

Leopoldo Muzzioli

La desintegración artificial de la materia y la contribución de Enrique Fermi (Premio Nobel 1938)



LOS antiguos alquimistas, como todos saben, se proponían crear con sus crisoles y sus probetas, el «Elixir de larga vida» y «La piedra filosofal».

El primero, debía servir para rejuvenecer y prolongar la vida a los míseros mortales; la segunda, debía servir para transformar los metales en oro.

Pero, como todos saben, las investigaciones parece que no hayan dado ningún resultado.

Hoy el trabajo se ha dividido: del «Elixir de larga vida» se ocupan los médicos.

Por favor, no se ofendan los señores médicos que van a leer esta disertación, si la afirmación que yo hago no es considerada por todos como una verdad absoluta... Si hay seres malignos que piensan diversamente, yo no tengo ninguna culpa.

De la transformación de la materia se ocupan, en cambio, los físicos.

Pero el físico moderno, que busca de transmutar la materia, y no se propone, ni nunca se ha propuesto, como fin fundamental de sus investigaciones, de transformar la materia en oro, el físico moderno, digo, no puede considerar al alquimista como su precursor.

El alquimista no sabía a lo más, sino que desarrollar operaciones de carácter químico; formación y disociación de compuestos, pasaje de un compuesto a otro.

La estructura íntima de la materia se substraía a sus poderes, a menos que no existiese verdaderamente la misteriosa «piedra filosofal», cuya mágica fórmula nunca se ha sabido, y con toda probabilidad, nunca ha existido.

Para poder comprender las características de los varios sistemas modernos utilizados para transmutar la materia, es necesario exponer algunas ideas respecto a la constitución de la materia misma; buscaré de hacerlo con la mayor sencillez posible, para no aburrir exageradamente.

La materia ordinaria (Fig. 1) está formada por substancias químicas: cada substancia química, a su vez, está formada por pequeñísimas partículas, que podrían cada una existir al estado libre, y que fueron llamadas moléculas por el gran químico italiano Avogadro, de las cuales previó la existencia.

Las moléculas después, a su vez, están constituidas por partículas pequeñísimas que son los átomos de Dalton.

En química se conocen alrededor de 2 millones de

EL ARBOL GENEALOGICO DE LA MATERIA

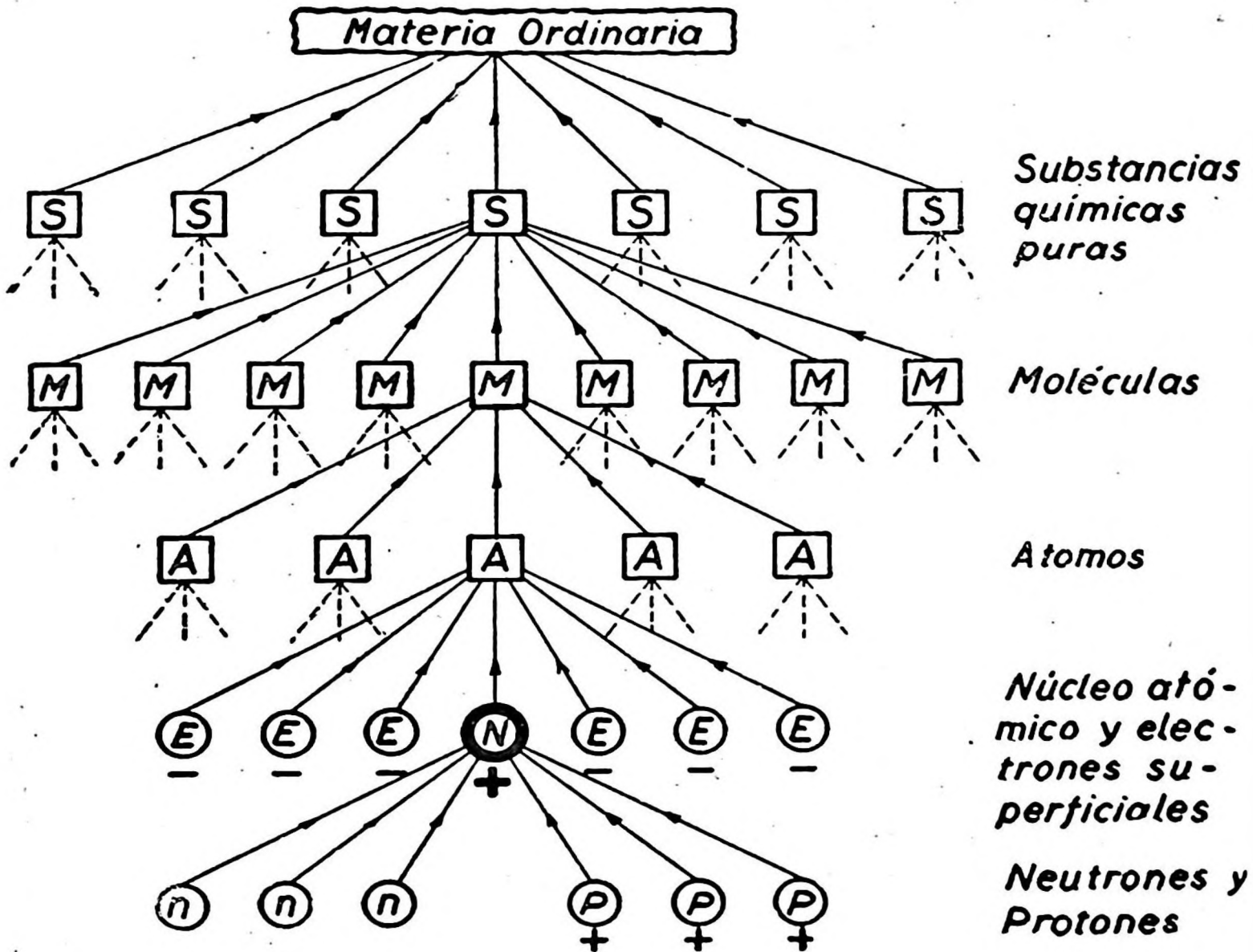


Fig. 1.

moléculas, o sea más o menos 2 millones de sustancias, todas combinaciones de 92 diferentes átomos, o sea 92 diferentes elementos, de los cuales a lo más unos veinte tienen una importancia esencial en la constitución del mundo.

En cuanto a los otros, parece que la naturaleza los haya creado más que por otra cosa, por... ¡amor a la ciencia!

Pero ahora lo que mayormente nos interesa, para la comprensión de lo que vendré explicando en el curso de esta disertación sobre la transmutación de la materia, es el conocimiento de la constitución del átomo.

También aquí expondré algunas ideas en propósito sin, naturalmente, desarrollar todas las hipótesis, teorías y confirmaciones experimentales que constituyeron la tarea dominante de la física moderna.

El átomo se comporta como si fuera constituido por un conglomerado interno llamado núcleo, de dimensiones muy pequeñas, en comparación con las dimensiones del átomo (también pequeñísimo) y de una parte extra nuclear, compuesta por una o más capas electrónicas.

El núcleo tiene siempre una carga eléctrica positiva, y la parte electrónica periférica es, por el contrario, eléctricamente negativa.

Cada elemento químico es determinado por su núcleo, porque aunque sea privado de todos o en parte de los electrones superficiales, mantiene sus características y además busca siempre de captar los electrones superficiales de los cuales carece, para reconstituir el átomo normal.

El núcleo está compuesto de protones, partículas cargadas positivamente idénticas al núcleo del gas hidrógeno, y de neutrones, partículas que tienen más o menos el mismo peso del protón, pero sin carga eléc-

trica; la parte extranuclear está compuesta de electrones, con masa alrededor de 2,000 veces más pequeña del protón y de carga negativa.

Nosotros no nos ocuparemos de los electrones superficiales, ante todo, porque ellos, como he dicho, no son la esencia del átomo; y después porque ya son por todos conocidos; en efecto, los electrones se encuentran vagantes en las llamas, salen de los hilos incandescentes de las válvulas termoiónicas usada en los aparatos de radio, la luz los extrae de los metales, en el efecto fotoeléctrico que ahora ya se aprovecha normalmente en la telefotografía, televisión y cine sonoro; nos ocuparemos en cambio del núcleo, que es la característica verdadera, substancial del átomo.

El átomo es entonces caracterizado por el núcleo y precisamente por su carga positiva debida al número de los protones, llamada también número atómico, y por su peso, debido al peso de los protones y de los neutrones, llamado también peso atómico: los electrones superficiales tienen también el peso que se puede despreciar.

En la naturaleza, como ya he dicho, existen 92 elementos con sus isótopos, los cuales isótopos difieren entre sí sólo por el peso, por tanto los diferentes isótopos de un mismo elemento, tendrán el mismo número de protones, la misma carga, el mismo número atómico, pero un distinto número de neutrones, esto es en otros términos los diversos isótopos de una substancia, son el mismo elemento con distintos lastres.

Nosotros poseemos ahora una tabla ya bien rica que enumera todos los elementos y sus isótopos, ella no es otra cosa que la fría relación de un intenso trabajo experimental, obtenida sobre todo mediante el espectrógrafo de masa por Aston y por otros investigadores.

Núcleos Atómicos de los primeros 6 elementos

Elementos	Isótopos	Protones	Neutrones	Peso	Carga	Elementos	Isótopos	Protones	Neutrones	Peso	Carga
Hidrógeno	H^1 99,98%	1	0	1	1	Berilio	Be^8 0,05%	4	4	8	4
	H^2 0,02%	1	1	2			Be^9 99,95%	4	5	9	
	H^3 10^{-7} %	1	2	3			Boro	B_0^{10} 22%	5	5	
Helio	He 100%	2	2	4	2	B_0^{11} 78%		5	6	11	5
Litio	Li^6 8,3%	3	3	6	3	Carbono	C^{12} 99%	6	6	12	6
	Li^7 91,7%	3	4	7			C^{13} 1%	6	7	13	

Fig. 2.

Para dar una idea más específica de la composición del núcleo atómico, creo oportuno mostrar una tabla (Fig. 2), donde están escritos, como se ve, el número de protones, el número de los neutrones, el peso (suma de los protones y de los neutrones) la carga o número atómico (número de los protones), de los núcleos atómicos de los primeros seis elementos con sus isótopos y relativo porcentaje.

Por ejemplo, de 10.000 átomos de hidrógeno, 9.998 tienen el núcleo atómico constituido por un solo

protón, pues entonces peso uno y carga uno: 2, por el contrario, tienen el núcleo atómico constituido por un protón y por un neutrón, entonces peso dos y carga siempre uno, en pequenísimas cantidades, se encuentra en naturaleza también el hidrógeno de peso tres.

El helio, por ejemplo, hasta hace poco tiempo se creía no tuviera isótopos; en efecto casi todos los átomos de helio tienen su núcleo constituido por dos protones y por dos neutrones, o sea, tienen un peso 4, y una carga 2 correspondiente al número de los protones y que representa también el número atómico.

Y dígase lo mismo para los demás.

Al principio de esta rapidísima y diría simplista exposición sobre la constitución del átomo, dije: El átomo se comporta como si fuera constituido por un conglomerado interno llamado núcleo con carga positiva, hecho de protones y neutrones, y por una parte extra nuclear compuesta de una o más capas electrónicas. Declaré esto a propósito, en cuanto las nuevas mecánicas, la estadística de Fermi, la de las matrices de Heisenberg, la ondulatoria de Schrödinger-De Broglie, y la cuantística de Born-Dirac-Heisenberg, etc., dan lugar a concepciones distintas de aquella de la cual he hablado, concepciones que, evidentemente, no me es posible exponer ahora por falta de tiempo.

Pero estamos ahora en conocimiento de los elementos necesarios para comprender la posibilidad de la transmutación de la materia.

Para transmutar la materia, o sea, para transformar un átomo en otro átomo, un elemento en otro elemento, es necesario obrar sobre el núcleo atómico, es necesario romper el núcleo atómico de un elemento para poder obtener otro núcleo atómico de otro elemento.

Para este fin sólo los medios físicos pueden ser eficaces.

En efecto, para disociar una molécula, esto es para separar los átomos que la componen, es necesaria una energía que en la medida convencional normalmente adoptada en la física moderna es de más o menos 10 volts. (Nota. 1) Para ionizar un átomo, o sea para

(NOTA. 1).—Energía de tantos Volts (o mejor dicho Volt-electrón) que se indica con (eV), significa la energía equivalente a aquella que adquiriera un electrón introducido en el campo eléctrico establecido, por ejemplo, entre dos láminas metálicas planas entre las cuales existe aquella diferencia de potencial en Volts. En efecto (eV) es la energía potencial del electrón en el campo eléctrico. Pero el electrón, por efecto de la atracción de la placa positiva, recorre el campo con una determinada velocidad (v). Se transforma (en otros términos) la energía potencial en cinética; y si (m) es la masa del electrón se obtendrá:

$$eV = \frac{1}{2} m v^2$$

donde V es expresado en unidades electroestáticas y el segundo miembro en ergs.

Si se quiere expresar V en Volts, se obtiene:

$$\frac{eV}{300} = \frac{1}{2} m v^2$$

y además

$$V = \frac{300 m v^2}{2 e}$$

De manera que, en cambio de hablar de la energía cinética de un electrón, se puede, convencionalmente hablar de energía de tantos Volts.

desprender del mismo uno o más de sus electrones superficiales, es necesaria una energía que en la misma medida convencional llega cerca de dos o trescientos mil volts.

Pero para romper un núcleo atómico en el cual las partes materiales y eléctricas, neutrones y protones, están fuertemente ligadas entre ellas, se necesitan por lo menos millones de volts.

¿Dónde encontrar los enormes valores de las energías que disgregando el núcleo, nos den la posibilidad de transmutar la materia, y nos den también la posibilidad de conocer por medio de la disgregación del núcleo mismo, su estructura, en modo de inducirlo a enriquecernos los conocimientos sobre su naturaleza, o sea a enriquecernos los conocimientos sobre la naturaleza de la materia que compone el universo, conocimientos que tienen un valor superior al valor del oro? ¿Dónde encontrar, repito, los enormes valores de estas energías?

No por cierto en la probeta o en el crisol, donde se necesitaría desarrollar temperaturas del orden de diez mil millones de grados para obtener el resultado querido; he aquí porque me he permitido afirmar antes, que solamente los medios físicos podrán dar la posibilidad de la disgregación nuclear y en consecuencia la posibilidad de la transmutación artificial de la materia.

La manera más sencilla de romper un objeto nos la enseña un niño caprichoso.

Con un martillazo bien dado, la cabeza de porcelana de una muñeca se reduce a destrozos.

El físico moderno, para romper el núcleo atómico, para obtener o sea su disgregación, que le dará la posibilidad de transmutar la materia, usa el mismo método de aquel niño caprichoso, usa el método de los martillazos.

Toda la dificultad consiste en el escoger y preparar el martillo conveniente al fin.

El debe ser pequeño, muy pequeño, para poder penetrar entre los electrones del átomo, pero lo suficiente pesado para ser comparable con el peso del núcleo que debe romper.

Los electrones (que como ya he dicho son livianísimos, por cuanto que tiene un peso más o menos 2.000 veces más pequeño que el peso de un protón o núcleo de hidrógeno) también si muy veloces, se pueden sin más, considerar inadecuados y entonces hay que deshecharlos.

Y en efecto, ¿qué resultado se podría obtener bombardeando por ejemplo un buque de guerra con una tupida granizada? El efecto sería evidentemente nulo.

Para romper entonces un núcleo atómico son necesarios proyectiles materiales, por cuanto de masa moderada.

Pasaré ahora en reseña los diferentes proyectiles usados para la disgregación del núcleo y por consiguiente para la transmutación de la materia y los resultados obtenidos, para poder deducir cual es el estado

actual de la ciencia, el método mejor, deducción que en verdad es el fin de esta disertación.

La primera tentativa experimental (Fig. 3) para la transmutación de la materia fué hecha usando como proyectiles para el bombardeo del núcleo, las partículas alfa emitidas por el radio, partículas, que no son otra cosa sino núcleos de Helio formados por dos protones y por dos neutrones, esto es que tienen carga dos y peso 4.

I Método: Proyectiles $\alpha = {}_2\text{He}^4$

Rutherford - 1919



Curie-Joliot - 1931

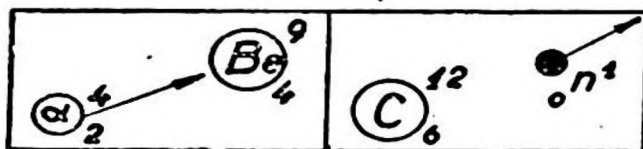


Fig. 3.

Y fué el grande físico inglés recientemente desaparecido Ernesto Rutherford quien logró por primero en el año 1919 realizar el sueño de los alquimistas, logró por primero transmutar la materia, transformar artificialmente un elemento químico en otro.

En efecto él procedió más o menos así: Tomó una substancia radio activa y precisamente Radium C. una de las fuentes más poderosas de energía radioactiva a

nuestra disposición, y con la ayuda de esta disparó una tupida granizada de partículas alfa en un recipiente lleno de nitrógeno. ¿Qué sucedió? Ernesto Rutherford observó el formarse de protones muy veloces arrojados a gran distancia, en otros términos, observó el formarse de núcleos de hidrógeno. Del nitrógeno había nacido el hidrógeno. Decenas de miles de golpes habían errado el blanco, o bien habían sido desviados; pero al fin sucedió lo que debía suceder: una partícula alfa lanzada por el Radium C a toda velocidad se dirigió irresistiblemente sobre un núcleo de nitrógeno. El encuentro fatal ya era inevitable... Centro: la partícula alfa dió de lleno en el núcleo de nitrógeno, y este último hecho de protones y de neutrones, no pudo resistir el choque: un protón, o núcleo de hidrógeno que es lo mismo, fué expulsado con violencia por la estructura nuclear del nitrógeno. Un protón entonces, un núcleo de hidrógeno recorrió el recipiente experimental.

La transmutación artificial de los elementos habíase hecho una realidad, en el mismo momento en el cual Rutherford había visto por medio de un microscopio algunas centellas sobre una especial pantalla fosforescente.

Mucho después, en el año 1931, el Blackett logró fotografiar por medio de un dispositivo especial, la cámara de Wilson, el fenómeno descubierto por Rutherford y pudo demostrar lo que esquemáticamente he indicado en la figura, y precisamente que un proyectil alfa esto es un núcleo de helio de carga positiva 2 y

peso 4 cuando penetraba en el núcleo de nitrógeno de carga 7 y peso 14 formaba un núcleo inestable, que reventaba inmediatamente produciendo un núcleo de hidrógeno de carga 1 y peso 1 y otro núcleo de carga 8 y peso 17 esto es un isótopo del oxígeno.

En otros términos del nitrógeno por medio del bombardeo con partículas alfa se había obtenido oxígeno e hidrógeno.

Ya se usa ahora expresar estas transformaciones nucleares con ecuaciones parecidas a aquellas usadas por los químicos para sus reacciones, como está indicado en la figura.

Los números en alto, a la derecha del símbolo del elemento representan el peso, los números en bajo, a la izquierda del símbolo, representan la carga positiva del elemento mismo.

La suma de las masas y la de las cargas de los términos antes de la desintegración, debe igualar—grosso modo—la de las masas y de las cargas después de la desintegración.

Pero desgraciadamente sólo una pequeñísima parte de los millones de partículas alfa emitidas por el radio logran dar en el núcleo de nitrógeno.

De 20.000 fotografías ejecutadas por Blackett en las cuales se fotografiaron más de 400.000 trayectorias de partículas alfa, sólo en 8 negativas pudo verse el verificarse de la desintegración.

De aquí se ve, cuan grande debe ser el ideal científico del físico, del hombre de ciencia, para permitirle

obrar con tan grande e increíble paciencia a fin de investigar la esencia de los fenómenos naturales.

Y en efecto en las investigaciones de Blackett, un éxito está frente a 50.000 casos de fracaso.

¿Por qué, por cuál razón, es tan pequeña la probabilidad que una partícula alfa pueda hacer blanco en el núcleo de nitrógeno para poder así dar origen a la desintegración del mismo?

Las razones de tan escaso resultado, son de doble naturaleza.

Antes de todo el proyectil alfa, cargado de electricidad positiva, moviéndose en seno de la materia, tiene pocas probabilidades de encontrar un núcleo, y esto, a causa de la extrema pequeñez de ambos; el proyectil alfa será al contrario obstaculizado, durante su marcha por los muchos más numerosos electrones negativos que forman como hemos dicho, las atmósferas de los núcleos y que ejerciendo sobre él una atracción, disminuyen el movimiento y logran en muchos casos a detenerlo.

En segundo lugar también cuando el proyectil alfa logra encontrar un núcleo, aparece otro obstáculo, que se opone al choque eficaz. En efecto, tanto el proyectil alfa, cuanto el núcleo están cargados de electricidad positiva y por esto el campo eléctrico relativo, da lugar a una fuerza de repulsión que se vuelve marcadísima cuando la distancia entre los dos se ha hecho pequeñísima, quedando así muy difícil el choque efectivo.

En cada caso la penetración es tanto más difícil

cuanto más grande es la carga eléctrica positiva del núcleo que hay que golpear.

Queda entonces en esta forma justificada la escasa eficacia de los proyectiles alfa y la absoluta falta de efecto sobre los elementos de número atómico elevado o sea de carga eléctrica mayor.

Y en efecto las numerosas tentativas hechas para obtener la desintegración artificial usando proyectiles alfa, han dado resultados positivos (aunque siempre escasos) sólo para algunos de los átomos más livianos.

Ninguno más allá del Cobre que ocupa el puesto 29 en la serie de los 92 elementos, se mostró sensible al bombardeo. Como el físico moderno para obtener resultados mejores deberá buscar otros tipos de proyectiles.

Pero antes de pasar en reseña los otros métodos usados, es necesario que explique otra desintegración obtenida con proyectiles alfa, porque con esta desintegración se libran neutrones que como veremos se utilizarán como proyectiles eficacísimos para la desintegración de la materia.

Esta desintegración productora de neutrones fué descubierta por Irene Curie, la hija de María y Pedro Curie (que está siguiendo las huellas de sus ilustres padres) junto con su marido Joliot en 1931.

Ellos se sirvieron de proyectiles alfa emitidos por el polonio que es una poderosa fuente radioactiva. Con estos proyectiles alfa, bombardearon el Berilio.

El núcleo de Berilio (Fig. 3) herido por una par-

tícula alfa se descompone; dando lugar a Carbono, y a la expulsión con gran velocidad de una partícula dotada de masa 1, como el núcleo de hidrógeno, pero sin carga eléctrica.

Tal partícula, no es otra cosa sino el neutrón del cual he hablado antes afirmando ser uno de los constituyentes fundamentales de los núcleos atómicos. Se verá más adelante cuales ventajas se obtienen usando esta nueva radiación de neutrones obtenida por el bombardeo del Berilio, para la desintegración de la materia, esto es para la transmutación de los elementos.

Ahora que hemos visto el escasísimo rendimiento de los proyectiles alfa veremos que método fué probado sucesivamente por los físicos del novecientos para desintegrar la materia.

Probaron el bombardeo de la materia con núcleos de hidrógeno, esto es con protones.

Estos proyectiles, teniendo una carga eléctrica positiva la mitad de las partículas alfa dejan preveer una probabilidad mayor de superar la repulsión eléctrica del núcleo y por eso mismo de alcanzarlo.

Puesto que no existen proyectiles naturales hechos de núcleos de hidrógeno (en efecto no existe en naturaleza substancia radioactiva que emita tal radiación) fué necesario obtenerlos artificialmente.

El físico para alcanzar el fin debe entonces resolver dos problemas: 1.º producción de los protones en fuerte cantidad, 2.º su aceleración.

La solución del primer problema, es fácil. El hidrógeno molecular, que la química enseña a librar de mil maneras, por ejemplo, por electrolisis; en una descarga eléctrica de pocos centenares de volts, se disocia en átomos, y estos en seguida se ionizan; pierden o sea el único electrón superficial y se vuelven precisamente protones.

Menos sencilla es al contrario la solución del segundo problema, obtener esto es, campos eléctricos elevadísimos y estables en los cuales introducir estos núcleos, para que sean acelerados convenientemente.

II Método : *Proyectiles Protones* = ${}_1H^1$ Cockcroft y Walton - 1932

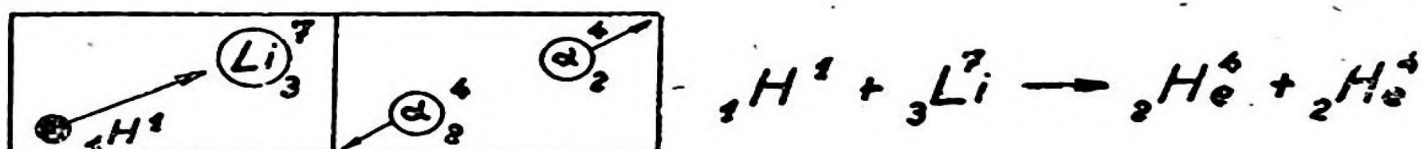


Fig. 4.

Muchas tentativas fueron hechas, y aunque las dificultades hayan sido notables, se alcanzó el fin.

Obrando así Cockcroft y Walton en 1932 lograron realizar algunas descomposiciones nucleares mucho más abundantes que con los rayos alfa, pero los resultados también con este método fueron positivos sólo para elementos de pequeño peso atómico y por esto de pequeña carga eléctrica.

Creo oportuno exponer la primera descomposición obtenida, (Fig. 4) por la gran importancia que ella

tiene en cuanto verifica una de las previsiones más interesantes de la física moderna.

El litio de peso 7 absorbe el proyectil hidrógeno de peso 1 y el complejo de peso 8, estalla dando lugar a dos fragmentos iguales, y esto es a dos núcleos de helio que son lanzados a gran velocidad en sentido opuesto.

El resultado de la reacción nuclear es que el litio se ha transformado en helio; y poniendo en juego la gran energía intranuclear poseída, ha restituído en la explosión una energía de lanzamiento de los fragmentos que en algunos casos llega a superar hasta mil veces la del proyectil.

También un depósito de municiones, tocado por un proyectil de pequeño calibre, puede estallar con una potencia destructiva mucho mayor a la potencia del proyectil que ha provocado la explosión.

La enorme importancia de la experiencia de Cockcroft y Walton, no consiste sólo en el hecho que por la primera vez una descomposición nuclear fué obtenida con medios del todo artificiales, esto es sin recurrir a los proyectiles producidos naturalmente por los cuerpos radioactivos, un resultado mucho más instructivo fué por ella puesto en claro; y esto es que si se hace el balance numérico exacto de los pesos que intervienen en la reacción, se encuentra que los dos átomos de helio producidos, pesan un poco menos que el peso del átomo de litio, aumentado con el peso del proyectil absorbido; se ha producido así la desaparición

de una cierta cantidad, aunque pequeñísima de masa material.

El principio de la conservación de la materia no es más verdadero. En compenso en la reacción se ha ganado la energía de lanzamiento de los fragmentos que puede ser medida; y precisamente se encuentra que tal ganancia corresponde a la proporción de más o menos 25 millones de kilowatt hora por cada gramo de materia desaparecida.

El fenómeno es general: en todas las reacciones nucleares observadas se verifica que cada disminución de masa es acompañada por una liberación de energía en aquella proporción.

En la Teoría de la relatividad mucho tiempo antes, Einstein, previó que la materia y la energía pueden transformarse la una en la otra y que la transformación debe suceder precisamente en la proporción de 25 millones de kilowatt hora por gramo de materia; de tal previsión, que pareció en su tiempo una paradoja, la experiencia de Cockcroft y Walton y otras muchas dan una confirmación experimental, de modo que el intercambio entre materia y energía es ya un hecho aceptado más que teóricamente, también experimentalmente y constituye uno de los resultados más importantes e interesante de la física de hoy.

Nosotros no podemos darnos cuenta en la vida común de los pequeños cambios de masa que acompañan los absorbimientos o las emisiones de energía. Así que un gramo de agua cuando absorbe por ejemplo la ener-

gía calorífica capaz de calentarlo de un grado, esto es una pequeña caloría, aumenta de peso en tal medida que ninguna balanza es capaz de registrar.

Eran necesarios los cambios de energía nuclear, los cuales son muy grandes respecto a los pesos de la materia que toma parte, para obtener cambios de peso perceptibles.

Así que, las investigaciones sobre la transmutación artificial de la materia, han, entre otras cosas, demostrado experimentalmente, que las dos leyes fundamentales que guían a los fenómenos naturales que se verifican en el universo—la conservación de la materia y la conservación de la energía—no se pueden de rigor considerarse separadas, pero deben considerarse unidas en una única y fundamental ley: La conservación de la materia y de la energía.

Pero como ya dije, también con este segundo método, bombardeo con núcleos de hidrógeno, los resultados obtenidos, aunque mejores que con los proyectiles alfa fueron poco satisfactorios.

En efecto en general con protones acelerados por 400.000 Volts se obtiene una desintegración más o menos cada 100 millones de protones.

Entonces otros métodos era necesario buscar.

Después del descubrimiento del hidrógeno pesado o diplogeno era natural pensar en utilizar los iones relativos o diplones para ejecutar las mismas experiencias ya desarrolladas con los protones. La eficacia de los di-

plones, aunque también ellos con carga positiva, habría tenido que ser más grande a causa de su mayor masa, y la diversa constitución del proyectil agresor habría ciertamente llevado a resultados nuevos.

Así en lugar de los protones, o para mejor decir mezclados con los protones, fueron en Cambridge introducido en los tubos de descarga los diplones.

Y el litio de peso 6 (Fig. 5) bombardeado con diplones con una energía de algunos millones de volts, se partió en dos partículas alfa, como hace el litio de peso 7 bombardeado con protones.

**III Método: Projectiles Diplones = ${}_1D^2$
Escuela de Cambridge - 1933**

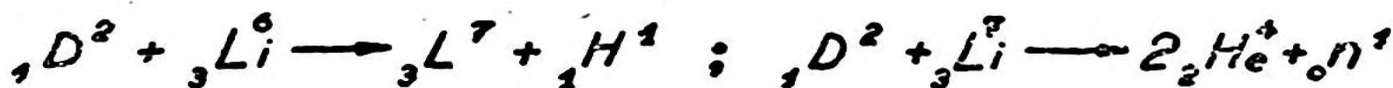
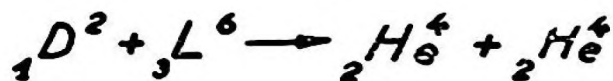


Fig. 5.

El litio puede presentar también dos otras reacciones dando lugar, sea a emisiones de protones, sea a emisiones de neutrones.

El uso de los Diplones parece que haya permitido además a la escuela de Cambridge identificar la existencia de dos isótopos del helio de masa 3 y 5 y la existencia de otro isótopo del hidrógeno de masa 3.

Pero también este método, aunque nos haya enri-

quecido de importantísimos conocimientos sobre la íntima estructura de la materia, ha dado resultados de poco mayores a los precedentes, en lo referente a la desintegración atómica.

También los rayos gama emitidos por las sustancias radioactivas y los rayos X fueron usados como proyectiles desintegradores.

Cladwick y Goldhaber (Fig. 6) fueron los primeros en observar en 1934 una desintegración nuclear producida por los rayos gama.

**IV Método: Proyectiles: rayos γ y rayos $X=hf$
Chadwick y Goldhaber - 1934**

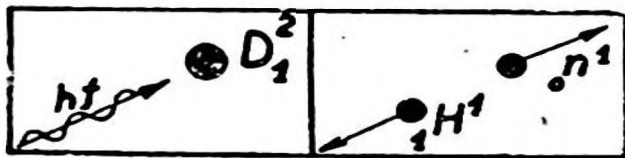


Fig. 6.

Con los rayos gama del torio C, que tienen una fuertísima energía, bombardearon hidrógeno pesado o diplógeno: y obtuvieron protones o núcleos de hidrógeno y neutrones.

Otros resultados fueron obtenidos usando este método, como también se pudo obtener desintegraciones con rayos X, pero siempre estos resultados fueron escasos, también de menor entidad que los obtenidos con los métodos precedentes.

El proyectil que al contrario al estado actual de la

ciencia se ha mostrado de mayor eficacia, es el neutrón, que como hemos ya dicho se puede obtener con el método Curie, bombardeando, esto es con rayos alfa el Berilio.

Este proyectil, falto de carga, puede pasar sin ser estorbado la atmósfera electrónica que protege el núcleo y puede alcanzar a éste sin sufrir la repulsión electrostática. El, por lo tanto podrá atravesar espesores grandísimos de materia (se encuentran algunos todavía más allá de un espesor de 30 cm. de plomo) no pudiendo ser detenido sino por el choque con un núcleo, en el cual termina.

El neutrón es entonces un agresor ideal; contra sus armas no hay defensas. La única limitación a la cual debe someterse es la presentada por las leyes del caso, esto es por la probabilidad de encontrar un núcleo en su recorrido.

Estas felices previsiones sobre la eficacia del neutrón, como desintegrador de la materia fueron concebidas por el gran Físico italiano, Enrique Fermi, ya célebre para la creación de su mecánica estadística, para una teoría, por medio de la cual puede preverse la intensidad de la radiación cósmica a diferentes altitudes y latitudes, para su teoría sobre la desintegración (beta) de los cuerpos radioactivos, y para otras contribuciones notables a la Física Moderna.

Por medio del proyectil (neutrón) Fermi ha logrado obtener la disgregación nuclear, y por consiguiente la transmutación artificial, no solamente de los primeros

elementos desintegrados con los otros métodos por los físicos de los cuales he hablado, sino de todos los 92 elementos existentes en la Naturaleza.

El trabajo experimental hecho en sólo 4 años, desde el año 1934 al 1938 por Fermi y por sus colaboradores en el Instituto de Física de la Universidad de Roma, me permito afirmar que es verdaderamente colosal.

Enrique Fermi, además ha descubierto un hecho que a primera vista parece paradójico, y esto es que se obtienen efectos muy superiores bombardeando la materia, no con neutrones veloces obtenidos con el método Curie, que normalmente tienen un camino libre en el aire de algunos metros y están dotados de una energía que se puede avaluar en algunas decenas de millones de volts, sino que con neutrones más lentos.

Este hecho es difícilmente explicable, y sólo por medio de las nuevas mecánicas Fermi logró demostrarlo también teóricamente.

Enrique Fermi, que descubrió este raro efecto más o menos dos años atrás, usó precisamente desde aquel momento para las desintegraciones artificiales de la materia los neutrones lentos.

No es difícil disminuir la velocidad de un neutrón.

Cuando un neutrón encuentra un átomo material en reposo, le imprime una aceleración y le cede así a lo menos una parte de su energía. Después de un cierto

número de estos choques el neutrón ha disminuído notablemente su velocidad.

Un sólido o un líquido, mejor que un gas, constituyen el ambiente favorable a esta disminución de velocidad, porque a causa de la mayor densidad, el número de los choques posibles a paridad de recorrido es enormemente mayor.

Y entre los sólidos y los líquidos hay que preferir aquellos cuyas moléculas son muy ricas en hidrógeno, porque el intercambio de energía entre los dos corpúsculos de masa poco diversa, neutrón y protón, se facilita.

Enrique Fermi ha sumergido, en efecto, los elementos para desintegrar en gruesos bloques de parafina.

Los neutrones obtenidos por el bombardeo del berilio por parte de partículas alfa emitidas por un preparado radioactivo disminuyendo su velocidad al atravesar la parafina, alcanzaban los núcleos de los elementos, produciendo en ellos la desintegración.

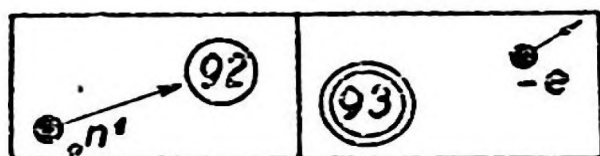
Por medio de los neutrones lentos, como ya he dicho, Enrique Fermi y sus colaboradores lograron efectuar la desintegración atómica para todos los 92 elementos.

Necesitaría demasiado tiempo para exponer las reacciones nucleares obtenidas en los numerosos y complejos experimentos ejecutados por la escuela de Roma; deseo solamente exponer una de las tres series de transformaciones obtenidas bombardeando con neutrones el último de los elementos, el uranio de número atómico

92, por el maravilloso descubrimiento al cual ha dado lugar esta desintegración.

El núcleo de uranio (Fig. 7) después de haber absorbido un neutrón, se convierte rápidamente, por la emisión de un electrón, en el elemento inmediatamente más alto de la serie de los elementos, esto es en un nuevo elemento de número atómico 93 que no existe en naturaleza.

*V Método : Projectiles : Neutrones = ${}_0n^1$
 Enrique Fermi : Escuela de Roma - 1934 - 1938
 Disgregación de los 92 elementos y
 además del elemento 93.*



El nuevo elemento 93 es radio activo con una vida media de 13 minutos.

Fig. 7.

Por la posición que ocupa en la tabla de Mendeleiev, este elemento debería tener propiedades químicas análogas a las del manganeso y del Rhenio y efectivamente las reacciones químicas que permiten la separación de este elemento están conformes con el comportamiento previsto. El Eka-Rhenio (así llamado este nuevo elemento) es radioactivo, y se transmuta después en Eka-Platino hasta transmutarse en el Eka-Oro, de número atómico 97.

Corresponde el mérito a Enrique Fermi y a sus co-

laboradores si se ha podido artificialmente aumentar la tabla periódica de los elementos, con elementos que no existen en la tierra y tampoco, con toda probabilidad, existen en los cuerpos celestes del universo.

Pero no debe parecer tan raro que este elemento no se encuentre en la naturaleza, porque como he dicho, se ha revelado como inestable, esto es radioactivo, con una vida muy corta: en efecto bastan 13 minutos para que la mitad de sus átomos hayan cambiado de naturaleza.

Es, por tanto, probable y diría natural que si en el pasado el elemento ha tenido ocasión de formarse, haya desaparecido en breve tiempo.

De todos modos, en Italia, con Fermi y sus colaboradores se ha logrado renovar artificialmente aquellos primitivos procesos que en un tiempo lejano, milenios de milenios en el caos incandescente de la materia, los elementos trataban de tomar su constitución definitiva.

En los laboratorios experimentales del Instituto de Física de Roma, se ha logrado rejuvener la materia, ¿no es ésta una cosa maravillosa, que nos hace vibrar de emoción?

Aun que no haya podido hacer ahora el desarrollo de la poderosa obra científica («Teórica y experimental») del joven físico italiano, me parece de haber puesto de relieve la contribución decisiva aportada por él, en la desintegración artificial de la materia, contri-

bución que por sí sola podía bien merecer la alta asignación Nobel.

Si se considera en su conjunto el complejo de los resultados alcanzados en poquísimos años por la Física Moderna, en el campo de la transformación del núcleo, es necesario reconocer que ella ha obtenido éxitos, de los cuales la importancia científica no se sabría exaltar bastante.

Pero la humanidad es también utilitaria y busca, junto con la poesía, ver aplicaciones prácticas concretas y, por otra parte, este estudio no sería completo, si además de la importancia científica de los resultados no se tomaran en consideración las consecuencias prácticas a las cuales pueden abrir el camino.

Ante todo, dado que la disgregación de los núcleos atómicos da lugar, en general, a cuerpos no estables, esto es radioactivos, algunos de los cuales con una vida relativamente larga, me parece que se podría con toda probabilidad aprovechar de esta radioactividad artificial con el mismo fin terapéutico que se aprovecha de la radioactividad natural de los cuerpos radioactivos. Además, dado que muchas son las substancias que pueden volverse radioactivas con una vida relativamente larga, me parece que se podría, con gran ventaja en muchos casos, poner radioactivos artificialmente algunos medicamentos. Claro que me he permitido dar una simple opinión, y solamente los médicos podrán afirmar la posibilidad y la eventual ventaja de su realización.

De todos modos, me parece que ya se puede prever la posibilidad de una práctica aplicación de estas maravillosas investigaciones de la física moderna.

Pero la más grande de las conquistas arrancadas por el hombre a la naturaleza constituiría (desde el punto de vista técnico) la realización de estas transformaciones de esta superquímica nuclear, en cantidades prácticamente eficientes.

Y en efecto las cantidades de energía que podrían libertarse en la transformación del núcleo, son verdaderamente formidables. Por ejemplo la conversión de un gramo de litio en helio, libraría 60 mil kilowatt-hora equivalentes a 52 millones de calorías, suficientes para transformar los muros de un palacio en un ardiente horno.

La transformación de pocos kilogramos de litio en helio desprendería una energía suficiente a las necesidades de Chile por un año.

Teniendo presente estas cifras, se reconoce que la posibilidad de ejecutar tales transformaciones en medida suficiente, daría al hombre, además de la disponibilidad de los elementos más raros; también el dominio de una fuente prácticamente ilimitada de energía.

No sería en efecto la primera vez, que la ciencia abstracta y casi extraña al mundo se presenta al ingeniero y al industrial con posibilidades nuevas y grandísimas.

Quién sabe si no se verán, en una mañana tal vez no lejana, a cada cuadra de la ciudad, enormes cal-

deras a vapor, cuyo fuego se mantendrá con guijarros y trozos de infinito costo: llegará el señor desintegrador atómico provincial con su regular licencia de las autoridades competentes que dirigirá su aparato de desintegración en los hornos de las calderas.

Se esparcirá una claridad azulina, un olor particular que tal vez recordará el del ozono, después un silbido leve y la disgregación de los átomos de los guijarros a los cuales se ha dado comienzo, comenzará a producir sus efectos. Después de lo hecho el señor desintegrador provincial se irá a sus quehaceres y por otro año las calderas quedarán encendidas, produciendo la energía suficiente a todas las necesidades de la ciudad.

Pero sin embargo al estado actual de la ciencia los resultados obtenidos desde el punto de vista cuantitativo, no sólo son de pequeñísima entidad, sino que dejan preveer, que con los métodos actuales, no se podrá obtener mucho más.

En efecto, obrando por bombardeo, que es el único método que haya dado hasta ahora resultados positivos, los tipos de proyectiles de los cuales era posible servirse han sido ya todos experimentados.

Como hemos dicho se han excluido los electrones, que por su demasiada pequeña masa no tienen efecto sobre los núcleos atómicos: hay que excluir también los núcleos de los elementos situados más allá del helio, porque su carga eléctrica positiva demasiado elevada no les permitiría de alcanzar el núcleo que deben tocar.

También para los núcleos de helio, una suficiente

energía y de ahí una discreta probabilidad de penetración se alcanzaría sólo cuando la tensión eléctrica del campo acelerador, fuera de muchos millones de volts, tensión que al estado actual de la Electrotécnica, no sabemos producir; y es por esto que como he dicho, en las primeras experiencias de desintegración nuclear, con proyectiles de helio, hubo que recurrir a los núcleos de helio expulsados por los cuerpos radioactivos naturales, esto es a las partículas alfa del radio.

Pero los resultados cuantitativos fueron (como he dicho) muy modestos, ni se podrán aumentar de mucho.

Y en efecto, se puede calcular que un gramo de radio que como es conocido tiene un precio muy subido, más o menos un millón de pesos, obrando sobre el nitrógeno, por 2.000 años no podría fabricar nada más que una tercera parte de milímetro cúbico de hidrógeno. Si se ha podido reconocer que la descomposición ha sucedido, es porque los aparatos de la física moderna son tan geniales, que permiten notar la formación también de pocos átomos.

Así se puede repetir para los otros tipos de proyectiles usados, Protones, Diplones, Rayos gama y X.

Quedan los neutrones, usados por la Escuela de Roma, que constituyen por su eficacia al estado actual de la ciencia, el tipo ideal de proyectil.

Pero desgraciadamente ellos no son libremente disponibles en naturaleza, y es necesario fabricarlos a través de descomposiciones nucleares artificiales, esto es por ejemplo con el método Curie, del bombardeo

del Berilio con rayos alfa, transformaciones que tienen también un bajo rendimiento.

Estamos o sea desafortunadamente en la situación de quien quisiera quemar un combustible sin disponer de las cantidades ilimitadas de oxígeno existentes en el aire, y debiese por lo tanto, para activar la combustión, sacar el oxígeno de sus compuestos.

Ninguna posibilidad entonces de obtener, también con el proyectil neutrón, que en verdad se ha mostrado el mejor de todos, la transmutación de la materia en cantidad pesable, aún teniendo la inestimable ventaja de poder agredir cualquier clase de elemento, también los más pesados.

Se impone una solución distinta.

Se impone otro procedimiento que empeñe rápidamente toda la materia del cuerpo para transformar.

¿Será posible en otros términos encontrar un comburente nuclear abundante y de poco costo, para poder producir en gran escala las desintegraciones de las cuales he hablado, de modo de obrar rápidamente sobre toda la masa del cuerpo por desintegrar y poder obtener así la disponibilidad de los elementos más raros y poder además disfrutar industrialmente las enormes energías que podrían libertarse en las transformaciones nucleares?

¿Será esto posible?

Para dar una respuesta es indispensable un conocimiento más profundo de la estructura y de las leyes que regulan el microcosmo del núcleo: Conocimiento,

que será la tarea más importante de la ciencia física futura, y que además de darnos una noción más clara y perfecta de la más íntima estructura de la materia, podrá guardarnos también las más grandes sorpresas para las aplicaciones técnicas futuras, en un mañana tal vez no lejano.