

SESIÓN DEL 23 DE FEBRERO DE 1919

DISCURSO DE INGRESO EN LA ACADEMIA

DE

**D. JERÓNIMO VECINO Y VARONA**

SOBRE

**LA CONSTITUCIÓN DE LA MATERIA SEGÚN LAS IDEAS ACTUALES**

SEÑORES ACADÉMICOS:

Sean mis primeras palabras de gratitud hacia esta docta Corporación que, sin reparar en mis escasos méritos, me llama a su seno para colaborar en la obra de la cultura patria. Grande es el honor que me dispensa la Academia de Ciencias de Zaragoza eligiéndome para ocupar un lugar entre las ilustres personalidades que la constituyen, y a este inmerecido honor correspondo, agradeciendo sinceramente y con todo afecto a los dignos Académicos sus bondades para conmigo y acudiendo solícito a su llamamiento. Bien quisiera que mi colaboración en vuestra noble y patriótica tarea, fuera tan intensa y provechosa como vuestros elevados fines merecen, pero la realidad de mi actuación habrá de estar en relación con la modestia de mis aptitudes y de mi cultura, aunque también lo estará con mi firme voluntad en servir vuestros ideales, correspondiendo agradecido al honor que recibo porque me habéis llamado a colaborar con vosotros, en vuestra útil y necesaria labor cultural.

Un sentimiento apena en estos instantes mi ánimo, y es el no ver entre vosotros a mis ilustres compañeros de Facultad los Sres. Plans y Martínez Risco; se fueron a otras tierras donde quizá encuentren terreno más apropiado, ambiente más propicio para el desarrollo de su actividad científica. Reciban estos queridos amigos y beneméritos Catedráticos la expresión de mi amistad sincera y de mi profunda admiración.

Y ahora, señores Académicos, ya que los preceptos reglamentarios así lo exigen, voy a molestaros unos instantes, exponiendo a vuestra consideración *Algunas ideas sobre la constitución de la materia*, suplicando vuestra benevolencia al juzgar este modesto trabajo.

***La realidad molecular: El número de Avogadro. — El Electrón. — El magnetón. — El átomo.***

**EL NÚMERO DE AVOGADRO**

Es ya antigua la hipótesis que supone a los cuerpos puros, compuestos de *moléculas* idénticas animadas de un movimiento incesante y que a su vez están compuestas de *átomos* indivisibles. La *realidad molecular* era, por lo tanto, admitida por los antiguos químicos, pero el orden de magnitud de la molécula o del átomo, les era completamente desconocido. Este problema ha sido recientemente resuelto con una precisión tan admirable como inesperada. Se ha llegado a demostrar que la molécula-gramo o el átomo-gramo contiene un mismo número  $N$  de moléculas o de átomos; este número  $N$  que es una constante universal, se llama *número o constante de Avogadro*. Claro está que una vez determinado  $N$  quedaría por el mismo hecho determinada la magnitud de la molécula o del átomo: bastaría dividir por  $N$  el peso molecular o el atómico.

Me permitiréis señores Académicos que me detenga unos instantes en exponer ligeramente algunos de los métodos que conducen a la determinación de  $N$ ; bien lo merece la importancia del número, que, por otra parte, ha de ser la base de mi discurso.

La teórica cinética <sup>(1)</sup> establece una ecuación

$$pv = \frac{2}{3} nw$$

entre la presión  $p$  desarrollada por  $n$  moléculas de un gas cualquiera que ocupa el volumen  $v$  y la energía cinética  $w$  de trasla-

ción de una molécula. Si se trata de la molécula-gramo, la ecuación se transformará en

$$pv = \frac{2}{3} Nw$$

y si se tiene en cuenta la ecuación de los gases perfectos

$$pv = RT \quad (R = 83,2 \cdot 10^6 \text{ C. G. S.})$$

se deducirá el valor  $w$  de la energía cinética de una molécula

$$w = \frac{3R}{2N} T$$

en función del número de Avogadro y de la temperatura absoluta  $T$ .

Ahora bien, la masa  $M$  de la molécula gramo, está ligada con la velocidad media  $U$  de la molécula por la relación

$$MU^2 = 3RT$$

fórmula que nos permite calcular  $U$  ya que las restantes cantidades que entran en ella son conocidas. Se ha encontrado para valor de  $U$  en el O a 20° el valor 470<sup>m</sup> por segundo.

Se comprende fácilmente que las velocidades moleculares individuales serán forzosamente variables y desiguales, efecto de los frecuentes choques que se producen entre las moléculas. Si se admite que la agitación de la masa gaseosa obedece a las leyes del azar se llega a la siguiente ecuación de Maxwell.

$$\Omega = U \sqrt{\frac{8}{3\pi}}$$

que nos da el valor de la *velocidad media total*, velocidad que está ligada con el libre *recorrido medio*  $L$  de una molécula entre dos choques y con la densidad  $\delta$  del gas y el coeficiente  $\zeta$  de viscosidad por la relación.

$$L = \frac{\zeta}{0,31 \cdot \delta \cdot \Omega}$$

que nos da el valor de  $L$ . Se ha encontrado para valor de  $L$  en el O y  $N \frac{1}{10}$  de  $\mu$ .

Evidentemente  $L$  será tanto más pequeño cuanto mayores

sean las moléculas y menores las distancias intermoleculares. Admitiendo la forma esférica de las moléculas y llamando  $\rho$  el radio de una molécula, encuentra Clausius para valor de la superficie de  $N$  moléculas el obtenido por la fórmula.

$$L\pi N\rho^2 = \frac{v}{L\sqrt{2}}$$

en función del volumen  $v$  de la molécula-gramo y del libre recorrido medio  $L$ .

La conocida fórmula de Van der Waals

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

nos proporciona otra relación entre  $N$  y  $\rho$ , pues representando en esta fórmula la constante  $b$  el cuádruplo del volumen verdadero de las moléculas de una molécula-gramo, tenemos

$$b = \frac{8}{3} \pi \rho^3 N.$$

Conociendo el volumen y el área de las  $N$  moléculas de una molécula-gramo, deducimos inmediatamente el radio molecular y el número de Avogadro.

Conviene para este cálculo operar con gases monoatómicos como el argón, pues en gases de otra valencia las moléculas no afectarían la forma esférica indispensable en el establecimiento de las fórmulas anteriores. Así, se ha encontrado para el gas mencionado

$$N = 62 \times 10^{22}$$

con un error de un 30 por 100.

Si dividimos por  $N$  la masa molecular obtendremos la masa de 1 molécula. Para el oxígeno  $52 \times 10^{-24}$ .

Aplicando el cálculo al aire que respiramos se encuentra<sup>(2)</sup> que cada molécula de este gas se mueve con la velocidad de una bala de fusil, recorre en línea recta entre dos choques próximamente 1 diez milésimas de mm., y es desviada de su dirección 5 mil veces por segundo. Colocando 3 millones de moléculas de aire en línea recta, se alcanza la longitud de 1 mm. y 20 mil millones, llegan a pesar una mil millonésima de miligramo.

La Física es ante todo una ciencia experimental, la Física

Matemática establece las hipótesis, pero estas necesitan pasar por el tamiz de la experimentación. Admirables son los resultados obtenidos por la teoría Cinética para la magnitud molecular, pero mientras estos no sean confirmados por la experiencia u obtenidos por procedimientos teóricos diferentes no llegarán a producir en nuestro espíritu un convencimiento absoluto.

### MOVIMIENTO BROWNIANO

En 1827, el célebre botánico inglés Brown, descubrió un fenómeno que abre un amplio horizonte en el estudio de la realidad molecular y las propiedades del estado fluido.

Si en una masa fluida se introduce un cuerpo sólido más denso que el fluido, el cuerpo se va al fondo, y si su forma es esférica, la trayectoria recorrida es vertical. No sucede lo mismo cuando el fluido, agua por ejemplo, tiene en suspensión partículas pequeñas; éstas en vez de ir al fondo o a la superficie, según su densidad, se encuentran animadas de un movimiento vivo y desordenado sin que se observe tendencia alguna al reposo. Este es el descubrimiento de Brown, que en honor a este sabio se llamó *movimiento browniano*.

Las expediciones de Brown, Wiener <sup>(3)</sup>, Gouy, Cantoni <sup>(4)</sup>, Exner, Jevons <sup>(5)</sup>, etc., han llegado a demostrar que *esta agitación no tiene su origen en las partículas, ni en ninguna causa exterior al líquido y deben atribuirse a movimientos internos, característicos del estado fluido*.

Es decir, que las partículas observadas no hacen sino revelar una agitación propia del fluido mismo, agitación que es permanente siendo lo que llamamos equilibrio de un fluido una ilusión debida a la imperfección de nuestros sentidos.

Las leyes de este movimiento deducidas por Einstein <sup>(6)</sup>, conducen a una nueva determinación de la constante de Avogadro. Se comprende fácilmente que la velocidad de agitación en el movimiento browniano ha de variar con la viscosidad del medio. No ha podido medirse la velocidad verdadera, se ha determinado la velocidad media de las partículas primero por Perrin <sup>(7)</sup> y Victor Henri y recientemente por mi compañero el Dr. de Gregorio y Rocasolano <sup>(8)</sup>, cinematografiando éste último el movimiento browniano, pero las medidas van necesariamente afectadas de un error tal que es preferible para el establecimiento de

las ecuaciones, tomar como parámetro característico del movimiento, el segmento rectilíneo que une el punto de partida de una partícula con el de llegada, segmento que se denominará *desplazamiento* de la partícula durante el tiempo que se considere.

Es evidente que si se consideran partículas idénticas durante un mismo intervalo de tiempo  $\tau$ , las proyecciones de esos segmentos sobre un eje  $Ox$ , en cuya dirección ninguna fuerza solicite a las partículas, deben distribuirse alrededor del valor cero siguiendo la ley clásica del azar.

Además, siendo el movimiento irregular, el cuadrado medio  $\sigma^2$  de esas proyecciones aumentará proporcionalmente al tiempo  $\tau$ , y quedará caracterizada la actividad del movimiento browniano por el cociente  $\frac{\sigma^2}{\tau}$ .

Por último, y este es un punto esencial de la teoría de Einstein, las partículas de una emulsión deben *difundirse* siguiendo la misma ley que la materia de una solución, debiendo el coeficiente de difusión satisfacer a la ecuación

$$D = \frac{\sigma^2}{2\tau}$$

Si admitimos por otra parte (ley de Stokes) que la fuerza de frotamiento que se opone al movimiento de una esfera de radio  $\rho$  y velocidad  $v$  en un fluido de viscosidad  $\zeta$  es  $6\pi\zeta\rho v$  y consideramos un cilindro de emulsión, cuyas partículas están solicitadas por una misma fuerza  $F$  paralela al cilindro, cada partícula adquirirá en virtud de esta fuerza una velocidad media  $\frac{F}{6\pi\zeta\rho}$  y si  $n$  es la concentración en una sección  $s$  del cilindro, el número de partículas arrastradas en la unidad de tiempo por la fuerza  $F$  a través de la sección  $s$  será  $\frac{nF}{6\pi\rho\zeta}$ .

Si suponemos alcanzado el régimen permanente, debe verificarse que este mismo número de moléculas atraviesa por difusión en el mismo tiempo y en sentido contrario la sección  $s$ ; debemos, pues, tener

$$\frac{nF}{6\pi\rho\zeta} = -D \frac{dn}{ds}$$

Si por otra parte admitimos la hipótesis de Van'tHoff, en virtud de la cual las emulsiones satisfacen a las leyes de los gases, podremos establecer el régimen permanente expresando que la acción de la fuerza  $F$  sobre las partículas de la sección  $ds$  equilibra a la diferencia de presión osmótica sobre las bases del cilindro, pudiendo escribir

$$nFdx = - dn \frac{RT}{N}$$

y por simple eliminación entre esta ecuación y la precedente

$$D = \frac{RT}{N} \frac{1}{6\pi\zeta\rho}$$

e igualando los dos valores de  $D$ , llegamos a la ecuación de Einstein

$$N = \frac{RT\tau}{3\pi\rho\zeta\sigma^2}$$

que nos permite calcular  $N$  por un camino completamente distinto del de la teoría cinética.

La teoría de Einstein ha sido sometida por Perrin (9) al control de la exderimentación y brillantemente confirmada por este insigne físico.

Conocido el número de Avogadro queda determinada la masa molecular absoluta: así la masa de la molécula de  $O$  será

$$\frac{32}{N} = 47.10^{-24}, \text{ la del átomo de } O \frac{1.007}{N} = 1,47 \cdot 10^{-24} \dots$$

La constante de Avogadro y la aplicación de la ley de Faraday en la electrolisis nos conducen a la determinación de la masa elemental  $e$  de electricidad, masa que ha recibido el nombre de *electrón*.

Si en efecto un ión-gramo transporta 96.550 coulombios o sea  $29 \times 10^{13}$  (U. E. C. G. S.), la carga elemental  $e$  será

$$e = \frac{29 \times 10^{13}}{N} = 4.25 \times 10^{-10} \text{ (U. E. C. G. S.)}$$

Rutherford (10), siguiendo el método ideado por Regener ha encontrado para valor de  $e$  midiendo la carga de una partícula  $\alpha$  el número  $4.65 \times 10^{-10}$  lo que daría para  $N$  el valor  $62 \times 10^{22}$ , números que concuerdan de manera sorprendente con los anteriormente obtenidos.

Puede contarse el número de partículas  $\alpha$  emitidas en un cierto tiempo y por ende el número de átomos de helio contenidos en la masa de este gas producida durante ese mismo tiempo; midiendo pues esta masa obtendremos la del átomo de helio, cosa que no ofrece dificultad ninguna, pues bastaría medir el volumen de ese gas a una presión y temperatura determinadas (fórmula conocida). Dewar, Boltwood <sup>(11)</sup> y Rutherford <sup>(12)</sup> han ensayado sobre el radio llegando a la conclusión de que 1 gr. de radio desprende 156 mm<sup>3</sup> en un año lo que da para  $N$  el valor  $63 \times 10^{22}$ .

Recientemente M<sup>me</sup> Curie <sup>(13)</sup> ha hecho la misma medida en el polonio, obteniendo para  $N$  el valor  $65 \times 10^{22}$ .

Una intuición genial de Planck <sup>(14)</sup> permite determinar los elementos moleculares estudiando la repartición de la energía en el espectro del cuerpo negro, es decir, sin hacer intervenir directamente la materia. Supone este físico eminente que la luz es absorbida por *quanta*, es decir *granos de energía*, y encuentra una fórmula comprobada experimentalmente

$$E(\lambda, T) = \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \frac{1}{e^{h/r} - 1} \left. \vphantom{\frac{8\pi ch}{\lambda^5}} \right\} r = \frac{R}{N},$$

que da el valor de la energía por cada cm<sup>3</sup> de radiación en equilibrio en función de la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación considerada, de la velocidad  $c$  de la luz y de la relación  $\frac{R}{N}$  en que  $R$  es la constante de los gases ( $83.2 \times 16^6$  C. G. S.) y  $N$  el número de Avogadro.

Todas las cantidades que entran en esa fórmula son conocidas o calculables y por lo tanto nos proporciona una nueva medida de  $N$ . Se ha obtenido por este procedimiento el valor

$$N = 64 \cdot 10^{22}.$$

He aquí los diversos valores de  $N$  obtenidos por varios procedimientos.

FENÓMENOS OBSERVADOS	$\frac{N}{10^{22}}$
Viscosidad de los gases (ecuación de Van der Waals) . .	62
Movimiento browniano . . . . .	{ Repartición de las partículas. . . . . 68,3
	{ Agitación de traslación . . . . . 68,3
	{ » de rotación. . . . . 65
	{ Difusión . . . . . 69

Repartición irregular de las moléculas . . . . .	}	Opalescencia crítica . . . . .	75
		Azul del cielo . . . . .	60
Carga de las partículas (en un gas). . . . .			64
Radioactividad . . . . .	}	Carga de las partículas $\alpha$ . . . . .	62,5
		Masa de hielo engendrado . . . . .	65
		Masa de radio desaparecido . . . . .	71
		Energía radiada . . . . .	60
Espectro del cuerpo negro. . . . .			64

El examen de estos resultados causa verdadera admiración; partiendo de fenómenos tan diferentes y siguiendo caminos tan distantes se llega al mismo resultado, este hecho da a la realidad molecular un valor indiscutible.

### EL ELECTRÓN

Hace un momento os hablaba del electrón o carga elemental de electricidad.

La noción de electrón marca un retroceso hacia las antiguas teorías de los fluidos abandonada por los físicos de la última mitad del siglo XIX y substituída por la teoría energética, abandono justificado en parte por el fracaso de la citada teoría al aplicarla a los fenómenos caloríficos y luminosos.

Pero si el calor no se conserva, no sucede lo propio con la electricidad: la estructura granular de la electricidad ha quedado plenamente demostrada, ha logrado aislarse un átomo de electricidad siempre idéntico a sí mismo, dando de este modo a la carga eléctrica el carácter de realidad física que había perdido al abandonar la teoría de los dos fluidos.

Permitidme, señores, que moleste unos momentos vuestra atención exponiendo, siquiera sea sucintamente, el modo como se ha llegado a aislar el átomo de electricidad o electrón.

Los gases, el aire por ejemplo, atravesado por los rayos Röntgen se hace buen conductor de la electricidad, se *ioniza*, produciéndose en su masa centros electrizados o iones positivos y negativos que se mueven en el gas por la acción del campo. La existencia de estos iones se pone de manifiesto por la condensación del vapor de agua sobresaturante, condensación que en este caso aparece bajo la forma de pequeñísimas gotas electrizadas, cuya carga individual puede medirse sin más que comparar las velocidades de caída por la acción única de la

gravedad y en presencia de un campo eléctrico vertical de intensidad conocida. Por este ingenioso método de medida ideado por Townsend y seguido y perfeccionado después por Thomson<sup>(15)</sup>, Wilson<sup>(16)</sup> y Millikan<sup>(17)</sup> se llega a la conclusión de que no solamente la carga *mínima* observada en una gota es siempre la misma, sino que se puede medir directamente la variación de la carga, observándose que su valor es siempre un múltiplo de la carga mínima que varía entre 4 y  $5 \times 10^{-10}$  conforme con el valor deducido por la ley de la electrolisis, quedando así demostrada de una manera palpable la realidad molecular de la electricidad y la identidad del electrón en los electrolitos y en los gases conductores.

Admitida la existencia de los electrones, reciben explicación satisfactoria multitud de fenómenos que sin ella no la tendrían. El fenómeno de Zeemann, en virtud del cual la luz emitida por una llama cambia de color cuando se coloca entre los polos de un imán queda perfectamente explicado en la teoría electrónica; es más, hubiera podido preverse que la 1.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> raya del triplete de Zeemann debían estar completamente polarizadas circularmente, hecho que la experiencia ha confirmado de una manera satisfactoria.

Cada átomo de un cuerpo contiene por lo menos un electrón positivo y un electrón negativo. En algunas substancias, particularmente en los metales, el electrón negativo se separa fácilmente del átomo, que unido al otro electrón poseerá una carga positiva. En otros cuerpos por el contrario, el electrón negativo, aunque poseyendo en el átomo cierta libertad de movimiento no puede separarse de él más que por la acción de un gran esfuerzo exterior.

Son estos los cuerpos malos conductores o dieléctricos.

Esta diferencia en la movilidad de los electrones negativos explica, por ejemplo, la gran facilidad con que la electricidad y el calor se propagan a través de los metales. Los electrones negativos libres en un metal se mueven entre los átomos que han quedado neutros o positivos como las moléculas de un gas encerrado en un recipiente, es decir, de un modo completamente desordenado. Si en una parte del metal, la temperatura es más elevada que en las restantes, una cosa análoga sucederá con la velocidad media de los electrones libres. Gracias a su extrema movilidad, aquellos que se hallen dotados de gran velocidad, pasarán a las capas próximas y serán reemplazados por otros de velocidad media menor.

De este modo, las diferencias de velocidad irán desapareciendo, y al cabo de algún tiempo, la velocidad media de los electrones, así como la temperatura serán las mismas en toda la masa del metal. Hay que notar, sin embargo, que el número de electrones negativos, siendo igual al de los positivos, no se observará ninguna acción eléctrica exterior, el fenómeno es de naturaleza puramente térmica.

No sucede lo mismo cuando el movimiento de los electrones no es desordenado, es decir, cuando una causa cualquiera, que ordinariamente se llama fuerza e. m. y que podría también llamarse electronomotriz, solicita los electrones en una dirección determinada. En este caso, se produce en el metal, por los electrones, un transporte de electricidad, es decir, una corriente eléctrica que va siempre acompañada de un desprendimiento de calor. ¿Cómo explica la teoría electrónica la producción del calor que hace brillar las bombillas eléctricas? De una manera bien sencilla: los electrones empujados por la f. e. m. constante que produce la corriente, adquirirían una velocidad creciente si no experimentasen ninguna resistencia por parte de los átomos del metal. Efecto de esta resistencia, la velocidad en la dirección de la corriente es sensiblemente constante, mientras que el movimiento desordenado de los electrones y de los átomos, es decir, el movimiento que corresponde a la temperatura aumenta, produciéndose así la elevación de temperatura a que aludía.

Sería interesante exponer cómo la teoría electrónica explica de una manera satisfactoria el transporte de electricidad en la electrolisis y en los gases, la inducción y todos los fenómenos eléctricos y electroópticos tales como los de Peltier <sup>(18)</sup>, Thomson <sup>(19)</sup>, Hall <sup>(20)</sup>, Kerr <sup>(21)</sup>, Zeemann <sup>(22)</sup>... así como los fenómenos radioactivos descubiertos por Mr. y M.<sup>me</sup> Curie <sup>(23)</sup>, pero la materia es tan extensa que no me atrevo a molestar con ella vuestra atención.

### EL MAGNETÓN

Si entre las armaduras de un electroimán y paralela a la línea de los polos se coloca una barra de una substancia cualquiera, se producen dos nuevos polos en la barra de igual magnitud y de signo contrario. El estado magnético de esta barra queda completamente caracterizado por un vector  $M$  igual al producto de la cantidad de magnetismo de uno de los polos por

la longitud de la barra y dirigido en el sentido del polo Sur al polo Norte; el vector  $M$  puede estar orientado en el mismo sentido que el campo  $H$  o en sentido opuesto. En este último caso, el más frecuente, el vector  $M$  es siempre proporcional al vector campo  $H$ , y la substancia se llama *diamagnética*; en los

demás casos el cociente  $\frac{M}{H}$  del vector  $M$  al vector campo puede

ser constante y la substancia se llama *paramagnética* o función de  $H$ , denominándose la substancia *ferromagnética*.

El vector  $M$  ha recibido el nombre de *momento* magnético de la barra.

No se crea sin embargo que estos dos fenómenos *diamagnetismo* y *para* o *ferromagnetismo* puedan ser considerados como términos diferentes de una serie en la que la propiedad magnética cambiase por grados insensibles; son dos fenómenos esencialmente diferentes y esta diferencia resalta sobre todo cuando se estudia la variación de  $M$  con la temperatura; la experiencia demuestra que en una primera aproximación se verifican las siguientes leyes de Curie:

1.<sup>a</sup> El momento magnético de los cuerpos diamagnéticos es independiente de la temperatura.

2.<sup>a</sup> En los cuerpos paramagnéticos el producto del momento magnético por la temperatura absoluta  $T$  es constante

3.<sup>a</sup> En los ferromagnéticos el momento magnético está ligado con la  $T$  por una función más compleja que en los paramagnéticos, pero tal que  $M$  decrece también cuando  $T$  aumenta.

La clásica experiencia de los imanes rotos sugirió a Poisson una teoría muy interesante aplicable al paramagnetismo y ferromagnetismo y según la cual las moléculas de esta clase de cuerpos son pequeños imanes orientados en general uniformemente en todos sentidos, pero que bajo la influencia de un campo exterior tienden a colocarse paralelamente.

Esta hipótesis que explica perfectamente el para y ferromagnetismo no puede aplicarse al diamagnetismo.

Sólo se conoce actualmente un fenómeno que recuerde las propiedades de las substancias diamagnéticas.

Consideremos un circuito de cobre en forma de anillo colocado entre los polos de un electroimán y normalmente al eje: al excitar éste se produce en el circuito una corriente inducida de

dirección opuesta a la del electroimán. Esta corriente equivale a un imán cuyo momento tiene la misma dirección con relación al campo que el de una barra diamagnética; pero existe la diferencia esencial de que la corriente inducida y por lo tanto su momento desaparece con el campo magnético que la produce, mientras que la substancia diamagnética conserva indefinidamente sus propiedades. Resolviase esta dificultad suponiendo que las corrientes inducidas en las moléculas de los cuerpos no encuentran ninguna resistencia, hipótesis que ha sido recientemente confirmada por Kamerlingh Onnes al descubrir el estado *superconductor* en los metales a temperaturas muy bajas, demostrando que la resistencia eléctrica, cualquiera que sea su origen, depende directamente del movimiento de agitación térmica de las moléculas, y en el caso en que este movimiento y con él la noción de temperatura no tengan significación, no hay razón para que la energía de la corriente eléctrica se disipe por el efecto Joule; esto es sin duda lo que sucede en el interior de los átomos.

Ahora bien, se admite que el electrón describe en el átomo una órbita cerrada, comportándose como un circuito cuya intensidad de corriente fuese  $\frac{e}{\tau}$  siendo  $e$  la carga del electrón y  $\tau$  la duración de su revolución; bajo el punto de vista magnético será equivalente a un pequeño imán cuyo momento fuese  $\frac{eS}{\tau}$ , siendo  $S$  el área limitada por la trayectoria del electrón. Según esto, aunque el átomo no contenga más que cargas eléctricas, que es lo único cierto hasta ahora, éstas engendran por sus movimientos pequeños imanes ficticios, orientados normalmente a los planos de las órbitas, y el átomo mismo sería también un imán si la resultante de los momentos de todos sus electrones no fuese cero. Einstein y Haas han demostrado experimentalmente la realidad del origen electrónico del magnetismo.

El momento resultante es diferente de cero tan sólo para los elementos situados en las proximidades de la octava columna de la clasificación periódica de Mendeleef, para las tierras raras y para el oxígeno. Para todos los demás elementos, es decir, en el caso más general, el momento del átomo es nulo, lo que nos induce a creer que los electrones describen sus órbitas unos en un sentido y otros en sentido contrario, siempre que admitamos con Kossel que las órbitas son coplanarias.

Se comprende fácilmente que este equilibrio magnético en el interior del átomo no subsistirá si se le coloca en un campo magnético exterior, por ejemplo, entre las armaduras de un electroimán; así sucede en efecto y Langevin<sup>(24)</sup> ha encontrado una fórmula

$$M = -N \frac{e^2}{12\pi m} (\nu_1 S_1 + \nu_2 S_2 \dots \nu_n S_n)$$

que da el valor del momento aparente del átomo grammo en función de la intensidad del campo exterior  $H$ , de la carga  $e$  y masa  $m$  de un electrón, de los números  $\nu$  de electrones contenidos en las órbitas de áreas  $S$  y del número  $N$  de Avogadro.

El eminente profesor y físico francés Weiss<sup>(25)</sup>, ha calculado el valor del momento  $M$  para los átomos de la mayoría de los elementos paramagnéticos y ha encontrado que todos estos momentos tenían un máximo común divisor igual 1123,5 para el átomo-grammo y por lo tanto  $18,5 \times 10^{-22} = \frac{1122,5}{N}$  para el átomo

real con un error que alcanza el 1 por 100. Weiss creyó que este número podía considerarse como una entidad que interviene en la constitución del átomo y por eso lo llamó *magnetón* sin formular ninguna hipótesis en cuanto a su naturaleza física.

El momento del átomo ha de ser por lo tanto un múltiplo del magnetón; en otros términos, el átomo de un elemento paramagnético debe estar compuesto de un número entero de magnetones.

Las experiencias de Weiss, Pascal<sup>(26)</sup>, Bloch<sup>(27)</sup>, Kamerlingh-Onnes<sup>(28)</sup>, sobre las aleaciones de Niquel y Cobalto y M<sup>lle</sup> Feyti<sup>(29)</sup> sobre los cuerpos paramagnéticos en estado sólido han confirmado la ley de los números enteros de Weiss; pero permitidme que llame vuestra atención sobre los trabajos realizados por dos físicos españoles eminentes: el sabio catedrático Sr. Cabrera y Felipe<sup>(30)</sup>, mi querido y admirado maestro y mi entrañable amigo y compañero Sr. Moles<sup>(31)</sup>, director el primero y ayudante el segundo, del Laboratorio de Investigaciones Físicas, creado y cariñosamente sostenido por la Junta de Ampliación de Estudios.

Partiendo de la ley de Curie

$$\chi_m T = C_m$$

según la cual el producto de la susceptibilidad másica de una substancia paramagnética por la temperatura absoluta es una constante  $C_m$  llamada constante de Curie y teniendo en cuenta que este producto está ligado con el momento magnético de la molécula-gramo (en el caso de que todos los imanes moleculares sean paralelos al campo) por la relación

$$\chi_m T = \frac{\sigma_{m_0}^2}{3R} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{m_0} = N\mu, \text{ siendo } \mu \text{ el momento de una molécula.} \\ R = \text{constante de los gases.} \end{array} \right.$$

se obtiene la ecuación de Langevin

$$\sigma_{m_0} = \sqrt{3RC_m}$$

que permite calcular  $\sigma_{m_0}$  sin más que determinar  $C_m$ , es decir, midiendo la susceptibilidad  $\chi_m$  a una temperatura determinada  $T$ .

Es claro, que conociendo  $\sigma_{m_0}$  bastaría dividir por 1123,5 valor del magnetón, para obtener el número

$$n = \frac{\sigma_{m_0}}{1123,5}$$

de magnetones.

Pues bien, siguiendo este procedimiento los Sres. Cabrera y Moles han encontrado que los iones  $Fe^{+++}$ ,  $Ni^{++}$ ,  $Co^{++}$ ,  $Cr^{++}$ , y  $Cu^{++}$ , poseen 29, 16, 25, 19 y 10 magnetones respectivamente. Sólo para los iones  $Fe^{++}$  y  $Mn^{++}$  de los elementos estudiados hasta el presente, el momento no está expresado por un número entero y aun en este caso, las medidas de Kamerlingh y Oosterhain<sup>(32)</sup> efectuadas sobre el sulfato de manganeso cristalizado conducen al número entero 29.

Cada átomo de un cuerpo paramagnético está pues caracterizado por un determinado número entero de magnetones, de suerte que si este número, por una causa exterior cualquiera cambia, es que cambia también la naturaleza del átomo o por lo menos su estructura. Tal es el caso del hierro, entre muchos otros elementos. Calentado el hierro por encima del punto de Curie<sup>(33)</sup> se encuentran para este elemento a diferentes temperaturas, 12, 10 y 20 magnetones correspondientes a las tres clases de hierro:  $Fe_{\beta_1}$ ,  $Fe_{\beta_2}$ ,  $Fe_{\gamma}$ ; una cosa análoga sucede con el níquel que tiene 8 magnetones para temperaturas inferiores a 1200° absolutos y 9 para temperaturas superiores.

Un mismo átomo no posee por tanto un momento magnético único; este toma diferentes valores según las condiciones físicas y químicas en que el átomo se encuentre.

\*  
\* \*

Os vengo hablando, señores, quizá con demasiada extensión, del magnetón y aún no os he dicho cuál es su naturaleza física. ¿Existe el magnetón en el sentido de que el momento magnético elemental resida en un substratum material que posea una masa ponderable? En el estado actual de la ciencia no puede contestarse afirmativamente a esta pregunta. No es posible negar el valor numérico del magnetón, puesto que es resultado de la experimentación, pero no puede deducirse de este hecho la existencia del imán elemental o *grano* de magnetismo correspondiente a ese momento magnético elemental: un electrón que se mueve describiendo un circuito cerrado engendra, como hemos visto, un campo magnético que tiene su correspondiente momento magnético, sin que exista ningún imán material.

Sin embargo, hay muchas razones que abogan en favor del magnetón como elemento constitutivo universal de la materia.

Sabido es que según los trabajos de Balmer <sup>(34)</sup>, Runge <sup>(35)</sup>, Kaiser <sup>(36)</sup>, Rydberg <sup>(37)</sup>, etc..., las rayas del espectro se distribuyen en series y en cada serie esa distribución obedece a leyes sencillas. Este fenómeno presenta gran analogía con los armónicos de una cuerda vibrante: así como una cuerda tiene una infinidad de grados de libertad que le permiten dar una infinidad de sonidos, ¿no podría el átomo por razones idénticas dar una infinidad de radiaciones diferentes? Esta idea tan sencilla y al parecer tan racional ha tenido que desecharse, las leyes espectroscópicas la rechazan.

M. Ritz <sup>(38)</sup>, relacionando el hecho de las series espectrales con la idea del magnetón, supone que el átomo vibrante está formado de un electrón giratorio, y de varios magnetones materiales, colocados en la línea, unidos por sus polos opuestos, siendo el campo magnético creado por estos magnetones el que regula la distribución de las longitudes de onda en el espectro. Sabido es que el espectro del hidrógeno se compone de varias rayas, ¿quiere decir ésto que cada átomo de hidrógeno puede producir todas esas rayas y que da efectivamente una u otra según las condiciones iniciales del movimiento? No, según la hipó-

tesis de Ritz hay varias clases de átomos de hidrógeno que difieren entre sí por el número de magnetones alineados y cada uno de estos átomos da una raya espectral diferente. La teoría de Weiss, según la cual los magnetones deben estar colocados en el átomo sino en línea recta por lo menos paralelamente, parece confirmar o por lo menos apoyar la hipótesis de Ritz y con ella la hipótesis de la realidad material del magnetón.

Por otra parte, si  $\epsilon$  representa la longitud del magnetón, se tiene evidentemente

$$\mu\epsilon = 18.4 \times 10^{-22}$$

y como por otra parte el campo producido por un polo de imán elemental a una distancia igual a la longitud del imán, es decir, en el caso presente, del magnetón es

$$\frac{\mu}{\epsilon^2} = 1,168 \times 10^9$$

se obtiene por simple eliminación de  $\mu$

$$\epsilon = 1,12 \times 10^{-10} \text{ cm.}$$

valor que se halla en contradicción con las teorías de Ritz y Weiss, puesto que estando el diámetro del átomo comprendido entre  $10^{-7}$  y  $10^{-8}$  caben en el átomo un gran número de magnetones.

El electrón cuyo diámetro es aproximadamente igual a  $10^{-13}$  es aún mucho más pequeño que el magnetón.

## EL ÁTOMO

Os he hablado señores, del electrón y del magnetón; cada átomo contiene un número determinado de electrones y de magnetones; el átomo debe por tanto ser un mundo muy complejo.

El átomo real dista mucho del ideado por Demócrito al fundar su teoría atómica. Éste le consideraba como elemento absolutamente indivisible más allá del cual ya no había nada que buscar, mientras que el átomo real no es un elemento, no es indivisible, de tal modo que puede disgregarse en átomos más pequeños como lo prueba la *radioactividad*, que no es en último término más que una perpetua disgregación del átomo.

Si admitimos el modelo atómico Rutherford-Bóhr<sup>(39)</sup>, brillan-

temente expuesto en la revista italiana «Scientia» (\*) por el sabio profesor de Manchester, el átomo estaría formado de dos partes: el núcleo central cargado de electricidad positiva y una región cortical en la que existen el número de electrones negativos necesarios para neutralizar esta carga.

Este número es igual al que expresa el lugar ocupado por el elemento en la serie ordenada por los pesos atómicos crecientes (hipótesis de van der Brock). El núcleo es a su vez un edificio muy complejo, de dimensiones pequeñísimas e integrado por electrones positivos y negativos, cuya organización nos es hasta ahora desconocida.

Bohr completa este modelo suponiendo que los electrones corticales describen órbitas circulares alrededor del núcleo central y que la emisión de cada una de las rayas espectrales se produce cuando uno de los electrones cae de una órbita sobre otra siendo siempre el momento mecánico del electrón (\*) igual a  $\frac{h}{2\pi}$  en que  $h$  representa el quantum de acción de Plank ( $6,6 \times 10^{-27}$  erg. segundos).

El conjunto de todas las órbitas del átomo puede constituir un sistema único o agruparse en varios otros sistemas independientes entre sí en número creciente con el peso atómico del elemento, pero esta cuestión no se halla todavía resuelta, por lo que se admite que las órbitas de los diferentes electrones forman un sistema único coplanario, comparable a nuestro sistema solar, en el que cada órbita contuviera más de un planeta.

«El átomo, dice el eminente sabio francés Poincaré (40), es un mundo complejo; bien es verdad que es un mundo cerrado, o por lo menos casi cerrado y por tanto al abrigo de las perturbaciones que nosotros podemos provocar.

.....

Siendo el átomo un mundo cerrado, las perturbaciones exteriores no tienen ninguna repercusión sobre lo que se pasa en el interior y lo que en el interior ocurre no actúa sobre el exterior; esto no es del todo cierto, pues entonces ignoraríamos siempre

(\*) Scientia (Vol. XVI, 6).

(\*)  $2 m \frac{s}{\tau}$  }  $m =$  masa del electrón.  
                  }  $s =$  área de su órbita.  
                  }  $\tau =$  duración de la revolución.

lo que se pasa en el interior y el átomo nos aparecería como un simple punto material; pero lo que sí puede afirmarse es que el interior sólo puede verse a través de una pequeñísima ventana, que no hay prácticamente cambios de energía entre el exterior y el interior y que por lo tanto no hay tendencia a la equipartición de la energía entre los dos mundos.

La temperatura interna no tiende a ponerse en equilibrio con la temperatura exterior, y es por eso que el calor específico es el mismo que si toda esta complejidad no existiera.

La pequeña puerta que cierra el mundo interior del átomo, se entreabre de cuando en cuando; esto ocurre cuando por la emisión de una partícula de hielo, el átomo se degrada y desciende de un lugar en la jerarquía radioactiva. ¿Qué sucede entonces? ¿En qué se diferencia esta descomposición de las descomposiciones químicas ordinarias? ¿Cuál es la razón para que el átomo de uranio formado de hielo y otra cosa tenga más derechos al nombre de átomo que la semimolécula de cianógeno, por ejemplo, que se comporta como la de un cuerpo simple y que está formada de carbono y de nitrógeno? Es, sin duda, que el calor atómico del uranio obedece a la ley de Dulong y Petit, y que es el que corresponde a un átomo simple; este calor atómico debe duplicarse en el momento de la emisión de la partícula de helio y cuando el átomo primordial se descompone en dos átomos secundarios. Por esta descomposición, el átomo adquiriría nuevos grados de libertad susceptibles de obrar sobre el mundo exterior, y estos nuevos grados de libertad se traducirían en un aumento del calor específico.

.....

El calor específico de los cuerpos sólidos disminuye rápidamente cuando la temperatura desciende; como si algunos de sus grados de libertad se anquilosasen sucesivamente, se congelasen, por decirlo así, o si os parece mejor, perdiesen todo contacto con el exterior y se retirasen a su vez detrás de no se qué recinto en no se qué mundo cerrado».

Voy a terminar.

Mis primeras palabras fueron de gratitud, las últimas serán de ofrecimiento a esta docta Institución. Si al pensar en mí para formar parte de esta Academia, os guió sólo mi entusiasmo por la Ciencia y mi buena voluntad, podéis estar seguros de que

vuestras esperanzas no quedarán defraudadas. Aquí me tenéis, señores Académicos, decidido a trabajar por España en el laboratorio, en la cátedra, difundiendo la cultura, convencido de que este es el verdadero patriotismo.

No se me ocultan las dificultades con que habrá que luchar, de orden material principalmente, ya que nuestros laboratorios de Física se hallan insuficientemente dotados, pero una voluntad firme, dice el ilustre Presidente de esta Academia en uno de sus bellos discursos: «taladra las montañas, sondea los mares y surca hasta distancias portentosas los ámbitos del espacio».

Tengo además fe, porque soy de los que creen que nuestra raza no es inferior a otras, que nada tiene que envidiar a la francesa, y que así como en nuestro vecino y glorioso pueblo francés la cultura científica, principalmente la ciencia física ha llegado a considerable altura, no dudo de que en plazo no lejano podremos hablar de la Ciencia española, con caracteres propios, como hoy se habla de la Ciencia francesa, de la inglesa de la alemana...

A ello contribuirá eficazmente la nueva y acertadísima orientación que se ha dado al cuerpo de auxiliares universitarios; las Facultades podrán escoger entre los jóvenes doctores o licenciados aquellos que revelen una vocación decidida por la enseñanza, rodeándose el profesor de ayudantes entusiastas, permitiéndole dedicarse más de lleno a la investigación que es quizá el principal deber que le impone su elevado ministerio.

Además, el impulso está dado. Si la Ciencia matemática española tiene un campeón, como con gráfica frase retrata Rey Pastor al insigne maestro D. Zoel García de Galdeano, gloria de nuestra Facultad de Ciencias y gloria de España, ya que su nombre ha traspasado las fronteras, también la Ciencia física tiene el suyo, ya habréis adivinado que me refiero al ilustre Catedrático y sagaz e incansable investigador Sr. Cabrera y Felipe. De doce años a esta parte, los estudios físicos, principalmente los trabajos de investigación, han experimentado un desarrollo considerable en nuestra Patria, gracias al talento, a la férrea voluntad y al patriotismo de este gran español, hijo de Canarias, que podía hoy ocupar un puesto preeminente en la política y que ha renunciado a todos los ofrecimientos para dedicarse de lleno a su laboratorio. Permitidme, señores, que des-

de esta tribuna dedique a este insigne maestro y gran patriota, un tributo de afecto, de gratitud y de profunda admiración.

El impulso dado por el Sr. Cabrera repercute en toda España y principalmente en esta hermosa tierra de Aragón, en nuestra Facultad de Ciencias, donde ya empieza a despertarse entre nuestros jóvenes alumnos de Física el espíritu de investigación que se desarrollará intensamente a la sombra de la Academia de Ciencias de Zaragoza.

HE DICHO.



NOTA BIBLIOGRÁFICA DE LAS PUBLICACIONES A QUE  
SE HACE REFERENCIA EN EL DISCURSO

- (1) «Teoría cinética».—*Joule*.—*Phil. Mag.* (4), 14, p. 211, 1857.
- (2) Perrin.—«Les preuves de la réalité moléculaire».—*Société Française de Physique*, 1913, Conférences, p. 5.
- (3) Wiener.—«*Pogg. Ann.*», t. CXVIII, p. 79, año 1868.
- (4) Cantoni.—«*Nuovo cimento*», t. XVII, p. 156, año 1867.
- (5) Jevons.—«*Proced. Manch. Society*», t. XIX, p. 78, año 1879.
- (6) Einstein.—«*Ann. der Physik*», t. XVII, p. 549, año 1905.
- (7) Perrin.—«*Les preuves de la réalité moléculaire*», p. 1 a 54.
- (8) De Gregorio y Rocasolano.—«*Estudios físico-químicos sobre la materia viva*», p. 205, año 1917.
- (9) Perrin.—«*Les atomes*», p. 134, 1914.
- (10) Rutherford.—«*Radium*», t. V, p. 257, 1908.
- (11) Boltwood y Rutherford. «*Radium*», t. V, 1908.
- (12) Rutherford y Geiger.—«*Le Radium*», p. 257, 1908, y Curie, «*Conférences de la Société Française de Phys.*», p. 284, 1913.
- (13) Curie.—«*Conférences de la Société Franç. de Phys.*», p. 286.
- (14) Plank.—«*Revue générale des Sciences*», 15 Nov., 1912.
- (15) Thomson.—«*Passage de l'électricité a travers les gas*», y Olivier, «*Cours de Phys. générale*, t. I, p. 521.
- (16) Olivier.—T. I, p. 520 y 521.
- (17) Olivier.—P. 517.
- (18) Fenóm. de Peltier.—«*Chovolson*», t. 4, vol. II, p. 748.
- (19) Fenóm. de Thomson » t. 4, » II, p. 752.
- (20) Fenóm. de Hall-Olivier.—«*Cours de Phys. Gén.*», t. I, p. 667.
- (21) Fenóm. de Kerr-Olivier «*Cours de Phys. Gén.*», t. II, p. 294.
- (22) Fenóm. de Zeemam-Olivier «*Cours de Phys. Gén.*», t. II, p. 233.
- (23) Curie.—«*Conférences Société Franç. de Phys. Gén.*», p. 272. 1913.
- (24) Langevin.—«*Ann. de Chimie et de Phys.*», 8<sup>e</sup> série, t. IV, p. 70, 1905; «*Journal de Phys.*», 4<sup>e</sup> série, t. VI, p. 678, 1905.

- (25) Weiss.— «Journal de Phys.», 5<sup>e</sup> série, t. I, p. 971, 1911.— «Journal de Phys.», 4<sup>e</sup> série, t. IX, 1910, p. 555.— «Les moments magnétique et le magnéton», Conf. Société Franç. de Phys., p. 332.
- (26) Pascal.— «Journal de Phys.», 5<sup>e</sup> série, t. I, p. 977.
- (27) Bloch.— «Thèse», Zurich, 1912.
- (28) Kamerlingh-Onnes.— «Journal de Phys.», 4<sup>e</sup> série, t. IX, p. 555.
- (29) M<sup>lle</sup> Feyti.— «Le paramagnétisme appliqué à l'étude des sels métalliques», Société de Chimie Phys. Paris, 1914, y C. R., CLVI, 886, 1913.
- (30) Cabrera y Felipe.— «Trabajos del Laboratorio de Investigaciones físicas», números 1, 5, 9, 14, 27, 33, 43, y «Anales de la Sociedad de Física y Química» tomo X, p. 316; t. XI, Julio 1913; t. XII, p. 284, 297, 373; t. XIII, p. 256, 512. t. XVI, p. 357; t. XV, p. 199; t. XVI, p. 467.
- (31) Moles.— «Trabajos del Laboratorio de Investigaciones físicas», números 1, 5, 14, y Anales de la Soc. de F. y Q., t. X, XI, XII, XIII.
- (32) Kamerlingh y Osterhain.— «Comm. from. the Phys. lab. of Leiden», números 196 b, 132 c, 139 c, 1912, 1913, 1914
- (33) Weiss.— «Le moment magnétique des atomes et le magnéton», Société Franç. de Phys., 1913, Conférences, p. 345.
- (34) Balmer.— «Wied. Ann.», t. LXXX, 1885; t. XXV, p. 80; t. LX, p. 350, 1897.
- (35) Runge. — «Spectroscopie», t. II, p. 531; «W. A.», t. LXI, p. 641, 1897.
- (36) Kaiser y Runge.— «Spectroscopie», t. V, p. 75; Berl. Ber. 1888-1895; «W. A.», t. XLI, p. 302, 1890; t. XLIII, p. 384, 1891; t. XLVI, p. 225, 1892; t. XLVIII, p. 126, 1893; t. L., p. 293, 1893; t. LII, p. 93, 1894.
- (37) Rydberg — «Rappots prés. au Congrès intern. de Phys.», t. II, p. 200, Paris, 1900; «Zeitsch. t. Phys. Chem.», t. V, p. 227; 1890; «Philos. Mag.» (5), t. XXIX, p. 331, 1890; «Astra Phys. Journ.», t. VI, p. 239, 338, 1897; W. A., t. LVIII, p. 674, 1890.
- (38).— «Ann. de Phys.», t. XII, p. 304; «Phys. Ztschr. t. IV, p. 406, 1903.
- (39) «Scientia», vol. XVI, p. 6.
- (40) Poincaré.— «Les Rapp. de la matière et de l'éther», Société Franç. de Phys., 1913, Conférences, p. 357.