
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

<https://books.google.com>





Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>

UC-NRLF



φB 564 355

¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?

CONFERENCIAS DADAS EN
LA RESIDENCIA DE ESTU-
DIANTES LOS DÍAS 16, 19,
23, 26 Y 30 DE ENERO DE 1917

POR

BLAS CABRERA



GIFT OF
J.C.CEBRIAN



EX LIBRIS

¿QUÉ ES LA
ELECTRICIDAD?

¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?

CONFERENCIAS DADAS EN
LA RESIDENCIA DE ESTU-
DIANTES LOS DÍAS 16, 19,
23, 26 Y 30 DE ENERO DE 1917

POR

BLAS CABRERA



DEPARTAMENTO DE
CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

PUBLICACIONES DE LA RESIDENCIA DE ESTUDIANTES

SERIE I.—VOL. 3

M A D R I D

1917

ES PROPIEDAD
QUEDA HECHO EL DEPÓSITO QUE MARCA LA LEY

DERECHOS RESERVADOS
PARA TODOS LOS PAÍSES

COPYRIGHT 1917 BY
RESIDENCIA DE ESTUDIANTES

NO SE
PUEDE
REPRODUCIR

Imp. de Fortanet, Libertad 29.-Tel. 291.-Madrid

INTRODUCCIÓN

395163

LA pregunta que sirve de tema general a estas conferencias es una de las que se formulan con mayor frecuencia por el vulgo, y al propio tiempo envuelve uno de los problemas que han preocupado más hondamente a los profesionales de la ciencia. En el fondo, no obstante su diferente posición, unos y otros persiguen lo mismo.

Si al hombre inculto que interroga sobre lo que es la electricidad se le demanda qué idea tiene de la materia, la fuerza, el movimiento, el calor o la luz, no dudará en la respuesta: mostrando los cuerpos que le rodean pondrá ejemplos irrefutables de lo que es la materia; señalando la diferencia entre un objeto que permanece a distancia fija de nosotros y otro que se aleja o se acerca, explicará con toda claridad el movimiento; las sensaciones del esfuerzo muscular, las táctiles al contacto de cuerpos fríos o calientes y las diferentes

impresiones visuales, le suministrarán abundante material con que poner en evidencia la imposibilidad de toda confusión en cuanto al significado de aquellos conceptos. Pero cuando se le habla de electricidad sólo percibe movimientos, calor o luz: la electricidad para él es un agente oculto que provoca todos estos fenómenos y que jamás se presenta frente a frente.

Para comprender ahora lo que significa nuestra pregunta en labios de un hombre de ciencia, hagamos un poco de historia. En los primeros pasos de la Física agrupáronse los fenómenos atendiendo a sus analogías más visibles, y así se constituyeron los capítulos de la ciencia, que aun perduran con más independencia de la que en realidad tienen: la Mecánica, con su apartado especial de acústica, el Calor, la Óptica, la Electricidad y el Magnetismo. En un principio se supuso que a cada uno de estos capítulos correspondía un *agente* o *fluido* especial; pero bien pronto hubo de notarse que existe algo de común en todos ellos, y se comenzó la labor de su refundición en un todo más orgánico. Era el procedimiento más lógico ir reduciendo aquellos múltiples agentes al menor número posible, y como la Mecánica era el capítulo más perfecto, por la mayor sencillez de los fenómenos a que se refiere, guiados por un

espíritu de economía intelectual, que ha presidido y presidirá siempre la evolución de la ciencia, se procuró reducir a fenómenos de movimiento cuantos se comprenden en el Calor, en la Óptica y en la Electricidad. Cierto que estos fenómenos no siempre se producen en la materia tangible; pero para salvar la dificultad se inventó una materia especial que se llamó *éter*.

La indicada reducción no ofreció dificultad para los fenómenos caloríficos, halló en un principio pocos tropiezos en los ópticos, pero los eléctricos han sido siempre rebeldes: hasta tal punto, que las diversas teorías mecánicas que para ellos se han propuesto, miráronse siempre como meras ilustraciones que facilitan su estudio. A esta rebeldía alude la pregunta ¿qué es la electricidad?, cuando la ha formulado un físico; si se le demanda ¿qué es el calor?, responde: «un movimiento desordenado de las moléculas de los cuerpos»; si se le interroga sobre lo que es la luz, contestará: «un movimiento vibratorio del éter»; pero ante la pregunta que nos preocupa guarda silencio, porque no hay movimiento capaz de explicar los fenómenos eléctricos.

No creo necesario insistir para que se comprenda que en la repetida pregunta, ya la formule un ignorante o un sabio, late siempre el mismo

deseo: reducción de la electricidad a algo más directamente perceptible. Proceder como lo ha hecho la ciencia es lógico; pero la labor realizada en estos últimos cincuenta años pone en evidencia el por qué todo intento en dicho sentido tenía que fracasar. Es imposible reducir la electricidad a una forma de movimiento de esta o la otra clase de materia, porque acaso sea ella la única realidad substancial, y las demás entidades o los restantes fenómenos, meras apariencias, que por el juego de sus propiedades se explican.

Mi deseo en estas conferencias es desarrollar del modo más claro y elemental que me sea posible el proceso lógico que lleva a tan inesperada conclusión.

I

I

CARGA Y CAMPO ELÉCTRICOS

La electrización de los cuerpos se manifiesta por atracciones y repulsiones, regidas por la ley de Coulomb. El valor de estas fuerzas se expresa mediante el producto de dos factores: la *carga eléctrica*, magnitud que caracteriza al cuerpo que sufre la acción, y el *campo eléctrico*, que define una propiedad del espacio. Los cambios de energía del sistema originados por el transporte de una carga eléctrica de un punto a otro, se miden por el producto de esta carga por la diferencia de *potencial* entre dichos puntos.

1. El frotamiento es el modo más sencillo de engendrar en los cuerpos la electrización, que se manifiesta por los movimientos que provoca en las partículas de peso despreciable. Así, un trozo de médula de saúco suspendido de un hilo de seda (péndulo eléctrico) se desvía de la posición vertical cuando se aproxima un cuerpo previamente frotado. Si llega a tocarlo inmediatamente sobreviene una repulsión, que se repite cada vez que se acerca el mismo cuerpo. Digo *el mismo*, porque tomando una larga serie de cuerpos de natu-

raleza diferente, se les puede clasificar en dos grupos: el conjunto de los que repelen al péndulo de modo análogo que el cuerpo que con él tocó, y el de aquellos otros que le atraen. En sí mismo este resultado nada tiene de extraño, pues la atracción y la repulsión son los dos únicos modos en que la fuerza puede producirse. Lo interesante es que, una vez clasificados todos los cuerpos electrizados en la forma dicha, repitiendo el experimento con cualquier otro péndulo, los dos conjuntos permanecen invariables; podrán los del primero atraer al péndulo, en vez de repelerle, y al contrario, los del segundo; pero ninguno de ellos pasará de un conjunto al otro. De este modo se revela la existencia de dos modos diferentes de electrización, según veremos en seguida con mayor detalle.

Estas dos maneras o clases de electrización se

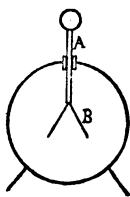


FIG. 1.^a

caracterizan, porque dos cuerpos que poseen la misma se repelen, y si diferente, se atraen. De aquí la construcción de dos aparatos fundamentales para este género de estudios: el electroscopio de panes de oro y el electrómetro de cuadrantes. El primero (fig. 1.^a) consiste en un par de hojas de oro muy delgadas, fijadas a un vástago

tago metálico y encerradas en un recipiente, del cual se separa aquél por un tapón de azufre. Si se electriza el vástago metálico, los panes de oro divergen según representa la figura.

El electrómetro de cuadrantes (figura 2.^a) está constituido esencialmente por un disco o caja metálicos, divididos en cuadrantes, de los cuales se hallan unidos entre sí los opuestos por el vértice;

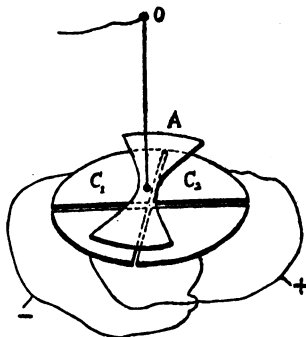


FIG. 2.^a

a cada par se le comunica una clase de electrización. Paralelamente al disco, y en su caso en el interior de la caja, existe una aguja, también metálica, de la forma que indica la figura, suspendida de un hilo de igual naturaleza, a la cual se comunica la electrización que se quiere reconocer. Evidentemente la aguja será repelida por el par de cuadrantes electrizados con igual clase y atraída por el otro, produciéndose un giro que se denuncia por un indicador.

2. El siguiente es un primer problema que se plantea respecto del estado de electrización: ¿To-

dos los puntos del cuerpo están electrizados, o únicamente la parte del mismo frotada? Sólo la experimentación puede responder. Tomemos una

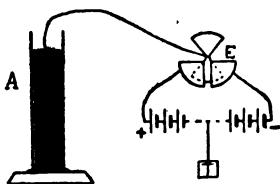


FIG. 3.^a

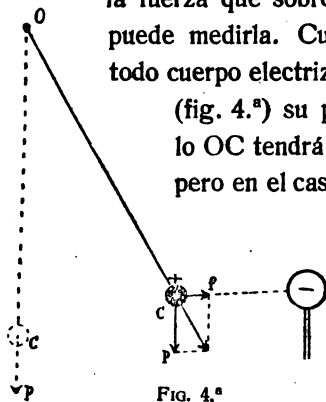
probeta A (fig. 3.^a) con mercurio, perfectamente aislada sobre un bloque de parafina, y un electrómetro E, que podemos ligar a A mediante un hilo de seda, de algodón o

metálico. Introduciendo y sacando del mercurio una varilla de ebonita, se desarrolla en ambos una carga eléctrica. Cuando entre A y E exista el hilo de seda, el indicador del electrómetro permanece en el cero indefinidamente; si el de algodón, la aguja empieza a desviarse algún tiempo después de electrizar A, y si el alambre, la desviación se produce simultáneamente al frotamiento. En realidad estos tres casos representan tres términos de una larga serie que empieza en los metales, cuerpos en que la electrización aparece casi instantáneamente en todos sus puntos, y termina en aquellos otros, como el azufre o el cuarzo, para los cuales la propagación del estado eléctrico de un punto a otro requiere un tiempo prácticamente infinito.

Los primeros términos de la serie se llaman buenos conductores; los últimos, buenos aisladores; los intermedios son conductores o aisladores, según con quién se les compare.

3. Volviendo a la fuerza que se ejerce entre los cuerpos electrizados, es fácil demostrar que depende de dos factores: uno característico del cuerpo que sufre la acción, que designaré por e , y el otro del lugar del espacio donde se encuentra, para el cual escribiré E . Sean A y B dos péndulos eléctricos. Este aparato no sólo denuncia

la fuerza que sobre él actúa, sino que puede medirla. Cuando está lejos de todo cuerpo electrizado, sólo actúa en C (fig. 4.^a) su peso p , y el péndulo OC tendrá la posición vertical;



pero en el caso contrario la fuerza en cuestión le desvía hasta la posición en que la resultante de ella f y el peso p tienen la dirección del hilo.

Esta resultante se mide por la diagonal del paralelogramo construido sobre f y p , del cual conocemos el peso p y el ángulo de p con OC , de modo que podemos calcular f .

Si los dos péndulos A y B se colocan sucesivamente en los mismos puntos, se reconce inmediatamente que las fuerzas $f_A, f'_A, f''_A \dots$ sobre el A y las correspondientes sobre el B, $f_B, f'_B, f''_B \dots$ tienen valores distintos, pero su relación es constante; esto es, si f_A es doble de f_B , también $f'_A, f''_A \dots$ lo serán de $f'_B, f''_B \dots$. Ello indica que la acción sobre cada péndulo depende del factor e que le es propio, según advertimos.

Si en vez de comparar entre sí las fuerzas que actúan en los dos péndulos colocados en el mismo punto, comparamos las que se ejercen en uno mismo para dos posiciones: f_A y f'_A, f_B y f'_B , por ejemplo, se halla que también es constante la relación. De modo que si $f_A = n f'_A$, donde n es un número, $f_B = n f'_B$, y lo mismo ocurriría para cualquier otro péndulo situado en los mismos dos puntos. De aquí se deduce que el lugar del espacio interviene en la expresión de la fuerza. Y podemos determinar algo más a este respecto. Si el péndulo A se sitúa a distancias iguales a 1, 2, 3 ... veces una cierta unidad, de un cuerpo electrizado C, de dimensiones pequeñas, las fuerzas f_A son entre sí como las cantidades

$$\frac{1}{1}, \frac{1}{4}, \frac{1}{9} \dots$$

Lo cual indica que en la referida fuerza f_A interviene como divisor la distancia d que separa el cuerpo electrizado del péndulo, elevada al cuadrado; esto es, las fuerzas eléctricas varían en *razón inversa del cuadrado de la distancia*.

Pero ¿esta ley es exacta? Semejante pregunta, que puede formularse relativamente a cualquier resultado adquirido por la experimentación, plantea un problema interesantísimo sobre el valor del conocimiento científico, respecto de cuya exactitud nos formamos muy a menudo ilusiones que a las veces acarrearán desconsoladores desengaños. Hemos supuesto un experimento sencillo que *ha sugerido* una ley. Sin duda puede hacerse, y se ha hecho por Coulomb, con escrupulosos cuidados, que permiten una precisión bastante grande para afirmar que el exponente de la distancia d no difiere mucho de 2, pero existe un número infinito de valores del exponente que concuerdan del mismo modo con los resultados experimentales. Lo único que éstos permiten afirmar es que el valor real del exponente no difiere de 2 en más de algunas centésimas. Trabajos posteriores de Maxwell reducen este límite a $\frac{1}{21600}$, pero en todo caso, al afirmar la exactitud del entero 2 formulamos una hipótesis. Sin embargo, cuando se

admite que el principio de la conservación de la energía es aplicable a este género de fenómenos, puede demostrarse rigurosamente la necesidad de la ley de Coulomb, y aunque con ello no hacemos más que reemplazar una hipótesis por otra, es evidente que la mayor generalidad de esta última, parece aumentar su probabilidad. Renunciar a la ley de Coulomb tiene aspecto menos revolucionario que negar el referido principio de conservación, aunque en el fondo signifique lo mismo.

4. El factor e que caracteriza el estado de

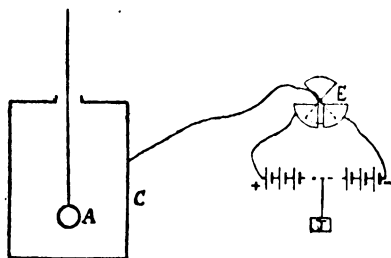


FIG. 5.^a

electrización de cada cuerpo, y en particular de un péndulo, es una magnitud medible. Sea A (figura 5.^a) uno de estos cuerpos electrizados, tal como una esfera aislada. Si lo introducimos en un conductor hueco C (*cilindro de Faraday*), aislado y en comunicación con un electrómetro, se pro-

duce una desviación d_1 , cuyo valor es independiente del lugar que A ocupa en el interior de C. Repitamos el mismo experimento con otro cuerpo A', que produce una desviación d_2 . La experiencia demuestra que si A y A' se colocan simultáneamente en C, la desviación es $d_1 + d_2$, de donde se deriva la posibilidad de medir el estado de electrización por la desviación del electrómetro: el resultado de esta medida es lo que se llama *carga eléctrica*, sea cual fuere la unidad en que se exprese.

El método experimental que he descrito permite algo más. He dicho antes de ahora que los estados de electrización pueden ser de dos clases. Si introducimos en C dos cuerpos, B y D, electrizados de cada uno de estos modos, las desviaciones se producen en sentidos opuestos, que distinguiremos por el signo: $+d_1$ para B y $-d_2$ para D. En este caso, colocando B y D simultáneamente en C, la desviación será $d_1 - d_2$. Compréndese con qué justicia puede designarse una clase de cargas con el nombre de *positivas*, y la otra, con el de *negativas*. Concretamente, es positiva la carga de un trozo de vidrio, y negativa la de una barra de ebonita, ambos frotados con un pedazo de seda.

5. La existencia de ambas clases de electriza-

ción permite el aniquilamiento aparente de las cargas eléctricas. En realidad desconocemos las cargas que existen en el interior de C; cuando el electrómetro esté desviado un ángulo d' , dicho ángulo puede medir la suma algébrica de varias cargas del mismo y opuesto signo. Si la desviación que producen las positivas solas es igual en valor absoluto a la correspondiente a las negativas, d' será nula, y aparentemente las cargas habrán desaparecido.

Esto lleva a pensar si no ocurrirá una cosa análoga cuando se ponen en contacto dos conductores que poseen electrizaciones opuestas en cantidad equivalente; esto es, si las dos cargas no continuarán existiendo en cada cuerpo, a pesar de su destrucción aparente. Recíprocamente, al electrizar un cuerpo ¿*creamos* las cargas o *separamos* las que ya existen? El hecho de que se produzcan siempre cantidades iguales de los dos signos, sea cual fuere el procedimiento utilizado, justifica la segunda hipótesis.

Coloquemos en C una almohadilla de seda, contra la cual frotamos una lámina aislada. En tanto ambas cosas permanecen dentro de C, el electrómetro no se desvía, pero si extraemos separadamente la lámina o la almohadilla, se producen dos desviaciones opuestas e iguales, lo cual prueba

que en el frotamiento se desarrollan cantidades iguales de ambos signos.

Otro tanto ocurre en la electrización por influencia. Un conductor B (fig. 6.^a) próximo a un cuerpo electrizado, A, adquiere también esta cualidad. Con un pequeño conductor aislado, que se pone en contacto con los diferen-

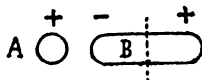


FIG. 6.^a

tes puntos de B y se lleva luego a un electrómetro, se demuestra que en la parte de B próxima a A existe una carga de nombre contrario a la de este último. Alejándose de dicha región, la carga disminuye: se llega a una distancia a la cual se anula, aumentando después. Si se separa A, toda la carga de B desaparece; pero si antes de aquella separación se divide B por la región de carga nula, ambas partes conservan su carga. Realizando el experimento en el interior de C se prueba que estas cargas son iguales.

En resumen: *la cantidad total de electricidad que existe en un sistema cualquiera aislado es constante, sean cuales fueren los fenómenos eléctricos que en él se produzcan.* Esta importante ley se llama de la *conservación de las cargas eléctricas*, y tiene una aplicación muy grande para la teoría de estos fenómenos;

pero, además, ya lo he dicho, hace posible la hipótesis de que las cargas son algo que perdura en el seno de la materia, aunque sólo se manifiesten cuando logramos separar las de un signo de las opuestas.

6. Hasta ahora hemos medido las cargas en unidades arbitrarias. Determinando la fuerza entre dos cuerpos electrizados a distancia conocida, se demuestra experimentalmente que dicha fuerza es proporcional al producto de sus cargas, de modo que, recordando la ley del cuadrado (§ 3),

$$f = k \frac{ee'}{d^2}.$$

Esto es: supongamos un péndulo A, cuya carga, medida por C, sea e , y coloquemos en su presencia, a distancia fija, cuerpos $B_1, B_2 \dots B_n$, cuyas cargas sean como los números 1, 2, 3, 4 ... n ; los valores de f , medidos como hemos dicho arriba, serán también como los números 1, 2, 3 ... n . Análogamente ocurre si en presencia de un cuerpo B llevamos varios péndulos cuyas cargas son como los números 1, 2 ... n . El conjunto de estos hechos experimentales están reunidos en la fórmula anterior, que permite elegir una unidad bien definida de cargas eléctricas utilizando el coeficiente indeterminado k . Supongamos dos cargas iguales,

$e = e'$, tales que situadas a un centímetro de distancia se repelen con una fuerza de una dina ¹; entonces la fórmula anterior se reduce a $1 = ke^2$. Si tomamos esta carga e como unidad de medida, hemos de suponer $k = 1$, con lo cual

$$f = \frac{ee'}{d^2}.$$

La unidad en cuestión se llama *electrostática*, y cuantos valores dé en adelante para las cargas eléctricas se entenderán referidos a ella.

7. Puesto que, en general (§ 3), la acción que sufre un cuerpo que posee la carga e es

$$f = eE,$$

la comparación de esta fórmula con la anterior demuestra que en el caso en que dicha acción procede de una carga única, e' , el factor E , que caracteriza el lugar del espacio, se mide por $\frac{e'}{d^2}$, y su dirección es la del radio que pasa por él. En cuanto al sentido en que actúa, se determina observando que será el mismo de la fuerza en el caso de ser $e = +1$; esto es, alejándose de e' si esta

¹ La *dina* es la fuerza que produce en un gramo la aceleración de un centímetro por segundo.

carga es positiva y aproximándose en el caso contrario (fig. 7.^a).

Si en el valor de E intervienen varias cargas,

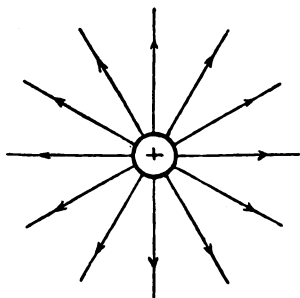


FIG. 7.^a

se calcula utilizando la regla del paralelogramo de las fuerzas, y su magnitud y dirección ha de cambiar de unos puntos a otros en forma más complicada que en el caso anterior. Se obtiene siempre una re-

presentación bastante clara, dibujando un conjunto de líneas que en cada uno de sus puntos son tangentes a E , las cuales vienen a reemplazar los radios de la figura 7.^a: estas líneas se llaman de fuerza. La figura 8.^a corresponde al caso sencillo en que las cargas son dos, iguales y de signos contrarios.

La región del espacio en que se producen acciones eléctricas se llama *campo eléctrico*, nombre que también se aplica a E . En lo que llevo dicho, E aparece únicamente como un factor conveniente para calcular la acción que sufre cualquier carga e colocada en el punto del espacio a que

se refiere; pero el campo, ¿tiene realidad sin la existencia de esta carga? Para comprender el sentido de esta pregunta, nótese que la acción de una carga sobre otra se puede interpretar de dos modos: o se supone una acción a distancia, lo cual significa que el espacio que las separa no

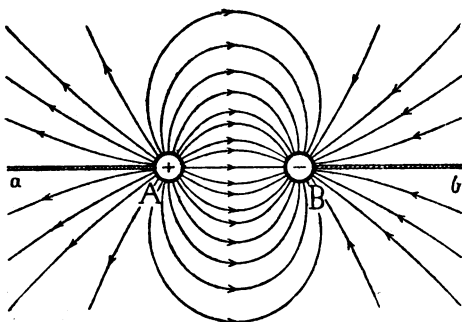


FIG. 8.^a

desempeña función alguna, o imaginamos que la carga eléctrica determina una perturbación que, al alcanzar la región en que se encuentra e , produce la fuerza, a la manera como se mueve un cuerpo flotante agitando el líquido en un punto alejado. En el primer caso es evidente que el campo carece de realidad física y tiene un valor puramente analítico, mientras en el segundo viene

a ser una medida de esa perturbación provocada por las cargas eléctricas.

Existe un criterio para elegir entre ambas interpretaciones: si se trata de acción a distancia su propagación debe ser instantánea. Entonces la ley que rijan la acción mutua entre dos cargas, por alejadas que se hallen, será la misma cuando ambas se encuentren en reposo desde un tiempo indefinido, y en el caso en que una o las dos se muevan con cualquier velocidad.

Si se trata de una acción a través del medio, su propagación requiere tiempo, y la ley de Coulomb será aplicable únicamente a cargas que han permanecido fijas un tiempo mayor que el invertido por la perturbación en recorrer la distancia que las separa. Los resultados experimentales confirman esta última explicación, que además es la más satisfactoria para el espíritu.

Conformándonos con nuestra habitual manera de pensar, la perturbación supone un medio material en que se produzca, el cual ha de llenar todo el espacio, esté o no ocupado por la materia ordinaria, puesto que el campo eléctrico no requiere la presencia de este último, y existe también en el vacío. El medio aludido es el *éter*, cuya existencia discutiré con mayor detalle más adelante.

8. Admitida esta interpretación, en cada región del espacio donde exista un campo eléctrico se encuentra acumulada una cierta cantidad de energía potencial, esto es, capaz de provocar un movimiento cuando ningún obstáculo se oponga a ello. Consideremos, por ejemplo, los dos cuerpos electrizados de la figura 8: ambos tienen cargas opuestas y se atraen, pero podemos suponerlos fijos por dos hilos, *a* y *b*. Entre ellos existe un campo eléctrico, representado por las líneas de fuerza, y, por ende, una cierta cantidad de energía potencial acumulada. Al cortar los hilos, los cuerpos se precipitan hasta el contacto, y la energía se ha hecho actual, desapareciendo el campo. El efecto es el mismo que si entre A y B se hubiesen tendido hilos elásticos en tensión, en cada uno de cuyos elementos de volumen se acumula una cantidad de energía potencial. Las líneas de fuerza adquieren, por comparación con este ejemplo, una significación muy clara, que facilita la inteligencia de multitud de problemas.

Así, los movimientos de las cargas eléctricas llevan, en general, aparejado un cambio de la energía del sistema. Si aquéllos se producen espontáneamente, como la aproximación de dos cuerpos electrizados con signo contrario, o el alejamiento de los que poseen carga de igual

nombre, la energía disminuye; en tanto que si el movimiento es opuesto al que las fuerzas eléctricas determinarían, la energía aumenta, gracias al trabajo que las acciones exteriores han de realizar. El caso es idéntico al que se produce en un sistema mecánico: Supongamos un resorte sometido a la tracción de un cierto peso, p , colocado en un platillo que pende de su extremo inferior. Si adicionamos una pesa p' , el resorte aumenta de longitud en l centímetros, y su energía crece en la cantidad $(p + p') l$, que mide el trabajo ejecutado durante el alargamiento. Si se disminuye p en la cantidad p'' , la longitud del resorte se acorta en l' y la energía es más pequeña en una cantidad $(p - p'') l'$ igual al trabajo hecho elevando el peso $(p - p'')$.

De lo que acabamos de decir se deduce que las variaciones en la energía de un sistema eléctrico, provocadas moviendo una carga de un punto a otro, son proporcionales a esta carga, puesto que dicha variación se mide por el trabajo que se obtiene o gasta en el movimiento, y en este trabajo figura como factor la fuerza eléctrica f , que a su vez contiene la carga e (§ 7). Es, pues, útil saber, para un campo determinado, cuál es el trabajo que acompaña la traslación de la unidad de cargas de un punto A a otro B, pues conocida dicha magni-

tud, se sabría la correspondiente para otra carga cualquiera. Por ello también se le ha dado un nombre especial que recuerda su origen: *diferencia de potencial* entre A y B.

Nada decimos respecto del camino por el cual se va desde A a B, pues es indiferente. Supongamos, en efecto, que el valor del trabajo dependiese de la trayectoria que la carga describe. Podríamos siempre elegir dos en que la diferencia fuese máxima, tales como la A a B (fig. 9.^a), que suponemos la más fácil, la que cuesta o cede menor

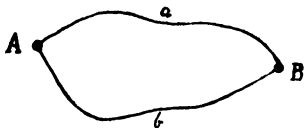


FIG. 9.^a

trabajo, y la A b B, que es la más difícil. Dejemos que la carga pase de B a A, a lo largo de B b A, y volvámosle a B marchando sobre A a B. Como el trabajo que el sistema cede en el primer trayecto es mayor que el consumido en el segundo, podemos emplear en éste una parte de aquél, y al volver la carga a B habríamos ganado una cantidad de trabajo utilizable en un efecto exterior, con lo cual resultaría resuelto el problema del movimiento continuo.

Todo esto ocurre de igual modo que al mover las masas materiales. Si un cuerpo cualquiera se

le lleva de un punto a otro más alto, necesitamos gastar un trabajo, que recuperamos al bajarle desde el segundo al primero, y esto con perfecta independencia de la trayectoria que se siga en cada caso.

9. Decía antes que el movimiento de las cargas eléctricas lleva aparejado, *en general*, un cambio en la energía del sistema, o sea la producción o consumo de un cierto trabajo. Los casos excepcionales son de un gran interés. En el ejemplo que acabamos de considerar, los cuerpos pueden moverse sin trabajo alguno en un plano horizontal, y ello es la razón de que la superficie libre de los líquidos coincida con uno de estos planos; la perfecta movilidad de sus moléculas haría caer a cualquiera de ellas que se encontrase más alta que las restantes. Imaginemos por un momento que con las manos amontonamos agua en una región de un recipiente, tratando de formar un verdadero montículo. La experiencia del más burdo observador le enseña que esto no es posible; el agua se derrama, descendiendo hasta recuperar su superficie la forma plana y horizontal. Y esto porque sólo entonces el descenso de una masa cualquiera de líquido lleva aparejado un ascenso igual de una masa también igual.

Decir que el trabajo es nulo en ciertos movi-

mientos equivale a decir que el *potencial* es el mismo en todos los puntos de la trayectoria; así, en la superficie libre de un líquido el potencial es el mismo en todos sus puntos, o también, dicha superficie es *equipotencial*. Por consiguiente, podemos enunciar el hecho de experiencia que acabamos de citar diciendo que un líquido vertido en una vasija se mueve hasta que su superficie es *equipotencial*. Algo análogo ocurre con las cargas eléctricas; ya he dicho que los conductores permiten su libre movimiento de unos lugares a otros, comportándose a la manera de las vasijas para los líquidos, y, por consiguiente, en un conductor en equilibrio todos sus puntos, y en particular los de su superficie, han de tener igual potencial. Esto no es un hecho de experiencia, sino una consecuencia necesaria de la propiedad de los conductores.

Pero de igual modo que la igualdad de nivel de la superficie no supone que en todos los puntos del vaso haya la misma *cantidad* del líquido, pues esta última depende evidentemente de la forma del vaso, así la constancia de potencial en cada punto de la superficie de un conductor no significa que en todos ellos haya la misma cantidad de electricidad. Y esto puede comprobarse experimentalmente. Pasemos un hilo metálico, ligado

a un electrómetro, por todos los puntos de un conductor; la desviación del electrómetro es constante, lo cual prueba que dicho aparato mide el potencial. Si, por el contrario, tocamos en puntos diferentes con otro pequeño conductor aislado y lo llevamos luego al cilindro de Faraday, para medir su carga, se reconoce inmediatamente que ésta depende de la forma del conductor en el punto tocado, siendo tanto mayor cuanto más grande es la curvatura de la superficie.

II

II

CAMPO MAGNÉTICO.

TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ.

Cuando las cargas eléctricas se mueven, engendran en el espacio que les rodea un campo magnético. Entre la energía de éste y la del campo eléctrico de las cargas existe la misma relación que entre la energía potencial y la cinética de un sistema mecánico, de donde deriva la posibilidad de su propagación en el espacio, produciendo los fenómenos luminosos.

10. La condición para que las cargas eléctricas se hallen en equilibrio en un conductor, he dicho ya que es la constancia del potencial, de igual modo que para el líquido contenido en una vasija lo es la constancia del nivel de la superficie libre, y así como al tratar de amontonar éste en un punto, espontáneamente se derrama, volviendo a su nivel, así cuando por una causa cualquiera el potencial es diferente en los distintos puntos del conductor, las cargas se mueven en su seno hasta conseguir que la indicada condición

se cumpla: este movimiento de las cargas se llama *corriente eléctrica*. Sean, por ejemplo, dos conductores A y B a diferente potencial y unámosles mediante un hilo metálico C: a partir del momento en que se hace la unión A, B y C forman un conductor único, y el equilibrio no existe hasta que, transcurrido un tiempo generalmente muy corto, el potencial adquiere un valor uniforme, según se reconoce por un electrómetro. El caso es análogo al de dos depósitos con agua a distinto nivel que se hacen comunicar por un tubo: es bien sabido que se establece un flujo del líquido hasta igualar la altura de la superficie libre en ambos. El sentido del flujo es evidentemente del vaso de mayor nivel al de menor, y, por analogía, se admite que la corriente marcha de los potenciales altos a los bajos. Al gasto o cantidad de líquido que atraviesa el tubo en la unidad de tiempo, corresponde la *intensidad* de la corriente.

Durante el cambio de distribución de las cargas eléctricas se producen fenómenos tan interesantes como los característicos del equilibrio, o acaso más. De una parte el conductor se calienta, como puede reconocerse colocándole en un calorímetro sensible. Por ejemplo, una porción del hilo C se introduce en una esfera de vidrio V (fig. 10), que comunica con el manómetro M: el calor des-

arrollado en el hilo se transmite al aire de V, que, al dilatarse, produce un desnivel en el líquido de M.

De otra parte, una aguja magnética situada en las proximidades de C se desvía como si se le hubiese acercado un imán, lo cual prueba que las corrientes eléctricas provocan en el espacio que las rodea acciones similares a las que engendran los imanes. Estas acciones son totalmente distintas de las correspondientes al campo eléctrico.

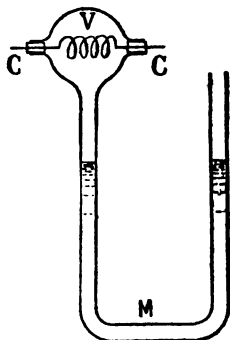


FIG. 10.

11: El estudio de estos fenómenos ofrecería grandes dificultades si no se pudiera prolongar indefinidamente su duración, haciendo que el desequilibrio eléctrico se sostenga. Dicha dificultad es análoga a la que se ofrece en el estudio experimental de los fenómenos que acompañan al movimiento de los líquidos y que obliga a usar los diferentes aparatos llamados de nivel constante, porque el medio para sostener el régimen del movimiento es mantener invariable el desnivel en los depósitos en que termine el tubo por donde

fluye el líquido. A este desnivel corresponde la diferencia de potencial entre los conductores A y B.

Como el paso de la corriente va acompañado por un gasto de energía, ya sea en pura pérdida, como el desprendimiento de calor a que me referí anteriormente, bien se emplee en un efecto útil, es indispensable realizar un trabajo equivalente para mantener su valor constante, cuyo trabajo puede suministrarse en forma mecánica, cual ocurre si se ligan A y B con los polos de una máquina electrostática o de un generador electrodinámico, o también puede proceder de un fenómeno químico o físico, como en las pilas eléctricas. Y aquí también existe perfecta analogía con los fenómenos hidráulicos, pues los aparatos de nivel constante aludidos envuelven, de manera más o menos manifiesta, un gasto de trabajo.

12. En realidad, el desprendimiento de calor que se produce en los conductores al circular por ellos la corriente eléctrica, no es un carácter esencial de esta última. Cuando la temperatura en los metales puros es inferior a un cierto límite, que no excede de algunos grados por encima del cero absoluto, Kamerlingh Onnes ha descubierto que no se produce dicho fenómeno, de suerte que por tal concepto no habrá pérdida de energía, y si

la corriente no se emplea en la ejecución de algún otro efecto, su sostenimiento no exige ningún trabajo; de aquí que Kamerlingh haya denominado al estado especial que los metales afectan entonces *superconductor*. Este descubrimiento pone en evidencia la estrecha analogía que existe entre el desprendimiento de calor, o *efecto de Joule*, de que venimos ocupándonos, y las pérdidas por resistencias pasivas en los sistemas mecánicos, a cuya analogía alude el nombre de *resistencia eléctrica* que se ha dado al coeficiente característico de los metales por tal concepto. Además prueba que, sea cual fuere el verdadero origen de este fenómeno, su producción se halla íntimamente ligada al movimiento de agitación molecular en que consiste el calor, y esto de tal manera, que el fenómeno desaparece en cuanto la referida agitación es inferior a un cierto límite.

La propiedad específica de la corriente es el *campo magnético H*, que se mide por la acción que sufre una aguja magnética colocada en su proximidad. Su valor cambia de un punto a otro del espacio y es proporcional a la intensidad de la corriente. La distribución del referido campo en el espacio se reconoce fácilmente mediante la producción de los clásicos espectros magnéticos;

si un conductor rectilíneo atraviesa normalmente una cartulina, y sobre ella se espolvorean limaduras de hierro, sus granos se distribuyen en círcu-

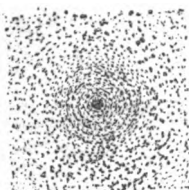


FIG. 11.

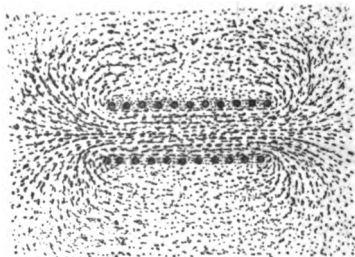


FIG. 12.

los concéntricos (fig. 11), que dibujan las líneas de fuerza de H , esto es, líneas a las cuales H es tangente en cada punto. Si el conductor se arrolla en hélice (*solenoides*), las limaduras espolvoreadas en una cartulina que coincide con un plano diame-

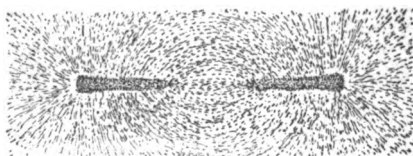


FIG. 13.

tral adoptan la disposición representada en la figura 12, cuya analogía con la 13, obtenida reemplazando el solenoide por un imán, es manifiesta,

si nos fijamos únicamente en la región exterior.

Ello procede de la identidad de naturaleza de los campos engendrados por las corrientes y los imanes, según se prueba estudiando las acciones entre imanes, entre corrientes o entre unos y otras. Suspendamos

un imán A (fig. 14) y un solenoide B por un hilo, de suerte que puedan girar libremente en un plano horizontal, y sean A' y B' otro imán y otro solenoide, que se pueden aproximar a los primeros.

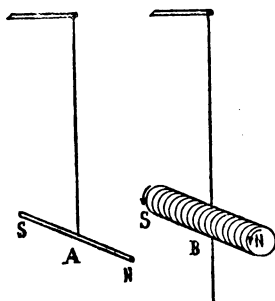


FIG. 14.

Si se acerca A' a A o B se produce una desviación en uno u otro sentido, según las extremidades que se encuentren a menor distancia, y exactamente lo mismo ocurre cuando se emplea B'. Es bien sabido que las extremidades de los imanes se distinguen entre sí merced a su orientación en el campo terrestre: es *norte* la que apunta al polo geográfico de este nombre, y *sur* la opuesta. De igual manera cabe distinguir las dos extremidades de un solenoide, o las dos caras de una sola espira, por su orientación

cuando se les suspende como el imán; pero así como *a priori* no es posible decir en este último cuál es la extremidad o *polo* norte, en la espira la cara de este nombre es aquella donde se ve circular la corriente en el sentido contrario de las agujas de un reloj. Los experimentos anteriormente descritos podemos ahora resumirlos en esta ley cualitativa: *las extremidades de solenoides o imanes se atraen si son de distinto nombre, y se repelen si son homónimas.*

Además se puede demostrar cuantitativamente que *la acción entre una corriente y un imán es proporcional a la intensidad de aquélla y perpendicular al plano que definen la corriente y el campo.* Así se tiene un medio

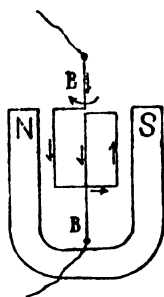


FIG. 15.

para medir las corrientes y fijar su dirección: basta que la una o el otro sean móviles y que a su corrimiento se oponga una fuerza medible. En el esquema de la figura 15 el imán NS es fijo y la corriente B puede girar alrededor del hilo de suspensión, que al torcerse opone un par mecánico, medido por el

ángulo descrito; un aparato de este género se llama un *galvanómetro*. Si cambia la dirección

de la corriente se invierte el sentido del giro.

13. La perfecta semejanza de propiedades de los solenoides y los imanes sugirió a Ampère la posibilidad de explicar los últimos por los primeros, imaginando que cada molécula de un imán es un pequeño solenoide; pero durante mucho tiempo ha permanecido sin solución una dificultad que se oponía a tal explicación: Entre los solenoides y los imanes existe sólo una diferencia; diferencia que parecía esencial: el solenoide exige un gasto continuado de energía para mantener la corriente, mientras el imán se conserva como tal indefinidamente, sin que, al menos en apariencia, haya consumo alguno de trabajo. Había dos medios únicos de salvar este obstáculo: suponer que en el seno de cada átomo se convierte en energía eléctrica, por un mecanismo desconocido, alguna cantidad de otra clase, almacenada en él o tomada del medio que le envuelve, o admitir que el átomo carece de resistencia eléctrica, de modo que en él no existe pérdida de energía por conversión en calor, pudiendo perdurar la corriente indefinidamente. El descubrimiento de Kamerlingh Onnes (§ 12), justificando preferencias manifestadas desde un principio, ha dado realidad a esta hipótesis, pues ya dije que la pérdida por efecto Joule

depende del movimiento de agitación térmica, y dicho se está que tal movimiento y la noción misma de temperatura carecen de significación cuando nos referimos a fenómenos que se producen en el interior del átomo. Además, adelantaré que Einstein y de Haas han probado recientemente la realidad de estas corrientes en las moléculas del hierro, llegando además a descubrir su naturaleza, según tendremos ocasión de ver más adelante. No es, pues, dudoso que el magnetismo se reduce a un fenómeno eléctrico.

14. El campo magnético es un efecto del movimiento de las cargas eléctricas, sea cualquiera la forma en que éste tenga lugar; lo mismo cuando se trata de un campo electrizado que se transporta de un lugar a otro, acarreando su carga, que si se altera la distribución de esta última en el seno de un conductor. Y aun en el primer caso, en que la experimentación ofrece mayores dificultades, se concibe más claramente el mecanismo por el cual se produce el referido campo.

Claro es que las líneas de fuerza eléctrica propias de la carga se mueven con ésta barriendo el espacio. Simultáneamente nace el campo magnético, y si convenimos en rechazar toda idea de acciones a distancia, de acuerdo con lo que parece imponer el buen sentido, es lógico buscar el

origen de este campo en el movimiento de aquellas líneas. Podría objetarse que en el caso de las corrientes eléctricas que circulan por los conductores de un modo permanente, por sostenerse el desequilibrio mediante un generador, el campo eléctrico es constante en todo el espacio, y por ende sus líneas de fuerzas parecen fijas, no obstante lo cual existe un campo magnético. Pero la realidad es muy otra de lo que se manifiesta en un primer análisis: la corriente está integrada por un enjambre de partículas electrizadas que marchan en el seno del conductor a la manera como las moléculas de un líquido fluyen a través de un cuerpo poroso, transportando cada una sus propias líneas de fuerza; de suerte que, si bien en cada punto E es constante, en cada instante se debe a cargas distintas.

Agreguemos que el campo magnético es siempre perpendicular al plano que definen E y la dirección de su movimiento. En efecto; si e (fig. 16) es la carga y v su velocidad, la experiencia demuestra que las líneas de fuerza magnética son círculos perpendiculares a v , de modo que E , H y v se dirigen en la forma que re-

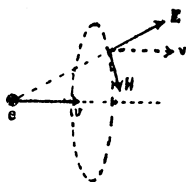


FIG. 16.

presenta la figura, que confirma lo dicho arriba.

Es interesante notar que la relación entre los campos eléctrico y magnético es recíproca; así como el movimiento de las líneas de fuerza del primero engendra el segundo, el de las líneas de fuerza magnéticas provoca un campo eléctrico. El reconocimiento de este fenómeno es uno de los más brillantes descubrimientos del pasado si-

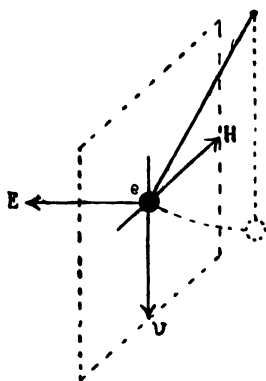


FIG. 17.

glo, debido al genio de Faraday, que le designó con el nombre de *inducción electromagnética*.

Consideremos un péndulo eléctrico (figura 17), con una carga $+e$, situado en un punto del espacio donde existe un campo magnético H que se transporta en la direc-

ción v ; sobre dicho péndulo actuará una fuerza eE , en la dirección perpendicular al plano determinado por H y v , que lo desviará de su posición vertical, cual si existiesen cargas eléctricas en su presencia.

Este experimento ofrece dificultades grandes,

pero ha sido realizado en estos últimos años. Es más sencillo utilizar el campo inducido para mover las cargas eléctricas en el seno de un conductor, bien provocando un efecto análogo a la influencia electrostática, ya una corriente en un circuito cerrado. Para el primer caso basta mover una barra ab (figura 18) en un campo magnético intenso; si la dirección del movimiento es la

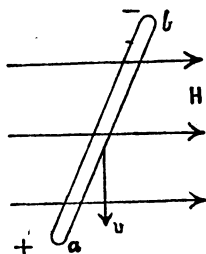


FIG. 18.

representada por v , las cargas se distribuyen como indica la figura, según puede comprobarse

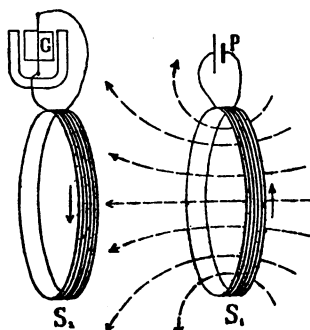


FIG. 19.

con un electrómetro. En el segundo caso, en que el fenómeno es mucho más evidente y responde a las condiciones en que fué descubierto por Faraday, se puede comprobar aproximando o alejando un solenoide S_1 (fi-

gura 19) a un conductor arrollado en igual forma, S_2 , cuyas extremidades se ligan a un galva-

nómetro; en tanto dura el movimiento el galvanómetro está desviado, denunciando la presencia de una corriente que marcha en el sentido representado en la figura, cuando se acerca S_1 a S_2 , y en el opuesto al separarlos.

Es fácil reconocer que el referido sentido del movimiento de las cargas eléctricas, que no es otro que el del campo inducido, está de acuerdo con lo visto en los experimentos anteriores. Nótese, en efecto, que al aproximar S_1 a S_2 penetran en el interior de éste nuevas líneas de fuerza, de modo que la flecha v de la figura 17 estaría aquí dirigida hacia dentro de S_2 , y lo contrario cuando S_1 se aleja de S_2 .

Pero ahora conviene dar una descripción diferente de los mismos hechos. La corriente que se induce en S_2 tiene su campo magnético propio, cuyas líneas de fuerza se disponen como siempre, penetrando por la cara sur y saliendo por la norte. Así, cuando se acerca S_1 a S_2 , puesto que la corriente en S_2 tiene sentido contrario que en S_1 , los campos son opuestos y se restarán, ocurriendo todo lo contrario al alejar S_1 de S_2 . Por otra parte, en el primer caso tiende a aumentar el campo de S_1 en el interior de S_2 , y en el segundo, a disminuir; de modo que el *campo propio de la corriente inducida se opo-*

ne a estos cambios del campo de S_1 en S_2 .

Esta interpretación de los fenómenos sugiere la posibilidad de provocar la inducción sin necesidad de mover los circuitos S_1 y S_2 , y la experiencia lo confirma. En efecto; al cerrar el S_1 sobre un generador P , se establece la corriente, y con ella su campo magnético, que antes no existía. Este campo penetra en el interior de S_2 y, en virtud de la regla formulada, provocará en él una corriente inducida del mismo sentido que si se hubiese acercado S_1 a S_2 , trayéndole de distancia muy grande. Lo contrario ocurrirá cuando se interrumpa S_1 .

15. Si el establecimiento o desaparición de una corriente en S_1 engendra otra de opuesto o igual sentido en S_2 , que está próximo a S_1 , parece lógico pensar que iguales fenómenos han de producirse en un circuito único; de ser así, en los primeros instantes la corriente tendrá un valor más pequeño que en el período permanente, y en el momento de la ruptura su valor será más grande. La comprobación experimental directa ofrece dificultades, porque se trata de cambios en la intensidad que son pequeños y duran poco tiempo: pero se puede lograr por un artificio.

Construyamos un circuito formado por un conductor ab (fig. 20), en el cual se intercalan un

generador P y un interruptor I . En b , el conductor se bifurca en otros dos, bca y bda , de igual resistencia; esto es, tales que las corrientes en ellos sean iguales en estado permanente. Una parte de cada uno de estos conductores la forman

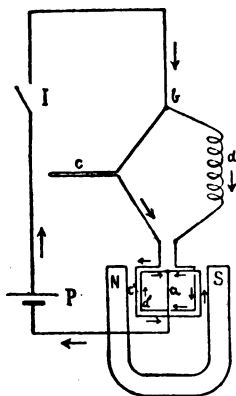


FIG. 20.

los arrollamientos c' y d' , iguales y de sentidos opuestos, de un mismo galvanómetro; de modo que en el referido estado permanente no habrá desviación, por neutralizarse los efectos de ambos, que son de opuesto sentido. La otra parte de uno de ellos, d , forma un solenoide, y la del otro, c , está doblado, para que el campo magnético en

el exterior sea nulo, por destruirse los correspondientes a sus dos mitades. Si se cierra I , en el brazo d se producirá el efecto de *autoinducción* a que nos hemos referido, en cuya virtud la corriente en él será inferior al valor que corresponde al estado permanente, mientras en el segundo no existe fenómeno de este género; por consiguiente, el galvanómetro se desvía en el

sentido que indica un predominio de la corriente en *c*. Lo contrario ocurre al abrir *I*, pues entonces será mayor la corriente en *d*, y el galvanómetro se desvía en opuesto sentido.

La analogía entre la autoinducción de un circuito y la inercia de la materia es evidente. En virtud de esta última propiedad, los cuerpos ofrecen una resistencia al cambio de su estado de movimiento, de igual modo que la autoinducción hemos visto se opone a todo cambio en el valor del campo magnético. Para aproximarnos lo más posible al sistema eléctrico, imagi-

neemos dos esferas *C* y *C'* (figura 21) ligadas por un hilo, que pase por la garganta de una polea, en el cual se halla intercalado un dinamómetro *ab*, todo ello sumergido en un líquido viscoso. Supondré *C'*, de peso ligeramente superior a *C*, de modo que, abandonado el sistema, se pondrá en movimiento, hasta que *C'* llegue al extremo inferior de su carrera. En este movimiento

se pueden distinguir tres períodos: en el primero, la velocidad va creciendo, y el resorte *ab* tiene una longitud más grande que en el equilibrio; en

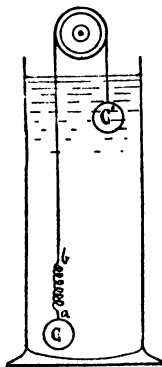


FIG. 21.

el segundo, la velocidad es constante, y la referida longitud igual que en el equilibrio, y en el tercero la velocidad disminuye hasta cero y el resorte se acorta. Estos cambios de longitud corresponden a fuerzas aplicadas a C, que en el primer período está dirigida hacia abajo, oponiéndose a que la esfera se mueva; en el tercero se dirige hacia arriba, para impedir que se detenga, mientras en el segundo no existe, porque la velocidad es constante. La indicada fuerza, que se dice *de inercia*, corresponde exactamente a la *fuerza electromotriz de autoinducción*, que provoca las corrientes de cierre y de ruptura a que nos hemos referido arriba.

El anterior ejemplo mecánico se puede también describir con otro lenguaje, que no emplea explícitamente la palabra *fuerza*, y que pone en evidencia nuevos aspectos de esta cuestión. Ya he dicho que cuando un sistema mecánico se transforma espontáneamente, su energía potencial disminuye. En nuestro caso, la pérdida de energía potencial en el primer período se distribuye en dos partes: una que se invierte en aumentar la energía cinética $\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$ de C, y la otra que se convierte en calor por el frotamiento de C con el líquido. En el segundo período la velocidad per-

manece constante, y como ella la energía cinética, de modo que la energía potencial perdida se convierte íntegramente en calor. Por último, en el tercer período, cuando no quede energía potencial disponible, la energía cinética desaparece gastándose en aumentar la temperatura.

En el sistema eléctrico también existen tres formas distintas de energía: la del campo electrostático, que ya dije es potencial; la calorífica desarrollada en el conductor, y la magnética, acumulada en el espacio, como la primera, que podemos identificar con la energía cinética, según se desprende de la comparación que vengo haciendo. En efecto: en el circuito, la energía eléctrica perdida en el período inicial se invierte en crear el campo magnético y en calor, desprendido en el conductor; durante el segundo, la corriente es constante, y con ella el campo magnético, transformándose en calor toda la energía electrostática gastada; por último, en el período final, la desaparición del campo magnético suministra la energía que se consume en forma térmica.

16. Una de las consecuencias más interesantes de las fuerzas de inercia es el movimiento vibratorio: sea el péndulo A B (fig. 22), y separémosle de su posición de equilibrio llevándole a A B'. La gravedad hace que entonces el sistema formado

por la masa en B' y la tierra contenga una cantidad de energía potencial mayor que cuando se halla en B, cuya diferencia se invierte en aumentar su velocidad al pasar de la una a la otra. Así,

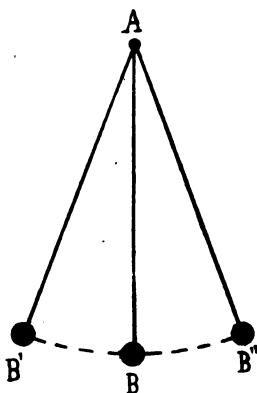


FIG. 22.

la cantidad de energía cinética acumulada al llegar a B obliga al péndulo a continuar su movimiento, creciendo entonces la energía potencial a expensas de la cinética, hasta que gastada ésta totalmente, el péndulo se para en el punto B', repitiéndose a continuación el mismo proceso.

Evidentemente, los fenómenos seguirían reproduciéndose periódicamente, puesto que siempre la misma cantidad de energía pasa de potencial a cinética y de cinética a potencial, si no se superpusieran otros fenómenos que absorben en cada momento una parte de la energía puesta en juego. Estos fenómenos son de dos clases: los frotamientos o deformaciones permanentes en los sólidos, que suponen una cantidad de calor desarrollada, y un movimiento ondulatorio del aire, que se pro-

paga en la atmósfera con la velocidad del sonido. Gracias a estas pérdidas, la amplitud de la oscilación decrece progresivamente y termina por anularse. No está demás advertir que en el péndulo, el gasto de energía por el segundo concepto es prácticamente nulo; pero, en cambio, en un diapasón posee un valor notable.

Todos los fenómenos que acabo de referir tienen sus análogos en el sistema eléctrico. Ya hemos visto que en él existe una energía potencial, contenida en el campo eléctrico, y una energía cinética, que corresponde al campo magnético; si, pues, disponemos el sistema de modo que se produzca una conversión alternada de una energía en la otra, obtendremos un fenómeno pendular más o menos amortiguado, según la fracción de energía que se pierda en cada oscilación. Tal sistema puede construirse con dos conductores, A y B

(fig. 23) (*condensador*), ligados a las extremidades de un hilo metálico, *ab*, arrollado en hélice, dejando una ruptura, C, para que salte una chispa. Mediante un generador

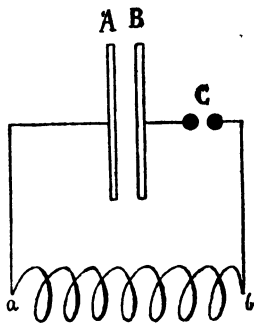


FIG. 23.

carguemos el condensador, con lo cual se crea un campo y una energía potencial, análogamente a lo que ocurre cuando se desvía el péndulo.

Naturalmente, la diferencia de potenciales entre A y B crece con mayor o menor rapidez, según las condiciones del generador, hasta alcanzar un valor suficiente para que la chispa salte, en cuyo momento se establece una corriente en ab , y con ella un campo magnético de energía creciente, mientras la eléctrica se anula en virtud de la descarga del condensador. La corriente debiera entonces desaparecer, pero continúa, gracias a la referida energía magnética, que va convirtiéndose otra vez en eléctrica, puesto que la diferencia de potencial entre los dos conductores crece en sentido opuesto al primitivo hasta un valor casi igual al que tuvo en un principio. A partir de este momento el fenómeno se invierte, reproduciéndose un número de veces tanto mayor cuanto más pequeña sea la resistencia del conductor ab , pues ya dije que esta resistencia equivale a los frotamientos en el sistema mecánico. Si la chispa tiene longitud y brillo suficientes, lo cual se logra disponiendo de un generador que permita obtener un potencial elevado y de un condensador de gran capacidad, se puede fotografiar la descarga utilizando un espejo giratorio. En la fotografía se

distinguen claramente las sucesivas descargas, y como además la chispa es más brillante en su extremo positivo, se reconoce el cambio de dirección alternativo, que es consecuencia del fenómeno descrito arriba.

17. Existe aún otra analogía entre el sistema mecánico y el eléctrico. Dije que una de las causas de amortiguamiento es la energía que el sistema pierde por las ondas que provoca en el aire,

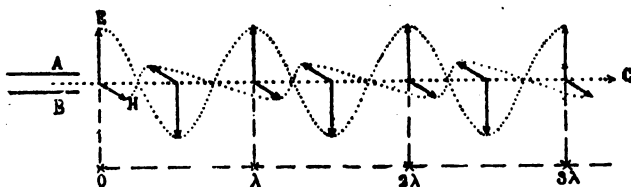


FIG. 24.

o en el medio en que está sumergido. También en el sistema eléctrico existe un amortiguamiento por radiación: el campo eléctrico que corresponde a los dos conductores A, B (fig. 24) a potencial diferente no se establece instantáneamente en todo el espacio, sino que tarda un cierto tiempo en propagarse.

Supongamos que sea T el intervalo de tiempo que separa dos estados idénticos de los conductores, o sea dos valores iguales en magnitud y sentido del campo eléctrico entre ellos: por ejem-

plo, dos máximos del mismo. Dicho intervalo se llama *período* del sistema eléctrico en cuestión, y durante él avanza el campo en el espacio una longitud, que se llama *longitud de onda*, definida por

$$\lambda = cT,$$

donde c es la velocidad de propagación: Así, en un instante determinado, el campo eléctrico E se halla distribuido sobre la recta $(AB)C$, como indica la figura; mas los valores en los puntos λ , 2λ , $3\lambda \dots$ corresponden a estados de AB en tiempos T , $2T$, $3T \dots$ *anteriores* al momento representado. Lo dicho antes (§ 14) demuestra que este avance de E engendra un campo magnético H , según se indica en la figura, tal que ambos son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación.

La energía que estos campos transportan puede denunciarse gracias a un principio general de resonancia, aplicable también a todo género de sistemas cuyo funcionamiento se rija por el cambio alternado de aquélla de potencial a cinética. Un experimento clásico de Rowland pone en evidencia en qué consiste dicho principio: sea AB (figura 25) un péndulo que tiene cerca de su punto de suspensión un pequeño vástago saliente a , donde

se cuelgan otros de longitud variable, tales como el *ab*, formados por un hilo del cual pende una masa. Al poner en movimiento AB, *ab* permanecerá generalmente en reposo; sólo para ciertas longitudes del hilo, que son entre sí como los números $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}$, dicho péndulo oscilará también. Para las referidas longitudes el período del péndulo *ab* es el mismo que el de AB, su mitad, su tercera parte, etc.; lo cual indica que en tales casos *ab* puede acumular las pequeñas impulsiones que le comunica la oscilación del punto *a*, haciendo crecer la amplitud hasta que la energía recibida iguale a la que se pierde por los rozamientos.

Esta posibilidad de acumulación de energía constituye la esencia de los fenómenos de resonancia. Si en presencia de un diapasón que vibra colocamos otro de igual nota, las acciones pequeñas y repetidas de las ondas sonoras sobre sus ramas provocan su propia vibración. Análogamente, cuando se produce una descarga oscilante en un sistema eléctrico, como el representado en la figura 23, cualquier otro de igual período, al cual puedan llegar las ondas electromagnéticas,

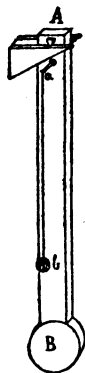


FIG. 25.

resonará, porque las variaciones de intensidad alternadas del campo que aquéllas contienen provocan en el resonador corrientes inducidas.

En último análisis son estos fenómenos de resonancia los únicos que permiten denunciar la existencia de la energía radiante, sea cual fuere su naturaleza. Si la onda sonora impresiona nuestro sistema nervioso, es gracias a la resonancia del oído, y si percibimos la luz, es muy verosímil dependa de que los elementos que forman la retina resuenan también, provocando la corriente nerviosa, bien directamente, o lo que es más probable, mediante una transformación fotoquímica. Y lo que decimos de nuestros sentidos podemos aplicarlo a cualquier método físico empleado para denunciar la presencia de este género de energía.

Generalmente, la energía que recoge un resonador es tan pequeña, que los fenómenos directos que determina son imperceptibles, pero cabe utilizarlos como reguladores del funcionamiento de otros sistemas con energía propia, que amplifican de este modo sus efectos. Tal caso se presenta las más de las veces en los resonadores electromagnéticos; la chispa que se produce en C (figura 23), cuando se emplea un sistema de este género para denunciar las ondas electromagnéticas, es imperceptible, pero la corriente que circula

es bastante intensa para provocar ciertos fenómenos, como el disminuir la resistencia de un tubo lleno de limaduras metálicas a un valor muy pequeño. Si, pues, intercalamos uno de estos tubos C, en vez de la chispa (figura 26), y a sus extremos vienen a unirse los terminales de un circuito con una pila P

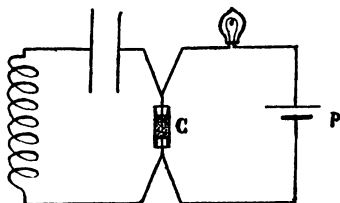


FIG. 26.

y una lámpara eléctrica, o cualquier otro aparato que denuncie el paso de la corriente, siempre que el resonador funcione, este último marchará.

18. Utilizando estos resonadores ha sido posible comprobar, experimentalmente, la producción con las ondas electromagnéticas de todos aquellos fenómenos que son consecuencia necesaria de su carácter periódico y de la influencia que ejerce en su propagación la naturaleza del medio, como la reflexión, la refracción, las interferencias y la polarización, cuyas leyes son idénticas a las que rigen los mismos fenómenos en las ondas luminosas. Y, además, se ha podido medir su velocidad c , hallando para el vacío igual número que para la luz ordinaria: 300.000 km.

Esto lleva a pensar en la identidad de naturaleza de ambas clases de ondas, sin que entre ellas exista otra diferencia que su longitud λ ; muy pequeña, de una fracción de milímetro en la luz, a veces de algunos kilómetros en la radiación electromagnética. Pero, además, entre unas y otras no existe tránsito brusco. Bose ha logrado producir y denunciar ondas electromagnéticas cuya longitud es sólo de 4 a 6 mm., mientras Rubens ha estudiado radiaciones del espectro ordinario para las cuales λ excede de la décima de milímetro. Se comprende mejor la pequeñez de este salto recordando que en la luz visible λ rebasa apenas la media milésima de milímetro, y en el extremo ultravioleta conocido, la media diezmilésima de la misma unidad. Por último; más allá aún, con longitudes del orden de la diezmillonésima y mucho menos, existen otras radiaciones cuyo origen electromagnético es indiscutible, que son los conocidos rayos X; de modo que la luz ordinaria aparece encuadrada entre dos grupos de ondas electromagnéticas.

Por otra parte, en principio nada se opone a la referida identificación. Los fenómenos ordinarios de la óptica dejan bastante indeterminada la naturaleza de la luz; sólo afirman que se trata de un fenómeno periódico transversal a la dirección

de propagación. Cuando esto quedó demostrado, la única interpretación posible era la mecánica, y así se habló de movimientos periódicos, de dilataciones y condensaciones, mejor aún, de deformaciones del éter. Pero todo ello no pasaba de una imagen, imagen que acarrea dificultades invencibles. De ellas la más importante se encuentra al querer fijar la dirección en que vibra el éter respecto al plano de polarización. Dos soluciones son posibles: o está contenida en dicho plano o le es perpendicular, y las dos hipótesis han sido formuladas por Neumann y Fresnel, respectivamente. Todos los hechos experimentales pueden interpretarse con igual facilidad por ambas, y si en alguna ocasión se ha creído hallar un *experimentum crucis* para elegir entre ellas, se debió a que en la teoría del mismo iba envuelta una hipótesis secundaria.

Evidentemente tal indeterminación no puede existir en la naturaleza, y su presencia en la teoría mecánica es una objeción fundamental en su contra. Por el contrario, si admitimos que el fenómeno periódico que constituye la luz es un campo electromagnético, la teoría fundada en tal supuesto fija sin ambigüedad las posiciones de E y H: el primero normalmente al plano de polarización, y el segundo sobre este plano. Así, las

hipótesis de Fresnel y Neumann equivalen a suponer que el éter se mueve en el sentido del campo eléctrico y del magnético, respectivamente.

No es sólo esto. A todo lo dicho podemos agregar la existencia de multitud de fenómenos ópticos cuya explicación mecánica es imposible, mientras la electromagnética es inmediata. Recordemos, por vía de ejemplo, todos aquellos producidos cuando el campo magnético actúa sobre la luz: desdoblamiento de las rayas espectrales, polarización rotatoria magnética, etc. Además son varias las constantes ópticas que pueden calcularse partiendo de otras puramente electromagnéticas; así, con la constante que mide la influencia del medio en las atracciones y repulsiones electrostáticas se pueden calcular el índice de refracción de la luz, y con la resistencia eléctrica el coeficiente de absorción de la energía luminosa; circunstancia esta última que explica por qué son los cuerpos conductores aquellos que ofrecen una opacidad más marcada.

19. En resumen, todo parece confirmar la teoría electromagnética y rechazar la mecánica, que de hecho pertenece a la historia, quedando así reducidos a meros fenómenos eléctricos cuantos se asientan en el éter. Pero estos fenómenos tienen su origen en la materia ordinaria, que también los

modifica de maneras diversas, sin que influya de modo sensible el que los cuerpos se hallen o no electrizados; de donde se deduce la existencia en ellos de cargas ocultas, pues sólo las referidas cargas pueden engendrar el campo electromagnético y sufrir su acción, viniendo a constituir el intermediario indispensable para los cambios de energía entre la materia y el éter.

Y no es de extrañar que nuestros medios corrientes de observación sean incapaces de denunciarlas directamente, pues son groseros y acusan sólo la cantidad total de carga eléctrica en un volumen relativamente grande, o sea el exceso en él de las de un signo sobre las del opuesto. En el seno de los átomos pueden hallarse bien separadas cantidades muy grandes de electricidad de cada signo, sin que puedan percibirse por nuestros aparatos corrientes, y así debemos admitirlo obligados por cuanto precede.

Pero tal hipótesis plantea inmediatamente dos nuevos problemas: 1.º, ¿cómo están estas cargas eléctricas en el seno de la materia?; 2.º, puesto que la mayoría de los fenómenos que nuestros sentidos indirectamente nos denuncian son electromagnéticos, ¿qué es la materia como cosa distinta de la electricidad?

III

III

ESTRUCTURA DE LAS CARGAS ELÉCTRICAS ELECTRÓN

Las leyes de la electrolisis y la medida de las cargas eléctricas en cuerpos muy pequeños demuestran la estructura atómica de la electricidad. Estos átomos se denominan *electrones*, y van siempre acompañados por una cierta masa material. Los electrones forman parte integrante de los átomos de todos los cuerpos; lo cual se demuestra, tanto por su emisión espontánea o bajo la influencia de determinados agentes, como por la existencia de ciertos fenómenos (fenómeno de Zeeman y corriente de Ampère) en el seno del átomo mismo.

20. Hemos visto que las cargas eléctricas son algo que se transporta de un punto a otro de los conductores; que podemos medir, y que obedece a la ley de conservación: todo lo cual consiente se las pueda considerar como porciones de una substancia o fluido especial soportado por la materia, pero esencialmente distinto de ella. Sin duda esta substancia o fluido no puede ser único, puesto que existen dos clases de cargas eléctricas, a menos de que se consideren los cuerpos or-

dinarios como un complejo de materia propiamente dicha, y el flúido eléctrico único. En esta última concepción cada cuerpo en estado neutro debe contener una cantidad determinada del indicado flúido; si existe un exceso de él, la electrización será de un signo, y si un defecto, de signo contrario. Ambas hipótesis acerca de la naturaleza de la electricidad son tan antiguas como esta misma ciencia, y el discernir cuál se ajusta más a la realidad no puede aún considerarse como un problema definitivamente resuelto, si bien se lleva mucho camino adelantado para ello.

Intimamente ligado con este problema, pero formulado en términos precisos mucho más tarde, está el averiguar la constitución de los referidos flúidos; ¿hemos de considerarles como un todo continuo, o admitir la existencia de átomos eléctricos? Sin duda en todo tiempo se ha hablado de dichos átomos, de igual manera que desde Dalton se han empleado en el lenguaje científico, para la materia, los términos *molécula* y *átomo*. Pero ello ha sido siempre sin dar gran valor a la hipótesis de su existencia real, y considerándoles como modos cómodos de expresión. Sólo cuando se ha tenido medio de contar, pesar, medir, y aun ver estos átomos o moléculas materiales, es cuando el problema de su existencia ha sido planteado

y resuelto de una manera científica, hallándose que en una molécula-gramo de una especie química, esto es, en un peso en gramos numéricamente igual a su peso molecular, en 2 gr. de H_2 , 32 de O_2 y 18 gr. de H_2O , existen 61×10^{22} moléculas reales.

Y, cuando así se ha llegado a fijar la realidad incuestionable de los átomos, es lógico que se haya pensado en la posible constitución atómica de la electricidad. Citábamos hace un momento el nombre de Dalton como introductor del concepto científico de los átomos y moléculas, y ello fué mediante la sencilla interpretación que dió con su auxilio de las leyes fundamentales que rigen las combinaciones químicas; si existe un límite para la divisibilidad de un elemento, dicho se está que cuando dos se combinan han de hacerlo interviniendo un número entero de estas partes. Si el átomo de oxígeno pesa 16 veces más que un átomo de hidrógeno, las combinaciones que estos cuerpos formen han de contener siempre pesos de ambos elementos que sean entre sí como los múltiplos enteros de 1 y 16, y así el agua ordinaria contiene por cada 2 gr. de H 16 de O, y el agua oxigenada, 1 gr. de H por 16 de O. De otro modo, la porción más pequeña posible de agua debe contener dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno.

no, y la de agua oxigenada, un número igual de átomos de cada cuerpo.

Es igualmente de orden químico el primer argumento que ha podido esgrimirse en pro de la existencia de los átomos de electricidad. Uno de los fenómenos descubiertos como consecuencia de la invención por Volta de las pilas fué la descomposición de ciertas especies químicas. Una sal, como el SO_4Cu ; un ácido, como el SO_4H_2 , o una base, como HOK , todos ellos en disolución acuosa, se descomponen por la corriente eléctrica, y en los conductores que se sumergen en dichos líquidos para conectarles con el resto del circuito, se desprenden los productos directos de la descomposición o el resultado de su reacción con los demás cuerpos presentes. Este fenómeno, conocido hoy con el nombre de electrolisis, fué estudiado cuantitativamente por Faraday, quien demostró, de modo cumplido, que la ruptura de una valencia-gramo de cualquier especie química supone paso de 2895×10^{11} unidades de cantidad de electricidad.

Recordaré que la valencia-gramo es un peso igual al de la molécula, dividido por el número de valencias que ligan los productos de la descomposición: así, para el SO_4Cu , será $\frac{1}{2} \cdot 159,64 =$

79,82; para el SO_4H_2 , $\frac{1}{2} \cdot 98,09 = 49,04$, y para el HOK 56,11. Por otra parte, hemos visto que en la molécula gramo existen 61×10^{22} moléculas reales, de modo que $\frac{2895 \times 10^{11}}{61 \times 10^{22}} = 4,74 \times 10^{-10}$ UEE

es una cantidad de electricidad que puede servir como *unidad absoluta* en todo fenómeno electroquímico, pues en ellos por cada molécula se pondrá siempre de manifiesto esta carga o un múltiplo sencillo de ella. Es, pues, un verdadero átomo de cargas eléctricas, al cual, en adelante, llamaremos *electrón*.

21. Surge, naturalmente, el problema, que consiste en averiguar si este atomismo de las cargas eléctricas es una simple consecuencia del atomismo de la materia, o una propiedad esencial de la electricidad, y su resolución se ha de buscar midiendo las cargas puestas en juego en otros fenómenos. Si la última interpretación es la exacta, el valor de e en los cuerpos electrizados será siempre un número entero de electrones, esto es, un múltiplo exacto de $4,74 \times 10^{-10}$, sea cual fuere el origen de esta carga.

No es difícil comprender que esta consecuencia de la hipótesis en cuestión no puede someterse a la contrastación experimental sin ciertas precau-

ciones bien evidentes. Obsérvese que el valor numérico del electrón no se conoce, ni puede conocerse, con una gran precisión; hoy día el error que le afecta es acaso mayor del 1 por 100. Si, pues, la carga total del cuerpo se aproxima a una centena de electrones, no podrá averiguarse si su valor es realmente un múltiplo de $4,74 \times 10^{-10}$. Se necesita acudir a cuerpos con cargas más pequeñas aún, que no excedan de unas cuantas unidades. Para ello han de someterse a la experimentación cuerpos de dimensiones pequeñísimas, porque es un hecho de experiencia que el valor absoluto de la carga disminuye con las dimensiones lineales del cuerpo que la contiene. Felizmente existen varios medios de obtener cuerpos muy pequeños electrizados.

Nadie dudará, después de los múltiples experimentos ejecutados en los cursos elementales de Física, de que el aire en las condiciones normales es un buen aislador. Sin embargo, ciertos agentes, como los rayos X y la presencia de determinadas especies químicas, le convierten en un conductor. Para comprobarlo puede operarse en la forma siguiente: coloquemos un conductor A (fig. 27), bien aislado, en el interior de un recipiente de tres bocas ligándole con un electroscopio de panes de oro. Una de las bocas comunica, mediante un tubo C,

con otro recipiente D, que se somete a la acción de un haz de rayos X. Por el interior del sistema, desde D a B, se hace circular una corriente de aire mediante el funcionamiento de un aspirador, teniendo la precaución de filtrar el aire antes de llegar a D, para evitar las partículas de polvo. Mientras el tubo de rayos X no marcha, el conductor A conserva su carga, perdiéndola al actuar aquél. Esta propiedad conductora no la conserva

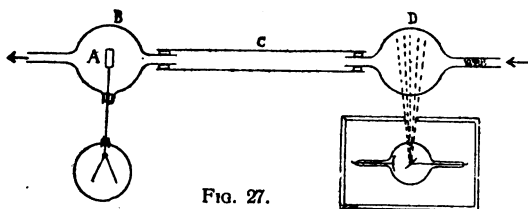


FIG. 27.

el aire indefinidamente; si el tubo C es largo o la velocidad del aire es muy pequeña, al llegar a B ha perdido totalmente esta propiedad. Además, se la puede suprimir haciéndole pasar por un campo eléctrico; por ejemplo: reemplazando el tubo C por otro metálico, que tiene a lo largo de su eje otro conductor aislado, y ligando ambos con los dos polos de una batería de acumuladores.

Estos hechos se interpretan fácilmente si se supone que bajo la acción de los rayos X las moléculas del gas se electrizan; claro es que produ-

ciéndose cantidades iguales de ambos signos, en virtud de la ley de la conservación de la electricidad. Estas moléculas se encuentran entonces sometidas a sus acciones mutuas, que tenderán a aproximar las de signo opuesto y alejar las que poseen cargas de la misma clase. Como cada encuentro de las primeras determinará una disminución del valor absoluto de las cargas, después de transcurrir un cierto tiempo todas las moléculas se hallarán en estado neutro, y el gas en las condiciones normales. Antes de que tal ocurra, un cuerpo electrizado sumergido en el gas atraerá las moléculas de signo opuesto y repelerá las de igual carga, en virtud de cuyo proceso aquél se descargará, sea cual fuere su electrización. Si la corriente de gas pasa por un campo eléctrico, las moléculas de ambos signos serán separadas del gas y recogidas en cada uno de los electrodos.

22. Las moléculas electrizadas del gas se denominan *iones*, y aunque *a priori* nada indica que sus cargas tengan valores particulares, admitida la constitución atómica de la electricidad, se impone el pensar que deban ser iguales a un número pequeño de electrones. La hipótesis más sencilla es admitir que cada molécula electrizada contiene la carga de un solo electrón, positivo o negativo, y entonces es fácil calcular el valor de

este último: bastaría para ello medir la carga total que llevan los iones de una cierta masa de gas y contar su número. Una propiedad interesantísima de los iones facilita esta enumeración, que sin duda es la más difícil de las dos operaciones indicadas. Sea una masa de gas saturado de vapor de agua, que ocupa el volumen (figura 28) del tubo B, en la parte que deja libre el émbolo C. Abriendo la válvula V se comunica el interior de este último con el depósito D, en que se ha hecho previamente el vacío, con lo cual C cae rápidamente, y el gas que lleva B sufre una expansión adiabática, descendiendo notablemente su temperatura. Entonces el gas quedará sobresaturado, pero la condensación del vapor no se produce hasta que dicha sobresaturación excede de un cierto límite, por encima del cual se forma una nube bien perceptible. La razón de este retardo es clara: toda gota líquida posee una cantidad de energía potencial representada por su tensión superficial, cuya

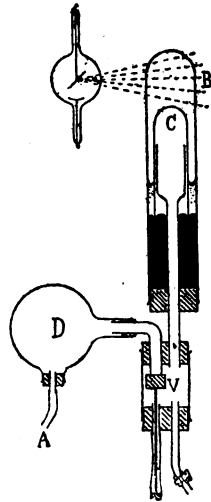


FIG. 28.

condensación del vapor no se produce hasta que dicha sobresaturación excede de un cierto límite, por encima del cual se forma una nube bien perceptible. La razón de este retardo es clara: toda gota líquida posee una cantidad de energía potencial representada por su tensión superficial, cuya

energía disminuye con el área, de modo que para hacerla crecer será indispensable gastar trabajo.

Cuando el gas contiene iones (está *ionizado*), la experiencia enseña que la nube se forma antes, y ello es lógico. La carga eléctrica tiende a aumentar el área superficial del cuerpo que la contiene, de modo que su presencia en las gotas líquidas ha de neutralizar el efecto de la tensión superficial, facilitando su formación; por cuya razón puede suponerse que los iones existentes en el gas, en el momento de la expansión, son los núcleos de las gotas líquidas que integran la nube, y contando su número se tendrá el de aquéllos. Veamos el modo de hacerlo.

La nube a que vengo refiriéndome cae con una cierta velocidad, que puede medirse determinando el tiempo invertido por su borde superior en recorrer una cierta distancia vertical. Esta velocidad es proporcional al cuadrado del radio de las gotas, pues se encuentra regida por el equilibrio de dos fuerzas: su peso, evidentemente proporcional a su volumen, o sea al cubo del radio, y la resistencia del aire, que Stokes demostró lo es al radio simplemente. Esta ley explica el hecho, bien vulgar, de que las gotas de lluvia caigan con rapidez tanto mayor cuanto más grande es su tamaño. Determinado así el radio, y por tanto la

masa de una gota, obtendremos el número de éstas dividiendo por aquella masa la cantidad total de agua condensada, que es calculable por la relación de los volúmenes del gas antes y después de la expansión. Con la carga total y este número se obtiene entonces la carga de cada ión, que resulta ser de $4,74 \times 10^{-10}$; esto es, el mismo valor del electrón, determinado por las leyes de la electrólisis.

He supuesto, para llegar hasta aquí, que todos los iones poseen la misma carga, de suerte que, en rigor, lo que hemos encontrado es el valor medio de ésta; mas nadie dudará de que es muy difícil admitir sea casual la coincidencia entre este número y el ya conocido, según sería menester, caso de rechazar el indicado supuesto. Pero además este experimento puede ejecutarse con una gota aislada, en vez de la nube entera, para lo cual basta realizar la observación con un microscopio, y entonces es indudable que medimos el valor de la carga de una gota única, que continúa siendo el número ya dado. Y al mismo resultado se llega si se emplean gotas de cualquier líquido, desde el aceite al mercurio, o partículas sólidas muy pequeñas.

Conviene notar que estas gotas, producidas por pulverización, están siempre electrizadas;

cosa bien natural, puesto que es el frotamiento uno de los medios convenientes para provocar la electrización de los cuerpos. Así, parece lógico deducir de los anteriores experimentos que las cargas eléctricas son siempre una suma de electrones, y ello impone, de modo aun más enérgico que la propia ley de conservación, a que nos referimos en la anterior conferencia, la noción de que las cargas eléctricas son algo substancial; de modo que si en la materia aparecen en virtud de procesos diversos, es que de ellos forman parte como elemento más o menos esencial.

23. Mas, ¿pueden existir las cargas eléctricas fuera de la materia? De otro modo, ¿en algún fenómeno físico se presentan los electrones aislados de toda materia? Recordemos que la propiedad característica de esta última es la inercia, medida por la masa de cada cuerpo, según veremos con mayor detalle en la próxima conferencia; con lo cual la pregunta anterior tiene este otro significado, mucho más definido: ¿toda carga eléctrica va siempre unida a una masa mecánica? Nótese que la respuesta experimental de esta pregunta es sencillísima. Sabemos actuar mecánicamente sobre las cargas, puesto que colocándolas en un campo eléctrico sufren una fuerza medida por el producto Ee . Entonces, supuesto que no

vayan acompañadas por *masa* alguna, en cada instante marcharán en el sentido del campo y con velocidad infinita, quedando en reposo en cuanto aquél se anula; mientras si la masa existe, el movimiento se producirá del mismo modo que en los cuerpos ordinarios, y hasta será posible medir el valor de dicha masa por el estudio de la trayectoria en un campo conocido.

Para elegir un caso sencillo imaginemos un electrón lanzado, en una dirección cualquiera, en un campo uniforme, esto es, en que el valor de E es constante. Se trata de un caso completamente análogo al de un proyectil disparado por un arma de fuego; es bien sabido que, prescindiendo de la resistencia del aire, la trayectoria será una parábola. También describirá esta curva un electrón, y de ella puede deducirse su masa, como por el estudio de las órbitas se encuentra la relativa a los planetas y satélites. Supongamos, para mayor sencillez del razonamiento, que la velocidad v del electrón es perpendicular el campo engendrado por el condensador AB (fig. 29). Entonces el movimiento real se puede descomponer en dos: uno uniforme horizontal, de velocidad v , en que el camino recorrido en el tiempo t será

$$x = vt, \quad [1]$$

y otro vertical, uniformemente variado, con aceleración igual a la fuerza Ee dividida por la masa m , en virtud de un principio bien conocido de la mecánica, que nos ocupará más extensamente en

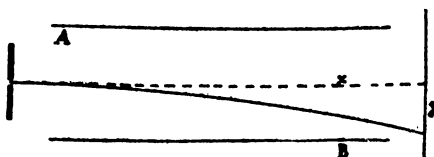


FIG. 29.

la próxima conferencia. En este último movimiento es cosa sabida que el espacio recorrido en el tiempo t se expresa por

$$y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} t^2,$$

de donde, reemplazando el valor de t obtenido de [1],

$$y = \frac{1}{2} E \frac{e}{m} \frac{x^2}{v^2}. \quad [2]$$

De las cantidades que figuran aquí se pueden medir y , x y E , quedando como incógnitas m y v , puesto que e lo conocemos por tratarse de un electrón. En otro caso las incógnitas serían $\frac{e}{m}$ y v . Es, pues, necesario un segundo experimento

que suministre una segunda ecuación entre las referidas cantidades.

Para ello sirve la acción de un campo magnético. Esta acción se demuestra que es igual a Hev , y su dirección normal al plano definido por H y v ; de modo que la trayectoria se desviará como en la figura 29, cuando H sea perpendicular al plano del dibujo.

El valor de la desviación y' en este caso se obtendrá por un razonamiento análogo al anterior, y como las fórmulas sólo difieren por la sustitución de E por Hv , en definitiva

$$y' = \frac{1}{2} H \frac{e}{m} \frac{x^2}{v}, \quad [3]$$

y de ambas, por cálculos evidentes,

$$\frac{e}{m} = 2 \frac{E}{H^2} \frac{1}{x^2} \frac{y'^2}{y}, \quad v = \frac{E}{H} \frac{y'}{y}, \quad [4]$$

cuyos segundos miembros son conocidos.

24. Tal es el principio general del método; veamos los resultados a que conduce.

Dije anteriormente que los gases son buenos aisladores cuando no se les somete a ciertos agentes extraños, como los rayos X y las radiaciones.

de las sustancias radiactivas. Esto es exacto mientras la diferencia de potencial es inferior a un cierto límite, cuyo valor depende de la naturaleza del gas y la forma, posición y distancia que existe entre los dos cuerpos a potencial diferente. Si este límite es rebasado, la corriente pasa espontáneamente, dando lugar al fenómeno que se denomina descarga disruptiva, o vulgarmente, chispa eléctrica, cuyo aspecto depende de la presión del gas.

Si en el interior de un tubo en que existan dos



FIG. 30.

electrodos (cátodo y ánodo) se va reduciendo la presión, el aspecto de la descarga va cambiando. De la chispa brillante se pasa a una columna violeta que marcha de un electrodo al otro, sea cualquiera la forma del tubo. Más tarde esta columna se va retirando del cátodo y se desarrolla un nuevo estado de cosas, en que el tubo aparece dividido en las siguientes regiones (fig. 30): la superficie misma del cátodo se halla recubierta por una luz especial, que se denomina brillo catódico,

al cual sigue una región oscura, que se llama de Crookes; otra luminosa ab ; un segundo espacio oscuro bc (de Faraday), y luego la columna positiva, a que nos referimos más atrás, que a veces se halla estrñada. Si la presión sigue disminuyendo, van desapareciendo sucesivamente las diferentes regiones que hemos enumerado, en sentido contrario, hasta que la luminosidad catódica llega al vidrio, en cuyo momento éste flourece.

Desde que el espacio oscuro de Crookes es bastante grande se observa que del cátodo parten unos rayos que iluminan débilmente el gas, y son la causa de la fluorescencia mencionada. Estos rayos están formados por partículas cargadas negativamente, como se comprueba recibíéndoles en un pequeño cilindro de Faraday unido a un electrómetro.

Si se les hace pasar por entre las dos armaduras de un condensador, cargadas a diferente potencial, y por un campo magnético, los rayos se desvían, y de los valores de y e y' se pueden deducir v y $\frac{e}{m}$, mediante las ecuaciones [4]. La primera cambia de unos experimentos a otros, pero $\frac{e}{m}$ es siempre igual a $5,31 \times 10^{17}$, sea cual

fuere la naturaleza del gas y las condiciones de la descarga.

Vimos que por cada valencia-gramo rota en la electrólisis pasa una carga eléctrica igual a 2895×10^{11} . Si se trata de un ácido esta carga corresponde al átomo gramo de H, de masa 1,008, de suerte que para el átomo real, con la carga de un electrón, $\frac{e}{m} = 2868 \times 10^{11}$. Si la carga de una partícula catódica es también la de un electrón, como parece lógico, el cociente de su masa por la del H, será

$$\frac{e}{m_H} : \frac{e}{m} = \frac{2868 \times 10^{11}}{5,31 \times 10^{17}} = \frac{1}{1850};$$

esto es, la masa del átomo de H, que es el más ligero de los elementos químicos, es 1850 veces mayor que la del electrón.

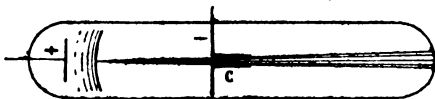


FIG. 31.

25. Volviendo al experimento del tubo de vacío, si el cátodo está taladrado (fig. 31), de su orificio C y del lado opuesto a donde pasa la des-

carga, parte también una corriente de partículas electrizadas; pero esta vez la carga que transportan es positiva. Al contrario de lo que acabamos de ver para los rayos catódicos, en estos rayos positivos $\frac{e}{m}$ no es una constante, sino que

su valor depende de la naturaleza del gas contenido en el tubo, siendo, en general, idéntico al cociente de una carga igual a la de uno o más electrones, dividida por la masa de un átomo o grupo de átomos. El valor más grande conocido de este cociente coincide con el obtenido arriba para el hidrógeno en la electrólisis, 2868×10^{11} , lo cual indica que no parece existir un electrón positivo comparable con el negativo. Otra circunstancia interesante es que, mientras para el hidrógeno se deduce de lo anterior que su átomo no puede transportar más de un electrón, pues de lo contrario habría en él rayos positivos con valores de

$\frac{e}{m}$ superiores a aquel límite, para otros elementos pueden existir en su átomo varios electrones, que en el mercurio llegan hasta ocho.

Todos estos resultados se obtienen haciendo que los rayos positivos atraviesen un campo eléctrico E y otro magnético H , superpuestos. Entonces, por lo dicho arriba (§ 23), y e y' serán per-

pendiculares entre sí (fig. 32), y todos los rayos correspondientes al mismo valor para $\frac{e}{m}$ vendrán a cortar un plano perpendicular a su dirección

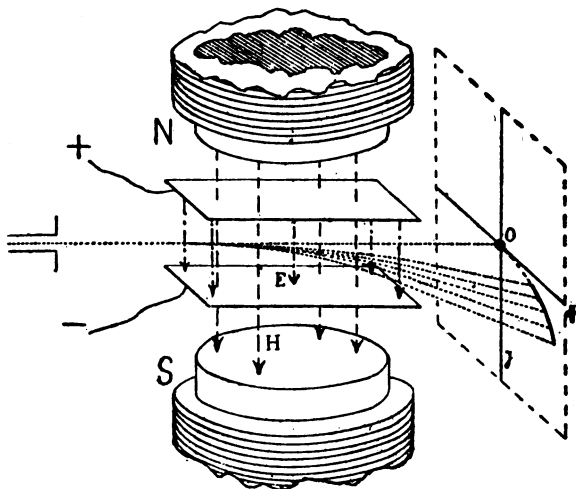


FIG. 32.

primitiva ao en puntos de un arco de la parábola

$$y = \left(2 \frac{E}{H^2 x^2} \frac{m}{e} \right) y'^2,$$

que se deduce de [4]. Cuando existen simultáneamente diferentes clases de rayos se obtendrá para cada uno una parábola particular, de cuyo estu-

dio geométrico se deriva el valor de $\frac{e}{m}$ para cada uno, pues las demás cantidades que figuran en el paréntesis de la anterior ecuación son conocidas: la figura 33

representa el caso de un tubo lleno de H_2 , los arcos corresponden respectivamente al átomo y la molécula de este gas, con un electrón. Este ejemplo prueba que el método puede suministrar un análisis del gas existente en el tubo.

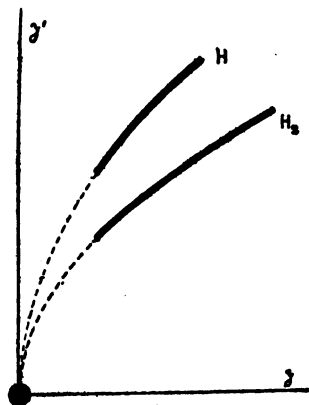


FIG. 33.

Conviene fijar la atención en la disimetría fundamental que estos experimentos establecen entre las cargas positivas y negativas, que hasta ahora se nos presentaban con propiedades equivalentes, si se prescinde del signo. La carga positiva aparece ligada a la materia ordinaria, aunque conservando su carácter atómico, puesto que su valor es siempre múltiplo de un número igual al electrón negativo, en tanto que estos últimos poseen una

realidad independiente. Tan es así, que Ramsay llegó a considerarle como un nuevo elemento, cuya presencia debiera tomarse en cuenta en las fórmulas químicas.

Pero sea lo que fuere de estas ideas, es evidente que la referida disimetría constituye un argumento en pro de la clásica teoría del fluido eléctrico único, a que aludimos más arriba (§ 20), y que sugiere la posibilidad de que el carácter atómico de la electricidad positiva no corresponda a un hecho real. Admitamos que un átomo de un cuerpo cualquiera en estado normal es perfectamente neutro y contiene un cierto número de electrones negativos; cada vez que pierda uno de ellos quedará electrizado con una carga positiva de igual valor, sin que esto quiera decir que en su seno haya nada comparable a un electrón positivo con existencia independiente.

26. Ya vimos que bajo la acción de los rayos X los gases adquieren la propiedad de ser conductores por la ionización de sus moléculas. Experimentos cuidadosos han probado que el proceso último de esta ionización consiste en el desprendimiento de un electrón negativo de la molécula, que conserva una carga igual positiva; esta molécula y aquel electrón, si la presión del gas no es muy baja, sirven de núcleos de atracción para un cierto núme-

ro de otras moléculas neutras, formando una partícula de gran volumen que es el ión gaseoso ¹. De los aludidos experimentos ninguno tan evidente como las fotograffas obtenidas, por Wilson, de una masa gaseosa saturada que se expansiona bruscamente mientras está atravesada por un haz de rayos X.

El trayecto de este haz aparece como una enmarañada superposición de líneas (fig. 34),

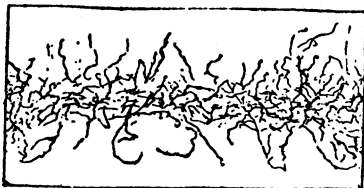


FIG. 34.

cada una de las cuales representa el camino seguido por un electrón arrancado por los rayos X de una molécula de gas, antes de convertirse en un ión. Esta acción de los referidos rayos es independiente del estado físico del cuerpo sometido a ella; de una lámina metálica interpuesta en su camino parten radiaciones idénticas a los rayos catódicos; esto es, electrones negativos dotados de velocidades grandes, puesto que para ellos

$$\frac{e}{m} = 5,31 \times 10^{17}.$$

¹ Estos iones no tienen nada de común con sus homónimos de la teoría de las disoluciones.

No se trata, por otra parte, de una propiedad exclusiva de los rayos X, sino que también la comparten otras radiaciones de mayor longitud de onda. Los rayos X, en efecto, forman la porción más alejada de la región ultravioleta (§ 36) del espectro luminoso, y es natural que sus propiedades no difieran esencialmente de las relativas a la luz ordinaria, sino únicamente en grado. En nuestro caso, si se ilumina en condiciones convenientes un cuerpo metálico electrizado negativamente, la carga se pierde, lo cual no ocurre nunca cuando la electrización es positiva. Esto prueba que, en general, la luz provoca la emisión de electrones negativos, pero con ciertas restricciones en cuanto a la naturaleza del cuerpo, según la longitud de onda empleada. Si se forma una lista de los elementos químicos, empezando por los más electropositivos, se comprueba que la *acción fotoeléctrica*, que así se denomina este fenómeno, desaparece tanto más pronto cuanto más corta sea la longitud de onda. Así, para los metales alcalinos cualquier luz visible, hasta las proximidades del rojo, provoca la emisión de electrones; en los alcalino-térreos es necesaria ya la acción de radiaciones de menor longitud de onda, y para los cuerpos no metálicos, sólo los rayos X o la región aún poco estudiada del espectro de

Schumann son susceptibles de empleo con tal fin.

En todos estos casos, ya lo he dicho, se desprenden electrones negativos, pues siempre $\frac{e}{m}$ posee el valor conocido. Es interesante que corresponda a los metales la máxima facilidad para el desprendimiento de electrones en este fenómeno, porque también son los átomos metálicos quienes aparecen electrizados positivamente en la electrólisis, y los cuerpos que ofrecen mayor conductibilidad eléctrica cuando se hallan en estado sólido.

Todo ello se interpreta fácilmente si se supone que estos átomos metálicos son poco estables y pierden uno o varios de sus electrones con facilidad, quedando convertidos en núcleos electrizados positivamente. Esta pérdida se produce unas veces bajo la acción de la luz, como en los fenómenos fotoeléctricos, o por la mayor fuerza con que los átomos o radicales electronegativos atraen a los electrones, cual en la electrólisis, o por influencias complejas, en que acaso los choques por la agitación térmica juegan papel principalísimo, según parece probable en las masas metálicas.

En el primer caso, el desprendimiento de electrones se provoca en la misma superficie y en

su mayor parte quedan fuera del metal iluminado; en el segundo, ya he dicho que se fijan al átomo o radical que constituye el anión de la sal, y en el tercero, puesto que se trata de un fenómeno en el volumen del metal y no existen átomos donde fijarse, se ha de suponer que permanecen libres, interpuestos entre los átomos neutros o positivamente electrizados. Su pequeñez les permite moverse libremente por los espacios que dejan aquéllos sin ocupar, y así, cuando se aplica un campo eléctrico, se transportan en sentido opuesto, dando margen a la corriente eléctrica. Esta hipótesis explica perfectamente los hechos conocidos, prescindiendo de algunos detalles que seguramente serán completados cuando se estudien mejor. No he de detenerme más en ello, porque tendría que ir demasiado lejos para mi objeto y, en cambio, voy a analizar un hecho que parece consecuencia necesaria de esta hipótesis, en un orden algo diferente.

27. Los electrones libres en el seno del metal deben hallarse dotados de una energía cinética medida por la temperatura del mismo, cual ocurre con las moléculas de un gas, y algunos de ellos, próximos a la superficie, deben lanzarse fuera del metal. Pero en cuanto esto ocurre con un electrón, la masa metálica queda electrizada

positivamente y le atrae, volviéndole a su seno, a menos que su energía sea superior a un cierto límite. Sin duda, a un segundo electrón le será más difícil escapar, porque la atracción es mayor, y así llegará un momento en que el equilibrio se establece y todo electrón que se escape se hallará compensado por otro que cae en el metal. En una palabra, si dicho cuerpo se halla encerrado en un recipiente impermeable a los electrones, el número de éstos en equilibrio con aquél es fijo.

El caso es análogo al de la evaporación de un líquido contenido en una vasija cerrada. Las moléculas se agitan por el movimiento térmico con una energía cinética que corresponde a su temperatura, y cuando se hallan muy próximas a la superficie libre tienden a rebasarla. Mas en dicha superficie existe un enérgico campo de fuerzas moleculares equivalentes a una presión dirigida hacia el interior del líquido, presión que las moléculas tienen que vencer para hallarse en libertad. Si el trabajo que ello representa es menor que la energía de la molécula, ésta pasa al estado de vapor; pero si es más pequeña, retorna al líquido. Supuesto que por encima de la superficie haya el vacío, el número de moléculas va creciendo rápidamente, y con él la presión, hasta un cierto estado de equilibrio, que se logra cuando el número de moléculas

que vuelven al líquido desde el vapor compensa al de las que salen. Esta presión se puede medir mediante un manómetro de mercurio (fig. 35).

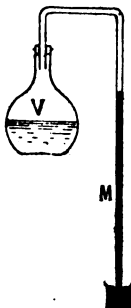


FIG. 35.

Decía que escapan del líquido todas las moléculas que poseen una energía cinética superior al trabajo necesario para vencer la presión interna. Esta presión es función de la distancia media que separa las moléculas, la cual varía muy poco con la temperatura, porque la dilatación de los líquidos es pequeña; de suerte que en primera aproximación podemos suponerla constante, y, por consiguiente, la energía cinética que una molécula necesita para escapar del líquido es una cantidad perfectamente fija. Pero el número de éstas, cuya energía es más grande que un valor definido, crece rápidamente con la temperatura, de modo que a medida que ésta se eleva, el número de moléculas que escapan aumentará, y con él la presión de equilibrio del vapor, hecho que se comprueba experimentalmente sin más que calentar el depósito V.

Idéntico razonamiento puede hacerse para la emisión de electrones por un metal calentado, y así se deduce que el número de aquéllos debe erc-

cer con la temperatura. Para comprobarlo basta disponer un hilo de platino *ab* (fig. 36), que puede calentarse haciendo que por él pase una corriente variable a voluntad, mediante un reostato.

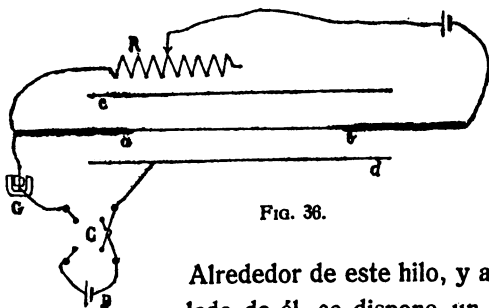


FIG. 36.

Alrededor de este hilo, y aislado de él, se dispone un cilindro *cd*, también metálico, y ambos se ligan mediante un conductor, en el cual se intercala una pila *P*, un conmutador *C* y un galvanómetro *G*. La temperatura del hilo se puede juzgar por su brillo; cuando su valor es muy bajo, no pasa corriente por *G*, sea cual fuere la posición de *C*; pero si aquélla es suficiente para que el hilo se ponga incandescente, la corriente alcanza valores grandes, y rápidamente crecientes, cuando el conmutador esté dispuesto de modo que *ab* comunique con el polo negativo de *P*. Para la posición contraria de *C* la corriente existe también, pero es enormemente más pequeña, si bien

varía según la misma ley. Esta ley es, además, idéntica a la del cambio de presión del vapor.

Los fenómenos descritos dependen de la emisión de partículas electrizadas por el hilo *ab*, y prueban que el número de las que poseen carga negativa es muy superior al de las que la acarrean positiva. Pero si además se mide el cociente $\frac{e}{m}$

para ambas, se halla que las primeras son electrones negativos, mientras para las segundas dicho cociente corresponde a los átomos presentes en la superficie del metal. Nunca se obtiene un electrón positivo de masa comparable al negativo, del mismo modo que ocurre en los tubos de vacío.

28. Pero no sólo se desprenden los electrones negativos o residuos atómicos positivos por la acción de agentes externos, sino que en ocasiones el fenómeno se produce espontáneamente, y entonces va acompañado por la transformación del átomo. Ello es un fenómeno bien característico de ciertos elementos de peso atómico elevado, que se denominan radiactivos. Todos ellos se agrupan en tres series bien definidas, llamadas del radio, del actinio y del torio (fig. 37), en cada una de las cuales cada término procede del anterior y engendra al siguiente. Estas transmutaciones pueden clasificarse en dos grupos bien caracte-

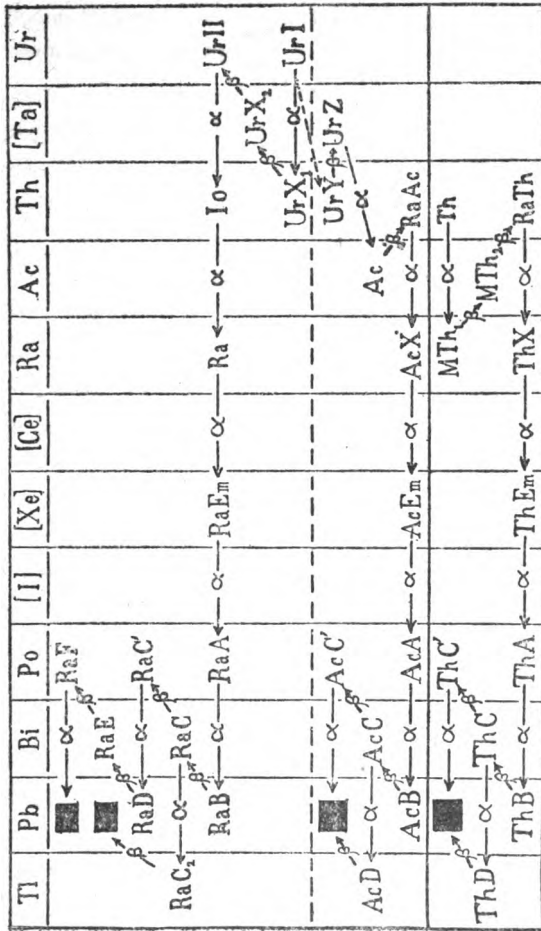


FIG. 37.

terizados por la emisión simultánea de los rayos llamados β y los α , respectivamente; los primeros son electrones negativos, idénticos a los rayos catódicos, aunque de velocidades generalmente muy superiores a las que éstos pueden alcanzar en los tubos de vacío, y los segundos son partículas positivas, sobre cuya naturaleza se discutió mucho al principio, pues el valor de $\frac{e}{m}$ lo mismo puede corresponder a un átomo de hidrógeno con una carga numéricamente igual a la de un electrón que a un átomo de helio con doble carga. Ramsay, acumulando rayos α , demostró ser esta última la interpretación real.

En las transmutaciones acompañadas de la emisión de partículas α , el peso atómico del nuevo elemento es inferior al relativo al anterior en cuatro unidades, por ser éste el peso atómico del He; pero en las acompañadas por la emisión de rayos β no existe cambio sensible, pues la masa de un electrón es despreciable. Luego si fuera el peso atómico la variable característica de los elementos químicos, no debiera existir una transmutación real en este último caso, en contra de lo que la experiencia enseña, observación en la cual insistiré en la próxima conferencia.

29. Lo expuesto hasta ahora prueba que los

átomos de los cuerpos emiten en circunstancias varias electrones negativos, quedando ellos electrizados positivamente, y que aun en el caso de emisión de cargas positivas independientes del átomo primitivo, van acarreadas por el He, y acaso, en alguna ocasión mal conocida, por el H. Cabe ahora preguntarse: estos electrones, o estos átomos en su caso, ¿existían como tales en el seno del átomo, o se engendraron en el momento de su emisión por desgarramiento de una masa continua? El primer supuesto es la interpretación más sencilla, pero el segundo no es absurdo, y únicamente la experimentación puede resolver el dilema.

Concretándonos al caso de los electrones, existen dos fenómenos que permiten probar de modo indudable su presencia en el seno de los átomos: el fenómeno de Zeeman y las corrientes de Ampère.

Es sabido que cada elemento emite un espectro característico cuando se le lleva a la incandescencia, espectro formado por un conjunto de rayas de longitud de onda bien definida. Si la emisión se produce colocando el cuerpo luminoso C (figura 38) en un campo magnético, tal como entre los polos de un electroimán, las rayas se desdoblan en un número diferente, según se observe en la dirección CA, perpendicular al campo, o en

la C B, que coincide con éste. En el caso más sencillo se obtienen para la primera tres rayas,

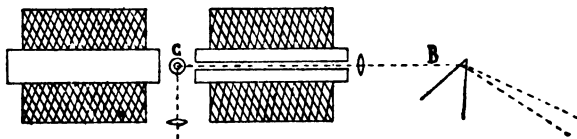
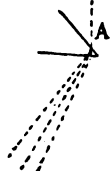


FIG. 38.



de las cuales la central se confunde con la primitiva, mientras para la segunda desaparece esta última, quedando sólo las dos exteriores; todo ello está representado esquemáticamente en la figura 39. Tal

es el fenómeno descubierto por Zeeman.

Claro es que siendo la luz un fenómeno electromagnético, la emisión se producirá por el movimiento de cargas eléctricas. La hipótesis más sencilla es suponer estas cargas vibrando con período T alrededor de su posición de equilibrio A (figura 40),

cual si se tratase de la lenteja de un péndulo. Sea cual fuere la dirección BB' de este movimiento, se le puede descomponer en uno $B_1 B'_1$, que

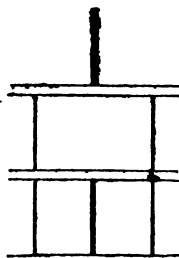


FIG. 39.

coincide con el campo H , y otro $B_2B'_2$, normal al mismo. En el primero de estos movimientos el campo no ejerce ninguna acción sobre la carga en movimiento, pues ya hemos dicho que aquélla tiene lugar en la dirección normal al plano definido por H y la velocidad de la carga, y como en este caso ambas coinciden, el plano queda indeterminado y la acción no puede existir.

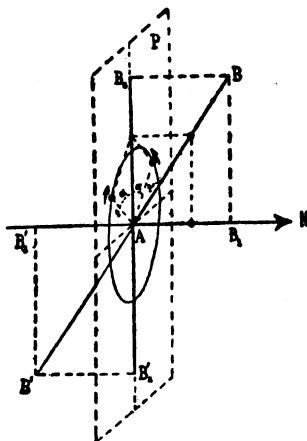


FIG. 40.

En cuanto a la vibración $B_2B'_2$, un teorema sencillo de cinemática permite considerarla como la superposición de dos movimientos circulares de igual período T y sentidos opuestos, tales que los ángulos α y α' de los respectivos radios r y r' con $B_2B'_2$ son constantemente iguales. Entonces la acción del campo magnético sobre la referida vibración se puede interpretar por el siguiente artificio: La carga e , recorriendo su órbita circular, es equivalente a una corriente eléctrica de

la misma forma, cuya intensidad es proporcional a $\frac{e}{T}$; pues ya dije que la indicada magnitud es la carga que atraviesa el circuito en la unidad de tiempo, y en este caso e pasa por cada punto del círculo $\frac{e}{T}$ veces por segundo. Al engendrar el campo H se producirá una corriente inducida, cuyo sentido se define por la regla dada en la conferencia anterior; de suerte que para una de las referidas corrientes ficticias su intensidad aumentará en virtud de este efecto, y la otra disminuirá, aumento y disminución que puede únicamente interpretarse por la variación correspondiente en T .

Una imagen mecánica puede aclarar esta explicación. Sea un ventilador cuyo número de revoluciones se mide por una disposición conveniente. Superpongamos a la corriente de aire propia del ventilador otra engendrada por una causa independiente; si esta última posee igual sentido que la primera, el ventilador halla una resistencia menor para su movimiento y el número de revoluciones crece, mientras si tiene sentido opuesto, el obstáculo será mayor y el referido número disminuye. Nótese que entre esta imagen y el fenómeno descrito anteriormente existe una diferencia esen-

cial: el ventilador se acelera cuando las dos corrientes de aire coinciden en dirección y sentido, en tanto que cuando esto ocurre con los campos magnéticos propio y exterior, el movimiento circular de las cargas eléctricas se retarda.

Volviendo a nuestro razonamiento recordaré que la vibración de la carga e quedó descompuesta en un movimiento $B_1 B'_1$ (fig. 40) de la misma clase y período T , dirigido según el campo H , y dos circulares de opuestos sentidos en el plano P normal a H , para los cuales el período se convierte en $T - \delta T$ y $T + \delta T$, designando por δT el cambio del período engendrado por la acción del campo. Un observador que mira según CA (figura 38), a través de un espectroscopio, verá tres rayas en la forma descrita arriba, mientras que según CB sólo podrá observar las relativas a los movimientos circulares, porque la vibración $B_1 B'_1$ se produce entonces en la dirección del rayo y no puede provocar ningún fenómeno luminoso.

Un estudio más completo de la teoría que acabo de bosquejar demuestra que las condiciones del fenómeno en cuestión revelan que la carga eléctrica que vibra en todos los átomos es siempre negativa, y además conduce a una fórmula

que permite el cálculo de $\frac{e}{m}$ utilizando los valo-

res de H , T y δT , todos ellos medibles. Se obtiene así $\frac{e}{m} = 5,31 \times 10^{17}$, probando de modo irre-

futable la presencia de los electrones negativos en el seno del edificio atómico, del cual son partes integrantes, conservando su propia individualidad.

30. Dije en la conferencia anterior que (§ 13) Ampère interpretó el magnetismo suponiendo que en cada molécula de un imán existe una corriente eléctrica, y ahora podemos agregar que esta corriente debe consistir en uno o varios electrones que describen en el seno de los átomos órbitas cerradas. La realidad de esta hipótesis ha sido confirmada por Einstein y de Haas, por un experimento que ya es clásico en la ciencia, no obstante datar de fecha muy reciente.

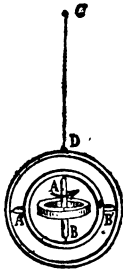


FIG. 41.

En virtud de su masa material m , todo electrón que describe una órbita cerrada se comporta como un giroscopio o una peonza, y poseerá el conjunto de propiedades mecánicas que se sintetizan en el conocido teorema de la conservación del momento de la cantidad de movimiento. Sea un giroscopio AB (fig. 41) suspendido por un hilo metálico CD : si por un medio cualquiera se invierte

la posición del eje AB, girando sobre el eje A'B', el sentido de la rotación cambiará para un observador exterior al sistema, y el precitado teorema indica que sobre el hilo de suspensión actuará un par en la dirección del primitivo, que se equilibra mediante una torsión del hilo.

Supongamos ahora una barra de hierro suspendida del hilo CD (fig. 42), en la forma que la figura indica, y coaxialmente con ella una bobina, cuya corriente puede invertirse. La barra equivaldrá a una caja en que hubiese encerrados una infinidad de pequeños giroscopios constituidos por los átomos del hierro. En el estado inicial sus ejes se hallarán orientados de todas las maneras posibles; pero si se imanta la barra en un cierto sentido, se colocarán paralelamente a las líneas de fuerzas, como las limaduras en los espectros magnéticos (§ 12). Se producirá así un cambio en el momento total de la cantidad de movimiento del sistema, y CD se torcerá hasta equilibrarlo, según dijimos antes. Invertiendo entonces el sentido de la corriente en la bobina se provocará la inversión de los ejes de los girostatos, y, con ello, una nueva torsión, en sentido contrario, del hilo.

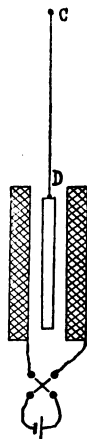


FIG. 42.

Si se reproducen alternativamente estos cambios, con una periodicidad igual a la propia del sistema formado por el imán y el hilo, éste oscilará con amplitud perfectamente observable. Tal es el hecho que Einstein y de Haas han podido comprobar.

Pero, además, se concibe sin descender a los cálculos, que ha de existir una relación definida entre el referido momento mecánico y la imantación de la barra; pues una y otra magnitud proceden de la masa y la carga de un mismo electrón. La teoría da que esta relación es

$$2 \frac{m}{e} = 3,77 \times 10^{-18},$$

en tanto que experimentalmente se encuentra

$$3,70 \times 10^{-18},$$

número cuya conformidad con el previsto no ofrece duda, justificando así plenamente la teoría.

IV

ELECTRICIDAD Y MATERIA.

La masa de los electrones es de origen exclusivamente electromagnético, y ello permite interpretar la materia como un simple fenómeno eléctrico, si se admite la proporcionalidad entre el peso y la masa. Cada átomo, en tal interpretación, es un edificio más o menos complejo de electrones, cuyas propiedades son consecuencia de su estructura. J. J. Thomson y Rutherford han descrito modelos de este género que ofrecen gran interés.

31. Hemos visto anteriormente que las cargas eléctricas poseen siempre una masa, que en el caso de los electrones negativos tiene un valor perfectamente definido y sin confusión posible con la correspondiente a los átomos de los diferentes elementos químicos. Pero la masa es una de las propiedades características de la materia, si es que no podemos llegar a considerarla como el elemento esencial de la misma, por lo cual surge, naturalmente, la siguiente pregunta: ¿Debemos pensar que cada electrón tiene un soporte material, especie de subátomo para el cual la car-

ga eléctrica es algo accesorio, o existe, por el contrario, una ligazón esencial entre la electricidad y la materia, de tal modo que la una puede reducirse o explicarse por la otra? Para hallar respuesta a esta pregunta fijaré claramente la noción de *masa*.

Apliquemos una fuerza constante a un cuerpo cualquiera; la experiencia demuestra que su velocidad crece proporcionalmente al tiempo, y al incremento de dicha magnitud, por segundo, se denomina *aceleración*. Su valor se puede determinar estudiando el movimiento mediante un registro gráfico: por ejemplo, utilizando un cinematógrafo. En cuanto a la fuerza, su intensidad se mide por procedimientos estáticos, o sea empleando un dinamómetro.

Si se suprime la fuerza, la aceleración se anula, y el cuerpo sigue moviéndose uniformemente, y si más tarde se la aplica en sentido opuesto, el movimiento se convierte en uniformemente retardado, volviendo al reposo después de un tiempo igual al que estuvo actuando en el período inicial. Estos fenómenos, que se pueden comprobar con auxilio de la clásica máquina de Atwood, dependen de la cualidad esencial de la materia que se ha llamado INERCIA.

Cuando entre el cuerpo y la fuerza se interpo-

ne un dinamómetro, se reconoce que éste señala la misma división de su escala si el cuerpo se mueve o se encuentra en reposo.

Coloquemos en las extremidades de un hilo *ab* (fig. 43), de peso despreciable, que descansa en la garganta de una polea *P*, el cuerpo *C* unido al resorte *R*, y un contrapeso *C'* que les hace equilibrio: entonces la longitud del resorte será l_0 , hállese el sistema en reposo o en movimiento. Si sujetamos *C* y cargamos en *C'* un peso adicional p , la longitud del resorte aumenta en una cantidad δl , que mide el esfuerzo hecho para equilibrar la acción de p . Abandonando entonces *C*, se puede reconocer que durante el movimiento el resorte conserva este incremento de longitud;

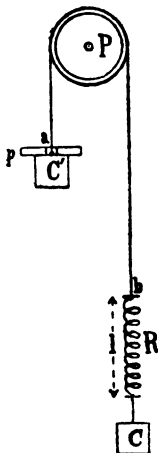


FIG. 43.

basta para ello obtener una fotografía instantánea del sistema en cualquiera de sus posiciones.

Es indudable que el referido alargamiento del resorte denuncia la existencia de una fuerza aplicada a *C*, que obra oponiéndose al movimiento.

Su origen se encuentra en aquella cualidad esencial a que hacíamos alusión, por lo cual se la

llama *fuerza de inercia*, y su valor es numéricamente igual al de la fuerza aplicada. Evidentemente depende de la aceleración, puesto que se anula con ella, pero *a priori* nada puede agregarse respecto a la forma de esta dependencia. Si realizamos varias veces el experimento descrito, aplicando fuerzas diferentes al mismo cuerpo, y una misma a cuerpos distintos, se reconoce que, hasta donde la precisión de los métodos alcanza, la fuerza de inercia es proporcional a la aceleración y a un coeficiente característico de cada cuerpo, que se denomina *masa*. Así, llamando f_1 la fuerza aplicada, m_1 la masa y a_1 la aceleración, podremos escribir la ecuación clásica

$$m_1 = \frac{f_1}{a_1}.$$

Esta masa se llamará *longitudinal*, porque el movimiento que ha servido para su definición tiene lugar en la dirección de la fuerza aplicada.

32. He dicho que la aceleración es el cambio de velocidad por unidad de tiempo, pero al aplicar esta definición he procedido como si este cambio se refiriese exclusivamente al valor numérico y no a su dirección, cual ocurre en el movimiento rectilíneo únicamente.

Cuando la trayectoria descrita por el móvil es

curva, caso evidentemente el más general, la velocidad v cambia de magnitud, pero también de dirección, según se reconoce en la figura 44, pues siempre v se confunde con la tangente a la trayectoria en el punto

considerado. Por eso en mecánica se consideran en general dos aceleraciones: la lineal o longitudinal, que es a la que nos hemos referido anteriormente, y la centrífuga o transver-

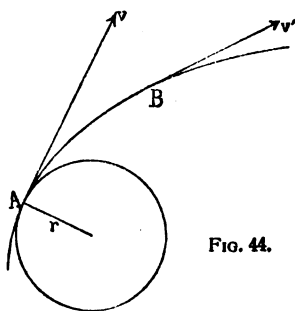


FIG. 44.

sal, que mide el cambio de dirección. Se demuestra por simples consideraciones geométricas que su valor en cada instante está dado por $\frac{v^2}{r}$, donde v es el valor de la velocidad en dicho

instante y r el radio de curvatura de la trayectoria en el punto que le corresponde; esto es, el radio de un círculo que coincide con la curva en el elemento de longitud en cuestión. Así como en el movimiento rectilíneo la aceleración centrífuga es nula, en un movimiento curvilíneo cualquiera, donde la velocidad permanezca constante, sólo existe aceleración centrífuga, y si r es constante, di-

cha magnitud será también constante. El ejemplo más sencillo es el del movimiento circular uniforme, que en un cierto sentido podemos considerar análogo al rectilíneo uniformemente variado, don-

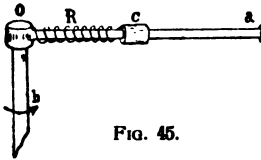


FIG. 45.

de es la aceleración longitudinal quien permanece constante.

A dicha aceleración corresponde también una *fuerza de*

inercia transversal, más corrientemente conocida con el nombre de *fuerza centrífuga*, y que podemos medir mediante un dinamómetro, de manera más sencilla que en el caso anterior. Dispongamos un cilindro metálico C (fig. 45) de modo que pueda deslizarse en una varilla *o'a* fija perpendicularmente a un eje *ob*, que puede girar con distintas velocidades, y liguemos el cilindro a *o* mediante un resorte dinamométrico R. Haciendo girar el eje con velocidad constante, el resorte se estira hasta una longitud también constante, que equilibra la fuerza centrífuga de inercia, y a cada variación en la velocidad corresponde un cambio en la longitud del resorte. Llamando f_t la fuerza medida por el resorte, y a_t la aceleración centrífuga, la experiencia demuestra que el cociente de estas dos magnitudes

permanece constante para un mismo cuerpo, y a su valor se le denomina *masa transversal* del cuerpo,

$$m_t = \frac{f_t}{a_t}.$$

La medida de f_t se hace graduando previamente el resorte, y la de a_t se deduce de la distancia r del cuerpo al eje de giro, que se determina fácilmente, y del número n de revoluciones que ejecuta el eje por segundo. En efecto, el espacio total recorrido, que será $2\pi r n$, se confunde entonces con la velocidad, de modo que

$$a_t = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r^2 n^2}{r} = 4\pi^2 r n^2.$$

33. *A priori* no existe nada de común entre esta masa transversal, m_t , y la longitudinal, m_l , que definimos antes; pero si los dos experimentos se ejecutan con el mismo cuerpo, se reconocerá inmediatamente, dentro del grado de precisión de que se puede disponer, que sus valores numéricos son idénticos.

He aquí tres hechos experimentales: constancia de la relación entre las fuerzas de inercia y las respectivas aceleraciones, sea cual fuere el valor de estas magnitudes, e identidad de estos dos cocientes para un mismo cuerpo. Como he-

chos experimentales, no tienen más valor que el derivado de la observación. Más allá de los límites en que se hayan comprobado, nada se opone a que dejen de ser exactos, parcial o totalmente. Sin embargo, la ciencia clásica los elevó a la categoría de *principios de la Mecánica*, pues partiendo de la supuesta constancia absoluta de m , predijo hechos y determinó leyes que la observación y la experiencia confirmaron. Pero, naturalmente, el campo de su aplicación es limitado. El capítulo más portentoso de la Mecánica, atendido al grado de precisión que se adquiere en la observación, es la Mecánica celeste; mas en ella las velocidades que entran en juego no exceden de algunas decenas de kilómetros por segundo, cantidad bien pequeña, a pesar de ser las mayores que la ciencia clásica maneja. Dentro de estos límites, repetimos, y de los errores inevitables en las observaciones astronómicas, las leyes de la Mecánica se satisfacen; las órbitas planetarias son elipses, que no lo serían para la misma ley de Newton si las dos masas fuesen diferentes o variasen de valor; pero al afirmar que son elipses, queremos sólo significar que, si difieren de estas curvas geométricas, será en menos de lo que permiten apreciar nuestros actuales instrumentos.

34. Habituada a no hallar contradictores, la

Mecánica clásica llegó a creerse la ciencia perfecta, y aspiró a absorber a las demás, convirtiéndolas en capítulos suyos; mas de este sueño de grandeza vino a despertarla la experimentación, aplicada a movimientos de cuerpos enormemente más veloces que los astros más rápidos.

Hemos visto en la conferencia anterior que la razón $\frac{e}{m}$ y la velocidad v de un electrón se pueden determinar utilizando las desviaciones que provocan en su trayectoria los campos eléctrico y magnético, y aun agregué que en todos los casos dicha relación $\frac{e}{m}$ es constante. Tal afirmación no es absolutamente exacta: su valor no depende del origen de los electrones; pero es una función decreciente de v . Esta variabilidad puede atribuirse a una disminución en el valor de la carga, a un aumento en la masa, o a un cambio simultáneo de ambas magnitudes de proporción y sentido convenientes. *A priori* no puede elegirse entre estas diferentes interpretaciones, aunque el natural deseo de conservar los principios fundamentales de la Mecánica, la rama más acabada de la Física, parece inducir a que se atribuya la responsabilidad del cambio en $\frac{e}{m}$ a la variabili-

dad de e . Sin embargo, en ningún momento de la evolución de estos conceptos ha surgido tal hipótesis, y ello procede de que, aun antes de que la experimentación pusiera bien en claro el hecho, se habían formulado predicciones teóricas que al mismo se referían, y según las cuales, la masa de los electrones en movimiento debe ser variable.

Dije ya que este movimiento engendra un campo magnético, y también señalé la profunda analogía entre la reacción de este campo sobre el indicado movimiento y el conjunto de fenómenos que para la materia ordinaria se engloban en el concepto de inercia. Un razonamiento complejo, al cual no podemos descender, llega hasta fijar una función de cantidades medibles, que desempeña para la carga eléctrica el mismo papel que la masa para la materia. No obstante, existe una diferencia esencial entre esta masa de la Mecánica clásica y aquella función que mide la masa aparente de los electrones; su valor es distinto según la acción sea longitudinal o transversal, y además en ambos casos cambia con v . La primera, la *masa longitudinal*, viene definida por

$$m_l = m_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}},$$

y la segunda, *transversal*, por

$$m_t = m_0 \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}.$$

En estas fórmulas c es la velocidad de la luz, y m_0 el valor límite de ambas masas cuando v tiende hacia cero, el cual cambia con la hipótesis que se haga sobre la estructura del electrón. Así, cuando se admite que es una carga eléctrica uniformemente distribuida en una superficie esférica de radio R ,

$$m_0 = \frac{e^2}{6\pi R c^2}.$$

En el método descrito en la anterior conferencia para la medida de $\frac{e}{m}$, la fuerza aplicada es siempre normal a la trayectoria, de modo que la ecuación con quien ha de compararse la experiencia es la segunda; y, en efecto, la conformidad es completa, según se reconoce en la figura 46, donde la curva es la traducción gráfica de la ecuación

$$\frac{m_t}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

y los puntos se refieren a las medidas ejecutadas por Neumann sobre los rayos β de las sustancias

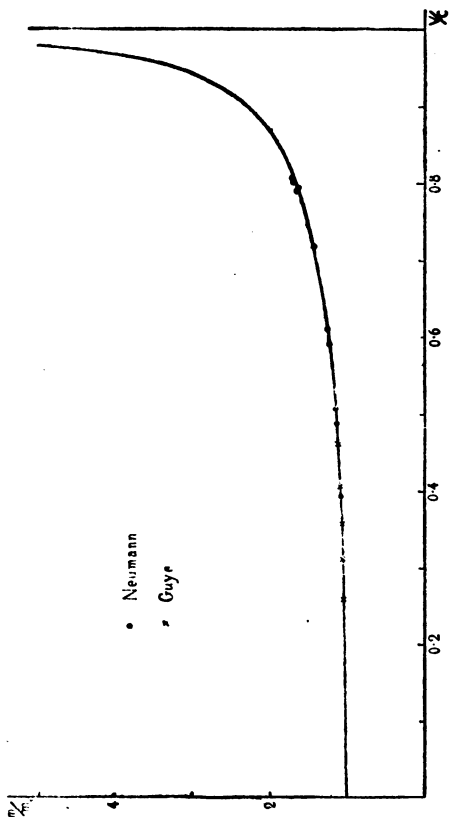


FIG. 46.

radiactivas, y por Guye para los rayos catódicos. He tomado éstas, por ser las últimas publicadas;

pero son varios los experimentadores que han abordado el problema con análogos resultados. En cambio, la confirmación experimental directa de la expresión que define la masa longitudinal no se ha logrado aún, e indirectamente sólo Bohr ha conseguido una justificación mediante una teoría que explica el cambio de velocidad de los rayos β que atraviesan la materia. En todo caso, la teoría que conduce a m_t exige la exactitud del valor de m_l , sin que sea admisible la una sin la otra, por lo cual probar aquella es demostrar la verdad de ambas.

Según esto, la masa que acarrea la carga eléctrica es una consecuencia de esta última, y dicho se está que, como nada distingue esta masa de la propia de un cuerpo ordinario, se presenta al espíritu esta pregunta: ¿cuál es la razón para atribuir a la materia una naturaleza distinta e independiente de las cargas eléctricas? Sin duda, lógicamente nada se opone a que continúen existiendo dos cosas diferentes dotadas de una propiedad común, pero el principio general de economía que preside a la Ciencia nos mueve a reducir la una a la otra. Antes de analizar este problema con mayor atención, veamos si puede ser un obstáculo para la identificación el hecho de que la masa no sea una constante única en los electro-

nes y sí en la materia ordinaria. Recordemos que se trata aquí de un hecho de experiencia; acaso mejor, de un principio obtenido por generalización de una infinidad de observaciones y experimentos.

Por consiguiente, lo único exigible a las anteriores expresiones de m_t y m_l es que la diferencia de sus valores y el cambio que pueden experimentar con la velocidad no sean denunciados por los métodos que actualmente posee la ciencia, cuando v no excede los límites que corresponden a los movimientos conocidos de los cuerpos observables. Ahora bien; en ambas expresiones figura el cociente

$\frac{v^2}{c^2}$, cuyo valor no llega jamás,

en los casos mencionados, a una unidad del séptimo orden decimal, esto es, una diezmillonésima, puesto que $c = 300000$ km. s. y v dije que no rebasa de algunas decenas de kilómetros. Pero el referido cociente mide precisamente la diferencia a la unidad de la relación

$\frac{m_t}{m_l}$,

$$\frac{m_t}{m_l} = 1 - \frac{v^2}{c^2},$$

y análogamente

$$\frac{m_t}{m_0} - \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} = 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2},$$

$$\frac{m_t}{m_0} = \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} = 1 + \frac{3}{2} \frac{v^2}{c^2},$$

de modo que las diferencias a la unidad de estos cocientes son la mitad y los tres medios del número precitado, diferencias que distan muchísimo del alcance de los medios actuales. Así, no existe por este lado dificultad ninguna; m_t y m_l han de ser para nosotros constantes e iguales, en todos los fenómenos que la Mecánica clásica estudia.

35. Pero a más de los fenómenos que en la materia se producen clasificados como ópticos, térmicos, magnéticos y eléctricos, cuyo origen exclusivamente eléctrico hemos afirmado anteriormente, y a parte de los efectos de la inercia que, de aceptarse la hipótesis enunciada arriba, se reducen también a efectos aparentes de los cambios electromagnéticos, quedan otros importantísimos órdenes de fenómenos, no menos característicos de la materia: los *gravitatorios* y los *químicos*; la *atracción universal* y la *afinidad química*.

En los fenómenos químicos no nos detendremos particularmente, aunque algo diremos de ellos más adelante, por no alargar demasiado estas conferencias, y porque es bien conocido que, desde los primeros pasos de la Química, la electrolí-

sis sugirió una hipótesis eléctrica de la afinidad, que ha venido conservándose en la ciencia en formas más o menos variadas, a causa de que es indudable el importantísimo papel que las cargas eléctricas juegan en los enlaces atómicos. Por el contrario, insistiré en el análisis de la atracción universal.

Su manifestación más inmediata es el *peso* de los cuerpos, esto es, la fuerza con que son atraídos por nuestro planeta. Este peso es característico de cada cuerpo; o dicho de otro modo, entre los factores que deben figurar en su expresión existe uno propio del cuerpo. Ello se pone en evidencia siguiendo el mismo razonamiento que cuando quise determinar los elementos de que dependen las fuerzas eléctricas. Tomemos dos cuerpos diferentes y suspendámosles de un mismo dinamómetro en diferentes lugares de la tierra; las indicaciones para cada uno de ellos son diferentes en un mismo lugar, y también para un solo cuerpo cuando nos trasladamos de un punto a otro; pero su relación es constante, sea cual fuere el lugar en que se ejecute el experimento. De aquí se deduce que, designando el peso por ρ , dicho coeficiente por m_p y el conjunto de los restantes factores por g_1 ,

$$\rho = m_p g_1.$$

Pero esta misma fuerza p puede producir o modificar el movimiento del cuerpo, por ejemplo, cuando se le deja caer libremente en el espacio, y entonces llamando g la aceleración de este movimiento y m la masa de inercia del cuerpo, podemos también escribir

$$p = mg.$$

La igualdad de forma de ambas expresiones lleva a pensar que $m_p = m$ y por tanto $g_1 = g$, pero no sólo no se trata de una identificación evidente, sino que ni siquiera es necesaria. Sin embargo, nuestra experiencia actual nos conduce a ello, según se deriva de dos leyes enunciadas en los libros elementales, corrientemente sin explicación, no obstante su enorme trascendencia.

La primera de estas leyes se formula diciendo que *todos los cuerpos caen con igual velocidad*, o, lo que es igual, *la aceleración de caída g es una constante universal*. Esta ley exige que $m_p = m$. En efecto; sean dos cuerpos en el mismo lugar de la tierra, lo cual equivale a afirmar que para ellos g_1 es una constante. Si se abandonan ambos cuerpos, la segunda ley dará

$$m_p g_1 = m g,$$

$$m' g_1 = m' g',$$

y por división

$$\frac{m_p}{m'_p} = \frac{mg}{m'g'}$$

Cuando las aceleraciones de caída son iguales, y sólo entonces, $\frac{m_p}{m'_p} = \frac{m}{m'}$, que equivale a decir que entre los números que miden m_p y m para un mismo cuerpo, no puede existir más diferencia que una constante universal, que podemos hacer desaparecer incluyéndola en g_1 , magnitud definida con bastante indeterminación para ello.

La segunda ley á que nos referíamos es la *independencia de la duración de oscilación de un péndulo respecto de la naturaleza de la materia de que se halla formado*. Un péndulo de plomo, por ejemplo, tiene una duración de oscilación igual que un péndulo de madera de la misma longitud.

Ya he dicho en conferencias anteriores que en el movimiento pendular existe una transformación alternativa de energía potencial en energía cinética. La primera es máxima cuando el péndulo se halla en el extremo de su carrera, y mínima al pasar por la posición de equilibrio, expresándose el valor de la diferencia entre ambas por el trabajo que el peso realiza al pasar de la primera a

la segunda, o sea ρa , donde a es la distancia vertical entre ambas. Esta diferencia se convierte en energía cinética, o fuerza viva, de modo que

$$\rho a = \frac{1}{2} m v^2,$$

o reemplazando ρ por su valor,

$$m_p g_1 a = \frac{1}{2} m v^2.$$

De esta ecuación, por transformaciones analíticas que rebasan los límites que me he trazado para estas conferencias, se deduce la duración de oscilación del péndulo, y claro es que si ésta ha de ser independiente de la naturaleza del mismo, m_p y m han de eliminarse, lo cual sólo es posible cuando $m_p = m$.

Según lo que precede, la identidad entre las masas de inercia y gravitatoria es un hecho experimental, y como tal válido únicamente dentro de los límites en que la experiencia lo establece. Galileo y Newton no rebasaron el orden de las centésimas en la exactitud de sus medidas. Bessel llegó ya a $\frac{1}{60000}$, y posteriormente Eötvös alcanzó la media millonésima. Siempre ambas masas satisficieron a dicha condición, y ello ha he-

cho pensar a Einstein, y con él a la mayoría de los hombres de ciencia, que se trata de una verdad absoluta. Pero por grande que sea la verosimilitud que da a la hipótesis de Einstein el constante fracaso de los experimentos realizados para descubrir una diferencia entre ambas magnitudes, no ha de considerarse como una verdad irrefutable, y así se explica haya quien niegue su exactitud.

Si la razón estuviese de parte de estos últimos, la posibilidad de una interpretación electromagnética de la masa no supondría la reducción de la materia a la electricidad, a menos de que se encuentre también una teoría eléctrica de la gravitación.

36. Hecha la anterior advertencia para el más justo aprecio de cuanto sigue, me atenderé a las ideas de Einstein, con lo cual no queda explicada la atracción universal, pero se evita una dificultad en la teoría electromagnética de la materia.

Claro es que para formular esta teoría no basta la interpretación de la masa, que es una propiedad genérica, sino hallar la razón de la diferencia entre unos átomos y otros. Y como no disponemos de más elementos que las dos clases de cargas eléctricas, que además han de encontrarse en cantidades iguales, será necesario buscar el

origen de su distinta naturaleza en la diversa organización de los átomos, considerados como edificios electrónicos de estructura complicada.

Para llegar a desentrañar completamente esta estructura es necesario resolver antes el magno problema de las cargas positivas, que sólo conocemos hoy acompañando al residuo de un átomo que ha perdido un cierto número de electrones negativos. Esta indeterminación en la naturaleza de las referidas cargas contrasta con la perfecta definición de estos últimos, no sólo fuera del átomo, sino también en su seno, y ha de reflejarse en toda hipótesis con que se quiera substituir el conocimiento de la referida estructura.

Respecto de los electrones negativos que integran el átomo, sabemos algo más que su presencia: conocemos con toda seguridad el número de ellos en cada elemento; por lo menos, el de los que intervienen en las propiedades físico-químicas que le caracterizan. Y esto se ha podido realizar gracias a los rayos X, a que me he referido en varias ocasiones, sin precisar mucho su naturaleza.

Dije (§ 26) que son una especie particular de luz, y aun agregué que corresponden al extremo ultravioleta del espectro. Así es, en efecto; cada elemento químico posee un espectro particular

de rayos X, como tiene un espectro específico de radiaciones luminosas; pero así como la luz no siempre es un complejo de radiaciones simples, tampoco los rayos X se hallan en todo caso constituidos por un conjunto de ondas periódicas.

Acaso se comprenda mejor lo que voy a decir recordando antes lo que ocurre con las ondas que se propagan en el aire: unas son sonoras propiamente dichas, engendradas por el movimiento periódico de un cuerpo elástico; pero otras se reducen a una capa de corto espesor del gas, condensado o enrarecido, provocadas por una explosión o choque único, a las cuales se denomina, por ello, ondas explosivas. Lo mismo ocurre en el éter con las electromagnéticas: o están formadas por una capa, en la que los campos pueden tener valores muy grandes, pero carecen de periodicidad, o son la superposición de trenes de ondas engendradas por electrones vibrando alrededor de su posición de equilibrio. Y uno y otro caso se pueden referir a la luz ordinaria o a los rayos X: todo depende del espesor de la capa perturbada o de la frecuencia de las vibraciones; si la primera es grande, o la segunda pequeña, se tratará de efectos luminosos, y lo contrario para las radiaciones del tubo Röntgen.

Volviendo al caso de la onda explosiva en el

aire, supongamos que encuentra agrupados en una región del espacio un cierto número de diapasones; estos diapasones vibrarán por efecto del choque, y de aquella región partirá un sonido de intensidad proporcional al número de los diapasones. Análogamente, el campo eléctrico de la onda no periódica de rayos X separa de su posición de equilibrio a cada electrón que halle a su paso, el cual, a su vez, emite nuevos rayos de igual naturaleza en todas direcciones, difundiendo una parte de la energía contenida en la radiación primitiva, que será proporcional al número de los referidos electrones. Por este método ha demostrado Barkla que este número para un átomo difiere muy poco de la mitad de su peso.

El espectro característico de rayos X para los diferentes elementos es bastante más preciso en cuanto a la determinación del indicado número, pero a ello se llega admitiendo hipótesis menos sencillas que las contenidas en el método anterior. Dicho espectro es sencillísimo, y posee una uniformidad impresionante cuando se estudia en la totalidad de los cuerpos simples. En los sesenta y nueve elementos estudiados hasta ahora, el espectro de rayos X parece estar constituido por tres grupos aislados de rayas, que se designan mediante las letras K, L, M, en

orden creciente de la longitud de onda, poseyendo cada grupo una constitución análoga en todos los cuerpos. Y esto no sólo desde el punto de vista meramente cualitativo, sino que, considerando una misma raya, su longitud disminuye al crecer el peso atómico en la forma que indica la ecuación

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = a(N - b),$$

donde a y b son dos constantes y N es un número entero que señala el lugar de cada cuerpo en la serie ordenada por los pesos atómicos crecientes, con la excepción bien interesante de las tres parejas, argo y potasio, cobalto y níquel, telurio y iodo, para los cuales ha de seguirse el orden de las analogías químicas en vez del señalado por el aumento de peso. La figura 47, que se refiere a la raya más intensa en las series K, L, M, prueba la verdad de la fórmula anterior, pues según se reconoce fácilmente, los puntos se hallan sobre rectas.

Pero es el caso que, con absoluta independencia de los anteriores resultados empíricos, Bohr ha obtenido la misma ecuación, partiendo de ciertas hipótesis referentes a la constitución del átomo, a que he de referirme en seguida, y de otras más particulares sobre el proceso de emisión de

las ondas luminosas, un poco apartadas del cuadro que me he trazado para las presentes conferen-

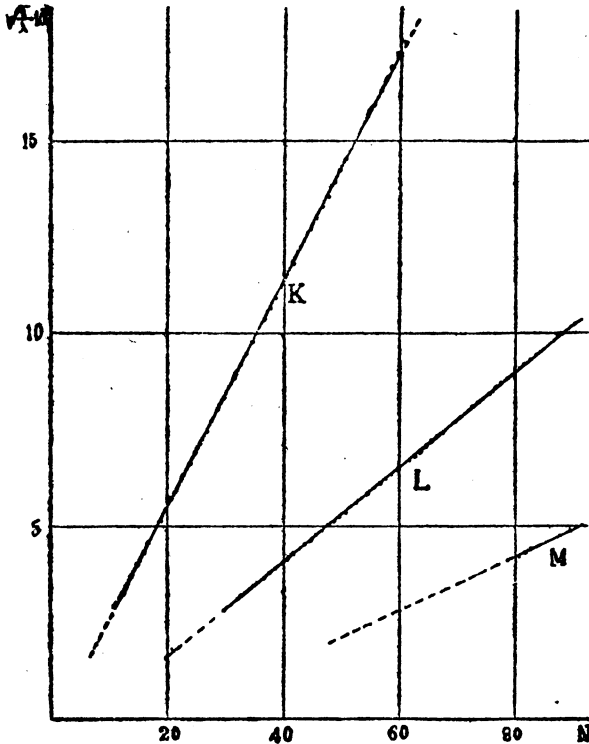


FIG. 47.

cias. En dicha teoría, N representa el número de electrones de cada átomo que intervienen en los fenómenos físico-químicos, de suerte que la medi-

da de λ para estas radiaciones, ya realizada en la mayoría de los elementos, ha permitido fijar el referido número con bastante precisión.

37. Sin duda la carga positiva total de cada átomo ha de ser, *por lo menos*, igual a la suma de los electrones negativos aludidos. *Por lo menos*, pues nada se opone a que existan más electrones, siempre que no intervengan en las acciones mutuas de los átomos, o en sus propiedades físicas medibles, y dicho se está que la carga positiva será en todo caso la necesaria para que el átomo se conserve neutro.

La carencia de datos directos sobre la estructura de esta carga autoriza a formular hipótesis relativas a su distribución, y, en efecto, se ha pensado que ello podía ocurrir de dos maneras diferentes: o formando una esfera homogénea, de diámetro comparable con el tamaño del átomo, y en cuyo seno se hallan sumergidos los electrones negativos, o concentrada en su centro, a la manera del sol en nuestro sistema planetario, sirviendo de núcleo de atracción a los electrones que gravitan a su alrededor. Analizaré someramente las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos modelos, debidos respectivamente a Thomson y Rutherford.

Empezaré por el de Thomson, y recordaré, ante

todo, que el diámetro de un átomo es una magnitud que la ciencia puede hoy determinar por varios procedimientos completamente independientes, llegando a números muy concordantes, que son para todos ellos de algunas unidades del octavo orden decimal, si la unidad es el centímetro; esto es, de algunas cien millonésimas de milímetro. Por otra parte, la fórmula $m_0 = \frac{e^2}{6\pi R c^2}$, nos dice que para un electrón

$$R = \frac{1}{6\pi c^2} \frac{e^2}{m_0} = 1,4 \times 10^{-14}.$$

Se comprende por ello que los electrones pueden hallarse sumergidos cómodamente en la esfera positiva; baste observar que, si aumentamos las dimensiones proporcionalmente hasta que el electrón alcance un diámetro de un milímetro, el átomo será una esfera de más de cien metros. En el átomo de Ur, extremo más pesado de la serie, dentro de esta esfera únicamente existen 92 electrones.

Este modelo de átomo posee una ventaja interesantísima y un inconveniente capital.

La ventaja estriba en que se puede construir con sólo los recursos de la mecánica clásica. En la esfera positiva homogénea, cada electrón es atraído hacia el centro con una fuerza proporcio-

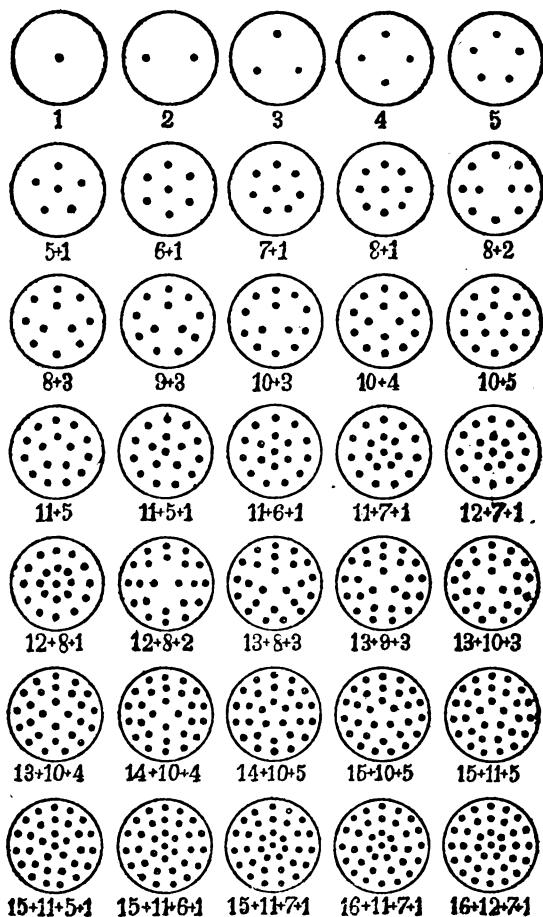


FIG. 48.

nal a su distancia del mismo; de modo que, en el caso de haber uno sólo, se situará en dicho punto, y el equilibrio es estable: tal sería el átomo de hidrógeno. Si los electrones son dos o más, la atracción hacia el centro en cada uno de ellos se compensa con las repulsiones mutuas, que actúan en razón inversa del cuadrado de las distancias, y siempre existe una configuración de equilibrio estable. Cuando se suponen todos los electrones situados en un plano, el cálculo es muy sencillo, y conduce a los resultados que se representan en la figura 48.

Y no sólo es posible definir por el cálculo la distribución que esta figura representa, sino que también existen diferentes procedimientos que permiten realizarla experimentalmente. El primero de ellos se debe a Meyer: en él cada electrón está representado por una pequeña aguja magnética, clavada por su polo norte, por ejemplo, a un tapón de corcho de tamaño suficiente para que flote en el agua. El campo magnético del polo sur de un electroimán, colocado sobre la vasija en que se halla el agua (fig. 49), representa la esfera de cargas positivas. Cuando se va aumentando, una a una, el número de agujas, se obtiene la reproducción de los esquemas de la figura 48, con ligeras variantes. Supongamos, por

ejemplo, que existen ya cinco agujas y que se coloca una más en el borde del vaso; esta nueva se dirige hacia el conjunto de las otras, en el cual se produce una perturbación, a cuyo término



no se obtiene la configuración que se señala con $5 + 1$.

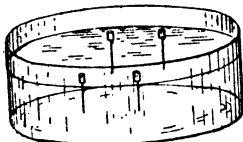


FIG. 49.

El estudio de este modelo de J. J. Thomson, ofrece, además, una particularidad muy interesante, que se reconoce fácilmente en los esquemas de la figura 48; los electrones se distribuyen

en anillos concéntricos, que se reproducen con cierta periodicidad. Así, numerando los anillos a partir del centro, el primero está formado por un número de electrones que no puede exceder de cinco, que a su vez es el límite inferior de los que pueden formar el segundo anillo, cuyo número máximo de electrones es 11; el tercero puede contener cualquier número comprendido entre 11 y 15, ambos inclusive; el cuarto, entre 15 y 17, y así sucesivamente. Es muy difícil sustraerse a ver en estos hechos una interesante imagen de la clasificación periódica de Mendeléeff.

Desgraciadamente este modelo tiene, entre otros varios, un defecto capital. Hemos visto que el número de electrones en un átomo es muy pequeño, y habida cuenta de que la masa de cada uno de ellos es 1850 veces menor que la del átomo de hidrógeno, es absolutamente imposible obtener con su auxilio exclusivo una interpretación racional de la masa de un átomo. Basta notar que el caso en que los electrones influyen más es en el hidrógeno, puesto que el peso atómico crece con mayor rapidez que el número N . Para el uranio, dicho peso es 238,5 y $N = 92$; de modo que la masa de sus electrones es 0,006, que excede muy poco de las dos diez milésimas del peso del átomo. Por otra parte, la esfera positiva es inútil

para este fin, pues el valor de $m_o = \frac{e^2}{6\pi c^2 R}$ es

inversamente proporcional al radio, con lo cual para dicha esfera será 100.000 veces menor que para el electrón. En una palabra, supuesto el modelo de Thomson, el átomo es algo más que cargas eléctricas, ya que la inercia electromagnética de éstas no representa sino una fracción insignificante de su masa.

38. El modelo de Rutherford difiere del anterior en que se concentra toda la carga positiva en un volumen mucho menor que el correspondiente

al electrón negativo; lo bastante pequeño para que su inercia explique la masa del átomo. Este volumen de cargas positivas lo llama Rutherford *núcleo* atómico, y a su alrededor supone gravitan los electrones negativos.

Con esto, claro es, desaparece la dificultad a que aludía arriba, pero veremos en seguida cómo tal hipótesis tiene inconvenientes de tanta monta que compensarían esta ventaja, si no se hallase en buen acuerdo con otros resultados experimentales de gran valor. He dicho ya que los rayos α de las sustancias radiactivas son átomos de helio que han perdido dos electrones negativos, y ahora agregó que las velocidades con que son expulsados alcanzan valores tales (hasta 20.000 kilómetros por segundo), que su energía es suficiente para penetrar en la materia ordinaria una cierta longitud. En general su trayectoria es rectilínea, pero frecuentemente se desvía bruscamente, y un cálculo sencillo prueba que esto no puede explicarse por el encuentro con un electrón, o el paso a través de la esfera de electricidad positiva de Thomson. Se necesita un obstáculo mucho mayor, y Rutherford supone sea el campo eléctrico que rodea el núcleo atómico, cuyo valor puede ser mucho mayor que el correspondiente al electrón negativo; pues siendo su carga igual por lo menos,

y su diámetro muchos centenares de veces más pequeño (1850 para el H), la partícula α se puede acercar mucho más.

Partiendo de esta hipótesis se llega a una serie de consecuencias relativas al modo como tienen lugar las referidas desviaciones de las partículas α para diferentes cuerpos simples, que los experimentos de Geiger y Marsden han comprobado con gran precisión, y entre los cuales merece citarse primeramente el hecho de que la carga necesaria en el núcleo atómico es precisamente igual a N , que dije hace un momento (§ 36) mide el número de electrones en el átomo; circunstancia conforme con la neutralidad de este último. Además, en el caso del hidrógeno, la distancia de los centros de este átomo y la partícula α debe llegar a ser inferior a $1,7 \times 10^{-10}$ centímetros, inferior al diámetro del electrón.

Admitidas estas ideas, el átomo de hidrógeno quedaría constituido por un núcleo central N (fig. 50) positivo y un satélite E (el electrón negativo), describiendo una órbita cuyo radio ha de ser cien mil veces mayor que el del último, y doscientos millones de veces el de N . Como, además, la experiencia no da nunca cargas positivas que vayan

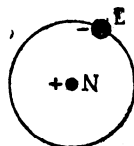


FIG. 50.

acompañadas por masas inferiores al peso atómico del hidrógeno, Rutherford identifica el núcleo de este átomo con el electrón positivo.

Esta última hipótesis lleva aparejada algo más que la asignación de un nombre: quiere decir que el núcleo atómico del hidrógeno es un elemento que entra a formar parte de los correspondientes a los restantes cuerpos simples, conservando su individualidad. En otros términos: el núcleo atómico, si se exceptúa el caso del hidrógeno, no es un todo homogéneo, sino un complejo de electrones positivos, de cuya organización íntima podemos saber mucho menos que respecto del átomo completo. Sin embargo, puede afirmarse que en él existen también electrones negativos, y aun que en los elementos de peso atómico grande deben hallarse contenidos los núcleos de otros cuerpos más sencillos.

Las pruebas las suministran las sustancias radiactivas. Ya he dicho (§ 28) que emiten electrones negativos (rayos β) en algunas de sus transformaciones, y estos electrones no pueden proceder de la parte exterior o cortical del átomo, exclusivamente; primero, porque entonces los átomos resultantes no serían neutros, en contra de lo que enseña la experiencia, y segundo, porque de ser así las transformaciones radiactivas, habrían

de compararse a los cambios que sufren los átomos que pueden funcionar con más de una valencia, como el paso del ión cuproso a cúprico o del ferroso o férrico, los cuales no alteran nunca el lugar que el elemento ocupa en la clasificación periódica, al revés de lo que muestra la figura 33 para los términos de las series radiactivas. Así, los rayos β deben proceder del núcleo, y simultáneamente con su emisión debe producirse un aumento de la unidad en el número N de los electrones exteriores, único modo de conservar la neutralidad.

En cuanto a la presencia en el núcleo de otras organizaciones inferiores, la prueba con palmaria evidencia la expulsión de rayos α en todas las transformaciones radiactivas en que esta emisión existe. Ya he dicho que estos rayos son átomos de helio que han perdido dos electrones negativos; esto es, los núcleos atómicos de este elemento, puesto que el valor de N en él es dos precisamente. Así, por lo menos esta organización, debe hallarse en estos elementos pesados, y razones existen para suponer que también en muchos otros cuerpos simples.

Nótese que este modelo atómico de Rutherford viene a resucitar la hipótesis de Prout, según la cual todos los elementos son combinaciones de

átomos de hidrógeno; hipótesis cuyo gran pecado estuvo en haberse formulado cuando la opinión científica no se hallaba bastante preparada para recibirla, ejemplo que no es único en la historia de la ciencia. De ello se deriva, como consecuencia al parecer necesaria, que todos los pesos atómicos han de ser múltiples del correspondiente al hidrógeno, y como esta ley no es rigurosamente cierta, hubo de tacharse de ligereza científica a su autor. Pero mediante un análisis cuidadoso del valor de los pesos atómicos de los elementos ligeros (hasta el Co), donde la ley no puede ocultarse por los errores en la medida, Harkins y Wilson han probado recientemente que el término de corrección necesario para que la ley se satisfaga es, la inmensa mayoría de las veces, — 0,77 por 100 del valor del peso atómico, circunstancia que demuestra la existencia de una causa constante para el incumplimiento de la ley, causa que hoy puede vislumbrarse, aun que está poco conocida.

Lo dicho no agota las interesantes sugerencias a que se presta el modelo de Rutherford, pero basta para comprender su grandísimo valor eurístico. No debo, sin embargo, concluir sin llamar la atención sobre una grave dificultad que le es propia: al contrario de lo que ocurría con el de Thomson, la Mecánica clásica es impotente para cons-

truirle; esto es, sus leyes no bastan para asegurar la estabilidad del átomo, porque, según ellas, todo electrón en movimiento supone una pérdida de energía por radiación, de modo que en un tiempo muy pequeño los electrones habrían de caer indefectiblemente sobre el núcleo atómico. Hace una decena de años hubiese sido esto motivo sobrado para condenar de modo inapelable al referido modelo, pero hoy son tantos los fenómenos que reclaman una profunda modificación de la Mecánica, que la dificultad indicada apenas preocupa a los hombres de ciencia.

V

ELECTRICIDAD Y ÉTER: PRINCIPIO DE RELATIVIDAD.

La aplicación de los principios generales de la Mecánica clásica a la propagación del campo electromagnético impone la necesidad del éter, que puede interpretarse como un fluido, cuyas deformaciones se miden por el campo. Sin embargo, los fenómenos de los cuerpos en movimiento, interpretables admitiendo el *principio de relatividad*, obligan a suponer que cada sistema posee un éter propio, supuesto que equivale a su eliminación como entidad real.

39. En las conferencias que preceden hemos visto cómo pueden reducirse a meros fenómenos eléctricos el magnetismo, la luz y probablemente la materia misma, puesto que su propiedad más característica, la masa, cabe considerarla como un efecto del campo electromagnético creado por los electrones.

Pero ¿es la electricidad la última realidad cuyas modalidades engendran el Universo, o existe un término más alejado de reducción? He hablado

antes del éter como soporte del campo electromagnético, y ahora agrego que en alguna ocasión se ha pensado en la posibilidad de que las cargas eléctricas sean simples particularidades de una deformación del mismo, a la manera de un torbellino en el seno de un fluido. Para analizar esta cuestión conviene fijar claramente el valor de los argumentos en que se apoya la realidad del referido medio.

Entre los principios fundamentales que la mecánica ha inducido de la observación del mundo físico, ocupan lugar preeminente los de la conservación de la energía y de la cantidad de movimiento. El primero, como es bien sabido, afirma que la energía de un sistema aislado permanece constante, sean cualesfueren sus transformaciones en el transcurso del tiempo; y en el segundo se expresa que la suma de la acción de una fuerza y de la cantidad de movimiento es también invariable.

Consideremos ahora un foco luminoso o un aparato emisor de ondas hertzianas; de ellos parte una cantidad de energía que puede recogerse en un receptor conveniente, utilizándose para ejecutar un determinado trabajo, cual la modificación de las sales de plata en una placa fotográfica. Entre el momento en que la energía se engen-

dra por el foco, y aquél en que se consume en la placa, transcurre un cierto tiempo, que puede ser muy largo. Consideremos, por ejemplo, el registro fotográfico de una estrella nueva; frecuentemente la distancia que nos separa de ella es grande, hasta tal punto, que la luz tarda en recorrerla muchos años. Durante este intervalo de tiempo la referida energía no existe aparentemente, y, por tanto, o renunciamos al principio de su conservación, o hemos de admitir que ha permanecido en el espacio que separa los dos cuerpos en que se manifiesta. Si obtamos por el primer término del dilema, se impone la renuncia de toda la ciencia construída en el supuesto de la validez del mencionado principio, por lo cual parece más plausible afirmar que el mencionado intervalo de tiempo lo invierte la energía en transportarse desde un lugar a otro del espacio. Y como la energía no parece ser una entidad que posee existencia independiente, sino que exige un soporte material, es indispensable llenar el espacio con un medio que cumpla esta misión: tal medio es el éter.

Imaginemos un arma de fuego que dispara sobre un blindaje. En el momento de la explosión el arma sufre un choque de retroceso equivalente a la cantidad de movimiento que la bala adquiere,

y cuando ésta llega al blindaje, produce una acción, al propio tiempo que su cantidad de movimiento se destruye. Este principio de la conservación de la cantidad de movimiento permite aplicar el de la igualdad de la acción y la reacción cuando estos fenómenos no son simultáneos: entre los instantes correspondientes a cada una existe una cantidad de movimiento equivalente a ellas. Ahora bien; un foco luminoso provisto de un reflector parabólico, para que la emisión tenga lugar en un sólo sentido, sufre un choque de retroceso análogo al del arma de fuego, susceptible de medirse; y sobre un cuerpo absorbente interpuesto en el trayecto del rayo luminoso actúa una presión equivalente. Si el principio que he recordado ha de aplicarse con toda generalidad en el intervalo de tiempo que transcurre entre ambas acciones, debe existir en el espacio intermedio la cantidad de movimiento correspondiente: a menos que prefiramos modificar toda la concepción que nos hemos hecho de la naturaleza, barriendo de la ciencia el referido principio. No es dudosa la elección, y como toda cantidad de movimiento necesita un soporte material, creamos el éter para llenar esta necesidad. Nótese que si atribuímos a la energía una existencia independiente, ella viene a desempeñar el papel del proyectil en el ejem-

plo anterior, y podemos atribuirle la repetida cantidad de movimiento, cosa que equivale a afirmar que la energía posee una masa material. Más adelante volveremos sobre esta interpretación de los hechos, y por ahora nos atendremos a la hipótesis de la existencia del éter, que indudablemente es la más sencilla o la mejor adaptada a la educación recibida.

Los dos caminos, por los cuales he llegado a la necesidad del éter, son en el fondo idénticos, puesto que ambos conducen a una misma definición de sus propiedades, contenidas en un cierto grupo de ecuaciones que ligan el campo eléctrico, el campo magnético, las tres coordenadas que sirven para la definición de un punto del espacio y el tiempo. Estas ecuaciones son muy cortas en número y perfectamente definidas, por lo cual Lord Kelvin ha dicho que sabemos mucho más del éter que de la materia ordinaria. Pero no se olvide que su existencia no se impone a nuestro conocimiento como una verdad necesaria, sino como una verdad cómoda, como un artificio para soslayar una dificultad seria en la ciencia clásica.

40. Admitida la existencia del éter en virtud de los argumentos que preceden, debemos concebirla como un medio homogéneo y continuo que llena la totalidad del espacio, sin que sea obstácu-

lo la materia ordinaria. Los campos eléctrico y magnético vienen a medir deformaciones particulares del mismo, y las cargas eléctricas, regiones donde esta deformación posee determinadas singularidades. La concepción abstracta de lo dicho ofrece dificultades, dado el carácter de las presentes conferencias; pero podemos servirnos de una imagen que se aproxima bastante a la idea que perseguimos.

Si en el seno de un líquido se producen corrientes divergentes o convergentes, a partir de determinados centros, cual ocurre si en ellos colocamos esferas de caucho llenas de un gas, cuya presión se aumenta o disminuye, entre ellos se producen atracciones y repulsiones que siguen las leyes de Coulomb. Cada esfera se caracteriza por una constante dependiente de la ley que rige el cambio de su radio, cuyo signo supondremos positivo si éste crece, y negativo en el caso contrario. Entre dos de estas esferas la acción es proporcional al producto de sus constantes y en razón inversa del cuadrado de la distancia. La única diferencia esencial, respecto de la ley de Coulomb, estriba en el signo. Si éstos son iguales, para las cargas eléctricas habrá repulsión, y para las esferas en el líquido, atracción. La posibilidad de imitar del modo dicho el fenómeno capital en que interviene

el campo eléctrico, hace que todo otro fenómeno electrostático tenga aquí su correspondiente. Pero no para en esto la analogía, sino que también el campo magnético tiene su equivalente en estos fenómenos hidrodinámicos, tanto, que Bjerkne ha podido desarrollar una teoría de ellos, reproducción completa de la del campo electromagnético.

Es evidente que en este caso las fuerzas son un efecto aparente de los movimientos provocados en el líquido, y las esferas de caucho agentes externos, productores de aquéllos; pero un observador que sólo apercibiese la existencia de las repetidas esferas, y no conociese el medio en que se hallan sumergidas, se encontraría en análoga situación que nosotros respecto de los fenómenos electromagnéticos. Nada hay de extraño, pues, en que admitamos que el éter es un fluido de condiciones especiales, cuyos movimientos admiten singularidades que nos aparecen como cargas eléctricas, con lo cual éstas, y con ellas la materia, pierden toda realidad substancial y se reducen a un caprichoso juego del éter.

Si esta interpretación de los fenómenos eléctricos es admisible, a ella debemos atenernos, porque sin duda ofrece una mayor sencillez, que es la finalidad primordial a que la ciencia aspira, en orden a la coordinación de los conocimientos.

Desgraciadamente, los hechos obligan a rechazarla, y esto porque una de sus hipótesis fundamentales conduce a contradicciones evidentes. Me refiero a la existencia misma del éter como un medio real que llena el espacio.

41. Mientras consideramos fenómenos que se producen en sistemas en reposo respecto del observador, la existencia del éter es la manera más cómoda de conservar los principios fundamentales de la Mecánica y la Física clásica toda entera, a pesar de las excepciones aparentes que se presentan en la radiación de la energía; pero en cuanto tomamos en consideración fenómenos que se producen en sistemas en movimiento, surgen las contradicciones a que aludía.

Si el éter es la única realidad, y las cargas eléctricas y toda la materia simples deformaciones nacidas en su seno, la traslación de aquellas cargas eléctricas y de los átomos materiales de un punto a otro puede efectuarse sin acarrear transporte alguno de cantidades de dicho fluido, o sea a un movimiento de la perturbación, que afectará sucesivamente a diferentes porciones del éter. En particular; nuestro planeta, en su revolución alrededor del sol, cruzará por el éter sin llevar consigo ninguna porción del mismo.

Esta consecuencia de las precedentes concep-

ciones parece confirmada por la aberración de la luz.

Imaginemos un rayo luminoso que se lanza desde un punto A (fig. 51), para que llegue a otro B, rígidamente ligado al anterior. Si estos puntos se encuentran en reposo respecto del éter, es evidente que el rayo debe dirigirse según la recta definida por ellos en el momento en que la emisión se produce, y esto, sea cual fuere su movimiento absoluto

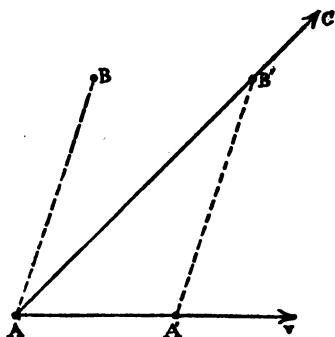


FIG. 51.

en el espacio. Pero si se mueven relativamente a dicho medio, la dirección de la emisión se determina por la posición de A en el instante de ocurrir aquélla, y la de B cuando es alcanzado por el rayo. Supongamos un objeto arrastrado por la corriente de un río, y que desde la orilla se ha de enviar una embarcación que le recoja; bastará poner la proa hacia la posición que ocupa en el momento de partir. Cuando, por el contrario, el objeto posee un movimiento propio,

independiente del que llevan las aguas, la embarcación ha de dirigirse al lugar donde se hallará cuando sea alcanzado.

Tal es el caso del fenómeno conocido con el nombre de *aberración de la luz*. La posición de las estrellas respecto del sol es conocida en todo instante; pero si se quiere apuntar un anteojo hacia una de ellas no se dirige al lugar del cielo que ocupa en el momento de la observación, sino hacia un punto distante de él una cantidad igual al espacio que la tierra recorre en el tiempo que la luz invierte en ir desde el objetivo al ocular. Porque cuando la onda luminosa llega al centro óptico de aquél, representado por A (fig. 51), podemos suponer que desde él envía un rayo que ha de pasar por el retículo, que corresponde al punto B.

No ocurriría lo indicado si el éter, medio que transporta la energía luminosa, fuese arrastrado por la materia. Y no se objete la pequeña densidad del aire que llena el anteojo, cuyas moléculas distan cantidades tan enormes, comparadas con sus dimensiones, que la parte de éter afectado realmente por su movimiento puede ser despreciable, pues el experimento da idénticos resultados cuando se ejecuta llenando el anteojo con agua, y seguramente también si lo estuviere con un sólido transparente. Este fenómeno es sólo

compatible con la más absoluta inmovilidad del éter mientras la materia se mueve en su seno.

Pero si es así, cuando desde un punto A (fig. 52) de nuestro planeta lanzamos una onda luminosa, que se propaga en todas direcciones afectando la forma esférica,

con centro en el punto del espacio que coincide con A en el momento de la emisión, la distancia que nos separará en tiempos sucesivos de los distintos

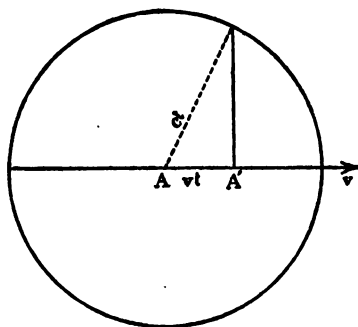


FIG. 52.

puntos de la expresada superficie no será constante. En efecto; la tierra avanza con velocidad v , de modo que en el tiempo t habremos marchado el espacio $vt = AA'$, en tanto que el radio de la onda es ct ; así, en dicha dirección la distancia a la superficie es $(c - v)t$, mientras en la opuesta se elevará a $(c + v)t$ y valores intermedios para los demás puntos. De otro modo: midiendo la velocidad de la luz en distintas direcciones deben obtenerse valores diferentes.

Equivalente a esta medida es el siguiente ex-

perimento: Sea un rayo luminoso que marcha en la dirección LA , encontrando en este punto una lámina de vidrio (fig. 53) que lo divide en dos: uno AB_1 que la atraviesa, y otro que se refleja propagándose según AB_1 . En B y B_1 , equidistantes de A_1 , se colocan dos espejos perpendiculares, para que los rayos vuelvan al punto A . Allí, el BA se refleja y el B_1A atraviesa la lámina, superponiéndose ambos en la dirección AC . Si se mira de C hacia A se observa un sistema de bandas de interferencia cuyo centro coincide con la recta indicada.

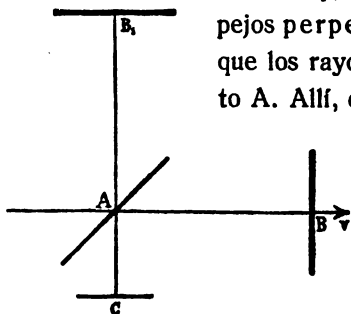


FIG. 53.

serva un sistema de bandas de interferencia cuyo centro coincide con la recta indicada.

Hasta aquí he supuesto implícitamente el sistema en reposo. Si se mueve según AB con velocidad v , lo dicho anteriormente prueba que el tiempo invertido por la luz en recorrer el trayecto ABA es mayor que el correspondiente al AB_1A , de modo que el centro de las bandas de interferencia sufrirá un corrimiento. Tal es el esquema del experimento célebre de Michelson, en el cual la precisión de los aparatos permitía acusar cambios de

posición de las bandas iguales a la centésima parte de la cantidad prevista, sin que, a pesar de ello, se notase variación alguna, denotando que el éter debe ser arrastrado por la materia.

La contradicción es evidente, sin que haya medio de evitarla. A la hipótesis de un éter en reposo, que no se perturba por el movimiento de la materia, hemos sido conducidos por una cierta interpretación de la naturaleza; pero la referida contradicción es independiente de ella. De hecho, si el éter existe, o es arrastrado por los cuerpos o no; en el primer caso no debe producirse la aberración, y la velocidad de la luz será independiente de la dirección en que se mide; en el segundo ha de ocurrir todo lo contrario en ambos fenómenos. La única combinación sin interpretación posible es la que revela la experiencia: aberración y constancia de la velocidad. La primera supone el reposo del éter, y la segunda, su transporte por la materia. Es evidente que tal resultado implica la falsedad de la concepción que de la naturaleza hemos formado, interpretando las observaciones con sujeción a ciertos principios admitidos como postulados.

42. Nótese que en los experimentos discutidos el estado de movimiento del observador relativamente al cuerpo luminoso es muy diferente. En

la aberración se observa un cuerpo que tiene una velocidad diferente de cero respecto de nosotros, mientras en el experimento de Michelson todo es arrastrado por nuestro propio movimiento. En la interpretación dada arriba va contenida implícitamente la idea de que esta diferente situación del observador no modifica su visión de los hechos. Si fuesen repetidas las medidas del físico americano por alguien exterior a nuestro planeta, pensamos que hallaría sus mismos resultados: las longitudes e intervalos de tiempo que consideramos iguales admitimos que también lo son para un ser extraterrestre.

Al pensar de este modo, no hacemos más que transportar a estos fenómenos los principios de la Mecánica clásica, y es interesante notar que así se logra resolver un problema, que es imposible mediante fenómenos puramente dinámicos: a saber, la determinación de nuestra velocidad absoluta en el espacio. Porque si Michelson hubiese confirmado el corrimiento de las bandas, ello significaría que la velocidad de la luz es distinta en cada dirección, y hallando la diferencia de sus valores en los sentidos AA' y A'A (fig. 51), se obtendría el valor de $2v$. Bien entendido, en esta posibilidad no existe contradicción, pues la incapacidad de la dinámica es únicamente

una consecuencia de sus leyes, y no tiene la categoría de un principio, aunque ciertas consideraciones filosóficas nos llevan a darle valor de tal.

Newton, al establecer las bases de la Mecánica, refirió los cuerpos en movimiento á un sistema fijo en el espacio; pero como la ley elemental que permite describir estos movimientos es la expresada por la ecuación $f = ma$, que discutimos en la conferencia anterior, dicha descripción no se modifica si el sistema de referencia se mueve con velocidad constante en magnitud y dirección. En efecto, en la ecuación dicha, la única cantidad dependiente del movimiento es la aceleración a , que, según sabemos, mide la *variación* de la velocidad, pero no su valor actual. De otro modo, imaginemos en esta magnitud un incremento de un metro por segundo; tal incremento puede producirse sea cual fuere el valor numérico de dicha velocidad; lo mismo cuando es nula que cuando recorre muchos kilómetros por segundo. Y como sólo a interviene en las ecuaciones de la dinámica, claro es que esta ciencia ignorará siempre si el sistema de referencia se halla realmente fijo ó se transporta con velocidad constante.

Insistamos aún en este extremo acudiendo á un ejemplo concreto. Es sabido que la Mecánica clásica demuestra que los planetas describen órbitas

elípticas, uno de cuyos focos lo ocupa el sol, cuyo astro se supone fijo en el espacio; claro es que prescindiendo de las perturbaciones que provocan sus acciones mutuas. La observación confirma con todo rigor esta predicción, si se hace caso omiso de todo el resto del Universo; pero cuando se ha querido relacionar nuestro sistema planetario con el mundo estelar, se ha descubierto una traslación de conjunto hacia la constelación de Hércules, cuya velocidad alcanza la cifra no despreciable de 20 kilómetros por segundo. Este movimiento no habría sido descubierto por la aplicación de las leyes de la Mecánica á nuestro propio sistema; así se pudo, por Le Verrier, predecir la existencia de Neptuno y aun fijar algunos de sus elementos característicos, pero no se habría nunca llegado á presumir la referida velocidad, salvo el caso de que no se trate realmente de un movimiento uniforme.

Así, pues, los fenómenos puramente dinámicos son impotentes para denunciar una traslación rectilínea de velocidad constante del sistema total al alcance de un observador; mas no por imposibilidad de principio, sino como consecuencia de las leyes con que dicha ciencia describe los movimientos. Nuevos fenómenos que exijan nuevas leyes pueden dar el medio para lograrlo, y ello

es lo que nos suministra la Física de varias maneras, entre las cuales acaso sea la más clara el experimento de Michelson.

43. Bien entendido, que al hablar en la forma que lo he hecho, supongo impecable la ciencia clásica. Si cuantos intentos se han hecho para determinar nuestro movimiento absoluto han fracasado, ello prueba la necesidad de reorganizar la ciencia de modo que no conduzca á contradicciones tan palmarias. Y entonces surge lógicamente la idea de elevar a la categoría de postulado la incapacidad de distinguir dos estados dinámicos de un mismo sistema que difieren entre sí por una traslación uniforme y rectilínea, sean cuales fueren los métodos que con tal objeto se empleen. El mérito de haberlo formulado corresponde a Einstein, que le denominó *principio de relatividad*.

Hasta aquí todo se reduce al reconocimiento sincero de los mencionados fracasos, en lo cual nada existe de censurable, y además parece ser el único camino que puede conducir a una ciencia libre de contradicciones; pero es el caso, y no podía ser de otro modo, que esto lleva aparejado un trastorno completo en las nociones que parecían más sólidamente adquiridas, para cuyos cambios ofrece nuestro espíritu una inercia más

grande que la materia para las alteraciones de su estado dinámico. Un examen detallado de este asunto cae fuera del cuadro de estas conferencias, pero es conveniente un análisis somero de algunas ideas capitales.

Una de las consecuencias necesarias del principio de relatividad, que Einstein formuló explícitamente como una parte del mismo que corresponde concretamente al fracaso de los experimentos de Michelson, es la constancia de la velocidad de la luz, con independencia del reposo o movimiento del observador. Volviendo a la onda que he supuesto lanzada desde un punto de nuestro planeta, su forma será igualmente esférica para un observador extraterrestre que para nosotros mismos, y su radio tendrá en todo tiempo el mismo valor para unos y otros.

Pero en la noción de velocidad sólo están incluidas las de espacio y tiempo, y como la afirmación anterior es evidentemente absurda, dada la concepción que la Mecánica clásica ha formado de ambas magnitudes, es necesario un cambio radical en ella. Quizá no sea superfluo advertir que, al hablar aquí del espacio y el tiempo, se ha de entender siempre que me refiero a su medida, y desde tal punto de vista caracteriza a la Mecánica clásica, el considerar ambas magnitudes

como absolutamente independientes entre sí y del estado de reposo o movimiento del sistema. Sea, por ejemplo, un sistema de puntos O, A, B, C, ... (fig. 54) sobre una recta, a distancias del primero representadas por x_a , x_b , x_c , ..., en cada uno de

los cuales colocamos un reloj, suponiendo han sido arregla-

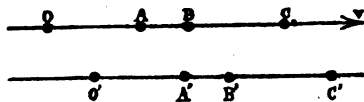


FIG. 54.

dos de modo que marchen de perfecto acuerdo; la hora que señalen estos relojes en cada instante será la medida del tiempo del sistema en cuestión.

Imaginemos un segundo sistema, en un todo análogo, O', A', B', C', ..., la hora de cuyos relojes podrá hacerse igual a la que señalan los del primer sistema, si ambos se encuentran en reposo relativo.

La Mecánica clásica admite que este acuerdo de los relojes, así como la constitución del sistema, es independiente de esta última condición. Si en vez de hallarse en reposo relativo, el primero se mueve respecto al segundo con velocidad uniforme v , y a una misma hora *determinada por sus relojes*, observadores colocados en O', A', B', ..., leen las indicaciones de los situados en O, A, B, ..., se admite como un postulado evidente que las

lecturas serán idénticas y coinciden con aquélla. Además, todos los puntos O, A, B, C, ..., coinciden *simultáneamente* con los O', A', B' C', ...

Estos postulados son los que conducen a afirmar la posibilidad de denunciar el movimiento absoluto, y por ende, son incompatibles con el principio de relatividad. Aceptando este último, las lecturas hechas por los observadores de O', A', B', ..., en O, A, B, ..., serán todas ellas diferentes; de modo que los primeros considerarán como simultáneos fenómenos que para otros situados en O, A, B, ..., ocurrirían en tiempos distintos. Análogamente las dos series de puntos no se superponen en el mismo instante.

Por extraordinaria que aparezca esta primera y más inmediata consecuencia del referido principio de relatividad, no ha de olvidarse que es el único medio de evitar las contradicciones que señalé más arriba. Además, debo repetirlo, la extrañeza procede de un hábito mental, de la pretendida independencia del espacio y el tiempo, que «considerados en sí mismos son meras sombras», según frase de Minkowski, al dar forma definitiva a la relación que liga ambas magnitudes, pues «únicamente existe en la realidad una combinación particular de ellas», que forma el *Universo*, con una dimensión más que el espacio

ordinario, pero de naturaleza *sui generis*, inconfundible con las tres restantes.

44. Volviendo al problema que nos preocupa, esto es, a la existencia del éter, véase la enorme dificultad que nos crea: De una parte es indiscutible que cada fenómeno físico de los que hemos supuesto localizados en el éter es único: por ejemplo, la onda luminosa engendrada por una descarga eléctrica brusca. De otra, la totalidad de la labor experimental que conduce al principio de relatividad demuestra que para cada observador el éter permanece en reposo relativamente a sí mismo, de modo que en vez de un solo medio habrá uno para cada observador, constituyendo a manera de una prolongación de su personalidad hasta el límite del espacio cognoscible, que le acompaña en su movimiento a través del espacio y en el cual localiza aquel fenómeno único. La dificultad es evidente y parece más sencillo evitarla barriendo el éter de la ciencia.

Pero entonces nos vemos obligados a dar realidad substancial a la energía, esto es, a suponer que no requiere un soporte material. Antes de la teoría que nació con el principio de relatividad, tal supuesto habría parecido una incongruencia, mas hoy nada se opone a ello, porque una de las consecuencias de la indicada teoría es que la

energía por sí misma posee una masa igual al cociente de su valor, ϵ , por el cuadrado de la velocidad de la luz

$$m = \frac{\epsilon}{c^2}.$$

Según esto, todo cuerpo que pierde energía disminuye de masa, y si la absorbe su masa crece. Así un cuerpo que se enfría, un sistema en que se produce una reacción exotérmica, las sustancias radiactivas al transformarse, pierden masa. Ello equivale a borrar la ley de la conservación de la materia, que, unida a la de conservación de la energía, formaban la base de la Física clásica; mejor pudiéramos decir, que reduce la primera a un caso particular de la segunda. Del mismo modo que Lavoisier necesitó recoger los gases que se desprenden en las combustiones para afirmar que la cantidad de materia no cambia, hoy es indispensable envolver el sistema con una cubierta impermeable a toda especie de energía para que podamos hacer igual afirmación.

Pero no ha de sentirse gran alarma por esta nueva condición impuesta para la exactitud de la referida ley. Prácticamente, para los menesteres del análisis químico, podemos seguirla usando sin temer un error apreciable. En la reacción que se

produce con mayor pérdida de energía, en la explosión de la mezcla detonante, la diferencia entre la masa de la mezcla y la de vapor de agua formado es sólo 2×10^{-10} , de suerte que para alcanzar un miligramo habríamos de operar sobre diez toneladas de mezcla.

Sólo en las transformaciones radiactivas cabe esperar que se llegue a cantidades denunciadas experimentalmente. Es sabido que estas transformaciones en la serie del radio comienzan en el uranio para terminar en el plomo, y en la evolución total de un gramo de la primera substancia se desprende una cantidad de energía cuya masa equivalente se aproxima a un miligramo; de modo que determinaciones cuidadosas de los pesos atómicos de estos dos términos extremos de la serie pueden suministrar una confirmación directa de la teoría. En este caso la dificultad no estriba en la técnica de la determinación de los pesos atómicos, sino en la seguridad de operar con el plomo que se obtiene como último término de la evolución del uranio, pues es sabido que el elemento químico que lleva este nombre es en realidad una mezcla heterogénea de cuerpos simples inseparables químicamente, o, como hoy se dice, de elementos *isotópicos*.

45. Lo dicho basta para comprender que en el

estado actual de la ciencia la supresión de la hipótesis del éter elimina dificultades de bulto, sin que exista grave quebranto en la parte verdaderamente esencial del edificio construído durante siglos por la paciente labor de los sabios. Pero no daría una imagen fiel del pensamiento científico en la presente época, si no dijera que son aún muchos los hombres de ciencia que no se conforman con la idea de renunciar a aquel medio universal y buscan un expediente para restituirle todo su prestigio. Porque todos los fracasos a que he hecho referencia, se pueden explicar si se admite que el electrón en reposo está constituido por una esfera homogénea de cargas eléctricas o una capa esférica uniforme, que se convierte al pasar al estado de movimiento en un elipsoide de revolución con el eje menor en el sentido de aquél.

Mas, si con esta hipótesis se puede seguir hablando de un éter único que permanece invariable, sea cual fuere el movimiento del observador, se introducen nuevos problemas de solución más difícil que el que se quiere soslazar. Cuando existe un límite en la división de una magnitud es porque al tratar de disgregar las partículas que la constituyen se obtiene una cosa de naturaleza diferente; así, la molécula es el límite de un cuerpo compuesto, porque sus partes son los átomos de

los elementos, y estos últimos son el límite de la divisibilidad del cuerpo simple, porque al tratar de desintegrarla se obtienen los electrones. Lógicamente, pues, las partes de estos últimos, si cabe hablar de ellas, nada de común deben tener con las cargas eléctricas; pero si, prescindiendo de esto, se piensa que los electrones son aglomeraciones de cargas eléctricas, ha de imaginarse un sistema de fuerzas que impidan, no ya su división artificial, sino su disgregación espontánea, puesto que la propiedad más característica de las cargas del mismo signo es su mutua repulsión.

Los dos métodos para llevar al mutuo acuerdo la teoría y la experimentación, son del mismo o casi igual valor desde el punto de vista lógico, no quedando otro motivo para elegir que la simpatía por una ú otra concepción. Pero aun aceptando las ideas últimamente citadas, es bien evidente que el éter es demasiado hipotético para que sea admisible el reducir los electrones, e indirectamente la materia, a perturbaciones en su estado de equilibrio. Por ello, hoy por hoy, es necesario considerar a los referidos electrones como los elementos únicos que integran el Universo entero, y cuyos movimientos y mutuas acciones son los causantes de la totalidad de los fenómenos que percibimos.

ÍNDICE

	<u>PÁGS.</u>
INTRODUCCIÓN.....	9
I.—CARGA Y CAMPO ELÉCTRICOS.....	17
II.—CAMPO MAGNÉTICO. TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ.....	41
III.—ESTRUCTURA DE LAS CARGAS ELÉCTRICAS. ELECTRÓN.	75
IV.—ELECTRICIDAD Y MATERIA.....	117
V.—ELECTRICIDAD Y ÉTER: PRINCIPIO DE RELATIVIDAD...	157

**PUBLICACIONES DE LA
RESIDENCIA DE ESTUDIANTES**

ESTAS publicaciones responden a la necesidad de buscar una expresión de la actividad espiritual que en la RESIDENCIA y en torno de ella se ha ido desenvolviendo. Los varios modos en que va cuajando esta actividad, estarán representados en diferentes series de libros. No se trata, pues, tan sólo, de dar publicidad a los trabajos de los Residentes, primeros frutos de su formación científica, sino de recoger también otras producciones que han nacido al contacto de la RESIDENCIA con el ambiente ideal exterior. La obra de la RESIDENCIA ha sabido atraer la atención y el apoyo moral de literatos, científicos y políticos, que trabajan unidos a su lado, como si se tratase de una obra propia; y este núcleo formado en torno de la RESIDENCIA se ha dispuesto con devoción y con entusiasmo a sembrar en ella y desde ella, en la juventud española, los ideales de la Patria futura. En fin, la continuidad de la labor educacional de la RESIDENCIA, la lleva a perpetuar en sus publicaciones momentos ejemplares de la cultura universal y de la vida nacional, para todo lo cual encontrará cauce en las actuales series y en otras nuevas, que a su tiempo saldrán a luz.

SERIE I. CUADERNOS DE TRABAJO:

Con estos cuadernos de investigación, quisiera la RESIDENCIA contribuir a la labor científica española.

1. EL SACRIFICIO DE LA MISA, por GONZALO DE BERCEO. Edición de *Antonio G. Solalinde*. (Publicado.) 1,50 ptas.
2. CONSTITUCIONES BAIULIE MIRABETI (1328). Edición de *Galo Sánchez*. (Publicado.) 1,50 ptas.
3. ¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?, por *Blas Cabrera*. (Publicado.) 3,50 ptas.
4. Un profesor español del siglo XVI: JUAN LORENZO PALMIRENO, por *Miguel Artigas*.
5. BAQUILIDES. Traducción del griego, por *Pedro Bosch y Gimpera*.
6. EL RENACIMIENTO EN ESPAÑA. Introducción metódica, por *Federico de Onís*.

SERIE II. ENSAYOS:

Componen esta serie trabajos originales que, aun versando sobre temas concretos de arte, historia, ética, literatura, etc., tienden a expresar una ideología de amplio interés, en forma cálida y personal.

1. MEDITACIONES DEL QUIJOTE. Meditación preliminar y Meditación primera, por *J. Ortega y Gasset*. (Publicado.) 3 ptas.
2. AL MARGEN DE LOS CLÁSICOS, por *Azorín*. (Publicado.) 3,50 ptas.
3. EL PROTECTORADO FRANCÉS EN MARRUECOS Y SUS ENSEÑANZAS PARA LA ACCIÓN ESPAÑOLA, por *Manuel González Hontoria*. (Publicado.) 4 ptas.
4. EL LICENCIADO VIDRIERA, VISTO POR *Azorín*. (Publicado.) 3 ptas.
5. ENSAYOS. Tomo I, por *M. de Unamuno*. (Publicado.) 3 ptas.
6. UN PUEBLECITO, por *Azorín*. (Publicado.) 3 ptas.

7. ENSAYOS. TOMO II, por *M. de Unamuno*.
(Publicado.) 3 ptas.
8. LA EDAD HEROICA, por *Luis de Zulueta*. (Publicado.) 2,50 ptas.
9. ENSAYOS. TOMO III, por *M. de Unamuno*.
(Publicado.) 3 ptas.
10. LA FILOSOFÍA DE HENRI BERGSON, por *Manuel G. Morente*. (Publicado.) 2,50 ptas.
11. ENSAYOS. TOMO IV, por *M. de Unamuno*.
(Publicado.) 3 ptas.
12. CLAVIJO EN GOETHE Y EN BEAUMARCHAIS, comentado por *Azorín*.
13. DICCIONARIO FILOSÓFICO PORTÁTIL, por *Eugenio d'Ors*.
14. LA UNIVERSIDAD ESPAÑOLA, por *F. de Onís*.
15. EL ARTE ESPAÑOL, por *Manuel B. Cossío*.
16. MEDITACIÓN DEL ESCORIAL, por *J. Ortega y Gasset*.
17. LA EPOPEYA CASTELLANA, por *Ramón Menéndez Pidal*.
18. EL DERECHO INTERNACIONAL EN LA GUERRA GRANDE, por *Gabriel Maura*.
19. MEDITACIONES DEL QUIJOTE. Meditación segunda y Meditación tercera, por *J. Ortega y Gasset*.
20. ENSAYO SOBRE LA HISTORIA CONSTITUCIONAL DE ESPAÑA (Estudio de la vida política española en el siglo XIX, con los textos de las Constituciones), por *Fernando de los Ríos y Urruti*.
21. ENSAYOS SOBRE SHAKESPEARE, por *Ramón Pérez de Ayala*.

Y otros de la Condesa de Pardo Bazán, Henri Bergson, Pío Baroja, Gabriel Alomar, Nicolás Achúcarro, Pedro Dorado y Montero, etc.

SERIE III. BIOGRAFÍAS:

Para promover viriles entusiasmos, nada como las vidas heroicas de hombres ilustres, exaltadas por espíritus gemelos. Esta serie consta de ejemplares biografías, cuya traducción se ha confiado a escritores competentes.

1. VIDA DE BEETHOVEN, por *Romain Rolland*. Traducción de *Juan Ramón Jiménez*. (Publicado.) 3,50 ptas.
2. VIDA DE MIGUEL ÁNGEL, por *Romain Rolland*. Traducción de *Juan Ramón Jiménez*.
3. VIDA DE TOLSTOY, por *Romain Rolland*. Traducción de *Juan Ramón Jiménez*.
4. VIDA DE CARLOS XII, por *Voltaire*. Traducción de *E. Diez-Canedo*.
5. FICCIÓN Y REALIDAD (*Dichtung und Wahrheit*), por *J. W. Goethe*. Traducción de *Ramón María Tenreiro*.

SERIE IV. VARIA:

La RESIDENCIA se propone perpetuar, con esta serie, la eficacia de toda manifestación espiritual (lecturas, jiras, conferencias, conmemoraciones), que impulse la nueva España hacia un ideal puro, abierto y definido.

1. DE LA AMISTAD Y DEL DIÁLOGO. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por *Eugenio d'Ors*. (Agotado.)
2. JEAN SÉBASTIEN BACH, AUTEUR COMIQUE. Conférence faite à la Residencia de Estudiantes par *M. André Pirro*. (Publicado.) 1,50 ptas
3. APRENDIZAJE Y HEROÍSMO. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por *Eugenio d'Ors*. (Publicado.) 2 ptas.
4. FIESTA DE ARANJUEZ, EN HONOR DE AZORÍN. Discursos, poesías y cartas. (Publicado.) 1,50 ptas.
5. DISCIPLINA Y REBELDÍA. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por *Federico de Onís*. (Publicado.) 1 pta.
6. PORVENIR DE LA LITERATURA DESPUÉS DE LA GUERRA. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por la *Condesa de Pardo Basán*. (Publicado.) 1 pta.
7. POESÍAS COMPLETAS de *Antonio Machado*, en un volumen.

EL SACRIFICIO DE LA MISA, por GONZALO DE BERCEO. Edición de ANTONIO G. SOLALINDE. — Precio: 1,50 pesetas.

DE LA AMISTAD Y DEL DIÁLOGO. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por EUGENIO D'ORS. Agotada.

MEDITACIONES DEL QUIJOTE, por JOSÉ ORTEGA Y GASSET. *Meditación preliminar. Meditación primera.*—Precio: 3 pesetas.

JEAN SÉBASTIEN BACH, AUTEUR COMIQUE. Conférence faite à la Residencia de Estudiantes par Monsieur ANDRÉ PIRRO.—Precio: 1,50 pesetas.

AL MARGEN DE LOS CLÁSICOS, por AZORÍN.—Precio: 3,50 pesetas.

EL PROTECTORADO FRANCÉS EN MARRUECOS Y SUS ENSEÑANZAS PARA LA ACCIÓN ESPAÑOLA, por MANUEL GONZÁLEZ HONTORIA.—Precio: 4 pesetas.

APRENDIZAJE Y HEROÍSMO. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por EUGENIO D'ORS.—Precio: 2 pesetas.

FIESTA DE ARANJUEZ, en honor de AZORÍN. *Discursos, poesías y cartas.*—Precio: 1,50 pesetas.

CONSTITUCIONES BAIULIE MIRABETI. Edición de GALO SÁNCHEZ.—Precio: 1,50 pesetas.

EL LICENCIADO VIDRIERA, visto por AZORÍN.—Precio: 3 ptas.

DISCIPLINA Y REBELDÍA. Lectura dada en la Residencia de Estudiantes por FEDERICO DE ONÍS.—Precio: 1 pta.

VIDA DE BEETHOVEN, por ROMAIN ROLLAND. Traducción de JUAN RAMÓN JIMÉNEZ.—Precio: 3,50 ptas.

ENSAYOS. Tomo I, por MIGUEL DE UNAMUNO.—Precio: 3 ptas.

UN PUEBLECITO, por AZORÍN.—Precio: 3 ptas.

ENSAYOS. Tomo II, por MIGUEL DE UNAMUNO.—Precio: 3 ptas.

LA EDAD HEROICA, por LUIS DE ZULUETA.—Precio: 2,50 ptas.

ENSAYOS. Tomo III, por MIGUEL DE UNAMUNO.—Precio: 3 ptas.

LA FILOSOFÍA DE HENRI BERGSON, por MANUEL G. MORENTE.—Precio: 2,50 ptas.

ENSAYOS. Tomo IV, por MIGUEL DE UNAMUNO.—Precio: 3 ptas.

**PORVENIR DE LA LITERATURA
DESPUÉS DE LA GUERRA.** Lec-
tura dada en la Residencia de Estu-
diantes por la CONDESA DE PARDO
BAZÁN.—Precio: 1 pta.

¿QUÉ ES LA ELECTRICIDAD?.
Conferencias dadas en la Residencia
de Estudiantes por BLAS CABRERA.
Precio: 3,50 ptas.

PROSPECTO

DE LA

RESIDENCIA DE
ESTUDIANTES

(NO SE VENDE)

SE ENVÍA A QUIEN LO
SOLICITE DEL PRESI-
DENTE DE LA RESIDENCIA
DE ESTUDIANTES • CALLE
DEL PINAR • MADRID

**ESTE LIBRO
SE ACABÓ DE IMPRIMIR
EN EL EST. TIPOGRÁFICO DE FORTANET
EN MADRID
EL DÍA 15 DE ABRIL
DE 1917**

Cabrera, B
Qué es la electricidad?

395166

QC519
C3

395166

Cabrera
QC519
C3

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

PUBLICACIONES DE LA
RESIDENCIA DE
ESTUDIANTES: MADRID

ADMINISTRACIÓN
CALLE DEL PINAR

3,50 PTAS.