

envolvente esférica electrizada no debe ejercer acción alguna en un punto situado en su interior. Así también, toda capa esférica uniformemente electrizada en todos sus puntos actúa sobre uno exterior como si todas las acciones repulsivas estuviesen reunidas en su centro. De aquí resulta que, si consideramos una esfera electrizada dividida en capas concéntricas infinitamente tenues, cualquier molécula situada en la superficie de una de ellas no recibirá acción alguna de la electricidad de las capas exteriores, al paso que será repelida por el fluido que puedan contener las internas. Esta molécula tendrá, pues, que alejarse del centro hasta llegar á la superficie, en donde la mantendrá la acción del medio ambiente, dado que sea mal conductor, y así lo comprueba la experiencia. Cualquier otra hipótesis sobre la ley de variación de las acciones eléctricas con la distancia sería incompatible con la distribución del fluido en los conductores.

Así queda confirmada la exactitud de esta ley, cuya importancia teórica es tanto mayor cuanto que se ve á la electricidad sometida, en sus modos de actuar, á las mismas variaciones que la gravitación universal.

CAPÍTULO III

INFLUENCIA Ó INDUCCIÓN ELÉCTRICA

I

FENÓMENOS DE INDUCCIÓN ELÉCTRICA. — ELECTRIZACIÓN POR INFLUENCIA

Acabamos de ver que hay dos medios de electrizar un cuerpo, cuando se halla en estado natural: el frotamiento ó el contacto con un cuerpo previamente electrizado. Los fenómenos que vamos á describir ahora prueban que en este último caso no es necesario el contacto.

Tomemos un cuerpo electrizado C (fig. 82), que aquí es una esfera metálica puesta sobre una columna de vidrio, y pongamos cerca de ella, á una distancia suficientemente corta, un conductor cilíndrico AB, de gran longitud y cuyos extremos rematan en casquetes hemisféricos de mucho menor diámetro que la esfera electrizada. El conductor AB está aislado, ya por un pie de vidrio que lo sostiene, ó ya por hebras de seda dadas de goma laca, de las cuales está suspendido: debe advertirse que este cuerpo se halla en estado natural. Apenas se pone á los dos cuerpos en presencia uno de otro, el conductor da indicios evidentes de electrización, de lo cual es fácil cerciorarse acercando á sus extremos la bola de saúco de un péndulo eléctrico y viendo cómo la atrae el conductor, y también observando unos pendulitos *a b*, fijados en varios puntos del cilindro, y formados de bolitas de saúco suspendidas de hilos conductores. Estas bolas resultan cargadas al ponerse en contacto con la misma electricidad que los puntos tocados por ellas; de aquí una repulsión que se manifiesta por la desviación de la vertical de los hilos de los péndulos. Este modo de producción de la electricidad, desarrollada así á alguna distancia por un cuerpo electrizado en un conductor en estado natural, se llama *electrización por influencia ó por inducción*.

Los primeros fenómenos de influencia eléctrica observados fueron los de la atracción de los cuerpos leves por el ámbar, es decir, que se remontan al mismo origen del

descubrimiento de la electricidad: y en efecto, vamos á ver que los cuerpos atraídos se electrizan á su vez tan luego como el trozo de ámbar frotado se halla en su presencia á una distancia suficientemente pequeña, y por consiguiente que la atracción no es en el fondo más que un fenómeno de influencia. Pero hasta mediados del siglo pasado no se adoptó la interpretación de que tratamos. Gray había observado ya que una cuerda aislada se electriza cuando se acerca á ella, sin tocarla, un tubo de vidrio electrizado; y anteriormente, Otto de Guericke había notado que los hilos suspendidos á corta distancia de un globo de azufre experimentaban cierta repulsión al acercar á ellos el dedo. Pero ninguno de ambos comprendió la importancia de este hecho. A Canton (1753) corresponde el honor de haber indicado claramente la electrización por influencia. Algunos años después, Æpinus fué más adelante, distinguiendo la naturaleza de la electricidad inducida en las

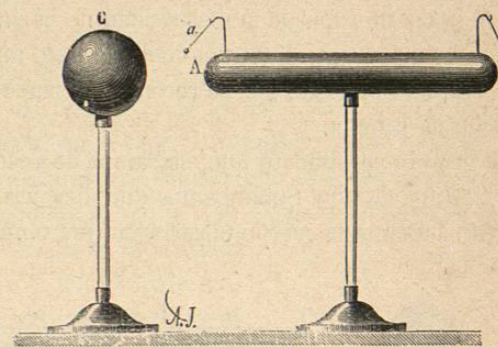


Fig. 82. — Electricidad desarrollada por influencia ó inducción

diferentes partes de un cuerpo sometido á la influencia. Describamos ahora los experimentos que demuestran cómo se halla distribuída en el cuerpo electrizado la electricidad desarrollada de tal modo.

Si la esfera C (fig. 83) está cargada de electricidad *positiva*, el extremo A del cilindro más inmediato á la esfera se electriza *negativamente*, y el extremo B, por el contrario, *positivamente*. Es fácil cerciorarse de esta doble circunstancia, acercando

sucesivamente á los dos extremos un pequeño péndulo aislado, cuya bola esté cargada de una electricidad conocida, por ejemplo, de electricidad positiva: al acercarla con precaución á A, es atraída; y si á B, repelida. Lo contrario sucedería si la esfera C estuviese cargada de electricidad *negativa*.

Para estudiar la distribución de estas dos electricidades opuestas en el cilindro conductor, se suspende á varias distancias péndulos dobles de hilos conductores, y se observa la mayor ó menor divergencia de las bolas. En

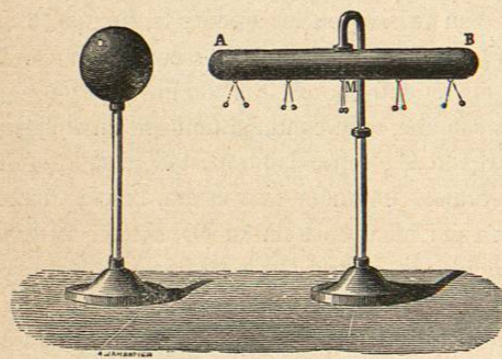


Fig. 83. — Distribución de la electricidad en un conductor aislado electrizado por influencia

tonces se ve que la tensión eléctrica es máxima en cada extremo, y que disminuye progresivamente desde cada uno de estos puntos extremos á una región media M en la que es nula, y que por esta razón se llama *línea neutra*. Pero esta sección del cilindro que se halla por tal manera vuelta á su estado natural, está más próxima á la extremidad contigua á la esfera que á la otra; no hallándose precisamente en medio del conductor electrizado por influencia. Añadamos que la tensión eléctrica es también mayor en A que en B. En tal estado las cosas, apartemos gradualmente la esfera, y veremos entonces que las bolas de los péndulos se van juntando poco á poco, poniéndose de

nuevo en contacto cuando la distancia es bastante grande. Entonces cesa toda influencia: el cilindro conductor vuelve á su estado natural, y aun recobraría instantáneamente este estado si, en lugar de separar la esfera, se la descargara de su electricidad poniéndola en comunicación con tierra.

Es de notar que la acción de la esfera inductora sobre el conductor inmediato va acompañada de una reacción del segundo sobre la primera; y se comprueba en efecto que la distribución de la electricidad no es ya uniforme en ella, y que la densidad eléctrica es mayor en el extremo del diámetro más inmediato del cilindro inducido que en el extremo opuesto. Así se reconoce tocando sucesivamente los dos extremos con un plano de prueba.

En el experimento que acabamos de describir, el conductor electrizado por influencia estaba aislado. Supongamos que, después de ponerlo delante de la esfera inductora —así se llama el cuerpo electrizado que obra por influencia,—se hace que comunique

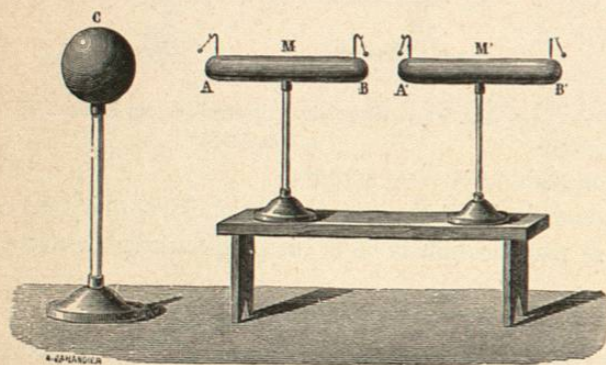


Fig. 84.—Electrización por influencia de una serie de conductores

con la tierra su extremo más apartado de aquélla. Al punto desaparece toda la electricidad de que estaba cargada esta parte del cilindro, el cual no tiene ya más que la electricidad opuesta á la de la esfera, pero á mayor tensión, como lo prueba la desviación mayor de los péndulos: el máximo de tensión sigue en A, y la línea neutra ha desaparecido. La naturaleza de la electricidad restante, su distribución en el conductor ó su tensión en los diferentes puntos serían también las mismas, si en lugar de tocarle en B, se hubiera hecho comunicar con la tierra cualquier otro punto del cilindro, aun el extremo A. Por último, si después de haber establecido esta comunicación, se la suprime, todo continúa también en el mismo estado, es decir, que el conductor sigue cargado de electricidad opuesta á la de la esfera inductora, distribuída con desigualdad. Retirando entonces esta esfera, la electricidad queda en el conductor; sólo que se reparte por igual en toda su superficie, y se tiene un cuerpo electrizado por influencia y cargado de electricidad, como si lo hubiera sido directamente por frotamiento ó por contacto.

Cuando se pone en presencia de un foco tal como la esfera electrizada, no ya un solo conductor, sino una serie de ellos puestos unos tras otros, AB, A'B', etc. (fig. 84), todos resultan simultáneamente electrizados por influencia; pero la tensión eléctrica va disminuyendo en cada cilindro con la distancia, aun cuando sea mas fuerte en A'B', por ejemplo, de lo que sería si quitándose el conductor AB sólo ejerciera la influencia la esfera inductora. Esta última observación prueba que cada conductor obra por influencia y contribuye á electrizar al que le sigue en la serie.

Los hechos que preceden son de gran importancia, y consecuencia natural de la hipótesis de los dos fluidos cuyas moléculas se atraen ó repelen, según que sean de la misma ó contraria naturaleza. Además nos permitirán explicar más por completo los fenómenos de atracción y repulsión, de electrización por contacto, etc. Entremos en algunos detalles acerca de estos varios puntos.

Hemos visto que un cuerpo en estado natural contiene á la vez las dos especies de electricidad, la positiva y la negativa, y en tal proporción que se neutralizan. Pero, si se le frota con otro cuerpo, se ocasiona en cada uno de ellos la separación de las dos electricidades; una de ellas pasa á uno de los cuerpos frotados y la otra al otro, y hallándose por cada parte en exceso cuando se separan los cuerpos (aislados si son buenos conductores), dan á conocer su presencia con los fenómenos que hemos descrito.

Veamos ahora cómo se explica la electrización por influencia, es decir, los fenómenos que nos ha presentado el cilindro conductor situado cerca de la esfera electrizada. La electricidad positiva de esta esfera atrae la negativa y repele la positiva del conductor; la primera se dirige hacia el extremo A (fig. 82), y la segunda va á parar á la extremidad B. Pero la atracción es mas fuerte en A que la repulsión en B, porque la distancia al foco es menor con respecto á la primera región que á la segunda; y he aquí por qué la línea neutra está más inmediata á A que á B. Cuando se pone el conductor en comunicación con la tierra, es como si se prolongara indefinidamente este cuerpo, lo cual explica el aumento de tensión de la electricidad negativa en A: la línea neutra indefinidamente retirada no está ya en dicho cilindro, de suerte que, si se rompe bruscamente la comunicación, no se encuentra en el cilindro más que electricidad negativa distribuída con desigualdad en su superficie, á causa de la desigual acción de la esfera sobre puntos situados á distancias crecientes.

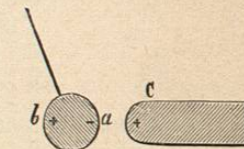


Fig. 85.—Causa de la atracción de los cuerpos leves

La misma hipótesis nos dará cuenta de los primeros fenómenos que hemos estudiado, es decir, de la atracción y repulsión de los cuerpos neutros, ó en estado natural, por un cuerpo electrizado.

Cuando se acerca la bola de saúco del péndulo eléctrico á un cilindro de vidrio C, cargado de electricidad positiva, ¿qué sucede? La electricidad neutra de la bola se descompone por influencia; la positiva es rechazada á *b* si el hilo es aislador, ó á tierra si es conductor, y la negativa es atraída á *a*. La tendencia que en ambos casos manifiestan á reunirse la electricidad positiva de la bola y la negativa del cilindro hace que el péndulo se desvíe de la vertical: hay atracción (fig. 85). Si hay contacto, las electricidades se combinan, y la bola se carga de electricidad positiva con tal que esté aislada. De aquí resulta la repulsión entre las dos electricidades de la misma naturaleza que en tal momento contienen los dos cuerpos puestos frente á frente. Cuando la bola no está aislada, la electricidad positiva va á parar á tierra, y el contacto da lugar á la combinación de las dos electricidades contrarias; la bola vuelve á su estado natural y ya no hay repulsión. Según hemos visto en el capítulo anterior, todos estos hechos se comprueban por la observación.

No menos fácilmente se explica la electrización de un cuerpo conductor por el contacto de un cuerpo ya electrizado. Antes del contacto, la electricidad neutra del conductor se descompone por influencia: habiendo, por ejemplo, atracción de la electricidad positiva del cuerpo previamente electrizado, por la negativa del conductor, y repulsión de la electricidad positiva. El contacto engendra en cierta proporción la combinación de las electricidades que se atraen, y queda en el conductor un exceso de electricidad positiva. De aquí resulta una carga de electricidad de la misma naturaleza que la del foco eléctrico, lo cual hace creer desde luego que la electrización se efectuaba en virtud de una especie de desagüe de la electricidad que se asimilaba á un fluido; pareciendo la hipótesis tanto más fundada cuanto que el contacto disminuía la carga eléctrica del

foco. En realidad, no hay distribución de electricidad entre los dos cuerpos, sino más bien una acción de descomposición por influencia, y luego una combinación parcial, la cual suele tener efecto al través del aire un poco antes del contacto, y según hemos visto, va acompañada de una explosión y de una chispa.

Por último, la acción de las puntas tiene también en la hipótesis anterior una expli-

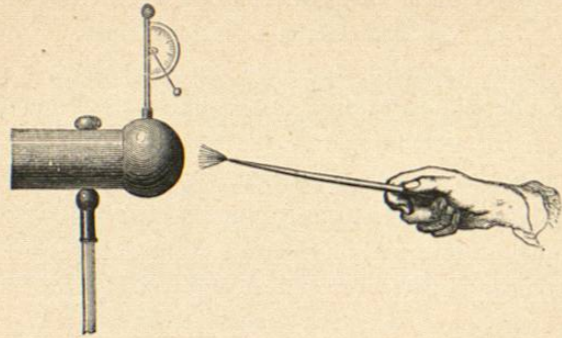


Fig. 86.—Explicación del poder de las puntas

cación más completa que la que indicamos vagamente más arriba. Cuando se acerca á un cuerpo electrizado un conductor terminado en punta, la electricidad neutra de este conductor se descompone por influencia, y como la opuesta á la del cuerpo electrizado tiene en la extremidad de la punta una tensión infinita, prodúcese una combinación rápida de las dos electricidades de nombre contrario, y resulta descargado el cuerpo electrizado. Al usar Franklin las expresiones de "fluido ó fuego eléctrico *sacado ó impelido* por las puntas," traducía en lenguaje vulgar y con palabras de opuesto sentido un fenómeno idéntico en ambos casos.

II

FENÓMENOS DE INFLUENCIA ENTRE CUERPOS MALOS CONDUCTORES. EL ELECTRÓFORO

Hemos venido suponiendo en cuanto precede que el cuerpo que sufre la influencia ó el cuerpo inducido es buen conductor de electricidad, como lo es á su vez el cuerpo inductor ó electrizado. Los fenómenos serían los mismos, sobre poco más ó menos, si este último fuese mal conductor. En este caso, la reacción sobre el cuerpo influente ó inductor sería en efecto menor, por cuanto el fluido eléctrico se desvía con dificultad en la superficie de un mal conductor. Si entonces se ponen en contacto las superficies de los dos cuerpos, inductor é inducido, no hay recomposición brusca de las electricidades, no se produce chispa alguna, y las dos superficies quedan cargadas de fluidos contrarios. En breve veremos que se ha utilizado esta propiedad para la construcción del aparato conocido con el nombre de *Electróforo*. Antes de describirlo, examinemos someramente lo que pasa cuando se hace actuar un cuerpo electrizado sobre un mal conductor mantenido á cierta distancia.

En este caso, la influencia eléctrica es muy débil, y aun se comprende que sería nula si se tratara de un cuerpo cuya conductibilidad lo fuera, de un aislador absoluto. En realidad, semejante cuerpo no existe; hemos visto que las mejores substancias aisladoras conducen siempre un tanto la electricidad, y un experimento muy sencillo lo demuestra así. Y en efecto, si se acerca una esfera electrizada á un péndulo formado

de una bola de goma laca, ó de una aguja de la misma substancia suspendida horizontalmente de una hebra de seda sin torcer, se observará una atracción ó una desviación sensible, aunque menor que si la bola ó la aguja fuese conductora. Hay, pues, descomposición de la electricidad neutra del cuerpo no conductor. Matteucci ha comprobado en efecto que los dos extremos de la aguja suspendida están electrizados en sentido contrario, y si se quita la esfera inductora, la aguja inducida vuelve al punto al estado neutro.

Describamos ahora el electróforo. Este instrumento, cuyo principio está basado en la ley de los fenómenos de influencia eléctrica, fué ideado por Volta, quien le dió el nombre de *Electróforo perpetuo*, á causa de su propiedad de conservar mucho tiempo las cargas de electricidad que recibe.

Consiste en un disco de materia aisladora AA (fig. 87), como resina, azufre ó goma, fundido en un molde de madera ó latón CC, y en un platillo conductor BB provisto de un mango aislador de vidrio ó suspendido de cordones de seda. Las más de las veces, el platillo BB, cuyo diámetro es un poco menor que el del disco aislador, es de madera recubierta enteramente en sus caras y en su corte de una hoja de estaño.

Para servirse del electróforo, se quita el platillo conductor y se electriza la masa aisladora frotándola oblicuamente con una piel de gato. Esta fricción desarrolla en la superficie de la resina electricidad negativa, tan abundante á veces que al acercar el dedo

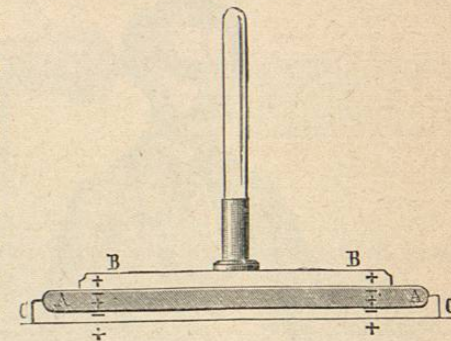


Fig. 87.—Electróforo

brotan chispas acompañadas de chasquidos. Cogiendo entonces el platillo por el mango aislador, se le pone sobre el disco electrizado, en cuyo estado no se nota ningún indicio de electrización. Pero la electricidad negativa de la resina obra por influencia en el fluido neutro del platillo, lo descompone, atrae á su superficie inferior la electricidad positiva y repele á la superior negativa. Fácil sería reconocer con un electroscopio la presencia de esta última.

Ahora, si se toca con el dedo la cara superior del platillo (fig. 88), la electricidad negativa de que está cargada se escapa á tierra, y quitando entonces el platillo mediante el mango de vidrio, se le encontrará cargado de electricidad positiva difundida por todos los puntos de su superficie, y si se acerca la mano, se sacará de él una chispa cuya longitud depende por lo regular de las dimensiones del electróforo (1). Esta chispa tiene por causa la recomposición de la electricidad positiva con la negativa del cuerpo, y por consiguiente vuelve al platillo á su estado natural. Pero el disco electrizado continúa cargado como antes, y se puede repetir muchas veces la operación, sin necesidad de electrizar de nuevo el aparato que puede conservar su carga meses enteros, con tal de tener la precaución de guardarlo en un sitio en que el aire esté perfectamente seco.

Hemos dicho que el disco aislador del electróforo está formado de resina, azufre ó goma. Cualquier substancia aisladora es buena para el objeto; mas por lo común se ha-

(1) "Lichtenberg, dice M. Mascart en su *Tratado*, construyó un electróforo cuyo disco tenía 6 pies de diámetro, el platillo 5, y sacaba de él chispas de 14 á 16 dedos de longitud." Asimismo se cita como uno de los mayores electróforos conocidos el que Kleindworth hizo para la universidad de Gotinga, cuyo disco de resina tenía 2^m,25 de diámetro y el platillo conductor 2 metros.

cen varias mezclas de estas substancias para que el disco sea menos quebradizo. En la sección italiana de la Exposición internacional de Electricidad había dos electróforos, uno de ellos compuesto de una capa muy tenue de lacre, y el otro de una mezcla de 3 partes de trementina, 2 de colofonia y 1 de lacre con algunas partículas de minio. He aquí la mezcla más usada en la actualidad:

Colofonia.	250	gramos
Trementina.	60	"
Goma arábica.	500	"
Sebo.	15	"

También se hacen muchos electróforos de ebonita ó de caucho endurecido; sin embargo, los discos de esta substancia tienen el inconveniente de que los agentes atmosféricos alteran su superficie, y también el de combarse.



Fig. 88.—Manejo del electróforo

Según acabamos de ver, el electróforo es una especie de depósito de electricidad, y por cierto muy cómodo, por cuanto para llenarlo sólo requiere una maniobra insignificante, y subsiste largo tiempo á disposición del físico para sus experimentos. Mas, para usarlo, no deben descuidarse ciertas precauciones de las que vamos á hablar y que nos ilustrarán además acerca del modo cómo está distribuída la electricidad en los cuerpos malos conductores. Compréndese que, si después de electrizar el disco aislador y de colocar sobre su superficie el platillo conductor, se retira éste sin ponerle en comunicación con tierra, vuelve á su estado natural. En efecto, entonces los dos fluidos contrarios, separados por la influencia de la electricidad de la resina mientras los discos permanecen en contacto, se combinan de nuevo cuando se apartan éstos. Pero ocurre otro fenómeno curioso, y es el siguiente: si el molde conductor que sostiene el disco está aislado á su vez, el aparato cesa de funcionar, ó por lo menos no produce más que escasos resultados. ¿Cómo se explica esto? Véase cómo: Ante todo, es de notar que cuando se electriza el disco aislador, al mismo tiempo que adquiere electricidad negativa la cara que ha sufrido el frotamiento de la piel de gato, la inferior se carga de electricidad positiva. Esta obra por influencia sobre el molde metálico, descompone su fluido neutro, atrae la electricidad negativa y repele á tierra la positiva si no está aislado. En tal hipótesis, esta segunda descomposición no estorba en modo alguno la acción de la electricidad negativa del disco sobre el platillo conductor. Por el contrario, si el molde

está aislado, como su electricidad positiva no va á parar al suelo, neutraliza en parte la acción de la negativa de la resina, que resulta por tanto debilitada.

Los fenómenos de inducción ó de influencia eléctrica tienen una analogía que es imposible desconocer con los que hemos estudiado en el libro I bajo la denominación de fenómenos de inducción magnética. Una fila de conductores puestos unos tras otros en presencia de un cuerpo electrizado es comparable con los elementos de una cadena magnética; así como éstos adquieren dos polos situados de tal suerte que los de nombre contrario están vueltos unos hacia otros, así también los conductores de la especie de cadena eléctrica que suponemos, tienen dos electricidades opuestas, ó si se quiere, están polarizados en el mismo sentido. Este estado eléctrico es transitorio como el magnético del hierro dulce, y desaparece tan pronto como se retira el cuerpo inductor.

Dicha polarización existe de molécula en molécula en todo cuerpo electrizado, bueno ó mal conductor; mas entre ambas clases de cuerpos hay una diferencia esencial. Al paso que en un cuerpo buen conductor los fluidos separados pasan rápida y fácilmente de una molécula á otra por una serie de composiciones y descomposiciones sucesivas, de suerte que tan pronto se destruye como se restablece el estado de polarización molecular, la propagación de la electricidad se efectúa en las substancias aisladoras con una lentitud relativa, que depende á la vez de la intensidad de la acción ejercida y del poder aislador de cada substancia. Se hacen varios experimentos que prueban la electrización polar de las moléculas en los cuerpos no conductores. Describamos algunas.

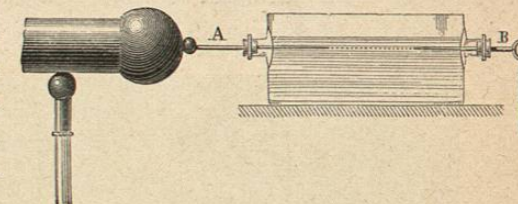


Fig. 89.—Experimento de Faraday sobre la electrización polar de los malos conductores

En una vasija C, llena de esencia de trementina, se introducen algunos tenues fragmentos de hilos de cristal ó de hebras de seda. La vasija lleva á uno y otro lado dos canales atravesadas por otras tantas varillas metálicas A y B, terminadas en punta y puestas una enfrente de otra. Se pone en comunicación una de estas varillas A con un generador eléctrico, y el otro B con el suelo por medio de una cadenilla metálica. Vese entonces cómo se reúnen los fragmentos flotantes acudiendo de todas las partes del líquido, y formando entre las dos puntas una fila material continua. Esta especie de cadena eléctrica ofrece cierta resistencia, y si se la rompe con una varilla de vidrio, se vuelve á formar en seguida, indicando así el estado de polarización eléctrica molecular del líquido que sostiene sus elementos. Si se reemplazan los hilos aisladores con fragmentos menudos de un cuerpo conductor, con partículas de oro por ejemplo, se ve cómo brota á lo largo de la cadena una serie de pequeñas chispas. Faraday fué quien discutió este experimento.

Habiendo electrizado Matteucci un haz de laminillas muy tenues de mica, deshaciéndolo al poco rato con unas pinzas de vidrio, reconoció que cada lámina estaba electrizada positivamente en una cara y negativamente en la otra, y que la intensidad iba en disminución desde las láminas exteriores á la de en medio. Buff hizo un experimento análogo con un conjunto de discos muy delgados de resina.

Además de demostrar estos experimentos cómo se distribuye la electricidad en los cuerpos aisladores, prueban también que no se propaga solamente por la superficie, sino que penetra en el interior á cierta profundidad. Compruébase además la exactitud de