

EL ANTIPROTON

Por DEMETRIO IGLESIAS VACAS

(Catedrático de Física y Química del Instituto de Plasencia)

EL Premio Nobel de Física de 1959 fué concedido por la Academia Sueca de Ciencias, conjuntamente a OWEN CHAMBERLEIN y EMILIO SEGRE, por su descubrimiento del antiprotón.

No nos cogió de sorpresa; hacia ya tiempo que su descubrimiento, el antiprotón, había rebasado, como noticia, los ámbitos de las Revistas especializadas y se había divulgado en manuales de Física Atómica.

M. Masriera, dice de él («El átomo y la energía nuclear», edición de 1957, página 80): «Recientemente, LAWRENCE (?) y SEGRÉ, del prestigioso Laboratorio de Radiaciones de BERKELEY, anunciaron haber logrado obtener otra partícula elemental, el «antiprotón», que tiene la misma masa del protón y su misma carga, pero ésta de signo contrario. Como esta nueva partícula, que completa la simetría de las elementales, tiene una vida muy fugaz, no tiene—o por lo menos no parece tener por ahora—importancia práctica. Teóricamente suscita la posibilidad de un esquema de la materia inverso del normal, es decir, con átomos de carga negativa y positiva a su alrededor. Es lo que se ha llamado un mundo al revés.»

LAS PARTICULAS ELEMENTALES EN EL «PALMARES» DE LOS PREMIOS NOBEL DE FISICA

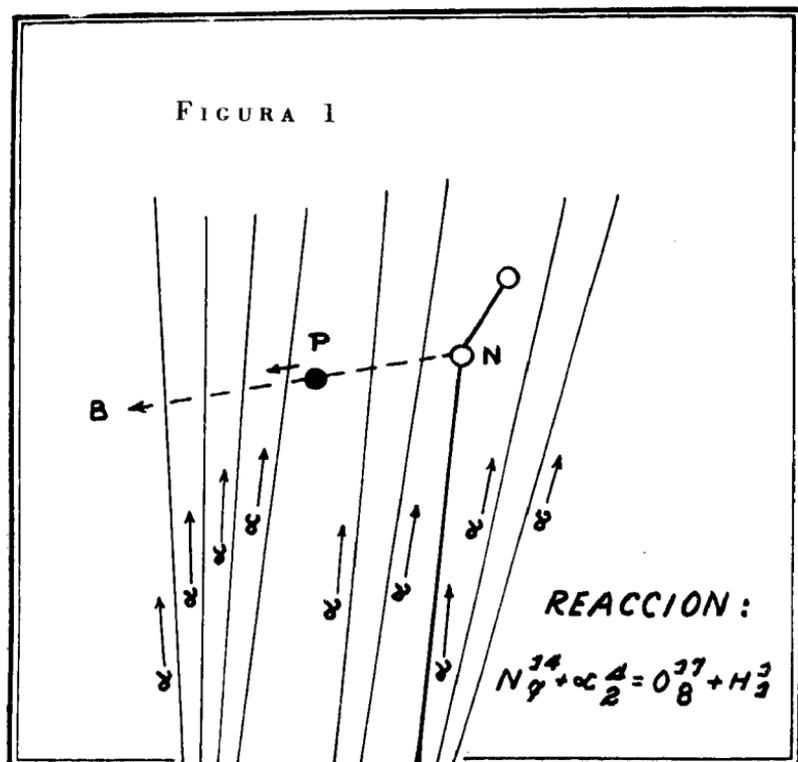
Un estudio exhaustivo de las partículas elementales se da muy ordenado—cronológicamente—conociendo los Premios Nobel de Física. Veamos:

1) En 1905 se concedió el Premio Nobel de Física a PHILIPP LENARD (1862-1947), por su trabajo sobre «los rayos catódicos». Lenard había empezado, compartiendo la opinión entonces en boga entre los físicos alemanes, por admitir que los rayos catódicos eran una especie de radiación ultravioleta; por eso pensó que una placa de cuarzo dejaría pasar este tipo de radiación. Pero, siguiendo una sugerencia de su maestro HEINRICH HERTZ, sustituyó la placa de cuarzo por delgadas láminas de metal montadas sobre una placa metálica provista de finas perforaciones, y comprobó en seguida que los rayos catódicos pasaban al espacio exterior. Había utilizado por primera vez lo que después se llamó «ventanas de Lenard».

2) En 1906, el Premio Nobel de Física fué concedido a JOSEPH JOHN THOMSON (1856-1940), «en reconocimiento de los grandes méritos de sus investigaciones teóricas y experimentales sobre la transmisión de la electricidad a través de los gases».

A Thomson se debe: resolver definitivamente el enigma de los rayos catódicos y el triunfo de la teoría corpuscular sobre la ondulatoria (sin embargo, treinta años más tarde se concedería otro Premio Nobel de Física, «por el descubrimiento

de la naturaleza ondulatoria de los electrones», a LOUIS VICTOR DE BROGLIE, en 1929); determinación de la velocidad de estas partículas; determinación de la relación masa/carga de las mismas; comprobación de que la masa de las partículas catódicas es solamente 1/1700 de la del átomo de hidrógeno (las medidas más recientes dan el valor 1/1840); la demostración de que las partículas cató-



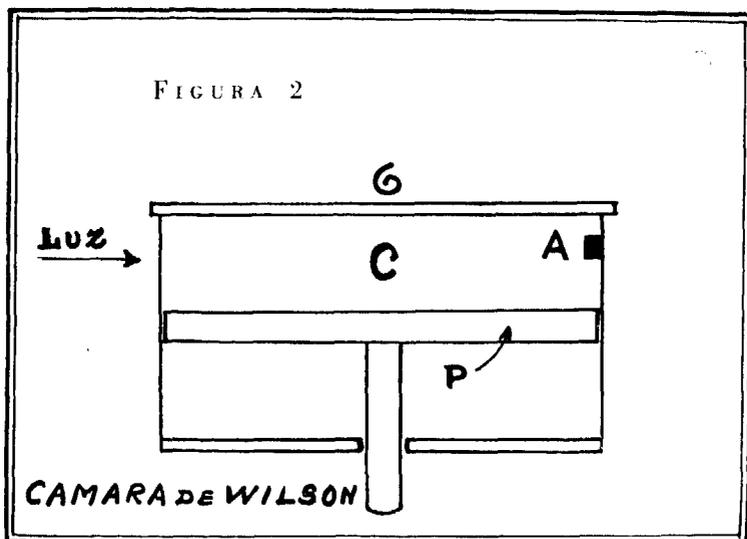
dicas se producen en otros fenómenos (en metales suficientemente calentados, en metales expuestos a la luz ultravioleta, en los rayos beta de las sustancias radiactivas). A esta partícula, Thomson le dió el nombre de «corpúsculo». Después se la llamó electrón y se dispuso de la primera partícula elemental.

3) En 1923 le fué concedido el Premio Nobel de Física a ANDRÉS MILLIKAN, por su método para hallar la carga eléctrica de la partícula electrón. Es clásica en la historia de la Física la experiencia de Millikan: la gotita electrizada que, expuesta a la acción de un campo eléctrico, se ve sometida a la acción de dos fuerzas: la de la gravedad por su masa y la del campo eléctrico por su carga.

4) En 1919, E. RUTHERFORD (Premio Nobel de Química de 1908) descubrió la

segunda partícula elemental, el protón, bombardeando nitrógeno con partículas alfa procedentes de un preparado de radio.

El experimento se realizó así: En un recipiente cilíndrico con gas, en el que una pared estaba provista de una ventana consistente en una lámina metálica muy fina, se colocaba el material radiactivo a distancia conveniente de esta ventana. Frente a ella se disponía una pantalla de sulfuro de cinc y se observaban, por medio de una lupa o un microscopio, las pequeñas chispas luminosas que resultaban cuando chocaban las partículas alfa sobre la pantalla. Teniendo nitrógeno en el recipiente, se percibían escintilaciones aún después de colocar frente a la pantalla una lámina impermeable a las partículas alfa. Una investigación



posterior demostró que el núcleo de nitrógeno se transformaba en un núcleo de oxígeno y un núcleo de hidrógeno (protón). La reacción era: $N^{14}_7 + \alpha^2_2 = O^{17}_8 + H^1_1$.

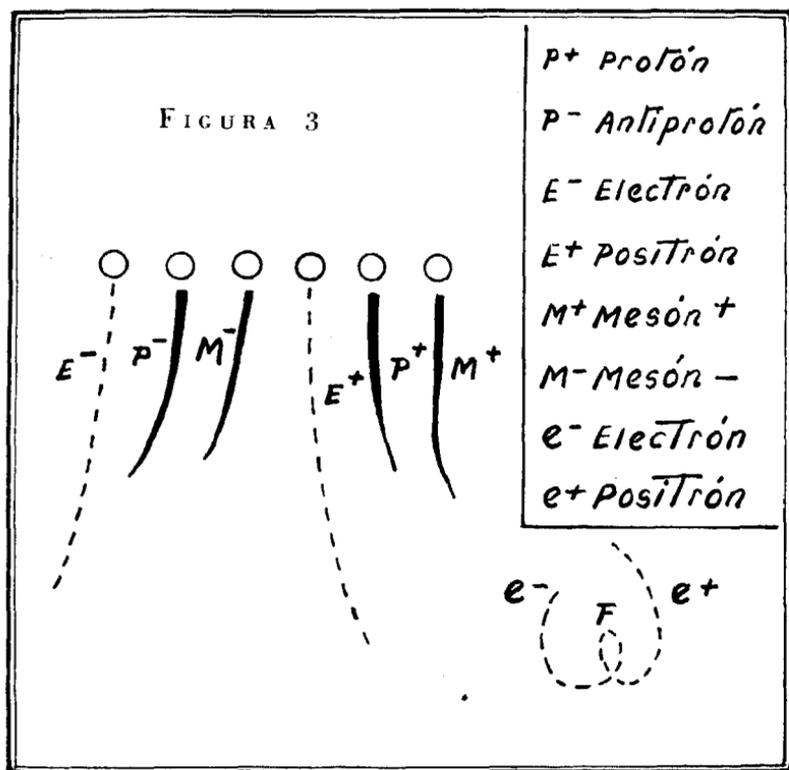
Eran los protones, dotados de gran velocidad, los que incidían sobre la pantalla.

La figura 1.^a es una copia de la fotografía obtenida en la cámara de Wilson de la reacción nuclear entre el nitrógeno y una partícula alfa. El haz de rayas negras corresponde a las trayectorias de partículas alfa procedentes de un origen común. Una de ellas se desvía en un punto hacia abajo—recta de trazos—y en corto trazo hacia arriba, a la derecha. En este lugar N, la partícula alfa ha chocado y reaccionado con un átomo de nitrógeno. El trazo NB corresponde a la trayectoria del protón desprendido, y el corto—NO—al nuevo núcleo del isótopo 17 del oxígeno desprendido. (Copia tomada de la página 72 del libro citado de Masriera.)

5) El Premio Nobel de Física de 1927 fué concedido, conjuntamente a ARTHUR HOLLY COMPTON (nacido en 1892), «por el descubrimiento del efecto que lleva su nombre», y a CHARLES THOMSON REES WILSON (1869-1959), «por el descubrimiento

del método de hacer visibles por condensación de vapor de agua las trayectorias de partículas cargadas eléctricamente».

C. T. R. WILSON, de Cambridge, elaboró en 1911 la primera cámara de niebla que tanta importancia había de adquirir en el campo de la Física atómica como instrumento de detección de partículas cargadas. En una cámara llena de aire saturado con vapor de agua, se provoca una brusca expansión adiabática cuyo enfriamiento—efecto Joule—lleva al vapor por debajo de su punto de rocío. Si un corpúsculo ionizante penetra en la cámara en el momento de la expansión,



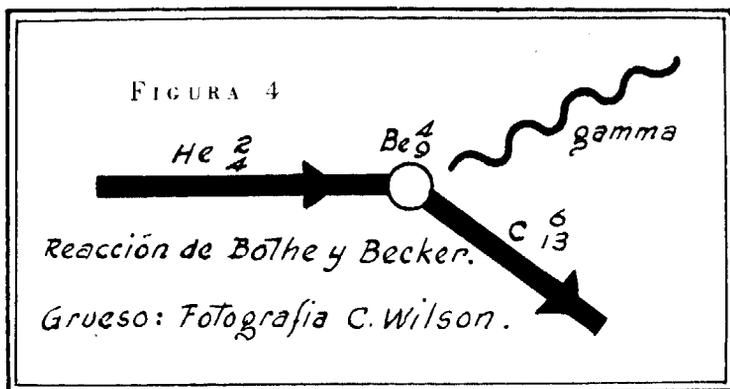
los iones gaseosos formados a su paso actúan, al principio, como núcleos de condensación del vapor, para convertirse luego en soportes de las gotas formadas. El paso del corpúsculo ionizante se manifiesta por la aparición de una fina estela blanca de niebla (fog tracks—líneas de niebla), visible a simple vista. Iluminando la cámara en el momento de la expansión, las líneas de niebla pueden ser fotografiadas.

A cada corpúsculo ionizante corresponde una línea de niebla bien definida, de cuyo análisis pueden extraerse muchas conclusiones interesantes como: el conocimiento de los choques entre partículas, la dirección sobre ángulos, la dirección de emisión de rayos secundarios, etc. Puede decirse que la cámara de niebla

proporciona un «carnet de identidad» a cada clase de partícula. Es obvio que los fotones y neutrones—partículas no ionizantes—no proporcionan trayectorias en la cámara de niebla. Colocada la cámara de niebla en un campo magnético, las líneas de niebla se curvan según círculos impuestos por la ley de Laplace.

BLACKETT y OCCHIALINI, de Cambridge, en 1933, lograron, con la más feliz elegancia, completar los datos de la cámara de niebla con las indicaciones del contador de GEIGER, combinando adecuadamente los dos instrumentos.

La figura 2.^a es un esquema de una cámara de WILSON. *P* es el pistón, que al poder bajar muy rápidamente, produce una rápida expansión del gas en la cámara *C*. Las gotitas pueden verse y fotografiarse a través de la placa de vidrio *G*, que cubre el cilindro. *A*, es la fuente de las partículas ionizantes.



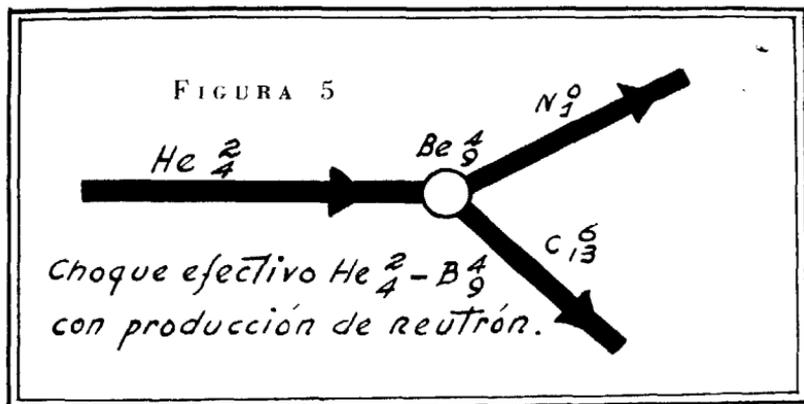
La figura 3.^a es un esquema de la fotografía de varias partículas en la cámara de niebla. *P*⁺ es la trayectoria de un protón. *P*⁻, la trayectoria de un antiprotón. *E*⁻, la trayectoria de un electrón negativo. *E*⁺, la trayectoria de un positrón. *M*⁺, la trayectoria de un mesón positivo, y *M*⁻, la trayectoria de un mesón negativo. El par *e*⁺, *e*⁻ representa las trayectorias de un par electrón-positrón producido al materializarse relativísticamente un fotón supuesto en *F*. Todas las partículas arrancan de los puntos *O*; la cámara está en un campo magnético dirigido hacia el papel.

6) En el año 1935 fué galardonado con el Premio Nobel de Física, JAMES CHADWICK (nacido en 1891). «por su descubrimiento del neutrón». El descubrimiento fué realizado en el año 1932.

El neutrón era una partícula «esperada». (No es nuevo esto en la historia de las partículas elementales. En un apartado de este trabajo: «El antiprotón, partícula presentida», lo aclararemos.) Ya en 1920, Rutherford había sugerido la posibilidad—casi necesidad—de una partícula neutra por contener un electrón y un protón. En 1930 los alemanes BOTHE y BECKER estudiaron el bombardeo de berilio con partículas alfa; descubrieron la aparición de una radiación muy penetrante. La radiación producida la interpretaron como no corpuscular, ya que en la cámara de Wilson dió la fotografía que se reproduce en la figura 4.^a Supusieron la radiación ondulatoria (rayos gamma) y formularon la reacción: $\text{Be}_9^4 + \text{He}_4^2 = \text{C}_{13}^6 + \text{gamma}$. Pero había un hecho secundario que no justificaba el que la radiación del berilio fuese gamma. Lo descubrieron JOLLIOT-CURIE. Repitieron en París, en 1931, la experiencia de los físicos alemanes interponiendo

una capa de parafina. Los efectos ionizantes de la radiación de berilio aumentan en vez de disminuir. Descubrieron, asimismo, una abundante presencia de protones altamente energéticos, cuyo origen atribuyeron a núcleos de hidrógeno de la parafina liberados por la radiación del berilio (efecto Compton).

Chadwick, en 1932, intervino en el estudio de este fenómeno. Al interponer una capa de nitrógeno observó también la presencia de núcleos de nitrógeno muy energéticos. Al intentar explicar su formación por un efecto Compton, surgió una contradicción, a saber: el efecto Compton supuesto para el hidrógeno y para el nitrógeno exigía dos niveles distintos de energía para la radiación gamma—cuando no puede haber más que uno—. Ante estos hechos, Chadwick lo explicó por una excitación por choques materiales, a expensas de una partícula neutra (por



eso invisible en la cámara de Wilson). La satisfacción de los principios de conservación de la energía y del momento dinámico, en el choque, se justificaba con que esa partícula neutra tuviese una masa ligeramente superior a la del protón. Así, se descubrió el neutrón, cuya masa individual es de $1,6752 \cdot 10^{-24}$ g. (la del protón es: $1,6729 \cdot 10^{-24}$ g.). La reacción de Bothe y Becker ya está explicada, es: $Be_9^4 + He_4^2 = C_{12}^6 + n_1^0$. Y el choque está reproducido en la figura 5.^a

7) El Premio Nobel de Física de 1936 fué concedido, conjuntamente, a VICTOR HESS (nacido en 1883) «por su descubrimiento de la radiación cósmica», y a CARL DAVID ANDERSON (nacido en 1905) «por el descubrimiento del positrón». Tenemos una nueva partícula elemental.

Como en tantas ocasiones, la cámara de Wilson se había mostrado eficazísima. En dicha cámara, Anderson descubrió de la radiación cósmica una trayectoria que no coincidía ni con la de un protón ni con la de un electrón. Por su curvatura, alcance y grosor, demostraba que pertenecía a una partícula con igual masa que el electrón. A esta partícula nueva se le dió el nombre de positrón.

8) El Premio Nobel de Física de 1949 fué concedido al físico japonés HIDEKI YUKAWA (nacido en 1907) por «la predicción de la existencia de mesono, basada en un trabajo sobre las fuerzas nucleares», y el de 1950 galardonó a CECIL FRANK POWELL (nacido en 1903) por «el desarrollo del método fotográfico para estudiar procesos nucleares y los descubrimientos hechos con este método referente a los mesones».

El trabajo matemático de Yukawa es un intento de justificar la estabilidad de los núcleos atómicos. La estabilidad de los núcleos atómicos es extraordinaria, como lo demuestra el hecho de que para su desintegración haga falta una energía

de activación del orden de un billón de calorías. Esta estabilidad ha de ser debida a la existencia de fuerzas atractivas intensísimas entre las partículas del núcleo.

La experiencia enseña que estas fuerzas gozan de las siguientes propiedades: 1.^a Se ejercen entre partículas a la distancia exigua de unos 10^{-13} cm. 2.^a Se extinguen rápidamente más allá del radio nuclear; y 3.^a Se reparten entre un número muy reducido de partículas. Y las fuerzas nucleares se asemejan a las fuerzas cohesivas de VAN DER WAALS, que sólo se ejercen entre moléculas líquidas vecinas, analogía que sirvió de base al modelo nuclear de «gotas» de GAMOW en 1928, el cual, en manos de BOHR, permitió calcular en 1939 que el U-235 es el isótopo explosivo. La bomba atómica es la experiencia que confirma que la hipótesis de Gamow es verosímil.

En el núcleo hay protones y neutrones. Las fuerzas atractivas pueden realizarse entre protón-protón, protón-neutrón y entre neutrón-neutrón. El físico alemán WERNER HEISENBERG, inspirándose en un trabajo del ruso IWANENKO, abordó el problema en 1934. Según Heisenberg, en el núcleo no hay más partículas que protones y neutrones, pero no son tales partículas independientes—en el interior del núcleo—, sino dos estados cuánticos de una sola partícula—el nucleón—. La interacción mutua puede seguir uno de los procesos siguientes: a) el neutrón emite un electrón y se convierte en protón; b) el protón emite un electrón positivo y se convierte en neutrón.

En esquema: $H^0 = H^1$ beta⁻; y $H^1 = H^0$ beta⁺.

La teoría de Heisenberg es inaceptable; sin citar más objeciones, porque ¿cómo explicar atracción entre protones si coulombianamente se repelen siempre? Y pretender explicar la estabilidad por la neutralización entre las fuerzas atractivas—debidas a las masas—y las fuerzas repulsivas—debidas a las cargas—es también inadmisibile, ya que basta aplicar las fórmulas de Coulomb y de Newton para darnos cuenta de que esas fuerzas son debilísimas. (Téngase en cuenta la pequeñez de las masas de protones y neutrones y la insignificancia de la constante de gravitación.)

Descartada la hipótesis de Heisenberg—que fué aceptada también por Fermi—, ha dado solución muy satisfactoria la teoría de Yukawa. La idea fundamental de Yukawa consiste en sustituir el campo electromagnético de Coulomb por un nuevo campo, el campo de Yukawa, que satisface matemáticamente a lo que la experiencia demuestra. (La idea de un nuevo campo, la multiplicidad de campos, todos válidos en distintas circunstancias, obligó a EINSTEIN a pensar en la existencia de un solo campo universal de fuerzas, del cual son variedades el campo gravitatorio, el campo coulombiano y, como es natural, este nuevo campo de Yukawa. A su muerte dejó construidas unas ecuaciones que «casi» resolvían matemáticamente la cuestión. Heisenberg ha continuado este trabajo.)

De este campo nuevo de Yukawa derivan unas partículas especiales. El carácter continuo clásico del campo electromagnético de MAXWELL, con propagación de perturbaciones por ondas electromagnéticas, ha tenido que modificarse, haciéndose «granular», por exigencias de la Mecánica Cuántica; el fotón o átomo de luz es precisamente el «grano» de este campo. (El experimento de Compton, entre otros, demuestra este carácter corpuscular del campo de Maxwell.) La clásica ecuación del potencial de las ondas electromagnéticas:

$$\Delta U = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2};$$

tiene como solución bien definida: $U = \frac{e}{r}$, siendo e la carga del átomo de electricidad y r la distancia.

Yukawa introduce la modificación en la ecuación de ondas:

$$\Delta U = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 U}{dt^2} + K^2 U,$$

y esa ecuación tiene ahora la solución bien definida:

$$U = \frac{g}{r} e^{-\kappa r}.$$

(K es una nueva constante universal que tiene el valor: $K = 0.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-1}$.)

Esta nueva ecuación exige la presencia de un nuevo corpúsculo—el mesón—, cuya masa es de doscientas veces la del electrón.

Tres años más tarde, en 1938, la predicción de Yukawa fué hecha realidad: Anderson descubrió en la radiación cósmica esa partícula. Otra verificación experimental de la teoría Yukawa fué la extracción artificial de mesones de los núcleos atómicos, en 1948, por GARDNER y LATTES, de Berkeley (California).

Hoy se conocen ya las siguientes clases de mesones: mesones mu (muones, son los previstos por la teoría de Yukawa, los descubiertos por Anderson, con una masa 200 veces mayor que la del electrón); mesones pi (piones, descubiertos en 1947 por R. E. MARSHAK y H. BETHE, con una masa 330 veces mayor que la del electrón); mesones tau (taunes, descubiertos en 1949 por BROWN, CAMERINI, MUIRHEAD, POWEL y RITSON, con una masa 1.000 veces mayor que la del electrón); partículas V (descubiertas en 1947 por G. D. ROCHESTER y C. C. BUTHER, con una masa 800 veces mayor que la del electrón). A todas estas partículas—que no son todas ellas propiamente elementales—se les da el nombre de mesones por tener una masa intermedia entre la del electrón y la del protón.

(En *Física atómica y nuclear*, de HENRY SEMAT, pueden verse fotografías, obtenidas en la cámara de Wilson, de las trayectorias de estas partículas y de transformaciones entre ellas.)

Aunque antiguo, el método fotográfico para reconocimiento de partículas ha sido perfeccionado por Powel y Occhialini en 1946, habiendo prestado desde esta fecha servicios extraordinarios en el estudio de los rayos cósmicos (descubrimiento en los rayos cósmicos secundarios de los diferentes tipos de mesones), así como en la investigación de los productos de la escisión nuclear. La sensibilidad actual del método en cuestión estriba en que los gránulos del bromuro de plata se hallan muy finamente divididos, presentando, además, una gran concentración en la emulsión de gelatina. Cuando una partícula atraviesa la emulsión sensible, su trayectoria se manifiesta a la vista del observador, con auxilio del microscopio, previo revelado de la placa fotográfica, como una sucesión lineal de puntos negros. El método fotográfico sirve especialmente para la detección de mesones. Los neutrones, a pesar de su invisibilidad como tales, se manifiestan de modo indirecto, a expensas de los protones de la gelatina liberados en choque elástico.

9) W. PAULI fué galardonado en 1945 por «el descubrimiento del principio de exclusión, llamado también principio de Pauli». Lo que nos interesa para nuestro propósito actual es indicar que en 1931 Pauli (nacido en 1900), intuyó la existencia de otra partícula elemental: el neutrino. La energía del espectro de rayos beta se había encontrado continua y con un máximo. Pauli sugirió que la energía extrema observada representaba la verdadera energía de desintegración; para explicar la distribución continua de energía y su conservación en los procesos nucleares, Pauli sugirió que en la trasmutación beta el núcleo emite dos partículas y que la energía total de éstas es constante e igual a la energía extre-

ma observada en el espectro de rayos beta. Una de esas partículas es el propio electrón, y la otra se supone que es una partícula neutra de masa en reposo despreciable: esta partícula es el *neutrino*.

EL ANTIPROTON, PARTICULA PRESENTIDA

Recapacitando sobre la historia que hemos bosquejado de las partículas elementales, nos daremos cuenta que razones que han espoleado el interés de los investigadores por encontrarlas han sido: *a)* Razones de estabilidad. (Casos del protón y del neutrón. El protón era necesario para justificar la estabilidad del átomo; el átomo no puede estar formado sólo por electrones, ya que éstos, por ser todos de carga del mismo signo, se repelerán, y los átomos normales son neutros. El neutrón—o algo parecido—era necesario para justificar la estabilidad del núcleo de los átomos; el núcleo no puede estar formado sólo por protones, ya que se repelerán, y los núcleos son estables.) *b)* Razones matemáticas—pudieramos decir—; dar satisfacción a lo que previene el cálculo matemático. (Casos del mesón y también del positrón. El mesón es previsto por las ecuaciones de Yukawa; el positrón, por las ecuaciones de Dirac, de las que pronto hablaremos.) *c)* Razones de satisfacción de los principios de conservación de la energía y de conservación de la cantidad de movimiento. (Caso del neutrón. El balance energético y dinámico de choque no se ajusta en la reacción de Bathe si suponemos que la radiación del berilio está constituida por ondas y nada material o corpuscular. Caso del neutrino, también, pues es necesario, para dar satisfacción a lo que dice la experiencia de la energía de la radiación beta.) *d)* Razones de simetría. (Casos del electrón, protón y positrón. Sorprendió la asimetría de masa de los cuantos de electricidad. El átomo de electricidad positiva (el protón), casi dos mil veces más masivo que el átomo de electricidad negativa (el electrón). Esa asimetría parece desvanecerse cuando se descubre el positrón. Pero no del todo, pues llevándola al máximo hay que buscar una partícula de la misma masa y de carga contraria que el protón. Desde que así se piensa, la búsqueda del antiprotón se pone en marcha.)

Todas estas razones expuestas han jugado su papel más o menos influyente en la búsqueda de las partículas elementales. Júzguese que siempre se ha ido tras de partículas presentidas. Salvo en el caso del electrón, que inició el esquema de constitución de los átomos, y acaso del neutrino, que no puede ser detectado, en los demás casos la presencia de una partícula induce en seguida a buscar otra: el electrón al protón; el protón al electrón positivo, al neutrón y al antiprotón, etc.

Como hemos apuntado por encima, el descubrimiento del positrón fué el acicate para lanzarse a la búsqueda del antiprotón.

El descubrimiento del positrón o electrón positivo fué la verificación experimental de una hermosa teoría matemática elaborada con todo rigor científico en 1928 por el entonces jovencísimo físico PAUL ADRIEN MAURICE DIRAC (nacido en 1902). El Premio Nobel de Física de 1933 fué concedido conjuntamente a SCHRODINGER y DIRAC por «el descubrimiento de nuevas formas fructíferas de la teoría atómica».

Vamos a exponer la teoría de Dirac:

En 1924 presentó a la Facultad de Ciencias de París su extraordinaria disertación «Recherches sur le théorie des quanta» el principe LOUIS VICTOR DE BROGLIE (había nacido en 1892). La idea básica de su trabajo es la siguiente: al parecer, se presentan los fenómenos naturales en dos modos distintos: el de la materia y el de la radiación. Esta dualidad—ondas y corpúsculos—en la luz ha sido superada por la teoría de PLANCK. ¿No habría alguna posibilidad de aplicar un dualismo similar a la materia? Broglie lo intenta, y valiéndose de los princi-

píos de MAUPERTUIS y de FERMAT, desarrolló su teoría, según la cual cada partícula está asociada a un movimiento ondulatorio. La longitud de onda está determinada por el momento cinético de la partícula y por la constante de Planck. Las hermosas experiencias sobre difracción de electrones realizadas por CLINTON JOSEPH DAVISSON fueron un estupendo refrendo de la teoría de Broglie. Por otro camino, el físico austriaco ERWIN SCHRODINGER llegó también a postular la dualidad onda-córpúsculo. Ambos sentaron la base de la llamada Mecánica Ondulatoria. Pero esta Mecánica Ondulatoria no es aplicable a las partículas animadas de una velocidad muy grande, próxima a la de la luz, por el hecho de que en estas condiciones dichas partículas sufren una variación sensible de masa, plenamente justificada por el postulado relativista de Einstein. Hay que cambiar la Mecánica Ondulatoria de Broglie para dar entrada a ese postulado relativista. Además, la existencia del «spin» del electrón, postulada por UHLENBECK y Goudsmit, obliga también a modificar aquella teoría de ondas en el sentido de transformar la función escalar en una función vectorial. Estas dos correcciones las introduce Dirac y crea su Mecánica relativista. La ecuación básica es ésta: $E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4$, siendo E la energía del córpúsculo, m_0 su masa en reposo, c la velocidad de la luz y p su momento cinético.

Podemos observar que, según la ecuación, para cualquier valor de p hay dos valores de la energía, $+E$ y $-E$, que satisfacen a la ecuación. Esto significa una revolución, puesto que postula la existencia de una energía negativa, y en Física clásica carecen de sentido los estados de energía negativa. No se arredra Dirac por esta aparente contradicción entre lo que dice la fórmula y lo que enseña la experiencia (como no vaciló Planck en introducir su revolucionario cuanto de acción), y el propio Dirac soslayó esta dificultad argumentando así: «Desde un punto de vista teórico, los estados de energía negativa tienen el mismo fundamento que los estados de energía positiva. De hecho esta igualdad no se manifiesta en la Naturaleza, ya que los procesos ordinarios tienen lugar exclusivamente en el dominio de la energía positiva.» Pero Dirac, resueltamente, admite los estados de energía negativa, los cuales estarán ocupados por electrones negativos inasequibles a la observación. Y sigue razonando: «Si, previa absorción de energía positiva, de este océano de estados de energía negativa se libera un electrón con energía positiva, se tendrá un electrón ordinario susceptible de observación; pero en dicho océano quedará un espacio vacío, un «agujero», equivalente a una carga positiva.» Según las ecuaciones de Dirac, el «agujero», en cuestión, rodeado de electrones de energía negativa, se comporta exactamente como un electrón positivo con energía positiva y, por tanto, como una entidad ya observable. Crear un «agujero» equivale a crear un electrón positivo o positrón observable. La liberación previa del electrón negativo exigirá, evidentemente, el consumo de una energía igual a $2m_0c^2$, valor del desnivel comprendido entre $-m_0c^2$ y $+m_0c^2$, y esta energía podrá ser suministrada bajo forma de luz. En cuyo caso, un fotón, suficientemente energético, quedará «materializado», creando el par: electrón-positrón. Recíprocamente, la caída de un electrón ordinario desde un estado alto de energía positiva a un «agujero» de Dirac significará el aniquilamiento relativista del par electrón-positrón para engendrar un fotón.

En principio, se creyó que las ideas de Dirac eran tan artificiosas como atrevidas, pero cuando cuatro años más tarde el físico norteamericano Anderson, analizando rayos cósmicos, descubrió el positrón, se vió que Dirac tenía razón.

* * *

¿Y por qué detenerse? Si la creación de un par electrón-positrón exige la materialización relativista de un fotón de energía $= 2m_0c^2$, ¿por qué no pensar en la posibilidad de la materialización relativista de un fotón más energético, de energía $= 2.200 \cdot m_0c^2$, creándose el par: mesón mau^+ + mesón mau^- ? ¿Por qué

no pensar en la posibilidad de la materialización relativista de un fotón de energía $= 2.230. m_0 c^2$, creándose el par: mesón π^+ + mesón π^- ? ¿Por qué no pensar en la posibilidad de la materialización relativista de un fotón de energía $= 2.1.000. m_0 c^2$, creándose el par: mesón τ^+ + mesón τ^- ?

Y demos un paso más: Las radiaciones cósmicas pueden ser de dos clases: secundarias y primarias. En las secundarias están los electrones y los mesones. En ellas fueron captados los positrones. Ellas son fotones de energía suficiente para poder verificar las materializaciones relativistas apuntadas. Las radiaciones cósmicas primarias se ha comprobado que están integradas por protones y, en pequeña proporción, núcleos polivalentes. ¿Por qué no pensar en la posibilidad de la existencia en ella de fotones con la suficiente energía para poder crear, por materialización relativista, el par protón positivo-protón negativo (antiprotón)?

COLOFON

Hemos dicho que el Premio Nobel de Física de 1936 fué concedido conjuntamente a Victor Hess por el descubrimiento de la radiación cósmica y a C. D. Anderson por el descubrimiento del positrón. La doble concesión nos parece lógica y justa, pues el segundo no hubiera podido descubrir el positrón si el primero no hubiese descubierto los rayos cósmicos. De forma similar, lo justo hubiese sido que el Premio Nobel de Física del pasado año fuese concedido conjuntamente a Chamberlein y Segré por su descubrimiento del antiprotón y al físico español A. Duperier por sus magníficos trabajos sobre rayos cósmicos.

Pero el profesor Duperier falleció en Madrid en febrero del citado año. Arturo Duperier era el hombre que más sabía de rayos cósmicos en todo el mundo y el hombre de quien sabía todo el mundo menos nosotros los españoles.

Séanos permitida una justa reparación. Su valía está justificada—y la no exageración de lo que hemos dicho antes—: el profesor Bianchi—Premio Nobel—puso a disposición de Arturo Duperier todo su laboratorio en Londres para que siguiera sus estudios sobre rayos cósmicos; Bruno Rossi—también Premio Nobel—, enterado de la maravillosa realidad de las teorías de Duperier, convocó un Congreso limitado a un número reducido de sabios que debiera haberse celebrado el pasado mes de julio en Moscú—¡y qué fecunda habría sido la conferencia entre los dos «grandes»: Kapitza y Duperier!—. Su altura científica le valió presidir—junto a Einstein—la Asamblea de Física en la Persyl School de Londres. En el Congreso de Méjico (1935) y en el de Edimburgo (1958) nuestro sabio rebatió las teorías sobre rayos cósmicos de las Escuelas de Austria y Noruega. Y en el laboratorio de Berkeley (a la cabeza de la Física atómica), demostró, ante el asombro de todos, la exactitud de sus teorías.

Este era el sabio español desaparecido que debía de haber compartido en dicho año la gloria del Premio Nobel de Física con Chamberlein y Segré.

BIBLIOGRAFIA

- MANNE SIEGBAHN: «Los Premios Nóbél y su fundador».
 CARLOS NOGAREDA DOMENECH: «Los rayos cósmicos»
 — : «El átomo y la energía nuclear».
 M. MASRIERA: «El átomo y la energía nuclear».
 BANESH HOFFMANN: «La peregrina historia del quantum».
 HENRY SEMAT: «Física atómica y nuclear».
 CASTELFRANCHI: «Física moderna».
 OTTO HANS: «La desintegración del átomo».
 JOSE BALTA ELIAS: «Los rayos cósmicos».
 ANDRE MILLIKAN: «Electrones, fotones, protones, neutrones y rayos cósmicos».
 LOUIS DE BROGLIE: «Mecánica y luz».

Orientaciones sobre la resolución de problemas numéricos

1.^a LEER atentamente el enunciado, destacando las palabras y frases importantes.

2.^a DIBUJAR (si se trata de un problema geométrico) la figura o figuras a que se refiere el enunciado, evitando incurrir en casos particulares (no se dibujará un cuadrado si nos hablan de un cuadrilátero, ni un rectángulo si nos hablan de un paralelogramo, etc.), e indicando claramente las dimensiones conocidas y las letras con las que se designan las desconocidas.

En particular en los problemas sobre poliedros, será conveniente dibujar separadamente determinadas caras o secciones, y en los problemas sobre figuras de revolución, la sección meridiana.

3.^a TRADUCIR al lenguaje numérico las relaciones explícitamente dadas en el enunciado, y aquéllas que se deducen de las DEFINICIONES y PROPIEDADES de los conceptos que figuran en él (planteo).

4.^a Al redactar la solución de un problema, no deberán omitirse los RAZONAMIENTOS empleados en ella, en los que, por lo demás, podrá seguirse el METODO SINTETICO o el ANALITICO. Las igualdades numéricas y ecuaciones forman parte de estos razonamientos.

5.^a Tampoco debe omitirse ninguna de las OPERACIONES escritas necesarias para la resolución del problema. En particular, cuando sea necesario realizar operaciones con números naturales o con expresiones decimales, se reservará a la derecha del papel una parte para estas operaciones.

6.^a La SIMPLIFICACION de resultados parciales evitará en muchos casos operaciones innecesarias. Para estas simplificaciones deberán recordarse las reglas de cálculo con fracciones y con radicales.

7.^a Nunca en el transcurso de los cálculos necesarios para la resolución de un problema se sustituirá ningún número fraccionario (tal como $\frac{2}{3}$, $\frac{13}{7}$, $\frac{4}{7}$, etc.) o irracional (como π , $\sqrt{3}$, $\sqrt{2}$, etc.) por valores decimales aproximados.

8.^a La solución o **SOLUCIONES EXACTAS** se encerrarán en rectángulos, y no deberá omitirse, cuando haya lugar a ello, la clase de unidades (metro, segundo, Km/h, cm², etc.) de cada solución.

Una solución podrá ser de las formas:

$s = 5 \text{ m}$	$x = \frac{7}{3}$	$V = 14 \pi \text{ m}^3$	$S = \frac{\pi \sqrt{3-2}}{7} \text{ cm}^2$
$v = 13,25 \text{ Km/h}$	$C = \frac{1954}{27} \text{ ptas.}$	$t = 21^h 13^{m} 8^s \frac{3}{7}$	$M = 0,23 \text{ Kg.}$ etc.

9.^a Cuando la naturaleza del problema lo aconseje, o se pida explícitamente, se dará junto a la solución exacta un **VALOR APROXIMADO**, separando ambos por el signo \simeq de aproximación.

$C = \frac{1954}{27} \text{ ptas.} \simeq 72,37 \text{ ptas.}$

10.^a Nunca se relacionarán con el signo = expresiones correspondientes a números no iguales. Por ejemplo, se evitará escribir: $5 + 3 = 8 + 7 = 15$. $\pi = 3,14$, etc.

*Julio García Pradillo, Carmelo Redondo Pablos
y Prudencia Bárcena Teherán.*

Colecciones de fauna marina para los Institutos de Enseñanza Media

La observación directa de invertebrados marinos ha sido siempre una gran dificultad para los escolares de Centros docentes de tierra adentro. La Dirección General de Enseñanza Media y el C. O. D. han organizado el envío de sendas colecciones de sesenta especies típicas de la fauna litoral cántabrica.

Las primeras veinte colecciones de animales conservados en alcohol se están remitiendo en la actualidad a los Institutos más deficitarios en material científico y a las Secciones Filiales que en la actualidad imparten las enseñanzas de las Ciencias Naturales de tercer curso del Bachillerato.