

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

EL DÍA 29 DE NOVIEMBRE DE 1950

POR EL

EXCMO. SR. D. JOSÉ BALTÁ ELÍAS

Y

CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ-LADREDA



MADRID

DOMICILIO DE LA ACADEMIA: VALVERDE, 22

TELEFONO 21-25-29

1950

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DISCURSO

CONTENCIÓN



DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. JOSÉ BALTÁ ELÍAS

EXCMOS. SR. MINISTRO, SR. PRESIDENTE Y SRES. ACADÉMICOS:

SEÑORAS, SEÑORES:

Quisiera que mis primeras palabras en este solemne acto, exteriorizaran la emoción de mi alma, que en estos momentos vuela hacia la casa solariega, en nuestro bello Panadés, desde donde nos estará intuyendo, extasiada, la anciana madre octogenaria, en las postrimerías de una gloriosa vida hogareña, ... echando de menos en lo más íntimo de su corazón la temblorosa *mano* amiga del que fué autor de mis días, a quien debo todo lo que soy, y cuyo selecto espíritu me está asistiendo desde el *más allá*, en este ambiente de aristocracia científica.

A fuer de sincero, cúpleme manifestar mi satisfacción y sobre todo mi profunda gratitud hacia vosotros, señores Académicos, por el alto honor que me habeis conferido, llamándome a compartir las tareas de esta venerable Corporación, aun cuando no debo ocultaros que con aquellos sentimientos van envueltas hondas dudas y perplejidades. Porque si como dijo nuestro gran Ramón y Cajal en la memorable sesión de su ingreso en esta Academia *la costumbre establece que el candidato atribuya su elección a los generosos impulsos de la benevolencia... y ha de convencer, no de los méritos científicos (de los cuales ya se le supone revestido) sino de sus méritos morales, humildad, modestia y gratitud*, ¿cómo puedo hacer gala de estos últimos dando mi aquiescencia a vuestra elección? (me acojo, que bien lo he de menester, a la indulgente premisa de D. Santiago, por lo que respecta a mis supuestos méritos científicos). Al contrario, no aceptando vuestra decisión, caía en el pecado de orgullo, en el que sinceramente creo no delinquir, pero ello implicaba una consecuencia mía, porque en este caso, debía haberme negado a presentar

previamente mi pobre *curriculum vitae*... y confieso que tuve la debilidad de acceder a ello, vencido por inexcusables lazos de amistad... ¡¡flaqueza humana que nos ciega y hace sordos a los dictados del más somero examen de conciencia!

Bien podeis ver en qué mar de confusiones y contradicciones he estado navegando, pero no quiero importunaros más con un fastidioso soliloquio de mis escrúpulos espirituales y volvamos a las sendas ortodoxas por las que discurren estas oraciones académicas.

Por eso, y rogándoos me perdonéis haya empezado hablando de mí mismo, no quiero posponer por más tiempo el merecido elogio fúnebre de mi ilustre antecesor D. Vicente Inglada Ors, cuya prematura pérdida para esta Academia y para la Ciencia patria me permite ocupar el sillón que dejó vacante, desde el que tanto había contribuido al enaltecimiento y esplendor de esta docta Casa, con sus nada comunes dotes de inteligencia y laboriosidad, puestas bien de manifiesto en sus numerosas publicaciones (cerca de setenta) sobre Geodesia y Sismología, en cuyas disciplinas se había elevado por sus méritos indiscutibles al rango de verdadera autoridad mundial.

La sola enumeración de los cargos que desempeñó Inglada Ors durante su fecunda vida, me releva de todo elogio, que pudiendo caer en hiperbólico, seguramente quedaría pálido ante la realidad.

Teniente Coronel del Cuerpo de Estado Mayor del Ejército, Ingeniero Jefe del Cuerpo de Geógrafos, Profesor de la Escuela Superior de Guerra, Director de la Estación Central Sismológica de Toledo, Vocal del Comité Central de Geodesia y Geofísica, Corresponsal de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba, Sociedad Geográfica de Lima, Vocal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, además de haber representado a España en diversos Congresos científicos internacionales.

He aquí la ejecutoria de nobleza de un hombre bueno, cristiano y caballero, virtudes que sintetizan la excelsa calidad intelectual y moral del malogrado compañero. La Parca lo arrebató de entre vosotros en la plenitud de su producción, pero su nombre y su recuerdo vivirá perennemente grabado en los Anales de la Academia. ¡Descanse en paz!

ENIGMAS ACTUALES PLANTEADOS POR LA RADIACION COSMICA

PRELIMINARES

•Mirabilis facta est, scientia tua ex me;
confortata est, et non potero ad eam.

(SALMO CXXXVIII, 6)

Para corresponder dignamente a vuestra generosa llamada, bien quisiera poder ofrecerlos las primicias de algo nuevo en el campo de la Física actual, pero desgraciadamente ni el que en estos momentos se honra en dirigiros la palabra, posee alientos suficientes para tamaña empresa, ni aunque así fuera, los limitados medios de que actualmente disponemos en nuestros laboratorios distan mucho de poder permitir, no ya a un genio, sino al modesto *espigador* científico que os habla, la emulación de cualquiera de las gestas de los grandes hombres en los que tan fecundos eran y continúan siendo los países que van a la cabeza de la civilización.

Ante aquella triste realidad y después de maduro examen y larga reflexión, me decidí a pergeñar estas glosas, modestas como mías, a guisa de comentarios sobre los problemas que tiene planteados en la Ciencia de nuestros días, la por tantos conceptos enigmática *radiación cósmica*, tan íntimamente relacionada con los incesantes progresos conseguidos en estos últimos años en la magna y fascinadora cuestión de las fuerzas nucleares y partículas últimas de la materia.

Ingente tarea sería pretender encerrar en los estrechos límites de una conferencia, la gigantesca obra realizada en lo que va de siglo, por esa numerosísima pléyade de pacientes investigadores y famosos físicos teóricos de la talla de Millikan, Compton, de Broglie, Heisenberg, Pauli, Blackett y otros (por no citar mas que a lau-

reados con premio Nobel) que desde los primeros atisbos del descubrimiento (en los albores de nuestra centuria) de la, en aquel entonces misteriosa radiación, han dedicado lo mejor de su ingenio al esclarecimiento de la naturaleza y propiedades de aquella, así como a la interpretación de los sorprendentes fenómenos que origina en su interacción con la materia, a cuyo conocimiento íntimo, tanto ha contribuido.

De aquí que el interés por la radiación cósmica, no haya decaído nunca desde su descubrimiento, sino que descontando las naturales pausas impuestas por las últimas guerras mundiales ha seguido *in crescendo*; a medida que se profundizaba en su conocimiento y se descorría algo el velo del misterio que la envolvía, otros aparecían en escena, más intrigantes todavía, acuciando más y más a los que, como tan bellamente dijo nuestro insigne D. Santiago, se proponen *arrancar a la esquivia Naturaleza sus secretos y aclarar un poco el inquietante misterio de la Materia, la Energía y la Vida*. A este respecto, el distinguido físico norteamericano K. K. Darrow escribía hace ya más de tres lustros (1): *La radiación cósmica es un tema único en la física moderna, por la pequeñez del fenómeno, la delicadeza de las observaciones, las atrevidas excursiones de los observadores, la sutileza del análisis y la grandiosidad de las deducciones*.

Harto sabido es (por ser hoy de dominio público) en qué consiste la compleja radiación que nos ocupa. En el estado actual de la ciencia (pues no es nuestro propósito atender al aspecto histórico) los más recientes trabajos sobre la variación de la intensidad de dicha radiación con la latitud y con la altitud y sobre todo la asimetría *este-oeste* permiten admitir muy plausiblemente que nuestro planeta recibe continuamente desde el exterior una radiación corpuscular *primaria* consistente en su mayor parte en protones *muy veloces* y una pequeña proporción de iones y núcleos pesados (desde el de helio al de molibdeno (?)). Al chocar estas partículas con los núcleos atómicos de las capas superiores de la atmósfera pueden originarse neutrones (por captura de un electrón), fotones gamma y grupos de *mesotrones* pesados (*mesones* π), partículas de rápida evolución radio-activa y de masa variable (alrededor de unas 280 veces mayor que la del

(1) K. K. DARROW: *Bell. Tel. Tech.* Publ. núm. 23, 1932

electrón en reposo) con carga de uno u otro signo y aún hipotéticamente neutras. A su vez, tanto el neutrón como el mesón pueden desintegrarse en un positón o negatón y alguno de los diversos miembros de la familia de los mesones, cuya vida es extraordinariamente efímera (del orden de unos pocos microsegundos) pues rápidamente pierden energía en virtud de diversos procesos que más adelante indicaremos.

Este conjunto de partículas y fotones γ secundarios observados en las capas medias y bajas de la atmósfera, acostumbra a clasificarse empíricamente (y por tradición) en dos grandes grupos, llamados respectivamente *componentes dura y blanda* de la radiación. En realidad y de acuerdo con Heisenberg (2) son cuatro las componentes que pueden distinguirse actualmente, a saber: una *banda* absorbida totalmente al atravesar en la baja atmósfera, grosores de plomo de unos 12 cms. y constituida casi exclusivamente por *fotones y electrones de ambos signos* (en cambio, a grandes altitudes se encuentra un 15 por 100 por lo menos de mesones lentos). Otra *componente blanda* análoga a la anterior, en cuanto a su constitución, es la debida a procesos percutivos de los mesones y a su desintegración. Por otra parte, la *componente dura o penetrante* consiste fundamentalmente en *mesones rápidos* (con diversos *spins* y vidas medias) que son producidos en el seno de la atmósfera por la *componente protónica* primaria pudiendo contener además en pequeña proporción, protones, neutrones, fotones, posiblemente otros fragmentos nucleares, así como los hipotéticos neutrinos y neutretos (?) desconocidos hasta ahora; esta componente decrece continuamente en intensidad desde las mayores altitudes alcanzadas por el hombre (en avión, cohetes) mucho más lentamente que la blanda y puede ser acusada, aún através de espesores de agua de 400 m. o más.

Los fotones γ secundarios (engendrados por el enfrenamiento o *Bremsstrahlung* de los electrones en el campo electrostático de los núcleos atómicos atmosféricos) cuya energía sea mayor que la equivalente a la masa en reposo m_0 de un par de electrones ($2 m_0 c^2 = 1,02 \text{ MeV} \approx 0,012 \text{ \AA}$) tienen cierta probabilidad de materializarse en el propio campo nuclear produciendo un *par electrónico positón-nega-*

(2) W. HEISENBERG: *Cosmic Radiation*, pág. 1. («Dover Publ.», New York, 1946).

tón; además todo fotón puede asimismo dar origen a electrones rápidos secundarios por *efecto Compton*.

De la concomitancia de ambos efectos, puede resultar un proceso en *cascada* o sucesión de procesos simples, en los que los electrones materializados, radian nuevos fotones, que a su vez engendren nuevos pares electrónicos, continuando este proceso hasta que la energía de las partículas sea insuficiente para una ulterior multiplicación. Tal es el mecanismo de propagación de la *componente blanda* en forma de *chaparrones* o *enjambres* en los cuales está contenido cerca del 90 por 100 de la intensidad de la radiación total y cuyo espectro de energía E de sus partículas obedece a la *función de distribución* $F(E) = kE^{-\gamma}$ siendo k una constante y γ está comprendida entre 1,6 y 1,8 cuando E es mayor que $1,2 \cdot 10^3$ MeV.

Prescindiendo de las acciones biológicas de los rayos cósmicos (cuyo estudio no es de nuestra incumbencia), la más destacada característica de sus partículas es su *elevado poder ionizante* (al nivel del mar produce de uno a dos pares de iones por cm.^3 y segundo, o sea casi el 10 por 100 de la ionización total en el suelo), claro indicio de su extraordinaria energía, que excede con mucho de la que poseen las que el hombre ha podido producir hasta ahora con los gigantescos ciclotrones o de las emitidas espontáneamente por las sustancias radioactivas (es decir, de algunos millones de electronvolts.). En efecto, la fenomenología de la radiación cósmica nos ofrece ciertas partículas con energías casi un *millón de veces mayores* que las de las reacciones más enérgicas de la física nuclear (*escisión* de los núcleos pesados). Precisamente ésta es una de las más graves dificultades con que tropieza el estudio de aquellas partículas, puesto que las propiedades de las radiaciones a estas grandes energías nos son desconocidas y es casi seguro que dejen de ser aplicables las fórmulas clásicas de la mecánica ondulatoria, establecidas solamente para algunos megaelectronvolts.

¿De dónde proceden tales partículas? ¿Cómo son producidas? He aquí unas preguntas todavía sin contestación. El origen y la génesis de los rayos cósmicos constituyen actualmente un *magno secreto* que la Naturaleza guarda celosamente; sobre tan sugestivas cuestiones, nos extenderemos al final y hasta donde nos permita nuestra limitada capacidad, frente a la grandiosidad del problema. Las debilísimas variaciones observadas en la misma (diurna,

siderea, anual y la de período muy próximo al del mes lunar) son nuevos enigmas, en cuyas tentativas de explicación tanta labor han consagrado numerosos cerebros privilegiados; su exposición, conjuntamente con la de las anteriores cuestiones, constituirán otros tantos temas de nuestro discurso, pues la actual teoría de los *enjambres* —*cascadas* (en la que se resumen las importantes contribuciones de Bethe-Heitler, Carlson-Oppenheimer y Euler-Heisenberg-Arley) constituye ya una correcta interpretación de los hechos hasta las mayores energías observadas y por eso no nos referimos a ella.

De todo lo dicho, puede colegirse cuán incompletos y fragmentarios son nuestros conocimientos actuales acerca de la radiación cósmica. Ciertos capítulos de esta gran obra se enlazan y sostienen admirablemente dentro del sutil andamiaje edificado teóricamente; otros, en cambio, no sólo no encajan en aquél, sino que incluso son contradictorios hasta cierto punto con los demás. Es de esperar que estas dificultades vayan desapareciendo con el tiempo, hasta llegar a constituir un armónico cuerpo de doctrina, sobre todo gracias a nuevos perfeccionamientos en las técnicas experimentales. En efecto, mientras que los primeros descubrimientos con esta radiación fueron realizados empleando exclusivamente cámaras de ionización, más tarde, la cámara de Wilson ha constituido la genuina herramienta para las investigaciones con partículas ligeras (sobre todo hábilmente asociada con los contadores de partículas), y en estos últimos años es la simple placa fotográfica con emulsión adecuada la que ha permitido el descubrimiento y estudio de la producción artificial de los mesones y de su espontánea y fugacísima transformación en otros más ligeros. En cuanto a los hipotéticos neutrinos y mesones neutros (neutretos) hasta hace pocos meses no se disponía de ningún medio susceptible de acusar su presencia, pero los resultados obtenidos por C. O. Ceallaigh (2 bis) en un recientísimo trabajo parecen probar la existencia real del neutrino.

(2 bis) C. O. CEALLAIGH: Phil. Mag. 41 (7.ª ser.) 838, 1950.

VARIACIONES DE LA RADIACION COSMICA

«Alles Vergängliche ist nur ein Gleichnis»

(GOETHE, *Fausto*)

En el estudio de la radiación cósmica puede distinguirse un aspecto *puramente físico*, que tiene por objeto principal el estudio de la naturaleza de aquélla, y otro *geofísico*, en el verdadero sentido de la palabra; a este último pertenecen todas las determinaciones de intensidad de tal radiación realizadas bajo las más varias condiciones de altitud, latitud, etc., que han permitido discriminar los diversos parámetros, de los que depende aquella intensidad. Se entiende por tal (2^{ter}) el producto $I d\omega dt$ del número de partículas de clase o de especie determinada que inciden sobre el elemento de área $d\sigma$ durante el tiempo dt y dentro del ángulo sólido elemental $d\omega$ perpendicular a $d\sigma$; se mide en $\text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1} \text{esteradian}^{-1}$. Uno de aquellos parámetros es el tiempo, y gracias a la correlación que puede establecerse con aquella intensidad, ha sido posible dilucidar si ésta es efectivamente constante o bien manifiesta variaciones graduales periódicas y aun esporádicas. Desde luego, sobre esta importante cuestión no se ha dicho la última palabra, ni mucho menos.

Variación diurna.—A pesar de su aparente constancia, diversos investigadores (3) (entre los que descuella nuestro compatriota Profesor Duprier (4)) han observado débiles variaciones en la intensidad de la radiación cósmica, una de tipo diurno, otra anual y una tercera con período casi igual al del mes lunar (la existencia de una sidérea es dudosa todavía). La magnitud de la primera es sólo de un 0,2 a 0,3 por 100, con un máximo hacia las 13 h. 30 m.; pero no hay unanimidad sobre su amplitud, ni su período, ni su fase. En cuanto

(2^{ter}) B. ROSSI: *Rev. of Mod. Phys.* 20, 538, 1948.

(3) R. L. DOAN: *Phys. Rev.* 49, 107, 1936. J. L. THOMSON: 52, 141, 1937.

(4) A. DUPRIER: *Nature*, 153, 529, 1944. *Proc. Phys. Soc.*, 57, 464, 1945.

a sus posibles causas se sugirió ya la posibilidad de que tal variación fuera debida a una desviación sistemática del campo magnético terrestre.

Sabido es que el ya citado *efecto de latitud* (descubierto por Clay y colaboradores entre 1927 y 1928, durante una serie de viajes entre Holanda y Java) y la asimetría *este-oeste* son efectos geomagnéticos consecuencia de aquel campo magnético; a causa del mismo, nuestro planeta actúa a modo de gigantesco *espectrógrafo magnético*, que selecciona y separa según su carga, masa y velocidad a las partículas electrizadas que hacia aquél se dirigen.

Sin embargo, el problema se complica por el hecho de que nuestra atmósfera actúa asimismo como un filtro que deja pasar las partículas de mayor energía y va deteniendo a las menos energéticas; además, hay que contar con la radiación secundaria, producida por el mecanismo anteriormente indicado. Desde muchos años antes de que nadie sospechara la existencia de la radiación cósmica, el renombrado físico noruego Störmer, con objeto de explicar las auroras polares, había estudiado las trayectorias que deben describir las partículas electrizadas que procedentes del Sol penetran en el campo magnético del dipolo terrestre. Störmer y más tarde Epstein, Lemâitre y Vallarta llegaron a la conclusión de que para todo punto situado en las proximidades del dipolo, existen *direcciones prohibidas*, según las cuales, no pueden llegar a él ninguna partícula procedente del exterior. Tales direcciones se refieren, desde luego, a partículas con determinada cantidad de movimiento, pues es evidente que para partículas de impulso suficientemente grande, apenas cuenta la desviación magnética y, por lo tanto, son permitidas todas las direcciones alrededor del punto considerado. Asimismo, se comprende que todas estas direcciones serán prohibidas para las partículas con bajos valores de su impulso.

A fin de evitar erróneas interpretaciones, conviene advertir que, en realidad, no existen direcciones *absolutamente* prohibidas para un determinado punto, entendiéndose por tales las que no permiten el paso de ninguna partícula hacia aquél. En efecto, no cabe duda que siempre es posible hacer llegar partículas a un punto determinado, si aquéllas son lanzadas desde otro punto suficientemente próximo a aquél para que la desviación magnética sea despreciable a lo largo del breve recorrido de las partículas. Por lo tanto, una

dirección *prohibida* no debe considerársele como tal, sino únicamente para aquellas partículas procedentes de regiones muy remotas del espacio. Ahora bien, si se admite que las partículas primarias tienen un origen extragaláctico, deben existir realmente direcciones en que aquellas partículas serán bloqueadas, y como este hecho ha sido comprobado experimentalmente, ello constituye una prueba en favor de su remota procedencia.

Sin poder entrar en pormenores de cálculo (5), basta considerar a grandes rasgos, y desde el punto de vista de un observador que marchara de Norte a Sur, la acción del campo magnético terrestre sobre los protones primarios con determinada velocidad. Los primeros rayos prohibidos son los procedentes horizontalmente del Este, que conjuntamente con los restantes de este carácter se demuestra están contenidos dentro de un cono, cuyo eje va de E. a W., llamado *cono de Störmer*; su estudio profundo ha sido realizado por Vallarta (6). Para partículas de determinado impulso, la abertura de este cono varía inversamente con la latitud, siendo máxima (4π) en el Ecuador y nula en las proximidades del polo geomagnético; para cierta latitud su eje llega a disponerse verticalmente y se cierra del todo, es decir, que todas las direcciones son permitidas (los rayos horizontales procedentes del Oeste son los últimos en desaparecer). De esta manera, la latitud, para la cual queda disminuída en una cierta fracción la intensidad vertical de la radiación, suministra un criterio decisivo para evaluar la velocidad de las partículas primarias; siendo éstas positrones, los valores críticos de 10^{10} y $6 \cdot 10^{10}$ eV, representan los límites inferior y superior de la energía que deben poseer tales partículas para llegar a la tierra en su plano ecuatorial, cualquiera que sea su dirección de incidencia (7). Este problema es realmente de una gran complicación desde el punto de vista teórico, puesto que las órbitas en el plano ecuatorial no son las únicas que deben considerarse, ya que hay que examinar asimismo tales órbitas en un plano cualquiera.

Además, no solamente debe tratarse el problema geométrico de

(5) L. JANOSSY: *Cosmic Rays*. pág. 270 y sigs. (Oxford. Clarendon Press, 1948).

(6) M. S. VALLARTA: *Theory of the Allowed Cone of Cosmic Radiation* (Toronto University Press, 1935).

(7) M. S. VALLARTA and O. GODART: *Rev. of Mod. Phys.*, 11, 180. 1939.

las trayectorias, sino también el de la *intensidad de la radiación* que acabamos de definir.

Gracias a las ideas primeramente sugeridas por Lemaitre y Vallarta (8) es posible tratar el problema de la influencia ejercida por un campo magnético sobre una radiación isotrópica de partículas, aun sin conocer sus trayectorias; ambos autores demostraron que a aquélla le es aplicable el teorema de Liouville (ligeramente modificado), referente a la incompresibilidad del flujo de tal radiación en el espacio de fases (9). Véanse las consideraciones en las que se resumen los primeros trabajos de Fermi y Rossi (10) y Swann (11).

Concretamente, este teorema puede enunciarse como sigue: Si se considera una nube de partículas de la misma energía, que se mueven en un campo magnético, y si se siguen los movimientos de las partículas que inicialmente se encuentran en un volumen Δv animadas de velocidades comprendidas dentro de un ángulo sólido $\Delta\Omega$, el producto $\Delta v \cdot \Delta\Omega$ permanece constante a todo lo largo de la trayectoria de la nube. Así pues, si se supone homogénea la radiación primaria en el infinito, resulta que en cualquier punto del espacio el número de partículas por unidad de ángulo sólido es el mismo para todas las direcciones permitidas. De consiguiente, cualquiera que sea el punto de la superficie terrestre, la intensidad será constante en el interior de los conos permitidos y nula en el de los prohibidos.

Este teorema, combinado con la hipótesis de una distribución direccional isotrópica de la radiación cósmica primaria en el infinito, pone de manifiesto que la distribución de la intensidad sobre la superficie de la tierra se puede deducir del conocimiento de los ángulos sólidos de aquellos conos en los distintos puntos de la superficie terrestre y para todos los valores de la energía de las partículas puestas en juego.

A partir de las ecuaciones diferenciales del movimiento de las partículas, obtenidas por Störmer (12), es posible determinar la

(8) G. LEMAITRE and M. S. VALLARTA: *Phys. Rev.* 43, 87, 1933.

(9) W. HEISENBERG: *Cosmic Radiation* (conferencia núm. 15 por J. Meixner, pág. 160). Dover Publications. New-York, 1946.

(10) E. FERMI e B. ROSSI: *Rend. R. Accad. Naz. Lincei.* 17, 346, 1933.

(11) W. F. G. SWANN: *Phys. Rev.* 44, 224, 1933.

(12) L. JANOSSY: loc cit., pág. 270. W. HEISENBERG: loc. cit., pág. 161.

energía mínima que debe poseer una de aquéllas para lograr alcanzar determinados puntos de la superficie terrestre. El problema más general, cuyo objeto es calcular las fronteras entre los conos prohibidos y los permitidos, está íntimamente relacionado con el de la determinación de las trayectorias de las partículas con movimiento periódico; mediante la integración numérica y mecánica de aquellas ecuaciones han sido calculadas un gran número de tales órbitas por diversos investigadores (además de Störmer, Lémâitre y Vallarta, etc.) que desde luego coinciden con las que posteriormente obtuvo Brüche (13) por vía experimental mediante un fino haz electrónico, desviado por un imán.

Es en estos últimos años cuando se ha empezado a sospechar que la distribución direccional de la radiación cósmica incidente sobre la tierra, *no es enteramente isótropa*, precisamente por haber revelado el análisis armónico de los registros cuidadosos y continuos una débil variación diurna de la misma (14). Si este efecto realmente existe, como actualmente parece ya fuera de duda, cabe atribuirlo a una anisotropía de la distribución direccional de la radiación primaria en el espacio. Esta cuestión presenta, en principio, un gran interés y además ofrece, según todas las apariencias, una magnífica oportunidad para investigar qué influencias pueden afectar a la radiación en el Universo e incluso podría, quizá, suministrar ciertas indicaciones sobre el magno enigma del origen de la radiación cósmica.

Janossy (15) fué el primero en proponer que una de las razones de la variación diurna de la radiación cósmica debe buscarse en efectos debidos al campo magnético del astro rey, ya sea por simple variación de la posición del dipolo solar respecto de la tierra, ya sea por otras causas más complejas. Desde luego, todas las consideraciones anteriores respecto a los efectos debidos al campo magnético terrestre, son aplicables íntegramente al del Sol.

Sin embargo, las recientes determinaciones efectuadas por Pomerantz (15 bis) de la intensidad de la radiación cósmica primaria a ele-

(13) E. BRÜCHE W. ENDE: *Zeit. fur Phys.* 64, 186, 1930. *Phys. Zeit.* 1.011, 1930.

(14) E. O. WOLLAN: *Rev. of Mod. Phys.* 11, 160, 1939.

(15) L. JANOSSY: *Zeit. fur Phys.* 104, 430, 1937.

(15 bis) M. A. POMERANTZ: *Phys. Rev.* 77, 830, 1950.

vadas latitudes geomagnéticas parecen demostrar la sorprendente *inexistencia de todo campo magnético permanente en el Sol*. El valor máximo de su momento dipolar, no debe exceder, según este autor, de unos $0,6 \cdot 10^{25}$ gauss. cm^3 casi cien veces menor que el generalmente aceptado; ello pudiera alterar bastante los resultados expuestos a continuación.

Ahora bien, en este aspecto del problema, debe tenerse en cuenta la importante simplificación que supone la existencia del vacío entre el Sol y la Tierra y por lo tanto *la ausencia del efecto de sombra* en el campo del dipolo solar para un observador terrestre; de aquí que únicamente las direcciones contenidas dentro del cono solar, de Störmer, sean prohibidas para el campo magnético del Sol. Es lógico, pues, admitir en principio, que pueden sumarse los efectos debidos a las direcciones prohibidas en los campos magnéticos terrestre y solar para obtener la totalidad de las direcciones permitidas y prohibidas. En segunda aproximación, debe también tenerse en cuenta que las órbitas prohibidas según las direcciones del cono solar de Störmer, son desviadas dentro de la esfera de influencia del campo magnético terrestre.

Sin poder entrar en más detalles, se comprende fácilmente que las partículas cuya energía esté incluida entre los límites ya indicados, puedan ser detenidas en su camino hacia la tierra durante ciertos intervalos, lo que podría explicar más o menos satisfactoriamente la débil variación diurna ya indicada.

Desde luego, esta investigación es dificultosa puesto que las pequeñas variaciones periódicas quedan disimuladas o enmascaradas por variaciones irregulares mucho más importantes que las primeras. Ya Hess en 1936 había apuntado la posibilidad de que existiera una componente de aquella procedente del Sol; Kolhörster en Berlín (16) y Malmfors en Estocolmo (17) (este último, midiendo según ángulos cenitales de 30° y 60° y en las direcciones N-S y E-W) han comprobado que dicha variación diurna *depende de la dirección de observación*. Las técnicas utilizadas por estos autores (contadores GM

(16) W. KOLHÖRSTER: *Phys. Zeit*, 42, 55, 1941.

(17) H. ALFVEN and K. G. MALMFORS: *Arkiv. för. Mat. Astron. och Fysik*. Stockholm 29 A, 1943, 32 A, 1945.

asociados con circuitos en coincidencia) ofrecen la posibilidad de dilucidar si realmente el campo magnético solar es responsable de tal variación; la indicada diferencia entre las variaciones según aquellas direcciones, evidencian una distribución *no isotrópica* de la radiación primaria en el espacio.

Las fluctuaciones estadísticas debidas a que solamente un número finito de partículas penetran en los contadores durante un tiempo determinado, se eliminan extendiendo los registros a grandes lapsos de tiempo.

Las correcciones por tempestades magnéticas, temperatura y presión no son tan sencillas como las anteriores; ya veremos los efectos de las primeras en el epígrafe sobre las variaciones irregulares o esporádicas. La disminución de la intensidad de la radiación al nivel del mar con la elevación de temperatura, ha sido explicada por Blackett (18) suponiendo que los estratos productores de mesones se forman a mayor altura con temperaturas crecientes para una presión dada, con el consiguiente incremento de tiempo para la desintegración del mesón; sin embargo Hess encontró dificultades al aplicar cuantitativamente esta interpretación. Estas dificultades desaparecen si como ha sugerido Duperier (19) (con las observaciones por él efectuadas en Londres durante el período de tres años 1941-44) se relacionan las variaciones diarias de la radiación cósmica, con las fluctuaciones de temperatura, no al nivel del mar, sino en determinadas superficies isobáricas de la estratosfera en donde se supone se originan los mesones. En efecto, a consecuencia de la inestabilidad de éstos, la intensidad de la componente mesónica debe variar cuando asciende o desciende el estrato en donde se engendran aquellas partículas; si la temperatura de la atmósfera se eleva, sin cambio sensible de presión, aquél estrato también se elevará por efecto de la expansión del aire inferior y de consiguiente, los mesones han de atravesar mayores capas de aire, con la consiguiente desactivación de un mayor número de aquéllos, antes de alcanzar la superficie terrestre. Este es el llamado *efecto de temperatura* (todavía no aclarado del todo) que Duperier ha estudiado cuidadosamente, llegando a la consecuencia que la correlación es excelente cuando se establece

(18) P. M. S. BLACKETT: *Phys. Rev.* 54, 973, 1938.

(19) A. DUPERIER: *Nature*, 157, 296, 1946.

para los estratos entre 70 y 75 torrs y que por lo tanto los mesones se producen en las alturas medias correspondientes a tales presiones (unos 16 kms.) y aun quizá mayores. Este investigador sugiere que la variación diurna pueda ser debida a la emisión solar de rayos cósmicos.

Variaciones sidéreas.—Las debilísimas fluctuaciones de intensidad de la radiación cósmica con el día sidéreo fueron ya interpretadas por Compton y Getting (20) y más posteriormente por Vallarta, Graef, y Kusaka (21) y por Rau (22) (las observaciones de este último son las más seguras) pues si se admite que la radiación proviene del exterior de nuestra galaxia es de esperar tal variación como consecuencia de la rotación de la misma.

Para que este efecto pueda ser ulteriormente investigado, es necesario conocer además de las diversas energías de las partículas de la radiación, la dirección que lleva cada una, antes de que se inicie su desviación por el campo magnético terrestre. Dicho de otro modo, es necesario rehacer para las partículas de la radiación cósmica los mismos cálculos de sus trayectorias que los que Störmer realizó para las de las auroras polares. Ahora bien, como las de estas últimas poseen energías mucho menores que las de la radiación cósmica, es evidente que a éstas no le son aplicables los cálculos del físico noruego. Hogg, del Observatorio de Canberra (Australia) (23) ha realizado un estudio para aquella localidad, análogo al de Duperier, inclinándose por no admitir variación sidérea alguna, de modo que en armonía con la teoría de Compton y Getting, parece que debería asignarse a los rayos cósmicos un origen más bien interestelar que intergaláctico. A esta misma conclusión se llega mediante consideraciones de otro orden, según veremos más adelante.

Otra posibilidad de interpretación de las fluctuaciones sidéreas que nos ocupan, la ofrece la probable existencia de campos magnéticos en el sistema galáctico, de acuerdo con la reciente hipótesis emi-

(20) A. H. COMPTON and I. A. GETTING: *Phys. Rev.* 47, 815, 1935.

(21) M. S. VALLARTA C. GRAEF and S. KUSAKA: *Phys. Rev.* 55, 1, 1939.

(22) W. RAU: *Zeit fur Phys.* 114, 265, 1939. 116, 105, 1940.

(23) A. R. HOGG: *Nature*, 162, 613, 1948.

tida por Blackett (24) y ya comprobada para muchas estrellas (25); pero si, como parece probable, los momentos magnéticos de las estrellas están orientados al azar, no debería observarse tal efecto, según hicieron notar Vallarta y Feynman (26).

Variación con período de veintisiete días. — Es a partir del año 1936 que Hess y Graziadei encontraron una variación de tal período en las observaciones realizadas durante tres años en la estación de montaña del Hafelekar (Innsbrück), apareciendo relacionada con la revolución sinódica terrestre. A consecuencia análoga llegaron posteriormente Kolhörster y Wäffler (27), estudiando los registros obtenidos en el Jungfrauoch y Gill (28), Monk y Compton (29) y Forbush de la «Carnegie Institution»; todos los resultados se refieren a la componente dura.

El que esta fluctuación de veintisiete días sea una onda persistente o un simple fenómeno reiterativo, depende esencialmente de la causa que lo origina. Para Vallarta y Godart (loc. cit.) es de esperar una onda de aquel período, puesto que por efecto de la rotación del Sol, y a causa de la inclinación de su eje con el de su dipolo magnético, debe variar la abertura y la posición del cono de Störmer dirigido hacia la tierra. Sin embargo, no es ésta la única explicación posible de tal fluctuación, ya que ésta también podría tener su origen en los centros activos solares (fulguraciones, manchas), pues es bien sabido que estas últimas pueden persistir durante varias rotaciones, sin cambiar apenas de posición. La estrecha correlación encontrada por Kolhörster (loc. cit.) entre flóculos y radiación cósmica, constituye un argumento en favor de esta segunda alternativa, aunque entonces se trataría de un fenómeno reiterativo o, a lo más, casi persistente. Naturalmente, también es muy posible que ambas causas (dipolo solar y centros activos) actúen simultáneamente. Uno de los más recientes trabajos realizados por Gheri y Steinmaurer (30), de acuer-

(24) P. M. S. BLACKETT: *Nature*, 159, 658, 1947. *Phil. Mag.* 40, 125, 1949.

(25) H. W. BARCOC: *Phys. Rev.* 72, 83, 1947.

(26) M. S. VALLARTA and R. P. FEYNMAN: *Phys. Rev.* 55, 506, 1939.

(27) W. KOLHÖRSTER: *Phys. Zeit.* 40, 107, 1939. H. WÄFFLER: *Helv. Phys. Acta.* 14, 215, 1941.

(28) P. S. GILL: *Phys. Rev.* 55, 429, 1939.

(29) A. T. MONK and A. H. COMPTON: *Rev. of Mod. Phys.* 11, 173, 1939.

(30) H. GHERI und R. STEINMAURER: *Acta Phys. Austr.* 1, 42, 1947.

do con los modernos métodos para la investigación de períodos, pone bien de manifiesto la existencia de una onda persistente en la intensidad de la radiación dura, cuya amplitud concuerda sensiblemente con la calculada teóricamente por Vallarta. Esta onda reaparece en las épocas de intensa actividad solar, siguiendo a las perturbaciones de evolución paralela a la del paso de grandes grupos de manchas por el meridiano central del Sol y a la de las tormentas magnéticas.

Variación anual.—Conjuntamente con las otras fluctuaciones en la intensidad de la radiación cósmica que acabamos de enumerar, se ha observado asimismo una variación anual a la que pueden contribuir distintas causas, ya sea por separado o concomitantemente, a saber: la variación anual de la distancia entre el Sol y la Tierra, la de la latitud heliomagnética de la Tierra, en el caso de que el dipolo magnético solar no sea perpendicular al plano de la eclíptica, y, finalmente, las variaciones de la posición del cono de Störmer solar con respecto al punto de observación terrestre. Además, también ha de influir el ya mencionado *efecto de temperatura*, que incluso puede explicar en ciertos casos las anomalías de la intensidad que se presentan en determinadas ocasiones.

Variaciones irregulares o esporádicas.—Algunas de tales anomalías parecen estar relacionadas con ciertas *fulguraciones solares* (*flares*) y tempestades magnéticas que las siguen; su efecto sobre las *balizas* del registro de la componente horizontal del campo magnético terrestre en el Observatorio del Ebro, ha sido recientemente estudiado por Princep (30 bis).

Forbush (31) registró un brusco aumento de la intensidad de los rayos cósmicos que siguió a la fulguración solar del 25 de julio de 1946, hecho que ya había notado por dos veces en 1942 y fué confirmado por Duperier en 1945 (32); además, este último aumento (del orden de un 18 a 20 por 100 durante unas diez horas), fué también observado en Inglaterra por Dolbear y Elliot (33) y por Neher y

(30 bis) J. M. PRINCEP: *Revista de Geofísica* 8, 507, 1949.

(31) S. E. FORBUSH: *Phys. Rev.* 70, 771, 1946.

(32) A. DUPERIER: *Proc. Phys. Soc.* 57, 473, 1945.

(33) D. W. N. DOLBEAR and H. HELLIOU: *Nature*, 157, 58, 1947.

Roesch (34) en el Observatorio de Monte Wilson. Sin embargo, el propio Forbush no pudo acusar aumento alguno de la intensidad de la radiación en el Ecuador en los mismos días de ambos años, lo que sugiere que el aumento observado de aquélla, imposible de explicar por efecto de perturbaciones del campo magnético terrestre, era debido a partículas cargadas, emitidas por el Sol, cuya energía máxima, si bien no les permitía alcanzar la tierra por su ecuador magnético, no obstante, era suficiente para penetrar a través de la atmósfera hasta el nivel del mar hacia la latitud magnética de 40°.

Sin embargo, son muchas las fulguraciones solares que no van acompañadas de aumento alguno de la intensidad de la radiación (34 bis); en general, cuando ambos fenómenos se presentan conjuntamente, se inicia un incremento de dicha intensidad aproximadamente una hora después de aparecer la fulguración, alcanza rápidamente su máximo valor y después decrece lentamente hasta volver a su valor primitivo. La duración del fenómeno es de un día, poco más o menos, y solamente se observa en puntos de latitud geomagnética muy alta o intermedia; aproximadamente un día después de aparecer la fulguración se deja sentir una tempestad magnética por todo el Globo, decrece la intensidad de la radiación para volver después a aumentar lentamente hasta alcanzar su valor normal.

Recientemente, Forbush, Gill y Vallarta (35) han dado a conocer una teoría preliminar de estas bruscas variaciones de la radiación cósmica; en realidad, la primera cuestión que en dicha teoría plantean sus autores, referente a la posibilidad de acelerarse las partículas electrizadas por fenómenos relacionados con la aparición de fulguraciones solares, fué ya estudiada hace años por Swann (36).

Por mecánica relativista resolvió este autor el problema de la energía adquirida por tales partículas, mediante la acción de los campos magnéticos *variables* existentes en las manchas solares (sabido es que las fulguraciones aparecen casi siempre en las mismas regiones que las

(34) H. V. NEHER and V. C. ROESCH: *Rev. of Mod. Phys.* 20, 350, 1948

(34 bis) J. W. BROXON and H. W. BOCHMER: *Phys. Rev.* 78, 411, 1950.

(35) S. E. FORBUSH, P. S. GILL and M. S. VALLARTA: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 44, 1949.

(36) W. F. G. SWANN: *Phys. Rev.* 43, 217, 1932.

manchas y pueden desarrollarse en ellas, entre uno y dos días, campos de hasta 5.000 gauss) llegando a la conclusión de que dicha energía puede alcanzar el mismo orden de magnitud que el del extremo inferior del espectro de la radiación cósmica.

Siendo afirmativa tal conclusión, ¿es posible que aquellas partículas puedan escapar del Sol? Si se acepta que el momento del dipolo solar es de 10^{34} gauss \cdot cm³, y que, por tanto, el codo de la curva del efecto de latitud debe estar hacia los 50° de latitud geomagnética, resulta que a causa de la región prohibida del cono de Störmer, los protones de energía máxima comprendida entre 6 y 7 Bev (que es, según Swann, la que debían poseer los sometidos a la acción del campo magnético variable de las dos manchas solares que acompañaban a la fulguración solar de Forbush), sólo pueden abandonar la superficie del Sol a muy elevadas latitudes solares (y aun en este caso, entre muy estrechos límites de latitud), a no ser que se den circunstancias especiales favorables a la expulsión de aquellas partículas. En efecto, se demuestra que la acción del campo magnético del par de manchas solares, equivale a excavar un túnel a lo largo del cono prohibido de Störmer, a través del cual pueden escapar las partículas en cuestión (37); la existencia de este túnel largo y estrecho depende de la intensidad relativa y orientación de los dipolos permanente y transitorio y de la relación de sus respectivas intensidades de campo de función de la distancia. Sólo muy raras veces se cumplen las condiciones necesarias para la existencia de dicho túnel, lo que explica por qué las fulguraciones solares no van siempre acompañadas de un incremento de la intensidad de la radiación cósmica.

Sus partículas integrantes pueden llegar a la Tierra solamente siguiendo ciertas direcciones impuestas por la acción conjunta de los campos magnéticos solar, terrestre y los variables de las manchas solares y con una intensidad (de acuerdo con el teorema de Liouville) igual a la que tenían al salir del Sol. En realidad, este intrincado problema sólo puede resolverse integrando las ecuaciones del movimiento de las partículas, laboriosísima tarea que requiere el empleo de las más modernas máquinas de calcular electrónicas.

(37) M. S. VALLARTA and O. GODART: *Rev. Mod. Phys.* 11, 180, 1939.

LA PLURALIDAD DE LOS MESONES. SU RELACION CON EL PROBLEMA DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES

«There are more things in heaven and
earth Horatio, than are dreamt of, in your
philosophy.»

(SHAKESPEARE, *Hamlet*)

El mesón experimental. Los enjambres explosivos.—En el prólogo del libro «Le Meson» (38), de Leprince-Ringuet y sus colaboradores, el ilustre príncipe Luis de Broglie se expresa en los siguientes términos: «El descubrimiento de una nueva partícula elemental, constituye siempre para los físicos que estudian los fenómenos de la escala atómica un acontecimiento sensacional. Este trastorna nuestras perspectivas; la aparición de un nuevo elemento enriquece los medios de representación de que disponemos en nuestras tentativas de representación de este mundo atómico. Tales descubrimientos nos alegran, tanto por lo que amplían nuestros conocimientos, como por los nuevos horizontes que nos descubre. Pero, por otra parte, tampoco deja de irritarnos un poco, porque ello aumenta el número de constituyentes elementales de la materia a las que nuestro espíritu, siempre enamorado de la simplicidad, querría, al contrario, reducir todo lo posible...»

Ahora bien; un acontecimiento de este género se ha producido tres veces en una decena de años (de 1930 a 1940), con el descubrimiento sucesivo del neutrón, del electrón positivo y del mesón, los nuevos fugacísimos emisarios de los núcleos atómicos.

Sabido es que la existencia de esta última partícula fué precisada en la componente dura de la radiación cósmica por Anderson y Neddermeyer (39), e independientemente por Street y Stevenson (40), en

(38) L. DE BROGLIE: *Le Meson* (Editions de la *Revue d'Optique*. París, 1945).

(39) S. H. NEDDERMEYER and C. D. ANDERSON: *Phys. Rev.* 50, 266, 1936. 51, 884, 1937. 53, 102, 1938.

(40) J. C. STREET and E. C. STEVENSON: *Phys. Rev.* 51, 1005, 1937.

tre 1936 y 1937, estudiando unas fotografías tomadas en la cámara de Wilson con intenso campo magnético; la *ionización específica* de algunas de las trayectorias que en aquéllas quedaron registradas, era demasiado pequeña para ser atribuída a un protón, y, en cambio, excesiva para un electrón, cuya velocidad (deducida de la curvatura de su trayectoria) no podía ser muy elevada.

El estudio de miles de placas fotográficas, obtenidas posteriormente por numerosos investigadores, evidencian que la nueva partícula aparece electrizada con carga de uno u otro signo (predominando al nivel del mar las de signo positivo), sensiblemente igual a la del electrón, mientras que su masa resulta intermedia entre este último y la del protón (40 bis); de aquí los nombres que ha recibido: *electrón pesado, baritrón, mesotrón y mesón* (41).

Ya hemos dicho anteriormente que se trata de partículas esencialmente inestables, con una vida media de $2 \cdot 10^{-6}$ segs. Por ser ésta tan brevísima, no parece, a primera vista, que los mesones puedan recorrer grandes trayectos en la atmósfera, aun con velocidades próximas a la de la luz. En realidad, sus recorridos medios pueden llegar a ser incluso de algunos kilómetros, a causa de un bien conocido efecto relativista; en efecto, la vida media observada, no es la real, puesto que los mesones vuelan muy rápidamente, y el fenómeno del retraso relativista de los relojes prolonga la vida media aparente. Volveremos pronto sobre la determinación de la misma, realizada según varios métodos y por diversos investigadores (Rossi, Nereson, Auger, Freon, Bernardini, Cacciapuoti, etc.).

Cuando los mesones positivos son relativamente poco rápidos, quedan detenidos por las pantallas materiales, desintegrándose según el tipo β^+ ; el electrón positivo así producido, tiene una energía de unos 25 Mev, según se desprende de los recientes experimentos de Anderson y colaboradores (42). Si esta energía es única (lo cual está por dilucidar) debe admitirse, para que se cumplan los principios de la

(40 bis) D. J. HUGHES: *Phys. Rev.* 69, 371, 1946. W. B. FRETTER: *Phys. Rev.* 70, 625, 1946. J. D. RETALLACK and R. B. BRODE: *Phys. Rev.* 75, 1716, 1949.

(41) Adaptaremos este último, siguiendo la recomendación de la Unión Internacional de Física en sus últimas reuniones de Cracovia (1937) y Amsterdam (1948).

(42) C. D. ANDERSON, R. V. ADAMS, P. E. LLOYD y R. R. RAU: *Phys. Rev.* 72, 724, 1947.

conservación de la carga y del impulso, que además del electrón, es emitida (por lo menos) una partícula neutra *de rebote* (neutreto), con masa próximamente igual a la mitad de la del mesón original. De modo análogo, se ha encontrado experimentalmente que el mesón negativo se desintegra a través de las pantallas de elementos ligeros, según un proceso β^- ; en cambio, a través de materiales pesados, *no se encuentran* tales electrones de desintegración (43). Esto se ha interpretado, admitiendo que los mesones negativos son captados por los núcleos atómicos y aun puede suponerse (sin certidumbre, desde luego) que tales mesones provocan desintegraciones de aquellos núcleos, con emisión de partículas pesadas. Hasta ahora, ni el número de partículas neutras emitidas en tales desintegraciones, ni su naturaleza, son perfectamente conocidas; sin embargo, ha sido plenamente comprobado por los experimentos realizados por Sard y Althaus y Hincks y Pontecorvo, que las partículas neutras en cuestión *no pueden ser fotones* (44).

A su paso a través de la materia, los mesones han de ceder una parte de su energía (igual que ocurre con los electrones), por la ionización que provocan a causa del choque con las envolturas electrónicas del átomo. En cambio, la *radiación de enfrenamiento*, originada en las proximidades del núcleo, tiene mucha menos importancia que para los electrones, pues que, de acuerdo con la electrodinámica cuántica (44 bis), la intensidad (probabilidad) de este proceso de enfrenamiento, es inversamente proporcional al cuadrado de la masa de la partícula que choca. Por eso, los mesones son tan frecuentemente dispersados por el núcleo (analogía con el efecto Compton), proceso que para los electrones sólo entra en consideración cuando su energía es mayor que el megaelectronvolt., pero que con energías mayores adquiere importancia enfrente de la radiación de enfrenamiento.

El hecho de que los mesones negativos sean detenidos por los elementos ligeros sin provocar reacciones nucleares, podía explicarse

(43) M. CONVERSI, E. PANCINI y O. PICCIONI: *Phys. Rev.* 71, 209, 1947.

(44) R. D. SARD y ALTHAUS: *Phys. Rev.* 73, 1251, 1948. E. P. HINCKS y B. PONTECORVO: *Phys. Rev.* 73, 257, 1948.

(44 bis) W. HEITLER: *The Quantum Theory of Radiation*, pág. 165 (Oxford Press, 1944).

admitiendo que son absorbidos por los átomos en una de sus órbitas más próximas al núcleo; el mesón negativo podría permanecer el tiempo suficiente en dicha órbita para sufrir en ella su desintegración radioactiva. Este proceso implicaría una acción mutua entre los mesones y los núcleos ligeros, de un orden de magnitud mucho menor que el admitido anteriormente (45); pero desde luego no quedan excluidas otras explicaciones. Una etapa de más íntima penetración, consistiría en la absorción del mesón negativo por el núcleo, en cuyo seno se transformaría un protón en un neutrón por el conocido juego de las *fuerzas de canje*, y teniendo en cuenta la energía aportada por el mesón, puede así también originarse un núcleo excitado.

Finalmente, de acuerdo con Heisenberg, puede atribuírsele al mesón la intervención en un proceso elemental poco frecuente, consistente en los *enjambres explosivos* (*burst, penetrating showers, Explosionsschauer*). En efecto, además de los tan conocidos enjambres en cascada, a que ya nos referimos anteriormente, se observan de vez en cuando (más bien raramente) en la cámara de Wilson intensos enjambres de partículas que no sólo contienen electrones de ambos signos, sino que en ellos predominan mesones, y protones y neutrones; dadas las condiciones experimentales y aleatorias de su producción, no es posible explicarlos por un proceso en cascada (en el que el núcleo sólo interviene como centro no disociable), sino que constituye realmente un proceso o *acto elemental intranuclear*, eficacísimo para el conocimiento de su estructura. Como según Heisenberg, tales enjambres explosivos deben ser producidos por el choque contra el núcleo de un protón o un neutrón (y que en el que incidentalmente también pueda originarse un mesón de mayor energía), se trata de una verdadera *materialización de energía cinética*, y, por tanto, de una manifestación a escala mucho mayor que la conocida génesis del par negatón positón en el choque de un cuanto de radiación contra un núcleo. Pero así como esta génesis, desde el punto de vista ondulatorio, se explica por un proceso de canje entre el campo electromagnético del cuanto de radiación y el campo de la onda electrónica (proceso que en la teoría de Dirac se describe y explica cumplidamente), en cambio, la mecánica ondulatoria falla en la explicación de la génesis mesónica por insuficiencia del conocimiento teórico del campo nuclear, en el

(45) E. FERMI, E. TELLER and V. WEISKOPF: *Phys. Rev.* 71, 314, 1947.

cual debe tratarse el mesón incidente de modo análogo a como se considera en el campo electromagnético el cuanto de radiación.

Precisamente el proceso que nos ocupa encierra una grave dificultad. En efecto, la teoría de los campos electromagnético o mesónico, asigna a toda partícula *puntiforme* una *energía infinita*, y este valor desconcertante (que se añade a las energías mensurables) no es posible eliminarlo, sino recurriendo a artificios bastante arbitrarios, por ejemplo, imponiendo nuevas limitaciones a las posibilidades físicas. Esto es lo que hizo Heisenberg (46), quien ya en 1938 propuso sustituir la hipótesis del electrón de dimensiones finitas por otra más sutil en la que se limita el propio concepto de longitud, el cual carecería de sentido físico a partir de una cierta *longitud límite*.

Cuestiones son éstas que desde luego están todavía en plena evolución y desarrollo y a las que hemos creído necesario referirnos someramente aunque sólo sea para poner de manifiesto de modo intuitivo la importancia trascendental de los fenómenos de choque nuclear a elevadas energías.

Hagamos notar de paso, que el esquema de desintegración del mesón en dos partículas (electrón y neutrino o neutreto) fué primeramente sugerido en 1935 por el físico japonés Yukawa en un trabajo teórico (para explicar las fuerzas reinantes en los núcleos atómicos) bajo la hipótesis de que la desintegración del mesón se puede representar como una etapa intermedia de las transformaciones nucleares de tipo β .

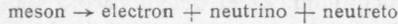
Este modo de ver, parece comprobado y sostenido por las fotografías obtenidas en la cámara de Wilson por Williams y Roberts (47), en las que puede observarse la expulsión de un electrón de $70 \pm 3,5$ MeV, y recientemente por Conversi, Pancini y Piccioni con su *lente magnética* (loc. cit.), y Retallack (48). Por el contrario, la hipótesis de la desintegración del mesón en un electrón y un neutreto de 70 MeV de energía *en reposo*, está afianzada por otras fotografías de la cámara de Wilson, obtenidas por Anderson, Adams, Lloyd y Rau, a los que antes nos hemos ya referido.

(46) W. HEISENBERG: *Ann. der Phys.* 32, 20, 1938.

(47) E. J. WILLIAMS and G. E. ROBERTS: *Nature*, 145, 102, 1940. R. P. SHUTT, S. DE BENEDETTI and T. H. JOHNSON: *Phys. Rev.* 62, 552, 1940.

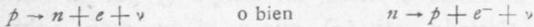
(48) J. G. RETALLACK: *Phys. Rev.* 73, 921, 1948.

Pero como ya indicábamos, no son éstas las únicas posibilidades de interpretación; así, recientemente Tiomno y Wheeler (49) han sugerido el esquema siguiente de desintegración del mesón *en tres partículas*



Con el se predice una distribución *continua* de energía para los electrones emitidos a partir del mesón estacionario, con un máximo hacia los 25 MeV que se extienden en ambos sentidos unos 10 MeV por término medio. Esta tripartición del mesón parece confirmarse experimentalmente con los últimos trabajos de distintos investigadores (50) sobre la distribución del impulso de los electrones procedentes de la desintegración del mesón.

Teorías del mesón.—En la teoría de Heisenberg sobre la constitución del núcleo atómico (51) hoy universalmente admitida, la radioactividad β natural o artificial se interpreta como la transformación mutua de los dos nucleones p y n con emisión de un electrón positivo o negativo y un neutrino (de masa nula o muy pequeña, de spin $1/2$ en unidades $h/2\pi$ y que obedece a la estadística de Fermi); así se cumple con los principios de conservación y con la estadística. Esquemáticamente, el proceso se representa como sigue (52):



Como ya hizo notar Fermi, existe un notable paralelismo entre la emisión de electrones por un núcleo y la de fotones por los átomos.

Faltaba explicar la solidez del edificio nuclear, esto es, precisar la naturaleza de las fuerzas que se ejercen entre los nucleones. Desde luego, entre protones debe ejercerse la consabida repulsión coulombiana, de modo que para justificar la estabilidad del núcleo es preciso recurrir a fuerzas de otra índole; de aquí arranca el concepto de *fuerzas de canje* (o menos propiamente *de intercambio*) intro-

(49) J. TIOMNO and J. A. WHEELER: *Rev. of Mod Phys.* 21, 144, 1949.

(50) Véanse las conclusiones de Oppenheimer en el número de la *Rev. of Mod. Phys.* de la cita anterior.

(51) W. HEISENBERG: *Zeit. für Phys.* 77, 1. 78, 15, 1932.

(52) E. FERMI: *Zeit. für Phys.* 88, 161, 1934.

ducidas por vez primera por Heitler y London (53) para explicar el tan conocido (empíricamente) *efecto de saturación*, que igual que la valencia química, ofrecen las fuerzas de *corto alcance*, reinantes en el núcleo atómico. Según esta doctrina (que tan fecunda ha sido en la moderna físico-química) el *acoplamiento* (empleando la misma palabra de tanto abolengo en la teoría de los circuitos eléctricos) entre las partículas pesadas del núcleo, se efectúa por el cambio mutuo (*Platzwechsel*) de sus cargas, sus spins o ambos a la vez; algo así como un *peloteo* (permítasenos la vulgar palabra, en gracia a su fuerza expresiva) entre núcleos, mediante *leptones* (54). Estos diferentes tipos de interacciones, propuestas respectivamente por Heisenberg, (1932), Majorana (1933) y Bartlett (1936) son con los que se ha tratado de interpretar los resultados experimentales.

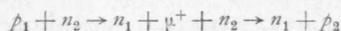
Aunque es verdaderamente tentador proseguir la analogía ya señalada entre los espectros β y la emisión de fotones, es decir, transferir a la teoría del núcleo el mecanismo que tan fructuoso ha sido en las teorías de la luz, no trataremos de llegar aquí hasta la génesis de las fuerzas nucleares, cuyo mecanismo, a pesar de todo, sigue siendo bastante oscuro. Acaso una de las maneras que facilita su comprensión intuitiva, es recurrir al aspecto ondulatorio más que al corpuscular del electrón de intercambio; en efecto, al transformarse el neutrón, se inicia o excita un campo (y por lo tanto la función de onda del electrón emitido), que es el que actúa sobre el cercano protón. La más importante distinción cualitativa entre este aspecto y la interacción electromagnética entre dos partículas cargadas, consiste en que el intercambio de cargas se realiza de modo tal que las fuerzas resultantes poseen el ya indicado carácter de saturación impuesto por la experiencia. Desgraciadamente la teoría de Fermi ha resultado totalmente ineficaz para explicar el *orden de magnitud* de aquellas fuerzas, pues la interacción entre protón y neutrón, resulta ser inferior en el factor 10^{-12} por lo menos. Ante este estado de

(53) W. HEITLER und F. LONDON: *Zeit. für Phys.* 44, 455, 1927.

(54) De acuerdo con la sugerencia de MÖLLER y ROSENFELD, llamamos *leptones* (del griego λεπτος pequeño, delicado) a los electrones y neutrinos, es decir, partículas de masa pequeñísima, independientemente de su carga

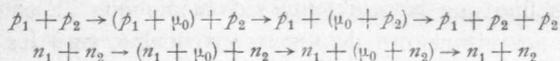
cosas, Yukawa (55) y sus colaboradores postularon la existencia en el campo nuclear, de una nueva partícula o *cuanto*, que desintegrándose a su vez en electrones y neutrinos, fuera responsable de las fuerzas de corto alcance de aquel campo; así se introduce una nueva constante natural, *la constante radioactiva del mesón*, que puede escogerse de modo que tanto el periodo del proceso β , como la intensidad de su espectro coincidan con los observados. La analogía de interacciones entre electrón-fotón (ya indicada) y entre nucleón-mesón es muy estrecha y las diferencias entre las fuerzas electrostáticas y las nucleares provienen de las existencias entre fotones y mesones.

Todo protón puede considerarse envuelto por un campo mesónico positivo o lo que es lo mismo, como *combinación de un neutrón con un mesón positivo μ^+ de spin nulo*; éste puede ser capturado *virtualmente* por otro neutrón próximo, que se convertirá en protón y el primero pasará a neutrón de acuerdo con el siguiente esquema:



Análoga reacción explica la *fuerza de canje* entre neutrón y protón, suponiendo rodeado al primero por un campo mesónico negativo.

Asimismo las fuerzas entre protón-protón y neutrón-neutrón obligan a postular la existencia de mesones neutros μ_0 (neutretos) con los mecanismos siguientes:



Conviene dejar bien sentado que estos modos de interacción *no explican la aparición de mesones libres*, puesto que las energías puestas en juego son insuficientes para ello. En efecto, por lo que se sabe sobre la masa del mesón μ , la expulsión de esta partícula libre exigiría un mínimo de energía (igual a μc^2) del orden de los 100 MeV, con los cuales es imposible la producción de los fenómenos nucleares. Estos intercambios de mesones *no cumplen con el principio de la conservación de la energía*, pero sí el proceso de liberación mesónica.

(55) H. YUKAWA: *Proc. Phys.-Math. Soc. Jap.* 17, 48, 1935. 19, 1084, 1937. 20, 720, 1938.

Así pues, el mesón nuclear difiere del que se observa libremente, puesto que se encuentra en un estado *virtual* cuya existencia está condicionada por la de los nucleones y su interacción.

El mesón experimental, decubierto en la radiación cósmica, parecía estar dotado de las propiedades profetizadas por el físico japonés para su hipotética partícula, aunque la completa identidad entre ambas nunca ha sido establecida. Después de aquel descubrimiento era natural tratar de buscar la explicación de las propiedades de los mesones libres, dentro de una teoría general de estas partículas; desgraciadamente, hasta ahora *no existe ninguna* completamente satisfactoria. Únicamente la teoría ideada por Möller y Rosenfeld en 1940 (56) asociando las sugeridas antes, del mesón pseudo-escalar y del vectorial, parece dar una satisfactoria explicación de los fenómenos nucleares; sin embargo, el gran teórico Bethe (que también por la misma época realizó un esfuerzo análogo) (57) no sólo la encuentra deficiente (precisamente por exceso de flexibilidad) sino que incluso la considera como un retroceso, pues añade a una teoría nuclear con indeterminación, otra teoría de campos más arbitraria todavía.

La familia de los mesones pesados; su evolución. Tentativas recientes para la explicación mesónica del campo nuclear.—Además de la abundante información suministrada por la cámara de Wilson sobre los mesones, es indudablemente la *acción directa* de éstos sobre la placa fotográfica (con emulsión argéntica más gruesa y de grano mucho más fino que las corrientes) el medio que ha proporcionado no sólo el descubrimiento de nuevas partículas, sino los datos más interesantes sobre *lo que ocurre en los extremos* de su breve recorrido dentro de la indicada emulsión. A los físicos de la Universidad de Bristol (Powell, Ochiellini, Muirhead, Lattés, etc.) se debe principalmente el perfeccionamiento de esta nueva técnica, iniciada años atrás por las físicas vienesas Blau y Wambacher (58), y que en manos de aquéllos había de convertirse en tan fructífero y precioso reactivo de la física nuclear.

El rastro de los mesones se distingue del de las otras partículas

(56) L. ROSENFELD: *Nature*, 144, 476, 1939.

(57) H. A. BETHE: *Phys. Rev.* 57, 260, 390, 1940.

(58) M. BLAU and H. WAMBACHER: *Wiener. Ber.* 146, 623, 1937. *Nature*, 190, 585, 1937.

por su débil densidad de grano (mucho menor que la del protón), que aumenta rápidamente al enfrenarse aquéllos con la longitud de su trayecto y por la sinuosidad de éste, debida a los continuos cambios de dirección, a causa de la acción coulombiana de los núcleos de la emulsión sobre el mesón; de la magnitud de esta acción (*scattering*) y de la cuenta de los granos en función de la longitud del recorrido, se deduce que la masa de aquella partícula es intermedia entre la electrónica y la protónica. Las desintegraciones nucleares provocadas por los mesones y materializadas por las famosas *estrellas cósmicas*, de origen tan enigmático (59), han permitido deducir que el trayecto de la partícula que las produce se dirige y termina realmente en aquéllas (precisamente por el consabido aumento de densidad de grano y mayor sinuosidad del rastro de la partícula al aproximarse a la estrella) y por tanto se deduce que tal partícula no puede ser un producto de desintegración.

En junio de 1948, diez años después del descubrimiento del mesón por Anderson y Neddermeyer, Powell describía en un coloquio celebrado en la Universidad de Manchester (60) el especial proceso de desintegración que experimenta un nuevo tipo de mesón (con carga elemental de uno u otro signo), *mesón π* (así designado por sus descubridores del equipo de Bristol), en virtud del cual, éste se transforma rapidísimamente (entre 10^{-6} y 10^{-11} seg.) en el primitivo mesón, único conocido hasta entonces y al que se le dió el nombre de *mesón μ* . La relación de masas entre la primera y segunda de estas partículas, determinada independientemente por la cuenta de los granos en sus respectivas trayectorias dió $m_{\pi}/m_{\mu} = 1,65$ y por su número de flexiones debidas al *scattering* de la emulsión resultó $m_{\pi}/m_{\mu} = 1,35$, con lo que la masa del mesón π viene a ser de 270 a 330 veces mayor que la del electrón en reposo y por eso también se le llama *mesón pesado*. Los mesones ligeros μ así producidos poseen siempre una energía característica de 4,1 MeV (determinada mediante un calibrado del alcance en función de la energía), habiéndose comprobado su *débil acoplamiento* con los núcleos, propiedad que tie-

(59) D. H. PERKINS: *Nature*, 160, 707, 1947. *Phil. Mag.* 40, 600, 1949.
J. B. HARDING: *Phil. Mag.* 40, 600, 1949.

(60) C. M. G. LATTES, G. P. S. OCHIALINI and C. F. POWELL: *Nature*, 159, 694, 1947. 160, 453, 486, 1947. *Proc. Phys. Soc.* 61, 178, 1948.

nen de común con los mesones encontrados en la componente penetrante de la radiación cósmica al nivel del mar, como ya hemos dicho, han demostrado experimentalmente Conversi, Pancini y Piccioni. En cambio, los mesones π^- se caracterizan por ejercer una *fuerte interacción nucleónica* (puesta bien de manifiesto por las *estrellas* que provocan al final de su recorrido) como la que se asignaba a los cuantos de la teoría de Yukawa, admitiéndose por tanto que el mesón postulado por el físico japonés, se identifica con el mesón π .

Los principios de la conservación de la energía y del impulso, conjuntamente con la imposibilidad de haber conseguido observar una tercera partícula ionizante durante la desintegración del mesón π positivo o negativo exige que en este proceso sea emitido asimismo un mesón neutro $\mu_0 \approx 80 m_e$ (además del mesón μ) cuya existencia abonan diversos argumentos teóricos.

El estudio cuidadoso de las relaciones existentes entre los mesones y las estrellas cósmicas ha conducido a una ulterior clasificación de aquellas partículas, cuyo rastro desaparece dentro de la emulsión fotográfica. Cuando la trayectoria del mesón termina con la captura de éste por un núcleo, provocando su explosión o *estrella*, se trata de un mesón σ , mientras que los que llegan al final de su carrera y desaparecen sin más consecuencias, se conocen por mesones ρ ; como se ve, la distinción entre estas dos nuevas categorías es puramente fenomenológica. Lattes, Ochiellini y Powell han probado que la mayoría de los mesones σ son del tipo π^- ; en efecto, es muy plausible que estos últimos debido a su carga acaben siendo capturados por los núcleos de la emulsión, mientras que los π^+ , por no poder atravesar la barrera de Gamow que defiende a los propios núcleos, terminarán transformándose todos en sus correspondientes μ en el interior de un sólido. Claro está que en el vacío, también acabarán desintegrándose los π^\pm en sus correspondientes μ ; *éstos son siempre producidos por los anteriores*.

Análogamente, muchos de los mesones ligeros μ pueden ser del tipo ρ ; en realidad, el *porvenir* o destino final de los mesones ρ es todavía poco claro y hasta ahora solamente han sido propuestas algunas explicaciones razonables (aunque nada fáciles de justificar) de su misteriosa desaparición.

A la luz de estos hechos experimentales, recientemente descubiertos, ha sido preciso formular de nuevo la teoría mesónica de las fuer-

zas nucleares, iniciada por Heitler (61) y posteriormente desarrollada por diferentes físicos teóricos como Pauli (62), Wentzel (63), Rosenfeld (64), Klein (65), etc. Ante todo debe hacerse una juiciosa y acertada elección de los spins de los mesones π y μ sobre cuya determinación directa, Wentzel ha sugerido algunos *efectos* de tipo más o menos experimental (66); de las cuatro combinaciones de aquellos (teóricamente posibles) propuestas por Marshak y Bethe (67) parece ser que los valores 0 y 1 para el spin del mesón π y $1/2$ para el del μ (la hipótesis de 1 para este último quedó ya descartada hace años por las consideraciones de Christy y Kusaka (68) sobre la producción de explosiones *-bursts*) son las que más probablemente deben darse en la Naturaleza, de acuerdo con los argumentos aducidos en diversas ocasiones por Oppenheimer, Serber (69), Wheeler, Taketani (70) y otros teóricos. Los puntos más decisivos de tales argumentos son el sorprendente contraste que ya hemos visto ofrece la captura de los mesones π y μ por parte de los núcleos atómicos.

En efecto, cuando esto ocurre con un mesón π^- lento, la mayor parte de su energía en reposo $mc^2 = 150$ MeV, es transferida en forma de energía cinética a los nucleones, provocando el fraccionamiento del núcleo; esto únicamente es posible si los mesones π poseen spin entero y si no son emitidas más partículas neutras que los neutrones según han probado cumplidamente Wheeler y Tiomno (71), de una parte y Serber, de otra.

Aceptando estas premisas, se requiere además la intervención de un neutrino para la conservación del impulso angular en el proceso de captura, lo mismo que en la desintegración del mesón ligero libre;

-
- (61) W. HEITLER: *Proc. Roy. Soc. A.* 166, 529, 1938.
(62) W. PAULI: *Meson Theory of Nuclear Forces. Interscience Publ.* 1946.
(63) G. WENTZEL: *Rev. of Mod. Phys.* 19, 1, 1947.
(64) L. ROSENFELD: *Nuclear Forces* (dos tomos). Amsterdam, 1948.
(65) O. KLEIN: *Nature*, 161, 897, 1948.
(66) G. WENTZEL: *Helv. Phys. Acta.* 22, 101, 1949.
(67) R. E. MARSHAK and H. A. BETHE: *Phys. Rev.* 72, 506, 1947.
(68) R. F. CHRISTY and S. KUSAKA: *Phys. Rev.* 59, 414, 1941.
(69) R. SERBER: *Phys. Rev.* 72, 1459, 1949.
(70) M. TAKETANI, S. NAKAMURA, K. ONO and M. SASAKI: *Phys. Rev.* 76, 60, 1949.
(71) J. A. WHEELER and J. TIOMNO: *Phys. Rev.* 75, 1306, 1949. *Rev. of Mod. Phys.* 21, 153, 1949.

este planteo del problema tiene la ventaja de poder atribuir la aparente pérdida de energía, siempre que se produzca en cualquier proceso (desintegración de mesones π , captura de mesones μ , radioactividad β , etc.) a una misma y única causa de disipación energética.

El esquema de Serber (loc. cit.) para los spins mesónicos e interacciones mutuas parece estar de acuerdo (por lo menos cualitativamente) con los hechos experimentales y puede resumirse como sigue:

a) Las fuerzas nucleares se engendran gracias a la creación y aniquilación de mesones π por los nucleones; éstos canjean tales partículas, lo que exige posean un spin entero (en unidades $\frac{h}{2\pi}$) como en la primitiva hipótesis de Yukawa).

b) Un mesón π puede desintegrarse en un mesón μ (con carga del mismo signo) y un neutrino ν ; como éste posee un spin $1/2 \frac{h}{2\pi}$, el mesón ligero producido deberá tener spin análogo de acuerdo con el esquema

$$\pi(0,1) \rightarrow \mu(1/2) + (1/2)\nu$$

c) En el espacio libre, un mesón μ se transforma en un electrón y dos neutrinos (72) cuya aparición se explica porque tales electrones (observados en la cámara de Wilson) poseen una distribución *no uniforme* de su energía, hasta un máximo de unos 55 MeV; si fuera emitido un solo neutrino, aquel electrón siempre tendría una misma energía,

d) Un mesón π o μ puede ser capturado por un nucleón, expulsándose un neutrino, como se indica a continuación de las dos maneras posibles

$$\pi^+(0,1) + p(1/2) \rightarrow n(1/2) + \nu(1/2) \quad \mu^-(1/2) + p(1/2) \rightarrow n(1/2) + \nu(1/2)$$

Los términos de la hamiltoniana que describe estas interacciones, contienen ciertos parámetros *g de acoplamiento*, que en lo referente (por lo menos) al orden de magnitud, están determinadas por la intensidad de las fuerzas actuantes entre nucleones. Por otra parte, cuando aquellas *g* son conocidas, la teoría permite calcular las posibilidades de los procesos de emisión y absorción de los mesones pesados por los nucleones; sin embargo, el resultado de aquellos cálcu-

(72) J. H. DAVIS, W. O. SLOCK and H. MUIRHEAD: *Phil. Mag.* 40, 1250, 1949.

los están en desacuerdo con muchos de los datos experimentales obtenidos con placas fotográficas especiales. Por de pronto, la vida de los mesones μ en su evolución β , resulta ser mayor que la observada (2.10^{-6} seg.), pues la probabilidad de este proceso es proporcional al producto de los cuadrados de dos g muy pequeñas. Otra dificultad surge en la interpretación de la radioactividad nuclear β , como creación y aniquilación virtual de mesones π , pues la constante g es entonces tan grande que la vida de aquellos mesones en la desintegración indicada, también es mucho menor que la observada en la transmutación $\pi \rightarrow \mu$.

No acaban aquí las dificultades teóricas con que se tropieza en este árido terreno, pues desde hace algunos años han aparecido en escena nuevos hechos de gran importancia que complican extraordinariamente esta cuestión. Ya desde 1946, Leprince-Ringuet y L'Heritier (73), Rochester y Butler (74) habían descubierto en algunas de sus diapositivas, rastros de partículas cuya masa debía ser bastante mayor que la de los mesones pesados; más recientemente, Brode (75) y Leprince-Ringuet (76) han demostrado experimentalmente la existencia de mesones positivos y negativos con masas comprendidas entre 500 y 800 m_0 y una fotografía, obtenida últimamente por Powell y sus colaboradores (77), muestra claramente la desintegración del llamado mesón τ (con masa de unos 1.000 m_0) en otros tres mesones, uno de los cuales es probablemente un π^- . Estos nuevos descubrimientos abren el camino a diversas posibilidades, pero también dejan entrever muy serias dificultades en cuyo estudio no podemos entrar y que puede verse en un documentado artículo de Yukawa (78).

Pero quienes aseguran haber descubierto la existencia de un notable número de partículas, con masa superior a la de los mesones ya indicados, son los investigadores rusos Alichanian y Alichanow (79)

(73) L. LEPRINCE-RINGUET et M. L'HERITIER: *Jour. de Phys. et Rad.* 7 (ser. VIII), 66 1946.

(74) G. D. ROCHESTER and C. C. BUTLER: *Nature*, 160, 855, 1947.

(75) R. B. BRODE: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 37, 1949.

(76) L. LEPRINCE-RINGUET: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 42, 1949.

(77) R. BROWN, U. CAMERINI, P. H. FOWLER, H. MUIRHEAD, C. F. POWELL D. M. RITSON: *Nature*, 163, 47, 82, 1949.

(78) H. YUKAWA: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 474, 1949.

(79) A. I. ALICHANIAN and A. I. ALICHANOW: *Nature*, 163, 761, 1949.

en sus trabajos sobre la composición de los rayos cósmicos a una altura de 3.250 m. sobre el nivel del mar, en la cima del Alaghez (Cáucaso), cerca de la frontera turca. Tan sensacional resultado fué obtenido (80) aplicando un método *directo* para la determinación de las masas de las partículas mediante su desviación en un campo magnético, y sin emplear la cámara de Wilson, sino tres bancos de contadores superpuestos; el alcance se deducía de los datos de absorción a través de pantallas de plomo. De sus primeros trabajos (entre 1946 y 1947) dedujeron que por lo menos el 10 por 100 de las partículas de la radiación incidente a aquella altura, tienen masas comprendidas entre 250 y 2.000 veces mayores que la del electrón, y para recalcar esta diversidad de masas propusieron para tales partículas la denominación genérica de *varitrones*. Poco después (febrero de 1947) presentaban una nueva comunicación a la Academia de Ciencias de la U. R. S. S. con pruebas de la existencia de partículas positivas, *mucho más pesadas que el protón, del orden de 5.000 m_e*.

Empleando un método totalmente distinto del de estos autores, su colaborador S. J. Nikitin demostró que en el espectro de masa de la totalidad de aquellas partículas, se podían distinguir tres grandes grupos por lo menos midiendo su ionización específica en el argón; Nikitin encontró que las masas de las nuevas partículas se agrupaban respectivamente alrededor de 300 a 500, 700 a 1.100 y 2.000 a 3.400 m_e . Pasado el verano de 1947 y con auxilio de un gran imán permanente de 7.500 gauss, lograron aumentar considerablemente la dispersión del espectrómetro de masa que utilizaban y consiguieron resolver con gran detalle el espectro de masas de los varitrones, llegando a poder distinguir y caracterizar masas de éstos de 200, 250, 350, 500 a 600, 650 hasta 2.200, 3.400, 8.000 m_e y aún más.

Que sobre esta importantísima cuestión no existe acuerdo ni unanimidad de pareceres entre los numerosísimos investigadores a ella entregados, lo prueban no sólo las discusiones entre Powell y los investigadores rusos, sino también los resultados negativos obtenidos últimamente por Rosenblum y otros investigadores, respecto a la existencia del mesón τ y de otras partículas pesadas análogas. La presencia de éstas no ha podido ser acusada en ninguna de las placas

(80) J. DAUDIN: *Jour. de Phys. et Rad.* 11, 25 D. Junio 1950.

estudiadas en 1949 por Franzinetti y Rosenblum y que, sometidas a la acción de un campo magnético de unos 29.180 gauss, estuvieron expuestas durante cincuenta días a la radiación cósmica en el Jungfraujoch, siguiendo la técnica descrita por Powell y Rosenblum (81). En cambio para Butler, Rosser y Barker (82) la existencia del mesón τ , no deja lugar a dudas según se desprende de sus recientes investigaciones; de esa misma opinión son Leprince-Ringuet y Peyrou (83), pero todos concuerdan en la rareza de estos mesones intermedios, cuya frecuencia (para pequeñas velocidades) no llega al 10 por 100 de la de los protones.

En un importante trabajo, publicado últimamente (84) por Anderson y sus colaboradores, se llega a la conclusión de la existencia de dos nuevas partículas inestables en la radiación cósmica. Del examen de más de 1.000 fotografías de la cámara de Wilson (en el seno de un campo de 6.500 gauss) se han encontrado 34 trayectorias en horquilla, que se interpreta como desintegración de partículas neutras o cargadas de nuevo tipo, con masa del orden de 900 m_e que evolucionan en $3 \cdot 10^{-10}$ seg., dando protones y mesones π .

Producción artificial de mesones.—Todo lo dicho hasta aquí se refiere a los mesones que espontáneamente se encuentran en la radiación cósmica, pero no a la posibilidad de su producción artificial. Precisamente, desde hace bastantes años, uno de los motivos que ha hecho progresar tan rápidamente la construcción de los gigantes aceleradores de partículas, tan en boga en la actualidad (beta-trones, sincro-ciclotrones, aceleradores lineales, etc.) es ni más ni menos que la obtención artificial de los mesones.

Evidentemente, para producir un mesón libre debe suministrarse, como mínimo, la energía correspondiente a su masa en reposo; ésta para los electrones, es de 0,51 MeV. Como un mesón ligero es unas 200 veces más pesado que aquéllos, requeriría algo más de los 100 MeV para su producción, o los 168 MeV si se tratara de un mesón

(81) C. POWELL and S. ROSENBLUM: *Nature*, 161, 473, 1948.

(82) C. C. BUTLER, W. G. V. ROSSER and K. H. BARKER: *Proc. Phys. Soc.* 63 (part. 2), 160, 1950.

(83) L. LEPRINCE-RINGUET et C. PEYROU: *Jour. de Phys. et le Radium*, 11, 243, 1950.

(84) C. ANDERSON, A. J. SERIFF, R. B. LEIGHTON, C. HSIAO and E. W. COWAN: *Phys. Rev.* 78, 290, 1950.

π . Pues bien, los está produciendo (seguramente desde que en ró en funciones) el gran sincro-ciclotrón de Berkeley (las piezas polares de cuyo electroimán miden 4,60 metros de diámetro), aunque sólo pudieron ser puestos en evidencia por primera vez hace poco más de dos años (el 21 de febrero de 1948 precisamente) gracias a la habilidad del joven físico brasileño Lattes (85), uno de los más brillantes colaboradores de la ya mentada escuela de Bristol (y a quien el gobierno de su país le ha dotado espléndidamente para fundar un laboratorio de Física nuclear en la Universidad de Sao Paulo). Creemos innecesario hacer resaltar la enorme importancia que tiene la producción y estudio de los mesones a voluntad y en condiciones determinadas y no aleatorias como son las de la radiación cósmica. He aquí descrito a grandes rasgos el modo como son obtenidos los mesones artificiales (86). El haz de partículas α de 380 MeV al terminar su recorrido dentro del sincro-ciclotrón, bombardea un blanco de carbono, con lo que se producen los mesones en el interior de aquél; sus trayectorias han de ser muy curvadas (en arco de círculo) por ser evidentemente muy intenso el campo magnético allí reinante. Los mesones negativos serán desviados en sentido contrario del que llevan las partículas α (como manifiesta la simple aplicación de la regla de los tres dedos) y van a chocar contra una pila de placas fotográficas, dispuestas de canto respecto a la trayectoria de los mesones; la distancia entre el punto de su producción y el punto por donde penetra en la emulsión fotográfica, permite conocer el radio de curvatura ρ de su trayectoria circular y por tanto $H\rho$ de cuyo producto se deduce la cantidad de movimiento de la partícula. Además de la longitud de su recorrido en la emulsión fotográfica se puede deducir su energía y mediante la combinación de ambos datos fácilmente se viene en conocimiento de la masa relativista del mesón. Esta resulta ser unas 313 ± 16 veces mayor que la del electrón en reposo, luego estos mesones son del tipo π ; su vida media es de $1,97$ a $1,37 \cdot 10^{-8}$ seg. (87).

(85) E. M. GARDNER and C. M. G. LATTES: *Science*, 107, 270, 1948. W. BAR-KAS, E. GARDNER and M. G. LATTES: *Phys. Rev.* 74, 1558, 1948.

(86) A. S. BISHOP, H. BRADNER and F. M. SMITH: *Phys. Rev.* 76, 588, 1949. W. H. BARXAS, A. S. BISHOP, H. BRADNER and F. M. SMITH, *Phys. Rev.* 77, 462, 1950.

(87) J. R. RICHARDSON: *Phys. Rev.* 74, 1720, 1948. E. A. MARTINELLI and W. K. H. PANOFKI: *Phys. Rev.* 77, 465, 1950.

Desde luego, se observan asimismo mesones de menor masa (unas $200 m_0$) procedentes del carbono, pues no parecen haber sido producidos por la desintegración durante el vuelo de los de masa mayor. Estos mesones negativos menos pesados, son idénticos a los σ a que antes ya nos hemos referido, pues originan en el extremo de su recorrido, una *estrella* de desintegración nuclear y son casi los únicos producidos cuando se sustituye el carbono por elementos muy pesados.

Esto está de acuerdo con las previsiones teóricas, puesto que los mesones π^+ para ser expulsados tienen que atravesar la barrera de potencial nuclear que evidentemente es tanto mayor cuanto más pesado es el elemento bombardeado; como es natural, este obstáculo no reza con los mesones negativos. No sólo por aquella causa fundamental la observación de los mesones positivos producidos por este medio es muy difícil, pues además, como se comprende, sus trayectorias están curvadas en sentido contrario del de los negativos, es decir, hacia el interior del ciclotrón, en donde no es posible colocar las placas fotográficas, pues serían un obstáculo contra el haz de iones de helio.

El número de mesones negativos observados por este método es muy grande; puede decirse que con una exposición de pocos minutos en el ciclotrón de Berkeley se obtienen millones de veces más mesones que exponiendo durante un mes la misma placa a la radiación cósmica en las más altas cimas de la cordillera de los Andes. A este respecto, haremos notar una curiosa contradicción sobre las energías puestas en juego en este proceso. En efecto, una partícula α de 400 MeV se considera equivalente a cuatro nucleones de 100 MeV cada uno, pero ninguno de ellos posee energía suficiente para engendrar una partícula con masa igual a $300 m_0$. Pues bien, contra estas previsiones, los experimentos han demostrado que la generación de mesones ya se inicia cuando la energía cinética por nucleón es sólo de unos 75 MeV. Buscando salida a esta flagrante contradicción, Gardner y Lattes, siguiendo una sugerencia de McMillan y Teller (88), admiten que aquélla sea debida a no tener en cuenta el movimiento de los nucleones en el interior de los núcleos que entran en colisión. Así, suponiendo por ejemplo que la energía cinética de los nucleones

(88) McMILLAN and E. TELLER: *Phys. Rev.* 72, 1, 1947

de una partícula α o de un núcleo de carbón sea de 25 MeV, los choques más favorables para la producción de mesones serán aquellos en que la velocidad relativa de los pares de nucleones tengan el mayor valor posible; un sencillo cálculo demuestra que la energía cinética máxima en el centro de masa de tal sistema, cuando se cumple tal condición, es de unos 200 MeV, valor más que suficiente para la creación de una partícula de masa igual a $320 m_0$. El mismo razonamiento indica que el *umbral* para la producción de mesones mediante partículas α debe estar alrededor de unos 300 MeV; entonces los resultados experimentales están de acuerdo con la tan sencilla hipótesis de que los mesones son el fruto de la interacción entre simples pares de nucleones.

Las investigaciones que febrilmente se llevan a cabo en Berkeley parecen comprobar la existencia de un mesón neutro (neutroto) con una vida media menor de 10^{-11} seg. y que se transforma en dos fotones; una partícula de tal naturaleza podría explicar la presencia de las parejas de electrones en los enjambres penetrantes. Todo hace suponer que estamos en los albores de un nuevo período de grandes progresos en el conocimiento de la estructura del núcleo atómico, movimiento de sus partículas y fuerzas actuantes entre las mismas, gracias a los cuales se mantiene la estabilidad de aquél.

Comentarios a la cuestión de las partículas elementales.—Hace apenas una quincena de años, el número de las llamadas *partículas elementales* conocidas, verdaderos *sillares del Universo*, podían contarse con los dedos de una mano. En una conferencia que dimos en la Facultad de Ciencias de Salamanca en la primavera de 1941 (89) como despedida de aquella querida e inolvidable Universidad, nos preguntábamos si eran aquellas las únicas partículas, y decíamos: «Aventurado sería afirmarlo, pues difícil parece cerrar la lista, cumpliendo con el excelente aforismo de los escolásticos *Entia non multiplicanda sunt praeter necessitatem*. Como el gran libro de la Ciencia nunca se acaba, seguramente nos están reservadas nuevas sorpresas a medida que se vayan descubriendo los misterios que encierra este pequeñísimo núcleo...»

La lista no sólo no se ha cerrado, sino que según todas las apa-

(89) J. BALTÁ ELÍAS: *La Ciencia Tomista*, 1941.

riencias, tiende a seguir *en crescendo* cada día, pues además de la serie de los mesones experimentales (tan engrosada últimamente por los trabajos de los investigadores rusos ya mencionados) cabe incluir en aquella los hipotéticos neutrinos y neutretos y los electrinos de Thibaud (90).

Volviendo la vista al pasado, ¡¡¡ cuánta labor y esfuerzo del intelecto humano supone esta asombrosa pluralidad de partículas, descendientes directos de aquellos primitivos átomos *ganchudos* que ingenuamente ideara Lucrecio, para después ceder el sitio a los elementos continuos de los alquimistas de la Edad Media!!! Maravillosa aventura en la que tantas veces se ha visto empeñado el espíritu humano, pues partiendo instintivamente de lo discontinuo, ha conseguido dominar la enmarañada fenomenología, gracias a una laboriosa gestación de lo continuo... para acabar en nuestros días volviendo nuevamente la vista hacia lo discontinuo, con objeto de conseguir un análisis más fino del mundo exterior.

A este respecto, creemos interesante reproducir aquí los siguientes párrafos que traducimos de un interesante artículo del gran físico atómico J. R. Oppenheimer, publicado en el número de marzo de 1948 de la acreditada revista «Bulletin of the Atomic Scientist»: «Seguimos continuando las tentativas para descubrir, identificar y caracterizar (y seguramente ordenar en último término), nuestros conocimientos sobre lo que realmente sean las partículas elementales de la física contemporánea. Creo innecesario hacer resaltar que en el decurso de nuestras investigaciones, nos vamos convenciendo cada vez más de lo remota que es nuestra actual noción de *elementaridad* respecto de las primitivas ideas atomistas de las escuelas hindú y griega, e incluso de la de los químicos de la pasada centuria. En una palabra, hemos llegado a la conclusión de que los que nos vemos obligados a llamar partículas elementales, no poseen ni permanencia ni identidad y que sólo son elementales en el sentido de que sus propiedades no pueden explicarse por fraccionamiento de aquéllas, en otras partículas sub-componentes.

Casi todo los meses nos sorprenden nuevos descubrimientos acerca de tales partículas, ofreciéndonos otras para los cuales no esta-

(90) J. THIBAUD: *Comptes Rendus*, 233, 984, 1946. 224, 739, 1947.

mos preparados; así hemos ido conociendo cuán defectuosamente habíamos identificado las propiedades de ellas, y de nuestros antiguos conocidos. Se avizora ya, la gigantesca tarea en que va a convertirse la ordenación de los resultados experimentales y en qué extraño mundo debemos penetrar para encontrar aquel orden.»

En efecto, los hechos fundamentales, puestos en evidencia gracias al incesante perfeccionamiento de las delicadas técnicas ya mencionadas, son la posibilidad del *aniquilamiento, creación y transformación mutua* de tales partículas, estando siempre regidos cualquiera de estos procesos por las leyes de la probabilidad. Con ello el concepto de partícula elemental va esfumándose y perdiendo su pristina importancia, como ya hacía notar Flügge en la primera edición de las «Tablas de Física Nuclear» de Mattauch (91); en efecto, actualmente, *toda partícula no puede considerarse como un ente o individuo identificable.*

Debemos confesar lo poco que hoy se sabe sobre la esencia íntima de las partículas elementales; de éstas, el electrón y el positón son las que conocemos más profundamente. A Dirac se debe una completa teoría del electrón, sintetizada en sus famosas *ecuaciones de ondas relativista invariante de primer orden*, que no sólo engloba el spin y el momento magnético de ambos electrones, sino que además permite describir los fenómenos de aniquilación y producción de pares electrónicos; de aquí el gran éxito de esta teoría. Aunque hoy día se admite (92) que dicha ecuación es aplicable a todo corpúsculo con spin $h/4\pi$ como el protón y el neutrón (e incluso a los mesones con esta característica), sin embargo sabido es que los valores teóricos (1 y 0 magnetones de Bohr, respectivamente) deducidos para sus momentos magnéticos no coinciden con los experimentales (2,785 y -1,935). Es natural que así ocurra, puesto que la ecuación de onda de estos últimos debe de ser diferente de la del electrón, ya que si bien éste posee el mismo spin que los nucleones, éstos difieren en el consabido valor de su momento magnético. Fröhlich, Heitler y Kemmer intentaron ya en 1938 salir de este conflicto, teniendo en cuenta

(91) J. MATTAUCH: *Kernphysikalische Tabellen, mit einer Einführung in die Kernphysik*, von S. Flügge (Springer, Berlín, 1942). Textualmente, escribe este autor: «Der Begriff der Elementarteilchens, seine ursprüngliche Prägung einbüsst und etwas verschwimmt».

(92) G. PETIAU: *Journ. de Phys. et Rad.* 10, 246, 1949

la interacción de las partículas nucleares con el campo mesónico en el vacío, pero llegaron a resultados *infinitos*. Estos han podido ser soslayados recientemente por Schwinger, en el problema análogo de un electrón en su interacción con el campo fotónico en el vacío y ha conseguido excelente concordancia con los resultados experimentales. Tal éxito ha hecho concebir esperanzas de poder explicar los momentos magnéticos anómalos del protón y del neutrón.

En principio, existen dos caminos distintos para obtener la ecuación ondulatoria de partículas con spíns enteros (o $h/4\pi$) y propiedades distintas de las de los electrones. Uno de ellos trata de ampliar formalmente la ecuación de Dirac; esta fué la orientación primeramente adoptada por L. de Broglie (93) y otros numerosos investigadores (94), que han llegado a ecuaciones ondulatorias análogas a la del genial físico inglés. De otra parte, Bopp (95), siguiendo derroteros completamente distintos, se propuso modificar las clásicas ecuaciones del campo electromagnético de Maxwell, de modo que las partículas aparecieran como *singularidades* de dicho campo y en el sentido que tienen en la teoría de la materia de Mie-Born.

En modo alguno, podemos asegurar que los nucleones, mesones, electrones y neutrinos sean realmente partículas elementales, es decir, sin *estructura*, y nada tendría de particular que en fin de cuentas muchos de los inconvenientes y fallos de las teorías actuales pudieran atribuirse a haber descartado prematuramente la posibilidad de que alguna de tales partículas posea una estructura compleja. Desgraciadamente no disponemos de indicio o guía alguna que nos permita decidir sobre la veracidad de ello, y mucho menos discriminar cuáles de las partículas actualmente conocidas son simples y cuáles son complejas; existen poderosas razones teóricas y experimentales que postulan la existencia de un *protón negativo* (96) la del *dineutrón* (reacción entre tritones ensayada hace poco en Los Alamos (96 bis)).

(93) L. DE BROGLIE: *Theorie generale des particules a spin (Methode de fusion)*. Gauthier-Villan. París, 1948.

(94) H. BHABHA: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 451, 1949. F. BOPP und L. BAUER: *Zeit für Natur fors.* 4 a, 611. 1949.

(95) F. BOPP: *Ann. der Phys.* 42, 572, 1943. 43, 565, 1943. *Zeit. für Phys.* 125, 615, 1949.

(96) N. ARLEY: *Cosmic Radiation and Negative Protons*, Copenhagen 1948

(96 bis) *Physics to day.* 3, 37, julio 1950.

Es más, puede decirse que todas las partículas elementales están *emparentadas*, puesto que un choque suficientemente enérgico entre las consideradas como indivisibles hace pocas décadas puede originar otras sin estructura y nada se opone en principio a que se pueda ir obteniendo a partir de un corpúsculo otra determinada partícula, por *pasos* o etapas intermedias; ¿hasta qué límite de elementalidad podrá llegarse, mediante procesos percutivos de energía relativista suficientemente grande? He aquí una pregunta de gran alcance a la que no es posible contestar por ahora y que ni siquiera sabemos si el hombre lo conseguirá alguna vez.

Pero además de desvanecerse el dogma de la invariabilidad de las partículas, también está destinada a desaparecer la otra característica fundamental de la concepción clásica, o sea la distinción entre partículas y los campos actuantes entre las mismas, puesto que ya hemos visto que, p. e., el mesón y el campo de fuerzas nucleares no constituyen más que dos aspectos distintos del mismo fenómeno.

Tan profunda transformación en nuestros hábitos mentales seguramente irá imponiendo una nueva concepción del mundo físico y aunque nos cuesta adaptarnos a ello por las indudables dificultades que ofrece la Física que ya avizoramos y presentimos, tenemos que reflexionar que este impresionante desarrollo de la nueva Ciencia se debe al descubrimiento de nuevos procesos naturales, inexplicables dentro del marco de la Física clásica y que requieren el advenimiento de una fecunda teoría *cerrada*, según la concibe Heisenberg (97).

Hoy carecemos totalmente de tal teoría para explicar las propiedades fundamentales de las partículas elementales. Ello es debido esencialmente a lo poco que se conocen los campos ondulatorios que debemos adscribir a aquellas partículas, a causa de estar en sus comienzos la electrodinámica cuántica. Tampoco estamos en condiciones de predecir si la tabla actual de partículas elementales está ya completa o si son de esperar nuevos descubrimientos de las mismas. Es muy posible la existencia de protones negativos; en cambio, pensar en el descubrimiento, p. e. de electrones neutros, depende de si admitimos

(97) Véase el significado de esta noción en el artículo de W. HEISENBERG: «Der Begriff Abgeschlossene Theorie in der modernen Naturwissenschaft». *Dialectica*, 2, 330, 1948.

que la masa del electrón es de naturaleza esencialmente electrostática, en cuyo caso hay que renunciar a ello, pero no al del mesón neutro. El descubrimiento de los diferentes tipos de mesones (acaso en número infinito) con masas en reposo extendiéndose entre amplios límites y con diferentes vidas medias, ha provocado un profundo cambio en el enfoque del problema de las partículas elementales. Mientras sólo se conocían un pequeño número de éstas (los dos electrones, los dos nucleones, fotón y el mesón de Yukawa), era natural tratar separadamente cada una de ellas y describirlas mediante ecuaciones de onda de acuerdo con las propiedades más o menos conocidas (masa en reposo, spín, etc.) de aquéllas. Pero este procedimiento va resultando ya inadecuado, puesto que hay que enfrentarse con el nuevo problema de las mutuas relaciones entre tales partículas (y más especialmente entre sus masas en reposo); desde luego, conviene proceder con cautela en este punto, esperando prudentemente hasta que se disponga de datos experimentales suficientemente abundantes para poder edificar sobre ellos una teoría sobre seguras bases.

En opinión de Heisenberg (98), toda futura teoría de las partículas elementales debe contener, además de las constantes fundamentales $h/2\pi$ y c , una tercera constante fundamental, cuyas dimensiones sean las de una longitud o de una masa o una combinación de ésta con las dos primeras. Se trata de una simple consecuencia del hecho que, mediante consideraciones dimensionales, no es posible derivar la masa de una partícula elemental a partir de las dos primeras constantes mencionadas. La masa actual de las principales partículas elementales hoy conocidas, sugiere que aquella nueva constante puede considerarse como una longitud l (según antes ya hemos indicado) del orden de magnitud de los 10^{-13} cm. Si la futura teoría incluye la nueva constante en cualquier forma, es natural suponer que la correspondencia usual entre la descripción ondulatoria clásica y su análoga cuántica-teórica, solamente será válida para distancias mucho mayores que l , pero fallará en las regiones de distancias menores que aquella constante.

Born y Green (99) propusieron el año pasado una nueva teoría de las partículas elementales y campos cuantificados, basada en el *prin-*

(98) W. HEISENBERG: *Ann. der Phys.* 32, 20, 1938.

(99) M. BORN and H. S. GREEN: *Nature*, 163, 207, 320, 1949. M. BORN: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 463, 1949.

cipio de reciprocidad que han aplicado a los mesones. En ella se predice un número *infinito* de estas partículas, cuyas masas en reposo vienen dadas por las raíces cuadradas de las soluciones de ciertas ecuaciones trascendentes; su expresión general es $L_n^{(1)}(X) = 0$, en la que $L_n^{(1)}(X)$ son los polinomios de Laguerre de primera especie. Calculadas las raíces para diferentes valores de n , se deducen los valores de la masa de los diferentes mesones teóricamente posibles, llegándose a la conclusión de que la del más estable es del orden de 194 m_e . en bastante buen acuerdo con la de los mesones generalmente observados al nivel del mar.

El cálculo suministra además las masas de una extensa serie de mesones que pueden alcanzar hasta 500 veces la del electrón, comprobándose además que el más estable de éstos tiene una masa de 300 m_e . coincidente con la de los del tipo π ; así parece tener ya una base teórica la existencia de la multiplicidad mesónica encontrada experimentalmente por los diversos investigadores ya citados. Fermi y Yang han sugerido como hipótesis de trabajo (100) el que el mesón no sea una partícula elemental, sino compuesta por la asociación de un *nucleón* y un *antinucleón* (girando a una distancia del orden de λ de Compton del nucleón); y sentando como premisa la existencia de un *antiprotón* y un *antineutrón* (relacionados con el protón y el neutrón, como lo están los dos electrones positivo y negativo); naturalmente, en esta hipótesis, se admite que entre nucleones y antinucleones se ejercen intensas fuerzas atractivas, capaces de mantener unidas ambas clases de partículas, pero su desarrollo ofrece serias dificultades de carácter matemático.

Como la masa del mesón es mucho menor que el doble de la de un nucleón, es preciso admitir que la energía de ligadura es lo suficientemente grande para que su masa equivalente sea igual a la diferencia entre el doble de la masa del nucleón y la del mesón. Así, el mesón positivo resultaría de asociarse un protón y un antineutrón, y el mesón negativo de un antiprotón y un neutrón; el mesón neutro podría ser, o bien la unión de neutrón y antineutrón, o la de un protón y antineutrón.

Ultimamente Freeman (101), menos ambicioso que estos últimos

(100) E. FERMI and C. N. YANG: *Phys. Rev.* 76, 1739, 1949.

(101) I. FREEMAN: *Nature*, 165, 933, 1950.

investigadores, se contenta con tratar de obtener desde un punto de vista pragmático, relaciones numéricas entre las masas de los mesones π y μ (para las cuales adopta los respectivos valores 276 y 210 de acuerdo con las más recientes determinaciones experimentales) con objeto de ver si descubriría sugerencias con que sentar las bases de nuevas teorías más definitivas. A este efecto, presintiendo que aquellas masas deben de estar relacionadas de algún modo con las constantes fundamentales de la teoría atómico-nuclear (v. g. la de estructura fina de Sommerfeld $hc/2\pi e^2 = 137,03$) y con las propiedades del espacio, Freeman hace notar que la diferencia entre las masas de ambos mesones es muy próxima a $137/2$ veces la masa del electrón.

Por otra parte, la analogía formal existente entre el comportamiento de fotones y electrones de una parte y de otra entre mesones y nucleones, sugiere la existencia de un *cuánto* de masas mesónicas, correspondiente a la cuantificación de la energía de los fotones; este cuanto podría muy bien ser

$$\Delta m = m_\pi - m_\mu = 137/2 m_e$$

Además, con estos valores numéricos, puede escribirse aproximadamente

$$m_\pi m_\mu = \pi (137)^2 m_e$$

Combinando estas dos últimas relaciones, se obtiene una ecuación cuadrática en m_μ

$$m_\mu^2 + \frac{137}{2} m_\mu - \pi (137)^2 = 0$$

cuya raíz positiva vale

$$m_\mu = \frac{137}{4} (\sqrt{16\pi + 1} - 1) = 211.0 m_e$$

Asimismo m_π viene dada por una ecuación análoga a la anterior, de la que sólo difiere en el signo del segundo término; su raíz posi-

va vale $m_\pi = 279,5$ con lo que la relación entre ambas masas es del orden de 1,325 en excelente acuerdo con los valores experimentales.

También pone en evidencia este autor que la masa del protón viene dada por

$$m_p = 2\pi(\pi - 1)137 = 1.843,5$$

y este valor sólo difiere en 0,4 por 100 de la media de los experimentales 1836,6.

Comparando las raíces positivas de las ecuaciones anteriores, se deducen las dos interesantes y sugestivas relaciones siguientes:

$$\frac{1}{m_\mu} - \frac{1}{m_\pi} = \frac{\pi - 1}{m_p} \qquad m_\mu^2 + m_\pi^2 \approx \frac{m_p^2}{2\pi(\pi - 1)^2}$$

Desde luego, existe la posibilidad de que las masas de los diferentes mesones descubiertos, sean múltiples enteros de $\Delta m = 137/2$, aunque es prematura esta comprobación con los valores experimentales por la poca precisión con que estos últimos se conocen. Finalmente, como curiosidad, señalemos todavía la relación *empírica* (de la que por tanto, hasta ahora, no ha sido encontrada justificación) dada por Stephenson (101 bis):

$$\left(\frac{M_1}{m_e}\right)^2 \left(\frac{M_1}{m_e} - \frac{M_2}{m_e}\right) = \frac{2}{\alpha^3} = 2137^2$$

que relaciona M_1 y M_2 masas de partículas fundamentales, con la m_e del electrón.

Basta sustituir en ella M_2 por la ya indicada masa del átomo de hidrógeno para obtener $M_1 = 1839,08 m_e$ en plena concordancia con el valor experimental de la masa del neutrón; esta sencilla relación entre ambas partículas está también de acuerdo con el concepto de Eddington de que el neutrón no es más que el átomo de hidrógeno en el estado cuántico *cero*. Del mismo modo, sustituyendo M_2 por $216 m_e$ (masa del mesón μ) resulta $M_1 = 281 m_e$ o sea con poca diferencia, la masa del mesón π . Admitiendo la existencia de un neutrino de masa nula en reposo, resulta $M_1 = 173 m_e$, valor muy próximo al de $173,98 m_e$, que en su teoría Eddington asigna a la masa del mesón.

(101 bis) G. STEPHENSON: *Nature*, 165, 1018, 1950.

Sin embargo, es digno de notar que el menor valor que se obtiene para la masa positiva en función de Δm es $m_{\mu} - 3\Delta m = 5,5$, que pudiera coincidir con la del mesón extraligero λ que ya hace años, parecía haber sido encontrado experimentalmente por Auger y más recientemente por Cowan.

En resumen, convengamos en que las investigaciones concernientes a los mesones, están todavía en pleno período de evolución y seguramente nos reservan muchas sorpresas sobre el importante, aunque todavía misterioso papel que desempeñan en la constitución de la materia. Pero tan rica multiplicidad de partículas plantea problemas fundamentales, desde la misma noción de corpúsculo, hasta las ecuaciones de las ondas asociadas y sus leyes de acción mutua. No somos de los escépticos que, en el paroxismo de la incredulidad, llegan a negar existencia real a las partículas fundamentales que quedarían reducidas a simples ecuaciones sobre el manuscrito del hombre de ciencia (no es tan descabellado este modo de pensar como pudiera parecer a primera vista); pero sí creemos que es preciso empezar por definir sin ambigüedad lo que se entiende por partícula o corpúsculo, especificando después los elementos que son necesarios para poder determinar teóricamente cada uno de ellos. Su multiplicidad conduce a pensar en la posibilidad de relaciones entre sus masas, algo así como si existiera una especie de cuantificación de las mismas.

Ello rebasa el marco de las teorías cuánticas actuales y los problemas así planteados no pueden abordarse más que procediendo a una profunda crítica de los fundamentos de las teorías físicas, que permita enfocarlas desde nuevos puntos de vista y ayude a edificar otras nuevas, con cuyo auxilio sea posible resolver las cuestiones fundamentales anteriores. Un meritorio esfuerzo en este sentido, es el que fué realizado por el joven profesor de la Sorbona, J. L. Destouches, en su obra «Principes fondamentaux de Physique theorique» (102), con la que dió a conocer hace una decena de años su *teoría estructural* de carácter esencialmente abstracto y, por tanto, de difícil asimilación.

En una de sus recientes conferencias (103), Heisenberg, al con-

(102) J. L. DESTOUCHES: *Principes fondamentaux de Physique theorique* (Herman, París, 1938).

(103) W. HEISENBERG: *Two Lectures* (Cambridge University Press. 1949).

trario de la mayoría de los físicos contemporáneos (que tanta ingeniosidad y esfuerzo matemático han desplegado intentando, si no resolver, eliminar, al menos, las dificultades surgidas en la teoría atómica por la pluralidad de partículas), considera tales dificultades como naturales y, por tanto, consubstanciales con las actuales teorías, que en realidad no son más que una aplicación del principio de correspondencia a un dominio todavía desconocido. Heisenberg diseña a grandes rasgos esta *Física del porvenir*, en la que toda clase de partículas estarán sometidas a un solo y único formalismo, cuyo parámetro fundamental será su masa en reposo e incluso avanza un diagrama de éstas que representa los más bajos estados de un super-hamiltoniano (todavía sin descubrir), aunque expresa sus dudas de que este formalismo sea el adecuado para un problema de tanta envergadura.

Como nota final, nos complacemos en señalar una contribución española a estas cuestiones, debida a nuestro antiguo amigo Dr. Miguel Masriera, quien ha sentado las bases de una original *teoría unitaria del núcleo* (104), ya ventajosamente conocida en el extranjero. En ella se supone que *todos los núcleos atómicos* son partículas elementales, en el sentido de carecer de estructura, divergiendo en este punto del parecer de la mayoría de los físicos actuales, pero siguiendo las huellas de Dirac, quien ya advirtió que no se pueden explicar microapariciones mediante microestructuras *ad infinitum*. Este límite inferior del Universo físico lo ve el autor, siguiendo a Heisenberg, en el orden de 10^{-13} cm., que equivaldría para el microcosmos a lo que la circunferencia máxima del Universo esférico es en relatividad general al macrocosmos. Fundándose en las teorías de Eddington, por lo que respecta a las cargas de los núcleos atómicos, Masriera previó ya en 1943 que considerados éstos como partículas elementales, podrían ser tantas como las ecuaciones de onda simple, o sea 96, que resultaba ser así el de los elementos químicos posibles. Hasta hace poco, los descubrimientos de nuevos elementos parecían darle la razón al autor, pero esta previsión parece invalidada por los recientes descubrimientos del elemento 97 (Berkelio, Bk) debido a Thompson, Ghiorso y Seaborg (105) y del 98 (Californio, Cf), obtenidos en enero

(104) M. MASRIERA: *An. R. Soc. Esp. de F. y Q.* 44, 795, 1948.

(105) S. G. THOMPSON, A. GHIORSO and G. T. SEABORG: *Phys. Rev.* 77, 838, 1950.

y marzo pasados por estos mismos investigadores, bombardeando respectivamente el isótopo 241 del americio (95) y el isótopo 242 del curio, con iones de helio de 35 MeV acelerados por el ciclotrón de 1,50 m. de la Universidad de California (106).

En realidad eran de esperar estos descubrimientos, pues desde 1922 N. Bohr había ya predicho que a partir del uranio, debía empezar un grupo de elementos, parecidos por la gran analogía de sus mutuas propiedades, al de las tierras raras. Masriera continúa defendiendo la base de su teoría, o sea, la consideración del núcleo como partícula elemental sin estructura, considerando que los nuevos elementos descubiertos, cuya vida media converge rápidamente hacia cero, corroboran la existencia de un límite del sistema periódico, que si no es 96, será por existir algún error en el cálculo discutible de Eddington del número de ecuaciones de onda simple, o por no haberse aplicado todavía correctamente los operadores correspondientes a la carga eléctrica.

(106) *Nucleonics*, 6, 79. Abril 1950.

EL ORIGEN DE LA RADIACION COSMICA SUS ASPECTOS ASTROFISICO Y COSMOLOGICO

«El conocimiento de los hechos no es el fin, sino el principio de la exploración hacia las causas primeras y más altas.»

(PLUTARCO)

A modo de pórtico de esta última parte de nuestro discurso, séanos permitido iniciarla con los siguientes bellísimos párrafos que traducimos de la obra «L'hypothese de l'atome primitif», del ilustre canónigo G. Lemâitre: *Uno de los jeroglíficos más curiosos de nuestra biblioteca astronómica* (considera este autor como tal, *el espacio sidéreo*, archivo de las ondas luminosas, procedentes de los astros) *es la radiación ultrapenetrante: los rayos cósmicos. ¿Podemos fecharlos? ¿Podemos leerlos? Radiación extra-terrestre; fenómeno manifiestamente atómico..., escritura admirablemente conservada..., fenómeno realmente cósmico, cuyo origen parece debe buscarse más allá de las nebulosas más lejanas, tan lejos en el espacio y en el tiempo que acaso nos cuenta la historia primitiva de nuestro propio Sol, la cual nos vuelve después de haber dado la vuelta al espacio.*

Como la gran mayoría de físicos contemporáneos famosos, Lemâitre se siente fascinado por el magno enigma, mucho más grandioso e imponente que los que acabamos de pasar revista, y para el cual, hasta las sublimes páginas del «Génesis», guardan silencio absoluto.

¿De dónde proviene esta radiación que parece estar distribuída isotrópicamente a través del espacio en que se mueve nuestro planeta? ¿Es engendrada en nuestra galaxia, en el seno de las estrellas, de las *novae*, o de las dobles, o bien en los inmensos espacios interestelares, casi vacíos de toda materia, en los que los átomos están relativamente tan separados unos de otros como los astros en el Universo? Desde luego, hasta hace poco, no parecía que una es-

trella normal como nuestro Sol, pueda ser la fuente principal de aquella radiación (aunque sí de algunas de sus pequeñas fluctuaciones, como ya hemos visto), ni tampoco las aglomeraciones de estrellas más o menos conocidas actualmente. La emisión de partículas electrizadas por las atmósferas estelares tropieza con una grave objeción, puesto que al travesar aquéllas estas regiones en que la materia no está muy enrarecida, deberían de originar radiaciones secundarias, p. e., fotones γ que también nos llegarían, lo cual está en contradicción con las observaciones de la radiación primaria a grandes altitudes.

Siendo tan poco satisfactoria la explicación de origen estelar, se buscó el origen de los rayos cósmicos en los abismos siderales, en donde como es sabido, la densidad de materia es pequeñísima (el vacío en ellos reinante es incomparablemente mayor que el producido por nuestras mejores bombas de vacío).

¿Qué causa determinante puede residir en aquellas ignotas regiones para que las partículas primarias lleguen a adquirir tan fantásticas energías? Se ha pensado en la existencia de inmensos campos eléctricos que, aun no siendo de gran intensidad, puedan originar, entre puntos muy lejanos, diferencias de potencial suficientes para imprimir a las partículas lenta y continuamente aquellas elevadas energías; así, p. e., nada se opone a que la Galaxia estuviera cargada negativamente en su parte central y positivamente hacia sus bordes, con lo que los protones libres en el espacio acabarían por precipitarse hacia el centro, pasando por las inmediaciones del sistema solar con una energía dependiente del punto de donde procedieran. Dos objeciones cabe hacer a las hipótesis de este tipo: 1.^a Debiera observarse en estas condiciones una acentuada anisotropía de la radiación cósmica, en contra de lo observado. 2.^a Habría que suponer la existencia de un mecanismo que restableciera constantemente las *d. d. p.* aceleradoras, pues evidentemente el flujo de las partículas tendería a hacer desaparecer aquéllas continuamente; *el espacio actual como buen conductor*. Es posible, desde luego, encontrar explicaciones en la evolución de la Galaxia (probablemente en continua expansión), y posiblemente en los efectos de la presión de la radiación sobre los iones de ciertos elementos (por ejemplo, calcio) existentes en cantidades notables en los espacios sidéreos, pero ello obliga a acudir a nuevas hipótesis, imposibles de comprobación experimental.

Bohm y Gross (107) sugirieron que las oscilaciones del plasma constituido por las nubes de iones existentes en el espacio intragaláctico, podían actuar como mecanismo transferidor de energía susceptible de ser acumulada. En efecto, se sabe que cerca de un 15 por 100 del volumen del espacio intragaláctico está ocupado por aquellas nubes en las que la densidad iónica es del orden de 17 iones/cm.³; lo mismo que en cualquier otro gas iónico, tales sistemas constituyen un *plasma* susceptible de realizar, según ya demostró J. J. Thomson (108), vibraciones electrónicas longitudinales cuya pulsación vale

$$\omega^2 = (4\pi n_0 e^2 / m) + (3kT / m) (2\pi / \lambda)^2$$

en la que n_0 es la densidad electrónica media; T , la temperatura *electrónica* (generalmente de pocos eV) y λ la longitud de onda.

Teórica y experimentalmente, se ha demostrado que tales oscilaciones del plasma se excitan fácilmente por grupos especiales de electrones, cuya energía es superior a la cinética térmica media, los cuales, a su vez, pueden recibirla, p. e., por fotoionización.

Por efecto de las oscilaciones de pequeña amplitud del plasma, muchas partículas sufrirían simplemente pequeñas variaciones oscilatorias de velocidad; pero si la de determinadas partículas es próxima a la velocidad de fase de la onda, aquéllas pueden ser captadas por ésta, en cuyo caso oscilarían con una velocidad media igual a la de la onda. Si por cualquiera causa la velocidad de fase aumenta gradualmente en la dirección de propagación, aquellas partículas tienden a ser retenidas por la onda y, por lo tanto, oscilarán con la velocidad de esta última, siempre creciente. El anterior valor de ω indica claramente que el aumento de la velocidad de fase, se producirá siempre que la onda penetre en la región de densidad iónica creciente; si n_0 tiende a $m\omega^2/4\pi e^2$, la velocidad de fase irá creciendo indefinidamente, lo cual explica cómo pueden ser aceleradas las partículas hasta alcanzar energías elevadísimas, gracias a un proceso análogo al que se realiza en los modernos *tubos de ondas progresivas* (*traveling wave tubes*). Sin embargo, en las proximidades de la densidad

(107) D. BOHM and E. P. GROSS: *Phys. Rev.* 74 (2.^a ser.), 624, 1948.

(108) J. J. THOMSON: *Conduction of Electricity through Gases*, p. 353 (Cambridge Press).

crítica y después de rebasada ésta, las partículas cesarán de ser retenidas por la onda, pues si su masa aumenta tanto, el campo eléctrico de la onda ya no podrá suministrarles la aceleración necesaria para encajar el aumento de la velocidad de fase. La energía máxima que puede alcanzarse por este mecanismo está determinada por la amplitud de la onda, que a su vez depende de la mayor o menor compensación existente entre los procesos de excitación y de amortiguamiento.

Antes de entrar en la discusión propiamente dicha de las actuales hipótesis referentes al origen de la radiación cósmica, conviene poner de manifiesto los puntos oscuros existentes sobre su propagación. Estando constituida por partículas electrizadas, la radiación cósmica debe de producir una carga espacial que, por no ser estática, irá asociada a campos magnéticos, que a su vez pueden limitar la propagación de las propias partículas en el espacio. Así, por ejemplo, Swann (109) ha calculado que en la hipótesis de una distribución uniforme de éstas, su carga de volumen produciría una d. d. p. entre el centro y la periferia de una esfera de radio R (en años-luz) igual a $10^{18} \cdot R^2$ volts. Ahora bien, como la materia interestelar está ionizada, se colige que aquellas cargas espaciales no pueden subsistir por mucho tiempo.

Este investigador hace notar que el transporte de partículas electrizadas a través de las distancias galácticas, equivale a una corriente de convección, cuyo campo magnético impone severas limitaciones a la propia corriente. De aquí deduce Alfvén que la intensidad de la radiación cósmica puede muy bien no ser uniforme en el espacio intragaláctico; es más, ve en ello una razón para conjeturar que el manantial de rayos cósmicos observados en la Tierra no puede estar situado a menores distancias de nosotros que los 1.000 años-luz. Desde luego, es difícil valorizar estas conclusiones puramente cualitativas, que a lo más pueden considerarse como una indicación de la necesidad de una teoría cuantitativa más precisa.

Pasemos ya a un somero análisis de las especulaciones de los más grandes físicos teóricos sobre la génesis de los rayos cósmicos. Apresurémonos a decir que todas son incompletas, a pesar del enorme esfuerzo que viene haciéndose para encontrar una explicación satisfactoria sobre el origen de aquella radiación.

(109) W. F. G. SWANN and P. A. MORRIS: *Phys. Rev.* 71, 462, 1947.

Teoría de Millikan.—Desde los primeros años de su descubrimiento, el célebre Millikan ha venido propugnando con diversas variantes y adaptaciones una teoría de *desmaterialización* o *aniquilación* de la materia en los espacios interestelares. En realidad, los primeros escauceos de este ilustre investigador (110) se apoyaban en un proceso inverso (cuando se suponía que la radiación cósmica era esencialmente electromagnética, es decir, más dura que los rayos *gamma*), esto es, la síntesis de los elementos pesados a partir del hidrógeno. Es bien sabido que en la unión de dos protones y dos neutrones para constituir un helión, la diferencia de masa entre la de éste y de los dos primeros se desprende en forma fotónica que podríamos comparar (con frase gráfica) a los *primeros vagidos* de los núcleos nacientes estables formados en aquella reacción exoenergética. Pero de estas condensaciones no se obtiene (basta comprobarlo mediante un sencillo balance energético) la enorme energía de las partículas cósmicas, ya que solamente resulta de aquel balance algunas decenas o a lo más centenas de MeV como *índice de ligadura* (*packing fraction*); por eso está hoy completamente abandonado éste primitivo aspecto de la teoría (111).

Es en la desmaterialización *completa* de los núcleos en los espacios interestelares (fenómeno desconocido hasta la fecha y sin razón ninguna que abone su inestabilidad fuera de la materia) en lo que fundamenta Millikan su actual hipótesis (112), pues las energías *de masa* en reposo de los átomos más frecuentes en el Universo (a excepción del hidrógeno) se extienden entre $4 \cdot 10^8$ MeV para el helio y $28 \cdot 10^8$ MeV para el silicio; estos valores son justamente del mismo orden de magnitud que el de la energía media del espectro energético de la radiación primaria. En esta hipótesis resulta que dicho espectro no puede ser continuo (como requiere la función de distribución ya indicada en los *Preliminares*) sino discreto.

En efecto, si las energías de las partículas incidentes son discretas la teoría prevé que la curva que traduce la variación de la inten-

(110) R. A. MILLIKAN and CAMERÓN: *Phys. Rev.* 32, 533, 1928.

(111) Nuestro antiguo compañero Prof. Ramón Ferrando dió a conocer años atrás su punto de vista según el cual admitía la posibilidad de que la radiación cósmica fuera de naturaleza *negra* (cumpliendo con la ley de Wien). (*An. Soc. Esp. de F. y Q.* 24, 234, 1926.)

(112) BOWEN, R. A. MILLIKAN and V. H. NEHER: *Phys. Rev.* 53, 855, 1938.

sidad vertical de la radiación en función de la latitud, debe presentar una estructura en *rellanos*, puesto que dicha intensidad ha de manifestar siempre cambios bruscos en las latitudes geomagnéticas críticas, manteniéndose en cambio casi constante en las regiones intermedias.

Precisamente de las cuidadosas investigaciones de Millikan y sus colaboradores (112 bis) sobre la velocidad vertical de las partículas primarias, deducen que el espectro de energía de las mismas presenta una *estructura en bandas* que encajan bastante bien con los valores correspondientes a los de la desintegración de aquellos átomos más frecuentes en el espacio y con sus *abundancias relativas*.

Sin embargo, a pesar de esta relativa concordancia entre las previsiones teóricas y los resultados experimentales, conviene poner de manifiesto ciertas dificultades con que tropieza esta hipótesis de la aniquilación. Por de pronto, es bien sabido lo difícil que resulta la descomposición de una curva de absorción en distintos componentes. Además, aunque tal estructura en bandas apareciera netamente, no por eso quedaría resuelto el problema de la génesis de la radiación, pues no se explican las energías superiores al *millar de billones de electrón volts*. (observadas indirectamente en los enjambres de gran extensión), ya que el más pesado de los elementos naturales conocidos, o sea, el uranio, sólo puede suministrar unos $1,5 \cdot 10^{11}$ eV por aniquilación completa.

De otra parte, en las discusiones a que ha dado lugar esta hipótesis, se hace resaltar quizás excesivamente el cumplimiento de la conservación de la energía y del impulso; en cambio, es irreconciliable los otros principios conservativos, es decir, los de la carga, de los *spins* y de las estadísticas. De los dos primeros, el de la conservación del impulso lineal, queda satisfecho, admitiendo la formación de parejas de partículas, mientras que ofrece ya ciertas dificultades la explicación de la del impulso angular y la de la carga. Así, la conservación de esta última era una consecuencia natural de la primitiva teoría de la *materialización* de dos cuantos fotónicos, ya que éstos son neutros, lo mismo que el átomo engendrado en tal proceso. Pronto hubo que sustituir esta concepción por la del par negatón-positón, en

(112 bis) R. A. MILLIKAN, V. H. NEHER, W. H. PICKERING: *Phys. Rev.* 61, 397, 1942; 63, 234, 1943; 66, 295, 1944. R. A. MILLIKAN: *Rev. of Mod. Phys.* 21, 1, 1949.

cuanto se vino en conocimiento de la existencia en la radiación de partículas con carga eléctrica: la conservación de éstas quedaba todavía salvaguardada. Pero recientemente, ha habido que proceder a un nuevo retoque, ideando la aniquilación de dos protones, por ser éstos los componentes fundamentales de la radiación cósmica primaria. Ahora bien, este último proceso es evidentemente imposible para el átomo neutro, puesto que no habría conservación de la carga, a no ser que se admitiera la coexistencia de algún otro proceso simultáneo, por ejemplo, la producción de dos electrones de baja energía.

Otra grave dificultad se ofrece al buscar explicación a la presencia de iones o núcleos pesados entre los protones primarios, con una abundancia igual o comparable por lo menos con su natural abundancia relativa en el Universo (113). En efecto, si bien es posible imaginar *actos elementales*, en que se produzcan protones de gran energía, sin embargo no parece probable que todos los protones y neutrones de un núcleo puedan ser emitidos y acelerados en un solo acto explosivo alcanzando energías de unos 10^{12} eV por nucleón, sin suministrar al núcleo de donde proceden otra energía más que la interna necesaria para fraccionarlo en sus partículas constituyentes. Se ve pues, que no existe realmente prueba decisiva experimental en favor de la hipótesis de la aniquilación atómica, la cual provoca además las graves dificultades teóricas ya señaladas; sin embargo, no puede negarse su gran valor como hipótesis de trabajo, no siendo uno de sus menores méritos el de haber suscitado la necesidad de nuevas series de observaciones, que han proporcionado nuevos y valiosos datos, en los que se han cimentado algunas nuevas teorías desprovistas en lo posible de tales inconvenientes.

Entre ellas y basadas en la *estructura en bandas*, citaremos las de Rojansky (114) y Klein (115). Estos autores postularon la existencia en el Universo de una *materia invertida*, constituida por átomos con antiprotones y antineutrones en su núcleo, rodeado a su vez por positrones en lugar de electrones; ya hemos visto que, últimamente, Fermi también ha recurrido de nuevo a esta teoría.

(113) PH. FREIER, E. J. LOFGREN, E. P. NEY, F. OPPENHEIMER: *Phys. Rev.* 14, 213, 1948; 74, 1.818, 1948.

(114) V. ROJANSKY: *Phys. Rev.* 58, 1.010, 1940; 71, 52, 1947.

(115) O. KLEIN: *Arkiv. Mat. Astron. och Fys.* 31A, núm. 14, 1944.

En opinión de Arley (loc. cit.) la hipótesis de Klein es muy prometedora por apoyarse en la firme base de la identidad de energías de la radiación cósmica primaria y las de aniquilación de los núcleos ligeros existentes en los espacios sidéreos.

Teoría de Alfvén.—Es el prototipo de las teorías en que se supone que el origen de los rayos cósmicos reside en alguna especie de proceso de aceleración adiabática (en contraposición con cualquier proceso catastrófico, tal como, por ejemplo, una explosión nuclear); puesto que un campo magnético estacionario no puede por sí sólo acelerar una partícula, serían suficientes para ello campos eléctricos no muy intensos (del orden de los 10^{-9} volts./cms.). A distancias de 10^{15} kms., campos de esta magnitud bastarían para producir la banda de menor energía del espectro de los rayos cósmicos. Como tales campos no han sido acusados por los espectros estelares (ausencia de efecto Stark) sólo es posible admitir que el proceso acelerativo se realiza dentro de grandes distancias y muy posiblemente en varias etapas; uno de estos procesos ha sido ideado por Alfvén (116). Demostró este autor, que si las componentes de una estrella doble poseen momentos magnéticos inclinados respecto el eje de rotación del sistema, debe producirse un campo eléctrico alternativo en la dirección de aquel eje, capaz de acelerar los iones hasta los *cientos mil millones de eV*. (en el supuesto de razonables valores del momento del dipolo y de la separación de las componentes de la estrella doble); trataríase de un proceso acelerativo, análogo al del funcionamiento de un gigantesco ciclotrón. Tal proceso debe extraer su energía de la del movimiento orbital de la estrella doble, pero el cálculo demuestra que esta energía orbital es insuficiente para suministrarla con la tasa exigida por la radiación cósmica. Este argumento es completamente general.

La principal dificultad con que tropieza esta teoría (y en general todas las de tipo acelerativo) es que no puede dar cuenta de las elevadas intensidades de la radiación cósmica actual. En efecto, el primordial requisito con que debe cumplir toda teoría de la mentada radiación es el deber explicar satisfactoriamente la energía total contenida en la misma; esta condición es totalmente restrictiva, según demuestran las simples consideraciones siguientes. Sabemos que la densidad de

(116) H. ALFVEN: *Zeit. für Phys.* 105, 319, 1937; 107, 579, 1937.

energía de la radiación cósmica incidente sobre la tierra es aproximadamente (según Rossi) (117) del orden de $3 \cdot 10^{-10} Mc^2/cm^3$, siendo M la masa del protón. Admitiendo que tal radiación rellena isotrópicamente todo el espacio, *incluso el intergaláctico*, la energía en ella contenida resultaría ser mucho mayor que la de la luz emitida por las estrellas (no incluyendo el Sol).

En efecto, se sabe que la intensidad global de la radiación cósmica al nivel del mar es aproximadamente igual a la de la energía transportada a la tierra por la luz de las estrellas fijas (exceptuando el Sol), lo que representa unas 100 veces la densidad de energía luminosa procedente de todos los sistemas extragalácticos en conjunto (118). Si la radiación cósmica tuviera un origen extragaláctico todos aquellos sistemas deberían emitir por tanto unas 10 veces más energía en forma de rayos cósmicos que en radiación luminosa visible, lo cual está en abierta contradicción con los principios de la termodinámica (119).

Una posibilidad de soslayar estas dificultades, sugerida por el propio Alfven (loc. cit.), la ofrece el suponer que la radiación cósmica sólo existe en determinadas regiones del espacio, con lo que la energía total de aquélla sería mucho menor que la calculada; de aquí arrancan las teorías del origen solar (Richtmyer, Teller). Siendo la intensidad de la radiación primaria de unas 0,12 partículas/cm²seg esterdian y que a cada una de éstas le corresponde una energía de algunas centenas de MeV, se obtiene una densidad media de energía para aquella radiación de unos $3 \cdot 10^{-3} \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$ o sea, de unos 10^{-34} gramos/cm.³ (120).

Este valor 10^{-34} de la densidad de energía de la radiación cósmica, es inferior (no mucho) a la densidad 10^{-30} de la materia estelar;

(117) B. ROSSI: *Rev. of Mod. Phys.* 20, 537, 1948.

(118) G. DE VAUCOLEURS: *Ann. d'Astrophysique*, 12, 162, 1949.

(119) E. BAGGE und L. BIERMANN: *Zeit. fur Naturfors.* 4 a, 305, 1949.

(120) Se pasa a este último valor, a partir del primero, considerando que por llevar las partículas velocidades muy próximas a la de la luz, las incidentes por segundo, normalmente sobre un cm.², estaban contenidas en un prisma de esta sección y de altura igual a $c=3 \cdot 10^{10}$ cms. Por tanto, la densidad por cm.³ se obtiene dividiendo por c , la densidad ya obtenida por cm.² y segundo; y para pasar a su vez, a la densidad en gm/cm.³, basta recordar que $1 \text{ gr} = c^2 \text{ ergs}$ ($9 \cdot 10^{20}$) y dividir nuevamente por este número. En resumen, basta dividir de una vez, la densidad $3 \cdot 10^{-3} \text{erg/cm}^2 \text{seg}^{-1}$ por $27 \cdot 10^{30}$ para obtener los 10^{-34} gm/cm^3 .

en números redondos, resultaría ser en esta hipótesis *la energía de la radiación cósmica igual a la diezmilésima de la energía del Universo (incluida en ella la de la totalidad de la materia sidérea en reposo)*, valor generalmente aceptado hoy día por todos los autores.

Tal energía de la radiación no está en reserva permanente, sino que, como es natural, va disipándose por efecto del enfrenamiento debido a la producción de mesones, consecuencia del choque de los protones con la materia estelar difusa en los espacios sidéreos (se trata del mismo proceso que amortigua la radiación primaria en el seno de la atmósfera). Siendo la sección de captura para la producción de mesones de 0,02 barns (121) y como es sabido que por término medio hay en la galaxia un protón por cm^3 , el recorrido libre medio de los rayos cósmicos para los choques productores de mesones viene a ser de unos 5.20^{25} mm., o sean, unos 5.10^7 años-luz (122). Ahora bien, desintegrándose los mesones en electrones y neutrinos o neutretos, no se ve de qué manera pueda ser restituida la energía de estas partículas a los protones y cómo éstos constituyen la componente primaria de la radiación cósmica, puede considerarse perdida para ésta la energía consumida en la producción de mesones.

Resulta pues, que de acuerdo con esta concepción, la energía de la radiación cósmica debería disiparse en un intervalo comprendido entre los 45 y 50 millones de años; por tanto, *la radiación cósmica sería absorbida en un tiempo relativamente corto en comparación con la edad del Universo*. Este habría de ser, pues, el período durante el que, el manantial de aquella radiación, debería reponer la energía total de la misma, si su valor ha de haberse mantenido constante desde la creación del Universo.

Pero además, surge todavía la más grave objeción a esta teoría,

(121) La unidad *barn* de secciones eficaces vale 10^{-24} cm^2 .

(122) En efecto, experimentalmente, se ha encontrado que la profundidad efectiva de la atmósfera en que desaparece la radiación primaria, viene a ser de unos 100 gm cm^{-2} ; por lo tanto es lógico admitir que las partículas de esta radiación pierden o disipan su energía en el espacio interestelar, después de un recorrido de aquel orden. Siendo la densidad del espacio interestelar de unos 10^{-30} gm/cm^3 , y la velocidad de las partículas primarias próxima a la de la luz, se deduce fácilmente que la energía de la radiación cósmica, ha de disiparse en el lapso ya indicado de unos 50 millones de años, que es la *vida media* de dicha radiación.

pues aun cuando con la estimación que hemos adelantado, aproximadamente una diezmilésima parte de la energía total a que equivale la masa del Universo, sea suficiente para compensar la energía perdida por los rayos cósmicos en la producción de mesones, resulta difícil idear un mecanismo en virtud del cual pueda transformarse una fracción tan importante de la radiación estelar en energía de los protones primarios cuyo espectro energético se extiende según sabemos entre los 10^3 MeV y 10^{10} MeV.

Teoría de Lemaitre.—Desarrollada asimismo en estos últimos años por el ilustre profesor de la Universidad de Lovaina, resulta verdaderamente sugestiva no sólo por las amplias perspectivas que descubre, sino por la íntima relación que guarda con las teorías cosmológicas y el siempre latente y fascinador problema del origen del mundo. Lemaitre opina que la radiación cósmica podría haberse engendrado cuando se formó el Universo y que desde entonces ha estado vagando por el espacio, apareciéndonos como el recuerdo o testimonio de profundas convulsiones sidéreas. Eddington también se inclina a algo parecido, designando a aquellos rayos como *restos de una remota antigüedad*.

La base de partida de Lemaitre son los mismos datos que acabamos de exponer en la teoría de Alfvén; energía total de la radiación cósmica 10^{-34} gm cm^{-3} o *densidad de masa equivalente* evaluada por la relación de Einstein (valor bastante seguro en cuanto a su orden de magnitud), que compara con la densidad de materia estelar 10^{-30} gm cm^{-3} , es decir, con la que se obtendría vaporizando todas las nebulosas y distribuyendo uniformemente esta materia por el espacio (esta masa ha sido determinada por medidas espectroscópicas de la rotación de las nebulosas más brillantes). Así resulta, como antes hemos visto, que los rayos cósmicos, suponiéndoles repartidos uniformemente por todo el espacio, tienen una intensidad considerable, del orden de la diezmilésima de toda la energía existente. Esta hipótesis supone que los rayos cósmicos son de remota procedencia y que no se originan en una *nova* o en agrupaciones de estrellas próximas.

He aquí cómo Leprince-Ringuet describe (123) los rasgos más salientes de esta teoría. Imaginemos esferas ideales que coincidan con

(123) L. LEPRINCE-RINGUET: *Les Rayons Cosmiques*, p. 349. A. Michel. Paris, 1945.

las zonas neutras de atracción entre nebulosas próximas; estas esferas están en continua expansión (como todo el Universo), y por tanto, las nebulosas de cada esfera se separan cada vez más. La radiación cósmica atraviesa estas esferas, pero como el conjunto es simétrico, se puede también imaginarla rebotando sobre la superficie de aquéllas. Se comprende fácilmente con esta imagen, que la radiación ha de ir perdiendo energía, puesto que rebota sobre un cuerpo que se aleja; el cálculo demuestra que esta energía varía en razón inversa del radio de la esfera, de modo que si suponemos que los rayos cósmicos fueron producidos cuando el radio de la esfera era sólo la décima del actual, la energía de aquéllos hubiera alcanzado entonces, no la diezmilésima sino la milésima de la energía total del Universo.

Para Lemaitre (124) el mundo ha evolucionado de lo condensado a lo difuso. El aumento de entropía que caracteriza el sentido de la evolución, se traduce en la fragmentación progresiva de la energía, que existió *ab initio* en una condensación o paquete único. El átomo-universo estalló en fragmentos y cada uno de ellos, a su vez, en otros más pequeños. Imaginando para simplificar que la fragmentación se hubiera hecho en trozos iguales, hubieran sido necesarias doscientas sesenta generaciones para llegar a la pulverización de la materia al estado de nuestros pequeños átomos, casi todos demasiado pequeños para poderse romper todavía.

El espectáculo actual del Cosmos, lo compara Lemaitre a un castillo de fuegos artificiales que acabara de terminar; restos de mechas apagándose, cenizas y humo. Desde nuestra morada, tizón ya frío, vemos extinguirse lentamente los soles e intentamos reconstituir lo que fué deslumbrante formación de los mundos. El sol-átomo debió saltar en fragmentos, sostenidos mutuamente por la atracción universal, fragmentos que a su vez se subdividieron inimaginablemente, lanzando al vacío partículas bastante rápidas para escapar a la atracción del conjunto (salpicaduras del ardiente crisol en el que el *átomo primitivo* se transformaba en estrellas), constituyendo rayos que viajan en el desierto siempre más vasto del espacio, hasta encontrar un oasis perdido, nuestra galaxia, o un granito enfriado,

(124) G. LEMAITRE: Loc. cit., pág. 90.

nuestra tierra, en la que vienen a descargar un electrómetro, testimoniando la formación de los soles.

Si de acuerdo con esta concepción, tan poéticamente descrita por su propio autor, se admite que la radiación cósmica ha sido emitida durante estas fragmentaciones del Universo, correspondería a transformaciones del género de las que acompañan los fenómenos radioactivos conocidos por el hombre, pero con una generalidad mucho mayor. Así pues, los rayos cósmicos vendrían a ser testimonios de la actividad primitiva del Cosmos y en su propagación, durante miles de años, por el espacio vacío, serían los fieles custodios del recuerdo de aquella pristina edad super-radioactiva.

Como ya avanzábamos al principio, no cabe duda que el poder fascinador de esta teoría ha de haberle granjeado seguramente muchos prosélitos, pero desgraciadamente quedará por mucho tiempo sin comprobación experimental.

Teoría de Unsöld.—Este ilustre astrofísico ha sugerido recientemente (125) la posibilidad de producirse rayos cósmicos en ciertas regiones de la Vía Láctea, simultáneamente con las microondas de las que también desde hace pocos años, se han descubierto focos de producción en el Sol y en determinadas constelaciones y zonas galácticas (126).

La hipótesis sentada ya anteriormente por Unsöld de la gran abundancia de estrellas cuya emisión en radiofrecuencia es del orden de las 10^{11} veces mayor que la del Sol, ha ganado en interés creciente desde que Forbush por vez primera (loc. cit.) y Emert (127) comprobaron el incremento de intensidad de la radiación cósmica, debida a ciertas fulguraciones solares.

Ya hemos indicado que en la intensa erupción del 25 de julio de 1946, Forbush observó durante unas dos horas un aumento de intensidad del 15 por 100. Unsöld compara la radiación en la frecuencia

(125) A. UNSÖLD: *Nature*, 163, 489, 1949.

(126) Véase un resumen del estado actual de esta cuestión en nuestro artículo publicado en el número 13 de la «Revista de Telecomunicación» (septiembre 1948).

(127) A. EHMERT: *Zeit für Naturfor.* 3a, 264, 1948.

de 64 Mc/s de esta erupción (de unas $5 \cdot 10^{-20}$ unidades (128)) con la total del cielo, utilizando para ello las *radio-isofotas* de Hey, Parsons y Philips (129); así encuentra una intensidad media aproximadamente igual a $5 \cdot 10^{-21}$ unidades por unidad de ángulo sólido ó $6,3 \cdot 10^{-2}$ unidades en total. Por lo tanto, la relación entre esta radiación anómala y la diaria, viene a ser la misma para la emisión en aquellas frecuencias y para la radiación cósmica.

La media para un período de unos tres años de las observaciones de coincidencias realizadas por Ehmert, indica una contribución solar de un 0,07 por 100 a la radiación cósmica (valor que debe ser aumentado algo por diversos motivos). Tomando como promedio de la radiación hiperfrecuente del Sol, el decuplo de la normal (esto es, $1,3 \cdot 10^{-21}$ unidades) resulta un 2 por 100 de la radiación total de la galaxia. Como se ve, tienden estas cifras a confirmar la idea de la existencia de una proporcionalidad general entre la radiación cósmica y la hiperfrecuente; pero el mecanismo productor de ambas radiaciones, está todavía por investigar. Desde luego, no cabe duda que han de desempeñar un importante papel las variaciones de campos magnéticos en gran escala, en el seno de extensas capas de tenuísimos gases ionizados; la simple aplicación de las leyes de la inducción electromagnética, pone de manifiesto que los campos magnéticos variables del Sol, pueden llegar a producir energías del orden de 10^9 a 10^{10} eV. Las energías observadas hasta 10^{15} eV hacen presumir la existencia en las estrellas de manchas mucho mayores que las solares, de acuerdo con lo previsto por el propio Unsöld. La hipótesis de su producción en las *supernovas* conduce a esperar un aumento de la radiación cósmica a la aparición de aquéllas, lo cual no parece haber sido observado hasta ahora (la más reciente *Nova Herculis 1934* no produjo variación sensible).

Sin embargo, en un reciente trabajo (130) ter Haar reconsidera las posibilidades que ofrecen las *supernova* como mecanismo productor de partículas de gran energía requeridas por las teorías de Fermi-

(128) Esta unidad es la energía emitida por una estrella de magnitud media igual a 1; vale $2 \cdot 10^{-23}$ watts/m²/cseg.

(129) J. S. HEY, S. J. PARSONS and J. W. PHILIPS: *Proc. Roy. Soc. A.* 192, 425, 1948.

(130) D. TER HAAR: *Rev. of Mod. Phys.* 22, 145, 1950.

Alfven y Richtmyer-Teller, de las que nos ocuparemos a continuación. Admitiendo para tales gigantescas explosiones estelares una energía media del orden de los 10^{49} ergs, ésta correspondería a una energía de masa en reposo de unos 10^{28} gm, o sea, aproximadamente la de la tierra. Si se supone que una fracción razonable de esta energía fuera emitida en forma de rayos cósmicos y que aparece una supernova por galaxia cada trescientos años (131), se llega a conclusiones muy favorables para este punto de vista que consideramos.

Teoría de Fermi.—El famoso físico italiano ha propuesto recientemente (132) una teoría de acuerdo con la cual, los rayos cósmicos se originarían y serían acelerados en los espacios interestelares de nuestra galaxia por choque de sus partículas contra campos magnéticos erráticos de gigantescas proporciones, que se sospecha ocupan dichos espacios, aunque realmente no existan las pruebas fehacientes de su existencia. A este autor se debe el estudio de un insospechado y potente manantial de energía electromagnética, que últimamente ha sido objeto de especial atención en el mundo científico; aquélla sería engendrada por un acoplamiento entre las corrientes flúidas en el seno de un medio conductor y el campo magnético indisolublemente ligado y arrastrado por aquéllas, lo que constituye un proceso llamado *magneto-flúido-dinámico* por aquel motivo (133).

Para tener una idea del mismo, recordemos que todo campo magnético, una vez establecido en un buen conductor, tiende a persistir, manteniendo su intensidad y aunque sufra variaciones, éstas no pueden ser rápidas. En efecto, es bien sabido que dichas variaciones provocan corrientes inducidas que en virtud de la ley de Lenz, tienden a compensar la causa que las producen estabilizando el campo original; cuanto mayores sean la conductividad del medio y la extensión del campo magnético, tanto más tiempo persistirá dicho campo en el seno del material con el que se puso en contacto. En realidad, el espacio interestelar es lo suficientemente buen conductor para

(131) F. ZWICKY: *Astroph. Jour.* 96, 28, 1942.

(132) E. FERMI: *Phys. Rev.* 75, 1.169, 1949. Congreso Internazionale di Fisica. Como, 1949.

(133) H. ALFVEN: *Cosmical Electrodynamics* (Oxford Press., 1950). Nos permitimos introducir este neologismo, en sustitución del manifiestamente incorrecto de *magneto-hidrodinámico* tan empleado por los autores norteamericanos.

que los campos magnéticos de extensiones astronómicas (del orden de magnitud de años-luz) perduren en el seno de aquél, prácticamente por tiempo ilimitado; gracias a su elevada conductividad, es posible incluso admitir las líneas de campo como si llevaran adherida materia interestelar y participaran de las corrientes y movimientos desordenados de que aquélla es asiento, es decir, considerarlas como correntilíneas. Por otra parte, el propio campo magnético reacciona a su vez contra la fluidodinámica de la materia interestelar a la que imprime sus propiedades, lo que de acuerdo con Alfvén, puede describirse suponiendo materializada cada línea de campo, asignándole una densidad correspondiente a la masa que le es inherente y lleva adherida desde que se inició el movimiento.

Veamos cómo deben actuar estos campos magnéticos al iniciarse una corriente o arrastre de materia interestelar. Tales corrientes tienden a desmadejar y enredar las líneas de fuerza, y por tanto, campos que originalmente habían estado localizados, pueden llegar a adquirir grandes extensiones; el entrecruzamiento y retorcimiento de las líneas en cuestión, se traducirá en un empaquetamiento de las mismas y en definitiva en un aumento de las fuerzas magnéticas. Este proceso continuará hasta que la energía del campo magnético sea comparable con la energía cinética de la materia interestelar en movimiento; se concibe que finalmente sea logrado un estado de equilibrio entre ambas clases de energía. En esta etapa, que por diversas razones se supone ya ha sido alcanzada actualmente, los campos magnéticos siguen enrollándose por entre las estrellas y a su alrededor, moviéndose conjuntamente con las corrientes de materia estelar, con velocidades V del orden y aun superiores a los treinta kilómetros por segundo; como los campos magnéticos móviles, crean a su vez campos eléctricos de inducción, éstos son los que en definitiva pueden suministrar la aceleración requerida por las partículas de los rayos cósmicos.

Consideremos una de éstas, por ejemplo, un protón de algunos BeV de energía que penetra en aquellos campos magnéticos errantes; según se sabe, describirá hélices de paso y radio variables (este último del orden de los 10^7 kms.) hasta que, *chocando* contra cualquier irregularidad magnética del campo cósmico, sufra una o varias reflexiones, con lo que su movimiento puede complicarse extraordi-

nariamente. En tales choques, el protón sufrirá pérdidas y ganancias de energía, aunque se demuestra que estas últimas, por término medio, son las predominantes, pero *sólo con un débil margen favorable*. La razón de ello estriba en que debe acabar estableciéndose el equilibrio estadístico entre los grados de libertad de los campos errantes y los del protón; la equipartición corresponde evidentemente a valores inconcebiblemente grandes de la energía. Un cálculo, que no detallamos, indica que el incremento medio de energía por choque de un protón es de unos 10 eV en los dominios no relativistas y mucho mayor si su energía inicial también lo es; en particular, la ganancia de energía que consigue una partícula de masa M , después de N choques, viene dada por

$$W = M c^2 \exp (B^2 N)$$

siendo $B = V/c \approx 10^{-4}$. Naturalmente, la energía puede aumentar sólo si las pérdidas por ionización son menores que las ganancias, cosa que ocurre ya para los protones de 200 MeV; se ha evaluado que por reiteración de choques, la energía inicial puede duplicarse en *un centenar de millones de años*.

Sin embargo, durante estos enormes intervalos de tiempo, puede también entrar en escena otro proceso antagonista en gran escala; la pérdida de energía por choque de los protones acelerados con los estacionarios, iones o núcleos pesados, en cuyo caso la mayor parte de la energía cinética de los nucleones que entran en colisión, probablemente se emplea en la dispersión de diversos tipos de mesones.

A pesar de que esta teoría también conduce a un espectro energético de las partículas cósmicas que concuerda plausiblemente con los datos de observación, el propio Fermi reconoce las lagunas que contiene, pues en ella no se da una explicación satisfactoria del mecanismo de *inyección* de tales partículas (excepto para los protones que pueden regenerarse, en parte al menos, por su colisión con la materia interestelar), y especialmente la presencia de los núcleos pesados, que ya hemos visto contiene la radiación primaria.

Teorías de Teller, Alfven y Richtmyer.—En la conferencia de Física Nuclear celebrada en Birmingham en 1948, Teller sostuvo la hipótesis de que los rayos cósmicos se originan en el Sol y son retenidos relativamente próximos a este astro, por la acción de campos

magnéticos de estructura apropiada; posteriormente, este punto de vista ha sido desarrollado por Richtmyer y Teller (134), robusteciéndose tal opinión desde que las primeras observaciones de Forbush, Ehmert, etc. (loc. cit.), pusieron de manifiesto que los procesos eruptivos solares pueden contribuir a incrementar pasajeramente la intensidad de la radiación cósmica, ganando con ello adeptos la idea del origen solar de esta última. Por la misma razón, es lógico admitir que erupciones mucho más intensas, como por ejemplo las de las *novæ*, deberán contribuir aun en mayor grado al fenómeno en cuestión; más aún, de acuerdo con Bagge y Biermann (135) deben actuar, si no todas, muchas de las *estrellas fijas* (que Unamuno bellamente se preguntaba si *serán los ojos del Señor en vela, ojos escudriñando las tinieblas y contando los mundos de su rebaño*) como gigantescos manantiales de la radiación, ya que en aquéllas es muy verosímil la aparición de manchas, enormemente mayores que las del Sol. Muy recientemente, Babcock ha descubierto en unas 25 estrellas un campo magnético *general*, de *algunos millares de gauss* (136), que varía rápidamente, y aun cambia de signo en pocos días; he aquí pues otro proceso susceptible de producir rayos cósmicos. Nótese que en esta concepción, contrariamente a la de Lemaitre, la radiación cósmica debe irse creando continuamente de nuevo, en vez de constituir como una *reliquia* de la creación del Universo.

Ahora bien, teniendo presente que en nuestro sistema solar (y es probable en los espacios interestelares) existen campos magnéticos, puede muy bien ocurrir que éstos impidan el escape de los rayos cósmicos durante miles de años, lo que obligaría a aquéllos a circular por nuestros alrededores durante tanto tiempo, que en definitiva, han de acabar homogeneizándose y perdiendo todo rastro de direccionalidad. Así pues, los rayos cósmicos que observamos pueden haber sido originados en nuestro Sol o en sus proximidades y, no obstante, incidir omnidireccionalmente sobre nuestro planeta. Sin em-

(134) H. RICHTMYER and E. TELLER: *Phys. Rev.* 75, 892, 1.729, 1949. H. ALFVEN, *Congresso Internazionale di Fisica*. Como, 1949. En realidad, el primero que propuso hace ya una quincena de años, este punto de vista, fué M. A. DAUVILLIER (*Jour. de Phys. et Rad.*, 5, 640, 1934).

(135) E. BAGGE und L. BIERMANN: *Die Naturwiss.* 35, 120, 1948. E. BAGGE, *Congresso Int. sulla Fisica dei Raggi Cosmici*. Como, septiembre 1949.

(136) H. W. BABCOCK: *Nature*, 166, 249, 1950.

bargo, esta posibilidad no es admitida por algunos físicos, y con razón, pues no debe perderse de vista el que la brusca emisión solar de partículas muy energéticas, se hace sentir en la tierra dentro de un breve lapso de tiempo; por tanto, si la totalidad de la radiación cósmica fuera de origen solar, necesariamente debería presentar un efecto directivo muy pronunciado, que desde luego no existe.

En la concepción de Teller es necesario admitir en nuestro sistema solar la existencia de un campo o *cortina magnética*, de unos 10^{-5} gauss; la única posibilidad de evitar excesivas pérdidas de la radiación hacia el espacio exterior a través de tan débiles campos, es suponer que sus líneas de fuerza son cerradas sobre sí mismas, constituyendo un campo toroidal cuyo radio se estima en 0,1 años-luz. La cortina magnética que debe envolver nuestro sistema planetario tendría, pues, un doble papel: conseguir que la radiación cósmica sea perfectamente isótropa y al mismo tiempo aumentar su intensidad por forzar a una misma partícula a circular un grandísimo número de veces por diversas órbitas dentro de nuestro sistema planetario. La existencia de núcleos pesados entre los protones primarios constituye desde luego un argumento en favor de aquel proceso electromagnético de aceleración; en efecto, el curso de una partícula cósmica ha de terminar, en general, por choque con un planeta y como tal colisión ha de ocurrir con probabilidad prácticamente igual para un protón que para un núcleo pesado, se ve claramente que éstos serán eliminados selectivamente en tales procesos.

La explicación de Richtmyer y Teller requiere la existencia de campos magnéticos mucho más intensos que los ya existentes (más o menos conocidos); a primera vista, no parece que hubiese razón alguna para admitir la existencia de otros campos que los del dipolo solar, el cual es manifiestamente insuficiente para retener la radiación cósmica y convertirla, por tanto, en isotrópica.

Alfven (137) ha considerado un proceso en virtud del cual puede amplificarse la intensidad de un campo magnético H en el seno de un medio conductor. En efecto, suponiendo que ρ sea la densidad cúbica de masa, si ciertas porciones de aquel medio entran en movimiento con una velocidad V , el primitivo campo magnético sufrirá una distorsión, por superponérsele un campo inducido H' debido a

(137) H. ALFVEN: *Phys. Rev.* 75, 1.732, 1949. 79, 375, 1950.

dicho movimiento. En el caso de una conductividad infinita, el valor medio de H' aumenta hasta que la energía de este campo iguala a la cinética material

$$\frac{H'^2}{2} = \frac{\rho V^2}{2}$$

y una vez alcanzado este límite, en virtud de la equipartición de la energía, una fracción de la magnética se convertirá en cinética; así se llega al estado característico de una onda *magneto-fluidodinámica*.

Aplicando estos resultados al espacio alrededor del sistema solar y siendo $\rho = 10^{-24}$ el valor generalmente aceptado para la densidad interestelar, resulta para valor del campo magnético inducido

$$H' = v (4\pi\rho)^{1/2} = 3,5 \cdot 10^{-12} \text{ V}$$

Las tormentas magnéticas se suponen producidas por un haz corpuscular, emitido radialmente por el Sol, con velocidades del orden de $2 \cdot 10^8$ cm.seg⁻¹; al atravesar el campo magnético solar, el haz perturbará sus líneas de fuerza, engendrando un campo inducido que puede llegar a alcanzar los $7 \cdot 10^{-4}$ gauss. Como el gas ionizado que constituye el haz es muy buen conductor, el campo magnético en las proximidades del Sol, puede quedar parcialmente *congelado* en la materia ionizada, con lo que dicho campo será transportado hacia el exterior. Ambos efectos producen campos magnéticos en los bordes del campo del dipolo solar; sin embargo, ciertas consideraciones sobre el decrecimiento de tales campos y la energía total necesaria para producir campos de extensión e intensidad suficientes para mantener confinada la radiación cósmica, hacen dudar de la eficacia de dichos efectos.

Aplicando análogos razonamientos al movimiento de la materia interestelar con velocidades del orden de $3 \cdot 10^6$ cm.seg⁻¹, se llega a valores del campo H' de unos 10^{-5} gauss, tal como los postulados por Teller. En campos de este orden (forzosamente irregulares, por serlo su proceso de generación) las partículas con una sola carga elemental e impulso de 10^{10} gauss.cm $\approx 3 \cdot 10^6$ MeV describirán trayectorias con un radio de curvatura de unos 10^{15} cm; por tanto, la radiación cósmica quedaría confinada en una región alrededor del

sistema solar, de pequeñas dimensiones, comparadas con las distancias estelares.

No insistiremos aquí sobre el mecanismo probable, ya antes indicado en virtud del cual las partículas solares, ordinariamente retenidas, pueden adquirir (por el conocido *efecto betatrón*) en los campos magnéticos variables de las manchas del Sol, las enormes energías características de los rayos cósmicos y alcanzar nuestro planeta durante la aparición de ciertas fulguraciones solares; por lo demás, son siempre posibles de producirse subsiguientes aceleraciones de tales partículas dentro de la cortina magnética, por procesos del tipo magneto-fluido-dinámico sugerido por Fermi.

En otro orden de ideas, también debemos mencionar aquí el mecanismo propuesto por Menzel y Salisbury (138), quienes admiten como agente acelerador de partículas cósmicas, la radiación electromagnética solar de *muy baja frecuencia*, que puede originarse en las proximidades del borde exterior de la corona solar. Tales ondas (de solo algunos ciclos por segundo) son muy difíciles de ser acusadas en la superficie terrestre, pues deben de sufrir la reflexión total al incidir en la ionosfera, aparte de otras dificultades teóricas, que surgen al tratar de explicar su propagación en los espacios interplanetarios.

Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes, muy recientemente McMillan (139) ha estudiado este mecanismo con mucho detalle, intentando sacar partido del mismo, para explicar, no sólo la radiación cósmica *ordinaria*, sino los bruscos aumentos de su intensidad, que ya sabemos pueden provocar las fulguraciones solares.

Feenberg y Primakoff han demostrado (140) que la difusión por efecto Compton elimina los electrones rápidos de la radiación cósmica, supuesta esparcida uniformemente por todo el espacio intergaláctico; admitiendo que aquélla queda confinada dentro de nuestro sistema planetario, la intensa radiación solar dará lugar a una suficiente difusión Compton que podría explicar la pretendida ausencia de electrones (incluso los de poca energía) en la radiación primaria.

(138) D. H. MENZEL and W. W. SALISBURY: *Nucleonics*, 2, 67, 1948.

(139) E. M. McMILLAN: *Phys. Rev.* 79, 498, 1950.

(140) E. FEENBERG and H. PRIMAKOFF: *Phys. Rev.* 73, 449, 1948.

Teoría de Darwin.—Fué dada a conocer últimamente por este ilustre físico en la Conferencia sobre Partículas Elementales celebrada en Edinburgh, del 14 al 16 noviembre pasado; de ella sólo conocemos una ligera referencia (141). Se trata de una analogía que sugieren a este autor las oquedades provocadas por la *cavitación* en las hélices marinas propulsivas; este fenómeno se supone debido al brusco colapso de pequeñas cavidades hemisféricas en el seno del agua, lo que, de acuerdo con las leyes de la hidrodinámica, debe producir la irrupción a gran velocidad de una pequeña masa de agua en el centro de aquellas cavidades en el momento del colapso. A base de este fenómeno, el origen de los rayos cósmicos podría buscarse, no en cualquier proceso termodinámicamente estable, sino en algún violento proceso no termodinámico, análogo al descrito, es decir, el colapso de grandes extensiones sidéreas vacías formadas por movimientos turbulentos en las atmósferas estelares.

El origen de la radiación cósmica como problema astrofísico y cosmológico.—Sabido es que teórica y experimentalmente (por métodos espectroscópicos, fórmula de M. N. Saha, etc.) se ha comprobado la existencia en todos los astros conocidos de los mismos elementos químicos que en la tierra y *con la misma frecuencia* (a excepción del hidrógeno y del helio). Era natural pensar que una comparación de la frecuencia relativa con que se presentan los núcleos más pesados que el hidrógeno en la radiación cósmica, con la *abundancia* de los elementos químicos en las estrellas y materia interestelar, podría arrojar alguna luz sobre el origen de la radiación cósmica. De especial interés ha de ser la medida de la abundancia relativa del helio, elemento cuya abundancia sigue en importancia a la del hidrógeno. Los datos astrofísicos más recientes (obtenidos por Unsöld a partir de la intensidad de las líneas espectrales) suministran para las nebulosas planetarias, el Sol y τ Scórpil, una abundancia de He, de 1 a 2 átomos de este gas por cada 10 de H, relación en buena concordancia con la calculada para el Sol por Christy y O'Reilly utilizando las secciones eficaces recientemente determinadas a partir del ciclo de Bethe.

(141) *Nature*, 165, 54, 1950.

La abundancia del carbono es estimada por estos autores, del orden del 1 por 100 en peso para el Sol. En el espacio interestelar, la abundancia relativa de diversos elementos ha sido deducida por Struve y Dunham (142) a partir de datos espectroscópicos, obteniendo 1/100 por átomo para la relación O/H y 1/10.000 para la abundancia relativa de los demás elementos más pesados que el oxígeno. Los datos preliminares obtenidos recientemente por Bradt y Peters (143) mediante la técnica de las placas fotográficas, indican que el porcentaje de núcleos cuya $Z \gtrsim 10$ es aproximadamente del orden de una milésima del de los protones primarios; este valor está en perfecto acuerdo con los resultados de Freier, Lofgren, Ney y Oppenheimer (144).

El flujo de los núcleos de carbono, nitrógeno y oxígeno es aproximadamente unas cinco veces mayor que el de los núcleos más pesados, correspondiendo cada uno de los tres primeros por cada 200 protones primarios; estos valores deben considerarse como límites inferiores.

Es asimismo muy instructiva una detallada comparación de la composición química de la radiación cósmica primaria con la abundancia relativa de los elementos de la materia estelar e interestelar, obtenida a partir de datos astrofísicos. En particular, Bradt y Peters (loc. cit.) han sacado la impresión de que la anormalmente baja abundancia del Li, Be y B y la gran abundancia del Fe en la materia estelar, se repite asimismo en la constitución de los rayos cósmicos, ya que en sus placas no han encontrado rastros de los núcleos de Li, Be ni de B.

Ulteriores datos, concernientes al origen de la radiación cósmica, pueden ser obtenidos averiguando si existe un alcance mínimo para partículas primarias pesadas de número ordinal Z determinado. Los cálculos realizados por Ashkin demuestran que cuando tales partículas atraviesan una fracción apreciable de la galaxia con las velocidades observadas, serán desprovistas de sus electrones por la materia interestelar, si se admite una densidad para la galaxia de un

(142) H. E. SUSS: *Experientia*, 5, 266, 1949.

(143) H. L. BRADT and B. PETERS: *Phys. Rev.* 74, 1.836, 1948.

(144) P. FREIER, E. J. LOFGREN, E. P. NEY and F. OPPENHEIMER: *Phys. Rev.* 74, 1.818, 1948.

átomo de hidrógeno por cm^3 o un estrato efectivo de hidrógeno de 15 mg/cm^2 . Al penetrar estas partículas primarias en el campo magnético del sol o de la tierra, estarán sujetas evidentemente a una energía magnética *de corte* (*cut-off*) E_c^e la cual viene dada, en función de la de corte E_1^p para los protones, por la siguiente expresión

$$E_c^e = Z \left[\left((E_1^p + 1)^2 + 3 \right)^{1/2} - 2 \right]$$

Resulta pues, que las partículas poseerán una energía mínima, así como un alcance mínimo dependiente de su carga.

En cambio, si las partículas proceden del Sol, es de esperar que no queden completamente *descascarilladas* de sus electrones (aunque de todos modos, ello siempre pueda ocurrir de vez en cuando); estas iones con su cortejo electrónico más o menos incompleto y animados de velocidades relativamente pequeñas, no serán impedidos de alcanzar nuestra atmósfera por el campo magnético terrestre. De aquí que el estudio cuidadoso del efecto geomagnético en las partículas pesadas primarias, comprobando si nos llegan parcial o completamente desprovistas de electrones, puede contribuir a resolver el problema del origen de la radiación cósmica.

Cualquiera de las teorías ya expuestas, que se fundan en un origen local (solar) de aquélla, no ofrecen objeciones ni obstáculos esenciales, puesto que la radiación cósmica sólo representa una pequeña fracción de la solar. Las teorías que admiten un origen galáctico, presuponen la existencia de monstruosos generadores galácticos (?) capaces de mantener las d. d. p. necesarias para los campos electrostáticos, aceleradores de las partículas. Finalmente, una distribución uniforme intergaláctica de los rayos cósmicos, necesariamente implica que la energía de los mismos sea la preponderante en el Universo, aparte de la de la materia organizada en estrellas, agrupadas a su vez en galaxias y dispersa en forma de polvillo cósmico, nebulosas, etc.

Estas dos componentes fundamentales del Cosmos, *materia más o menos condensada y radiación cósmica*, poseen prácticamente la misma composición química, pero *son muy diferentes desde el punto de vista energético*. En efecto, la radiación cósmica está, podríamos decir, en la plena pujanza de una ardiente juventud, mientras que la materia parece agonizar agotando sus reservas, constituidas por el

exceso de hidrógeno que mantiene el calor solar (ciclo de Bethe) y las inexplicables cantidades de uranio (elemento esencialmente inestable energética y termodinámicamente) todavía existentes en nuestro planeta y que aseguran la radioactividad por algunos miles de millones de años.

Cabe preguntarse ahora, como lo hace Lemaître (145), si la radiación cósmica procede de la desintegración de la materia o si ésta proviene de la condensación de la primera. Planteada así la cuestión, la respuesta parece inmediata. ¿Sería posible que la materia agotada, degenerada, hubiera podido engendrar estos rayos de incomparable energía? *Nemo dat quod non habet*. Así nos vemos inducidos a suponer que cuando el radio del Universo era muy pequeño hace algunos miles de millones de años (en vez de los mil millones de años-luz que alcanza actualmente) únicamente existían los rayos cósmicos, diez mil veces más intensos y asombrosos que hoy. ¿Cómo a partir de estos rayos pudo formarse la materia primaria *hylem* (146) y cómo ésta se organizó en estrellas y nebulosas? El propio Lemaître (loc. cit.), Gamow, Teller, etc., esbozan ingeniosos atisbos de contestación a estas preguntas, admitiendo la existencia de un antiguo o primer estado *hiperdenso* casi puntiforme (hipótesis del *átomo primitivo*), que por su desintegración en una gigantesca *estrella nuclear*, habría originado la radiación cósmica, una parte de la cual se diferenciaría más tarde en polvillo cósmico, nebulosas, estrellas, etc.

¿Intentaremos remontar más allá de estas pristinas etapas del Cosmos? ¿Podemos asomarnos sin desfallecer de vértigo a esos abismos sin fondo del espacio-tiempo retrotrayendo al instante en que no había *ayer* porque *ayer* no existía espacio? Atengámonos al prudente aforismo socrático que tan sabiamente aconseja *afirmar lo que se ha comprendido... y callar lo que se ignora*.

(145) G. LEMAITRE: *Rayons Cosmiques et Cosmologie*, pág. 30 y sigs. (E. Nauvelaerts. Louvain, 1949.)

(146) Del griego $\delta\lambda\eta$, materia primigenia, sustancia fundamental, bosque, madera.

PALABRAS FINALES

Llego al final de este discurso dándome perfecta cuenta de no haber logrado sacar partido del maravilloso cuadro, cuya pintura tan descolorida ha quedado entre mis inhábiles manos. Al agradecer la benévola atención que habéis prestado a mis palabras, nuevamente os pido indulgencia por la falta de brillantes dotes de que adolece esta deslabazada exposición de una materia realmente fascinadora, verdadera epopeya científica de nuestros tiempos, aunque sin el Homero que cante su grandiosidad y belleza.

A pesar del medio siglo de existencia, el tema de los rayos cósmicos es muy joven todavía y de seguro ha de cambiar profundamente, como cambió en el pasado. Recordemos tan sólo las grandes etapas que ha atravesado y cómo han ido evolucionando las ideas sobre su naturaleza y constitución íntima, desde que fué considerada como *radiación ultragamma* al principio y electrónica después (a fines de 1933), hasta venir en conocimiento de la mezcla de leptones, protones y núcleos pesados de que hoy se sabe está formada. *Quantum mutatus ab illo!* (147).

¿Con qué otras partículas, ignotas todavía, nos puede enfrentar? (¿protones negativos? ¿dineutrones?). ¿En qué consisten los choques primarios y cuáles son sus efectos inmediatos y sus productos secundarios? ¿En cada choque entre nucleones, se producen varios mesones (como admiten Heitler y Janossy) o uno solo de ellos según supone Heisenberg? Si son múltiples, ¿cómo varían, con la energía, su multiplicidad y su sección eficaz?; ¿cómo evolucionan los mesones?; ¿cuál es el mecanismo íntimo de los enjambres penetrantes y de las explosiones nucleares?

(147) Con gran agudeza, Darrow ha escrito recientemente la ingeniosa frase: «Millikan used to think that cosmic rays were the dead cries of atoms and now we find that are the atoms themselves.»

En lo que al parecer no cabe duda alguna es en la inaplicabilidad de la radiación cósmica para fines militares o industriales.

Finalmente, por lo que respecta al acuciante problema del origen de la radiación cósmica, la misma pluralidad de las teorías (todas excesivamente hipotéticas) que acabamos de examinar a vuela pluma, claramente indica que estamos todavía muy lejos de haber alcanzado una solución satisfactoria de aquél; sin embargo, es indudable que se ha progresado y profundizado en la comprensión de tan arduo problema, de cuyas especulaciones tanto se ha beneficiado la física nuclear. Hay que dar tiempo al tiempo y trabajar ahincadamente en cuestiones poco dilucidadas todavía, como el *efecto de latitud* y la *asimetría este-oeste* de las componentes dura y blanda (*por separado*) así como la dependencia de estos efectos de la altitud, latitud y distancia cenital; ello permitirá recoger cada vez más, ingente cúmulo de datos sobre la naturaleza y constitución de tales rayos, lográndose así el material indispensable para resolver tan difícil y espinosa cuestión.

DISCURSO DE CONTESTACION

POR EL

EXCMO. SR. D. JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ-LADREDA

SEÑORES ACADÉMICOS:

Es para quien os habla motivo de satisfacción, a la vez que un gran honor, recibir en nombre de la Academia al Profesor Baltá Elías, al que estoy unido por los lazos del compañerismo en la cátedra y por los del afecto, la simpatía y la amistad en la vida social.

En estos momentos en que nuestro admirado compañero, al tomar posesión de su cargo de académico, siente sin duda la alegría de apreciar la alta estima en que se tienen sus trabajos y publicaciones científicas, así como su abnegada y brillante labor de maestro universitario, me es grato recordarle que aquel inolvidable Profesor en la Escuela Industrial de Tarrasa, don José Baltá de Cela, padre del nuevo académico, en la dedicatoria de su magnífica obra «Elementos de Electroquímica General», en su tiempo la mejor sobre la materia en España, escribía lo que sigue: «A mi amado hijo José: ¡Hijo de mi alma!, que al entrañable cariño que te profeso le acompañe siempre mi constante ilusión y entusiasmo por el estudio de los interesantes temas, someramente esbozados en las siguientes páginas de este libro, que de corazón te dedica tu padre.»

Pues bien, los que tenemos fe y confiamos siempre en la misericordia infinita de Dios, debemos pensar en estos instantes que don José Baltá de Cela, desde el Cielo—mansión de los elegidos—bendecirá a su hijo que, con la ilusión y el entusiasmo que él pedía para sí en el día de San José de 1927, ha sabido continuar, mejorándola y perfeccionándola, la extraordinaria labor que aquel inteligente, bondadoso y excelente maestro realizó en el campo de la Electroquímica en los días en que ésta comenzaba a nacer a la vida de la ciencia y de la industria en España. Fué don José Baltá de Cela hombre modesto que dedicó la mayor y mejor parte de su vida a la enseñanza, profesión que nunca fué en nuestro país lucrativa, y la ejerció principalmente en una escuela industrial a la que entonces

especialmente acudían las clases humildes, por las que él sentía una cariñosa y compasiva predilección. Fué y sigue siendo la Escuela Industrial de Tarrasa una de las mejores de España, y sus alumnos, en gran número, ocupan en la actualidad puestos relevantes en la enseñanza y en la industria, debido en su mayor parte al perfecto conocimiento de los preceptos pedagógicos y a las sobresalientes cualidades de maestro del que fué tantos años su director, D. José Baltá de Cela. Entre otras muy interesantes publicaciones, quiero señalar su obra «Análisis y ensayos químico-industriales», que tantas veces me sirvió de auxiliar en mis andanzas por talleres y fábricas, y la ya citada «Electroquímica general», que utilicé como texto siendo Profesor de la Academia de Artillería de Segovia. Ambas descubren a un excelente tratadista y a un magnífico maestro, trabajando en época—es interesante señalarlo—en la que los investigadores científicos no disponían de medios para perfeccionar sus conocimientos y su experiencia. Esta síntesis que os acabo de hacer del padre del nuevo académico, me parece a mí, además de justa, obligada, porque explica perfectamente la orientación, la solera científica y las dotes de maestro del profesor Baltá Elías, que tienen sus raíces en las lecciones y ejemplos de su padre, al que con razón él asegura que, después de a Dios, se lo debe todo en la vida.

Fué Baltá Elías Premio extraordinario en las dos Licenciaturas de Ciencias Físicas y Químicas por la Universidad de Barcelona. Premio asimismo extraordinario en el Doctorado en Ciencias Físicas por la Universidad de Madrid y su tesis doctoral «Magnetoquímica de los cloruros de cromihidrinás» realizada bajo la dirección y apadrinada por el que fué ilustre compañero de esta Academia Profesor Blas Cabrera, se publicó en la revista de esta nuestra Academia de Ciencias. Diez años Profesor auxiliar de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona. Pensionado por esta Universidad para ampliar estudios en los laboratorios de la T. M., en París, dirigidos por el general Ferrié, en donde trabajó bajo los auspicios del Profesor R. Mesny; allí realizó un interesante trabajo de investigación sobre «La capacidad propia de las bobinas de una sola capa». En el año 1929 y después de reñida oposición, ingresa en el «Servicio Meteorológico Nacional» y presta servicio en el Observatorio de la Universidad de Barcelona hasta marzo de 1933, en que con el número uno gana en oposición libre la cátedra

de Física teórica y experimental de la Universidad de Salamanca, en la que lleva a cabo una magnífica labor docente, que aun hoy se recuerda gratamente en la histórica y gloriosa Universidad salmantina. Viene a la Universidad de Madrid, por concurso de traslado, año 1941, para explicar la cátedra de «Electricidad y Magnetismo», y continúa en ella, con gran complacencia de compañeros y alumnos. Fué Decano accidental en Salamanca; Jefe del Departamento de Física del Instituto Torres Quevedo; Jefe de la Sección de Electricidad del Instituto Alonso de Santa Cruz; Vicepresidente de la Real Sociedad Española de Física y Química. Ha estado pensionado en Francia, Inglaterra y Alemania. Es Consejero del Patronato «Juan de la Cierva» y de la Junta del Patronato «Alfonso el Sabio», así como del Seminario de Estudios Superiores de Física y Matemática de la Universidad de Madrid, que dirigía nuestro llorado compañero el admirado e inolvidable Profesor Terradas. Vocal del Consejo Nacional de las Telecomunicaciones, de la Junta Directiva del Instituto Nacional de Electrónica y en la actualidad Director del mismo. Académico correspondiente de la Real de Ciencias y Artes de Barcelona, de la Hispano Italiana de Madrid y Vocal del Consejo Nacional de Física.

Completa esta extensa relación de honores y cargos en la vida profesional—por fortuna corta aún—del Profesor Baltá Elías, un gran número de publicaciones, todas valiosas y algunas de mérito relevante, en las que da a conocer en forma escrita el sazonado fruto de sus conocimientos científicos y de su labor experimental. Citemos además de su ya mencionada tesis doctoral, las siguientes: «Los multiplicadores estáticos de frecuencia», «Evolución de las teorías sobre la propagación de las ondas hertzianas», «La luz, fenómeno electromagnético», «Contribución al estudio de la capacidad propia de las bobinas de una capa», «A propósito de la antena de Hertz», «Las radioperturbaciones en Meteorología», «Sobre la radioactividad de los materiales expuestos a la intemperie en Salamanca», «La concepción del mundo físico en la ciencia actual», «Estudio físico de la materia y sus transmutaciones», «En el tricentenario de la muerte de Galileo», «Nota preliminar sobre la electroquímica con corriente de alta frecuencia», «Contribución al estudio de algunos semiconductores. I. Carborundum y sulfuro estannoso», «El problema de la Ozonosfera», «Medida de la constante dieléctrica del agua con ondas decimétricas», «Estado actual del estudio de la acústica de los locales», «Las corrientes

magnéticas de Ehrenhaft. Fundamentos físico-químicos y aplicaciones del alumbrado por fluorescencia», «¿Qué son el Klystron y el Rumbatron?», «El Betatron nuevo congénere del Ciclotrón», «Sobre el cálculo de resistencias no lineales», «Construcción de un oscilador ultrasonoro», «El Ciclotrón y el Betatron como agentes terapéuticos», «La aceleración de partículas eléctricas», «Avance de un estudio oscilográfico de los atmosféricos en Madrid», «La teoría general de redes con electrónica y sus aplicaciones al cálculo y gobierno automáticos», «Generación de oscilaciones complejas por medio del circuito transitrón», «Las ondas cortas y microondas de origen extraterrestre», «Generadores electrostáticos modernos», «Balística de partículas eléctricas», «Contribución al estudio de la lente electrostática cilíndrica constituida por una rendija». Algunos de estos trabajos se han publicado en revistas extranjeras y otros muchos son fruto de la colaboración con los coprofesores y alumnos de Baltá.

Ha traducido, además, las obras alemanas siguientes: «Electricidad» y «Mecánica y Acústica», del Curso de Física del Prof. R. W. Pohl; «Compendio de Física para médicos y farmacéuticos», del Profesor Lamla, y «Física sin cálculos», de E. Braunweiller.

Acabo de hacerlos la que pudiéramos llamar presentación del señor Baltá Elías, dándoos a conocer, señores académicos, su labor profesional y sus méritos científicos. Ciertamente que después del magnífico discurso que acabáis de oírle, perfecto en la forma y en el fondo, no era necesario que yo molestara vuestra atención descubriéndoos este «metal purísimo» que vosotros, con mejor preparación que la mía, apreciasteis en el señor Baltá Elías al seguir con atención y verdaderamente cautivados la maravillosa exposición que nos hizo de los «Enigmas actuales planteados por la radiación cósmica». Sería grave falta en mí, que vosotros difícilmente disculparíais, pretender hacer aportación alguna personal al trabajo en que el señor Baltá maneja con sencillez y claridad fundamentales conceptos; pero por darse la circunstancia de serme a mí con predilección gratos los estudios sobre la «energía nuclear», en los que la radiación cósmica toma parte activa, voy a permitirme, como prueba de cuánto valor doy al trabajo del nuevo académico, reforzar algunos puntos expuestos en el discurso que con deleite acabamos de escuchar. No conocemos, efectivamente, el origen y la génesis de los rayos cósmicos, si bien los experimentos recientes y los avances teóricos

parecen suministrar ciertas pruebas de que las partículas de rayos cósmicos incidentes sobre la atmósfera terrestre sean protones. Explicación científica del lugar de procedencia o de la manera en que se originan tales partículas no existe, a pesar de haberse especulado mucho sobre ello; actualmente hay una tendencia a sostener que el origen se halla en la creación o destrucción de la materia en el espacio interestelar. Los datos científicos que se poseen dicen que la intensidad con que bombardean la atmósfera terrestre es de unas 30 partículas por cm^2 . por minuto, siendo la energía media de dichas partículas de unos 6×10^9 eV.; por lo tanto, la energía recibida de dichos rayos primarios sobre la superficie terrestre será de unos $1,8 \times 10^{11}$ eV. por cm^2 . por minuto, y la corriente total de energía recibida sobre la superficie entera de la atmósfera representará $1,5 \times 10^{18}$ ergs por minuto. Y toda vez que un caballo de potencia equivale a $7,46 \times 10^9$ ergs por segundo, resulta que la energía total de los rayos primarios alcanza aproximadamente $3,4 \times 10^6$ caballos.

Se conoce ser los mesotrones el componente primario o duro de los rayos cósmicos, mientras los electrones y fotones constituyen el componente secundario o blando y los dos son suficientes para explicar la mayoría de las partículas de rayos cósmicos halladas al nivel del mar y en la baja atmósfera; pero existe, sin duda, otro tercer componente en cantidades casi infinitesimales, ya que representa sólo una diezmilésima parte de la intensidad total de los rayos cósmicos al nivel del mar. Con certeza puede afirmarse contiene protones positivos, si bien hasta la fecha no se ha podido observar ninguno. Hay aquí para el Doctor Baltá y sus discípulos un campo interesante de investigación. Es posible que este tercer componente contenga neutrones o alguna partícula neutra de mayor poder de penetración que los fotones, ya que, de otra manera, quedarían sin explicación los resultados de Jánossy y Rochester referentes a la producción en un absorbedor al nivel del mar de cascadas penetrantes.

Lo que no ofrece duda y se pone bien de manifiesto en el discurso del Doctor Baltá es que las investigaciones sobre los rayos cósmicos se están convirtiendo con gran rapidez en un proceso de alto coste y extraordinaria dificultad técnica. Para verificar experimentalmente gran parte de los problemas fundamentales de que trata con su competencia probada el Doctor Baltá, será preciso realizar experimentos en la alta atmósfera con el objeto de conocer la na-

turalidad de las partículas incidentes y los procesos de producción mesotrónica. Ellos requerirán el ascenso en globos estratosféricos de los investigadores y la realización de trabajos a gran altitud en aviones especiales provistos de un equipo de cámaras y contadores de peso muy ligero, proyectados especialmente para tales experimentos: desde luego, ya se han llevado a cabo experimentos en cohetes del tipo V₂. La extensión de la medida de la distribución de la energía de los rayos al nivel del mar a energías superiores a 10¹⁰ eV., requerirá la construcción de poderosos electroimanes y la posibilidad de descubrir por medio del radar las grandes cascadas atmosféricas.

Cuando Heitler y Bethe aplicaron la mecánica cuántica a la determinación del comportamiento de un electrón a su paso por la materia, llegaron a precisar las dos maneras en que un electrón de gran energía puede perderla, y que son:

1) Por colisión con los electrones extranucleares de los átomos que atraviesa. Si en el choque se llega a comunicar suficiente energía, puede desplazarse un electrón y quedar ionizado el átomo, o puede quedar éste elevado a un estado de excitación y emitir un fotón.

2) Si el electrón pasa cerca del núcleo atómico entra bajo la influencia de fuertes campos eléctricos y adquiere grandes aceleraciones, perdiendo entonces energía por radiación (producción de fotones).

La aplicación de esta teoría de Heitler y Bethe al estudio de los rayos cósmicos por Heitler y Bhabha, así como por Oppenheimer y Carlson, sirvió para explicar satisfactoriamente uno de los fenómenos más frecuentes observados en los rayos cósmicos, al que hace referencia el Doctor Baltá, la ocurrencia de lluvias o producción colectiva de electrones, constituyendo la multiplicación o proceso de cascada, en el que el electrón incidente al pasar cerca del núcleo de los átomos produce la radiación de un fotón que, pasando a su vez cerca de otros núcleos, origina un par de electrones, positivo y negativo, mientras el sistema pierde progresivamente energía. La existencia en la atmósfera de estas cascadas de gran desarrollo fué por primera vez comprobada por Auger y sus colaboradores en 1939, llegándose, aun cuando sean muy poco frecuentes, a registrar en la cámara Wilson cascadas conteniendo 50.000 partículas. Si ciertamente la teoría de la cascada no aborda el problema del origen del elec-

trón incidente que la produce, las investigaciones recientes han puesto de manifiesto existen dos procesos capaces de producir electrónes o cascadas de ellos y que pueden explicar el componente electrónico de los rayos cósmicos registrados al nivel del mar. Estos procesos son la desintegración mesotróica (mesotróon en electrón) y la producción de cascadas electrónicas por el método de choque (los enjambres explosivos). La teoría de Yukawa sostenía la espontánea desintegración del mesotróon en dos elementos: un electrón y un neutrino tras una duración de vida de unos 10^{-3} de segundo. Y, en efecto, en 1940 Williams y Roberts suministraron una prueba directa de la desintegración del mesotróon, obteniendo en una cámara Wilson la fotografía de un mesotróon detenido en el gas de la cámara y de un electrón emergiendo del final del trazo del mesotróon. No puede, por tanto, ponerse en duda que la descomposición mesotróica es uno de los procesos que dan origen a los electrones de los rayos cósmicos.

La teoría cuántica predice que el proceso principal de pérdida de energía en el caso de los mesotrones tiene lugar por colisión con electrones extranucleares, que, como resultado del impacto, son capaces de producir una cascada electrónica. Explica este proceso de impacto el componente electrónico que se halla bajo capas de plomo de gran espesor y a grandes profundidades subterráneas; pudiendo también demostrarse mediante experimentos realizados en la cámara de Wilson bajo un espesor de unos 20 cm. de plomo. La probabilidad de que un electrón de alta energía atraviese tal espesor en la forma de una partícula sin producir una cascada es muy pequeña, por lo cual la mayoría de las partículas que aparezcan bajo el plomo serán mesotrones. Acertadamente al final de su trabajo el Doctor Baltá se formula una serie de preguntas, a las que no podemos dar aún hoy adecuada contestación. ¿Cuáles son las partículas primarias? ¿Cómo se originaron los mesotrones: solos, o en pares (positivo y negativo) o en cascadas de numerosos mesotrones simultáneos? Existe todavía una gran incertidumbre sobre estas cuestiones. La misma teoría surgida después de la guerra por Hamilton, Heitler y Peng, de ser el mesotróon simple resultado de una colisión inelástica de un protón con otro protón o con un neutrón, mientras la cascada de mesotrones lo es de la colisión de un protón incidente con

un núcleo atómico que contenga varios protones, es actualmente objeto de serena y viva discusión en el campo científico.

Baltá escogió, como habéis visto, para su Discurso un tema de investigación fundamental, muy propio de un universitario como él; durante la pasada guerra el progreso de la Ciencia ha quedado reducido casi al campo de sus aplicaciones, de modo que, por decir así, se ha vivido del capital de nuestros conocimientos; si hemos, por tanto, de mantener la apresurada marcha del progreso del estudio de sus aplicaciones, tendremos por necesidad que volver al programa de hacer investigación fundamental, para la cual la madre es la Universidad, y a ella deberán venir a cobijarse—con certera visión del futuro—las corporaciones industriales. Baltá, excelente universitario y espíritu selecto, se da cuenta de la vital importancia de la investigación fundamental, por la cual entendemos la investigación de los fenómenos naturales indiferentemente de sus fines utilitarios, y nos ha deleitado esta tarde dándonos a conocer las primicias de un trabajo personal que pone de manifiesto el reconocimiento general de la importancia del hombre de ciencia en los asuntos del mundo. Mucho puede esperar la Academia de la preparación científica, la laboriosidad y el amor a la investigación del Doctor Baltá Elías, y por ello hemos de felicitarlos al poder contar desde ahora con su inestimable y valiosa colaboración. Al recuerdo emocionado que en su discurso dedica a la casa solariega del hermoso Panadés, donde reside su madre, octogenaria, le acompañan los votos que esta Academia hace porque Dios la conceda, con perfecta salud de alma y de cuerpo, disfrutar durante muchos años de los nuevos y esperados triunfos de su hijo.

Y al daros, Doctor Baltá, en nombre de la Academia, la más afectuosa bienvenida, y deciros lo orgullosa que se siente de contaros entre sus más sobresalientes miembros, deseo terminar recordándoos, a vos, investigador católico, aquellas magníficas palabras del químico J. B. Dumas: «El Dios de la Revelación es el mismo que el de la Naturaleza... La Ciencia no mata a la Fe, y la Fe, menos todavía a la Ciencia.»