

Los últimos estudios sobre la constitución de la materia

(Conferencia dictada en el Instituto de Ingenieros)

HACE más o menos ocho años tuve el honor de exponer en esta misma sala, en una serie de conferencias, las ideas modernas sobre la constitución de la materia y de los elementos que la forman. Agradezco muy sinceramente al Directorio del Instituto de Ingenieros la oportunidad que se me presenta para volver a tratar, desde esta tribuna, sobre el mismo tema.

Si se consideran los progresos que la ciencia ha hecho en este tiempo relativamente corto, se tiene una impresión de verdadero asombro. No quiero decir con esto que se han resuelto en la actualidad todos los problemas. Al contrario, mientras más avanzan nuestros conocimientos, más extenso queda aparentemente el campo desconocido. A este respecto se ha comparado el crecimiento de la ciencia con el de una esfera, que se encuentra en el vacío. Mientras más se extiende, mayor es la superficie de contacto con lo desconocido. Tampoco quiero decir que en estos últimos 8 años hayan cambiado profundamente nuestras ideas. Por el contrario, es muy satisfactorio poder constatar que estas ideas,—debidas principalmente al genio del físico danés Bohr,—se han podido mantener sin alteración. Se ha po-

dido profundizarlas, se ha logrado encontrar bases teóricas para una serie de postulados hasta cierto punto arbitrarios. Una nueva parte de la física, «la mecánica ondulatoria», se ha creado para este fin, ideada por De Broglie y desarrollada especialmente por Schrödinger, Heisenberg y Dirac. Las consecuencias a las cuales se ha llegado, han originado una especie de revolución, especialmente en el campo filosófico, porque se ha vuelto a poner en duda la ley de la causalidad en los fenómenos físicos. Sería muy atrayente desarrollar esta nueva teoría, pero sería también muy largo. Además, todo este huracán no ha influido los resultados básicos a los cuales había llegado Bohr, y que la experiencia había comprobado en forma tan sorprendente.

Prefero por esto tratar en mi conferencia de hoy otro aspecto de las investigaciones modernas, que se han desarrollado basándose en estas mismas ideas de Bohr. Voy a recapitular en pocas palabras las bases de su teoría.

Según ella, los átomos de los elementos que se consideraban desde hace tiempo como las partículas más pequeñas, indivisibles, de la materia, no son en realidad uniformes, sino que se componen de elementos de construcción más chicos. Cada

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	O
1	1 H 1,008								2 He 4,00
2	3 Li 6,94	4 Be 9,01	5 B 11,0	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,0	10 Ne 20,2	
3	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 A 39,88	
4	19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,1	22 Ti 48,1	23 V 51,0	24 Cr 52,0	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,97
	29 Cu 63,57	30 Zn 65,37	31 Ga 69,9	32 Ge 72,5	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92	36 Kr 82,92	
5	37 Rb 85,45	38 Sr 87,63	39 Y 88,7	40 Zr 90,5	41 Nb 92,5	42 Mo 96,0	43 Tc 98,9	44 Rn 101,7	45 Rb 102,9
	47 Ag 107,88	48 Cd 112,40	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 120,2	52 Te 127,5	53 J 126,92	54 X 130,2	
6	55 Cs 132,81	56 Ba 137,37	Tierras raras		73 Ta 181,5	74 W 184,0	75 Th 190,9	76 Os 198,1	77 Ir 195,2
	79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,0	82 Pb 207,20	83 Bi 209,02	84 Po (210,0)	85*	86 Em (222,0)	
7	87*	88 Ra 226,0	89 Ac (226)	90 Th 232,15	91 Pa (230)	92 U 238,2			

57 La 139,0	58 Ce 140,25	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	61*	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3
65 Tb 159,2	66 Dy 162,5	67 Ho 163,5	68 Er 167,7	69 Tu I 168,5	70 Ad 173,5	71 Cp 175,0	

Tierras raras:

Fig. 1

uno de estos átomos representa una especie de sistema planetario, componiéndose de un núcleo (el sol), cargado de electricidad positiva, alrededor del cual giran partículas cargadas con electricidad negativa, «los electrones»; cada uno de estos electrones tiene una carga eléctrica y su masa es muy pequeña en comparación con la del núcleo, casi podríamos decir nula. El número de ellos en la periferia del átomo, varía en los diferentes elementos y determina las cualidades de éste. A este número se le ha dado el nombre de «número de orden», puesto que los elementos se pueden agrupar, según él, en un sistema, que llamamos el sistema periódico de los elementos. En la tabla que les exhibo se puede constatar que el elemento más liviano, el hidrógeno, tiene el número de orden «uno», el uranio, el más pesado, el número 92. Por supuesto la carga positiva del núcleo tiene que ser igual a la suma de las cargas de los electrones, es decir, al número de orden que tiene el elemento, para así mantener la neutralidad del átomo. Así el núcleo del átomo de hidrógeno tendrá 1 carga, el del uranio, 92. Pero esto no impide que el núcleo de este elemento, y de los otros también, contenga cargas negativas. Sólo la suma algebraica de las cargas positivas y negativas del núcleo tiene que ser igual a la suma de los electrones periféricos. No obstante, podemos suponer que el núcleo del hidrógeno tiene la constitución más sencilla posible, es decir, que se compone de una sola carga positiva. Por ionización podemos separar el electrón que gira alrededor de este núcleo y la partícula aislada con una sola carga de electricidad positiva que así obtenemos, se llama el «protón». Su masa, en nuestra escala, es muy cerca de la unidad.

La existencia de cargas negativas en los núcleos de los demás elementos se

manifiesta en los fenómenos radioactivos, en los cuales se emiten tales cargas, los llamados rayos « β ». Hay otra razón más para suponer que el número de cargas positivas en los núcleos de los elementos es mayor que el número de electrones que los rodean. El peso de los átomos se debe casi exclusivamente a estas cargas positivas, los protones, puesto que los electrones, prácticamente, no tienen peso, como ya he mencionado. El peso atómico de un elemento nos indica, por consiguiente, el número de protones que contiene su núcleo. Así, por ejemplo, el calcio, cuyo peso atómico es igual a 40, debe tener 40 protones o cargas positivas. El número de orden de este elemento, por otra parte, es igual a 20, y así debemos suponer que el núcleo de este elemento contiene 40 cargas positivas y 20 cargas negativas o electrones, de lo cual resulta una suma algebraica de cargas positivas igual a 20, cifra que corresponde al número de orden o bien al número de electrones periféricos. En general, podemos deducir el número de cargas negativas en el núcleo de un elemento (E) de la ecuación siguiente.

$$1. \quad E = P - N$$

P representa el peso atómico y N el número de orden. Veremos más tarde que las cargas positivas y negativas del núcleo, aparentemente, forman compuestos.

La deducción que precede la he hecho para el calcio, porque el peso atómico de este elemento es una cifra entera. Pero hay muchos elementos cuyos pesos atómicos difieren fuertemente de las cifras enteras, como por ejemplo el cloro, con su peso atómico de 35,45. ¿Cómo explicar esta divergencia si no se permite aceptar fracciones de protones como elementos de construcción de los átomos? La solución de este problema se obtiene

suponiendo que hay varias clases de átomos de cloro con diferentes pesos atómicos, 35, 37 y tal vez 39, y que sólo el término medio de la mezcla de estos átomos tiene el peso atómico 35,45. Estas diferentes clases de cloro se llaman isótopos del cloro y la existencia de tales isótopos es hoy día un hecho indiscutible. Se había encontrado el fenómeno de isotopía primero en los elementos radioactivos, pero luego se ha visto que todos o casi todos los elementos existen en diferentes formas isotópicas, es decir, que tienen diferentes pesos atómicos. No difieren estas variedades en sus calidades químicas, puesto que tienen el mismo número de orden, es decir, el mismo número de electrones periféricos, que son los responsables de sus propiedades químicas. El núcleo de estas diferentes variedades, por otra parte, difiere. El cloro 35 tiene, según la ecuación N.º 1 ($P=35$ y $N=17$) 18 electrones en el núcleo. El cloro 37, por otra parte, tiene 20 de estos electrones centrales debido a su mayor peso, al mayor número de protones en el núcleo.

Los átomos de los isótopos difieren, por consiguiente, en todas las propiedades en las cuales influye el peso. Pero las diferencias son, por lo general, tan pequeñas, que la separación es muy difícil. Hay varios métodos para conseguirla. Menciono primero algunas experiencias, en las cuales se ha logrado obtener una separación en escala mayor. El cloro se ha sometido a una difusión a través de tubos porosos de porcelana. Después de repetir esto varias veces, se ha obtenido una fracción de cabeza con un peso atómico de 35, 416 y una de cola, con un peso de 35, 457. La diferencia, como se ve, es muy pequeña. Por medio de la destilación fraccionada en el vacío se logró separar dos fracciones de potasio con una diferencia de 4,8% en

el peso atómico. El potasio tiene una pequeña radioactividad y se ha podido comprobar que la fracción más pesada superaba también en un 4,2% la radioactividad del potasio ordinario. Parece, por consiguiente, que sólo el isótopo más pesado del potasio tiene radioactividad. El mismo método de destilación fraccionada aplicado al mercurio dió ócs productos con un peso atómico de 200,517 y 200,706, respectivamente. Se observa que en todos estos casos la separación es muy lejos de ser completa, lo que se debe a la pequeña diferencia de las masas de los isótopos.

Mucho mayor importancia que los métodos citados tiene el que ha sido ideado por J. J. Thomson y mejorado notablemente por Aston. El principio del método de Thomson es el siguiente:

Si se hace pasar a través de un tubo lleno de gases rarificados una descarga eléctrica, se produce una serie de radiaciones. Entre ellas tenemos a los rayos canales o rayos anódicos, que aparentemente salen del polo positivo y que pueden pasar a través del cátodo, si éste tiene agujeros adecuados. Estos rayos se componen de partículas cargadas de electricidad positiva, «iones», que se forman de los átomos neutros cuando se les quita un electrón de la periferia. Debido a su carga estos rayos sufren desviaciones cuando se les somete a la acción de un campo eléctrico o magnético, desviaciones que dependen de su velocidad, de su carga y de su masa. Supongamos que el punto O de la figura 2 represente el punto en el cual un haz de tales rayos choque perpendicularmente con la superficie de una plancha fotográfica. Obtendremos un ennegrecimiento de este punto. Si ahora el rayo se somete a la acción de un campo eléctrico, representado por las placas del condensador PP' de la figura, habrá una

desviación en la dirección X que obedece a la fórmula

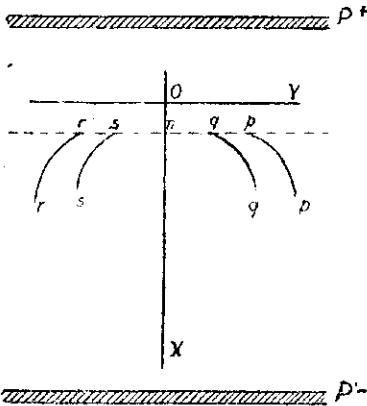


Fig. 2

$$2. \quad x = \frac{k e}{m v^2}$$

en la cual « e » es la carga de las partículas, « m » su masa y « v » su velocidad. « k » es una constante que depende del campo aplicado.

Si, por otra parte, se coloca un campo magnético entre las planchas PP' , se obtiene una desviación en la dirección Y , cuya magnitud obedece a la fórmula

$$3. \quad y = \frac{k' e}{m v}$$

donde k' significa otra constante. Aplicando simultáneamente los dos campos eléctricos y magnéticos obtenemos desviaciones que podemos calcular por medio de la fórmula obtenida por combinación de las dos anteriores. Dice:

$$4. \quad y^2 = \frac{e k'^2}{m k} x$$

Aquí queda eliminada la velocidad. La fór-

mula es la de una parábola. Dos clases de partículas con cargas iguales, con las masas distintas m y m' y con diferentes velocidades darán, por ejemplo, las dos parábolas pp' y qq' . Cortando por la línea nq (es decir, para el mismo valor de y) resulta la ecuación:

$$5. \quad m : m' = \overline{nq}^2 : \overline{np}^2$$

Las masas están en relación inversa a los cuadrados de las longitudes \overline{nq} y \overline{np} . Si se mantiene el campo eléctrico y se cambia la dirección del campo magnético, se obtienen dos parábolas simétricas a la izquierda, y esto permite aumentar mucho la exactitud de las determinaciones. Así se pueden comparar las diferentes masas de los átomos de dos isótopos entre sí y con la masa del átomo del oxígeno que hemos fijado en nuestra escala igual a 16.

El método mejorado de Aston permite una precisión mucho más grande. La figura 3 demuestra su principio. Las partículas que forman los rayos canales pasan a través de dos diafragmas e_1 y e_2 y se someten sucesivamente a la acción de un campo eléctrico y magnético (a y b). Estos campos se disponen de tal manera que las partículas con iguales masas pero velocidades distintas se juntan en el mismo punto c . Otras partículas con masas distintas van a marcarse en un punto algo distante, c' . Así se obtiene una raya por cada masa, una especie de espectro de las masas. La perfección que Aston ha logrado es tal que puede determinar las masas relativas con una exactitud de 1 a 10,000. Todas las medidas son relativas y se calculan con relación al oxígeno, cuya masa (peso atómico) se considera exactamente igual a 16.

Ensayando los diferentes elementos en el aparato de Aston, se ha podido

comprobar que casi todos existen en diferentes formas isotópicas. El número de tales alcanza valores altos; por ejemplo, hay 11 isótopos del estaño, cuyos pesos atómicos varían entre 112 y 124. Para caracterizar los diferentes isótopos de un elemento se ha convenido en colocar como exponente de la letra que indica el elemento el peso atómico correspondiente. Así Sn^{112} representa al isótopo del estaño con el peso atómico 112.

Se comprende, por lo expuesto, por

condensación de 4 núcleos de hidrógeno (4 protones). Ahora Aston ha podido demostrar que también los pesos atómicos de los otros elementos, o más bien dicho de los diferentes isótopos de éstos, difieren de los valores enteros teóricos, es decir, que también para ellos hay un cierto factor de condensación (packing fraction). Aston lo define como la diferencia entre el peso atómico experimental y la cifra entera, dividida por el número de protones que forman el núcleo.

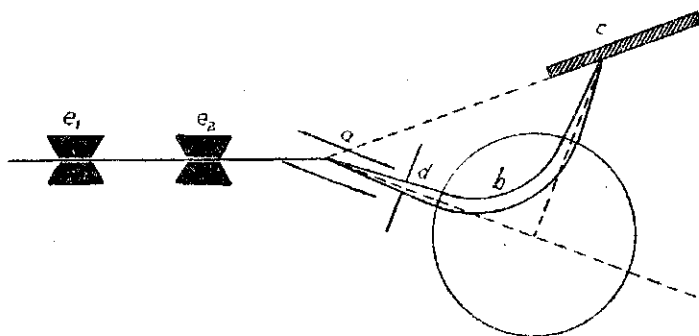


Fig. 3

qué el peso atómico de los isótopos mezclados, es decir, del elemento en total, no puede ser una cifra entera. Pero debería resultar tal cifra entera con toda exactitud, si se consideran los pesos atómicos de los isótopos aislados. No obstante, las investigaciones de Aston mostraron diferencias que hay que explicar.

Desde luego, el peso atómico del mismo hidrógeno difiere del valor 1, si se elige para el oxígeno el valor 16, y resulta igual a 1,078, según las determinaciones químicas, por ejemplo, mediante el análisis del agua. Por otra parte, el helio, que se supone formado por 4 protones, resulta con el peso atómico igual a 4,00. Se ha explicado esta pérdida de masa por la producción de energía correspondiente, al formarse el helio por la

El boro, con el peso atómico 10 (B^{10}), por ejemplo, tiene, según las determinaciones de Aston, una masa de 10,0135 unidades respecto al oxígeno, al cual se asigna la masa 16,000. Su factor de condensación es, por consiguiente, $0,0135:10=13,5 \cdot 10^{-4}$. Con los valores exactos de los pesos de los isótopos se puede ahora calcular el peso atómico del elemento mezclado, si se sabe la relación en la cual existen las diferentes variedades. El aparato de Aston permite también determinar ésta. La intensidad del ennegrecimiento de la plancha fotográfica depende, naturalmente, del número de iones que llegan en un tiempo dado. Por esto, la variedad más frecuente impresionada en mayor escala, y se pueden medir las cantidades relativas de los distintos

isótopos, determinando los ennegrecimientos relativos.

Como hemos visto, así se puede obtener una escala de los pesos atómicos de los diferentes elementos en relación con el del oxígeno, basándose únicamente en determinaciones de la masa de los isótopos que tiene, sin recurrir a un análisis químico. Los valores así obtenidos deberían coincidir con los que se deducen del análisis químico, y en realidad las diferencias, en general, son muy pequeñas. Pero hay tales diferencias, y, por consiguiente, hay que buscar la razón de ellas. Se encontró, al investigar la posibilidad de la existencia de isótopos del oxígeno. El método con el cual se descubrieron sus isótopos no era el de Aston, sino un método óptico, el análisis de los espectros de las moléculas. En las moléculas formadas por 2 átomos, como sucede con el oxígeno, hay oscilaciones, debido a las cuales se emiten rayos. La frecuencia de las oscilaciones y de los rayos correspondientes depende de la masa de los átomos que forman la molécula. Si estas masas varían un poco, como resulta en los isótopos, también las radiaciones deben diferir un poco en cuanto a la longitud de las ondas emitidas. Ahora los métodos ópticos permiten una gran precisión, y así ha sido posible descubrir muchos isótopos por este método, antes de encontrarlos por medio del espectrógrafo de masas de Aston. Giauque y Johnson descubrieron, en 1929, 3 isótopos del oxígeno con los pesos atómicos 16, 18 y 17. Mecke y Child lograron, en 1930, determinar con exactitud las cantidades relativas de ellos. Son de 650 : 1 : 0,2 para los átomos O^{16} : O^{18} : O^{17} . Este descubrimiento tiene una repercusión importante sobre el valor exacto de los pesos atómicos de los otros elementos. Si se supone para el oxígeno, tal como existe en la atmósfera un peso atómico de

16,000, el isótopo O^{16} en realidad tiene sólo un peso atómico de 15,9965. Los pesos atómicos determinados en el espectrógrafo de masas de Aston y que se comparan con la masa del isótopo O^{16} , por consiguiente, deben multiplicarse con el factor 0,99978 para coincidir con las determinaciones químicas.

En la mayoría de los casos la corrección introducida es tan pequeña que cae dentro de los límites de la exactitud de las determinaciones. Pero hay una excepción importante que se refiere al hidrógeno. Su peso atómico, en relación con el del oxígeno, se puede determinar con gran exactitud por medio del análisis del agua. Este valor químico resulta igual 1,00777. Por otra parte, el valor obtenido por medio de los métodos físicos es de 1,00778. Multiplicándolo con el factor 0,99978 da 1,00756, cifra inferior a la del peso atómico químico. Birge y Menzel, que han sido los primeros en llamar la atención a esta discrepancia, dicen que queda explicada suponiendo la existencia de un isótopo del hidrógeno con el peso atómico 2, del cual debería existir una parte por 4500 del hidrógeno ordinario con el peso atómico 1. Qué confianza en la exactitud de las determinaciones y qué fantasía digna de un Sherlock Holmes demuestra esta conclusión! Pero, al revés de lo que pasa muy a menudo en las novelas criminales, el «detective» tenía plena razón. No pasó un año desde la publicación de este cálculo, cuando Urey y sus colaboradores lograron demostrar la existencia de este isótopo H^2 , por medio del espectro óptico del hidrógeno, obtenido como última fracción de la evaporación del gas licuado. Este descubrimiento es de la mayor importancia. Desde luego, las masas de los 2 isótopos difieren en un 100 %, es decir, mucho más que en cualquier otro caso. Por esto, la separación debe ser mucho más fácil.

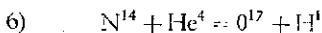
Además el hidrógeno forma con el oxígeno, el agua, y si existe el isótopo pesado, también debe existir su compuesto con el oxígeno, el «agua pesada». Como las diferencias de los isótopos en este caso son tan grandes, casi no se puede hablar del mismo elemento. Se le ha dado, por esto, un nombre propio al H^2 , el del Deuterio o Diplógeno, y el signo D . El agua pesada así pasa a ser el óxido de deuterio. Se ha logrado producirla por medio de la electrolisis del agua bajo ciertas condiciones. Cuando se descompone, por medio de la corriente eléctrica, se desprende oxígeno e hidrógeno. Por razones hasta ahora desconocidas, se deposita principalmente el isótopo H^1 y se concentra el D_2O en los residuos. Urey y Lewis obtuvieron, de 20 litros de agua $0,12 \text{ cm}^3$ de un producto que contenía menos de $0,01 \%$ de H_2O . Como existen en la industria grandes instalaciones para electrolizar agua, hay materia prima en abundancia para preparar el D_2O , el agua pesada. Sus propiedades difieren mucho del agua ordinaria. Su densidad a 25° es de $1,056$; hierve a $101,42^\circ$; se congela a $3,8^\circ$ y tiene su máximo de densidad a $11,6^\circ \text{ C}$. Pero lo más interesante es que se trata aparentemente de un veneno fuerte. Se ha observado que semillas de tabaco no se desarrollan en él, y no sabemos todavía qué servicios podrá prestar tal vez en medicina.

La predicción de Birge y Menzel se ha cumplido también en forma maravillosa, en cuanto a la cantidad en la cual existe este isótopo del hidrógeno. Según las últimas determinaciones hay 1 parte por 5000 de H^2 , es decir, el $0,2$ por mil, y con este porcentaje se explica en forma por demás satisfactoria la diferencia en el peso atómico del hidrógeno, determinado por métodos químicos y físicos, respectivamente. Resta por decir que el H^2 , aparentemente, no es el único isótopo

del hidrógeno, sino que existe otro con el peso atómico 3, pero en cantidades infinitamente pequeñas, (una parte por 1000 millones de H^1).

El descubrimiento del hidrógeno pesado ha dado un nuevo impulso al estudio de la constitución del núcleo de los átomos. Nuestros conocimientos sobre la física del núcleo se basaban, en primer lugar, en los fenómenos radioactivos. No quiero dejar pasar esta oportunidad sin rendir un homenaje a la memoria de la señora María Sklodowska de Curie, recién fallecida; a cuyos trabajos se deben en gran parte nuestros conocimientos sobre la radioactividad. Como ya lo he mencionado, la emisión de rayos « β » por ciertos elementos radioactivos revela la presencia de electrones en el núcleo de estos elementos. Además hay otra radiación radioactiva, debido a la cual se obtienen rayos con partículas cargadas de electricidad positiva, llamadas partículas « α », que son idénticas con los núcleos del elemento helio, gas que se forma en estas descomposiciones radioactivas. Los núcleos de los elementos que los emiten, por consiguiente deben contener tales partículas « α ». Su constitución se desprende del hecho que el helio tiene el número de orden 2 y un peso atómico igual a 4. Consiste su núcleo, pues, de 4 cargas positivas, (4 protones) y 2 electrones. Para construir los núcleos de los elementos más pesados, no bastan siempre estas dos clases de partículas. Debe haber además protones aislados. Ilustraré esto por medio de dos ejemplos. Podemos representar el núcleo del carbón como formado por 3 partículas « α »; tenemos así una masa de 12 unidades y una carga de 6 unidades, lo que corresponde aparentemente a la realidad, tratándose del isótopo del carbón con el peso atómico 12. Por otra parte no podemos ex-

• plicar así la constitución del átomo de nitrógeno con el peso atómico 14 y el número de orden 7. Aparte de 3 partículas « α », necesitamos 2 protones para enterar la masa 14. Pero así aumentaríamos la carga en 2 unidades, mientras que sólo debe aumentarse en 1. Hay que admitir, por ésto, otro electrón aislado que neutraliza una carga positiva y así obtenemos como resultado final, un núcleo compuesto de 3 partículas « α », 2 protones y 1 electrón. Basándose en estas consideraciones Rutherford había ensayado destruir ciertos elementos por medio del bombardeo con partículas cargadas con grandes energías. El aparato usado por él se representa en la figura 4. La substancia radioactiva «a» emite rayos, que chocan con las partículas de nitrógeno, que llena el tubo. En «b» hay una pantalla cubierta de un material que irradia al ser chocado con partículas cargadas. (Sulfuro de bario). Las sintillaciones se observan con el microscopio. Si el tubo está completamente vacío, no se observan tales sintillaciones, lo que indica que la radiación de la substancia radioactiva no llega hasta la pantalla. Si ahora se introduce nitrógeno, se observan las sintillaciones, que aparentemente provienen de una nueva radiación producida por la destrucción de algunos átomos de nitrógeno. Se ha podido determinar que esta radiación consiste de partículas de hidrógeno ionizado (protones) emitidos con gran energía. Así Rutherford fué el primero que logró efectuar una transformación de la materia, realizando así el anhelo de los alquimistas. La reacción que se efectúa es, aparentemente, la siguiente:



es decir, un núcleo de helio,--una partícula « α »--, transforma un núcleo de

nitrógeno en uno de oxígeno con el peso atómico 17, emitiendo un protón. Blacket logró demostrar la presencia de tales núcleos de oxígeno. Las dificultades con las cuales se tropieza en tales experiencias se comprenden, si se considera que encontró 8 de estos núcleos en

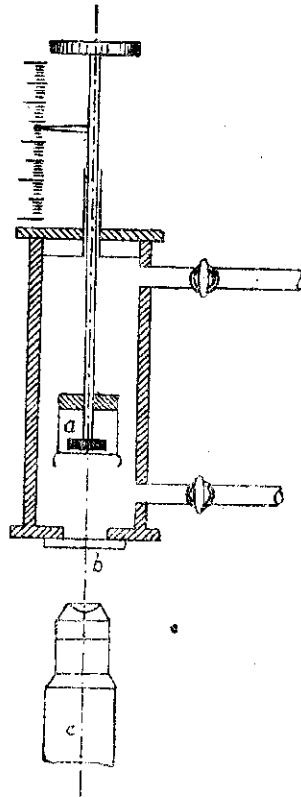
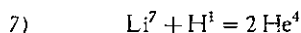


Fig. 4

las fotografías de 400.000 rayos « α ». Se debe a que el choque central necesario para la destrucción es muy raro, y que se precisa aparentemente toda la energía del rayo « α » para efectuarla. Esta energía corresponde, aproximadamente, a una tensión de 4,5 millones de Volt, como causa de la aceleración de la partícula.

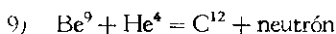
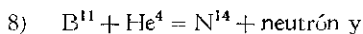
Se deduce, pues, que debe ser posible causar tales destrucciones con otras partículas cargadas a las cuales se le ha imprimido una aceleración correspondiente, por ej. por medio de un campo eléctrico de una tensión elevada. Se ha visto que tensiones relativamente más bajas ya dan resultados. Especialmente se logra obtener la destrucción de los átomos por medio de rayos formados por protones,—núcleos de hidrógeno—, obtenidos de los rayos canales en una atmósfera de este gas. Al bombardear litio con tales rayos de protones, se obtuvo la producción de partículas « α » probablemente según la ecuación siguiente:



En la misma forma se ha podido descomponer al aluminio, fluoro y otros elementos, usando rayos de protones. Lo interesante en estas destrucciones consiste en que en muchos casos los protones sólo ponen en libertad las energías fuertes, que la descomposición misma produce. Un sistema en realidad inestable se transforma debido a un impulso exterior, tal como sucede con un explosivo. Estamos actualmente en la primera etapa de la síntesis de los elementos y no se puede apreciar todavía que desarrollo científico, y tal vez práctico, va a tener.

Al hablar de la constitución de los núcleos hemos visto que contienen protones, partículas « α » y electrones. La existencia de las dos primeras partículas queda evidenciada por las destrucciones descritas. No es así en cuanto a los electrones. La existencia de éstos en forma libre ha quedado en duda por la razón siguiente. La dimensión de los núcleos de los elementos es del orden de 10^{-12} cm., la de los electrones de $1,4 \cdot 10^{-13}$ cm., es decir, es sólo poco más pequeña que la

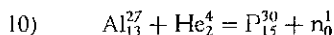
de los núcleos. ¿Cómo cabrán entonces los electrones en los núcleos? Tales consideraciones, y otras, basadas en la mecánica ondulatoria, llevaron a la idea de que los electrones quedan en los núcleos en combinación íntima con los protones, formando partículas neutras, a los cuales se les ha dado el nombre de «neutrones». Estos neutrones serían partículas con una masa igual más o menos a la unidad y con la carga cero, diferentes del protón, que tiene la masa una, pero la carga una también, diferente también de los átomos de hidrógeno, en los cuales la distancia del protón y del electrón sería mucho más grande. Tales partículas sin carga podrían pasar mucho más fácilmente a través de la materia porque no serían desviadas por los campos eléctricos fuertes alrededor de los átomos. También en este caso, el descubrimiento de estos protones siguió casi inmediatamente a la predicción de su existencia. El físico Joliot junto con Irene Curie, la hija de María Curie, encontraron una radiación emitida por el berilio y el boro, cuando estos elementos se trataban con rayos « α » provenientes del polonio, sustancia radioactiva. Esta radiación del berilio y boro era capaz de emitir protones de las sustancias que contienen hidrógeno y el estudio detenido de esta radiación, especialmente hecha por Chadwick, aclaró su naturaleza. Se trata de partículas sin carga y con una masa igual a la unidad, es decir, de neutrones. Su producción se explica por las ecuaciones;



es decir, el núcleo del boro se apodera de una partícula « α » y se descompone formando nitrógeno, el del berilio forma

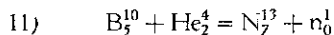
carbono. Tenemos aquí otra síntesis de elementos. Los neutrones emitidos tienen grandes energías y pueden volver a servir para nuevas descomposiciones.

Joliot y Curie no se contentaron con estos resultados. Nuevos ensayos les mostraron que algunos elementos tratados con los rayos «α» del polonio, eran capaces de adquirir una radioactividad propia, manteniéndola aún después de haber terminado la acción del polonio. Tenemos aquí el primer caso de radioactividad artificial. Los primeros resultados así obtenidos se refieren al aluminio, al boro y al magnesio. El aluminio muestra el fenómeno en forma especialmente fuerte. La intensidad de esta radioactividad artificial disminuye en la misma forma que una radioactividad natural. Tiene su período característico, en el cual disminuye a la mitad, el que es de 3 minutos 15 segundos, en el caso del aluminio. El fenómeno sólo puede explicarse suponiendo que se ha formado del aluminio otro elemento que es radioactivo. Los autores suponen que se trata de un isótopo radioactivo del fósforo, según la ecuación:



Los índices colocados arriba se refieren a los pesos atómicos, los de abajo a los números de orden. El signo «n» indica un neutrón.

Para el boro, la reacción, aparentemente, es la siguiente:

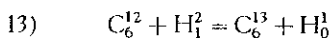
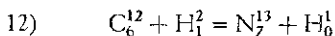


Se forma un isótopo de nitrógeno con el peso atómico 13. El tiempo medio de descomposición de este producto radioactivo es de 14 minutos, y estos tiempos eran suficientes para poder separar químicamente los productos obtenidos de

los elementos aluminio y boro, de los cuales se habían formado. Se ha podido comprobar que se trata, efectivamente, de elementos con las propiedades del fósforo y del nitrógeno, respectivamente.

Las experiencias de Joliot y Curie no fueron las únicas. Fermi, hizo ensayos análogos, pero empleó un haz de rayos de neutrones muy rápidos en vez de los rayos «α». Obtuvo estos neutrones por medio del berilio activado por la radiación de la emanación de radio. Con estos neutrones logró activar 47 elementos diferentes de un total de 68, y es muy probable que en los restantes no se observó la radioactividad inducida, debido únicamente a la velocidad de descomposición excesivamente grande de los nuevos elementos producidos. El resultado más sorprendente de estas últimas experiencias consiste, tal vez, en que se ha podido obtener, por medio del bombardeo del uranio, una nueva sustancia radioactiva, de la cual se supone que tiene el número de orden 93. Es decir, se habría producido de esta manera un elemento completamente desconocido hasta ahora, en todo el sistema solar (1).

El descubrimiento del isótopo del hidrógeno se ha aprovechado también en estas experiencias. El núcleo de este isótopo tiene la carga 1, pero una masa doble que la del protón. Por consiguiente, su energía cinética es doble. A esta partícula se le da el nombre de deutón o diplón. Usándola como proyectil se ha podido obtener un elemento radioactivo del carbón, reacción que obedece a una de las siguientes ecuaciones:

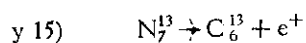
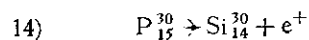


(1) Este descubrimiento ha sido puesto en duda últimamente.

Parece que la segunda reacción, en la cual se produce un protón, se efectúa con una frecuencia 10 veces mayor que la primera, en la cual, por otra parte, se obtiene el mismo producto que por la descomposición del boro con rayos « α », en las experiencias de Joliot y Curie.

Tengo que terminar con los datos expuestos, pero hay que advertir que sólo representan ejemplos de estos elementos artificiales con radioactividad inducida.

Todas estas sustancias radioactivas artificiales difieren de las naturales en un punto importante. Las últimas emiten, o bien electrones, o bien partículas « α ». Las nuevas sustancias radioactivas, no emiten estas dos clases de radiaciones, sino rayos con partículas cargadas de electricidad positiva, con una masa muy pequeña, aparentemente igual a la de los electrones. Tenemos aquí a partículas aisladas de la electricidad positiva, sin o casi sin masa, mientras que, hasta ahora, esta electricidad positiva se ha encontrado sólo en combinación con materia. A estas partículas se le ha dado el nombre de «positrones». La descomposición de los elementos radioactivos se rige por las ecuaciones siguientes:



Parece atrevido suponer la existencia de tales cargas elementales de la electricidad positiva, que hasta hace poco se ha negado. Digo hasta hace poco, porque ya se han encontrado en otra oportunidad. En el mismo laboratorio de Rutherford, Chadwick ha podido observar tales partículas a raíz de investigaciones sobre la radiación cósmica. Fotografías estereoscópicas de las órbitas de rayos producidas por esta radiación y

desviadas por un campo magnético, demostraron la presencia de cargas positivas con masas muy similares a las masas de los electrones, negativos. Anderson obtuvo en experiencias análogas 15 órbitas correspondientes a «positrones»: en un total de 1300 fotografías.

Con el descubrimiento de estos «positrones» y de los «neutrones», tenemos ahora una nueva base para la construcción de los núcleos de los elementos. Estas nuevas partículas se juntan a los electrones, protones y partículas « α » que ya conocíamos antes. En vez de simplificarse, el problema parece más complicado. Ya se habla de un compuesto entre un electrón y un positrón, lo que sería una partícula neutra, con una masa infinitamente pequeña; ya se tiene un nombre para ella, el «neutrino».

Se ve que los estudios están en pleno desarrollo, no hay posibilidad de formar-se un juicio definitivo; no podemos tampoco imaginarnos las consecuencias de todos estos descubrimientos. Sólo se puede decir que hay una infinidad de reacciones posibles, que apenas podemos imaginarnos, entre radiaciones de diferentes especies y partículas más o menos materiales. El espacio libre entre las estrellas está lleno de radiaciones que apenas se conocen. Estas radiaciones cósmicas aparentemente son capaces de causar la destrucción de elementos y de su síntesis. ¿Habrá aquí, tal vez, la fuente de la formación de la gran variedad de elementos que conocemos? Las últimas consecuencias de estos estudios nos llevan a una posible explicación del porqué no queda válido el segundo principio de la termodinámica, en ciertas regiones del mundo. Parece que toda la energía y la materia se encuentra en una transformación constante, en la cual no hay comienzo ni fin.

He llegado al término de mi exposi-

ción. Aunque no he podido abarcar ni siquiera una parte de lo que encierra el tema, espero haber logrado darles en grandes líneas una idea de los trabajos que se están desarrollando. He citado a ingleses, alemanes, franceses, italianos, norteamericanos, daneses, etc., como autores de estos trabajos. Todos ellos, sin distinción de nacionalidad o raza, están compitiendo en una carrera pacífica ha-

cia la misma meta, el desarrollo de nuestros conocimientos. Y esta unidad intelectual, que forma la ciencia, este entusiasmo por el ideal, tan lejos de un individualismo mezquino, nos anima y nos hace esperar que se va a realizar tal vez un día una cooperación igual en otros campos de actividad para el bien de todos, para el progreso de la humanidad.