

mos á indicar. La figura 193 representa la sección del multiplicador ó de la bobina en cuyo centro está suspendida la aguja imanada. Esta aguja, que es muy corta (por lo regular tiene tres milímetros de longitud), está adherida á la parte posterior de un espejillo circular, y el conjunto, que sólo pesa 65 miligramos, está suspendido de una sencilla hebra de seda cruda y metido con la bobina en un cilindro de latón D (fig. 194). Dos bornas fijadas en una de las caras de este cilindro sirven para empalmar á ellas los

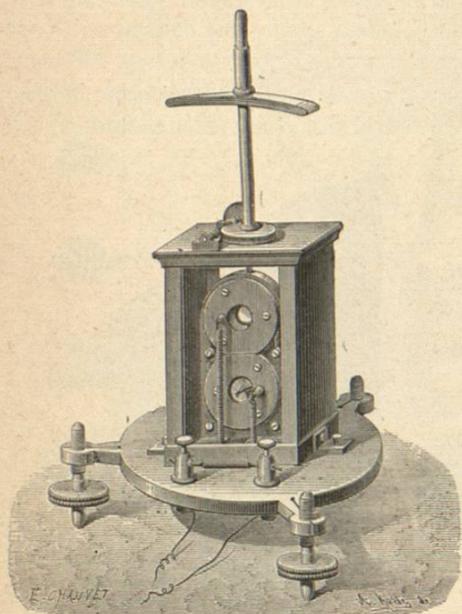


Fig. 195.—Galvanómetro de reflexión astático de Thomson

extremos de los hilos de la corriente. Las oscilaciones de la aguja imanada, desviada por el paso de la corriente, se observan de este modo: En el interior de una caja abierta por un lado hay una regla horizontal graduada, en cuyo cero lleva una pequeña ranura por la que penetra la luz de una lámpara. El haz luminoso R atraviesa la abertura central del cilindro del galvanómetro puesto enfrente de la caja, da en el espejo de la aguja imanada y se refleja siguiendo la línea R' en el cero de la escala, cuando la aguja no se ha desviado. Tan luego como la corriente pasa, ésta y el espejo se desvían; el haz luminoso reflejado se inclina á derecha ó á izquierda del cero de la escala, según la dirección de la desviación, cuya amplitud se conoce en las mismas divisiones. Por encima del cilindro del galvanómetro Thomson se ve una varilla vertical que sostiene un gran imán curvo E, débilmente imanado. Este imán gira á frotamiento duro alrededor de la varilla, pudiendo también correr por ella en sentido vertical. El objeto de esta disposición consiste en evitar el tener que colocar siempre el aparato en el meridiano magnético, pues el imán curvo constituye uno artificial, cuya fuerza directriz contrabalancea la de la Tierra. Se colocan sus polos en sentido contrario de los terrestres; se busca el punto de la varilla en que la neutralización es completa, y en seguida se levanta un poco el imán para conservar una doble fuerza directriz, suficiente para que lleve á la aguja al cero en el meridiano magnético. También se construyen galvanómetros Thomson de forma astática, los cuales se emplean con multiplicadores de largo hilo. En éstos cada aguja tiene su carrete de hilo correspondiente, y la corriente pasa en sentido contrario por los dos.

### III

#### ACCIÓN DE LOS IMANES SOBRE LAS CORRIENTES

Acabamos de ver cuál es la acción de las corrientes voltaicas sobre la aguja imanada y cómo se ha utilizado esta influencia para construir varios instrumentos de medición de la intensidad de las corrientes, entre los cuales figuran dos aparatos de gran

sensibilidad, aptos para dar á conocer la dirección é intensidad de cualquier corriente. Ahora debemos decir que los imanes ejercen en las corrientes una influencia igual á la que ellos mismos experimentan, pero de contrario sentido. Así por ejemplo, cuando se pone una barra imanada en posición horizontal debajo ó encima de un hilo metálico que forme un circuito voltaico (fig. 196) y pueda girar alrededor de los puntos de suspensión, al punto se ve que el hilo da una media vuelta poniéndose en cruz con la corriente, de modo que el polo austral de la barra queda siempre á la izquierda de la porción de corriente más inmediata á él. Si se cambia la dirección de ésta, invirtiendo al efecto los reóforos, á los que están empalmados los dos extremos del hilo, la corriente efectúa al instante una rotación de 180° sobre sí misma, haciendo que su plano quede en una posición perpendicular á la barra imanada, y por lo tanto el polo austral de esta última seguirá estando, según el enunciado de Ampère, á la izquierda de la corriente.

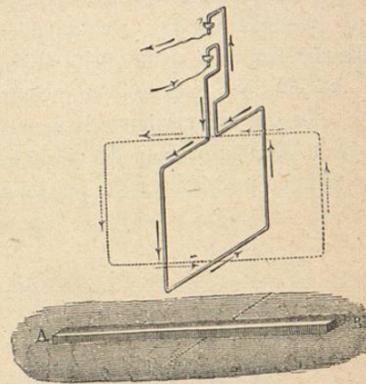


Fig. 196.—Acción de un imán sobre una corriente

La experiencia, pues, comprueba lo que podía preverse basándose en el solo principio de la igualdad de acción ó reacción. La dificultad aquí consistía en dar movilidad á la corriente sin interrumpir su continuidad, lo cual logró Ampère gracias á la ingeniosa combinación discurrida por él y que aplicó, variándola de todos modos, en los numerosísimos experimentos sobre las acciones reciprocas de las corrientes y de los imanes.

La figura 197 representa esta combinación, que consiste en dos columnas metálicas fijadas verticalmente en una peana á la cual van á parar los reóforos positivo y negativo de la pila.

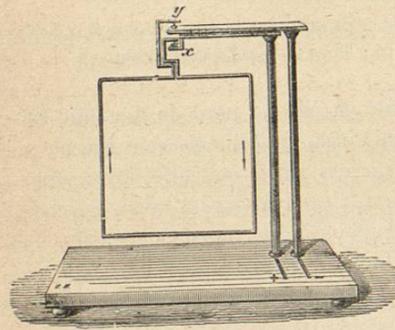


Fig. 197.—Aparato de Ampere para el estudio de los fenómenos electromagnéticos

Sobre estas columnas hay dos brazos horizontales que llevan en sus extremos dos capsulitas *x*, *y*, cada una de las cuales contiene una gotita de mercurio. El hilo conductor, doblado en forma de rectángulo ó en la que convenga según el experimento que se haya de hacer, termina en un doble codo y en dos puntas que se introducen en las capsulas, de suerte que se hallan á la vez en la prolongación una de otra y en la vertical del centro de gravedad del conductor. Este es, por lo tanto, móvil; su plano puede girar á uno y otro lado alrededor de la vertical y orientarse de cualquier modo, según las condiciones de equilibrio consiguientes á las acciones electro-magnéticas que se trata de estudiar. Esta disposición es la que ha servido para el experimento que acabamos de describir.

Poco después del descubrimiento de los primeros fenómenos electro-magnéticos, Faraday hizo un experimento en el cual la acción de un imán daba origen á un movimiento continuo de rotación de una corriente. Un círculo de cobre (fig. 198), sostenido por

dos brazos verticales del mismo metal, forma un conjunto que puede girar alrededor de una columnita de cobre sobre la cual hay un vasito con una gota de mercurio. El anillo de cobre penetra en el agua acidulada de que está llena una vasija de zinc en forma de corona. La acción del ácido sobre el zinc produce una corriente que circula del anillo de cobre al zinc por la columnita vertical y que sube por los dos brazos del conductor. Acercando entonces el polo A de un imán debajo de la vasija de zinc, en la abertura anular central, se ve al anillo tomar un movimiento continuo de rotación, cuya dirección cambia si se da vuelta al imán presentando el otro polo.

Ampère hizo el experimento contrario, el del movimiento de rotación de un imán producido por una corriente; la figura 199 muestra cómo producía el ilustre físico esta rotación. En una probeta de vidrio llena de mercurio hacia flotar un imán cilíndrico, sostenido en posición vertical por un contrapeso de platino atornillado debajo de él. La

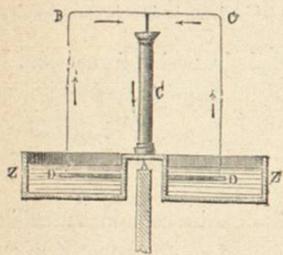


Fig. 198.—Experimento de Faraday sobre la rotación de una corriente por un imán

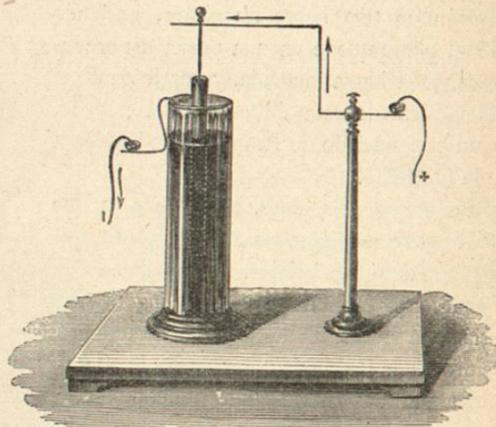


Fig. 199.—Experimento de Ampère sobre la rotación de un imán por una corriente

base superior del imán estaba ahuecada; echábase en ella un poco de mercurio en el cual penetraba la punta de un conductor vertical puesto en comunicación con un polo de la pila. El otro polo lo estaba por medio de un hilo con el mercurio de la probeta. No bien pasa la corriente, cuando el imán empieza á girar alrededor de su eje. La dirección del movimiento depende de la de la corriente y cambia con ella, dependiendo asimismo de la naturaleza del polo que tiene delante. En el caso de que la corriente llegue por la punta del hilo, si este polo es el austral, la rotación se verifica en sentido contrario al de las agujas de un reloj, es decir, de Este á Oeste pasando por el Norte.

Faraday ha conseguido producir otra clase de movimiento de rotación con el aparato de Ampère. En vez de hacer que penetre la varilla conductora en la cavidad superior de la extremidad polar del imán, la introducía en el mercurio del tubo de vidrio. En este caso, el imán gira alrededor de la varilla.

La explicación de estos fenómenos es fácil si se admite la teoría de la constitución de los imanes tal como la formuló Ampère y según la expondremos en breve.

Por ahora continuaremos describiendo los interesantes fenómenos descubiertos por este gran físico, y que tienen por objeto la influencia recíproca de unas corrientes voltaicas sobre otras.

## IV

## ACCIÓN DE UNAS CORRIENTES SOBRE OTRAS

Cuando se ponen dos corrientes ó dos porciones de corriente en presencia una de otra, se puede considerar la dirección en que circula cada una de ellas, la forma ó la extensión de las porciones de los conductores que actúan unos sobre otros, y finalmente la posición relativa de los elementos de las corrientes consideradas. Así pues, las corrientes pueden ser rectilíneas, circulares, sinuosas, paralelas ú oblicuas; y en los dos últimos casos, del mismo sentido ó de sentido contrario. Los numerosos casos que se presentan así, y cuyo estudio forma la rama de la ciencia á la que se da el nombre de *Electrodinámica*, se rigen por leyes muy sencillas, que Ampère ha reducido á las fórmulas siguientes:

1.<sup>a</sup> *Dos corrientes paralelas que marchan en la misma dirección se atraen, y se repelen si marchan en sentido contrario.*

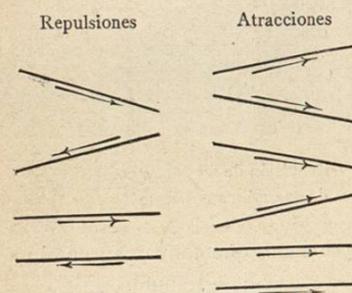


Fig. 200.—Ley de las atracciones y repulsiones de una corriente por otra

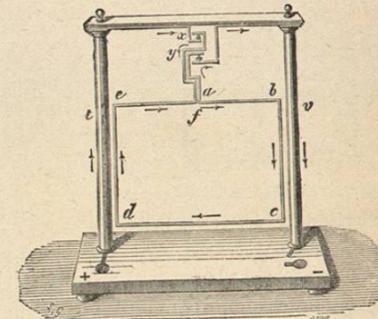


Fig. 201.—Atracción de las corrientes paralelas del mismo sentido

2.<sup>a</sup> *Dos corrientes no paralelas se atraen, si ambas se acercan ó se alejan á la vez del vértice del ángulo formado por sus direcciones; se repelen, si una de ellas se acerca á dicho vértice, mientras la otra se aleja de él.*

3.<sup>a</sup> *La acción de una corriente sinuosa es la misma que la de una corriente rectilínea de longitud igual en proyección.*

La figura 200 representa en forma de diagrama los tres casos de atracción y los dos de repulsión que estas leyes mencionan. Citemos algunos ejemplos del modo cómo se comprueban prácticamente.

La figura 201 presenta la disposición del aparato que sirve para demostrar la acción de las corrientes paralelas. Consiste éste en dos columnas metálicas puestas en comunicación con los polos de una pila. La corriente sube por la columna de la izquierda y por el brazo horizontal que reúne los remates de las columnas, entra en el rectángulo de alambre de cobre que forma el circuito móvil alrededor del eje vertical que pasa por las dos puntas y por las cápsulas de mercurio, y recorre todas sus partes en el sentido indicado por las flechas; sale por el brazo superior horizontal, y baja por la columna de la derecha. Resulta de aquí que la corriente ascendente de la primera columna *t* es paralela á la del lado inmediato vertical *ed* del rectángulo.

Dos corrientes descendentes paralelas atraviesan también la segunda columna *v* y el lado contiguo opuesto *bc* del mismo rectángulo. Pues bien, la experiencia demuestra, que estas partes vecinas se atraen; pues si se las aleja una de otra, en virtud de una desviación angular del circuito móvil, se acercan vivamente y se colocan de modo que el plano de este circuito coincide con el de las columnas. Luego las corrientes paralelas del mismo sentido se atraen.

Ahora, si se reemplaza el rectángulo que acaba de servir para este experimento con el de la figura 202, que está construido de modo que lo pueda recorrer la corriente en sentido opuesto, las porciones verticales inmediatas de cada columna y de los lados del rectángulo estarán cruzadas por corrientes siempre paralelas, pero de sentidos contrarios. Así pues, cuando se las acerca respectivamente unas á otras, tan luego como pasa la corriente, el rectángulo sufre una viva repulsión y se coloca en ángulo recto con el plano del marco formado por las columnas.

Resulta de esta primera ley de atracción ó repulsión de las corrientes paralelas, según que sus direcciones sean iguales ó contrarias, que dos de ellas, cruzadas ú obli-

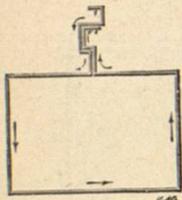


Fig. 202.—Repulsión de las corrientes paralelas de sentido contrario

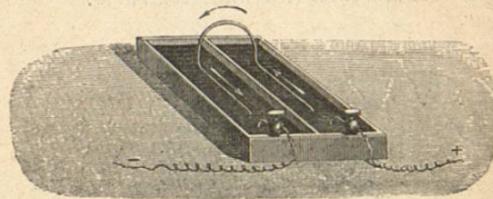


Fig. 203.—Repulsión de las partes consecutivas de una misma corriente

cuas, tienen cierta propensión á ser paralelas; las porciones que convergen en el punto de cruzamiento se aproximan ó se atraen; las que, á partir de este punto, se dirigen en sentido contrario, se alejan ó se repelen. Compruébanse con facilidad estas consecuencias, quedando así demostrada la ley de las corrientes no paralelas.

Cuando se considera las dos partes consecutivas de una misma corriente que forma cierto ángulo, deben repelerse mutuamente según lo que acabamos de ver; y en su límite, ó sea cuando el ángulo es igual á  $180^\circ$ , lo cual equivale á considerar dos partes consecutivas en línea recta, sucede también así. Esto se comprueba asimismo prácticamente del modo siguiente. Llénase de mercurio una cubeta rectangular de madera dividida en dos porciones (fig. 203), introduciéndose en una el hilo positivo y en la otra el negativo de una pila. Sobre el mercurio se coloca un tenue hilo metálico de dos brazos paralelos unidos entre sí por una parte del mismo curva, poniendo así en comunicación el mercurio de cada división de la cubeta. Este hilo cierra el circuito, como lo indican las flechas de la figura. En seguida que pasa la corriente, el conductor se aleja de los puntos en que los reóforos penetran en el mercurio.

Véase también cómo se demuestra que las corrientes sinuosas actúan del mismo modo que las corrientes rectilíneas en proyección. Se doblan una contra otra las dos porciones de un hilo atravesado por una corriente; una de estas porciones es rectilínea y la otra sinuosa como lo indica la figura 204. Acércanse ambas á uno de los lados del circuito móvil de Ampère, y como no se observa ningún movimiento de atracción ni de repulsión, debe deducirse que la corriente rectilínea equilibra exactamente la acción de la sinuosa, cuyo sentido es opuesto al de aquella. Hay, pues, equivalencia entre am-

bas acciones, quedando demostrado que la forma y longitud de la porción sinuosa de la corriente no han influido para nada en su acción.

Citaremos por último un ejemplo de movimiento de rotación continuo determinado por la acción de una corriente sobre otra.

El aparato que sirve para ello está construido (fig. 205) como el que sirvió á Faraday para la rotación de una corriente por un imán. El circuito de cobre BC, giratorio alrededor del remate de la columna A, tiene sus dos brazos verticales soldados á un anillo de cobre que penetra en el agua acidulada de una vasija EF. Alrededor de ésta y en su parte exterior va enrollado el hilo de una bobina, uno de cuyos extremos re-

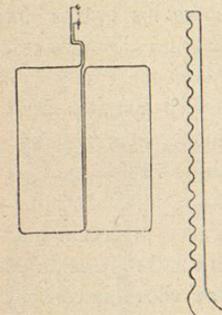


Fig. 204.—Acción de las corrientes sinuosas

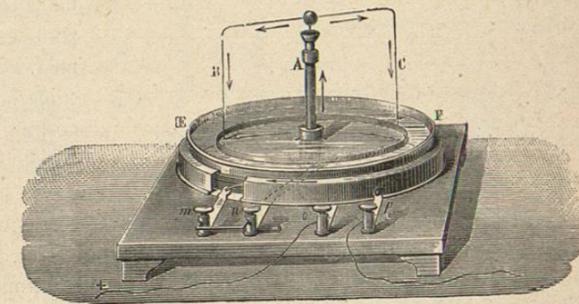


Fig. 205.—Rotación de una corriente finita por efecto de una corriente circular

cibe en *o* la corriente de una pila; el otro extremo está empalmado á las bornas *mn* y en comunicación con la columna del circuito móvil. La corriente recorre los diferentes puntos de este circuito en la dirección marcada por las flechas; entra en el agua acidulada de la vasija y sale de ella por *p*. Tan luego como las comunicaciones establecidas han cerrado el circuito y dado paso á la corriente, el circuito móvil gira en sentido contrario al de la corriente de la bobina, sentido marcado en la figura por una flecha dibujada en el borde de la vasija.

Analizando el fenómeno, se reconoce fácilmente que es una consecuencia de la ley que rige los movimientos de las corrientes angulares; una mitad de la corriente circular atrae la corriente finita del conductor móvil, y la otra mitad la repele, contribuyendo ambas acciones á hacerle efectuar su rotación en sentido contrario al de la corriente circular. Si se hace el experimento de modo que la corriente de la pila recorra la bobina en el mismo sentido, pero llegando por el agua acidulada al circuito móvil y bajando, en vez de subir, por la columna central, el movimiento de rotación es inverso del precedente, como se podía prever.

## V

### ACCIÓN DE LA TIERRA SOBRE LAS CORRIENTES.—TEORÍA DEL MAGNETISMO DE AMPÈRE

Así pues, por una parte, las corrientes eléctricas actúan sobre los imanes y éstos sobre aquéllas; y por otra, las corrientes actúan unas sobre otras. De esto á asimilar los imanes á las corrientes no había más que un paso, y Ampère lo dió, aunque apelando á la práctica en comprobación de la teoría. Este físico descubrió que la Tierra misma

ejerce cierta acción sobre las corrientes; que si se abandona á sí mismo un circuito rectangular parecido al de la figura 206 y recorrido por una corriente eléctrica, el aparato gira alrededor de su eje vertical y se coloca espontáneamente en cruz con el meridiano magnético, dirigiéndose al Oeste la porción ascendente de la corriente y al Este la descendente. Pouillet ha demostrado, por medio de combinaciones ingeniosas, que una corriente vertical aislada, móvil alrededor de un eje paralelo á ella, se traslada por sí misma del Oeste al Este magnético según que sea ascendente ó descendente, al paso que la acción de la Tierra sobre los brazos horizontales del aparato de Ampère es nula. Basándose en estos hechos, ha construído Ampère aparatos astáticos, es decir, indiferentes á la acción del globo terráqueo. Basta para esto

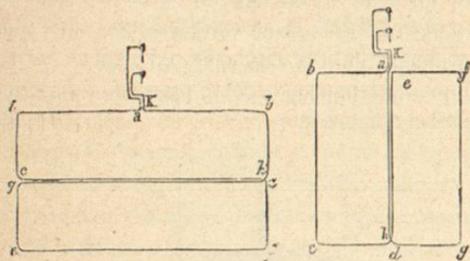


Fig. 206.—Conductores astáticos de Ampère

doblar los brazos de los conductores de modo que la acción sobre un brazo igual y paralelo, atravesado en opuesto sentido por la corriente, neutralice la acción magnética terrestre sobre cualquiera de dichos conductores. La figura 206 representa dos modelos de estos conductores astáticos. Dirigiendo entonces sobre ellos una corriente fija, colocada horizontalmente en dirección perpendicular al meridiano magnético, de Este á Oeste, vió que la acción de esta corriente era precisamente la misma que la de

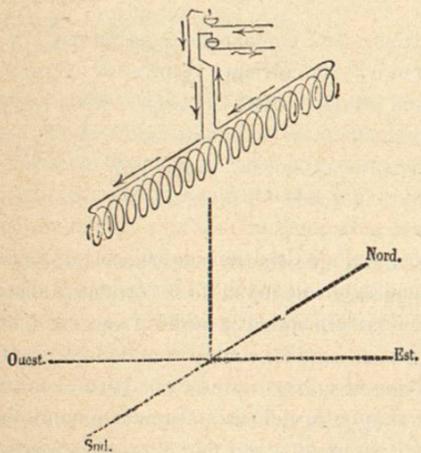


Fig. 207.—Dirección de un solenoide en el meridiano bajo la acción de la Tierra

la Tierra, de lo cual dedujo que la acción magnética de ésta sobre la aguja imanada proviene de las corrientes eléctricas que circulan sin cesar, bajo el horizonte, perpendicularmente al meridiano magnético y en dirección de Este á Oeste. Cualquiera que sea el número de estas corrientes, se las puede considerar como si compusieran una sola, y la experiencia demuestra que, en nuestras latitudes, su posición está al Sur.

Prosiguiendo Ampère estas generalizaciones, ha hecho ver que se puede asimilar un imán á un conjunto de corrientes circulares, verticales, paralelas entre sí y del mismo sentido. En efecto, la experiencia nos demuestra que estando suspendido libremente

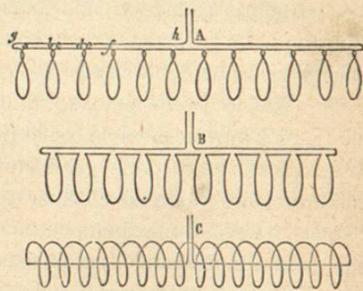


Fig. 208.—Solenooides de varias formas

este conjunto de modo que pueda girar en un plano horizontal, sometido á la acción de la Tierra, se sitúa por sí mismo en el meridiano magnético, obrando lo mismo que una aguja imanada. Véase cómo realizó Ampère lo que puede llamarse *hélice ó imán eléctrico*.

Cogió un alambre, y enrollándolo en un cilindro en espiras equidistantes, le dió la forma representada en la figura 207, pasando luego las dos extremidades del alambre longitudinalmente por encima de las espiras y doblándolas después de modo que todo ello pudiese girar libremente alrededor de un eje vertical. Hecho esto, empalmó las dos puntas del alambre á los reóforos de una pila. Cuando la corriente pasa en la dirección marcada por las flechas, el *solenóide*—tal es el nombre que Ampère dió al aparato (1)—

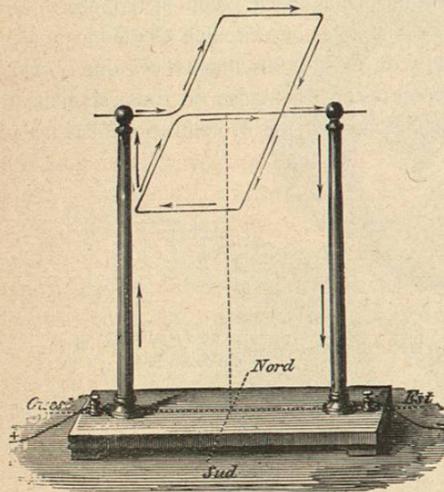


Fig. 209.—Inclinación de un elemento de solenoide bajo la influencia de la acción magnética terrestre

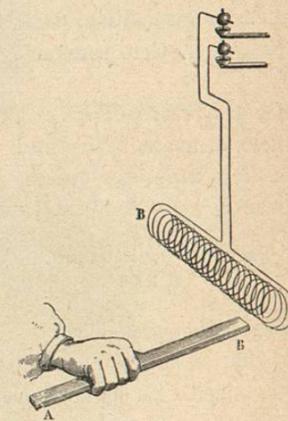


Fig. 210.—Acciones mutuas de los imanes y de los solenoides

se coloca en una posición de equilibrio estable; cada espira se halla en un plano vertical en dirección Este del Este al Oeste magnético, y el eje del solenoide coincide entonces con el meridiano magnético, como lo haría una aguja imanada. Si se cambia la dirección de la corriente, el solenoide cambia también de posición, y después de girar 180°, vuelve á ocupar la primitiva: su eje longitudinal está siempre en el meridiano magnético, pero el solenoide tiene ahora un extremo donde antes tenía el otro. Por último, un elemento de solenoide (fig. 209), suspendido de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje perpendicular al meridiano magnético, toma una inclinación precisamente igual á la de la aguja imanada.

Así pues, los imanes ordinarios y los solenoides, ó imanes eléctricos, actúan del mismo modo bajo la influencia de la acción magnética de la Tierra. Pero se ha llevado más allá la analogía. Ampère ha demostrado que los extremos ó polos de dos solenoides ejercen unos sobre otros atracciones y repulsiones de la misma naturaleza que las de los polos de los imanes; los del mismo nombre de los solenoides se repelen; los de

(1) En términos generales, se da el nombre de *solenóide* á todo sistema de corrientes circulares, iguales entre sí y del mismo sentido, dispuestas de modo que el eje que pasa por los centros de todos los círculos sea perpendicular ó normal al plano de cada una de ellas. Obtiénese este resultado de varios modos, y la figura 208 representa algunos.