

LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

Conferencia dictada en el Gabinete de Física del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario por el profesor de la materia, doctor A. M. Barriga Villalba

La Química es la ciencia que más ha contribuido al desarrollo y progreso de la humanidad. Su lenguaje son las matemáticas y su objeto el estudio del mundo material. En esta conferencia sobre la constitución de la materia vamos a hacer un recuento cronológico, y expondremos el asunto desde el punto de vista histórico.

No disponemos de los conocimientos que este vasto problema requiera para una exposición fundamental, pero trataremos de suplir el defecto en la medida de nuestras fuerzas, procurando hacerlo de una manera sencilla. En toda época ha interesado a los hombres cultos conocer el mundo material y poco a poco el problema ha ido resolviéndose en hipótesis cada vez más apegadas a la realidad.

La constitución de la materia problema filosófico.—En el antiguo mundo de los Griegos, la química fue patrimonio de unos pocos iniciados en *el arte de las cosas*. Entre los egipcios era practicada solamente por los sacerdotes herméticos; así permaneció por muchos años. A los filósofos necesariamente tenía que interesar el problema relacionado con la constitución de los cuerpos; a las hipótesis sucedieron los sistemas, en muchos de los cuales es de admirar hoy día el genio de sus fundadores. Demócrito Leucipo y Epicuro (300 A. C.) trataron de explicar el universo con una teoría atómica no bien definida. Anaxágoras sostuvo con sus discípulos la discontinuidad de la materia y la estructura granular de los cuerpos físicos. Lucrecio, en su poema inmortal, establece que la materia se compone de partes pequeñísimas llamadas *átomos*, indivisibles, indestructibles, eternos e impenetrables; dice que entre los átomos cons-

titutivos hay espacios vacíos; que los átomos de los distintos cuerpos son diferentes en tamaño y en peso, y que se encuentran en constante movimiento.

Vino Aristóteles y su sombra se proyectó sobre toda la edad media y el Renacimiento. Sus ideas sobre la materia son opuestas a las de Leucipo y Demócrito. Podemos resumirlas así: El universo está formado por cuatro cuerpos simples; el Fuego, el Aire, la Tierra y el Agua; a estos cuerpos corresponden cuatro cualidades: el calor, la sequedad, el frío y la humedad. Estos cuatro cuerpos se suponen derivados de una única materia, la *materia prima*, y derivan sus propiedades y la facultad de convertirse unos en otros, de una virtud inherente a la masa, una energía potencial que llamó *forma*. En esta teoría queda definida la energía que posee la materia; igualmente la masa, soporte de aquella. A su vez, físicamente, ésta se desintegra en aquella, y las dos constituyen el equilibrio interno del átomo.

Con la muerte de Aristóteles, el interés por este problema pasó a la ciudad de Alejandría en Egipto; los Neoplatónicos convirtieron el estudio de la materia en un problema religioso.

Por entonces, la conquista de Egipto, Siria y Persia por los árabes vino a cambiar las condiciones. La escuela de Alejandría dejó su misterio, y con la traducción de innumerables libros griegos, especialmente en tiempo de los reinados de Harun-al-Rashid y de Ma-Mum (786-833 D. C.), la Química recibió un impulso prodigioso. El Químico Abumusa-Jabir atacó la obra de Aristóteles, tachándola de especulativa; practicó el método experimental. Sus ideas filosóficas fueron muy pobres, pero en cambio descubrió varios cuerpos y preparó muchos otros. Fabricó el acero, el hierro, barnices y ácidos. Enseñó la refinación del estaño y del cobre.

Vino después el famoso Físico y Químico Abu-Bakir Muhammad, conocido con el nombre de Rhazes. En su obra, *El Libro de los Secretos*, clasifica los seres de la naturaleza en animales vegetales y minerales y los subdivide en espíritus, piedra, vitriolos, bóricos y sales. Sus ideas siguen a las del Ma-Mum. Casi todo el material de química, como hornos, retortas, alam-

biques, etc., tiene su origen en aquella época. Rhazes murió en 923; sus trabajos fueron la base de los Aricema (1036, D. C.) quien estudió especialmente los metales.

Por aquella época florecieron los químicos árabes-españoles; el más notable fue Marlama-al-Majriti, nacido en Córdoba y educado en Oriente entre los Enciclopedistas. Abu-Mansur terminó esta época y la cabeza de la química pasó a Europa. Los árabes no fueron sino químicos industriales; sus ideas sobre la constitución de la materia fueron muy pocas. En cambio echaron los fundamentos de la química experimental y siempre predicaron la necesidad de experimentar antes de teorizar.

Los alquimistas—En la edad media las ideas químicas fueron confusas. Embargó casi completamente la atención los procedimientos, recetas y fórmulas para transformar los cuerpos en oro. Los espíritus más avanzados se quedaron en las definiciones. Los innumerables trabajos de Vicente de Beauvais, llamado doctor Universalis; de Alberto Magno, doctor Admirabilis y Raymundo Lulio el doctor Illuminatus, se pueden compendiar en el famoso «Suma Perfectionis», atribuido a Geber.

Debemos citar la época de los Iatro-químicos, cuya cabeza principal fue *Philippus Aureolus Theophrastus Paracelsus* (1493-1541, D. C.). La química se aplicó a la medicina y se llamó «La ciencia divina». Se puso especial cuidado en la preparación y purificación de las sustancias químicas, y es de notar que fue entonces cuando los derivados del arsénico y del mercurio se aplicaron para combatir algunas enfermedades.

La teoría vaga, llamada del *Flogisto*, favorecida por Paracelsus y promulgada por Juan Joaquín Becher en su Física Subterránea (1682), contribuyó a oscurecer el problema de la materia. El *Flogisto* era una sustancia que el cuerpo ganaba o perdía al combinarse o descomponerse. Nadie sabía en qué consistía, pero todo se explicaba con él. Así por ejemplo los Iatro-químicos creían que por el Flogisto se respiraba y vivía, y la pérdida del Flogisto era la muerte corporal. El problema de la combustión y respiración quedó perfectamente resuelto y claro

por los descubrimientos de *Priestley*, *Scheele*, *Cavendish* y *Lavoisier*.

No hay tal Flogisto que se fije o desprenda de los cuerpos, es simplemente el oxígeno que se combina para formar óxidos o el hidrógeno que los reduce. Las sales que resultan de la combinación de las bases con los ácidos, y en general toda combinación produce un cuerpo o cuerpos distintos siempre, en proporciones constantes y definidas. El estudio de esta ley demostró de una manera matemática la conservación de la masa de los cuerpos, y así mismo la estructura granular o discontinua de la materia.

Precisamente después de la época oscura del Flogisto arranca la que podemos llamar del método inductivo experimental. Corresponde a Roberto Boyle iniciarla, por cuyo motivo ha recibido el nombre de padre de la Química Moderna.

Dalton en el año de 1803, después de una serie de análisis cuantitativos muy finos, descubrió que los cuerpos, cuando se combinan en más de una proporción, los diferentes pesos del cuerpo están en una relación simple con los pesos de los otros. En otras palabras, las combinaciones se verifican por saltos bruscos. Como este punto es de mucha importancia para nuestro fin, vamos a poner un ejemplo para ilustrarlo. El Oxígeno y el Nitrógeno son los gases que forman el aire, mezclados en la proporción de 21% del primero por 79% del segundo. Estos dos gases se combinan formando una serie de compuestos sucesivamente más ricos en oxígeno; estas combinaciones son:

1. Protóxido de Nitrógeno
2. Bióxido de Nitrógeno
3. Anhídrido Nitroso
4. Peróxido de Nitrógeno
3. Anhídrido Nítrico

El análisis químico de estos cuerpos nos indica que para formar un gramo de cada uno de ellos necesitamos respectivamente:

Para un gramo del 1.º:

Oxígeno..... Grms. 0.37; Nitrógeno.... Grms. 0.63.

Para un gramo del 2.º:

Oxígeno..... » 0.54; » » 0.46.

Para un gramo del 3.º:

Oxígeno.... » 0.64; » » 0.36.

Para un gramo del 4.º:

Oxígeno.... » 0.70; » » 0.30.

Para un gramo del 5.º:

Oxígeno.... » 0.75; » » 0.25.

Es muy cómodo representar por medio de curvas los fenómenos físicos y químicos, porque además de ser la representación matemática, se puede hacer la síntesis del fenómeno de una manera muy sencilla. En el caso de los compuestos del Nitrógeno, podemos considerar dos ejes rectangulares, en los cuales tomamos porciones correspondientes así: en el eje de las X los valores o porcentajes del Oxígeno; y en el eje de las Y los correspondientes del Nitrógeno. Si las combinaciones se hicieran de una manera continua, y no por saltos bruscos, resulta una línea recta, como cuando se solubiliza un cuerpo en un líquido; la cantidad del disuelto puede variar desde cero hasta la cantidad necesaria para la saturación y puede hacerse variar por cantidades tan pequeñas como se quiera; no así los fenómenos de combinación química, como nos lo demostraría la curva resultante.

Esto fue la base de la Teoría Atómica que Dalton explanó y que podemos concretar en estos dos puntos:

1.º Cada elemento o cuerpo simple está constituido por átomos homogéneos cuyo peso es constante.

2.º Los cuerpos compuestos se forman por la unión de diferentes elementos en proporciones simples.

Berzelius, basándose en los trabajos de Dalton, pudo comprobar de esta manera la exactitud de los resultados y estableció los pesos atómicos de los cuerpos simples hasta entonces conocidos, y que son los mismos que hoy tenemos para los cálculos.

Vino a confirmar lo anterior el descubrimiento de *Avogadro*; se enuncia así el principio que lleva su nombre: *Todos los gases en igualdad de temperatura y volumen, tienen la misma presión*. Se generaliza así: en igualdad de condiciones de temperatura y de presión dos volúmenes de dos gases tienen el mismo número de moléculas.

La teoría cinética de los gases enunciada por los matemáticos Clausius y Maxwell (1822-88. 1831-79) explica los varios fenómenos de los gases, como la compresibilidad, difusión, calor específico, etc., bajo la base de estar formados por partículas pequeñísimas que se mueven en todas direcciones; de manera que la temperatura es un factor que mide la energía cinética de un gas. Veamos un ejemplo: supongamos un gas cuyo volumen es V en un recipiente ideal, cerrado por un émbolo móvil. Para reducir el volumen a la mitad $V/2$ necesitamos doblar el esfuerzo sobre el émbolo. Cómo se explica esto? De una manera muy sencilla: las moléculas que forman el gas recorren el espacio en todas direcciones; consideremos una sola partícula moviéndose en una dirección ab ; el camino que recorre siendo el volumen V es e , y al reducir el volumen a la mitad, el número de choques que da cada molécula se duplica, por lo tanto la presión se dobla. Conclusión: los gases están formados por moléculas móviles y la presión no es otra cosa sino la resultante del choque de las moléculas sobre las paredes de la vasija.

Una prueba más de la estructura granular de la materia fue la ley descubierta por los físicos Dulong y Petit, la cual se enuncia así: los átomos de los cuerpos simples tienen la misma capacidad calorífica; así, pues, hay una relación constante entre la masa atómica y el calor específico.

Al mismo tiempo se estableció la conexión interna de las moléculas y la estructura cristalina con la ley de Mitscherlich, puesto que dos cuerpos isomorfos cristalizan en el mismo sistema y tienen análogas propiedades. v. gr., cloruro de potasio y el cloruro de sodio, los alumbres, etc.

Hasta aquí todo confirma la estructura granular de la materia. Esos gránulos se llaman átomos cuando se trata de

cuerpos simples, como los metales o metaloides, moléculas cuando hablamos de cuerpos compuestos, como la madera o el sulfato de soda.

Teoría atómica de la electricidad - Franklin, para explicar los fenómenos eléctricos que había descubierto, introdujo los términos de electricidad *positiva* y electricidad *negativa*. Una sustancia repelida por una varilla de vidrio que ha sido frotada con una tela de seda desarrolla electricidad positiva, y una sustancia repelida por una varilla de ebonita o de caucho endurecido o de *lacre* que ha sido frotada con una piel de gato, se llama electricidad negativa. La teoría de Franklin supone un fluido que normalmente existe en todo cuerpo en estado de equilibrio. Define la electricidad así: «La electricidad es una sustancia que consiste en partículas extremadamente pequeñas y sutiles, para las cuales la materia es permeable y no ofrece resistencia». Esta hipótesis prestó grandes servicios a la ciencia para establecer ciertas leyes, pero repugnaba a muchos físicos puesto que implicaba la *acción a distancia*. Entonces Faraday supuso que cuando dos cuerpos vecinos estaban electrizados, podían considerarse ligados entre sí, no por fluidos, sino por líneas de fuerza. Esta teoría fue desarrollada analíticamente por Maxwell, y resultó absolutamente de acuerdo con la práctica porque a la electricidad se le encontró inercia y se pudo medir el momento de una corriente en un circuito; no otra explicación tienen los fenómenos de inducción electromagnética. De manera que entre dos cuerpos electrizados se cambian las fuerzas como ligamentos materiales. Vino a comprobar lo anterior el descubrimiento de las ondas hercianas o electromagnéticas de Hertz.

El mismo Faraday demostró en 1833 que al pasar la corriente eléctrica por una solución de una sal, ésta se descompone y deposita el metal en el polo negativo y en el positivo se desprende el radical ácido. La cantidad de electricidad necesaria para depositar los cuerpos simples resultó ser constante, por lo cual era necesario admitir que el paso de la electricidad por las soluciones era distinta del paso de la misma por los metales. La carga eléctrica necesaria para descompo-

ner los cuerpos y depositar los elementos, se llamó carga elemental y hoy día se designa con el nombre de *electrón*. Valorada en unidades eléctricas resultó ser igual para todos los cuerpos simples, lo cual indica nuevamente la discontinuidad de la sustancia y la naturaleza atómica de la electricidad.

La radioactividad—Vamos a ver qué cosa es el Electrón, punto importante éste por ser la puerta de entrada del mundo llamado átomo. Para esto necesitamos hacer mención de los descubrimientos de Becquerel y de Rontgen.

Rontgen, en el año de 1895, descubrió que al pasar la electricidad por un tubo vacío, del polo negativo (Catodo) salía una radiación, la cual, al chocar contra la pared opuesta del tubo, la volvía fluorescente. Estos rayos no se desvían por la acción del imán y tienen un gran poder de penetración. Crookes le dio una forma especial al tubo de Rontgen y elevó muchísimo el grado de enrarecimiento, próximamente una centésima de milímetro de mercurio, y revistió los electrodos de superficies metálicas especiales, con lo cual consiguió producir una radiación potente y homogénea.

Los rayos que salen del catodo en una ampolla de Crookes, llena con un gas enrarecido, atravesado por la descarga eléctrica, son los rayos llamados *Catódicos*. Están formados por corpúsculos idénticos que llevan o transportan una misma carga de electricidad negativa. Esta carga es el *Electron*. Al mismo tiempo Goldstein descubrió (en 1886) que si se practican pequeñas aberturas en el catodo de un tubo de Crookes y si la región de detrás del catodo se protege electrostáticamente, se propagan en esa región, saliendo de las ranuras, una radiación de electricidad positiva. Estas partículas son diferentes de los electrones; son *iones* positivos, es decir, átomos o moléculas que han perdido uno o varios *electrones*. Su velocidad es de algunos centenares de kilómetros por segundo, y su naturaleza depende de la del gas de la ampolla.

En 1896 Henri Becquerel, mediante una intuición genial, quiso ensayar la fosforescencia de algunos cuerpos, como el fósforo y las sales de Uranio, para producir rayos semejantes a los de Rontgen; las sales de Uranio habían sido muy bien es-

tudiadas desde el punto de vista químico y sobre ellas dirigió la atención. Envolvió una placa fotográfica en papel negro recubierto de una placa de aluminio de 2 mm. de espesor y colocó sobre el aluminio algunos cristales de sulfato doble de Potasio y Uranio. Expuso durante un día la placa envuelta a la acción de la luz solar y revelada ésta mostró manchas negras correspondientes a los cristales; este experimento se repitió varias veces con el mismo resultado. Al repetirla nuevamente dio la casualidad de que el día se presentó completamente nublado; entonces Becquerel guardó el chasis y al día siguiente se disponía a ponerlo al sol cuando se le ocurrió cambiar la placa para mayor seguridad. Reveló la que había dejado en el chasis con las sales de Uranio desde el día anterior. El resultado fue sorprendente, las manchas habían aparecido sin necesidad de la luz solar. Repetidos los experimentos con el metal Uranio puro, el fenómeno fue más manifiesto. Este descubrimiento indicaba que el Uranio y sus sales eran fuente de una emisión espontánea de energía, lo cual estaba en desacuerdo con las ideas de la época.

Más tarde Becquerel descubrió la propiedad de ionizar el aire y los gases y descubrió también que la radiación de las sales era siempre la misma, cualquiera que fuese la sal, por lo cual concluyó que esta actividad debía venir solamente del átomo de Uranio mismo. Dos años más tarde Mme. Curie y M. Schmith descubrieron que el Thorio y sus sales emitían rayos Becquerel. Mme. Curie estudió un gran número de minerales que contenían Uranio, y uno de ellos, la *pechblenda*, se mostró mucho más activo. De este mineral extrajo un cuerpo nuevo que llamó Polonium, mucho más fuerte que el Thorium y el Uranium; observando los residuos de las cristalizaciones, y por operaciones sucesivas, preparó un nuevo cuerpo 2.500,000 veces más fuerte que el Uranium y que llamó *Radium*.

Después se descubrieron muchos más cuerpos todavía más activos que el Radium pero que apenas duran unos pocos segundos. De todo esto se concluye: *La radioactividad es una propiedad de la materia.*

Medida de la radioactividad—La proyección muestra la repartición de los minerales radioactivos. Esta carta hecha hace algún tiempo no indica yacimientos radiferos en Colombia; sin embargo son conocidos entre los colombianos los yacimientos de Santander en la región de Bucaramanga. Geológicamente no están bien estudiados y prácticamente no son conocidos en el extranjero; es muy seguro que serán una fuente importante de Radium y dadas las aplicaciones crecientes de este cuerpo en la medicina no podemos dudar que está próximo el día de una explotación de Radium colombiano.

El Radium se encuentra generalmente en los minerales de Uranium; hay más de 24 clases, los más importantes son los óxidos de Uranium, entre los cuales tenemos la *Pechblenda*, de la cual se extrajo el Radium; los fosfatos de Uranium, como la *Uranita* y la *Monazita*, este último es un fosfato de cerio, el cual contiene el metal radioactivo llamado Thorium. La cantidad de radium en los minerales más ricos no alcanza a $3,7 \times 10^{-5}$ lo cual equivale, en general y en números redondos, a una cifra del orden de los cien miligramos de radium por tonelada de mineral.

La radioactividad de los minerales y en general de cualquier sustancia se mide por medio del electrómetro o por medio del electroscopio. Se prefiere el primero en las investigaciones científicas; el segundo en las medidas técnicas.

La radiación del Radium era muy semejante a las radiaciones del tubo de Crookes; estudiada resultó compuesta de tres, una de ellas igual a los rayos X, otra radiación negativa y la tercera positiva. Para distinguirlas se llamaron, respectivamente: Rayos γ , rayos α y rayos β .

Para ilustrar este punto consideremos el esquema de la figura; en la cavidad *m* de un cubo de plomo colocamos un cuerpo radioactivo, v. gr., un grano de Radium; colocamos el pedazo de plomo sobre una placa fotográfica y normal, al plano de la figura situamos un campo magnético intenso y dirigido hacia atrás del mismo plano. La radiación se descompone bajo la acción del campo en tres radiaciones elementales. Los rayos α forman un haz que se desvía ligeramente hacia la

izquierda; este haz es muy intenso y es rápidamente absorbido por el aire. Los rayos β son fuertemente desviados hacia la derecha y describen en el plano de la figura trayectorias circulares cuyos radios son variables; la porción de la placa fotográfica de la derecha, herida por ellos, se impresiona. Los rayos γ continúan su trayectoria sin desviación.

Si se comparan los diferentes grupos de radiaciones desde el punto de vista de su absorción por la materia, se observa que manifiestan poder penetrante muy diverso. Los rayos α no llegan sino hasta algunos centímetros, en el aire; un espesor de un décimo de milímetro de una materia como el aluminio, los retiene completamente. Los rayos β son más penetrantes; pueden atravesar algunos milímetros de aluminio. Los rayos γ son los más penetrantes de todos; se propagan a gran distancia en el aire y pueden atravesar muchos centímetros de materia como el plomo.

En resumen, tenemos:

En la ampolla de Crookes, rayos X, rayos catódicos y rayos canales. Los cuerpos radioactivos producen: rayos γ , rayos α y rayos β . Los rayos catódicos se ha demostrado que son los mismos rayos β de los cuerpos radioactivos. Los rayos α son átomos de Helium; los rayos canales son átomos desintegrados de materia y los rayos γ son los mismos rayos X. Ha servido para identificarlos: 1.º la desviación magnética; 2.º el poder de penetración; 3.º las cargas eléctricas que transportan.

Vamos a estudiar ligeramente cada una de estas radiaciones porque ellas nos dan la mejor explicación de los fenómenos que suceden al nivel del átomo y su conocimiento es indispensable para una mejor comprensión del problema.

Rayos catódicos o rayos beta—Consisten en partículas o masas eléctricas que se mueven con una velocidad igual a la mitad de la velocidad de la luz. Estas partículas se han identificado con los electrones y se ha podido medir su masa, velocidad y su tamaño. Con la medida de la desviación magnética y de la desviación eléctrica se puede establecer la relación en-

tre la carga eléctrica que transportan y la masa. Igualmente se puede calcular la velocidad.

Las partículas β se hacen desviar por un campo magnético en una vasija aislada conectada con un electrómetro de capacidad conocida; la carga eléctrica que transportan se mide en el electrómetro por el incremento de potencial de éste; esta carga llamémosla Q ; la energía W que llevan las partículas se mide por la corriente que produce un par termo-eléctrico situado en el recorrido de los rayos β . Si N es el número de partículas, e la carga eléctrica, v su velocidad y m su masa podemos poner:

Carga eléctrica de todas las partículas:

$$\varphi = N \times e$$

y como la fuerza viva de todas las partículas es igual a la energía que transportan, podemos escribir:

$$N \frac{1}{2} m v^2 = W$$

Por otra parte el campo magnético a que se somete la radiación es uniforme y la desviación que produce se puede medir por la desviación de la mancha que producen los rayos en la pantalla de radio R .

Según la ley de Maxwell podemos poner que la energía mecánica de las partículas es igual a la energía magnética gastada:

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

Con estas ecuaciones se ha calculado el valor de V igual a 30,000 kilómetros por segundo; próximamente un décimo de la velocidad de la luz.

La relación m es del orden de 10^7 en unidades electro-magnéticas.

Con los datos anteriores se concluye claramente que la masa del electrón es de origen eléctrico. La masa del electrón ha resultado 1850 veces más pequeña que la masa del hidrógeno, la cual es la más ligera de todas (1,008). El electrón es el elemento universal constitutivo de todos los cuerpos y com-

prueban su existencia, no sólo la radiación que acabamos de estudiar sino las rayas espectrales, los efectos foto-eléctricos de las radiaciones, la corriente eléctrica, el calentamiento de los metales, el movimiento Browniano, las llamas de los cuerpos en combustión, etc.

Con estas nociones sobre el electrón vamos a establecer un hecho de grandísima importancia: *el peso de los cuerpos varía con la velocidad.*

Qué es electrón? Una esfera pequeñísima de masa eléctrica. Si la movemos, sabemos según Maxwell, que se produce un campo magnético, puesto que «para poner en movimiento una masa eléctrica, se necesita la creación de un campo magnético». Es lo mismo que diríamos de una masa cualquiera; para sacarla del estado de reposo se necesita una fuerza.

Se demuestra que la masa de una partícula electrizada con una carga e de forma esférica, cuyo radio es a es igual:

$$m = \frac{2}{3} \frac{e^2}{a}$$

y multiplicando por el cuadrado de la velocidad obtendremos la energía:

$$W = \frac{2}{3} \frac{e^2 V^2}{a}$$

de aquí deducimos:

$$W = \frac{m V^2}{2}$$

esta es la expresión de la fuerza viva. Así pues: m es una masa verdadera que no se distingue de la masa mecánica, puesto que la energía necesaria para dar a la carga e la velocidad V tiene la misma expresión o medida de la fuerza viva mecánica. De aquí concluimos que la masa del electrón es masa mecánica y la masa mecánica es masa eléctrica.

La ley de Maxwell nos dice que un campo magnético engendra un campo eléctrico, tanto más intenso cuanto mayor sea la velocidad de la masa eléctrica o de la masa magnética.

Las líneas de fuerza permanecen radiales mientras el cuer-

po permanezca en reposo o la velocidad no pase de 50,000 kilómetros por segundo; pero si ésta aumenta las líneas de fuerza se van agrupando en el plano ecuatorial hasta aplanarse infinitamente el corpúsculo electrizado. Esta concentración de las líneas de fuerza en el plano ecuatorial implica un incremento necesario de la masa. Esta es la conclusión que se impone del análisis matemático. En otros términos, es necesario admitir que cuando la velocidad crece hacia el límite, que es la velocidad de la luz, la energía cinética crece más rápidamente que el cuadrado de la velocidad, es decir, para comunicar a la masa eléctrica una velocidad como la de la luz se necesitaría un esfuerzo infinito.

Los matemáticos Lorentz y Einstein han demostrado la ley de la variación de la masa en función de la velocidad, la cual tiene por expresión:

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \frac{C^2}{V^2}}}$$

en donde M_0 es la masa del cuerpo para una velocidad nula; es una constante o masa en reposo. C es la velocidad de la luz. Si hacemos V igual a C nos queda esta expresión:

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - 1}} = \frac{M_0}{0} = \infty$$

luego la velocidad de la luz es una velocidad límite de la cual nunca podrá pasarse, y la masa o peso de los cuerpos es variable con la velocidad.

Se puede también calcular el volumen del electrón de la manera siguiente:

$$\text{Sabemos que } M = \frac{2}{3} \frac{e^2}{A}$$

en esta relación conocemos a M y el valor de e , luego:

$$A = \frac{2}{3} \frac{e^2}{M} = 1,87 \times 10^{-13} \text{ centímetros}$$

El radio del átomo medido por varios procedimientos, ha resultado:

$$10^{-8} \text{ cm. igual a } \frac{1}{100\,000\,000}$$

Haciendo una comparación se puede ver que la relación que hay entre los volúmenes del electrón y un átomo es como la de un planeta al sistema solar.

Rayos Alfa - La radiación α constituye las parte más fácilmente absorbible; apenas alcanza una penetración de 8,6 centímetros en el aire. Se estudió la desviación magnética y eléctrica y así se pudo medir la masa eléctrica y la velocidad. La primera es la misma que la del gas Helium y la velocidad con que se desprenden de los cuerpos radiactivos es de 20000 kilómetros por segundo.

Por último, se comprobó que las partículas α son átomos de Helium por la experiencia siguiente: Un tubo que contiene una ampolla de vidrio muy delgado (1/100 de milímetros de espesor) impermeable a los gases pero no a las partículas α , contiene un poco de emanación de radium. Se hace el vacío en el tubo. Al cabo de algunos días se sumerge el tubo en una cuva profunda de mercurio y se lleva el gas a una parte delgada en la parte superior. Se hace pasar la descarga de un carrete de inducción y por medio del espectroscopio se observa el espectro característico del gas Helium.

El Helium es un gas que fue descubierto el 18 de agosto durante el eclipse solar visible en la India en el año de 1868 por Franklan y Lockyer, por medio del espectroscopio. Este elemento no se conocía en la tierra y se creyó que no existía sino en el sol; pero en 1895 el Profesor Kayser de la Universidad de Bon lo encontró en la atmósfera terrestre, y Ramsay lo aisló por primera vez del aire líquido. Se encuentra en la proporción de un volumen de Helium en cada 250000 volúmenes de aire. Más tarde se le encontró ocluido en algunos minerales y en las fuentes termales. Entre nosotros son no-

tables las fuentes termales de Paipa por su notable cantidad de sales y por el gas Helium que se desprende abundantemente de ellas.

Rayos γ o Rayos X—Los rayos X fueron descubiertos por el físico alemán Rontgen en el año de 1895. Estos rayos provienen o se originan en el choque de los rayos catódicos contra un obstáculo. En la ampolla de Crookes al chocar los rayos catódicos contra las paredes de la ampolla, vuelven el vidrio fluorescente y originan allí los rayos X o rayos γ (ambos son una misma radiación). Si el vidrio no es suficientemente resistente puede llegar hasta fundirse. Para utilizar todos los rayos producidos, evitar la fusión del vidrio y obtener un haz de radiación potente y homogéneo se le ha dado a la ampolla una forma especial. El anodo está formado por un trozo de metal de elevado punto de fusión y cortado a 45° con relación a la dirección de los rayos; el catodo está formado por un espejo metálico cóncavo cuyo foco coincide con el centro de la superficie del anodo.

Si ponemos en comunicación los bordes de la ampolla con un carrete de inducción, veremos que el bloque de metal o anticatodo se pone encarnado. Allí se origina la radiación que sale fuera de la ampolla y viaja con una velocidad semejante a la de la luz.

Estos rayos difieren de los α y β porque no son desviados por un campo magnético ni por un campo eléctrico, pero sí vuelven los gases conductores de la electricidad.

Esta radiación tiene una longitud de onda que varía entre 10^{-8} y 7×10^{-10} unas 10000 veces más pequeña que la longitud de onda de luz.

Los rayos X tienen un gran poder de penetración para los cuerpos y provocan la fluorescencia de ciertos cuerpos, como las sales de quinina, sales de Uranio, sulfuro de Zinc, etc. Además tienen acción sobre un gran número de sales, como las de plata, oro, platino, etc. Por este motivo se pueden obtener fotografías al través de los cuerpos opacos como los metales; es así como pueden hacerse visibles los huesos y los órga-

nos del cuerpo humano por la sombra que proyectan sobre una pantalla de platino cianuro de bario o de sulfuro de zinc.

Los rayos X son oscilaciones electromagnéticas y no están formadas por una sola radiación sino por una mezcla, con diversas longitudes de onda. Esto depende de la velocidad de los rayos catódicos, forma del cátodo, etc.

La experiencia de W. L. Bragg sirve para medir la longitud de onda de la radiación γ y ha sido muy fecunda porque ha permitido no solamente estudiar la naturaleza de los rayos X, sino estudiar la estructura de los cristales. Consiste el método en hacer incidir los rayos X sobre la superficie de un cristal convenientemente inclinado.

Para poner de manifiesto los rayos reflejados, se utiliza el poder ionizante, o sea la facultad que tienen los rayos X de volver los gases conductores de la electricidad.

Rayos Canales—Estos rayos, llamados también *Rayos positivos*, fueron descubiertos en el año de 1886 por Goldstein al hacer pasar la descarga eléctrica en tubos de vidrio bajo una presión muy reducida; el catodo de la ampolla estaba provisto de ranuras por las cuales la radiación positiva se originaba. Esta radiación es modificada por los campos magnético y eléctrico. Sir J. J. Thomson demostró que esta radiación consistía en partículas cargadas de electricidad positiva, y por un método semejante al que hemos visto para las otras radiaciones se determinó o midió su velocidad, energía y masa.

Se ha podido fotografiar las parábolas que los distintos gases producen en la pantalla bajo la acción del campo magnético. Referidas a dos ejes rectangulares se puede fácilmente deducir las masas respectivas de los átomos o múltiplos de éstos. La proyección es una bella fotografía de las parábolas descritas por los gases Neón Oxido de carbono, Acido carbónico y vapores de mercurio.

Los rayos positivos han venido a confirmar la existencia de los *isotopos* no solo en la serie de los cuerpos radiactivos sino de todos los cuerpos simples. Los isotopos son cuerpos simples como el oro, el cobre, etc., idénticos química y físicamente.

te, pero que se diferencian por alguna cualidad solamente. Así, por ejemplo, hay varios plomos, varios mercurios, etc., etc.

En la proyección se puede observar las parábolas descritas por los isotopos del Neón, del Mercurio, etc. Como una información diremos que el Neón gas raro del aire tiene dos isotopos; el Magnesio, tres; el Kriptón, otro gas raro del aire, tiene seis; el Zinc, cuatro; el Cadmium, seis; el estaño, ocho; el Mercurio, seis; la plata, dos, y casi todos los demás tienen un isotopo. Por otro camino se ha confirmado con el espectro de los rayos X que ya mencionamos.

El Atomo—Todo lo que hemos visto indica que la estructura del átomo y de la materia misma es muy complicada. Según fundamentos que más adelante veremos podemos decir que el átomo está formado por dos partes bien distintas: Un núcleo, centro de energía y corpúsculos periféricos dispuestos al rededor del núcleo. En efecto, la descarga eléctrica en el tubo de Crookes nos demuestra que los rayos catódicos están formados por partículas de masa eléctrica. 1850 veces más débiles que el más ligero átomo; y además acabamos de ver que los rayos canales o rayos positivos son materia electrizada. También los cuerpos radiactivos emiten rayos Beta, o sea electrones, y rayos Alfa o sean átomos de Helium. Esto conduce a considerar el átomo como formado por un núcleo cargado de electricidad positiva, al rededor del cual giran los electrones cargados de electricidad negativa; es decir, un sistema solar en miniatura.

Esta concepción parecía imposible y en contradicción con las leyes de la electricidad dinámica; en efecto, se sabe que una carga eléctrica en movimiento emite ondas electromagnéticas, cuando su movimiento no es rectilíneo y uniforme; así pues, la materia emitiría espontáneamente energía transformándose sin cesar. En una palabra sería el caos; hoy un cuerpo sería oro, mañana platino, después carbono, azufre, etc.

El paso de los rayos Alfa a través de la materia ha permitido explicar de una manera completa la estructura interna del átomo. En efecto, las partículas Alfa pueden atravesar sin sufrir desviación notable, láminas metálicas delgadas y considerables capas de gas, hasta unos ochenta centímetros.

Una capa de gas de varios centímetros de espesor representa millones de millones de moléculas. Según la ley de Avogadro, no más en un milímetro cúbico de un gas cualquiera hay $30 \times 10^{16} = 30 \times 1000000000000000$ moléculas; de modo que sin lugar a duda las partículas Alfa pasan al través de los intersticios que dejan las moléculas, lo que quiere decir que atraviesan los mismos átomos, y nos indica que la materia es lagunar. El átomo debe estar formado por un centro o núcleo muy pequeño con relación a sus propias dimensiones y entre los átomos debe haber espacios muy grandes.

Eléctricamente el átomo es neutro, luego los electrones deben estar cargados de electricidad negativa que equilibra la carga positiva del núcleo. Por medio de un ingeniosísimo sistema ideado por el Físico inglés Wilson, se han podido fotografiar las trayectorias de las partículas alfa y estudiar las desviaciones que se producen. Consiste en hacer pasar la radiación alfa de los cuerpos radioactivos por entre una atmósfera de vapor sobresaturado dentro de una caja metálica iluminada lateralmente. Las partículas alfa en su movimiento producen la condensación de vapor en finas gotas de agua, las cuales reflejan la luz haciendo visible la trayectoria. Algunas son rectilíneas; en otras se observa un cambio brusco de dirección. Estas desviaciones revelan un campo de fuerza de extraordinaria intensidad, el cual no puede estar repartido en todo el volumen del átomo sino concentrado en el centro de éste en un espacio muy pequeño. Los electrones se agrupan al rededor, en una región relativamente grande que corresponde al volumen del átomo. Estos electrones no pueden estar en reposo, porque indefectiblemente caerían sobre el núcleo, de manera que tienen que estar en continuo movimiento al rededor del núcleo central. La magnitud de las desviaciones ha sido calculada por Geiger y Marsden y con ella se ha establecido la carga del núcleo que es la que produce la desviación. Recientemente Chadwick ha hecho el cálculo para casi todos los cuerpos simples.

Al pasar las partículas alfa por la materia de un gas son desviadas por los electrones y por el núcleo; aquellos las des-

vían ligeramente y este es el que produce las fuertes desviaciones que se hacen visibles por el método de Wilson; de la misma manera que un cometa es débilmente desviado por los planetas y fuertemente por el sol que viene a ser lo que el núcleo en el átomo. Hay una diferencia; los astros se desvían por atracción; las partículas alfa por atracción con el núcleo y repulsión con los electrones.

La dispersión de las partículas alfa por algunos cuerpos, como el Hidrógeno, Helium, Carbono, Oxígeno y Azufre ha sido muy bien medida y se ha encontrado respectivamente igual a 1, 2, 6, 8 y 16. Estas cifras representan la mitad del peso atómico de estos cuerpos simples y representan la carga eléctrica del núcleo. En números redondos esta viene a ser igual a

$$A \times e$$

en donde e es el átomo de electricidad que ya conocemos igual a

$$1,591 \times 10^{-20} \text{ unidades electromagnéticas C. G. S.}$$

y A es el número atómico, o sea el número de electrones que gravitan al rededor del núcleo y que neutralizan su carga.

El núcleo debe estar formado por partículas alfa porque todos los cuerpos al ser bombardeados por los rayos X producen átomos de Helium y partículas alfa de gran poder de penetración. Con todo el núcleo permanece todavía un poco desconocido y constituye como un mundo cerrado a los agentes físicos; no así la parte periférica la cual puede hasta hacerse variar a voluntad y sustraer uno o más electrones para convertir un cuerpo en otro, como entre los radioactivos y con el Hidrógeno y el Nitrógeno.

Una última objeción se impone y es ésta: si los electrones están en movimiento vibratorio al rededor del núcleo, deben emitir ondas electromagnéticas, como cuando estalla una descarga oscilante entro dos conductores metálicos. Esto está en desacuerdo con los hechos porque el espectro que emiten los cuerpos en ciertas condiciones es continuo y representa una longitud de onda determinada, por lo cual el sistema del átomo es inestable y por lo tanto no puede subsistir.

El físico Niels Bohr resolvió el punto y parece que está de acuerdo con los últimos datos de la experiencia. Para poder explicar la repartición de la energía en el espectro de los cuerpos Planck demostró que la energía de un oscilador que emite ondas periódicas, varía de una manera discontinua. Es decir, la emisión de energía se hace por saltos bruscos, por oleadas, digamos así; por granos de energía, como dicen los físicos, o por *quantum* de energía como dicen los matemáticos, iguales a una cantidad constante, cantidad universal de energía valorada en $6,55 \times 10^{-27}$ unidades C. G. S. Por extensión de esta teoría universalmente adoptada desde el punto de vista matemático, N. Bohr explica que el electrón en movimiento al rededor del núcleo positivo, posee un cierto número de órbitas estables en las cuales no irradia energía; pero cuando pasa a una órbita no estable inmediatamente hay radiación de energía y el electrón pasa a un nivel de energía más bajo. El cálculo ha resultado de manera sorprendente acorde con los espectros y ha explicado la formación de las rayas de los espectros de los cuerpos simples.

Esta elegante demostración pone fuera de duda la estructura del átomo y ha demostrado que la única clasificación racional de los cuerpos simples es la clasificación periódica en la cual se derivan todos los cuerpos del Hidrógeno viniendo a ser formas estables de la materia.

Resumen—El átomo está formado por un núcleo central formado por una masa eléctrica de partículas alfa. Este núcleo es un eje dotado de movimiento aspiral al rededor del cual giran otras masas eléctricas negativas (los electrones) en órbitas elípticas con desplazamiento periódico. El número de electrones en los átomos, va aumentando a medida que aumenta el peso atómico y se reparten en capas de ocho electrones del centro hacia la periferia. En la capa exterior los electrones son los que verifican las combinaciones químicas y cuando está formada por ocho electrones el cuerpo no tiene capacidad de combinación como sucede con los gases raros del aire. Cuando el número de electrones de la capa periférica no llega a ocho el complemento a esta cifra es la valencia del

cuerpo. Así, el Nitrógeno tiene en la periferia cinco electrones, por lo cual es trivalente, etc.

Según lo que hemos visto la materia es una; los cuerpos simples hasta hoy conocidos no son sino escalones estables y no se diferencian los unos de los otros sino por el número de electrones que giran al rededor de la carga del núcleo. La materia es *una* como la energía.

DISCURSO

**pronunciado en Lima por el doctor Fabio
Lozano T. en el centenario del General José
María Córdoba**

Excelentísimos señores ministros de relaciones exteriores y de guerra;

Excelentísimo señor presidente del Senado;

Excelentísimos señores embajadores y ministros;

Señores de la Sociedad Fundadores de la Independencia y Vencedores del 2 de Mayo;

Señores:

Ayacucho es el ápice de las batallas ganadas para la libertad de los hombres.

Ninguna como ella fue tan decisiva ni llevó tan lejos sus efectos: un Continente asegurado allí para la democracia y la república; veinte naciones soberanas que desafían al tiempo y que se abren llenas de vitalidad y de pujanza hacia el futuro; un almácigo poderoso de pueblos conscientes de su destino, que avientan sobre todas las zonas sus ideas y sus sistemas y van conquistando, etapa por etapa, países y razas para la libertad..... Tal es la significación y trascendencia de esa batalla singular.