

Divulgaciones de Física Moderna

Por JOAQUIN VALLEJO

I.—LA MATERIA

Nos hemos propuesto escribir una serie de artículos sobre los más interesantes puntos que ofrece la física nueva y que no han logrado entrar totalmente en los programas universitarios, ya por la incertidumbre que todavía los rodea, ya por la extensión consiguiente en los cursos. Como nuestro objeto se limita a mostrar los caminos por donde marchan las investigaciones actuales y no buscamos originalidad insertaremos páginas de eminentes físicos cuando temamos alterar la idea científica, para mayor garantía de nuestra exposición.

Las bases de la teoría de la discontinuidad de la materia

Las razones que sustentan el concepto de una materia discontinua van en solidez y rigor paralelas al orden histórico, por lo cual habremos de señalarlas desde las menos hasta las más, de las que apenas se guían por la imaginación a las que se sienten respaldadas por una como visión directa de las mínimas partículas.

Bien sabido es que desde cinco siglos antes de nuestra Era, algunas escuelas con Leucipo y Demócrito a la vanguardia, sostenían filosóficamente la necesidad de un límite en la división sucesiva de los cuerpos, pero sólo en el siglo pasado pudo aducir la física razones de orden experimental. Indudablemente los fenómenos de la compresibilidad y elasticidad de los cuerpos debió preocupar seriamente a los cosmólogos antiguos que imaginaban las cosas en el interior, tan continuas como los sentidos nos revelan, porque si se concibe impenetrable a la materia, es necesario creer también en poros invisibles que permitan a los cuerpos reducir su volumen aparente al comprimirlos. La dilatación por el calor, sin observarse con ella ruptura alguna de la materia, debe interpretarse como una mayor separación de esas moléculas que el ojo no alcanza, pues de otro modo sería suponer un crecimiento de las cosas, en contra del

principio de Lavoisier. Pero la verdadera teoría molecular sólo nació cuando se postuló la identidad de todas las partículas de la misma sustancia, dotándolas de rigidez, y nuevos sistemas científicos se apoyaron en ella para interpretar las leyes de los gases y dar una teoría del calor.

Al lado de la ley fundamental de la conservación de la materia, colocó Roberto Mayer la idea de la conservación de la energía, admitiendo que el calor es una forma equivalente al trabajo mecánico. De aquí, las pérdidas producidas en las máquinas al efectuar transformaciones, tienen la misma medida energética que el calor desarrollado en los cojinetes y piezas en movimiento. Pero con ello apenas se verifica la ley sin despejar la incógnita de la variedad en las formas de energía. ¿Cómo puede concebirse un fenómeno térmico con el auxilio de nuestras ideas sobre el trabajo mecánico? Quizás el calor encierra la idea del movimiento? ¿No es posible reducir la noción de calor a una vibración molecular, que explique la equivalencia entre las dos formas de energía? Con esta serie de raciocinios tomó fuerza la teoría cinética que supone un estado de movimiento en las moléculas, tanto más veloz cuanto más calor haya o, en otras palabras, que la vibración molecular sea precisamente lo que nuestros sentidos perciben como efecto térmico.

Los éxitos de la teoría cinética repercuten en la hipótesis molecular, de tal manera que la aceptación de esos sistemas fué obligada por los numerosos hechos comprobatorios, pero es evidente que se trata apenas de pruebas indirectas.

Poco antes de lanzarse la teoría cinética, Richter y Dalton descubrieron las leyes que rigen la combinación de los elementos, viéndose éste conducido a admitir la existencia de partículas químicas que obran individualmente. Surgió entonces la cuestión de si las partículas de la teoría molecular se identifican con las de Dalton. La ley de Gay-Lussac sobre las proporciones definidas de los volúmenes de gases que entran en combinación, junto con la de Richter (1) dejan la conclusión de que en igualdad de temperatura y presión, y en igualdad de volumen, todos los gases tienen el mismo número de moléculas; esto permite hallar la relación entre los pesos moleculares de dos gases, y como también puede conocerse la relación entre los pesos de las partículas en combinación, es fácil deducir el número de esas partículas o "átomos" que contiene, cada molécula. Así se reconoce que las moléculas de gases tienen dos átomos.

(1) Llamada también ley de Proust.

La química ha prestado, entonces, su valioso contingente a la teoría de la discontinuidad de la materia con nuevas pruebas indirectas, y ha llevado la idea más allá de la hipótesis molecular, con la conclusión de que la molécula es también divisible hasta el átomo, en las reacciones químicas.

Otros hechos, cuya explicación pertenece apenas a este siglo, han robustecido la teoría atómica hasta el punto de permitir a algunos físicos asegurar que los átomos tienen una existencia tan real como la de los objetos del mundo exterior. Entre estos fenómenos es notable el llamado "movimiento browniano"; cuando hace un siglo, el botánico Roberto Brown investigaba el proceso de fecundación de las plantas, observando al microscopio los movimientos del polen para hallar el lugar de unión con el huevo, notó que las partículas caían en forma de zig-zag en vez de hacerlo verticalmente conforme a la gravedad. El hecho puede explicarse por la acción, de las moléculas en movimiento, según la teoría cinética, pero el cálculo matemático de la trayectoria es complicado y sólo en 1905 Einstein logró determinarla, conformándose maravillosamente a los resultados de la experiencia.

La radioactividad ofrece también diversos medios para ver los átomos, pero su descripción cuadra mejor entre un capítulo especial; sólo creemos necesario citar, a este respecto, los experimentos de Wilson para mostrar los rayos de átomos: el espintariscopio que es, en esencia, una pantalla sensible donde chocan los átomos y producen centellas; y la llamada difracción de la materia, entre los incontables experimentos que se han hecho en las últimas décadas para penetrar en la constitución íntima de los cuerpos.

Desintegración de la materia

Ya hemos visto cómo la química quebrantó la unidad molecular para llegar hasta el átomo creyendo encontrar en él al verdadero "indivisible". Pero el descubrimiento de los rayos X y de las sustancias radioactivas, trajo la posibilidad de penetrar en el interior mismo del átomo y desintegrarlo en fragmentos que tienen fisonomía propia. En 1895, J. J. Thomson demostró que cualquiera que fuera el elemento químico atacado, siempre emanaban del átomo partículas idénticas entre sí e idénticas también a las mínimas porciones de electricidad que la ciencia admitía con el nombre de electrones.

"Además—dice Reichenbach—se ha podido observar que los

átomos emiten luz, y como la luz no es sino ondas eléctricas, por tanto, en el interior del átomo deben producirse procesos eléctricos; pero esto no quiere decir sino que en el interior del átomo se mueven electrones, o sea átomos de electricidad".

Los átomos tienen entonces un componente común que acerca la materia a la energía.

Las investigaciones posteriores se encaminaron hacia el estudio de los otros constituyentes del átomo, llegando a la conclusión de que además de los electrones o cargas de electricidad negativa, hay también **protones** o cargas positivas cuya masa es 1865 veces mayor que la de los electrones, aunque su carga es igual. Sin embargo, en el congreso científico de Chicago, reunido el año pasado, se presentó la idea del **positrón**, o sea, de una carga positiva de masa igual a la del electrón (1).

La llamada desintegración de la materia no es, pues, sino una descomposición del edificio atómico en sus componentes, electrones y protones. Las sustancias radioactivas emanan tres clases principales de radiaciones:

Rayos alfa: son partículas cargadas positivamente, de una velocidad igual a un quinceavo de la de la luz y en realidad son átomos de helio a los que les falta dos electrones, de tal modo que los rayos alfa constan de cuatro protones y dos electrones y son iguales a los rayos canales. Son penetrantes.

Rayos beta: son simplemente electrones lanzados a una velocidad cercana a la de la luz e idénticos, por tanto, a los rayos catódicos. Son más penetrantes que los anteriores.

Rayos gamma: son los mismos rayos X, de naturaleza análoga a la luz, pero de mayor frecuencia.

Estructura de la materia

Las anteriores observaciones dan una idea general de la composición atómica, pero nada dicen de la manera de portarse y sostenerse las cargas eléctricas, o sea, del conocimiento cualitativo del átomo en su interior, para poder explicar el significado del "número atómico", la valencia, la radioactividad y la transmutación espontánea de los elementos en un orden riguroso. Por esto comenzaron

(1) Ver DYNA, Diciembre de 1933: "Los conceptos electrofísicos se van modificando".

los físicos a proponer sistemas de representación del átomo, a semejanza del sistema planetario, aunque las fuerzas que mantienen equilibrados a los pequeñísimos del interior de la materia, no sean de gravitación, sino más bien de naturaleza eléctrica. El primer intento en este sentido se debe a Rutherford, quien concibió el átomo como un sistema planetario donde el centro o núcleo cargado positivamente, lleva en sí casi toda la masa mientras que los electrones giran en torno a ese núcleo en amplias órbitas, ocupando en su movimiento un espacio que viene a ser propiamente el volumen del átomo. El número de electrones orbitales es precisamente el "número atómico" del sistema periódico de las elementos, que vale 1 para el hidrógeno, 2 para el helio, 3 para el litio 29 para el cobre, etc., hasta el más pesado de todos, el uranio, que tiene 92. El hidrógeno necesita entonces una carga positiva nuclear para neutralizar al electrón giratorio y es el átomo más simple que pueda concebirse, puesto que sólo tiene un protón y un electrón. En el helio ya no es lo mismo: si el núcleo tuviera una carga positiva de 2, correspondiente a los dos negativos de la órbita, sólo quedaría con un peso atómico 2, en lugar de 4, (ya que el peso puede medirse casi exactamente por el número de protones, en virtud de la poca masa del electrón) lo que nos lleva a la conclusión de que el núcleo tiene 4 protones y 2 electrones, quedando con un exceso de carga positiva de 2, para neutralizar los orbitales. En general, cualquier átomo debe tener en el núcleo un número de electrones igual a la diferencia entre el peso y el número atómico del sistema periódico. La distinción que hay entre los electrones nucleares y los orbitales estriba en que solamente éstos pueden obrar químicamente, ya sea abandonando el átomo en las disoluciones para formar iones, ya uniéndose a otros átomos para completar un número determinado de electrones en la órbita más externa y formar así un compuesto estable, etc., mientras que los del núcleo permanecen unidos hasta que acciones superiores a las químicas, como el ataque por sustancias radioactivas o rayos cósmicos, vengán a separarlos, transmutando así a la materia. Además, los radios de las diversas órbitas establecen la fijeza de los electrones siendo tanto mayor ésta, cuanto menor aquél. Los elementos más pesados que el uranio no pueden existir por la inestabilidad, y el mayor carácter radioactivo de los elementos superiores se debe a su facilidad de desintegrarse.

Las sustancias radioactivas que desprenden rayos alfa, es decir, protones, pierden naturalmente su personalidad química y pasan a ser otros elementos más inferiores en el sistema periódico; pe-

ro no es sólo esto, sino que las descomposiciones sucesivas de dos elementos distintos pueden llegar a términos casi iguales en peso atómico, lo que se manifiesta en propiedades análogas, en virtud de las leyes del sistema periódico. Tal cosa sucede, por ejemplo, con el uranio y el torio que dan lugar a dos clases de plomo de pesos atómicos 206 y 208 respectivamente; el plomo ordinario es una mezcla de los anteriores y por ello no tiene un peso atómico redondo. Aston llegó a comprobar que los elementos cuyo peso y número atómico no son múltiples exactos del hidrógeno, son mezclas de cuerpos casi idénticos, llamados **isótopos**, cuya diferencia proviene, como en el caso del plomo, de la diversidad de orígenes.

Sin embargo, después de introducir las correcciones de isotopía, queda aún una pequeña diferencia que Einstein logró explicar por la transformación de materia en energía, como veremos en capítulo especial.

Pero el sistema de Rutherford, que triunfó sobre otros muchos, no pudo sostenerse en su integridad ante algunos hechos de la física espectroscópica y se hizo necesario adaptarlo a estos resultados. Niehls Bohr fue el llamado a crear el nuevo modelo atómico, fundándose en la teoría de los **cuantos**. Para el físico danés no son posibles todos los radios de las órbitas sino algunos determinados, de tal modo que a cada órbita corresponde cierta cantidad de energía, mayor para los radios grandes que para los pequeños. La energía correspondiente a cada órbita tiene relación con los cuantos de acción, de tal modo que la caída de un electrón a una órbita interior, debe dejar libre cierta cantidad de energía que según Bohr se irradia, por ejemplo, en forma de luz. Pero una exposición detallada del modelo de Bohr sólo puede hacerse a base de la teoría de los cuantos, por lo cual no insistimos hoy sobre este punto, limitándonos a nombrar algunos de los fenómenos que explica: fuera de algunos detalles de espectroscopia, aclara el efecto Zeemann en la acción de un campo magnético sobre la emisión de luz, y el efecto Stark, donde se reemplazan los campos magnéticos por eléctricos. Los sistemas que contienen electrones orbitales de gran estabilidad son sustancias químicas muy inactivas, como el helio, mientras que las otras que captan o se dejan hurtar algunos, son precisamente activas. La valencia se explica como la capacidad de capturar o ceder un cierto número de electrones que le faltan o sobran para formar una velocidad estable. El ortohidrógeno y el para-hidrógeno sólo difieren en que en la molécula del primero los dos núcleos ató-

micos tienen una rotación en el mismo sentido, mientras que en el segundo lo hacen en sentido contrario.

A pesar de todo, el modelo de Bohr encierra contradicciones profundas con la ciencia clásica y a medida que se profundiza en sus detalles, surgen las dificultades para hacerlas compatibles. Además, muchos experimentos de los últimos años han evidenciado la insuficiencia e inexactitud de su teoría, todo lo cual se sumó para imponer una nueva concepción del funcionamiento atómico: la mecánica ondulatoria.

“Hagamos el propósito firme de educar a la primera juventud en aquel conocimiento sólido de las cosas, concretado en la aritmética y la geometría, ciencias que dan a todos noción precisa del número y de las proporciones de que hasta ahora ha carecido este país esencialmente ensoñador y tropical, donde nada se calcula, ni se forja en proporción, ni se realiza con criterio” (Jorge Alvarez Lleras).

“La ética profesional no se puede enseñar como curso especial, pero debe introducirse por los profesores en los otros estudios”.

“Los estudios de las facultades universitarias deben ser lo más elevados posible y la teoría científica debe primar allí sobre cualquier empirismo, pues la formación matemática superior es la base de los buenos ingenieros. Los laboratorios de la Universidad debieran entonces acomodarse, más que a la enseñanza experimental, a la investigación”. (Informe de la comisión de enseñanza técnica).