



LA CONSTITUCION DE LA MATERIA

(Conferencia dada en el Salon de Honor de la Universidad el 22 de
Noviembre de 1911.

POR

DON LUIS L. ZEGERS

En esta Conferencia no se encontrará nada de original. Solo nos proponemos describir sucintamente las investigaciones de J. J. Thomson, el célebre profesor de Física de la Universidad de Cambridge, sobre la constitucion íntima de los cuerpos. Lo único que podríamos reclamar como nuestro, es la paciente repetición de los experimentos sugeridos por los profesores Pellat i Perrin, i de haberlos modificado i adaptado a los elementos de que podíamos disponer en el Laboratorio de Física Jeneral de la Universidad. Podemos asegurar, en consecuencia, que esos experimentos han sido todos ellos verificados.

Si queremos obtener resultados positivos en el estudio de la naturaleza debemos contemplar sus aspectos sin cesar renovados, compararlos entre sí, i procurar adivinar, por los mismos efectos, la existencia de las mismas causas. Clasificar esos efectos, investigar su origen, tal debería ser el primer paso hácia el descubrimiento de sus relaciones, es decir de las leyes naturales.

Pero, para conseguirlo, deberemos reemplazar la observa-

cion directa por una operacion, un tanto mas compleja, que es la experimentacion.

Un experimento es una pregunta hecha a la naturaleza siempre pronta a contestar correctamente, si la pregunta ha sido correctamente hecha. La naturaleza es profundamente sincera; todo nuestro arte deberá consistir en hacer interrogaciones sencillas, para que tambien lo sean las contestaciones. Pero, como en la ciencia debemos procurar *conocer* en vez de *sentir*, será necesario ponernos a cubierto de las ilusiones, procurando ver las cosas tales cuales son, dentro de los limites de potencia i perspicacia de nuestros sentidos. Estos, en efecto, están espuestos a ignorar la verdadera naturaleza de lo que perciben dándonos falsas informaciones. No es porque sean falaces; si nos engañan es porque ellos mismos se dejan engañar, i, porque las ilusiones nos acechan por todas partes.

Talleyran recomendaba desconfiar de nuestro primer movimiento «porque es el bueno», nosotros debemos aprender a desconfiar de nuestra primera impresión, pero, por la razon inversa: «porque jeneralmente ella es mala.»

De aquí la necesidad de educar nuestros sentidos i de buscar medios de proteccion contra nuestras ilusiones. Los encontramos, felizmente, sustituyendo a la simple observacion una operacion mas minuciosa, la de las *mediciones* científicas, mas exactas que las de que nos valemos en la vida ordinaria. La perfeccion de las medidas ha seguido, i precedido amenudo al progreso de la ciencia, de que ha sido ella en mas de una vez la condicion esencial.

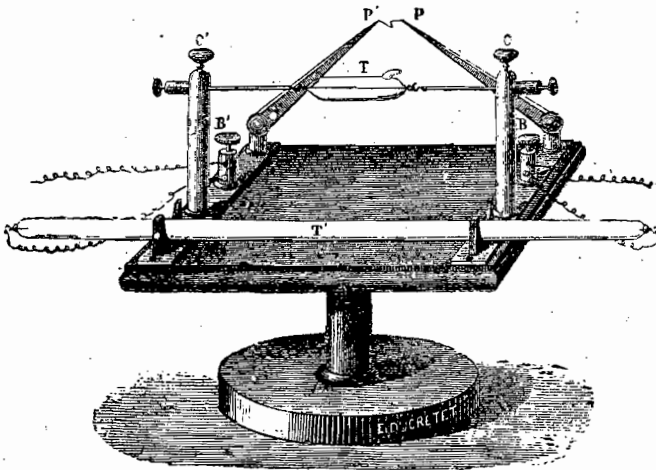
Ayudados, en fin, por la induccion i la deducccion han podido cosechar los numerosos experimentadores de nuestra época, la simiente multiplicada de los siglos precedentes, labrando una tierra de la que brotan profusamente lozanas espigas i frondosas ramas.

La parte de la ciencia de que vamos a ocuparnos data solo de algunos años, pero ha hecho i sigue haciendo mui

rápidos progresos. Constituye un campo mui estenso i que debemos recorrer en poco mas de una hora. Por esto no podemos detenernos mucho tiempo en cada una de sus partes; i, por esta razon tambien, debemos proceder amenudo por afirmaciones, efectuando la demostracion experimental solamente en los casos mas importantes.

Al terminar, apénas si esbozaremos las nuevas ideas que hoi se encarnan relativamente a la constitucion de la materia; ideas que, a primera vista nos aparecen como hipotéticas i atrevidas, hasta el punto de que algunos las hayan juzgado como ensueños de cerebros demasiado fértiles. Son, sin embargo, ménos atrevidas cuando se pesan i aquilatan todas las razones que se han tenido para hacerlas figurar indiscutiblemente en el cuadro científico de nuestros conocimientos modernos.

Todos conocemos el hermoso fenómeno que se produce cuando se hace pasar una descarga eléctrica en un tubo de *Geissler*, es decir, en un tubo que contenga un gas enrarecido, cuya densidad no pase de la milésima parte de la densidad del aire atmosférico. Se ve una viva iluminacion coloreada que ocupa sin interrupcion de uno a otro extremo del tubo.—Este fenómeno va a servirnos de punto de partida.



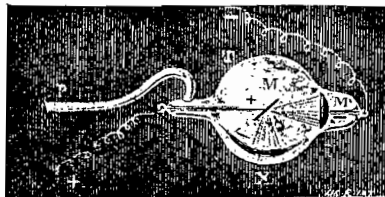
Para hacer penetrar la descarga en el tubo, se hace uso de dos piezas metálicas, que atraviesan el vidrio en cada una de las estremidades i que denominaremos *electrodos*. La que comunica con el polo negativo del manantial eléctrico, —en este caso un carrete de Ruhmkorff— se llama el *catodo*; la que comunica con el polo positivo del manantial se llama el *anodo*.—En este tubo se distinguen fácilmente el catodo del anodo, porque el primero está rodeado por una luz violada, mientras que la larga columna *anaranjada* que ocupa casi todo el tubo parece desprenderse del anodo (1).—Si invertimos el papel de los dos electrodos, en el acto se ve que la luz violada pasa a ocupar la estremidad opuesta del tubo, siempre rodeando el catodo.

Pero, podemos enrarecer mas el gas que llena el tubo. A medida que aumenta el grado de enrarecimiento, se modifica el aspecto que adquiere la descarga. Valgámonos para comprobarlo de un tubo de *Crookes*, es decir de un tubo en el que la densidad del gas no es sino la milésima parte de la del tubo de Geissler que acabamos de ver, i, por consiguiente, la millonésima parte de la del aire atmosférico.—El aspecto de la descarga es mui diferente: el tubo solo emite una luz verdosa i mirándolo de cerca se ve que esta luz no proviene del interior del tubo, sino únicamente de sus paredes, que se han puesto luminosas por la accion de un agente originado por la descarga. Además, puede notarse que la iluminacion del vidrio es mucho mas intensa enfrente del catodo, como si ese agente, causa de la iluminacion, se escapase rectilíneamente del catodo.

El fenómeno es mas nítido en un tubo de otra forma, tal como indica la figura: la plaquita de platino M' inclinada unos 40° respecto del eje del tubo, proyecta sobre la pared esférica una mancha verde mui brillante, como si se produjera en ella una reflexion del agente emitido por el catodo —en este tubo un espejito M esférico cóncavo de aluminio;

(1) Esa luz es *amarilla* en una atmósfera enrarecida de oxígeno i de color *rosado* en el hidrógeno.

si invertimos el papel de los dos electrodos, cesa el fenómeno variando absolutamente el aspecto de la descarga.



Con el tubo representado en la figura que sigue podemos comprobar la absoluta falta de conductibilidad en el vacío

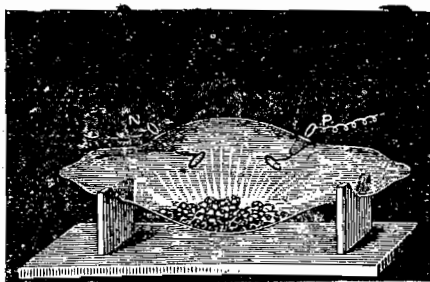


perfecto—tubo de Hittorff—i los efectos de Geissler i de Crookes. Basta para esto calentar suave i progresivamente el depósito de la izquierda que contiene un poco de potasa.

Se da el nombre de rayos catódicos a este agente que se escapa del cátodo i que hiriendo el vidrio produce su iluminación.

Estudiemos rápidamente las principales propiedades de los rayos catódicos.

No solo el vidrio goza de la propiedad de iluminarse por el choque de los rayos catódicos: muchas otras sustan-



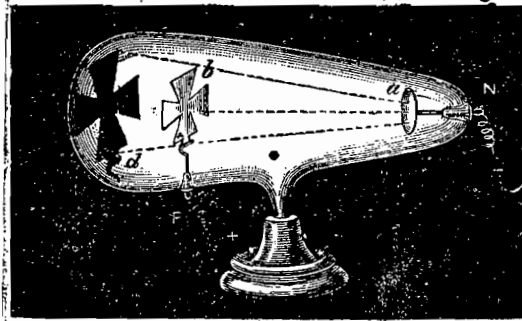
cias, i en particular ciertos minerales, tienen tambien esta propiedad. El color de la luz emitida, depende de la naturaleza de la sustancia.

El tubo que tenemos a la vista contiene diversos minerales que, en el acto de hacer pasar la descarga en el vacío Crookes, aparecen vivamente luminosos i con sus característicos colores.

Aprovechando esta propiedad se exhiben en el comercio los mas variados objetos, flores, mariposas, etc., fabricados con esos cuerpos que, mirados a la luz ordinaria aparecen de un color blanco agrisado, pero que heridos por los rayos catódicos presentan deslumbrantes i variados colores, como fácil es verificarlo.

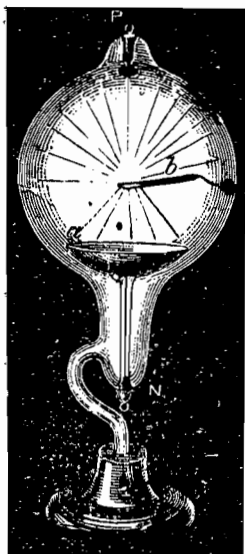
Los rayos catódicos se propagan en línea recta a partir del catodo.

La ampollita que vemos está provista de un pequeño catodo, i en su interior hai una cruz de aluminio que por su interposicion detendrá una parte del haz de rayos catódicos. — En todos los puntos en que el vidrio queda protegido contra el choque de los rayos, no se ilumina, mientras que nos



aparece brillante en las demas porciones de la pared opuesta del catodo, en el acto de producirse la descarga. De aquí la sombra proyectada en el fondo de la ampollita, sombra que, en cuanto a su posición i a la nitidez de sus bordes, es en

todo semejante a la sombra que se produciria interponiendo el mismo cuerpo opaco, aquí una cruz de Malta, en el trayecto de los rayos luminosos emitidos por un pequeño manantial de luz que ocupase la misma posicion que el catodo.

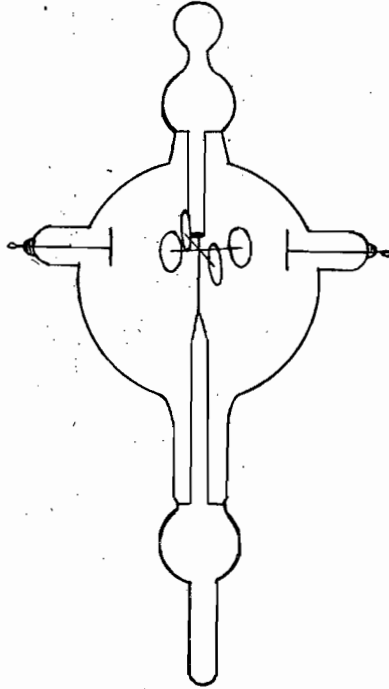


Así como los rayos luminosos se trasportan en línea recta así también se verifica con los rayos catódicos.

Así mismo podemos comprobar fácilmente que los rayos catódicos se escapan en una *direccion perpendicular a la superficie del catodo*. Dando a éste la forma de un casquete esférico cóncavo, todos los rayos se concentran en el centro de la esfera a que pertenece el casquete. Si en él colocamos una delgada lámina de platino, la veremos enrojecer i aun emitir rayos luminosos. Los rayos catódicos al chocar contra un cuerpo, enjendran calor.

El célebre físico ingles Crookes, que ha vulgarizado las propiedades de los rayos catódicos, i a quien se debe la mayor parte de los experimentos que venimos ejecutando, ha demostrado por último que los rayos catódicos repelen los cuerpos livianos que encuentra en su trayecto.

Un pequeño molinete, con sus aletas dispuestas como las de un anemómetro, está instalado en un tubo de Crookes i de manera que el catodo quede enfrente del molinete.— Haciendo pasar la descarga vemos jirar el molinete como empujado por un soplo que parte del catodo.



Todas las propiedades de los rayos catódicos, que acabamos de enumerar, las poseen también los rayos luminosos, con más o menos intensidad, aun la acción repulsiva.

¿Nos autorizaría esta circunstancia para deducir que los rayos catódicos son de la misma naturaleza que la luz?

¿Podríamos aceptar, en consecuencia, que los rayos catódicos son vibraciones que se propagan en el tubo de Crookes, como son vibraciones los rayos luminosos que se propagan a partir de un manantial luminoso?

Esta creencia fué sustentada durante algún tiempo; pero

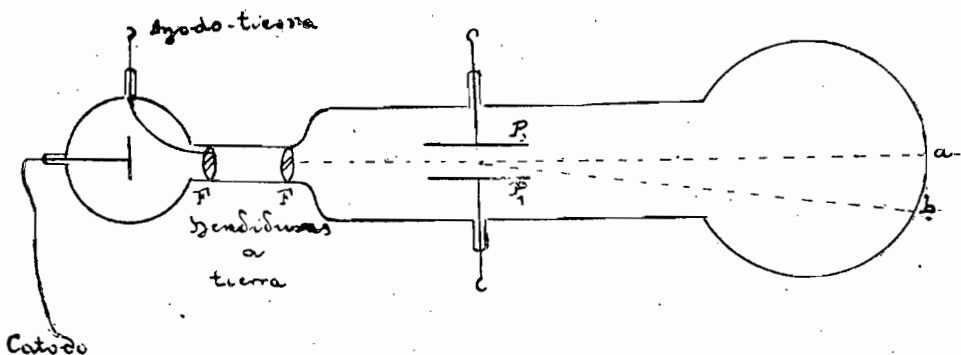
todas las propiedades que acabamos de comprobar se explican tambien plenamente admitiendo que los rayos catódicos esten constituidos por particulas materiales extraordinariamente ténues lanzadas con una gran velocidad desde el catodo, explicándose aun mejor así la accion mecánica.

Vamos a ver, fijándonos en una nueva serie de propiedades de esos rayos, que esta última explicacion es la única aceptable,

Acerquemos un iman a una ampollita Crookes; crearemos a su alrededor un *campo magnético*, es decir, un espacio en el que se ejercen fuerzas magnéticas. Procediendo así podemos comprobar que se desvía el haz de los rayos catódicos; que se encorva como lo patentiza el desplazamiento de la mancha luminosa. En este fenómeno encontramos una diferencia esencial con la luz: un haz de rayos luminosos naturales no se desvía atravesando un campo magnético, aunque éste sea muy intenso.

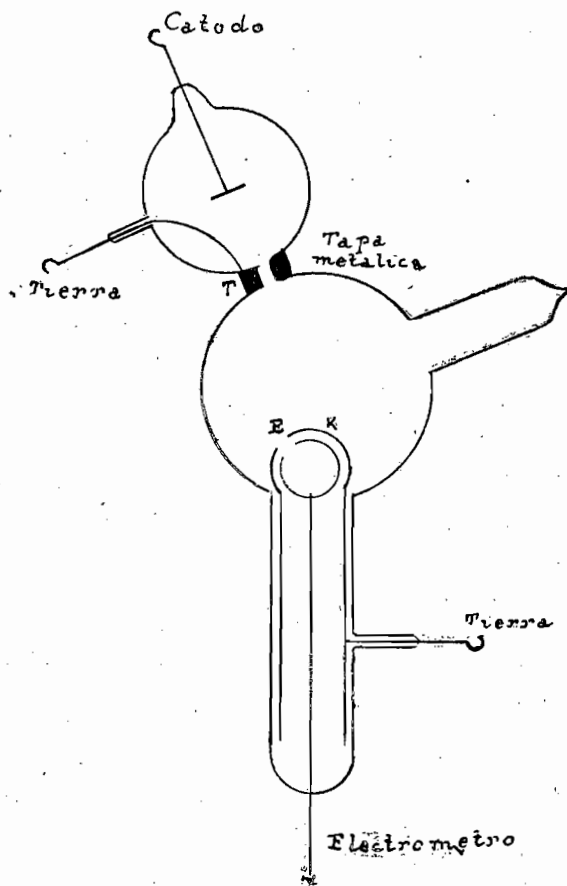
Pero se ha podido hacer otro experimento fundamental: si se hace pasar un haz de rayos catódicos entre dos placas metálicas, una de las cuales comunica con el polo positivo de un manantial eléctrico (bateria de acumuladores, máquina electrostática, etc.) i la otra con el negativo, se obtendrá entre las dos placas un campo eléctrico, se producirá tambien una desviacion del haz catódico.

El aparato de que se ha hecho uso con el objeto de medir la magnitud de la desviacion es el indicado en la figura siguiente:



Efectuando este experimento, cuyos detalles saldrían del cuadro que nos impone esta conferencia, se ha podido comprobar que el haz catódico se *desvía hacia el lado de la placa cargada con electricidad positiva*.

Es ésta, pues, una nueva propiedad que diferencia los rayos catódicos de los luminosos, puesto que estos últimos no son absolutamente desviados por un campo eléctrico (2).



(2) Hemos podido verificar la desviación de los rayos catódicos en un campo eléctrico valiéndonos del tubo de Crookes provisto de la cruz de Malta de aluminio; colocado este tubo entre dos placas de co-

PERO DÉBESE A PERRIN UN EXPERIMENTO capital que no deja duda alguna respecto a la materialidad de los rayos catódicos.

Este físico ha demostrado que esos rayos trasportan consigo electricidad negativa, recibéndolos, al efecto, en un vasito metálico K contenido en el interior del tubo i en comunicacion con un electroscópio o electrometro que, para el experimento dá lo mismo.

Son mui conocidas las propiedades del *cilindro de Faraday*. Se sabe que si se introduce un cuerpo electrizado en el interior de ese cilindro las hojas de oro del electroscópio se separan acusando una carga eléctrica, i que su signo es el mismo que el de la electricidad depositada en el interior del cilindro, dando a conocer de esta manera, una u otra electricidad, positiva o negativa. Perrin hizo penetrar los rayos catódicos en el cilindro, desviándolos con un imán hasta que llegasen a una abertura E, i, en el acto, el instrumento demostró la carga negativa llegada al cilindro K.

Esta carga es siempre negativa; *i como solo la materia puede trasportar la electricidad*, debemos deducir que los rayos catódicos estan constituidos por partículas materiales electrizadas negativamente.

Todo ha venido mas tarde a confirmar esta naturaleza de los rayos catódicos.

En una palabra, *los rayos que emanan normalmente del catodo, en un tubo en que el vacio se ha llevado a un grado conveniente* (rayos catódicos), *estan formados de partículas electrizadas negativamente i en consecuencia animadas de mui grandes velocidades.*

Se explica mui bien, entónces, que un haz de rayos catódicos que pasa entre dos láminas, una electrizada positiva i la otra negativamente, sea desviado: la primera

bre aisladas i enérgicamente electrizadas por medio de un carrete de Ruhmkorff, la sombra de la cruz se desvía sensiblemente al producirse la descarga en el tubo, por medio de otro carrete o una máquina electrostática.

atrae las partículas cargadas negativamente que los constituyen, la otra los repele. También se concibe muy bien por qué son desviados esos rayos por un campo magnético, puesto que una fila de partículas electrizadas, i lanzadas con una gran velocidad, debe conducirse como un conductor flexible recorrido por una corriente eléctrica; i de aquí que se encorve por la acción de un campo magnético.

Establecidos los hechos anteriores procuremos averiguar, aunque sea muy sucintamente, cómo se ha podido determinar la *masa* de esas partículas, la *carga eléctrica* que posee cada una de ellas, i, en fin, con qué *velocidad* son lanzadas.

Para poder contestar estas preguntas menester es recordar otras propiedades de esas partículas.

El hábil físico alemán Ph. Lénard ha conseguido hacerlas salir de las ampollitas en que ellas se producen, practicando en frente del cátodo, una abertura pequeña cerrada con una hoja muy delgada de aluminio. Esta impide la entrada del aire exterior a la ampollita, permite hacer el vacío, pero se deja atravesar por los rayos catódicos, cuyas propiedades, gracias a esta invención, se pueden estudiar en el exterior del tubo de Crookes.

Es un hecho experimental que una punta metálica electrizada negativamente, conexasionada con el polo negativo de una máquina eléctrica, lanza al aire partículas que gozan de las mismas propiedades que las constitutivas de los rayos catódicos, que hayan penetrado al aire por la ventanilla de aluminio imaginada por Lénard.

También es un hecho que la producción de esas partículas en las puntas electrizadas negativamente permite condensar el vapor de agua en forma de gotitas líquidas al rededor de ellas.

Acercando, en efecto, una punta así electrizada a un chorro de vapor de agua invisible aumenta mucho la condensación del vapor, i la nube que se forma se hace más opaca.

El vapor de agua, gas perfectamente transparente, en el

estado de *sobresaturacion*, solo se condensa cuando existen pequeños cuerpos sólidos o líquidos, en la atmósfera que contiene el vapor i que puedan servir de núcleos a la condensacion. Jeneralmente desempeña este papel el polvo en suspension; pero si la atmósfera contenida en un recipiente está completamente privada de polvo, el vapor puede permanecer sobresaturado sin condensarse. En esas condiciones, si aparecen en medio de esta atmósfera las partículas electrizadas negativamente, de que nos ocupamos, cada una de ellas constituirá el núcleo de una gota de agua, debido a la condensacion del vapor (3).

I, a propósito de las propiedades de las puntas electrizadas negativamente, permitasenos una digresion que consideramos congruente con la materia de que nos ocupamos.

Hemos dicho que las sombras en las ampolletas de Crookes se deben a las partículas electrizadas negativamente—rayos catódicos—repelidas por el catodo. Pues bien, Righi, el no-

(3) Si el aire estuviese perfectamente despojado de polvo, la condensacion no deberia producirse jamas por expansion adiabática. Efectivamente, puede producirse la condensacion en un recipiente cualquiera en casos de mui débiles saturaciones; pero si se deja que caiga la neblina i se repite el experimento se requiere una saturacion mas i mas grande para obtener una condensacion. Depende esto de que al caer la neblina formada necesariamente despoja al gas de las materias que contenia en suspension.

No obstante, siempre se produce la condensacion cuando ρ (razon entre el volúmen que ocupa el vapor saturado i un nuevo volúmen mayor), pasa de cierto límite. En el aire, perfectamente privado de polvo, solo hai condensacion cuando $\rho > \rho_1$, i las gotas son poco numerosas si no se sobrepasa el segundo límite $\rho = \rho_2$.

En fin, si $\rho > \rho_2$, se puede admitir que el vapor se condensa en *neblina espesa*, independientemente de la presencia de otros núcleos que sus propias moléculas o las del gas al cual esté mezclado.

La condensacion en *lluvia* que se produce cuando ρ está comprendido entre ρ_1 i ρ_2 debe ser considerada como indicio de la presencia de cuerpos mas grandes i diferentes de las moléculas del gas o del vapor.

table físico italiano, profesor de Marconi, ha conseguido producir últimamente fenómenos semejantes, nó ya en el interior de un tubo de Crookes, sino en medio de una atmósfera no enrarecida.

Se puede operar, para conseguirlo, de la siguiente manera: depositemos sobre una placa metálica horizontal i debajo de una punta, una lijera capa de una materia pulverulenta conductriz.

En el momento de electrizar negativamente la punta i de relacionar el platillo al polo positivo, la *materia será vivamente proyectada si interponemos entre ella i el platillo un cuerpo opaco*. Pongamos, por ejemplo, un encaje e interpongámoslo entre la punta i un poco de limadura de fierro esparcida en una hoja de papel reposando en el platillo metálico, i obtendremos una imagen perfecta del encaje sobre el papel, destacándose en un fondo negro, en el momento de producirse la descarga.

Pero, volvamos a considerar los fenómenos de condensacion del vapor de agua sobresaturado, tan fecundos en importantes consecuencias. Fundándose en las propiedades que conocemos, el gran profesor ingles Diego José Thomson de la Universidad de Cambridge, consiguió medir en valor absoluto la *carga eléctrica* de cada una de las partículas electrizadas negativamente que constituyen los núcleos de cada gota de agua, obtenidas en las condensacion del vapor.

Habiendo producido, en efecto, vapor de agua sobresaturado en una atmósfera perfectamente privada de polvo, provocó la formacion de las partículas electrizadas negativamente empleando un procedimiento que mui luego indicaremos. Inmediatamente vió formarse en el recipiente de vidrio una nube de pequeñísimas gotas, teniendo cada una de ellas por centro o núcleo una partícula electrizada. Bajo la influencia de la pesantez la nube cayó en el recipiente; pero, como todas las nubes, cayó mui lentamente, a causa de la frotacion que ejerce el aire en esas pequeñas gotas de agua. Midiendo la *velocidad* de la caída de la nube, dedujo

Thomson el tamaño de las gotitas de agua que las constituían i, por consiguiente, la fracción de gramo que cada una de ellas pesaba. (4)

Conociendo, por otra parte, la *masa* en gramos de la totalidad del agua así condensada, una simple división de esta masa total por la de una de las gotitas le permitió determinar el número de éstas, i, en consecuencia, el número de partículas negativas, puesto que a tantas partículas debían corresponder otras tantas gotas.

En fin, midió la carga eléctrica de toda la nube, i dividiendo por el número de partículas; dedujo Thomson la carga eléctrica de cada una de ellas (5).

(4) Estudiando la resistencia opuesta por los fluidos a los desplazamientos lentos, ha encontrado Thomson, concretándose al caso de la caída de una esfera pesada en un medio de viscosidad η i en especial para la velocidad v de caída de un cuerpo de densidad 1, es decir del agua :

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{g a^2}{\eta}$$

De esta fórmula se obtiene $v = 1,21 + 10^6 + a^2$ para el aire en que $\eta = 1,8 + 10^{-4}$ i $g = 980$ en Santiago.

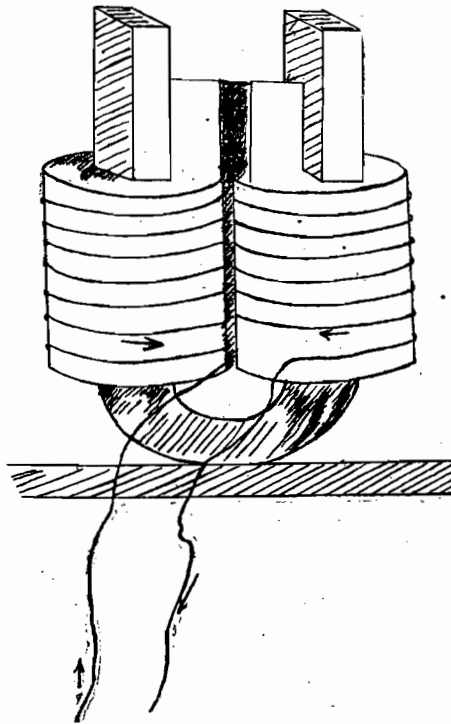
Suponemos que $a = 5 \mu = 5 + 10^{-4}$.

Se halla así que $v = 3$ milim. seg. aproximadamente.

(5) Conviene definir el significado de la expresión *masa* de un cuerpo. Los cuerpos son los vehículos del trabajo; ellos lo almacenan aumentando su velocidad i restituyen trabajo perdiéndola. Es fácil demostrar experimentalmente que *la capacidad de absorción del trabajo es, para todos los cuerpos, proporcional a su peso*. Esta relación, a la que consagraron pacientes investigaciones primero Newton i en seguida Bessel, es una de las más importantes i si se quiere misteriosas entre las que rijan en nuestro Universo; ella nos permite penetrar profundamente en la constitución de la materia, suministrándonos uno de los mejores argumentos en apoyo de su unidad.

Conocida esa carga eléctrica, obtuvo el mismo investigador, por medio de dos experimentos clásicos, la *masa* de cada una de las partículas i su *velocidad* en los rayos catódicos.

Para esto, hizo pasar un haz de esos rayos en un campo magnético uniforme de intensidad conocida, semejante al que habia realizado H. Becquerel en un experimento anterior, i cuyo dispositivo se ve en la figura.



Al pasar el haz por el campo magnético, pierde su trayecto rectilíneo i forma un arco de círculo; midiendo el radio de este arco se puede deducir el *producto de la masa de una partícula por su velocidad* ($m \times v$) (6).

Para abreviar nuestro lenguaje reemplazamos la espresion un poco larga de *capacidad de absorcion del trabajo* por la palabra *ma-*

Habiendo hecho pasar enseguida el haz de rayos catódicos por un campo eléctrico, la mensura de la desviación experimentada por el haz permitió determinar el *producto de*

sa; i decimos que, para todos los cuerpos, los *pesos* i las *masas* son cantidades proporcionales.

(6) Sea, en efecto o z la dirección de un campo uniforme, *e* la carga, *m* la masa de una partícula electrizada en movimiento; si la velocidad *v* es pequeña comparada a la de la luz, la acción del campo es la misma que en la corriente equivalente de intensidad *e v*.

Si se representa por *Z* el valor del campo i por *R* el radio de la circunferencia, llega J. J. Thomson a la ecuación:

$$R = \frac{m v}{Z e},$$

i demuestra que, para un valor dado de *Z* i de $\frac{e}{m}$, no depende el radio de curvatura sino de la velocidad *v*, cuyo valor está evidentemente ligado al del potencial de descarga en la hipótesis balística.

La relación que existe entre ese potencial de descarga i el desplazamiento impreso a la partícula electrizada, perpendicularmente al campo, ha sido deducida por W. Kaufmann. Ella está representada por la fórmula

$$z = H \frac{x_0^2}{2} \sqrt{\frac{e}{2 m V_0}},$$

en la cual *z* representa el desplazamiento según *o z* del rayo sometido a la acción del campo *H* perpendicular a *z o x*, del origen del punto de la abscisa *x₀*; *V₀* designa el potencial de descarga. La medición de *z*, fácil de efectuar por medio de una pantalla fluorescente ha permitido comprobar que, en igualdad de circunstancias, *z* es inversamente proporcional a $\sqrt{V_0}$ i independiente de la naturaleza del gas;

de donde debe deducirse que $\frac{e}{m}$ es constante, es decir independiente de la naturaleza del gas.

la masa de una partícula por el cuadrado de la velocidad ($m \times v^2$) (7).

Dividiendo el número que representa el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad ($m v^2 : m v = v$) obtuvo lógicamente esta velocidad.

Los ensayos de medición *directa* de la velocidad tentados por Thomson i Quirino Majorana no han sido concordantes, i de aquí el procedimiento indirecto seguido por el profesor de Cambridge, perfectamente correcto, como se ve.

En fin, dividiendo el producto de la masa i de la velocidad por esta misma, se llegã al valor de la masa de una de las partículas que constituyen los rayos catódicos ($mv : v = m$).

Si se compara esta masa con la de un átomo, con la masa de un átomo de hidrójeno, por ejemplo, cuerpo que ha dado orijen a tantas operaciones concordantes en la Química, se encuentra que la masa de un átomo de hidrójeno es unas 2000 veces mas grande que la masa de una de las partículas que constituyen los rayos catódicos; i, nótese que, hasta hace mui poco era el átomo la mas pequeña cantidad de materia susceptible de combinacion, i de aquí precisamente la palabra átomo para significar con ella el último grado de materia indivisible. Ahora bien, los rayos catódicos estan compuestos de partículas de tal manera ténues que se requeririan 2000 de ellas para formar una masa equivalente a la del ménos pesado de los átomos conocidos. J. J. Thomson las ha denominado *corpúsculos*, nombre aceptado hoi en la ciencia.

La velocidad de estos corpúsculos, en los rayos catódicos, depende del grado de enrarecimiento del gas encerrado en las ampolletas; está comprendida entre 20 000 i 100 000 kilómetros por segundo, es decir, una velocidad que puede alcanzar a la tercera parte de la velocidad de la luz, que, determinada con gran precision, se sabe que es de 300 000

(7) El cálculo de la desviacion electrostática de los rayos catódicos ha sido hecho por Kaufmann i Aschkinass, partiendo de la hipótesis balística; i los resultados del cálculo han sido confirmados por diversos preeedimientos experimentales.

kilometros por segundo. Esa prodijiosa velocidad nos explica cómo, apesar de su pequeñísima masa, los corpúsculos dan origen a los notables efectos caloríficos i mecánicos, que hemos podido comprobar, cuando chocan ellos con los cuerpos que encuentran en su camino.

¿Cuál es el origen de estos corpúsculos? ¿Qué relaciones tienen con la materia que nos es familiar?

Bajo un gran número de influencias, las moléculas de los gases, aun las de los gases simples como el hidrógeno i el azoe, se disocian o dividen, en una porcion pequeñísima que se separa - el corpúsculo, electrizado negativamente,—i en otra porcion, el resto de la molécula, casi de la misma magnitud que la molécula misma,—llamada *ion positivo*.—Esta parte la hallamos, efectivamente, cargada de una cantidad de electricidad positiva igual en valor absoluto a la carga negativa del corpúsculo: en este fenómeno de disociacion no se puede crear una cantidad de electricidad negativa sin que aparezca al mismo tiempo una igual cantidad de electricidad positiva, i es lo que precisamente comprueba la experimentacion.

La experiencia ha hecho ver, ademas, que el corpúsculo goza exactamente de las mismas propiedades, sea cual fuere la naturaleza de la molécula de que proviene. Por el contrario, el ion positivo, ese residuo de la molécula, tiene propiedades que especialmente dependen de la naturaleza de la molécula.

El fenómeno de la disociacion de la molécula se denomina *ionizacion de los gases*. Debemos advertir aqui que, no solo los gases pueden ser ionizados: las moléculas de los metales pierden fácilmente corpúsculos i aun al estado sólido.

Los gases ionizados gozan, asimismo, de otra propiedad mui característica, que nos permite reconocer su ionizacion: *ellos descargan los cuerpos electrizados*.—Supongamos un cuerpo cargado de electricidad positiva rodeado por un gas

ionizado; los corpúsculos, cargados negativamente, serán atraídos por ese cuerpo, ocultando, podría decirse, su carga positiva; i el movimiento de los corpúsculos hacia él desaparecerá solo cuando el cuerpo se haya deselectrizado completamente. Lo mismo acontecería si estuviera cargado de electricidad negativa el cuerpo envuelto por el gas ionizado; solo que en este caso serían los iones positivos los atraídos i los que deselectrizarian el cuerpo.

Este procedimiento, tan espedito, va a permitirnos comprobar algunos casos de ionización en los gases.

Un gran número de reacciones químicas, especialmente las combustiones con llama, ionizan los gases.

Tomemos un calentador de gas de alumbrado cuyos gases de la combustión se desprenderán sobre la llama. Electricemos una esfera de cobre por un medio cualquiera i veremos que atrae vivamente un péndulo eléctrico sensible. Si pasamos la esfera, así electrizada, por los gases de la combustión, comprobaremos por medio del péndulo, que ha perdido su carga. Este fenómeno, tan conocido, esplicábase atribuyendo a los gases calientes la propiedad de ser *conductores* de la electricidad, i de aquí la descarga del cuerpo electrizado puesto en contacto con ellos.

Ahora bien, no es difícil convencerse de que esa esplicación no es exacta. Coloquemos sobre el calentador dos telas metálicas superpuestas, que dejarán pasar los gases a través de sus mallas, casi tan calientes como ántes; pero esos gases habrán perdido los corpúsculos i los iones positivos, que se adherirán a las mallas metálicas por un fenómeno de atracción eléctrica. I, tanto es así, que si repetimos el experimento, la esfera no se deselectrizará pasándola a través de los gases de la combustión, i continuará atrayendo la esferilla de saúco del péndulo eléctrico.

Por consiguiente, los productos gaseosos de la combustión deben aquella propiedad a la presencia de los iones i de los corpúsculos, i nó a su temperatura.

Otra causa intensa de ionización de los gases es la acción

de los rayos Roentgen, radiaciones éstas que probablemente se deben, como la luz, a movimientos del éter. Nada mas sencillo que descargar un electroscopio lanzando hacia ese instrumento rayos X; los gases del aire se ionizan i el electroscopio electrizado vuelve en el acto al estado neutro.

Los rayos Roentgen pasando a traves de una atmósfera que contenga vapor de agua sobresaturado provocan la ionizacion i como consecuencia la condensacion del vapor de agua. Fué de esta manera como creó Thomson los corpúsculos en su célebre experimento de la nubecilla a que nos hemos referido. Solo que, para tener éxito en este experimento se requiere emplear un recipiente de vidrio escento de bases metálicas i un cierto grado de saturacion. Hemos tenido que repetir este experimento con muchos recipientes de vidrio hasta encontrar uno medianamente permeable a los rayos Roentgen.

Conviene recordar en este momento que H. Becquerel descubrió la radio—actividad comprobando que el *urano* i sus sales podian descargar un cuerpo electrizado, i que, guiados por esta propiedad, descubrieron los esposos Curie el *radio*. Los cuerpos radio activos ionizan a los gases que los rodean aun cuando esten contenidos en un tubo cerrado a la lámpara. Así; con una pequenísimas cantidad de un compuesto de radio, que el malogrado Curie puso a nuestra disposicion poco despues de haberlo descubierto, i que conservamos herméticamente encerrado en un tubo podemos descargar fácilmente un electroscopio con solo acercar el tubito que lo contiene al instrumento; i, fenómeno digno de llamar la atencion, miéntras el tubo ha conservado hasta hoy su perfecta transparencia, una hoja de plomo en que la envolvemos se ha casi destruido carbonatándose rápidamente.

Nuestra atmósfera siempre está débilmente ionizada, i por esta razon, un cuerpo electrizado siempre concluye por descargarse, aunque esté mui bien aislado.

Quando los corpúsculos se encuentran en un campo eléctrico adquieren rápidamente una enorme velocidad, sometidos

dos como quedan a la influencia de la fuerza eléctrica que sobre ellos se ejerce, i por el efecto, además que resulta de la propia carga eléctrica i de su pequeñísima masa. Chocando esos corpúsculos con las moléculas de los gases, que encuentran en su trayecto, las ionizan; i de aquí que sea éste, también, el más enérgico medio de ionización conocido. La misma observación cabe respecto de los iones positivos, que adquieren un rápido movimiento en un campo eléctrico: ellos ionizan, así mismo, las moléculas que encuentran en su trayecto.

Estos fenómenos nos dan la clave de lo que debe producirse en los tubos con gases enrarecidos. Es un hecho que en la vecindad del cátodo reina un campo eléctrico muy intenso; i que bajo su influencia, los iones positivos, que siempre preexisten en pequeña cantidad en el tubo, deben precipitarse hacia el cátodo. Chocando violentamente ionizan a las moléculas, i los corpúsculos que provienen de esta ionización, sometidos a la influencia del intenso campo que existe cerca del cátodo, deben alejarse con una gran velocidad. Chocando también con las moléculas gaseosas que encuentran, deben ionizarlas, i de aquí la producción de nuevos iones positivos, que precipitándose al cátodo, sustentan la producción de corpúsculos. Si el gas está muy enrarecido, muchos de los corpúsculos, no encontrando ninguna molécula gaseosa en su trayecto, irán a herir la pared opuesta del tubo, produciendo su iluminación: obtendremos entonces el fenómeno de las ampollitas de Crookes. Si el enrarecimiento del gas es más débil, todos los corpúsculos lanzados por el cátodo, encontrarán moléculas gaseosas en su camino, i la luz emitida por ellas en el acto de la ionización, formará la aureola luminosa que rodea el cátodo en los tubos de Geissler.

Todos los que poseen nociones de óptica saben que, en ciertas condiciones, los gases i los vapores emiten radiaciones luminosas; i que, descompuestas por un prisma, se divi-

den en un cierto número de *rayas espectrales*, cuyo color, número i situacion caracterizan la naturaleza del gas i del vapor que las emite. Esas rayas no son las mismas, por ejemplo, con el hidrójeno, el vapor de fierro o el vapor de cobre.

Para esplicar esta emision de luz diferente por los diversos átomos, los físicos Lorentz i Larmor, holandés el primero e inglés el último, ven en el *átomo* un mundo tan complejo como nuestro sistema solar.

Procuremos esplayar sucintamente esta célebre hipótesis.

Lorentz i Larmor se imaginan el átomo como constituido por un núcleo cargado de electricidad positiva, alrededor del cual jiran pequeños cuerpos cargados de electricidad negativa, en la misma forma en que jiran los planetas alrededor del Sol.

Segun esta hipótesis, la rotacion de esos pequeños cuerpos imprimiria al éter que los rodea las constitutivas vibraciones de la luz, siempre que, por una causa exterior al átomo, perturben levemente su trayectoria. La *periodicidad* de las vibraciones luminosas así emitidas sería la misma que la del movimiento de esos pequeños cuerpos que jiran al rededor del centro del átomo. Como conocemos con una grande exactitud la periodicidad de la vibracion luminosa, quedaria determinada, de la misma manera, la duracion de rotacion de los pequeños cuerpos jiratorios que la hubieren provocado; puesto que esas dos magnitudes serian iguales.

El número de revoluciones que harian esos pequeños cuerpos, gravitando alrededor del núcleo central del átomo, dependeria de su distancia, siendo naturalmente variable en un mismo átomo, segun el pequeño cuerpo jiratorio considerado. El término medio de ese número de revoluciones sería de unos 500 trillones por segundo; algo así, como unas ocho mil veces el número de segundos transcurridos desde que nació Jesucristo hastas nuestros días!

Las leyes de la Electricidad esplican esta enorme velocidad de rotacion, con tal de admitir que esos pequeños

cuerpos tengan la misma masa i la misma carga eléctrica que el corpúsculo.

Si recordamos que el corpúsculo se separa precisamente del átomo, bajo diversas influencias, de las que hemos podido comprobar algunas de ellas, es lójico aceptar que esos pequeños cuerpos que gravitan en el átomo sean idénticos a los corpúsculos de Thomson.

No es difícil, por otra parte, formarse una idea de la magnitud de un corpúsculo i de su distancia media al centro del átomo; se ha calculado que, eligiendo como unidad de longitud el diámetro de un corpúsculo, que supondremos esférico, el término medio de las distancias de estos corpúsculos al centro del átomo, queda expresado mas o ménos por el mismo número que la distancia de la Tierra al Sol, tomando como unidad de longitud el diámetro de la Tierra. Así proporcionalmente a su magnitud, los corpúsculos se encontrarían tan distantes del centro del átomo, como se hallan los planetas del centro del Sol. Como se vé, no faltan razones para comparar el sistema solar con el sistema atómico.

El número de corpúsculos que gravitan alrededor del centro del átomo deber ser muy grande, si nos fijamos en que el átomo de hidrógeno, que es el que ménos contiene, cuenta probablemente con mil a dos mil. Los átomos de los demás cuerpos simples los contienen en números proporcionales a su masa.

Hemos dicho que los corpúsculos son siempre idénticos, ya sea que provengan de átomos de fierro, de cobre, de hidrógeno o de otro cuerpo simple cualquiera. Tampoco sería imposible que el núcleo positivo estuviese constituido de partes idénticas en los átomos de toda naturaleza. En tal caso, los átomos diferirían, nó por su naturaleza constitutiva, sino por la cantidad de materia positiva o *electron positivo*, i por el *número* i la *disposición* de los corpúsculos o *electrones negativos*.

Como se vé, la teoría corpuscular conduce lójicamente a la unidad de la materia, idea tan grata a los espíritus filosóficos. Solo que, sería necesario suponer la existencia de dos

materias fundamentales: la una, el electron positivo, inseparable de una carga de electricidad positiva, i la otra, el electron negativo, inseparable de una carga de electricidad negativa. Pero, esta pequeña complicacion, mas aparente que otra cosa, traeria consigo una simplificacion mui importante: esas dos materias se confundirian con las dos mismas electricidades que conocemos.

En fin, uno de los resultados mas importantes de la teoria corpuscular ha sido indicada por Abraham, quien ha demostrado que la *inercia*, esta propiedad fundamental de la materia, reconocida desde Galileo, vendria a ser una consecuencia necesaria del principio de la conservacion de la enerjía i de las leyes del electro magnetismo, si es que el átomo está constituido por pequeños cuerpos electrizados i mui distantes los unos de los otros relativamente a su magnitud; es decir, si el átomo tuviera precisamente la constitucion que hemos indicado. En tal caso, la masa de la materia se deberia a un fenómeno electro magnético, i la masa de un cuerpo, en jeneral, no seria independiente de su velocidad, sinó cuando ésta fuese débil comparada con la de la luz; circunstancia, ademas, que es la de todas las velocidades estudiadas en la mecánica, i aun en los planetas.

Por otra parte, la lei fundamental de la conservacion de la masa, que siempre palpamos rijiendo los fenómenos de toda especie, fisicos, químicos i mecánicos no vendria a ser sino un corolario de la conservacion de la enerjía, dentro de las nuevas ideas respecto de la constitucion de la materia.

Para terminar: lejos de pretender buscar la esplicacion de los fenómenos eléctricos i magnéticos en las leyes de la Mecánica racional, seria mas lójico quizas, cambiar de rumbo, procurando deducir las leyes de la Mecánica racional de las del electro magnetismo, haciendo reposar la Mecánica sobre mas sólidas bases.

Nos detenemos aqui temerosos de haber traspasado quizas los limites discretos de una conferencia. Que nos sirva

de escusa el propósito que nos ha guiado de hacer ver cuan grandioso i fecundo es el campo que se ofrece a las investigaciones de la Física.

BIBLIOGRAFIA

- S. ARRHENIUS.—«La disociacion electrolítica de las disoluciones».
- H. BECQUEREL.—«Investigaciones sobre una nueva propiedad de la materia».
- H. BOUASSE.—«Curso de Física».
- P. CURIE I SEÑORA.—«Las nuevas sustancias radio-activas i los rayos que ellas emiten».
- CH.-ED. GUILLAUME.—«Los estados de la materia».
- O. LUMMER.—«La radiacion de los cuerpos negros».
- H. PELLAT.—«El nuevo estado de la materia».
- J. PERRIN.—«Paredes semi-permeables».
- A. RIGHI.—«Las hondas hertzianas».—«Sobre algunos fenómenos debidos a los encuentros entre electrones, iones, átomos i moléculas».
- J. J. THOMSON.—«Indicaciones relativas a la constitucion de la materia».
- P. VILLARD.—«Los rayos catódicos».
- E. VILLARI.—«Las cargas eléctricas i los gases ionizados»