



Por el Coronel RICARDO MUNAIZ DE BREA

II

Los secretos del átomo.

Hemos pasado revista, en el trabajo anterior, a las principales teorías atómicas de la época que pudiéramos considerar remota. Vamos a examinar brevemente las más recientes, hasta situarnos en la época actual.

Desde 1925 se admite que el electrón, además de su carga eléctrica, posee también un momento magnético y un momento de rotación sobre su eje, propio e independiente de los de traslación, al que se ha llamado "spin" o barrena.

Sobre estas bases elaboró Dirac una nueva hipótesis atómica, llegando a un sistema de ecuaciones con cuatro componentes y previendo la existencia del electrón positivo o positrón. Nueva mecánica "relativista" la de Dirac, que explica muchos de los fenómenos oscuros antes de su aparición. No obstante, la imposibilidad de aplicar a la luz ciertos puntos de la mecánica ondulatoria no relativista ha obligado a seguir estudiando, y recientemente De Broglie ha supuesto que el fotón (átomo de luz) está formado por dos electrones, negativo y positivo (Dirac), que se pueden anular mutuamente.

Según el doctor T. F. Wall, al desprenderse

un fotón por salto electrónico de órbita la energía desarrollada es de $h \cdot f$ ergios, siendo la f la frecuencia de la vibración del fotón y h la constante de Planck, que equivale a $6,55 \times 10^{-27}$ ergios/segundo. En cuanto a la frecuencia, es muy variable (como se sabe); pero en la luz ultravioleta, lindante con las ondas electromagnéticas, es del orden de 758×10^{12} hertz. La masa del fotón ultravioleta sería de $55,1 \times 10^{-34}$ gramos. Los rayos gamma serían ondas electromagnéticas de la misma naturaleza que los rayos X, pero de mayor frecuencia. ("Engineering", 17 agosto 1945.)

Según Van der Broeck (1913), el núcleo del átomo sería un "paquete" de protones y electrones en número tal, que la carga eléctrica iguala al número ordinal del elemento. El "empaquetamiento" va acompañado de una pequeña pérdida de masa (fracción de empaquetamiento).

Por último, según el profesor Palacios (1946), no se puede afirmar nada positivo sobre las órbitas electrónicas del átomo; lo único indudable, es que existe un núcleo central, rodeado por una atmósfera eléctrica. Y rehusa concretar más los supuestos que sin discusión pueden

aceptarse. ¿Dónde está la verdad? No nos es posible saberlo, ni saber si algún día será nuestra. Investigadores incansables siguen y seguirán estudiando este mundo del infinitamente pequeño, sin arredrarse ante la dificultad del empeño.

Y no puede decirse que se camina a ciegas. Los corpúsculos del orden atómico, los rayos alfa, las emanaciones radioactivas, las trayectorias electrónicas, han sido gobernados, vistos, fotografiados y medidos por los hombres de ciencia. La cámara de Wilson, el espectrógrafo de masas de Aston, el contador de Geiger-Müller, y otros aparatos (alguno de genial sencillez), han permitido estos increíbles resultados. Con ellos se han calculado y medido órbitas electrónicas, masas, cargas eléctricas, velocidades, alcances y penetraciones de los electrones, fotones, rayos cósmicos, rayos α , β , X , etc. Se ha contado el número de electrones desprendidos, en un segundo, de ciertos elementos ensayados. Aparatos que utilizan voltajes de 6 y 7 cifras (ciclotrón, betatrón) proporcionan proyectiles nucleares suficientemente rápidos y energéticos para bombardear, abrir brecha y desintegrar otros átomos...

Por su valiosa contribución a la física nuclear, vamos a decir dos palabras acerca de la

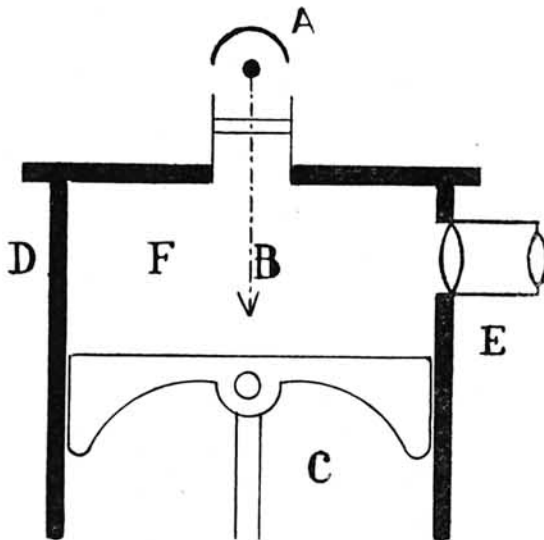


FIGURA 6.

Esquema de la cámara de Wilson.—A. Fuente de iones. B. Rayo emitido. C. Embolo. D. Pared de la cámara. E. Ocular u objetivo fotográfico. F. Atmósfera de gas enrarecido y saturado de humedad.—La trayectoria del corpúsculo radiante se materializa en gotas de vapor condensado, que son fotografiables.

cámara de Wilson, verdadera linterna mágica del mundo invisible.

Se trata (fig. 6) de un recipiente cilíndrico, con una abertura A, por donde, a través de un obturador permeable a ellos, se inyecta un haz o rayo de los corpúsculos atómicos en estudio; otra abertura E permite observarlos a través de un sistema óptico, o de un objetivo fotográfico. El fondo de la cámara es un verdadero émbolo (C), cuyo desplazamiento permite, a voluntad, enrarecer la atmósfera interior.

Llena la cámara de un gas saturado de humedad, se pone en acción la fuente o proyector de rayos. Estos describen trayectorias que no son visibles, pero en aquel momento se desplaza el émbolo hacia fuera; el enrarecimiento del gas lo deja sobresaturado de vapor, y el exceso de éste se deposita sobre los electrones, neutrones, etcétera, que penetran en su seno. Entonces los corpúsculos, envueltos en gotitas de agua, llegan a ser perceptibles, y se les fotografía fácilmente. Estas fotografías han permitido determinar diámetros, velocidades, alcances, formas de trayectoria, etc.

Si se proyectan diversos corpúsculos se pueden producir colisiones, con fraccionamiento, explosiones y desvíos de trayectorias; todo ello fotografiable desde fuera.

Del espectrógrafo de masas y del ciclotrón nos ocuparemos brevemente en el lugar oportuno.

De recientes mediciones del átomo se cree poder deducir que el volumen del núcleo oscila entre $3 \cdot 10^{-13}$ cms. cúbicos para el Helio, y $9 \cdot 10^{-13}$ para el Uranio. El radio del átomo completo, con su atmósfera electrónica, sería de 10^{-8} cms., unas 10.000 veces mayor que el del núcleo sólo. Se atribuye asimismo al deuterón una masa de $3,3 \times 10^{-24}$ gramos, y a la partícula Alfa una masa doble: $6,6 \times 10^{-24}$ gramos.

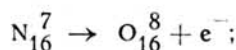
Todo este progreso dista tanto de ser inútil, cuanto que, por lo menos, ha permitido centrar la discusión atómica en torno a supuestos que, mientras no se demuestre su falsedad, deben permitirnos avanzar algo más en el estudio de la estructura atómica, ya que lo hemos de precisar para comprender el funcionamiento de la bomba. Para ello, bueno será seguir a Heisenberg, que ha trazado las líneas esenciales de estos modernos supuestos.

El átomo constaría de un núcleo central y uno o varios satélites. El núcleo estaría forma-

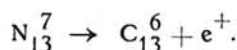
do por neutrones y protones, estados cuánticos (los dos) de una misma partícula elemental. El neutrón puede emitir un electrón, transformándose él en protón (transformación beta) y subiendo en una unidad el número atómico (total de electrones del átomo). También puede ocurrir lo contrario: el protón emite un positrón y se transforma en neutrón; entonces el número atómico baja en una unidad (transformación alfa, reducida).

Los electrones existirían en el átomo, afectos a órbitas o "pisos" determinados; cada electrón, en ciertas circunstancias, puede saltar de un piso al siguiente, alejándose o acercándose del núcleo. Cada salto de éstos supone variación de energía. Hay liberación de ella (emisión de un fotón o de una radiación) al descender de piso; absorción de energía en el salto contrario.

Ejemplos: El nitrógeno emite un electrón y se transmuta en oxígeno:



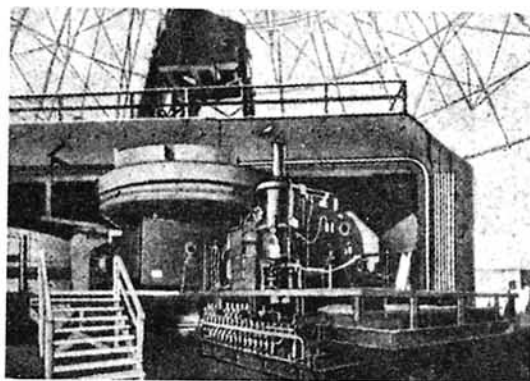
el isótopo del nitrógeno emite un positrón y se transmuta en carbono:



Los componentes del núcleo atómico están ligados entre sí, y con sus satélites, por fuerzas de atracción electrodinámica, que supone considerables energías; ello exige también el empleo de gran energía para separarlos o desintegrarlos, y luego la liberación de grandes cantidades de energía al producirse la desintegración. Esta ingente energía nuclear, así liberada, es la base del explosivo atómico. Véase, en efecto, la elocuencia de las cifras:

Por cada unidad másica perdida se libera una energía de $0,92 \times 10^8$ MeV.; por cada gramo de uranio desintegrado la energía liberada asciende a 20.000 kw/h. Como explosivo, un kilogramo de uranio equivale a 18.000 toneladas de T. N. T. (trilita).

La desintegración de un gramo de materia libera una energía de 9×10^{13} kgmtr. (90 billones de kilográmetros), más de un billón de caballos de vapor, ó 24,5 millones de kilowattios-hora. Creemos ocioso todo comentario. Si el hombre logra captar y gobernar a su gusto esta energía, podrá decir que ha entrado en la Era Atómica, cuyas posibilidades, tanto bélicas como pacíficas, encierran perspectivas insospechables.



El ciclotrón gigante, de cinco metros de diámetro, de Berkeley (California).

Radioactividad o desintegración.

En la escala de los cuerpos simples existen algunos que poseen una gran propensión a desintegrarse espontáneamente, es decir, a emitir partículas o radiaciones de su propia sustancia, pero con propiedades generalmente diferentes, o bien, de otra sustancia auténticamente distinta. Esta propiedad, característica de los núcleos atómicos más pesados (con carga Z mayor de 65), se llama radioactividad natural. Su estudio, a fines del anterior siglo, por los esposos Curie (y continuado hoy por sus hijos, los Joliot-Curie), condujo, entre otras cosas, al descubrimiento del radio (1896).

La causa íntima de la radioactividad natural se supone sea la formación de un neutrino por pérdida de un electrón. Su efecto puede ser la formación y desprendimiento de partículas o rayos α , β , γ , resultando una transmutación atómica. El nuevo cuerpo posee a veces una nueva radioactividad inducida, que puede ser superior a la misma que le dió origen.

El hombre ha conseguido recientemente provocar artificialmente la radioactividad. Rutherford demostró en 1919 la posibilidad de provocar la desintegración del átomo, y Fermi lo comprobó brillantemente en 1934. Sin el conocimiento y el control de esta desintegración, aplicada al uranio, no hubiera sido posible el explosivo atómico.

La radioactividad artificial pone en nuestras manos proyectiles nucleares que ametrallan núcleos atómicos del presunto explosivo, del que provocan, sucesivamente, la ruptura y la verdadera explosión en la forma que más adelante veremos.

La radioactividad artificial puede seguir un proceso de cualquiera de estos tipos:

a) Transmutación de un solo átomo. Queda un núcleo estable, produciéndose radioactividad inducida.

b) Transmutaciones sucesivas de un átomo en otros (reacción en cadena). Quedan también núcleos estables y se produce radioactividad inducida.

Para provocar esta desintegración artificial suele acudirse a uno de estos métodos: forzar el potencial eléctrico del núcleo atómico o anularle mediante neutrones.

Para explicar la radioactividad, los clásicos principios de la "conservación de la materia" y de la "conservación de la energía" han tenido que dejar paso a la revolucionaria afirmación einsteniana, según la cual la materia puede perderse, transformándose en energía, y al contrario. Pero ello con sujeción a una severa ley.

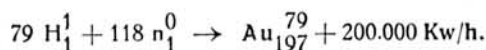
Así, según Einstein, en un cuerpo de masa m hay una energía $E = m \cdot c^2$ (llamando c a la velocidad de la luz). De suerte que cada pérdida de masa se traduce en una liberación de energía, y viceversa: cada consumo de energía, en un aumento de masa, ya que $E/m = c^2$, es decir, constante, la constante de Einstein.

Comenta este principio el profesor Julio Palacios diciendo que "podemos considerar a la masa como una condensación de la energía, a razón de un gramo por cada $9 \cdot 10^{10}$ ergios".

Los cuerpos radioactivos.

Como hemos visto, la teoría y la práctica, de consuno, demuestran que, en general, para realizar la síntesis atómica, lo mismo que su inversa, la desintegración, hay que consumir enormes dosis de energía. (De aquí el mal negocio que supone el descubrimiento de la piedra filosofal; es carísima la fabricación sintética del oro.)

En efecto; una posibilidad hipotética (profesor Palacios) sería reunir en un mismo punto 79 átomos de hidrógeno (abundante y barato) con 118 neutrones, con lo que podríamos obtener un átomo de oro; es decir,



Esto tiene su explicación. Como se ha comprobado que la masa de un compuesto es siempre algo menor que la suma de masas de los componentes, en toda síntesis nuclear hay siem-

pre una pérdida de masa. Concretamente, esta supuesta reacción consumiría $8,5 \cdot 10^{-3}$ gramos de masa por cada molgramo de oro formado. Y el equivalente de esa masa, deducido de la citada fórmula de Einstein, será:

$$E = 9 \cdot 10^{20} \times 8,5 \cdot 10^{-3} = 76,5 \cdot 10^{17} \text{ erg/gramo:}$$

alrededor de 200.000 kilowatts/hora, que valen mucho más dinero que un gramo de oro.

Mas, ¡ay!, esta espléndida piedra filosofal tiene una terrible contrapartida: la obtención de los 118 neutrones, por los medios actualmente a nuestro alcance, requiere más de los 200.000 kilowatts/hora.

Inversamente (según Einstein), todo aumento en la energía interna de un cuerpo lleva consigo un aumento de masa. La relación de ambos aumentos es siempre C^2 (la constante del ilustre físico alemán: $C =$ velocidad de la luz).

La existencia de cuerpos que emiten neutrones espontáneamente, tiene, entre otras muchas razones, ésta para ser interesante. Y, efectivamente, estudiando los cuerpos simples en el cuadro de Mendelief, se observa que los últimos del mismo, es decir, aquellos cuyos pesos atómicos son los mayores, parecen tener a macenado desde su formación un excedente de energía, que es liberada con muy poco consumo inicial, e incluso espontáneamente. Y los cuerpos ligeros: el helio, el hidrógeno, el litio, el berilio, el boro, responden, en cambio, con facilidad a los bombardeos atómicos, dando nuevos proyectiles aprovechables y nuevos cuerpos simples, según más adelante veremos.

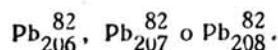
Los cuerpos pesados, llamados radioactivos, se desintegran e irradian energía continuamente, si bien a muy diversas velocidades. Constituyen tres familias principales:

a) La del actinio, Ac_{27}^{89} , con sus sucesivos productos el uranio Y, el protoactinio, radioactinio, actinón, etc.

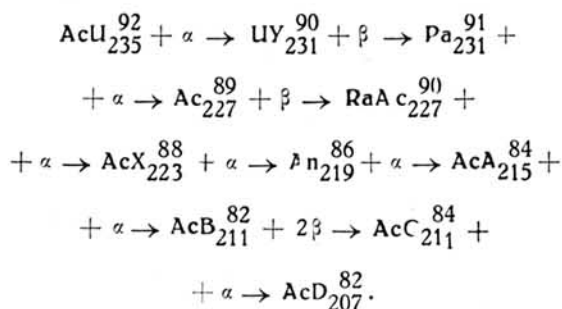
b) La del torio, To_{92}^{90} , con sus descendientes el mesotorio, el radiotorio y el torón.

c) El más pesado de todos: el uranio, U_{238}^{92} que evoluciona en los transuranios, neptunio y plutonio, jonio, radio, radón, etc.

Todos estos cuerpos, al final de sus respectivas y sucesivas desintegraciones, acaban por llegar a ser plomo estable:

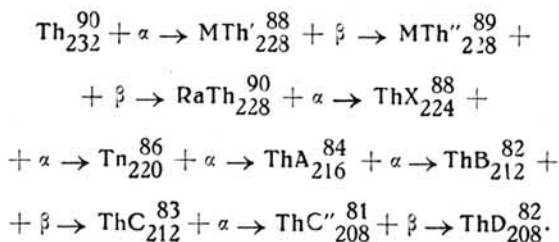


El mecanismo de la desintegración espontánea puede seguirse bien en las siguientes representaciones esquemáticas:



Es decir, que por sucesivas emisiones alfa y beta, el actino-uranio pasa a ser uranio Y, protoactinio, actinio puro, radioactinio, actinio X, actinón, y actinios A, B, C y D, el último de los cuales es ya plomo estable.

Análogamente vemos que el torio evoluciona en el mesotorio, radiotorio, torio X, torón, torios A, B, C' y D, que ya es plomo:



La evolución del radio y su familia, en la que figura el uranio, la insertaremos en forma gráfica por su mayor interés para nosotros al ocuparnos de este cuerpo.

En las precedentes expresiones esquemáticas indicamos cada cuerpo por su símbolo químico, con la masa y número atómicos y la emisión de partículas alfa o beta. Es fácil apreciar así gráficamente el mecanismo de las llamadas transformaciones alfa y beta. En efecto: como la partícula alfa tiene de masa 4 y de carga 2, cada vez que hay emisión alfa el cuerpo pierde, respectivamente, estas mismas cantidades, como se observa, por ejemplo, en la transformación del protoactinio en actinio. Mas como las partículas beta tienen una carga negativa y no tienen masa apreciable, cada emisión beta deja inalterado el peso atómico, pero aumentado en una unidad el número atómico, como se ve, por ejemplo, en la transformación del actinio en radioactinio.

El tiempo en que un cuerpo radioactivo pierde la mitad de su masa se llama media-vida o semi-

período, y puede variar desde una fracción de segundo hasta miles de millones de años.

Por ejemplo: un gramo de radio emite en un año 158 mm. cúbicos de helio o rayos alfa, rayos beta y otras emanaciones. Su emanación principal se llama radón o radión. La notación nuclear del radio es Ra_{226}^{88} ; la del radón es Rn_{222}^{86} ; tiene, pues, dos electrones y cuatro protones menos. Comparemos ahora:

En un segundo un gramo de Ra emite 55.10^{-8} milímetros cúbicos de He (rayos α), en los que hay $3.4.10^{10}$ átomos de helio, con un peso total de $6.8.10^{-8}$ mgrs. A causa de estas emanaciones, una porción de Ra pierde la mitad de su peso en mil quinientos ochenta años; su semi-período es de mil quinientos ochenta años.

El radón emite 200.000 veces más rayos alfa que el radio. Un centímetro cúbico de Rn produce 5.000.000 de calorías gramo. Un kilogramo de radón, hasta transmutarse íntegramente en plomo, produciría 700 millones de kilo-calorías.

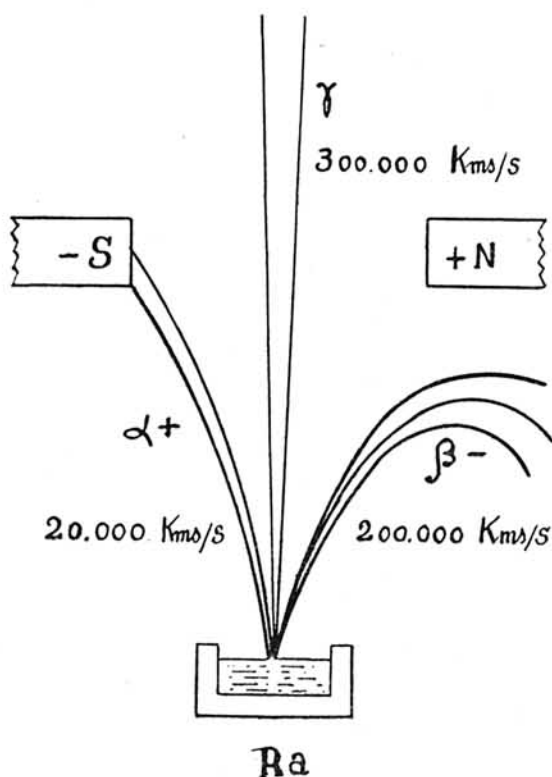


FIGURA 7.

Radioactividad natural del radio en presencia de un electroimán. Los rayos beta son desviados hacia el polo positivo; los alfa, hacia el negativo, y los gamma (neutros) no sufren desviación.

rías, tantas como 100 toneladas de cok. Naturalmente, la vida de este cuerpo es efímera. Una porción de radón se reduce a la mitad en 3,83 días; su semiperíodo es de 3,83 días.

Si disponemos una cápsula con Ra de modo que su emanación sea proyectada entre los polos de un fuerte electroimán, podemos descomponer aquélla en tres haces separables: uno de rayos β (carga negativa), que se dirigen hacia el polo positivo; otro de rayos α (positivos), que se desvían hacia el polo negativo; y uno central de rayos γ (luminosos), que, por ser neutros, no se desvían (fig. 7).

Los rayos alfa del Ra tienen energías hasta de 8 MeV y velocidades de hasta 20.000 kilómetros/segundo. Los beta alcanzan 200.000 kilómetros/segundo, y los fotones gamma, 300.000 (velocidad de la luz = c).

La artillería atómica y sus efectos.

En la desintegración artificial, el hombre emplea como proyectiles todos los corpúsculos nucleares que ha conseguido manejar y acelerar suficientemente a fuerza de aplicarles potenciales de cientos de miles de voltios. Estos proyectiles son iones artificiales de H, D, He., etc.; es decir, rayos alfa o heliones, protones, deutones, neutrones, que incidiendo sobre otros núcleos atómicos, logran fracturarlos, con desprendimiento de nuevas partículas.

El agua pesada (D_2O), formada con hidrógeno pesado o deuterio, en vez del hidrógeno ordinario, es inadecuada para la vida y tiene un punto de congelación más alto que la corriente. Pero es fuente de deuterones, que, acelerados por el ciclotrón u otro medio, son los proyectiles que arrancan neutrones de otros átomos. Bombardeando ciertos cuerpos (como el berilio) con deuterones o heliones muy acelerados, se producen neutrones rápidos, muy importantes para la desintegración del uranio. El ciclotrón produce en igual tiempo 500.000 veces más deuterones que cualquier otro aparato.

Veamos ahora cómo es el cañón:

Como la masa de los proyectiles es tan pequeña y la energía necesaria para romper átomos tan considerable, es preciso obtener esa energía sin aumentar la masa (cosa no factible), y por tanto, el único camino es aumentar la velocidad del proyectil, con lo cual se aumenta el producto $1/2 m \cdot v^2$ (expresión de la energía).

Se opera, pues, con los corpúsculos elegidos como proyectiles (electrones, protones, deuto-

nes, neutrones, etc.). Se les arranca, primero, del lugar en que se encuentran, y en seguida se les acelera mediante un generador electrostático o con un aparato de los de concepción moderna: el ciclotrón, de movimiento en espiral, o el betatrón, de movimiento circular.

El ciclotrón, ideado por el profesor Lawrence, es de una concepción muy sencilla. Consta de un poderoso electroimán de grandes dimensiones, entre cuyos polos existen dos jaulas de Faraday semicirculares (en forma de D), separadas a lo largo del diámetro común y comunicando cada una con un polo de un alternador de gran frecuencia.

En la región central, un filamento caliente desprende electrones, ionizando un gas, que suele ser helio, hidrógeno o hidrógeno pesado (deuterio). Las partículas ionizadas pasan así por un campo eléctrico de alta frecuencia y bajo un campo magnético muy intenso. Resultan atraídas sucesivamente por ambas jaulas, y pasan de una a otra en movimiento circular, adquiriendo una velocidad angular constante. Mas como de modo intermitente reciben una aceleración, ésta se traduce en aumentos de la velocidad lineal, con lo que la circunferencia descrita se convierte en una espiral, cuyo radio se va agrandando, y al cabo de varios centenares de vueltas los corpúsculos alcanzan la periferia del aparato, donde les aguarda, en posición tangencial, un verdadero cañón, por el que salen disparados al exterior a favor de un campo eléctrico auxiliar.

Estos proyectiles son capaces de arrancar al cuerpo ensayado neutrones rápidos, pues con una tensión de 5.000 voltios se les comunican energías de millones de electrón-voltios.

En el Instituto Carnegie existe un ciclotrón que costó 5.000.000 de pesetas; tiene 3,7 m. de diámetro; el electroimán pesa varias toneladas y requiere 25 personas para su manejo. Pero comunica al deutón velocidades angulares de 245.000 r. p. s. y una energía del orden de 100 MeV. Se obtiene así un chorro de deuterones, cuya penetración en el aire alcanza 6,20 metros.

En la Universidad de California existe otro ciclotrón, conocido por "calutrón", como anagrama de aquel centro escolar.

Este aparato tiene dimensiones mayores que el anterior. Por ejemplo, el entrehierro del electroimán mide 4,70 metros por 18 cms. de altura. La intensidad del campo magnético es de 8.000 gauss. El "calutrón" fué ensayado con

éxito en la obtención de neutrones rápidos, y en vista de ello sirvió de base para construir una verdadera batería de grandes ciclotrones, que en la fábrica de Clinton se dedicaron a la producción masiva de uranio U^{235} por el método de separación de isótopos mediante espectrógrafos Aston.

En la actualidad no han sido abandonados, al parecer, estos complicados procesos. Muy al contrario, la última información que nos traen las ondas se refiere a un super-ciclotrón que construyen los Estados Unidos, cuyo electroimán pesa varias decenas de toneladas, y con el que se obtendrán proyectiles atómicos con energía del orden de un millar de MeV. Se añade que este formidable instrumento funcionará hacia el año 1952.

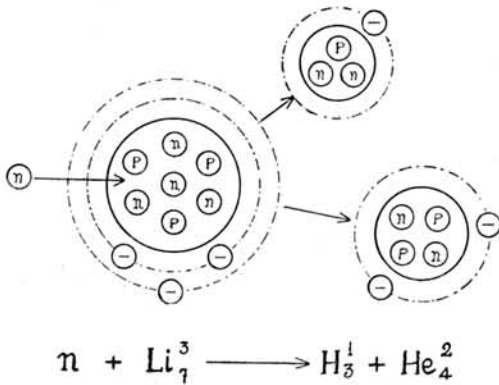


FIGURA 8.

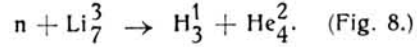
Representación gráfica y química del bombardeo de un átomo de litio por neutrones. El átomo se rompe, se desintegra y se transmuta. Sus componentes pasan a formar un nuevo átomo de triterio y otro de helio, como se comprueba comparando el esquema y la fórmula. Los cuatro neutrones, tres protones y tres electrones del litio aparecen distribuidos, después del bombardeo, en los dos átomos de nueva formación.

El betatrón de Kerst es otro acelerador de partículas, de diferente fundamento. Se las hace girar en el campo magnético de un imán de flujo variable y adquieren un movimiento circular, con aceleración continua, que les proporciona finalmente una velocidad del orden de 200.000 kilómetros/segundo. Entonces se las hace percutir sobre una placa de tungsteno, y desprenden rayos X muy penetrantes. Esta realización data de 1939.

Con estos notables aparatos se han logrado resultados previstos unas veces e insospechados otras, pero siempre interesantísimos. Por ejem-

plo, se da el caso de que en estos bombardeos o ametrallamientos cambia frecuentemente la naturaleza del cuerpo "atacado" con los corpúsculos.

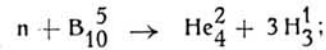
Así, el litio, bombardeado con neutrones, da hidrógeno triterio y helio:



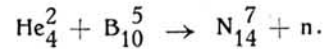
En cambio, atacando al litio con deuterones se obtiene hidrógeno normal y otro litio isótopo:



El boro, atacado con neutrones, da helio y triterio:



pero atacado con heliones produce nitrógeno y neutrones libres:



El carbono, bombardeado con neutrones, da berilio y helio; el aluminio, con heliones, da hidrógeno y silicio; el nitrógeno, con neutrones, se transmuta en boro y helio, o carbono e hidrógeno, o litio y helio. Pero se da el caso de que el boro, atacado con neutrones, produce igualmente litio y helio.

Examinando las fórmulas anteriores y escribiendo las que omitimos, se observará que el número atómico y el peso atómico se conservan en ambos miembros de la transmutación. Así, en la primera fórmula, los 3 electrones y los 7 nucleones del litio aparecen distribuidos exactamente entre el hidrógeno y el helio del segundo miembro.

El fotón, el mesotrón, los rayos cósmicos, son también posibles proyectiles empleados en la desintegración artificial. Pero el neutrón tiene la ventaja de que por carecer de carga eléctrica atraviesa más fácilmente que los corpúsculos electrizados la "atmósfera" electrónica que rodea al núcleo atómico a modo de la alambrada defensiva de una posición fuertemente defendida.

Y ahora, tras esta ligerísima introducción, ya podemos pasar a ocuparnos del uranio, el sensacional explosivo nuclear, padre de la bomba atómica. Pero creemos que ello bien merece capítulo aparte.