

VULGARIZACIONES ATOMICAS

LAS RADIACIONES

Por JUAN MACHIMBARRENA,
Ingeniero de Caminos.

Se refiere el autor al comienzo a su artículo sobre la bomba de hidrógeno, publicado en el número de octubre de 1955 de nuestra Revista. En el presente hace un resumen de la teoría y experimentos más importantes realizados sobre el tema, con la finalidad que el mismo explica en los primeros párrafos.

II

La divulgación de estos conocimientos en forma resumida y despojada de su ropaje matemático, debe excitar lógicamente la inquietud de los jóvenes compañeros, por tratarse de cuestiones directamente relacionadas con el átomo, su constitución y derivaciones nucleares.

Es de suponer que la envergadura e interés de temas tan henchidos de porvenir ha de animarles a su profundo estudio. Este es, al menos, el interés inspirador del presente artículo, como fué del anterior sobre la bomba de hidrógeno y tal vez del que le suceda, si Dios sigue concediendo humor y vida.

Desprovistos de pudor científico, nos embarcamos en esta empresa de vulgarización, en vista de que otras plumas más brillantes y competentes no se deciden.

Antes de abordar el fenómeno de las radiaciones, manifestado espontánea y rotundamente en ciertos cuerpos simples (radiactividad), examinaremos primero la constitución y características de las radiaciones fundamentales, esto es, de las denominadas Alfa, Beta y Gamma, y también del elemento primordial atómico llamado electrón, base de la segunda de esas radiaciones.

Al tratar del ciclo de Bethe, vimos cómo en el sol, al finalizar el proceso de ataque al carbono por el hidrógeno, en medio de enormes temperaturas, sale despedido el helio (dos protones y dos neutrones). Y cómo en la bomba H, por fusión de dos átomos de hidrógeno pesado a temperaturas de varios millones de grados, surge también el helio.

El primer ciclo, el de Bethe, es el pacífico, el que diaria y constantemente tiene lugar en el sol. El otro es el destructivo y terrorífico, en el que se alcanzan temperaturas de varios millones de grados en fracción de segundo, por la previa expulsión de una bomba de uranio, que desempeña aquí el humilde papel de fulminante.

Pues bien, en uno y otro caso aparece la radiación Alfa, constituida, como se ha indicado, por dos átomos estrechamente unidos, de hidrógeno pesado o deuterio.

Estas partículas de helio entran en la composición de casi todos los cuerpos simples, como ya ex-

pusimos en el anterior artículo, y gozan de una extraordinaria estabilidad. Sus radiaciones tienen un modesto poder de penetración, pues a pesar de ser lanzadas de los cuerpos radiactivos a velocidades del orden de los 20 000 kilómetros por segundo, pueden ser detenidas por una simple hoja de papel.

Más adelante, al ocuparnos de la radiactividad, veremos la importancia que revisten estas radiaciones Alfa, por ser el helio su componente, piedra angular, como ya se ha visto en la constitución de la materia.

Pasemos ahora a las radiaciones Beta. Se hallan éstas integradas por electrones y su poder de penetración es capaz de atravesar algunos milímetros de aluminio. Pueden obtenerse varios modos saliendo de una ranura dentro de una lámpara de rayos catódicos, de un filamento metálico llevado a la incandescencia o de un cátodo recubierto de ciertos óxidos, como en las lámparas de radiotelefonía, etc.

Sus trayectorias — cabe seguir las — por el impacto que producen en placas fotográficas o pantallas fluorescentes y también pueden ser observadas de modo directo en la cámara de niebla de Wilson.

Pero, alto: estas radiaciones Beta de que hablamos están formadas exclusivamente por electrones y no debemos continuar adelante sin examinarlos con atención, dada la trascendencia que revisten en las combinaciones químicas y físicas del átomo y por las aplicaciones extraordinarias de que han sido objeto, gracias a los cuales (válvula de tres electrones, tubo catódico, célula fotoeléctrica e iconoscopio) se han hecho posibles la radiotelefonía, el cine sonoro, la televisión, el radar, etc.

Serían los electrones en principio corpúsculos de masa fija y perfectamente localizados en el espacio, si no fuera porque su pequeñez y rapidez de movimientos los hace más bien encajar en la Dinámica relativista, según la cual han de variar sus masas en función de la velocidad siguiendo la fórmula Lorentz:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

en que m_0 es la masa del electrón animado de una velocidad pequeña comparada con la c de la luz.

Luego veremos que la localización de los electrones en el espacio es también muy aleatoria, pues se ajusta su determinación no a la mecánica clásica, sino a los cálculos de probabilidad y leyes de la Estadística.

Fué Robert Millikan quien, en 1909, tras una serie de experimentos en una cámara de ionización constituida por dos electrodos paralelos entre los que pulverizaba gotas de aceite, pudo medir, equilibrando el peso de esas gotas con las cargas de los electrones mediante la variación del campo eléctrico, la masa y carga de los electrones adheridos a dichas gotas (figura 1.^a).

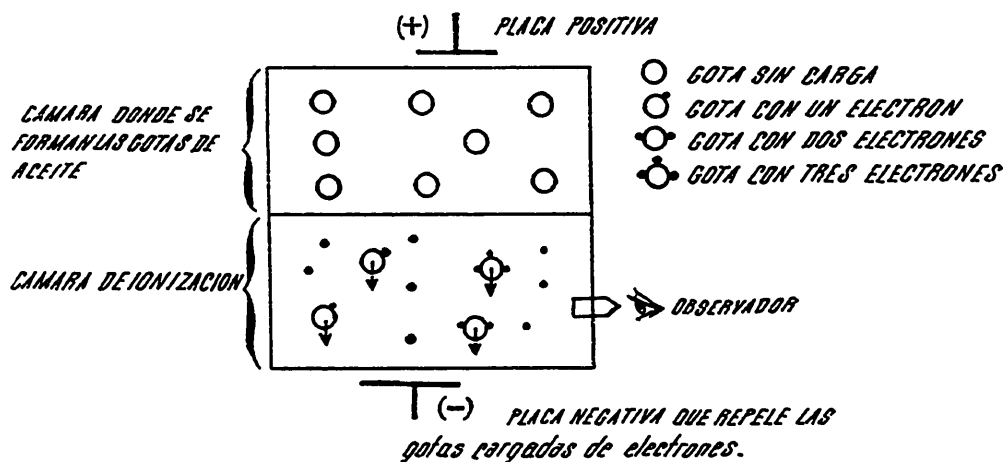


Fig. 1.^a -- Cámara de ionización.

La determinación de la carga electrónica normalmente negativa fué suceso importante, ya que significaba un sensible aumento en los conocimientos físicos de la época.

Esa minúscula carga, $0,159 \times 10^{-18}$ coulombios es, en efecto, una constante fundamental. Es el elemento irreducible de carga unido a la más pequeña masa conocida: $0,9 \times 10^{-27}$ gramos.

Del electrón con carga negativa se ha observado y precisado mucho, concluyéndose, como primera deducción, que su "cuánto" o grano mínimo de electricidad negativa tiende a unirse a corpúsculos muy móviles y livianos, en tanto que la electricidad positiva parece asociarse a estructuras materiales más pesadas y menos móviles, como iones, moléculas o átomos.

Así, el núcleo de electricidad positiva más ligero que se conoce es el protón de masa, 1 840 veces mayor que la del electrón. Este es uno de los misterios aún en pie: la carga negativa uniéndose en los átomos a partículas ligeras y la positiva, en cambio, a corpúsculos de masa superior.

Pero ¿ocurre esto así inexorablemente? Desde luego que no. Ya en 1932 Anderson descubre el electrón positivo o positrón, que dos años antes ha-

bía sido intuido por Paul Dirac. La idea de este joven físico inglés fué en extremo notable, pues definía a los electrones positivos como "huecos originados en el espacio vacío".

De primeras, tal afirmación parecía querer conquistar el campeonato de lo absurdo. ¿Cómo, en efecto, cabría imaginar la existencia de huecos o agujeros en el vacío absoluto? Para Dirac, sin embargo, el vacío no es tal como lo imaginábamos, ya que él lo suponía lleno de electrones negativos corrientes distribuidos regular y uniformemente, a modo de un mar, de un océano. En éste, como símil, una burbuja de aire ascendiendo a la superficie entre las

moléculas de agua, sería como el hueco o electrón positivo sumido en el mar de los electrones negativos.

La intuición de Dirac, como genial, resultó fecunda en consecuencias. El electrón negativo que observamos de ordinario jugando el papel de satélite del núcleo en los átomos describiendo las órbitas cuantificadas de que hablamos al tratar de la bomba H. El mismo electrón, que en las corrientes eléctricas puede ser localizable y hasta visible (tubos catódicos, válvulas de radiotelefonía, etc.), no es, en definitiva, más que el electrón negativo extraído del océano de Dirac para desempeñar una misión individualizada y especial.

Sin embargo, a pesar de ostentar esos lucidos papeles en los que su personalidad se afirma, el electrón negativo, si de él dependiese, tendería a regresar al océano de origen. Cosa que no ocurre por haberse llenado el hueco, como sucede a la burbuja en el mar, por las partículas o electrones contiguos. Aquí también es de aplicación aquello de que "quien fué a Sevilla..."

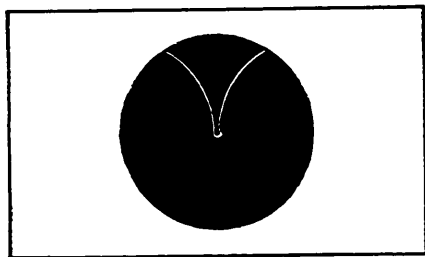
Ahora bien, si de modo fortuito un electrón negativo más o menos despistado tropezase en su camino con un agujero o positrón, caería en él llenán-

dolo y entonces ocurriría el aniquilamiento de un electrón positivo y de otro negativo, con emisión de energía liberada en forma de radiación de escasa longitud de onda.

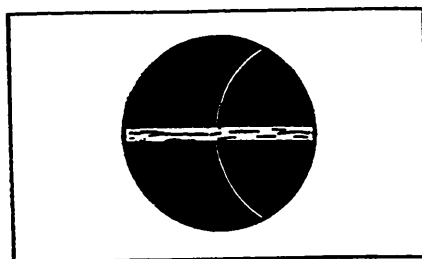
La creación de un par de electrones de signos contrarios posible, aunque difícil por la homogeneidad

registradores colocados en un balón-sonda sobre Texas, para captar rayos cósmicos.

La película obtenida mostraba que el choque no había ocasionado, como era de suponer, una mutación atómica, sino que había nada: menos que destruido la materia convirtiéndola en energía. Por pri-



Cliché 1. — Creación de un par de electrones.



Cliché 2. — Un positrón cósmico.

del mar electrónico en el vacío, se verifica fácilmente atacando con potentes rayos "gammas" partículas materiales, donde los electrones negativos ofrecen menos solidaridad.

En la cámara de Wilson, de que hablaremos en seguida, se puede fotografiar claramente la operación indicada, recogiendo también la trayectoria de positrones de origen cósmico (véanse clichés 1 y 2).

Muy recientemente parece haberse descubierto, por experimentadores de la Universidad de Chicago, el antiprotón, o sea, un núcleo o átomo de hidrógeno provisto de carga negativa, hecho que parece desvirtuar lo hasta el presente creído sobre la afinidad ex-

mera vez se veía actuar a la "antimateria" aniquiladora de la esencia de las cosas, al antiprotón, ya previsto por la física teórica, aparecer en la atmósfera proveniente de un ignorado origen.

El gran impulsador de partículas, el "Bevatrón", sucesor modernísimo del "Cyclotrón" de Lawrence, ha permitido muy recientemente la creación artificial del antiprotón. Parece que el lanzamiento de un flujo de protones positivos en el campo magnético de ese gigantesco acelerador, les hace adquirir tal energía que, a su choque con los núcleos atómicos de una placa de cobre, hace que broten protones negativos por la transformación en materia de una cantidad de

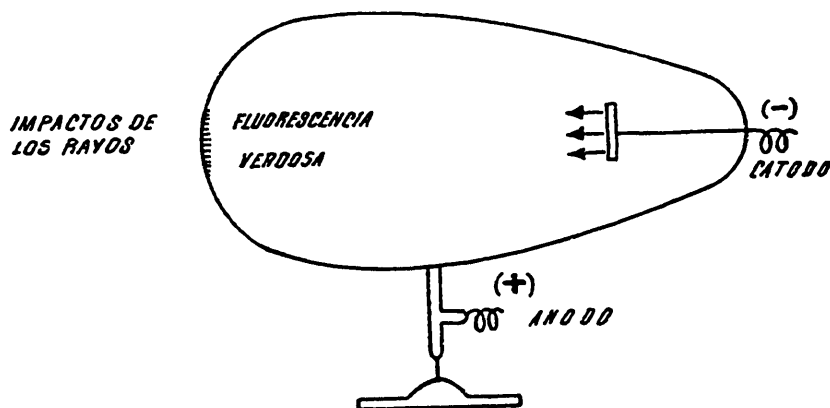


Fig. 2.ª — Tubo de rayos catódicos.

clusiva de las cargas negativas con partículas sutiles.

Un corpúsculo de naturaleza desconocida había chocado con prodigiosa fuerza contra los aparatos

energía estimada en 2 000 millones de electro-voltios.

Con precisas y delicadas maniobras, los antiprotones así creados han sido desviados, identificados y conducidos al vacío para su estudio y para evitar

se suiciden al aniquilar la materia con que pudiesen tropezar. Puede la imaginación figurarse lo que a efectos bélicos ocasionaría la emisión de un chorro de anti-protones dejando a su paso la nada, el vacío absoluto, el universo antes de su creación.

Volvamos, terminada esta digresión sobre el protón positivo, a las radiaciones objeto de estas líneas, y a describir dos aparatos de gran importancia en el estudio de las mismas: los tubos de rayos catódicos y la cámara de niebla.

Consiste el primero en un tubo de vidrio en el cual van soldados por el interior dos terminales metálicos o electrodos puestos en comunicación con una máquina eléctrica capaz de producir entre ellos una diferencia de potencial (fig. 2.^a).

En el tubo o lámpara se extrae el gas hasta reducirlo a una millonésima parte del que contenía inicialmente, denominándose cátodo al terminal que comunica con el polo positivo de la máquina alrededor del cual podrá advertirse un cierto fulgor violeta.

En el extremo opuesto de la placa que constituye el cátodo se observará una fluorescencia verdosa en la que, colocando otra placa se advertirá una pequeña elevación de la temperatura en ella, debido al impacto de los rayos procedentes del cátodo.

Si entre las dos placas se instalase un pequeño rehilete a modo de tubería con aspas, éstas pronto comenzarían a girar evidenciando que los rayos catódicos están integrados por pequeñas partículas que tienen masa. Con un electroscope situado en el exterior del tubo, pero soldado a la placa que recibe los impactos, se ha probado que la carga de las partículas es negativa, y por la desviación de los rayos sometidos a campos eléctricos creados desde el exterior del tubo, se llegó a deducir que las partículas catódicas son electrones negativos cuya masa, velocidad y carga han podido medirse, como antes las obtuvo el físico americano Millikan en su ya descrita cámara de ionización.

Con estos experimentos y los de Thomson, quedó bien patente y definida la constitución de los rayos catódicos formados por radiaciones Beta y también de la electricidad, probándose que ésta se halla formada por partículas discretas de masa y carga indivisible, que son los electrones.

Describamos ahora el segundo de los dispositivos, cuyo conocimiento se impone como instrumento indispensable, para la observación gráfica de los elementos atómicos, perfectamente determinables en sus trayectorias e impactos fotográficos.

El año 1897, el escocés Wilson publicó su primer artículo sobre las cámaras de expansión. Fundaba su teoría en la observación de que en atmósfera limpia de corpúsculos, los centros de condensación del vapor de agua en forma de gotas, no pueden producirse más que sobre iones.

Su proyectada cámara de expansión (fig. 3.^a) consistía en un recipiente cilíndrico de cristal cuyo fondo móvil era un pistón. Al correr éste bruscamente

en un recorrido calculado según la "relación de expansión" adecuada (cociente del volumen dilatado al volumen primitivo), se provocaban en el gas saturado de la cámara las condiciones precisas para la formación de gotas (relación de 1.25 a 1.38).

Si en este instante cruzara la cámara un rayo que ionizase las moléculas del gas, la formación de gotas se produciría según la trayectoria de la par-

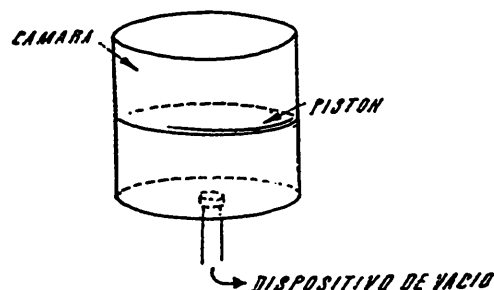


Fig. 3.^a -- Cámara de expansión.

tícula atómica causante de la expresada formación de iones.

Para completar la operación bastaba con fotografiar el fenómeno con la precisión indispensable para que la radiación a observar y la instantánea condensación del vapor de agua en gotas coincidiesen en la fotografía.

Perfeccionados los dispositivos necesarios, en 1912 construyó Wilson el prototipo de su cámara de niebla, tan apreciada y necesaria desde entonces para estudiar las radiaciones y sus múltiples consecuencias.

Las radiaciones Alfa y Beta, de que hemos tratado hasta ahora, están formadas por partículas. Las radiaciones Gamma, por fotones o corpúsculos de energía. Unas y otras llevan asociadas a sus granos de materia o de energía, ondas o trenes de ondas que los conducen a lo largo de sus posibles trayectorias.

Al estudiar la luz y su propagación, dos teorías han librado una encarnizada pugna, sin que ninguna de ellas triunfase definitivamente de la otra. La teoría corpuscular, según la cual la luz, constituida por pequeños granos, se propaga en línea recta, y la teoría ondulatoria.

Los antiguos, desde Lucrecio (*de natura rerum*), pasando por Fernet, Snell y Descartes, sostenían la primera de las hipótesis. Más modernamente, el físico holandés Huygens sentó la teoría de las ondas, pudiendo con ésta explicar los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.

Sin embargo, la hipótesis corpuscular volvió a tomar nuevo auge, hasta que el gran físico francés Agustín Fresnel, en 1820, llegó a probar que sólo la concepción ondulatoria permitía interpretar correctamente los fenómenos de interferencias y de difracción. Y que ella también, como la hipótesis corpuscu-

lar, sabía explicar el fenómeno de propagación rectilínea de los rayos luminosos.

Todo parecía estar ya en orden y la teoría ondulatoria campar victoriosa, cuando Herz, el año 1887, descubrió el "efecto fotoeléctrico". Observó dicho sabio que una placa irradiada por luz de pequeña longitud de onda emitía electricidad negativa y que esta emisión se verificaba en forma de proyección de electrones, fuera del metal. No parecía en esta experiencia hallarse conforme a las ideas clásicas el que la energía de los electrones expulsados (fotoelectrones) fuese proporcional a la frecuencia de la onda incidente y no a su intensidad. Resultando, que la energía era:

$$T = K(\nu - \nu_0).$$

De donde para que el fenómeno se originase era preciso que la onda rebasara una frecuencia ν_0 , llamada "umbral", no dependiendo de la intensidad de la onda luminosa más que el número de fotoelectrones expulsados por unidad de tiempo.

Comenzando la emisión fotoeléctrica en el instante en que la célula es iluminada, puede descartarse toda sospecha de acumulación progresiva de energía tomada paulatinamente de la onda luminosa, en la que esa energía estuviera uniformemente repartida. De aquí que la experiencia nos conduzca a la idea de los cuantos, ya conocida, y a la hipótesis de una concentración de grados de la energía radiante.

Ya Einstein, en 1905, para interpretar las leyes del efecto fotoeléctrico, propuso volver, de acuerdo con la concepción de los cuantos, a la antigua y arrumbada teoría corpuscular de la luz. En una onda monocromática de frecuencia ν , la energía habría que suponerla apelotonada bajo forma de corpúsculos de energía $h\nu$, siendo h la constante de Plank.

Siendo W_0 el trabajo necesario para arrancar del metal un electrón, para que un corpúsculo de luz de energía $h\nu$ incidente sobre la célula, pueda extraer uno de los electrones, el cuanto de energía necesario debe ser, por lo menos, igual a W_0 .

De aquí la fórmula $T = h\nu - W_0 = h(\nu - \nu_0)$, con un umbral de frecuencia $\nu_0 = \frac{W_0}{h}$.

Las experiencias de Millikan comprobaron esta teoría. También los fenómenos descubiertos por Venkata Raman y por Compton han sido nuevas verificaciones a la teoría de los fotones cuantificados siguiendo ondulaciones de frecuencia determinada, conforme a las previsiones de Einstein.

Se refieren tales fenómenos al choque de fotones de energía radiante con electrones más o menos libres en la materia, adscritos a los átomos de la misma según frecuencias y órbitas cuantificadas (átomo de Bohr) (1). Y sabemos que un electrón, al pasar

de un estado de energía E_1 a otro $E_2 < E_1$ acompaña su transición con el lanzamiento de un fotón de frecuencia $\nu = \frac{E_1 - E_2}{h}$.

El efecto Raman se refiere a las frecuencias de la luz difundida, que puede ser la forma $\nu - \nu_k$, siendo ν la frecuencia de la radiación incidente y ν_k la de las partículas del cuerpo difusor.

El observado por Compton se relaciona con los cambios de cantidad, de movimiento y energía, ocasionados en el choque. Cambios que pueden ser importantes dado el gran valor que llega a alcanzar $h\nu$ en los rayos incidentes, bien sean X o gamma. También Compton obtuvo una relación entre los ángulos de las trayectorias del electrón y del fotón después de acaecido el choque (fig. 4^a):

$$1 - \cos \theta = \frac{2}{1 + \tan^2 \frac{\theta}{2} (1 + \alpha)^2},$$

en la que:

$$\alpha = \frac{h\nu_0}{mc^2},$$

siendo m la masa del electrón y c la velocidad de la luz.

Sin embargo de comprobar tanto el efecto fotoeléctrico como los de Raman y Compton, la idea de los fotones, las intuiciones corpusculares de Einstein, aun dotando a los corpúsculos de trayectos ondulatorios de frecuencia determinada, no bastaron a satisfacer el problema.

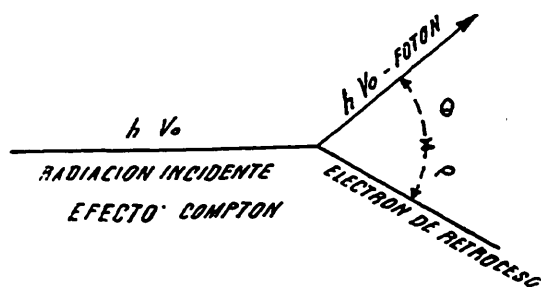


Figura 4^a

Al no ser los granos tan grandes como los trenes de ondas (cosa absurda) o en número tan crecido que suprimiese las discontinuidades entre grano y grano, era imposible justificar los fenómenos de interferencia y difracción que evidentemente se producen incluso en ondas luminosas de intensidad débil, es decir, de escaso número de fotones.

A las modernas concepciones de la Mecánica Ondulatoria corresponde el mérito de la solución lograda. Conforme a ellas, se puede representar la propagación de la onda como efectuándose a lo largo de ciertas líneas llamadas rayos, según los cuales tam-

(1) Artículo anterior sobre la bomba H.

hién se desplaza la energía transportada por la onda en corpúsculos de localización y cantidad de movimiento no conjuntamente definibles.

La correspondencia entre ondas y corpúsculos sería de naturaleza estadística o probabilística midiendo el cuadrado de la amplitud de onda en cada punto el número de corpúsculos por unidad de volumen (si se tuviese una infinidad de ellos asociados a la misma onda) o la "probabilidad de presencia" del corpúsculo en un punto si hubiere uno sólo asociado a la onda.

No permite la extensión ni el carácter de estas líneas adentrarse en los recovecos de la Mecánica Ondulatoria, donde las fórmulas fundamentales son:

$$E = h \nu; \quad P = \frac{h \nu}{c}; \quad \lambda = \frac{h}{P}$$

en las que E y P representan las magnitudes dinámicas de energía y cantidad de movimiento, y ν , λ , las ondulaciones de frecuencia y longitud de onda.

Como remate a esta esquemática reseña sobre propagación de radiaciones, haremos una ligera alusión a las llamadas "incertidumbres de Heisenberg".

Según estas incertidumbres, no cabe atribuir de modo simultáneo a un corpúsculo, estados dinámicos de posición, energía y cantidad de movimiento. Estas características para su determinación entran en un conjunto de posibilidades cuya probabilidad puede variar según las circunstancias, y en todo caso de acuerdo con las leyes de la Estadística.

La fórmula $\Delta x \Delta p > h$ nos da la relación de incertidumbres de Heisenberg para el caso de una onda propagándose a lo largo de un eje. En ella, Δx designa la longitud del tren de ondas según ese eje de propagación; p , la cantidad de movimiento, y h , el conocido cuanto de acción.

Se llega a resultados sorprendentes en la nueva Física cuántica. Por ejemplo, supuesta obtenida la energía del corpúsculo $h\nu$, su cantidad de movimiento p y consiguiente longitud de onda $\lambda = \frac{h}{p}$,

resultará que la probabilidad de encontrar un corpúsculo en un punto está medida por el cuadrado de la amplitud de esa onda. Pues bien, al tener esa amplitud un valor definido y constante (onda monocromática plana) el corpúsculo tiene las mismas probabilidades de hallarse en cualquier punto del espacio.

A la inversa ocurriría si se localizase la partícula o fotón. Su tren de ondas se iría reduciendo hasta el tamaño de un punto. Tren que sólo puede representarse por la superposición de un número infinito de ondas de todas las longitudes, donde todos los valores de la cantidad de movimiento son igualmente probables.

De aquí, la conclusión inesperada y fatal que anuncia la imposibilidad inexorable de conocer la posición de un corpúsculo en cuanto se determinen su energía y cantidad de movimiento. Y también lo contrario.

Estas y otras asombrosas deducciones se afirman

y comprueban en la Mecánica Ondulatoria, cuyos principios se basan en la asociación del corpúsculo y de la onda, dos elementos que, según Niels Bohr, constituyen aspectos complementarios de la realidad.

Es decir, que ambos aspectos sólo pueden apreciarse en su conjunto y de modo un tanto vago, esfumándose gradualmente uno de ellos a medida que el otro se observa y precisa más cuidadosa y puntualmente.

Los rayos gamma, como los luminosos, los X y las llamadas ondas hertzianas, son radiaciones energéticas en las que, en vez de partículas materiales, los corpúsculos están constituidos por fotones o paquetes de energía. La diferencia entre ellos estriba en su diferente longitud de onda, que oscila entre el centenar de kilómetros para las ondas hertzianas largas, a 0,0001 micrones para los rayos gamma.

Los rayos X tienen una longitud de onda variable, entre los 0,01 micrones y los 0,40, que corresponden a las radiaciones ultravioletas en el límite de la luz visible. Esta se halla comprendida entre los 0,40 y los 0,80 micrones en la zona de los rayos infrarrojos.

Al propagarse todas estas radiaciones con la misma velocidad (la de la luz), poseerán una mayor energía las de menor longitud de onda y mayor frecuencia, según la relación $E = h \nu$.

Son, pues, los rayos gamma, al par de más potentes, los de mayor capacidad de penetración, atravesando espesores de hierro hasta de 30 cm.

En esta denominación de rayos gamma podemos incluir a los famosos rayos cósmicos, de origen desconocido, que proviniendo de los espacios siderales, inciden circunstancialmente sobre nuestro sufrido planeta. Son los de mayor frecuencia y poder energético que hasta el presente se conocen.

Los rayos X fueron descubiertos el año 1895 por el físico alemán Roëntgen, al estudiar la luz fluorescente emitida por cristales que recibían el impacto de los rayos catódicos en una lámpara o tubo, como el ya descrito anteriormente.

Había rodeado el tubo, para evitar la interposición de otras luces exteriores, con una cubierta de cartón. Para sus experiencias utilizaba una pantalla revestida de cierto compuesto químico llamado platino-cianuro de bario, que se hacía luminosa bajo la acción de los rayos catódicos. En un momento en que el tubo estaba recubierto todo él por el cartón y la pantalla se encontraba separada a un lado, observó Roëntgen que al funcionar el tubo, la pantalla se iluminaba y también que al interponer la mano entre la pantalla y el tubo emisor, se proyectaba sobre aquélla el contorno de los huesos de su mano.

Este transcendental descubrimiento valió a Roëntgen, en 1901, el premio Nóbel de Física.

Campos magnéticos producen una desviación en los trayectos de las radiaciones que contienen partículas electrizadas, como las alfas y las betas, igual

que los campos eléctricos desvían los rayos catódicos, sean éstos negativos o positivos, como los rayos canales (fig. 5.^a).

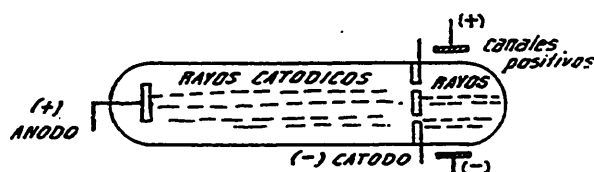


Fig. 5.^a — Rayos canales desviados por un campo electro-lítico (?).

Los rayos X, como los luminosos sometidos a la acción de esos campos, no experimentan desviación alguna, lo que indica que no están formados por partículas con cargas eléctricas positivas o negativas.

Al igual que los rayos luminosos, los X alteran las sales de plata de una película fotográfica y además ionizan el aire, arrancando electrones a los átomos con que cruzan, como puede comprobarse en la cámara de niebla.

Y para que la identidad con las radiaciones luminosas sea completa, ha podido verificarse la difracción de los rayos X, no a través de redcillas, como se practica con las ondas de la luz (pues sería imposible conseguir las de hilo y trama suficientemente finas), sino con cristales cuyo interior está constituido por una verdadera red microscópica inimitable, formada por las moléculas especiales en forma regular y equidistantes.

El origen de los rayos X se aclaró pronto, admitiéndose que el foco de emisión era el cuerpo que recibía en el tubo catódico el impacto de los electrones. Bastaba, pues, para conseguir un tubo de rayos X, con introducir en otro corriente de rayos catódicos un objeto metálico que detuviese el chorro emitido por el cátodo.

Lo demás es sabido. La gran energía de los electrones del haz altera, por el choque o viento electrónico originado, la posición de los electrones planetarios de los átomos que en el tubo sirven de blanco (aire o gas especial enrarecido) y esos electrones, al regresar a sus primitivas localidades (órbitas discretas de que hablamos), emiten al espacio ondas de gran energía con pequeña longitud de onda.

Si además, entre los electrones del tubo se establece un potencial creciente, se acelerará el haz de electrones y las ondas, o rayos X, emanados de los choques serán más y más potentes y de menor longitud de onda.

El espectroscopio, aparato bien conocido en la Física clásica, permite al observador admirar las franjas colocadas en que se descompone la blanca luz solar, situándose en el espectro los colores simples según sus longitudes de onda (de 0.40 a 0.80 micrones).

También se perciben en el espectroscopio, como

es bien sabido, las rayas emitidas por las diferentes substancias, bien sean éstas luminosas o iluminadas, habiéndose por este medio catalogado todos los cuerpos simples e incluso vaticinado su existencia antes de ser descubiertos, como sucedió con el helio.

Pero volvamos al átomo y consideremos, para empezar, el del hidrógeno, el más simple de todos. El núcleo, un protón inmóvil, y su electrón, girando en torno a unos 53 kilómetros atómicos de distancia. Este átomo, en que su electrón discurre por la órbita expresada, es el átomo normal, llamándose excitados aquellos átomos en que el electrón gira en órbitas o núcleos de energía superiores, núcleos que, según vimos en nuestro anterior artículo, se suceden según una serie discreta.

El electrón puede, por sí mismo, pasar de un nivel superior a otro inferior, no siéndole posible lo contrario, a menos de intervenir una aportación exterior de energía. He aquí, pues, el origen de las radiaciones aplicado al ejemplo de un átomo de hidrógeno. Si éste se encuentra en estado normal no emite luz. Su electrón girará monótonamente a los 53 kilómetros atómicos del núcleo correspondiente al nivel 1, con un estado de energía estacionario.

Pero si se excita al átomo, gracias a una radiación cualquiera, calor, etc., haciendo subir su electrón del nivel 1 al 2, tendrá éste terminada la excitación, tendencia a recaer por sí mismo del nivel 2 al nivel 1. Y así, el fenómeno se puede generalizar. Excitando más el átomo, el electrón llegará a subir de la órbita 1 a la 3, 4 ó 5; pero después, desde esos niveles superiores, recaerá a las trayectorias inferiores, acompañándose esas caídas de emisiones de energía, que no serán otra cosa que las "rayas del átomo" representadas en el espectro. Una de ellas, particularmente visible en la zona anaranjada, se sitúa alrededor de los 656.300 kilómetros atómicos de longitud de ondas. Otra, en la zona azul en la onda de 486.150 Km. atómicos, y una tercera, en la violeta, de 434.060 Km.

Esas rayas del espectro de hidrógeno intrigan vivamente a principios de siglo. Hoy la cosa está clara, desde que podemos calcular la energía de los fotones correspondientes a esas longitudes de onda:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

c = velocidad de luz.

λ = longitud de onda.

Se ha podido observar que esas energías corresponden exactamente a los saltos de los electrones cayendo del nivel 3 al 2 con la primera de las rayas que hemos mencionado; del 4 al 2 con la segunda, y del 5 al 2, con la tercera.

La teoría está, pues, de acuerdo con la observación, al enseñarnos la existencia de una serie de rayas correspondientes a todos los saltos posibles del

electrón de un átomo de hidrógeno que recae de una órbita superior a otra inferior, después de haber sido excitado. Son esas rayas una consecuencia directa de la discontinuidad cuántica de que hablamos al tratar de la serie discreta de órbitas posibles. Ahora bien, ciertas de esas rayas solamente se encuentran en la zona visible (longitudes de onda de 0.40 a 0.80 micrones). Las otras se hallan bien en la zona infrarroja o en la ultravioleta.

Todas esas rayas han sido perfectamente estudiadas y precisadas, notándose forman diversas series, como las de Lyman, Balmer, Paschen y Blackett, según el electrón recaiga desde los niveles superiores a los 1, 2, 3 ó 4.

De modo general se comprende, pues, claramente, el principio de la emisión radiante energética. Un electrón, al caer desde el nivel n al nivel p , emite un fotón, del cual es fácil calcular la energía y, por consiguiente, la longitud de onda de la radiación. Basta con cifrar la energía correspondiente a los dos niveles y ver su diferencia. En seguida se deducirá cuál es el rayo emitido por el átomo y sus características de frecuencia, longitud de onda, etc.

Para comprender todas las rayas posibles, podrá formarse una lista de las energías pertenecientes a la sucesión de niveles posibles y no habrá más que calcular todas las diferencias entre esas diversas energías, tomadas dos a dos.

Lo que hemos dicho de un átomo, el más simple, el de hidrógeno, se adivina podría extenderse a todos sin más que considerar las órbitas de los diversos electrones y recordar que la caída de uno de ellos desde una órbita a otra de nivel inferior ha de provocar indefectiblemente la emisión de una radiación o fotón.

El análisis y evaluación de estas emisiones se efectuará de modo análogo al hidrógeno, resultando, si es caso, la operación más compleja debido a la mayor cantidad de electrones y mayores distancias de sus trayectorias entre sí y al núcleo del átomo considerado.

La determinación y recuento de las partículas que movilizan las radiaciones puede llevarse a cabo con enorme precisión actualmente, gracias al aparato contador de Geiger. En él se llega a percibir el paso por su interior de una sola partícula; tal es el grado de exactitud y perfeccionamiento que ha alcanzado (figura 6.^a).

Consiste, en esencia, en una cámara de ionización en la que, mediante la diferencia de potencial entre

dos placas, es posible atraer sobre ellas los iones engendrados por el paso de las radiaciones.

Este sencillo principio ganó en eficiencia y precisión al dotarse a las placas del potencial más elevado posible, sin llegar a la descarga, y perfeccionar también el modo de contar los iones atraídos a las placas. Con lo primero se aumentaba el número de electrones atraídos a las placas al descargarse el aparato con la ionización.

Se ha llegado con los modernos contadores a amplificar el mecanismo registrador, hasta el punto que, en el Laboratorio Casendish, circuitos de radio perfeccionados conectados a un alta voz, han permitido oír el paso por el aparato Geiger de una sola partícula.

El estudio de los rayos X llevó a los investigadores franceses al descubrimiento de fenómenos que dieron un nuevo y vigoroso empuje al conocimiento íntimo de los átomos.

En 1896, Henri Becquerel descubrió la radiactividad al estudiar las radiaciones fosforescentes durante todo un día a la acción del sol, colocarlo luego sobre una placa fotográfica sensible envuelta en papel negro y observar las impresiones al revelarla que hubieron producido en dicha placa las radiaciones al atravesar el papel.

Luego de examinar diversos cuerpos fosforescentes, halló que una sal de uranio emitía radiaciones penetrantes, atribuyéndolas a la fosforescencia del cuerpo, ocasionada por la energía almacenada durante su exposición al sol.

Pero ocurrió en ocasión que el sol estuvo durante el día cubierto de nubes, que Becquerel desistió de experimentar, contentándose al fin de la jornada con examinar la placa por si alguna imperceptible impresión se hubiese producido en ella.

Fue su sorpresa extraordinaria al advertir que la placa estaba muy fuertemente impresionada y que, por consiguiente, nada tenía que ver en el caso la fosforescencia.

Se trataba de unas radiaciones características del uranio que ionizaban, según se probó, el aire por ellas surcado. A esa sorprendente propiedad, manifestada hasta entonces solamente por el uranio, se denominó "radio actividad".

En ese instante crítico hicieron su entrada en escena los esposos Pierre y Marie Curie. Pronto averiguaron éstos que la radiactividad no era propiedad exclusiva del uranio. El torio también era radiactivo e ionizaba el aire con mayor intensidad que el uranio. Dedujeron también los esposos Curie que la radiactividad se producía espontáneamente, sin que los agentes físicos conocidos pudieran alterarla, acelerándola o retardándola. Era una propiedad atómica, ya que el uranio producía los mismos fenómenos radiactivos, cualquiera que fuese la forma en que estuviese combinado con otros elementos.

Después de varios años de incesantes investiga-

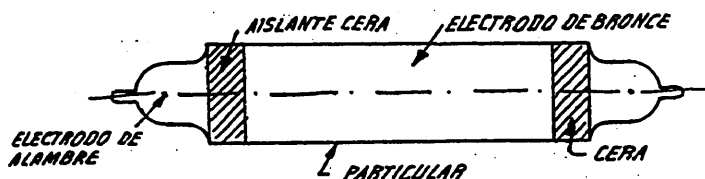


Fig. 6.^a — Contador de Geiger moderno.

ciones y de obtener de la peschblendita (óxido de uranio) un elemento radiactivo, el polonio, cuatrocientas veces más radiactivo que el uranio, los esposos Curie coronaron su ingente labor descubriendo un elemento al que llamaron radio, millones de veces más activo que el uranio.

Es el radio el cuerpo radiactivo por excelencia, si bien de obtención tan laboriosa que es necesario tratar 2.000 Kg. de uranio para conseguir algunos decigramos de cloruro de radio.

Ocupa el radio en la tabla de Mendeleieff el número 88, constando su núcleo de 226 partículas, de las cuales 88 son protones y 138 neutrones. Su masa atómica es, pues, 226 veces mayor que la del hidrógeno, estando la carga positiva del núcleo neutralizada por 88 electrones que, a modo de nube o enjambre, giran en torno al núcleo, repartidas en siete niveles privilegiados.

Las radiaciones emitidas por el radio tienen un considerable poder de penetración, superior, desde luego, al de los rayos X. Es preciso para detenerlas una placa de hierro de espesor superior a 30 centímetros, siendo el plomo el elemento protector más eficaz contra esas radiaciones, que es sabido producen graves perturbaciones en los tejidos y sangre del cuerpo humano, amén de intensas quemaduras como las que el propio Becquerel hubo de padecer en sí mismo.

El análisis de las mencionadas radiaciones se puede efectuar introduciendo en una cápsula de plomo, provista de una pequeña abertura, una sal de radio. El haz de radiaciones de ella provenientes produce luminosidad en una pantalla fluorescente colocada frente a la abertura a diversas distancias, y también impresión en una película fotográfica móvil.

Viendo la posición de ésta y señalando el sitio en que cada una de ellas se impresiona, puede seguirse la trayectoria de las radiaciones. Esta, normalmente, será idéntica a la que seguirían los rayos de luz que partiesen de un pequeño foco situado en el fondo de la cápsula.

Ahora bien, si esas radiaciones se atraviesan con un campo magnético intenso, la trayectoria antes observada se descompone en tres. Su representación la hacemos en la figura 7.^a.

En ella vemos que las emisiones radiactivas se

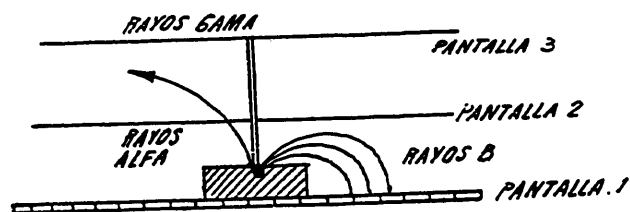


Fig. 7.^a — Desviación de radiaciones de radio por campo magnético.

dividen en tres tipos que se denominan Alfa, Beta y Gamma, según definición que les propinó el sabio inglés Rutherford.

Las trayectorias de los rayos pueden verse usando la cámara de niebla que, como dijimos, sirve para observar el recorrido de cualquier agente ionizador.

No es objeto de este artículo hablar de las transformaciones; nos detenemos en su umbral. Sin embargo, en los cuerpos radiactivos se provocan espontáneamente sin necesidad de bombardeos. Así, por la expulsión de partículas Alfa o de helio, el uranio, de número atómico 92, se transforma espontáneamente en el siguiente elemento, el torio, de número 91, después en el de 90 (actinio) y luego en radio, en radón polonio, para acabar finalmente en plomo, de número atómico 82.

De hecho, en los minerales de uranio se encuentra siempre junto al mismo una cantidad mayor o menor de plomo que ha venido formándose en el transcurso de millones de años como subproducto de su radiactividad.

Todos los átomos de un cuerpo radiactivo están abocados inexorablemente a desintegrarse por transformación en otros elementos de menor número atómico, debido a la emisión de radiaciones Alfa, Beta y Gamma. Es una especie de degradación fatal, en la cual los átomos condenados van perdiendo protones y neutrones, bajando como una pelota una escalera, de un peldaño a otro, con paradas en los descansillos, que pueden durar segundos o millones de años, hasta acabar en el portal convertidos en plomo.

Nada ni nadie es capaz de detener esa "hara-kiri" de los elementos radiactivos, ni alterar la duración de su llamada "vida media", que es la del tiempo que necesitan para la transformación de su mitad en plomo.

Así, en unos, esa vida dura porciones de segundo; en otros, millones de años. Gracias a su conocimiento se sabe hoy la edad de la tierra con suficiente exactitud, sin recurrir a los rudimentarios y erróneos métodos basados en las formaciones geológicas o en la salinidad de los mares.

Una simple proporcionalidad entre el peso del uranio, su vida media y la ganga de plomo que le acompaña, ha fijado para la vida de la tierra una edad del orden de los 3.500 millones de años. ¡Ya está bien!...

Los elementos más ligeros de la tabla, hasta el 83 (bismuto), son perfectamente estables. Del 84 al 92 constituyen la familia de los cuerpos radiactivos, siendo desde este número hasta los últimos descubiertos (los trasurámicos) cuerpos excesivamente radiactivos e inestables para poder subsistir naturalmente.

La vida media del radio es de 1.590 años; la del torio, de 16.000 millones, y para los metales ordinarios resulta fabulosa, rebasando fácilmente la cifra de diez billones de años.

En cambio, la vida media de los cuerpos pesados y trasurámicos es cada vez más efímera. La del polonio es de 140 días; la del mesatorio II, de seis horas, y la del radio C', de una millonésima de segundo solamente.

En una gota de agua las moléculas, para liberarse unas de otras mediante la ebullición, necesitan alcanzar velocidades medias determinadas que por el calor consiguen. De igual modo, los elementos comprendidos en los núcleos atómicos requieren alcanzar energías cinéticas determinadas para escapar de su custodiado recinto.

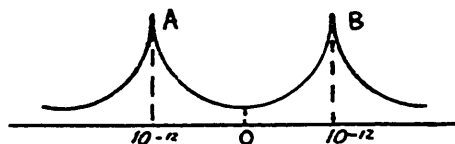


Fig. 8.ª — Pozo de potencial.

Es conocida la ley empírica de Geiger-Nuttall, según la cual la energía de las partículas emitidas por un cuerpo radiactivo es tanto mayor cuanto menor es la vida media de dicho cuerpo. Y también que la emisión de partículas se produce según las leyes del azar, siendo imposible predecir en qué momento un núcleo radiactivo se desintegrará emitiendo partículas Alfa.

La teoría del "pozo de potencial", muy sugestiva por cierto, establece, de acuerdo con la experiencia que en torno de los núcleos atómicos y a distancia

de 10^{-12} cm., existe un máximo de potencial eléctrico que va decreciendo hacia el interior merced a las fuerzas intranucleares (fig. 8.ª).

Las partes exteriores del pozo, de forma hipérbolica, corresponden al potencial eléctrico.

Se ve que una partícula Alfa podrá salir del núcleo si su energía es suficiente para franquear la cúspide de la curva de potencial.

Es hora de terminar y no podemos, ni resultaría adecuado, exponer la teoría de la "evasión" de las partículas Alfa de un núcleo radiactivo por la aplicación de los principios de la Mecánica Ondulatoria.

Bástenos apuntar que, según esas ideas, si la barrera o paredes del pozo no son muy espesas, la onda asociada a la partícula podrá, total o parcialmente, difundirse muy lentamente a través de ella, como un líquido se difundiría a través de las paredes no muy impermeables de un vaso.

Ahora bien, la onda de intensidad débil significa, para una partícula Alfa, una escasa probabilidad por unidad de tiempo, de franquear la barrera de potencial. Habrá una posibilidad para que la partícula que no pueda, trepando por la cuesta, alcanzar las cúspides del pozo, sortee no obstante la barrera.

Esta posibilidad ha recibido el expresivo nombre de "efecto túnel", siendo calculable solamente la posibilidad del fenómeno, ya que en la Mecánica Ondulatoria el determinismo ha cedido los trastos al azar puro.

Y con esto, temiendo haber abusado de la bondad del lector y traspasado su barrera de paciencia, terminamos estas líneas.

