaras con diez centímetros de plomo y comparando la intensidad de la ionización en estas condiciones con la provocada en una cámara patrón calibrada en las minas de Stassfurt, a 406 metros bajo el nivel del mar. Sus valores, incluidos en ellos las pérdidas por defecto de aislamiento, son, sin embargo, de los más pequeños que suele tenerse en este género de instrumentos.

Finalmente, la última columna contiene las constantes  $K$  o números de Eve utilizados para representar la sensibilidad de los aparatos. Es sabido que  $K$  viene definida por la relación

$$J = K \frac{m}{r^2} \cdot e^{-\mu r}$$

donde  $J$  es la ionización por  $\text{cm.}^3$  y por segundo producida por una substancia activa de masa  $m$  a la distancia  $r$  y donde se supone que el foco de radiación es puntual. Los valores consignados se refieren a un preparado de  $R_a$  revestido de 6 mm. de plomo.  $\mu$  es el coeficiente de absorción de la radiación  $\gamma$  del  $R_a C$ .

4. Como ya hemos dicho, nuestro trabajo ha sido efectuado con el empleo sistemático de las dos cámaras, lo cual permite conceder mayor garantía a los resultados al mismo tiempo que facilita el análisis del proceso de los fenómenos. Con este fin, hemos estudiado en el interior del laboratorio la ionización provocada simultáneamente sobre los dos aparatos por las radiaciones  $\gamma$  provenientes del aire, del suelo y de las paredes, y por la radiación cósmica. Los aparatos se colocaron juntos sobre una mesa de madera sin estar protegidos por pantallas especiales, y, aunque su posición con relación a las paredes del laboratorio era sensiblemente la misma, se intercambiaron al cabo de algún tiempo con objeto de distribuir entre las dos posiciones el número de observaciones. Cada una de éstas se extendió a un intervalo de tres horas aproximadamente, con lo cual el número de divisiones barridas por los hilos del electrómetro en su descarga corresponde a un valor medio de 60. De este modo, el error de lectura no es superior al 0,7 %. He aquí los resultados obtenidos, después de separar la ionización residual  $R$  correspondiente a cada uno de los aparatos:



|          | <u>Cámara 1</u> | <u>Cámara 2</u> |   |                 |
|----------|-----------------|-----------------|---|-----------------|
| N -- R = | 5,17            | 5,25            |   | pares de iones. |
|          | 5,23            | 5,18            | » | »               |
|          | 5,19            | 5,24            | » | »               |
|          | 5,27            | 5,10            | » | »               |
|          | 5,16            | 5,13            | » | »               |
|          | 5,36            | 5,22            | » | »               |
|          | 5,06            | 5,14            | » | »               |
|          | 5,31            | 5,22            | » | »               |
|          | 5,22            | 5,26            | » | »               |
|          | 5,18            | 5,21            | » | »               |
|          | 5,26            | 5,34            | » | »               |
|          | 5,23            | 5,32            | » | »               |
|          | 5,22            | 5,32            | » | »               |
|          | 5,24            | 5,20            | » | »               |
|          | 5,20            | 5,28            | » | »               |
|          | 5,14            | 5,20            | » | »               |
|          | 5,16            | 5,19            | » | »               |
|          | 5,20            | 5,17            | » | »               |
|          | 5,13            | 5,19            | » | »               |
|          | 5,11            | 5,37            | » | »               |
|          | 5,37            | 5,29            | » | »               |
|          | 5,23            | 5,13            | » | »               |
|          | 5,21            | 5,31            | » | »               |
|          | 5,12            | 5,28            | » | »               |
|          | 5,12            | 5,21            | » | »               |
|          | 5,22            | 5,28            | » | »               |
|          | 5,28            | 5,32            | » | »               |
|          | 5,19            | 5,18            | » | »               |
|          | 5,28            | 5,39            | » | »               |
|          | 5,28            | 5,36            | » | »               |
|          | 5,26            | 5,23            | » | »               |
|          | 5,18            | 5,25            | » | »               |
|          | 5,17            | 5,17            | » | »               |
|          | 5,31            | 5,27            | » | »               |
|          | 5,28            | 5,47            | » | »               |
|          | 5,26            | 5,29            | » | »               |
|          | 5,15            | 5,20            | » | »               |
|          | 5,23            | 5,19            | » | »               |



(*Sigue de la página anterior*)

|             | Cámara 1 | Cámara 2 |   |                 |
|-------------|----------|----------|---|-----------------|
| N — R =     | 5,26     | 5,35     |   | pares de iones. |
|             | 5,11     | 5,21     | » | »               |
|             | 5,23     | 5,30     | » | »               |
|             | 5,25     | 5,22     | » | »               |
|             | 5,17     | 5,10     | » | »               |
|             | 5,12     | 5,18     | » | »               |
|             | 5,35     | 5,21     | » | »               |
|             | 5,01     | 5,15     | » | »               |
|             | 5,17     | 5,32     | » | »               |
|             | 5,19     | 5,31     | » | »               |
| Valor medio | 5,21     | 5,24     | » | »               |

La fig. 2 contiene la representación gráfica de este estudio comparativo. Si se tiene en cuenta que el error de lectura se traduce en una inseguridad en la ionización de  $\pm 0,04$  pares de iones y que la ionización residual de las cámaras, que nosotros hemos supuesto

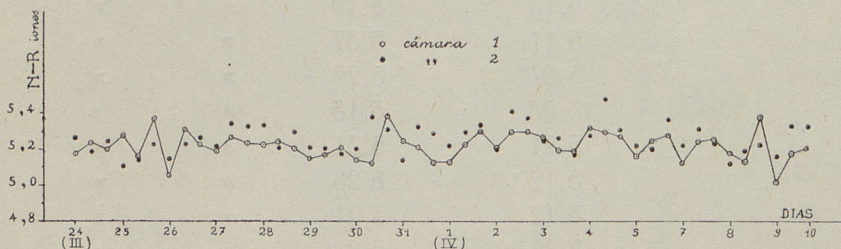


Fig. 2.

constante, está en realidad sometida a la misma fluctuación del fenómeno estadístico en que consiste la emisión de las partículas  $\alpha$  que fundamentalmente la provocan, puede admitirse que el funcionamiento de los dos aparatos es suficientemente regular al considerar las líneas que unen los resultados de la observación en cierto modo paralelas. Este paralelismo implicaría, por otra parte, la variación real en el tiempo de las radiaciones exteriores.

Con estas precauciones, hemos medido la intensidad de la radiación cósmica en Madrid y en Valencia. Para ello, basta eliminar la acción en el interior de los instrumentos del agente ionizante que proviene de la radiactividad del aire, del suelo y de los edificios,



y esto se consigue protegiendo los aparatos con pantallas absorbentes apropiadas. Como material absorbente nosotros hemos utilizado el plomo, revistiendo enteramente cada una de las cámaras de una capa de 10 cms. de espesor.

En Madrid, los aparatos con el plomo fueron colocados en épocas sucesivas sobre un pilar de cemento y de un metro de altura construído expresamente en el jardín del Observatorio Meteorológico, en lugar convenientemente despejado. Las observaciones se efectuaron antes y después de mediodía durante períodos de tiempo extendidos a cuatro horas, y las descargas de los hilos del electrómetro comprendieron un número total medio de 40 divisiones, con lo cual el error de lectura no es nunca superior al 1 por 100. Los resultados del estudio dan para el número global de pares de iones por cm.<sup>3</sup> y por segundo los valores siguientes:

|             | <u>Cámara 1</u> | <u>Cámara 2</u> |
|-------------|-----------------|-----------------|
|             | 2,949           | 2,661           |
|             | 3,021           | 2,694           |
|             | 2,949           | 2,712           |
|             | 3,003           | 2,798           |
|             | 2,840           | 2,667           |
|             | 2,912           | 2,706           |
|             | 2,850           | 2,683           |
|             | 2,840           | 2,774           |
|             | 2,985           | 2,680           |
|             | 3,021           | 2,608           |
|             | 2,859           | 2,666           |
|             | 2,859           | 2,760           |
|             | 2,885           | 2,687           |
|             | 2,958           | 2,758           |
|             | 2,967           | 2,784           |
| Valor medio | <u>2,927 I</u>  | <u>2,709 I</u>  |

Ya hemos dicho que los aparatos fueron utilizados en épocas sucesivas y no simultáneamente. Es decir también que el plomo empleado como pantalla fué el mismo en los dos casos.

En Valencia, eligimos como lugar de experiencias el tejado de la Universidad, sita en el centro de la ciudad, y si bien la influencia de algún edificio próximo no permite, al igual que en Madrid, considerar el lugar como enteramente despejado, las medidas comparati-



vas efectuadas en el interior del laboratorio de electroquímica en el primer piso de la Universidad autorizan a prescindir, dentro del orden de aproximación de nuestros instrumentos, de la absorción ejercida por esos edificios en la radiación cósmica. Como la intensidad de ésta es en Valencia más pequeña, el período de tiempo concedido a la descarga fué aproximadamente de ocho horas distribuidas entre la mañana y la tarde. El número de divisiones barridas por los hilos en estas condiciones es alrededor de 65, con lo cual la precisión de las observaciones es ahora mayor. He aquí los resultados obtenidos:

|             | <u>Cámara 1</u> | <u>Cámara 2</u> |
|-------------|-----------------|-----------------|
|             | 2,625           | 2,410           |
|             | 2,597           | 2,389           |
|             | 2,661           | 2,407           |
|             | 2,588           | 2,380           |
|             | 2,634           | 2,453           |
|             | 2,661           | 2,380           |
|             | 2,507           | 2,362           |
|             | 2,591           | 2,379           |
| Valor medio | <u>2,608 I</u>  | <u>2,395 I</u>  |

En apoyo de lo que decimos más arriba, respecto a la posibilidad de prescindir de la absorción de los edificios próximos, las medidas efectuadas en el interior del laboratorio dan como promedios: 2,467 y 2,264 I, respectivamente. Es decir, una diferencia con el exterior de sólo 0,14 pares de iones.

De una manera general, las oscilaciones que se observan tanto en los resultados de Madrid como en los de Valencia parecen seguir en su marcha irregular a las variaciones de la presión atmosférica con arreglo al fenómeno del «efecto barométrico» sobre la radiación cósmica, descubierto por Myssowski y Tuwim (1), pero como era de esperar no se corresponden en el detalle.

Teniendo ahora en cuenta la ionización residual  $R$ , si prescindimos de sus fluctuaciones y admitimos los valores fijos consignados anteriormente para ella, queda para la ionización producida por la radiación exterior:

(1) Myssowski y Tuwim, ZS. f. Phys. 39, 146 (1926).



|       | MADRID   |          | VALENCIA |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|
|       | Cámara 1 | Cámara 2 | Cámara 1 | Cámara 2 |
| N — R | 1,838 I  | 1,858 I  | 1,519 I  | 1,544 I  |

Con arreglo a los trabajos efectuados sobre la absorción de la radiación  $\gamma$ , el espesor de plomo utilizado es suficiente para que la parte correspondiente a la radiactividad del suelo y del aire quede enteramente absorbida, con lo cual los números anteriores representan la ionización provocada por la radiación cósmica capaz de atravesar libremente los 10 cms. de plomo más la que proviene de la radiación  $\gamma$  de los probables residuos radiactivos de este metal.

En cuanto a la primera, su absorción por la materia ha sido objeto de gran número de estudios penosos, entre los que se destacan los de Hoffmann (1), Millikan y Cameron (2), Steinke (3), Regener (4), Kolhörster (5), etc., lamentando que circunstancias de momento bien comprensibles no nos permitan ofrecer una bibliografía más extensa. Conforme a estos estudios, admitimos con Kolhörster que a las altitudes que nosotros hemos trabajado la fracción de radiación cósmica que queda retenida en el plomo es del 27 por 100.

Finalmente, por lo que respecta a la radiactividad de este metal nosotros no hemos dispuesto de medios adecuados para medirla. Únicamente nos fué posible determinar en el seno del laboratorio, y dentro de ciertos límites, la curva de absorción del conjunto de las radiaciones exteriores a la cámara en función del espesor de la pantalla de plomo; pero la forma de la curva obtenida parece asegurar que los residuos radiactivos del metal alteran nuestras determinaciones en proporción menor a la cuantía de los errores de medida. El plomo fué adquirido en una tienda de las que se dedican al tráfico de plomo viejo, y después de fundido se cortó en lingotes regulares, de dimensiones apropiadas y manejables.

Con estas consideraciones, los números correspondientes a *N-R* que preceden representan exclusivamente el 75 por 100 de la radia-

- (1) Hoffmann, Ann. d. Phys., 82, 415 (1927).
- (2) Millikan y Cameron, Phys. Rev., 28, 851 (1926).
- (3) Steinke, Phys. Zeit., 22, 1.019 (1930).
- (4) Regener, Zeit. f. Phys., 74, 433 (1932).
- (5) Kolhörster, ZS. f. Phys., 36, 147 (1926).



ción cósmica, por lo cual el valor de ésta al aire libre vendrá, en definitiva, dado así:

|                   | MADRID              | VALENCIA   |
|-------------------|---------------------|--|
| Latitud:          | 40° 25'             | 39° 29'  |
| Altitud:          | 668 m.              | 30 m.  |
| Radiación cósmica | <b>2,53 I</b> ± 4 % | <b>2,10 I</b> ± 4 % cm. <sup>-3</sup> seg. <sup>-1</sup> |

La imprecisión del orden del ± 4 % que afecta a estas intensidades en valor absoluto, resulta, naturalmente, de la acumulación de los errores a lo largo del proceso de cada una de las determinaciones.

En cambio, la variación relativa de la radiación cósmica entre Valencia y Madrid tiene una exactitud mayor, puesto que los factores  $F$  y la ionización residual son los mismos en los dos lugares de observación. En este caso, son los errores de lectura los únicos que han de tenerse en cuenta, con lo cual puede asegurarse que la variación relativa se aparta de la variación real en menos del ± 2 %.

Esta variación está sensiblemente de acuerdo con los resultados obtenidos en altitud por Compton y Stephenson, de una parte, y Millikan, por otra, a la latitud geomagnética de 52°, y con los de Clay (1) a 20°; y aunque nuestra variación en altitud se aproxima más a la de Clay no es posible asegurar de la sola existencia de nuestras dos determinaciones que la acción del campo magnético terrestre se hace todavía ostensible a la latitud geomagnética de 43°, que corresponde aproximadamente a Madrid y Valencia.

\* \* \*

En la realización de este trabajo, cuando las necesidades materiales del tiempo y de algunas manipulaciones lo hicieron necesario, tuve el concurso lleno de interés del Auxiliar de Meteorología J. M. Vidal. Y al hacerlo constar nos complacemos en patentar aquí las altas dotes de laboriosidad e inteligencia que acompañan a este joven físico, que se inicia con nosotros en los estudios de la electricidad atmosférica.

Sección de Investigaciones del  
Servicio Meteorológico Español.

Valencia, agosto 1937.

(1) Ver Nature, mayo 4, 1935, pág. 696, fig. 1.















M21.6  
46  
D  
A