

DIFERENCIACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Hoy en día se conocen 92 elementos químicos diferentes, o especies químicas de átomos.

La clasificación de los elementos ha sido problema tan difícil como importante. Las propiedades organolépticas, las más perceptibles, se alteran fácilmente y las pierden y recobran los cuerpos a cada paso y a veces son idénticas en cuerpos, por otra parte muy diferentes. Las propiedades químicas son más estables, y atendido su conjunto se clasificaron desde un principio los átomos. La clasificación más célebre es la de Mendeleeff, en que las propiedades químicas de los átomos se revelan función periódica de la masa (1). La masa, por consiguiente, parecía ser el criterio último para clasificar los átomos. Todos los de la misma masa se consideraban de la misma especie química y los de diferente masa de diversa especie, conforme había asentado Dalton al formular la teoría atómica. Mas el criterio de la masa quedó invalidado con el descubrimiento de los isóbaros e isótopos. Los isóbaros son átomos que con la misma masa tienen propiedades químicas diferentes, y a la inversa, con masas diferentes los isótopos muestran propiedades químicas idénticas (2).

Además, se observó que átomos diferentes—clasificados por el conjunto de sus propiedades químicas—desplegaban espectros ópticos diferentes en las mismas circunstancias, y aun que átomos que en sus propiedades químicas se diferenciaban ligeramente,

-
- (1) Zeitsch. Chem., 1898, 405.
E. RABINOWITSCH und E. THILO: *Periodisches System*, 27-48.
- (2) F. W. ASTON: *Mass-Spectra and Isotopes*.

como los de sodio y potasio, en los espectros ópticos discrepan en modo notable, así por la frecuencia como por el número y disposición de las rayas. He aquí, pues, otro criterio para clasificar los átomos, con la gran ventaja de que el análisis espectral exige cantidades mínimas de materia. Al espectroscopio debemos el descubrimiento del helio, cesio, rubidio, talio... (3).

Más característico aún que el espectro óptico es el espectro röntgeniano, o de rayos X. Concretándonos a las dos primeras rayas de la serie K, la raíz cuadrada de su frecuencia aumenta una cantidad constante al pasar de un elemento al siguiente en la clasificación de Mendeleeff modernizada. Que al pasar de un elemento al próximo conocido en la serie, el aumento en la frecuencia dobla el normal, pues es indicio de que aun se desconoce un elemento que ocupa una posición intermedia en la tabla de Mendeleeff. Así predijo en 1913 el joven y malogrado físico inglés Moseley la existencia de seis nuevos elementos, de los cuales para estas fechas los físicos han descubierto ya, *ciertamente*, cuatro—masurio, florencio, renio y hafnio—, y los otros dos dudosamente todavía—alabamio y virginio—, y todos ellos mediante el espectro röntgeniano y en los sitios de la tabla mendeleeffiana señalados por Moseley (4).

La condición bastante y precisa para calificar de nuevo un cuerpo elemental es que proyecte un espectro röntgeniano nuevo.

I

EL PROBLEMA QUE SE DISCUTE

Los elementos químicos se agrupan en familias, entre cuyos miembros se observan notables analogías: así las familias de los halógenos, anfígenos, alcalinos...; mas entre los miembros de dos familias diferentes las discrepancias saltan a los ojos. Ejemplo, el hidrógeno, H, y el oro, Au. Ya a primera vista se

(3) K. W. MEISSNER: *Spektroskopie*, 162.

(4) Phil. Mag., 26, 1024, 1913; 27, 703, 1914.
A. HAAS: *Atomtheorie*, 3, Auflage, 108.

aprecian entre ellos notables diferencias. El uno, gas, ligerísimo, incoloro; el otro, sólido, muy denso, de color amarillo brillante. Para liquidar el H hay que enfriarlo a -240° C; el Au no se funde sino a los 1.063° C; el primero hierve bajo la presión atmosférica a -252° C; el segundo, a 1.800° C. Bajo la acción de una chispa eléctrica, una llama, y aun con la simple presencia del musgo de platino, se combina con el oxígeno el H; mas nada de eso ocurre con el Au, que se encuentra libre en la naturaleza. El H es abundantísimo en nuestro globo y siempre combinado; por sus compuestos, agua, ácidos e hidrocarburos, desempeña un papel preponderante, así en el mundo inorgánico como en el orgánico, mientras el papel del Au en la naturaleza, por su escasez, es punto menos que nulo.

A la vista de tan salientes diferencias espontáneamente surge el problema, ya de antiguo planteado, de cuál es su raíz última. Esa diversidad en las propiedades ¿se explica solamente con diferencias en el número y disposición de las mismas partículas elementales constitutivas de los átomos, sometidas a la misma clase de fuerzas, o es menester admitir en los átomos diversos un principio sustancial específicamente diverso?

En otros términos: los diferentes elementos ¿son especies filosóficamente diferentes, como abejas, caracoles y truchas, o sólo razas diversas de una misma especie, como alanos, mastines, perdigueros y galgos?

Naturalmente que para un químico los 92 elementos son otras tantas especies químicas diversas, o son especies diversas consideradas *químicamente*; pero el criterio del químico es muy diferente del criterio del filósofo, como lo es el del ebanista. Para un ebanista, la azuelá, el serrucho, la lima y el martillo son diferentes especies de herramientas, aunque para un químico todas son de la misma especie: trozos de acero.

El problema debatido es, pues, si las especies elementales, diversas desde el punto de vista químico, por ser diverso su espectro röntgeniano, lo son también desde el filosófico en el sentido explicado.

Y adviértase bien que al presente la cuestión versa sólo sobre las diferencias entre los átomos químicos, no entre los últimos

elementos del átomo, cuyas diferencias constituyen otro problema distinto, con solución tal vez también distinta.

Ante todo, anotemos que entre las propiedades de un átomo hay categorías; unas son inseparables de la individualidad, de modo que mientras ellas se conservan subsiste el mismo átomo, que desaparece cuando aquéllas se evaporan. Otras propiedades hay que aparecen y desaparecen, aumentan y disminuyen, sin que el individuo deje de continuar el mismo. Lo cual no significa que en ciertas circunstancias no sirvan para diferenciar los átomos de los diversos elementos. El ser calvo o tener un lunar en el rostro basta en determinadas circunstancias para identificar una persona, para distinguirla entre mil, y sin embargo ni la calva ni el lunar son notas inseparables ni menos constitutivas de la personalidad; el individuo sigue el mismo con calva o sin ella, con o sin el lunar. Y nadie en sus cabales sostendría ser otro un individuo porque con un medicamento le salió el pelo o le desapareció el lunar.

¿Cuáles concretamente son en el átomo las propiedades inseparables de la individualidad y cuáles las accesorias de quita y pon?

En el átomo, según demostraron Rutherford, Marsden y Geiger los primeros (5), cabe distinguir dos regiones: el núcleo, donde se concentra toda la masa ponderable, con una carga eléctrica positiva y un radio de $\sim 10^{-12}$ cm. y la corteza de radio $\sim 10^{-8}$ cm., compuesta únicamente de electrones. La corteza es solamente parte integrante del átomo, pero no esencial: son las extremidades del átomo; el núcleo, en cambio, es el tronco. La corteza con suma facilidad se altera y aun pierde y gana electrones; por el contrario, el núcleo es insensible a los agentes químicos y a las mayores presiones, temperaturas, voltajes...

Las propiedades esenciales del átomo y las inherentes a su individualidad son las del núcleo: masa, momento mecánico o *spin*, momento magnético, radioactividad, espectro radioactivo, niveles de energía, y sobre todo, el número atómico; propiedades todas que el átomo conserva idénticas en las más variadas circunstancias físicas y químicas.

(5) Phil. Mag., 21, 669, 1911.

El espectro de rayos X no es precisamente propiedad nuclear, sino cortical; pero como se fragua en las capas más profundas de electrones de gran estabilidad, prácticamente es como una propiedad nuclear.

El problema discutido se concreta, pues, en si las diferencias entre las propiedades nucleares de los diversos átomos reclaman o no un principio específico diverso *filosóficamente* considerado, o si se explican suficientemente con solas variaciones en el número y disposición de las mismas partículas elementales sometidas a las mismas fuerzas.

II

DIFERENCIAS NUCLEARES

Peso o masa atómica (6).

Lo primero que salta a la vista en la lista de los elementos es la diferencia en su peso y masa atómica, que corre desde 1,008 para el hidrógeno—0 = 16—hasta 238 para el urano. La diferencia, como se ve, es inmensa. Pero no es menor la que hay entre las masas o pesos de las piedras de un río, desde las arenas más finas hasta las peladillas de 100 gr., y todas son pedazos de sílice; y es que, según reza el proverbio filosófico, "magis et minus non mutat speciem".

Que el peso atómico diferente no arguye diferencia específica no sólo en sentido filosófico, pero ni aun químico, lo prueba la existencia de los isótopos. El hidrógeno tiene tres: el ordinario, H; el deuterio, D, y el tritón, T, cuyos pesos atómicos respectivos son: 1,008, 2,014726 y 3,0171. Del hierro conocemos cuatro isótopos, de peso atómico 54-56-57-58, y del estaño, diez, y todos son átomos de hierro y estaño, respectivamente, o pertenecen a la misma especie química.

El escaso poder diferencial de la masa atómica se muestra

(6) J. MATTAUCH: *Physik. Z.*, **35**, 567-627, 1934.
O. HAHN, S. FLÜGGE und J. MATTAUCH, *Physik. Z.*, **41**, 1-14, 1940.

también patente en la isobaría. Conocemos numerosos grupos de elementos diferentes que tienen el mismo peso y masa atómica; son isóbaros el radio y el actinio con peso atómico 226, el radio C, radio D, radio E y polonio, todos con el mismo peso atómico 210. Isóbaros son también ^{54}Cr y ^{54}Fe , ^{74}Ge y ^{74}Se , ^{80}Se y ^{80}Kr , ^{96}Zr y ^{96}Mo (a).

Número atómico (7).

Lo más característico de cada elemento químico, lo que propiamente constituye su individualidad, es el número atómico o número de cargas positivas que el núcleo contiene. Efectivamente, del número atómico y no de la masa atómica es función la frecuencia de las rayas K en el espectro röntgeniano de los elementos, según demostró Moseley, y del número atómico precisamente y no de la masa atómica son función periódica así las propiedades químicas como muchas de las físicas. Las demás lo son también, aunque no precisamente función periódica.

El número atómico especifica *químicamente* los elementos; ¿no los especifica también *filosóficamente*? Indicado queda cómo en el *concepto* son cosa diferente la especie química y la filosófica, y lo que se discute es si coinciden o no en la realidad.

La diferencia de los elementos en el número atómico no supone otra cosa que número diverso de protones en el núcleo. Cuestión de más o menos.

La desintegración y síntesis atómica nos han revelado que todos los elementos se resuelven en protones, neutrones y electrones. Los isótopos de un elemento tienen todos el mismo número de protones, p ; mas diverso el de neutrones, n . Los isóbaros tienen diverso el número de p , más igual el de $n + p$. Los diversos elementos tienen diverso el número de p , sea igual o diferente el de n .

Los diferentes átomos son diferentes sistemas estables, formados con la misma clase de elementos, aunque en número y disposición diversa, sujetos a las mismas fuerzas, como en el

(a) Hoy es corriente expresar el peso atómico y el número atómico de cada elemento escribiendo ambos a la izquierda del símbolo, arriba el peso atómico, y el número atómico, abajo.

(7) W. RIEZLER: *Einführung in die Kernphysik*, 1936

sistema solar: Venus, la Tierra, Júpiter y Saturno son planetas hermanos, aunque diferentes en las masas y disposición de sus elementos. Venus no tiene satélites, la Tierra sólo uno, Saturno 9 y Júpiter 8.

Pero sin más diferencia que en el número y agrupación de los protones y neutrones, ¿se explica la diversidad de propiedades en los núcleos atómicos?

Cuanto a la masa y número atómico, es claro; cuanto a las demás, vamos a verlo.

Momento mecánico o spin (8).

La explicación de la estructura superfina de algunos multipletes en el espectro de rayas y de las bandas de rotación en el espectro de las moléculas exige el giro del núcleo en torno a un diámetro propio.

El valor del momento mecánico o *spin* de una partícula subatómica es $S = mvr = i \cdot h/2\pi$, en que m , v y r son, respectivamente, la masa, velocidad y radio de la partícula; $i = 0, 1/2, 1, \dots$ y h , la constante de Planck; $6, 547 \cdot 10^{-27}$ erg. seg.

La unidad de *spin* es $h/2\pi$. He aquí el valor del *spin* para algunos núcleos:

Núcleos	Valor de i
H, N	1/2
F, Al, P, Tl	1.1/2
Li, Na, Cu, As	3.1/2
Cl, Br, Sb, Ba	5.1/2
Sc, La	7.1/2
Nb, In, Bi	9.1/2

Que núcleos tan diferentes como Al, F, P y Tl, por ejemplo, tengan el mismo *spin*, prueba que su valor no es propiedad muy característica. Lo mismo indica el hecho de que núcleos de la misma especie química, como D y H, tengan diferente momento mecánico; para H, $i = 1/2$, y para D, $i = 1$. Todo es cuestión del número de n y p ; en todos los núcleos donde p y n son a la vez pares, el *spin* del núcleo es 0, como si mutuamente se anu-

(8) C. F. VON WEIZSACKER: *Die Atomkerne*, 1937, 53-8.

lasen los de los diferentes n , y lo mismo los de los diferentes p , como se anulan dos fuerzas iguales y de sentido contrario. *Spin* 0 tienen los núcleos ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{C}$, ${}^8\text{O}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{20}\text{Ca}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^{34}\text{Se}$.

Cuando p o n son impares el *spin* del núcleo tiene un valor fraccionario, comprendido entre $1/2$ y $9/2$, y cuando n y p son a la vez impares, el *spin* tiene un valor entero. Así, ${}^2_1\text{D}$ y ${}^{14}_7\text{N}$ para los que $i = 1$.

Por fin, como salta a la vista, todas las diferencias entre los *spin* son cuantitativas y de escaso valor.

Momento magnético (9).

Al girar en el núcleo protones y neutrones dentro del campo eléctrico de los electrones corticales resultan fuerzas magnéticas, que se pueden describir suponiendo en el núcleo un dipolo magnético estable paralelo a la dirección del eje de giro, ya en el mismo sentido, ya en el contrario. El espectro de bandas y la acción de los imanes sobre gases y vapores han confirmado la existencia del momento magnético en muchos núcleos y permitido su cálculo con cierta aproximación. Por unidad de momento magnético, μ , se toma aquí no el magnetón de Bohr, sino otro ficticio, que resulta de sustituir la masa, m , del electrón por la del protón, M , 1.840 veces mayor.

$$\mu = \frac{4 \pi M c}{e h}$$

(e , carga del protón; h , constante de Planck; c , velocidad de la luz). La nueva unidad es, naturalmente, 1.840 veces menor que el magnetón de Bohr. He aquí el valor de μ , o componente del momento magnético en la dirección del eje del *spin*; si va en el mismo sentido lleva el signo +, y si en contrario, —.

Núcleos	μ
${}^1\text{N}$	-2
${}^1\text{H}$	2,9
${}^2\text{D}$	0,85
${}^4\text{He}$	0
${}^7\text{Li}$	3,3
${}^{20}\text{Bi}$	3,6

(9) Physik. Z, 41, 516, 1940.

Cuán poco característica sea la diferencia en el momento magnético lo evidencia el que núcleos del mismo elemento, como ^1H y ^2D , tengan momentos magnéticos diversos. Además, los momentos magnéticos se componen geoméricamente como las fuerzas, y el valor 0, como en el caso del He, significa, no que lo sea el de cada uno de sus elementos, sino que se neutralizan por ser iguales y de sentido contrario. Todo depende del número de n y p y del sentido en que giran.

Por último, como en el caso del *spin*, todas las diferencias entre los momentos magnéticos de los núcleos son cuantitativas y de poca monta.

Radioactividad (10).

Propiedad nuclear notabilísima es la radioactividad. El urano es radioactivo; es decir, que sus átomos espontáneamente estallan en varios pedazos; en cambio, los átomos de sodio son estables. ¡Diferencia esencialísima!

Pero es el caso que entre los diversos isótopos del mismo elemento unos son radioactivos y otros no. El potasio tiene cuatro isótopos de pesos atómicos, respectivamente, 39-40-41-42; el primero y el último no son radioactivos; pero sí el segundo y el cuarto, con emisión de electrones. El ^{85}Rb no es radioactivo; pero sí el ^{87}Rb , y cosa semejante ocurre con los isótopos del Li, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P...

Por otra parte, son radioactivos elementos tan dispares entre sí como el K, Rb, Th, U, Ac, Ra...

La radioactividad no es característica de ninguna especie química, y lo mismo se diga de su inversa, la estabilidad.

Son tantos ya los radioelementos hoy conocidos, naturales unos y artificiales otros, y tanta la diferencia en la constante de desintegración, o lo que es equivalente, en el semiperíodo—tiempo que tarda una cantidad dada de un radioelemento en reducirse a la mitad—, que resulta muy verosímil la presunción de que todos los elementos son radioactivos, sólo que muchos de un semiperíodo tan largo, que nuestros aparatos de hoy no alcanzan a revelar su radioactividad. 0,02 seg. es el semiperíodo de ^{12}B ;

(10) C. CASTELFRANCHI: *Física Moderna*, 325-62.

los del AcC, Rac y ThC son, respectivamente, de $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ seg., $1,7 \cdot 10^{-6}$ seg. y $\sim 10^{-9}$ seg. En cambio, el del Ra son 1590 años; el del UII, $3 \cdot 10^5$ años; el del UI, $4,6 \cdot 10^9$ años, y nada menos que $1 \cdot 10^{10}$ años el del Th. Radioelementos con semiperíodos más largos difícilmente son hoy revelables, sobre todo si sus partículas son de poca energía.

En todo caso, hoy día todos los átomos, espontánea o forzada-mente, estallan en pedazos.

Por último, como la experiencia lo dicta en unos casos, y en otros se deduce de la ley exponencial de la desintegración, aun entre los átomos del mismo isótopo radioactivo hay una diferencia enorme. En el grupo de átomos de radio, por ejemplo, nacidos una mañana de una preparación de ionio, unos revientan en el día; otros, al siguiente; tales, después de un mes; cuántos, durante miles de años, y todos son átomos de radio.

Ni la radioactividad ni la estabilidad bastan para fundar una diferencia específica química, y menos filosófica.

La radioactividad y estabilidad parecen depender de la proporción entre el número de neutrones y protones en el núcleo. Supongamos un núcleo que consta de n neutrones y p protones; ¿qué relación ha de haber entre n y p para obtener el máximo de estabilidad, o la energía máxima de formación? Sea el número total de partículas $n + p = A$, constante. Considerando primeramente las fuerzas atractivas que actúan entre protón y neutrón, es claro que el máximo de estabilidad se obtiene para $n = p$; pues este caso responde al máximo de uniones entre protones y neutrones. Mas dada la mutua repulsión entre los protones, por este lado el sistema es más estable cuanto menos protones contenga. Atendidas ambas circunstancias, el máximo de estabilidad corresponde a $n \geq \frac{1}{2} A$ y $p \leq \frac{1}{2} A$ (A , peso atómico, o $p + n$). En los núcleos ligeros, en que la fuerza repulsiva es relativamente débil, protones y neutrones pueden estar en igual número. En los pesados, en cambio, debe ir preponderando cada vez más el número de neutrones. Es $n = p$ para unos diez elementos de bajo peso atómico: D, Ne, Li, C, N, O... A medida que crece p , es mayor el exceso de neutrones sobre protones. Para los radioactivos naturales la diferencia entre n y p es enorme,

146-92 para el urano; así que no es extraño resulten inestables los átomos.

Espectro radioactivo (11).

Las partículas en que los elementos radioactivos se desdoblán ya muy de antiguo se llaman radiaciones; así que, por analogía con el espectro óptico, se habla también del espectro de rayos α , protones, neutrones, electrones, positrones, y con mayor razón del de rayos γ , idénticos, salvo la longitud, con los rayos X.

Cada elemento radioactivo se caracteriza, junto con la constante radioactiva o el semiperíodo, por la clase de partículas que emite, su número y energía. [En vez de la energía se puede usar la velocidad, o alcance en los gases. El Ra, con un semiperíodo de 1590 años, emite rayos α , que en el aire, a presión normal y temperatura de 15° C, penetran 3,13 cm.; el Rn, con un semiperíodo de 3,88 días, emite también rayos α , o heliones, cuyo alcance en el aire llega a 3,94 cm.

El urano Z, con un semiperíodo de 6,7 horas, lanza rayos β , o electrones. El radio B, con un período de 26,6 minutos, proyecta a la vez rayos β y γ . El radioactinio, con semiperíodo de 18,9 días, arroja a la vez rayos α , β y γ .

Entre los radioelementos artificiales, el radiofósforo ^{32}P , con semiperíodo de 3,25 minutos, desprende positrones, e^+ , que atendida su energía, forman un espectro continuo, cuyo límite superior parece ser 2,9 ME.V. (a); los más abundantes corresponden a 0,8 ME.V. A la vez que positrones, se desprenden también dos grupos de rayos γ , cuyas energías son 0,55 y 2 ME.V. El radionitrógeno, ^{13}N , con un semiperíodo de 11 minutos, brota igualmente positrones, que forman un espectro continuo, cuyo límite superior es de 1,3 ME.V. También se observa una débil

(a) Actualmente, para medir la energía de las partículas subatómicas se emplea como unidad el electrón-volt, o sea la energía adquirida por un electrón, moviéndose entre dos puntos, cuya diferencia de potencial es un volt. Equivale 1E.V a $1,592 \cdot 10^{-19}$ ergios. Como múltiplos se usan también mucho el KE.V (kilo-electrón-volt) y el ME.V (millón de electrón-volt).

(11) Atlas typischer Nebelkammerbilder..., von W. Gentner.

H. MAJOR-LEIBNITZ und W. BOEHE, 1940, 43-125.

K. DIEBNER und E. GRASMAN: *Physik, Z.*, **37**, 359, 1936; **38**, 406, 1937; **39**, 472, 1938; **40**, 299, 1939; **41**, 157, 1940.

radiación γ , de 6 ME.V. El radiopotasio, ^{42}K , con un período de 16 horas, dispara electrones, e^- , que forman igualmente un espectro ininterrumpido, y cosa semejante ocurre con el Ne, Al...

¿Bastan tales diferencias para fundar una diversidad específica en el sentido filosófico?

Lo poco característico que es la emisión de rayos α , β y γ lo muestra el hecho de que cuerpos tan diferentes como el U, Th, Ra, Rn emiten todos rayos α ; y β y γ , el AcB, RaB y MTh. Positrones proyectan elementos tan poco afines como el P y el N, y electrones, cuerpos tan dispares como K y Ne.

Entre los isótopos del mismo elemento, es decir, dentro de la misma especie química, es frecuente que uno sea inactivo y dos, o más, radioactivos, pero emitiendo radiaciones diferentes. El ^{31}P es inerte; el ^{30}P y ^{32}P , radioactivos; el primero, con período de 3,25 minutos, lanza positrones, e^+ ; el segundo, con semiperíodo de $\sim 14,5$ días, electrones, e^- . Es más, de los átomos del mismo radioelemento y con el mismo peso atómico, unos lanzan rayos α , y otros, β y γ . Así, del Radio C unos átomos se transforman en Radio C' y otros en Radio C"; los primeros emiten sólo β y γ ; los otros, sólo α . Cosa semejante ocurre con el Actinio C y Torio C.

Desintegración violenta (12).

Muchos elementos que no estallan espontáneamente se los puede romper violentamente con diversos proyectiles atómicos: heliones, protones, neutrones, electrones, rayos γ y cósmicos.

¿Qué diferencias ofrece la rotura de tales núcleos? Por de pronto, con los rayos α del polonio no se ha logrado romper ningún núcleo de número atómico superior a 25, y aun de los de n. atm. inferior, no todos; se resisten Li, Be, C, O... Con los protones sólo revientan unos pocos: Li, B, F, Na, Mg, Al; algunos más, con los deuterones; muchos, con los neutrones, y todos, con los rayos cósmicos; y tratamos aquí de rotura instantánea.

Toda la diferencia, como se ve, está en la mayor o menor resistencia de los átomos al empuje de los proyectiles. Son éstos partículas electrizadas con una o dos cargas positivas, y como

(12) Phil. Mag., 37, 537, 562, 571, 581, 1919.

el núcleo tiene también carga positiva, los proyectiles son rechazados por una fuerza contraria—barrera del potencial—, tanto mayor cuanto lo es el número atómico. Nada de extraño que α , protones y deutones solamente logren perforar la barrera que protege los núcleos de bajo número atómico.

Pero entonces los neutrones, que no tienen carga ninguna, deben penetrar en todos los núcleos y romperlos. Y eso es lo que sucede; pero no los rompen siempre, y menos instantáneamente, sino ordinariamente después de más o menos tiempo, ó, en otros términos, bajo la acción de los neutrones se forman núcleos radioactivos con todos los elementos, sin más excepción que el H, He, Ma y Xe.

Las excepciones han ido desapareciendo de año en año, y cualquier día desaparecen las actuales.

En la rotura violenta de los átomos, unos lanzan rayos α ; otros, protones; neutrones, muchos, y algunos, electrones o positrones.

Tales diferencias no son muy características; bombardeados con rayos α , emiten protones elementos tan dispares como N, B, Ne, Mg, Cl... Bajo la acción de los protones disparan α , Li, Na, F, Al..., y bajo la de los deutones también dan α , C, Si, Ca, Pt... Igualmente dan α , ametrallados con neutrones, F, Na, P, Se, Mn...

Desgranan neutrones elementos tan poco similares como D, bombardeado con deutones o rayos γ , y el Be, con α ; lo mismo que el Li, N, B...

El mismo elemento, según sea el proyectil con que se le bombardea, suelta unas u otras partículas. El N, ametrallado con rayos α , suelta protones:

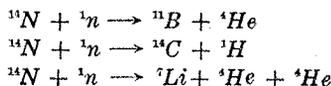


Con los protones, da heliones:

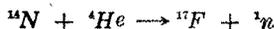


Pero, aun con los mismos proyectiles, el mismo elemento pue-

de despedir partículas diferentes. Bombardeado con neutrones, se han observado en el N las tres reacciones siguientes:

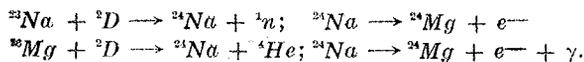


Las diferencias pueden muy bien ser debidas a diferente energía de los neutrones; pues el mismo N, que con rayos α de poca energía emite protones, con α de gran energía lanza neutrones:



Con la emisión de una partícula ligera, el átomo primitivo se transforma en otro de poco menor peso atómico, que, aunque también es proyectado, por su poca velocidad no cuenta entre las radiaciones. ¿Qué luz aportan estos núcleos al problema que discutimos?

Que del mismo elemento N, por ejemplo, según los casos se forman muy diferentes núcleos: O, C, B, C, Li, F...; que los mismos núcleos pesados, así radioactivos como estables, pueden formarse a partir de elementos muy diversos:



Nada hay, pues, en el espectro radioactivo de los elementos que delate una diferencia específica en el sentido filosófico, antes al contrario. Las numerosas transformaciones de unos elementos en otros que hoy conocemos se efectúan todas por desintegración o síntesis, por aumento o disminución, pérdida o captura de una o más partículas: α , protones, neutrones, electrones, positrones y el consiguiente reajuste del sistema. Mas la radioactividad nos enseña que separándose espontáneamente del núcleo del radio los protones, neutrones y electrones, en que excede al helio, es decir, quedando el átomo de radio con sólo los protones, neutrones y electrones que tiene el helio normalmente, resulta un átomo en todo idéntico al de helio.

Niveles energéticos (13).

El núcleo de los elementos tiene diversos niveles de energía, o, en otros términos, la energía de un núcleo no puede ser cualquiera, sino que sólo puede tener un número limitado de valores, que a veces se reduce a uno solo. Así lo revela la energía definida, con que de los radioelementos naturales salen los heliones, y de los núcleos violentamente rotos, heliones, protones y neutrones. A la misma conclusión lleva en los núcleos ligeros el fenómeno de la resonancia. Si se bombardea, por ejemplo, una capa fina de boro con protones, por absorción del protón se forma ^{11}C , con desprendimiento de rayos γ . Mas, singularidad notable, para el caso no sirven cualesquiera protones, sino precisamente aquellos cuya energía está comprendida entre límites muy estrechos, entre 10 y 100 E.V. Cosa parecida ocurre con los neutrones y los rayos α . Es un caso de resonancia, como el que ocurre en un tubo acústico cuando le abordan ondas diversas, que sólo absorbe las de su propia frecuencia.

He aquí los niveles de energía que presentan los radioelementos naturales, figura 1. Algunos elementos no tienen más que el normal; otros, dos; algunos, tres, y varios, muchos.

¿Qué diferencias en los núcleos delatan esos diversos niveles?, de más y menos en la energía solamente. Pues los núcleos del mismo elemento, en un instante dado, forman diversos grupos, Pt... son conocidas tres, K, L y M.

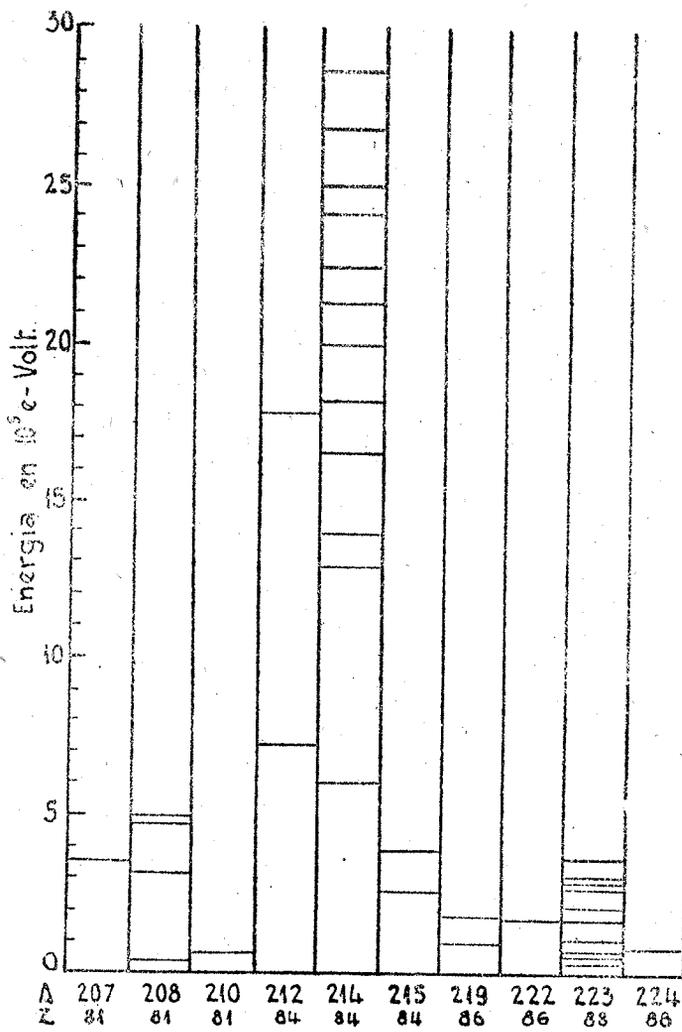
Frecuencia (14).

En la parte del Universo a nuestro alcance, los diferentes elementos se presentan en cantidad muy diferente. En la corteza terrestre los cuerpos radioactivos están en proporciones mínimas; lo mismo ocurre con los gases nobles del aire y las tierras raras; en cambio, en la atmósfera terrestre abunda extraordinariamente el N; en el agua, el H, y en el aire, agua y tierra, el O. Tal diferencia no puede ser casual, sino que ha de tener su raíz en diferencias profundas entre los núcleos de los átomos.

(13) C. VON WEIZSÄCKER..., 157.

(14) C. VON WEIZSÄCKER..., 163.

Sin embargo, desde luego podemos asegurar que esa diversidad en la frecuencia no indica nada específicamente diverso, aun



A, peso atómico; Z, número atómico.

químicamente; pues los diferentes isótopos del mismo elemento de ordinario se hallan en proporciones muy diversas. Del ⁸Li, ra-

radiactivo; no se halla rastro en la naturaleza; en cambio, del ${}^7\text{Li}$ y ${}^6\text{Li}$, sí, aunque en proporciones muy diversas. Al primero le corresponde 91,7 por 100, y sólo 8,3 por 100 al segundo. De los tres isótopos del A, las frecuencias son: para ${}^{36}\text{A}$, solamente 0,33 por 100; para ${}^{38}\text{A}$, menos aún, 0,05 por 100, y para ${}^{40}\text{A}$, nada menos que 99,62 por 100.

Después de examinar detenidamente en todas direcciones los núcleos atómicos, nos encontramos primeramente con que en ninguno hemos descubierto una propiedad que no sea común a todos los otros; en segundo lugar, que las diferencias en una propiedad cualquiera, cuando las hay, no son más que cuantitativas, graduales, como las que se observan en razas de la misma especie: alanos, mástines, perdigueros y galgos.

Y si las diferencias en el núcleo, que es la parte esencial del átomo, no implican diversidad específica ninguna, desde el punto de vista filosófico mucho menos la implicarán las diferencias en la corteza del átomo, parte sólo integrante, no esencial, y sumamente sensible a todas las influencias exteriores de presión, temperatura, campo eléctrico y magnético, luz, catalizadores...

III

Espectro röntgeniano (15).

Aunque no es necesario, para mayor abundamiento, vamos a examinar una propiedad de la corteza, la más característica de cada elemento entre todas las corticales, el espectro de rayos X, que por su fijeza equivale a una propiedad nuclear.

¿Qué diferencias nos ofrece el espectro X de los diversos elementos?

Elementos hay, como el B, He, Li..., que no muestran espectro de rayos X; el Cu, Au, Pt..., sí.

(15) J. PALACIOS: *Física teórica, calor y constitución de la materia*, 376, 1936.
JUAN CABRERA FELIPE: *Introducción a la Física teórica*, 641, 1941.

En el Na, K... sólo se conoce la serie K; en cambio, en W, Pt... son conocidos tres, K, L y M.

En los mismos elementos que tienen la serie K, ésta no muestra el mismo número de rayas y las rayas correspondientes no tienen la misma frecuencia. Así ocurre con la raya K_{α} de diversos elementos:

Elementos	Frecuencia
Na	0,2510 . 10 ¹⁸
P	0,4863 »
Ca	0,8942 »
Mn	1,433 »
Zn	2,088 »
Br	2,898 »
Zr	3,808 »
Nd	4,878 »

Para excitar la misma serie K en los diferentes elementos se necesita mayor potencial en el tubo cuanto mayor es el número atómico de los elementos.

Como se ve, todas las diferencias en el espectro de rayos X están en el número, agrupación, frecuencia e intensidad de las rayas; las mismas diferencias que se advierten en las notas de órganos del mismo metal, con mayor o menor número de tubos de diversa longitud y tamaño.

La poca diferencia en la naturaleza de los elementos que supone el diverso espectro X lo evidencia el que en el mismo elemento se pueden excitar separadamente unas u otras series, que se diferencian en muchas octavas. Ni es esto sólo; cuando se provoca la serie K, por ejemplo, no emiten todas las rayas cada uno de los átomos, sino que unos emiten una y otros otra diferente; de modo que del mismo elemento, y al mismo tiempo y en el mismo tubo, los átomos distintos emiten rayas, cuyas frecuencias se diferencian más que las rayas K_{α} de dos elementos consecutivos.

Cuando a la vez un elemento proyecta varias series, unos átomos dan rayas cuya frecuencia difiere en muchas octavas de las correspondientes a las rayas dadas por otro grupo de átomos y en las mismas circunstancias. Todavía más: prolongando la

experiencia anterior, el mismo átomo, que en un principio dió una raya determinada, en el decurso de la operación da rayas muy diferentes no sólo de la misma, sino de diferente serie.

Por otra parte, fijándonos en la frecuencia de la raya $K\alpha$, la más característica y la que ha revelado no pocos elementos, se muestra sumamente parecida en los diversos elementos, tanto que es la misma, corrida hacia las mayores frecuencias, una cantidad constante, según aumenta el número atómico del elemento, donde radica todo el misterio; en efecto, la frecuencia de la raya $K\alpha$ en los diferentes elementos viene expresada por la fórmula de Moseley:

$$\nu = 3/4 R (Z - 1)^2.$$

En que R es una constante y Z el número atómico o número de cargas positivas del núcleo, que regula el de los electrones de la corteza. Toda la diferencia en el espectro X de los elementos procede del diverso número de cargas eléctricas en el núcleo.

Cuanto al mecanismo de la emisión, nos es bien conocido. La serie K aparece cuando saltan al primer piso, o más interior, los electrones desde otro más exterior; la L , cuando al segundo desde los pisos más lejanos, y así sucesivamente. Donde no hay piso tercero, mal pueden saltar a él los electrones y formar la serie M y siguientes. Mas ¿cómo no aparece, por lo menos, la serie K en los elementos que tienen dos pisos, como los situados entre el He y el Ne ? Sí aparece; pero, a causa de la pequeña carga nuclear, esas rayas son de poca frecuencia y se confunden con las del espectro óptico, aparte de que algunas de mayor frecuencia son muy absorbibles y, por tanto, inobservables de ordinario.

Y ¿por qué no se descubre la serie K en los elementos de gran número atómico? Pues porque tienen muchas capas electrónicas y se necesita una energía formidable para que los rayos catódicos penetren hasta la primera capa y expulsen de allí un electrón, requisito previo para la aparición de la serie K .

Que para emitir la misma serie K , pongo por caso, en los diversos elementos crezca el potencial necesario con el número atómico, era de presumir, dado que con la carga nuclear crece la atracción sobre el electrón y es necesaria mayor energía para

desbancarle. Cosa parecida ocurre aun en el mismo átomo para excitar las diferentes series, sólo que aquí la energía necesaria para arrancar un electrón varía en razón inversa de su distancia al núcleo. En el Pt, por ejemplo, para excitar la serie K se requieren en el tubo 75.000 V; la L, 13.000, y la M, sólo 2.500.

Tampoco el espectro X de los elementos reclama entre ellos una diferencia específica, desde el punto de vista filosófico; de todo da cuenta exacta la diferencia en el número y disposición de protones, neutrones y electrones.

En resumen, dado que no se conoce una propiedad nuclear, o cuasi nuclear, en un elemento que no sea común a todos los otros; que la diferencia en esas propiedades, cuando la hay, es meramente cuantitativa, gradual; que esa diferencia se explica perfectamente por la diferencia en el número y disposición de protones, neutrones y electrones, y, por fin, que hoy en día los átomos se transforman unos en otros mediante la desintegración y la síntesis y todos se resuelven en las mismas partículas elementales, con fuerza irresistible se impone la conclusión de que los diferentes átomos todos son edificios diferentes, construidos con los mismos sillares, en número diverso y variamente dispuestos en diferentes sistemas de equilibrio más o menos estables.

De nuestro estudio brota además otra consecuencia interesante: supuesto que entre los elementos químicos no hay diferencia sustancial en el sentido filosófico, tampoco en las transformaciones de unos elementos en otros, mediante la desintegración o síntesis atómica, hay cambios sustanciales, en el sentido filosófico.

JAIMÉ M.^a DEL BARRIO, S. J.

Universidad de Comillas.