

Algunos experimentos sencillos para entender algo más de magnetismo

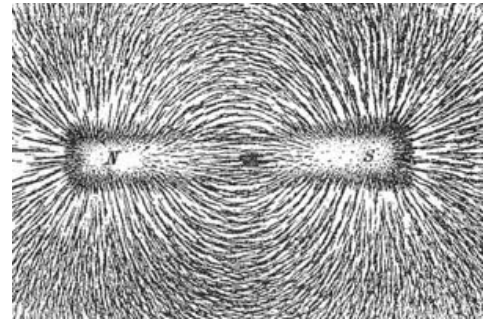
División Resonancias Magnéticas - Centro Atómico Bariloche

Feria del Libro - 20-28 Abril 2007

Breve introducción

El magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que se produce en algunas sustancias, especialmente aquellas que contienen hierro y otros metales como níquel y cobalto, fuerza que es debida tanto al movimiento de cargas eléctricas (electrones) como al movimiento intrínseco de los electrones (llamado espín) y la interacción entre electrones.

Cualquier objeto, por ejemplo una aguja de hierro, que exhibe propiedades magnéticas recibe el nombre de magneto o imán. Un imán tiene dos centros de magnetismo donde la fuerza se manifiesta con mayor intensidad, llamados polo Norte y polo Sur, dándose la circunstancia que polos del mismo signo se repelen mientras que polos de distinto signo se atraen. Unas líneas de fuerza magnética fluyen desde un polo hacia el otro, curvándose y rodeando al imán, denominándose campo magnético al área cubierta por estas líneas de fuerza.



Líneas de fuerza de un imán visualizadas mediante limaduras de hierro extendidas sobre una cartulina.

Visualización de líneas de campo magnético

Experimento I

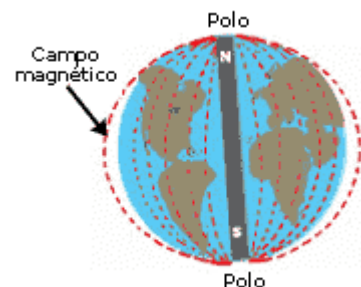
Si dispersamos limaduras de hierro entre dos placas de acrílico selladas y acercamos un imán permanente podremos visualizar las líneas de fuerza magnética que van de un polo al otro curvándose y rodeando al imán. Se denomina campo magnético al área cubierta por estas líneas.

Si un imán se rompe, cada una de las piezas tendrá sus propios polo Norte y Polo Sur. Es imposible aislar un único polo con independencia de lo pequeños que sean los fragmentos. La teoría no excluye la existencia de monopolos magnéticos pero en la práctica nunca se han encontrado. Como mencionamos anteriormente las cargas en movimiento producen un campo magnético. Es decir que no sólo los imanes permanentes son capaces de generar un campo magnético. La manera más sencilla de poner a los electrones en movimiento es hacerlos circular por un alambre conductor (por ejemplo con ayuda de una pila o una batería). El campo magnético que se genere en un punto dado del espacio dependerá básicamente de la corriente eléctrica que circule por el alambre y de la distancia entre el alambre y ese punto. Si se aplica un campo magnético sobre una partícula cargada en movimiento (o sobre una corriente eléctrica) se producirá una fuerza que tenderá a desviarla de su trayectoria. Esta fuerza se la conoce como Fuerza de Lorentz y es perpendicular tanto a la dirección del campo como a la de movimiento de la partícula.

¿Por qué gira la aguja de una brújula?

Magnetismo terrestre. El fenómeno del magnetismo terrestre se debe a que toda la Tierra se comporta como un gigantesco imán. Aunque no fue hasta 1600 que se señaló esta similitud, los efectos del magnetismo terrestre se habían utilizado mucho antes en las brújulas primitivas. El nombre dado a los polos de un imán (Norte y Sur) se debe a esta similitud.

Un hecho a destacar es que los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los polos geográficos de su eje. Las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran ligeros cambios de un año para otro, e incluso existe una pequeñísima variación diaria sólo detectable con instrumentos especiales. Notar que si la aguja de la brújula marcada con N apunta al Norte, esto indica que el polo Norte geográfico coincide con el polo Sur magnético de la tierra.



El valor del campo magnético terrestre depende de la posición en la que se lo mida, pero suele ser del orden de 0.5 Oersted (Oe - unidad de campo magnético)

La aguja de la brújula está construida de un material magnético (más correctamente ferromagnético) en general hierro o algún acero. Esta aguja está magnetizada de modo tal que el polo Norte está en uno de sus extremos y el Sur en el otro. El funcionamiento de la brújula se basa en la propiedad que tiene una aguja imantada de orientarse en la dirección norte-sur magnética de la tierra bajo la influencia del campo terrestre.

Experimento II

Un imán permanente tiene el mismo efecto sobre una brújula que el del campo magnético terrestre. Por lo tanto si colocamos la brújula entre dos imanes enfrentados con polaridades opuestas su aguja tenderá a alinearse según las polaridades de los imanes. El campo magnético de un imán permanente depende del tipo de material con el que esté fabricado. En algunas aleaciones especiales (por ejemplo NdFeB - Neodimio-Hierro-Boro) el campo magnético alcanza varios miles de Oe cerca de su superficie.

PREGUNTA: ¿Qué les parece que sucederá si ponemos una brújula entre dos imanes enfrentados con polaridades iguales?

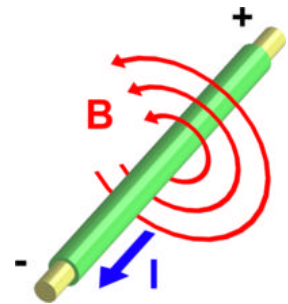
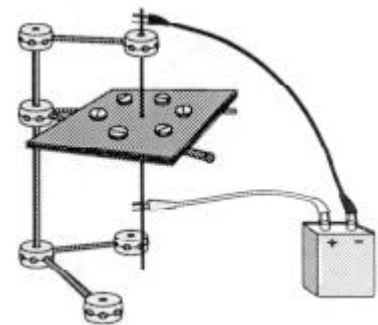
Algo que conviene destacar es que TODOS los materiales son de una u otra forma magnéticos. Algunos presentan una propiedad particular (llamada ferromagnetismo) que hace que las fuerzas de atracción y repulsión que se producen sean lo suficientemente grandes como para detectarlas con nuestros sentidos. El resto de los materiales puede clasificarse en dos grandes grupos: Paramagnéticos y Diamagnéticos según sean atraídos o repelidos por las regiones en donde hay grandes variaciones de campo magnético. Las fuerzas presentes en estos casos son mucho más pequeñas y en general sólo pueden detectarse con instrumentos especiales. Dentro de los materiales ferromagnéticos también pueden distinguirse tres grandes grupos de acuerdo a sus propiedades físicas y a las aplicaciones que tengan. Los materiales "magnéticamente duros" son muy difíciles de magnetizar y conservan su magnetización. Se utilizan en general como imanes permanentes cuando se requiere un campo magnético que perdure en el tiempo. Los "blandos" (por ejemplo aleaciones de FeSi) se magnetizan muy fácilmente aunque no conservan la magnetización. Su campo de aplicación es en los núcleos de transformadores eléctricos. En el medio de estos dos grupos están los materiales que se usan para grabación magnética, que conservan la información en el tiempo y no son muy difíciles de magnetizar.

La corriente eléctrica también produce un campo magnético

Experimento III

Para verificar que una corriente eléctrica también produce un campo magnético se puede realizar un experimento sencillo como el que se muestra en la figura. Se conecta una batería de 12V a un cable o alambre de cobre montado en forma vertical y se pone un foco de automóvil en serie para limitar la corriente y no descargar la batería en pocos segundos. Sobre el soporte de madera se colocan varias brújulas de modo de poder sentir la orientación del campo magnético.

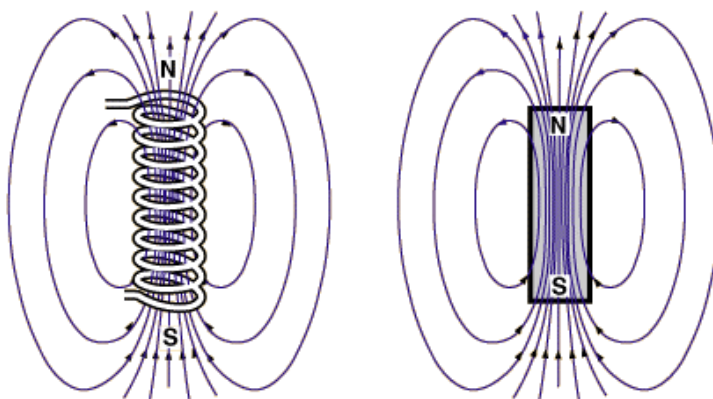
- ¿En qué dirección apuntan las brújulas cuando no circula corriente por el cable?
- ¿Qué sucede cuando se conecta el cable a la batería? ¿Las agujas de las brújulas se orientan al azar o quedan en alguna posición bien determinada? ¿Qué pasa si se las aleja del cable?
- Si invertimos la conexión de los cables a la batería ¿Qué sucede con las brújulas?



Construcción de un electroimán

A diferencia de un imán permanente un alambre conductor sólo genera un campo magnético si circula una corriente por él. Con el experimento anterior vimos que el campo alrededor de un alambre conductor es circular, con el centro de la circunferencia en el eje del alambre. Si doblamos el alambre de modo de formar una espira circular el campo magnético en el centro de la espira será perpendicular a la espira y las líneas de

campo se irán doblando para cerrarse a medida que nos alejamos del centro. Si apilamos varias espiras podemos formar un solenoide (o bobina) con la configuración de campo magnético que se ve en la figura. Este solenoide se comporta de la misma manera que un imán permanente y el sentido del campo magnético queda determinado por el sentido en que circula la corriente eléctrica utilizando la regla de la mano derecha y el pulgar.



Fuerza de interacción entre un solenoide y un imán permanente

Experimento IV

Con un experimento muy sencillo podemos verificar que existe fuerza magnética entre una bobina y un imán permanente. Se realiza un arrollamiento de un alambre de cobre aislado y se conecta a una batería. Al acercarse un imán permanente veremos que existe una fuerza atractiva o repulsiva según el polo que acerquemos. Si invertimos el sentido de circulación de la corriente la fuerza cambia de signo si era atractiva pasa a ser repulsiva. La intensidad del campo magnético que genera un solenoide depende de la corriente eléctrica que circula por él y por el número de espiras, pero para las corrientes usuales que pueden obtenerse con una batería no supera algunas centenas de Oersted.

Es muy común agregar un núcleo de hierro dentro de la bobina para obtener campos magnéticos mucho más intensos (hasta 20000 Oe o más).

Este incremento del campo puede verificarse con un experimento muy sencillo. Además de una bobina y una barra de hierro que entre en ella, hacen falta algunos clips. Primero se conecta la bobina sin el núcleo de hierro, se acerca a los clips y se anota cuántos quedan pegados a la bobina. Se vuelve a repetir el experimento ahora con el hierro dentro de la bobina.

PREGUNTA: ¿Cuántos clips más quedaron pegados en el segundo caso? ¿A qué se debe?

Fuerza de Lorentz

Otra forma de probar la fuerza que existe entre un imán permanente y una corriente eléctrica (es decir la fuerza de Lorentz) es realizar el experimento que se describe a continuación:

Experimento V

Se realiza un arrollamiento de unas 20 vueltas de alambre de cobre (diámetro 0.2 mm) de forma cuadrada (~5 cm de lado). Los dos extremos del alambre se montan sobre una base de madera de modo que la bobina pueda moverse. En el extremo opuesto se ubica un imán permanente con el campo en la dirección horizontal y perpendicular al sentido de circulación de la corriente eléctrica. Veremos que al conectar el alambre a la batería este tiende a subir o a bajar según la polaridad de la batería. Como ya mencionamos esta interacción se denomina fuerza de Lorentz y tiene que ver esencialmente con la interacción entre el campo y las partículas cargadas que circulan por el cable.

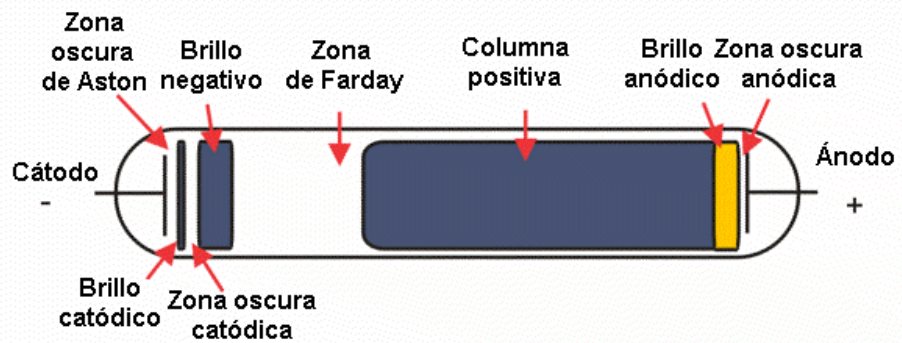
En el experimento anterior mostramos que existe una fuerza entre un alambre por el que circula una corriente y el campo magnético de un imán permanente.

Experimento VI

Una forma mucho más gráfica de ver la interacción entre cargas en movimiento y un campo magnético es acercarse un imán permanente a un tubo de descarga gaseosa. El ejemplo más conocido de este tipo de tubos son las luces de neón. Un tubo de vidrio se llena con un gas a una presión baja (algunos Torr) y se le aplica una tensión continua de algunos kilovolts. Esta tensión es suficiente como para arrancar electrones de los átomos o moléculas del gas que al perder energía emiten la energía recibida en forma de luz visible. Si

acercamos un imán a la corriente de iones veremos que la columna brillante es desviada en una dirección perpendicular al campo y a la dirección de movimiento de las partículas.

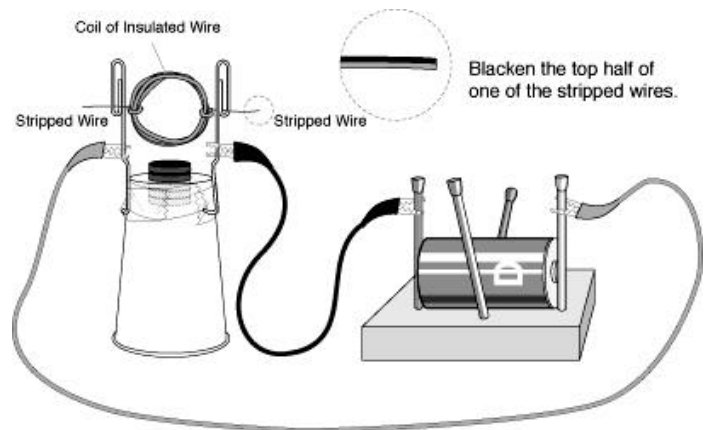
NOTA: este experimento es peligroso debido a las altas tensiones que se utilizan. Hay que tener especial atención en no tocar los extremos del tubo para no recibir una descarga.



Motor de corriente continua

Experimento VII

El fenómeno de interacción entre solenoides e imanes permanentes puede utilizarse para fabricar un motor eléctrico de corriente continua. En la Figura se muestra el esquema de construcción que aprovecha el hecho de que existe una atracción (o repulsión) entre el solenoide y el imán permanente. Si se interrumpe el paso de corriente cuando el solenoide está girando para alinearse con el imán, este seguirá girando porque se "apaga" la interacción. Esto puede lograrse si se asila la mitad de uno de los contactos eléctricos.



Parlante de audio

Experimento VIII

El mismo fenómeno de interacción magnética entre bobinas e imanes permanentes se utiliza para hacer funcionar algunos tipos de parlantes de audio (sobre todo los que reproducen sonidos graves y medios). En este caso la señal eléctrica que llega del equipo de audio no es continua, sino que varía en el tiempo de positiva a negativa (y viceversa) de acuerdo a las frecuencias del sonido que la componen. Por lo tanto la fuerza entre la bobina y el imán permanente cambiará de signo de acuerdo a la señal eléctrica. Si la bobina se fija a un cono de papel producirá un movimiento mecánico que transformará la señal eléctrica en sonido audible.

INDUCCIÓN DE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA EN UNA BOBINA

Todos los fenómenos de interacción entre imanes y cargas eléctricas descriptos hasta el momento son "estáticos" es decir persisten en el tiempo y son debidos a la Fuerza de Lorentz. Sin embargo existen otros efectos llamados "dinámicos" que ocurren cuando un imán permanente y una bobina (o incluso un metal) están en movimiento relativo.

La manera más sencilla de observar este fenómeno es realizar el siguiente experimento:

Inducción en un rollo de cable

Experimento IX

Tomar un rollo de cable de electricidad y conectar un amperímetro (es decir un medidor de corriente eléctrica) entre sus dos extremos. Veremos que la posición de la aguja queda en cero, indicando que no circula ninguna corriente (¡¡como era de esperar !!). Si hacemos pasar rápidamente un imán permanente de

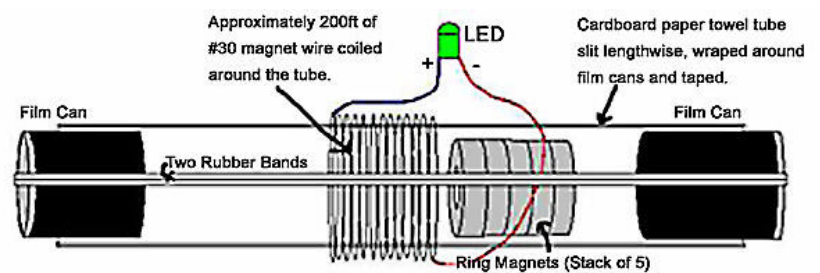
lado a lado por el hueco del rollo veremos que la aguja del amperímetro se aparta del cero. Prestando algo más de atención podremos ver dos cosas: 1) cuanto más rápido movamos el imán más alta es la corriente inducida. 2) el signo de la corriente es distinto cuando el imán entra que cuando el imán sale.

Este fenómeno se lo conoce como la ley de Faraday-Lenz y nos dice que por el movimiento del imán permanente se crea sobre la bobina una corriente eléctrica que a su vez genera un campo magnético opuesto al campo del imán. Es decir: cuando queremos hacer entrar al imán se induce una corriente en la bobina que tiende a repelerlo y cuando ya atravesamos la bobina la corriente cambia de signo y el campo generado atrae al imán.

Linterna "mágica"

Experimento X

Una aplicación sencilla del fenómeno descrito más arriba es la llamada linterna "mágica". Si en el experimento anterior reemplazamos el amperímetro por una lamparita, podemos ver que cada vez que el imán pasa a través de la bobina la lámpara se enciende. Agregando un capacitor (acumulador de carga) y algunos diodos (dejan circular la corriente en un sólo sentido) es posible lograr que la lámpara permanezca encendida varios segundos luego de haber "sacudido" el imán por la bobina. Es decir tenemos una linterna que funciona sin batería!



PREGUNTA: La linterna evidentemente no es "mágica", sino que necesita energía para funcionar. ¿De dónde sale la energía que hace prender la lamparita?

Guitarra o Bajo Eléctrico

Si se hace vibrar una cuerda tensa se provoca una oscilación periódica de una frecuencia bien definida que depende de las características de la cuerda. La frecuencia de oscilación fundamental tiene los nodos en los extremos de la cuerda y depende de la masa μ , del largo L y de la tensión T que se le aplica a la cuerda. Las cuerdas más tensas y más livianas oscilan a mayor frecuencia ($f = 2/L \sqrt{T/\mu}$). Además de la frecuencia fundamental existen armónicos de mayor frecuencia (es decir hay nodos intermedios) que le dan el sonido característico a cada instrumento. En las guitarras clásicas el sonido se amplifica en el cuerpo de la guitarra que actúa como caja de resonancias. En las guitarras eléctricas, en cambio, se hace vibrar una cuerda ferromagnética sobre una bobina llamada pastilla que transforman la vibración en una señal eléctrica. Las pastillas electromagnéticas (o pickup en inglés) están formadas por un imán permanente rodeada por un bobinado de alambre de cobre. Cuando la cuerda se mueve dentro del campo magnético del imán permanente se provoca una corriente inducida en el bobinado proporcional a la amplitud del movimiento y de frecuencia igual a la de la oscilación del cuerpo.

Experimento XI

Para hacer el experimento necesitamos una cuerda de guitarra eléctrica (son metálicas), una bobina de alambre fino (con muchas vueltas), un imán permanente que haga de núcleo de la bobina y un par de parlantes de una PC. La cuerda debe estirarse y tensarse en algún tipo de soporte. La hacemos vibrar y le acercamos la bobina detectora que a su vez está conectada a los parlantes. El sonido de la cuerda es apenas audible al vibrar en el aire, pero se escucha claramente en los parlantes. Tocando diferentes partes de la cuerda es posible variar la frecuencia de oscilación.

Caída libre en un tubo

Experimento XII

Otra forma de verificar el fenómeno de inducción de corriente eléctrica por un campo variable es el de caída libre por un tubo. En este experimento se compara el tiempo de caída de un objeto no magnético con el de un imán permanente por un tubo. Primero se hacen caer ambos por un caño plástico y se verifica que el tiempo de caída es prácticamente el mismo. Luego se hacen caer por un caño metálico no magnético (preferiblemente de cobre o aluminio) y se observa lo que sucede.



Antes de realizar la experiencia puede uno preguntarse qué sucederá con el tiempo de caída del imán y del objeto no magnético. Las respuestas posibles son 3:

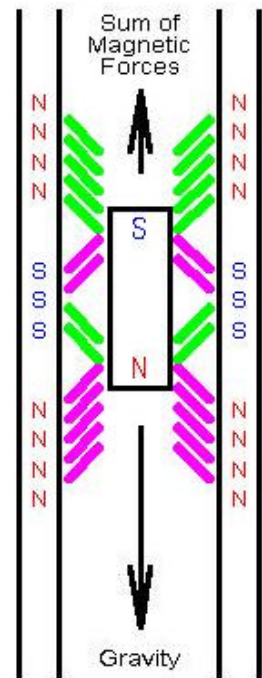
- Tardarán lo mismo porque la fuerza gravitatoria acelera a todos los cuerpos de la misma forma independiente de su masa.
- Tardará menos el objeto magnético pues el campo magnético terrestre lo atrae. (¿y si lo doy vuelta tarda más?)
- Tardará algo más el imán pues cae con la cara plana y ofrece más resistencia al aire.

Evidentemente luego de realizada la experiencia quedará claro que las tres respuestas son incorrectas. El imán cayendo por el tubo metálico tarda mucho tiempo más debido al fenómeno de inducción. Al caer por el tubo metálico el imán induce una corriente eléctrica que a su vez produce un campo magnético que se opone a la caída. Este campo magnético produce una fuerza que contrarresta parcialmente la fuerza gravitatoria.

Otra variante de este experimento consiste en hacer deslizar distintos objetos (entre ellos un imán permanente) por un plano inclinado (metálico y aislante). Nuevamente pueden realizarse las mismas preguntas que en el caso anterior, y seguramente ahora se tendrá la respuesta correcta.

Este experimento tiene una variante interesante cuando el plano inclinado es angosto respecto al tamaño del imán. Por ejemplo puede utilizarse una chapa de aluminio de 60-70 cm de largo, 5 de ancho y 3 o 4 mm de espesor. Si se hace rodar un imán cilíndrico se puede ver que cuando se acerca a los extremos de la chapa tiende a girar hacia el centro.

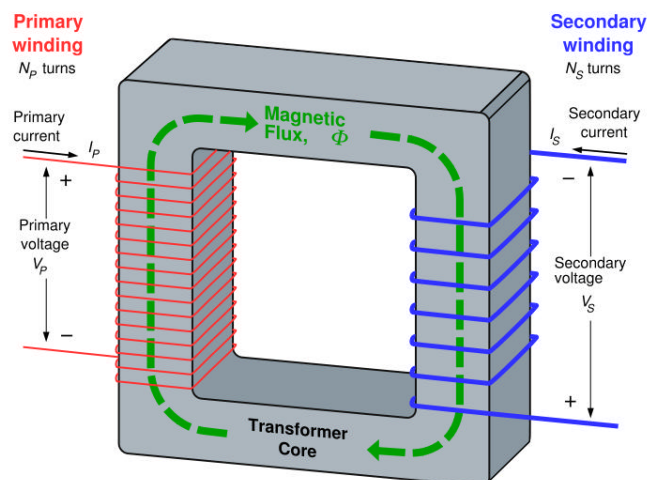
PREGUNTA ¿Cómo se explica este comportamiento?



Transformador Eléctrico

Uno de los usos más comunes de la ley de Lenz es en los transformadores eléctricos que permiten variar la tensión de entrada en un circuito de corriente alterna manteniendo la frecuencia. Los transformadores son dispositivos basados también en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas se denominan primario y secundario según correspondan a la tensión de entrada o de salida, respectivamente.

Si se aplica una tensión alterna en el primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la



corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

En un transformador ideal en el que el acople entre los circuitos primario y secundario es perfecto la relación entre la tensión aplicada en el circuito primario (V_p) y la inducida en el secundario (V_s) es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s): $V_p/V_s=N_p/N_s$.

Experimento XIII

NOTA: Este experimento es algo más complicado y peligroso que los anteriores. Requiere cuidado pues se trabaja con 220 V y hay riesgo de electrocución.

Se deben fabricar dos bobinas con alambre de cobre de 0.3 mm de diámetro. El primario lleva unas 20000 vueltas y el secundario unas 5000 sobre un carrete de 2 cm de diámetro. El primario se conecta a 220 V y se coloca un núcleo de hierro dulce en el centro. Sobre el secundario se pueden colocar algunos LEDs o un motor pequeño. Se observa que cuando el secundario está alejado del primario no se encienden los LEDs. Sin embargo a medida que lo acercamos la intensidad aumenta y al estar en contacto próximo empieza a funcionar el motorcito.

Anillo de Thompson

Un experimento en el que aparecen tanto la fuerza de Lorentz como el principio de inducción es el llamado "Anillo de Thompson". Consiste en una bobina con núcleo de hierro sobre la que se aplica una tensión alterna. El núcleo debe sobresalir de la bobina y sobre él se monta una arandela metálica de aluminio o cobre (¡debe ser un buen conductor eléctrico!). Al encender la bobina se observa que la arandela flota en el aire. El fenómeno se debe por un lado a que la componente vertical del campo variable induce una corriente sobre la arandela que se opone al campo. Esa corriente interactúa con la componente radial del campo de la bobina de modo que se produce una fuerza en la dirección vertical y hacia "arriba". La fuerza siempre tiene el mismo sentido porque cuando cambia el sentido del campo de la bobina también cambia el sentido de la corriente inducida y el producto de ambos mantiene el signo.

Experimento

Utilizamos la bobina y el núcleo de hierro del experimento anterior. Hace falta una arandela de aluminio (por ejemplo de una lata de gaseosa) que no sea muy pesada. Al aplicar tensión en la bobina observamos que la arandela se eleva.

PREGUNTAS que pueden realizarse: ¿Qué pasa si cortamos la arandela?. ¿Qué pasa si ponemos dos arandelas?

USOS DEL MAGNETISMO EN LA VIDA DIARIA:

Imanes permanentes: auriculares, parlantes de equipos de audio, computadora, teléfonos, timbres ding-dong, Imanes de heladera, cierre de la heladera, transformadores de tensión, cinta magnética en la tarjeta de crédito, diskettes, discos rígido, cassettes y videocassettes (tanto el medio que guarda la información como el equipo que la lee), imanes para sostener las cortinas de baño, portero eléctrico, etc.

Motores: Prácticamente TODOS los aparatos eléctricos que producen algún movimiento mecánico funcionan a partir de alguna de las propiedades descritas más arriba.

LISTADO DE MATERIALES PARA LOS DISTINTOS EXPERIMENTOS:

Experimento I: Visualización de las líneas de fuerza magnética

Dos placas de acrílico de 10 cm x 10 cm. Limaduras de hierro (pueden obtenerse pasando un trozo de hierro por la amoladora), pegamento. Imán permanente

Experimento I: Alineación de una brújula en el campo generado por dos imanes permanentes.

Brújula, dos imanes permanentes

Experimento II: Alineación de una brújula en el campo generado por corriente eléctrica.

6 brújulas pequeñas (o las que consigan), cable o alambre de electricidad grueso (de 3mm² de sección o más), batería de 12V (como la de las alarmas hogareñas o las UPS), lámpara de 12V (dicróica o de automóvil), base de madera, cables con pinzas cocodrilo.

Experimento III: Interacción entre un solenoide y un imán permanente.

Alambre de cobre para bobinado (de 0.25mm² de sección aproximadamente), tubo plástico para bobinar el cobre, imán permanente que entre en el tubo plástico, barra de hierro que entre en el tubo plástico, batería de 12V, algunos clips para papel metálicos.

Experimento IV: Fuerza de Lorentz

Alambre de cobre para bobinado (de 0.2 mm² de sección aproximadamente, imán permanente, batería de 12V, base de madera para montaje.

Experimento V: Tubo de descarga gaseosa (para hacer con algún amigo investigador...)

Un tubo de vidrio de 12 mm de diámetro y unos 30 cm de largo. Se deben soldar dos electrodos de tungsteno y vaciarlo hasta ~1 Torr. Una fuente de tensión continua de 2-3 kV. Un imán permanente.

Experimento VI: Motor de corriente continua

Alambre de cobre para bobinado (de 0.5 - 1mm² de sección aproximadamente), batería de 12V, cables con pinzas cocodrilo.

Experimento VII: Parlante de audio

Alambre de cobre para bobinado (de 0.25mm² de sección aproximadamente), imán permanente, papel, radio con salida de auriculares, conector de audio.

Experimento VIII: Inducción de corriente eléctrica en una bobina

Rollo de cable de electricidad (no importa mucho la sección), amperímetro de aguja (que pueda medir algunas decenas de microamperes), imán permanente.

Experimento IX: Linterna mágica

Alambre de cobre para bobinado (de 0.1mm² de sección o menos), tubo plástico para bobinar el cobre (por ejemplo un tubo de sifón), imán permanente del diámetro interno del tubo, lamparita tipo LED. Si se desea que persista prendida hará falta un capacitor y algunos diodos.

Experimento X: Guitarra eléctrica

Cuerda de guitarra de metal, estructura para montar la cuerda tensa, bobina de alambre fino (similar a la de la linterna mágica), imán permanente, parlantes de audio de una Pc

Experimento XI: Inducción magnética en un tubo

Caño metálico (si es de cobre mejor), caño plástico del mismo diámetro, imán permanente del tamaño interno de los caños. Para la variante en el plano inclinado: Chapa de aluminio de 60-70 cm de largo, 5 cm de ancho y 3-4 mm de espesor, imán permanente en forma de cilindro.

Experimento XII: Transformador de tensión ac y anillo de Thompson

Dos bobinas con aproximadamente 10000 y 5000 vueltas de alambre de cobre de 0.3mm. Barra de hierro para núcleo de las bobinas. Arandelas de aluminio o cobre. Algunos LEDs, ventilador de PC (microprocesador), motor pequeño, etc.

DECÁLOGO DEL MAGNETISMO

1. El polo norte de los imanes apunta al norte geográfico y el polo sur al sur.
2. Polos iguales se repelen, polos distintos se atraen.
3. Las fuerzas magnéticas atraen o repelen a todos los materiales.
4. La fuerza magnética actúa a distancia.
5. Los materiales ferromagnéticos pueden o no actuar como imanes permanentes.
6. Un cable por el que circula una corriente eléctrica genera un campo magnético.
7. Un material ferromagnético dentro de una bobina incrementa notablemente el campo magnético.
8. Un campo magnético que cambia en el tiempo induce una corriente eléctrica en un material conductor.
9. Una partícula cargada moviéndose en un campo magnético siente una fuerza perpendicular al campo y a la dirección de movimiento.
10. Un cable por el que circula corriente inmerso en un campo eléctrico siente una fuerza en una dirección perpendicular al campo y al cable.

Sitios de Internet de referencia

<http://inicia.es/de/vuelo/INS/INS29.html>,

http://www.exploratorium.edu/snacks/circles_magnetism_I.html,

<http://my.execpc.com/~rroadley/magindex.htm>,

<http://www.arborsci.com/CoolStuff/cool7.htm#forever>

<http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/fisica/electymagne/teoria/elecsmagnet/induccin/anillo/anillo1/anillo1.htm>