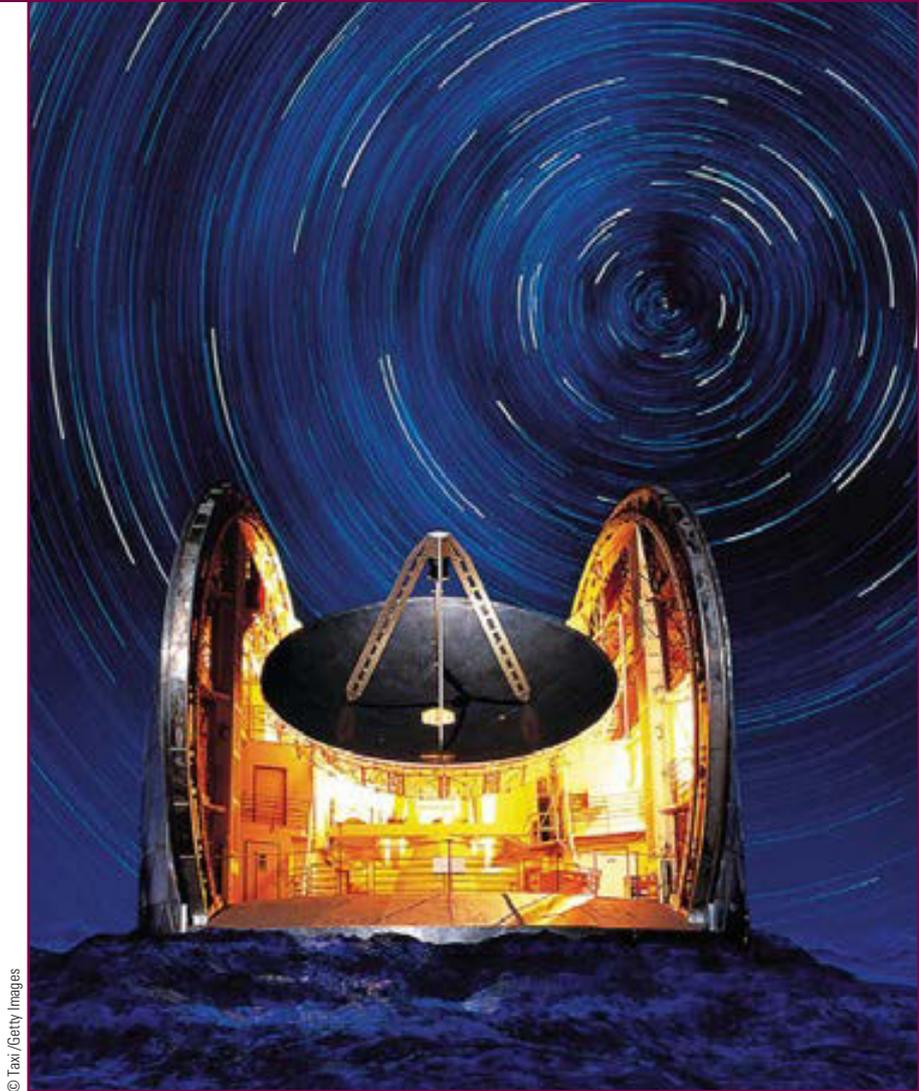


12 Electromagnetismo

Durante el siglo XIX, los científicos descubrieron que la electricidad y el magnetismo no eran fenómenos separados, sino dos aspectos diferentes de algo llamado electromagnetismo. El electromagnetismo hace estallar el maíz en nuestros hornos de microondas y hace posible que veamos la televisión mientras disfrutamos nuestras palomitas de maíz. ¿Cuál es esta conexión entre la electricidad y el magnetismo?

(Consulte la respuesta a esta pregunta en la página 240.)



© Taxi/Getty Images

Un radiotelescopio explora el cielo sobre Hawai.

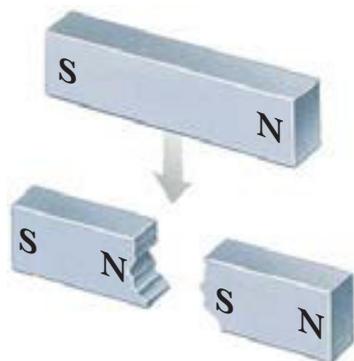


Figura 12-2 La división de un imán produce dos imanes más pequeños, cada uno con ambos polos.

Suponga que intenta separar los polos al romper un imán por la mitad. Obtiene dos imanes, y cada uno de estos imanes nuevos tiene dos polos (figura 12-2). Si, a su vez, divide cada uno de éstos a la mitad, obtiene cuatro imanes, y así sucesivamente. Incluso si los sigue dividiendo hasta el nivel atómico, siempre obtiene imanes con dos polos. No parece posible aislar un polo magnético único, un **monopolo magnético**. Se han efectuado muchas búsquedas extensas de monopolos magnéticos. Aunque las teorías actuales establecidas no han descartado la existencia de un monopolo magnético, todas las búsquedas han terminado en fracasos y no parece probable que se descubra uno. Es muy probable que al descubridor de un monopolo magnético le otorgaran el premio Nobel.

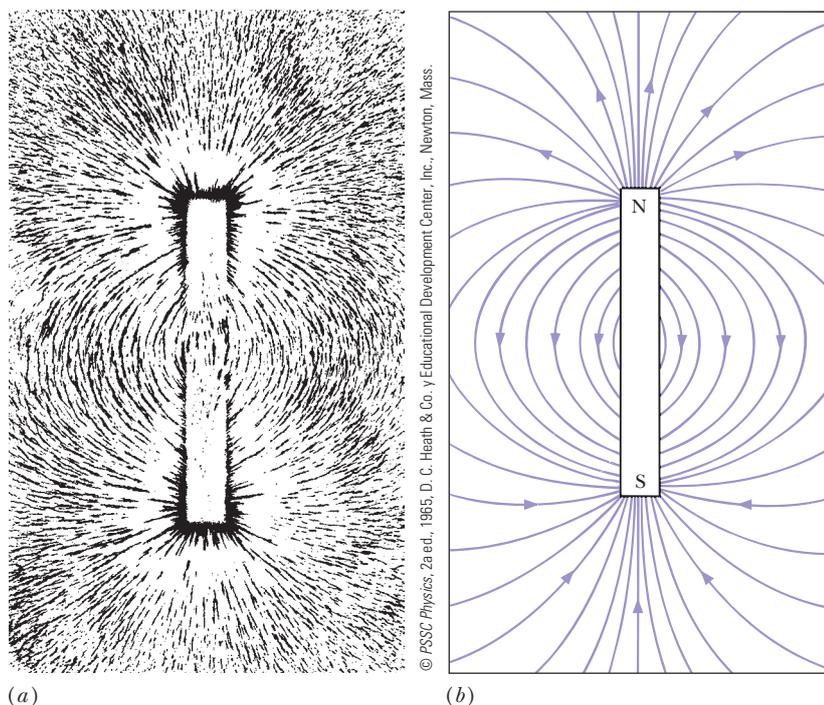
Al designar los extremos, o polos, de los imanes, utilizamos la observación de que un imán que se balancea libremente se alinea sobre la dirección norte-sur. El extremo que apunta al norte se llama *norte*, y el otro, *sur*. Las brújulas utilizadas para la navegación sencillamente son imanes diminutos que giran libremente. Los imanes se han utilizado como brújulas desde el siglo XI, pero no fue hasta el año 1600 que William Gilbert, un físico inglés, planteó que funcionan porque la Tierra misma es una piedra imán gigante. Gilbert incluso dio forma esférica a un pedazo de piedra imán para mostrar que una brújula colocada cerca se comportaba igual que en la Tierra.

FÍSICA | HÁGALO USTED MISMO

Puede hacer una brújula sencilla al magnetizar una aguja de costura y colocarla sobre un corcho que flote sobre un vaso con agua. La aguja se magnetiza al frotarla con un imán.

Los imanes están rodeados por **campos magnéticos** del mismo modo que las cargas eléctricas están rodeadas por campos eléctricos. Estos campos magnéticos se detectan mediante una brújula pequeña. La dirección de un campo magnético en un punto específico es la dirección en la que apunta el polo norte de la brújula cuando se coloca en este punto, y la torsión que alinea la brújula es una medida de la intensidad del campo magnético. La fotografía de la figura 12-3 (a) se obtuvo al

Figura 12-3 (a) La limadura de hierro se alinea sobre las líneas del campo magnético que rodean un imán en barra. (b) El dibujo indica la dirección del campo magnético fuera del imán.



(a)

(b)

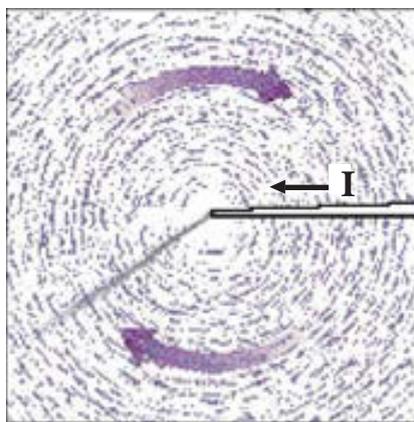
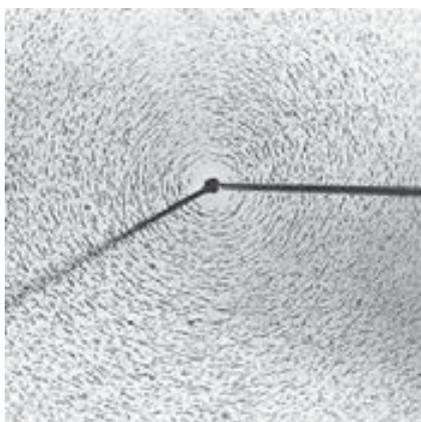


Figura 12-4 (a) La limadura de hierro muestra que las líneas del campo magnético que rodean un cable recto que transporta corriente son círculos que rodean el cable. La sombra oscura a la izquierda es la sombra del cable. (b) El diagrama muestra la dirección del campo magnético para una corriente que se aleja de usted (se dirige hacia dentro de la página).

espolvorear limadura de hierro sobre un pedazo de vidrio colocado sobre una barra magnética. La limadura de hierro se alinea en la dirección del campo magnético.

Pregunta ¿Cómo cambiaría la fotografía de la figura 12-3 si se invirtieran los polos del imán?

Respuesta La fotografía no cambiaría porque la limadura de hierro no indica en qué sentido apunta el campo.

Corrientes eléctricas y magnetismo

Aunque la electricidad y el magnetismo se conocen desde hace siglos, no se estableció ninguna relación entre los dos fenómenos hasta el siglo XIX. En 1820, Hans Christian Oersted, un científico danés, descubrió una conexión mientras efectuaba una demostración: la aguja de una brújula experimenta una fuerza cuando se acerca a un cable que transporta corriente. Esto significa que el cable que transporta corriente produce un campo magnético en el espacio circundante. El descubrimiento resultó fascinante pero no obstante, confuso. Se sabía que las cargas inmóviles no producían campos magnéticos, de modo que el movimiento de las cargas debe producir el campo. La fotografía de la figura 12-4 (a) exhibe que las líneas del campo magnético forman círculos respecto al cable.

La dirección del campo magnético se obtiene con la regla de la mano derecha: si toma el cable mientras el pulgar de su mano derecha apunta en la dirección de la corriente, sus dedos forman un círculo alrededor del cable en la dirección del campo magnético, como se aprecia en la figura 12-5.

Al doblar el cable se producen diferentes esquemas del campo. Por ejemplo, en la figura 12-6 se presenta el campo magnético de un circuito circular del cable. Las contribuciones al campo magnético desde cada segmento del cable se suman dentro del circuito para producir un campo que apunta hacia dentro de la página. La incorporación de más circuitos para formar la estructura cilíndrica llamada *solenoides* (figura 12-7), produce un campo magnético similar al imán de barra de la figura 12-3. El campo magnético dentro del solenoide es relativamente intenso y bastante uniforme, excepto cerca de los extremos.

Observaciones como éstas llevaron al físico francés André Ampère a sugerir que *todos* los campos magnéticos se originan en circuitos con corriente. Ahora cree-

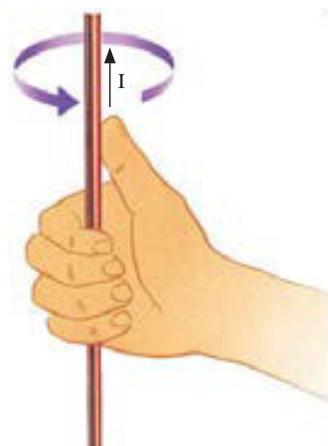


Figura 12-5 La dirección del campo magnético se determina mediante la regla de la mano derecha. Si su pulgar apunta en la dirección de la corriente, sus dedos forman un círculo alrededor del cable en la dirección del campo.

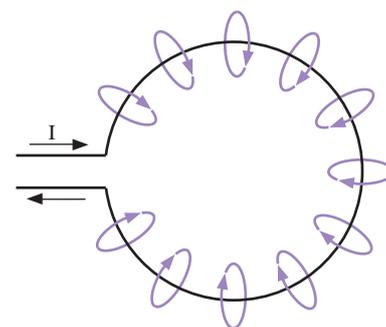


Figura 12-6 El campo magnético de este circuito único de cable apunta hacia dentro de la página dentro del circuito y hacia fuera de la página fuera del circuito.

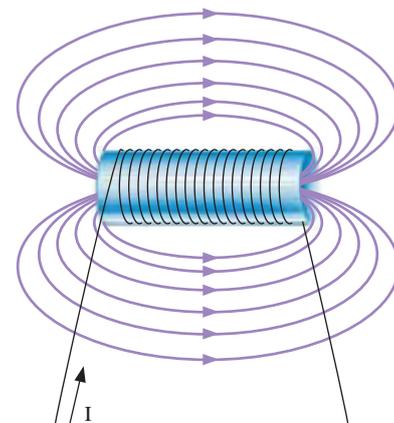


Figura 12-7 El campo magnético de un solenoide es similar al de un imán de barra.

mos que el magnetismo se origina en los circuitos con corriente a nivel atómico. En un modelo simplificado del átomo, visualizamos que estas corrientes surgen de los electrones que orbitan los núcleos atómicos o que giran sobre sus ejes. La superposición de estos campos magnéticos atómicos determina las propiedades magnéticas macroscópicas de un objeto. Si sus orientaciones son aleatorias, los objetos no tienen una magnetización neta; si están alineados, los objetos están magnetizados.

Preparación de imanes

Igual que una carga eléctrica, nuestro universo está lleno de magnetismo. Normalmente no percibimos el magnetismo debido a la orientación aleatoria de los circuitos con corriente atómicos. Sin embargo, los átomos se alinean ante la presencia de un campo magnético. En casi todos los materiales, este alineamiento desaparece cuando se elimina el campo magnético. Sin embargo, en algunos materiales los átomos permanecen alineados y, por lo tanto, conservan su magnetismo macroscópico.

Un pedazo de hierro se magnetiza al colocarlo en un campo magnético fuerte, al frotarlo con un imán, o al golpearlo mientras está en un campo magnético. Si se golpea una barra de hierro apoyada en el suelo verticalmente se magnetizará porque el campo magnético de la Tierra tiene un componente vertical. Puede comprobar la magnetización resultante al sostener una brújula cerca de la parte superior y la parte inferior de un objeto metálico, como un archivero. El abrir y cerrar de los cajones del archivero funciona como un golpe; el campo magnético de la Tierra hace el resto. La figura 12-8 presenta la orientación de una brújula cerca de la parte superior y la parte inferior de un archivero. Por otra parte, un objeto de hierro que ha sido magnetizado puede perder su magnetismo si se deja caer, porque el impacto tiende a volver aleatorio el alineamiento de los átomos. El calentamiento del objeto también vuelve aleatorios los campos magnéticos atómicos.

FÍSICA | HÁGALO USTED MISMO

Magnetice una barra de hierro al alinearla con el campo magnético de la Tierra y golpear uno de sus extremos con un martillo. En Estados Unidos, el campo magnético de la Tierra apunta hacia el norte y hacia abajo. Debido a que el campo de la Tierra tiene un componente vertical, la barra también se magnetiza al rebotar su extremo sobre una superficie dura.

Figura 12-8 Los campos magnéticos cerca de la parte superior e inferior de un archivero metálico apuntan en direcciones opuestas.





© Dembinsky Photo Associates

Un electroimán grande sirve para trasladar los contenedores sobre una embarcación.



Figura 12-9 Se puede construir un electroimán muy sencillo con un clavo y un poco de cable.

Se construye un imán versátil al envolver un cable sobre un centro de hierro y conectar los extremos del cable a una batería, como se aprecia en la figura 12-9. Cuando pasa una corriente por la bobina del cable, genera un campo magnético sobre el eje de la bobina. El campo magnético que se induce en el hierro se suma al del solenoide, lo cual aumenta la fuerza del campo magnético. Estos **electroimanes** son muy útiles porque se pueden activar y desactivar, la fuerza del campo se modifica al variar la corriente, y pueden producir campos magnéticos muy grandes. Los electroimanes sirven para tareas como mover automóviles o separar desperdicios de hierro de metales no magnéticos.

El ampere

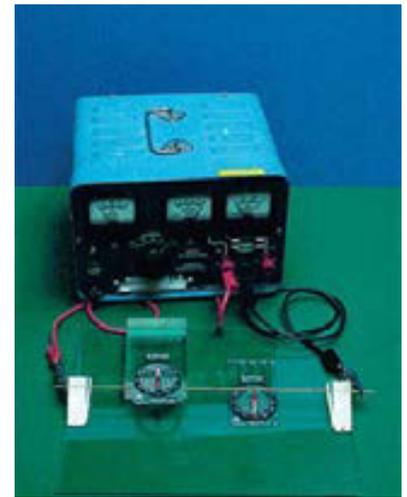
Un cable que transporta corriente ejerce fuerzas sobre las agujas de una brújula (figura 12-10). Por lo tanto, según la tercera ley de Newton, un imán debe ejercer una fuerza sobre el cable. Este efecto pronto se verificó mediante un experimento. Un cable entre las mordazas de un imán de herradura grande salta de la abertura cuando se activa la corriente (figura 12-11). Esta fuerza es más grande cuando el cable está perpendicular al campo magnético. La fuerza en el cable siempre es perpendicular a éste y hacia el campo magnético.

Estas experiencias indican que dos cables que llevan corriente deben ejercer fuerzas entre sí. En efecto. El campo magnético producido por cada corriente ejerce una fuerza sobre el otro. Si las corrientes están en la misma dirección, se atraen entre sí (figura 12-12); si las corrientes están en direcciones opuestas, se repelen.

Este efecto sirve para definir la unidad de la corriente; la unidad eléctrica básica en el sistema métrico. Considere dos cables paralelos largos separados por 1 metro y que llevan la misma corriente. Si la fuerza entre estos cables es 2×10^{-7} newtons en cada metro del cable, la corriente se define como 1 **ampere** (A). En ese caso, el **coulomb** (C) se define como la cantidad de carga que pasa por un punto específico en uno de estos cables durante 1 segundo. Ésta es igual que la carga sobre 6.24×10^{18} protones.

La fuente de la fuerza en cada cable es el campo magnético producido por el otro cable. También podemos utilizar los cables que interactúan para definir una intensidad del campo para el magnetismo. La intensidad del campo magnético a una distancia de 1 metro de un cable recto largo que lleva una corriente de 1 ampere es 2×10^{-7} **teslas** (T). Otra unidad para la fuerza del campo magnético, el **gauss** (G), se suele aplicar en lugar de los teslas, en donde 1 tesla = 10 000 gauss.

Los imanes que se utilizan para sostener apuntes o fotografías sobre un refrigerador producen campos en el orden de 0.3 tesla, mientras que los imanes de laboratorio grandes producen campos de 2.5 teslas. El límite teórico para un campo magnético permanente son 5 teslas. Los electroimanes hechos con cables comunes han producido campos uniformes de 34 teslas, mientras que los fabricados con cables superconductores todavía no han excedido los 22 teslas. Las combinaciones



© David Rogers

Figura 12-10 Un cable que transporta corriente produce un campo magnético que rodea el cable. Observe que las brújulas encima y abajo del cable apuntan en direcciones opuestas.

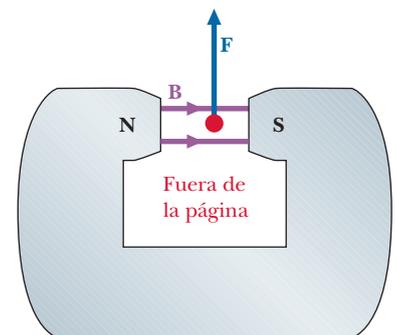


Figura 12-11 El campo magnético del imán de herradura ejerce una fuerza sobre el cable que lleva corriente, y hace que salte de las mordazas del imán.

Superconductividad

Bajo condiciones normales, todos los conductores exhiben una resistencia al paso de una corriente eléctrica. Esto cobra sentido si usted visualiza los electrones de la conducción avanzando a choques por un metal formado por una formación de átomos que vibran. La diferencia del potencial eléctrico proporcionada por una batería acelera los electrones sobre el cable, y después pierden en los choques sus velocidades adquiridas. La sorpresa es que la resistencia eléctrica de algunos materiales disminuye a cero a temperaturas muy bajas; se vuelven *superconductores*.

Este conocimiento no es un descubrimiento nuevo: la superconductividad fue descubierta por el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes en 1911. Tres años antes, Onnes había desarrollado un proceso para licuar el helio y, por lo tanto, pudo estudiar las propiedades de los materiales a temperaturas muy bajas. El primer superconductor fue mercurio sólido, el cual perdió su resistencia eléctrica a una temperatura crítica de 4.15 K. Los experimentadores buscaron metales o aleaciones que exhibieran superconductividad, y se encontraron superconductores nuevos con temperaturas críticas tan altas como 23 K.

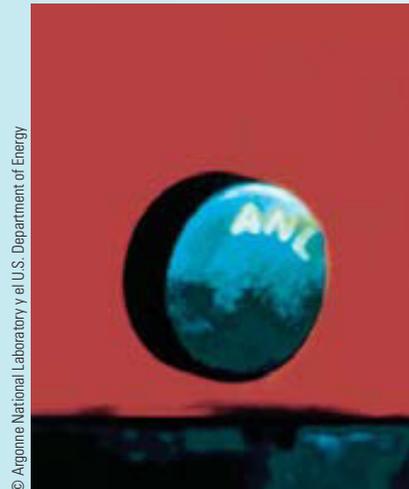
En 1972, tres físicos estadounidenses, John Bardeen, Leon Cooper y J. Robert Schrieffer, recibieron el premio Nobel por explicar la superconductividad en 1957. Su teoría, llamada la teoría BCS, mostraba cómo los electrones se apareaban para viajar sin esfuerzo por el material. La resistencia eléctrica no sólo disminuye a un valor muy bajo; ¡se reduce a cero! Una vez que se ha establecido una corriente en un material superconductor, persistirá sin que se aplique ningún voltaje. Se ha observado que tales supercorrientes duran varios años, lo cual tiene estupendas aplicaciones prácticas en la generación de campos magnéticos. Los campos magnéticos grandes requieren corrientes muy grandes. En los materiales ordinarios, esto significa generar mucha energía térmica a un costo alto y desviar el calor para evitar que se fundan los imanes. En contraste, una vez que se han establecido corrientes grandes en imanes superconductores, se puede desconectar de la corriente; ya no se requiere energía eléctrica.

Los modelos teóricos para la superconductividad predijeron un límite superior para la temperatura crítica de alrededor de 30 K. Si este límite superior hubiera sido cierto, la superconductividad se hubiera mantenido en el dominio de las temperaturas muy bajas. Los únicos gases con puntos de ebullición así de bajos son el helio (que es costoso) y el hidrógeno (que es explosivo). En 1986, casi 80 años después del descubrimiento del primer superconductor, se descubrió una nueva clase principal de superconductores, con temperaturas críticas mucho más altas. Estos nuevos superconductores son las *cerámicas* hechas de óxidos de cobre mezcladas con elementos terrestres raros como lantano e itrio, que tienen temperaturas críticas hasta de 125 K. Este límite nuevo es muy importante, porque esta temperatura es más alta que el punto de ebullición del nitrógeno, un gas abundante y cuyo costo de licuefacción es relativamente bajo y es seguro de usar, lo cual permite utilizarlo para mantener un material como superconductor. Ocurrirá un incremento tremendo en el uso de los superconductores si se puede fabricar un material superconductor con una temperatura crítica superior a

la temperatura ambiente (o cuando menos por encima de las obtenidas mediante la refrigeración normal).

Una aplicación potencial muy importante de la superconductividad es el transporte de energía eléctrica. Con las líneas de transmisión convencionales, se pierde gran parte de la electricidad producida en plantas distantes por los efectos de resistencia al calor en los cables que acarrearán esta energía hasta nuestros hogares. Una línea de superconducción eliminaría estas pérdidas. Por supuesto el problema es que necesitamos enfriar estos conductos para hacerlos superconductores. Sin embargo, si podemos utilizar una refrigeración normal, los costos de enfriamiento serán mucho menores que los costos de las pérdidas por resistencia.

Los superconductores pueden tener una segunda propiedad muy importante. Expelen los campos magnéticos cuando se vuelven superconductores. Esto también significa que los campos magnéticos no pueden penetrar los superconductores y por lo tanto, repelerán los imanes. Esto se presenta de manera impactante al hacer flotar un imán permanente sobre un superconductor, igual que en la figura. Este efecto puede hallar aplicaciones en el mejoramiento de la levitación magnética de los trenes de transporte a alta velocidad. En Japón se construyó un prototipo con imanes superconductores enfriados con helio para levantar el tren, al igual que para impulsarlo a velocidades hasta de 300 mph.



Un imán permanente levita sobre un superconductor porque su campo magnético no puede penetrar el material superconductor.

Se han propuesto muchas otras aplicaciones. Las propiedades de conmutación de los materiales superconductores pueden tener un gran impacto en el campo de la electrónica de las computadoras. También se podrían construir generadores y motores superconductores. Estos nuevos materiales superconductores también hallarían aplicaciones en el campo de las imágenes médicas. Sin embargo, muchas de estas aplicaciones exigirán avances tecnológicos importantes en la fabricación (por ejemplo, las cerámicas son quebradizas y por lo tanto, difíciles de formar como cables) y el descubrimiento de materiales que transporten corrientes más grandes.

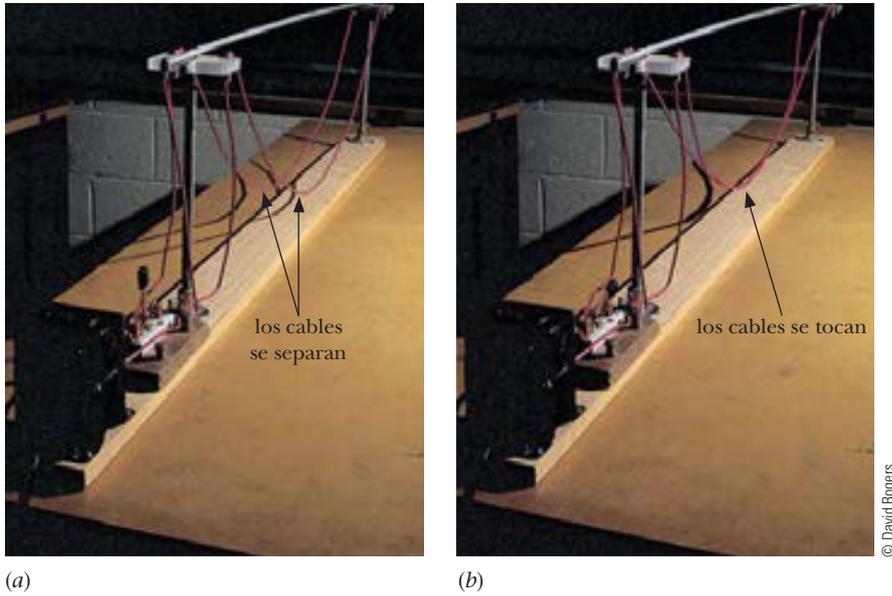


Figura 12-12 (a) Cuando se abre el interruptor, no hay una fuerza de atracción entre los cables. (b) Cuando se cierra el interruptor, las corrientes están en la misma dirección, y los cables se atraen entre sí.

de estos dos tipos de imanes han llegado a 45 teslas. En el extremo superior, los imanes con pulsaciones han producido campos de 70 teslas. Se han generado incluso campos más altos que se acercan a 1000 teslas por tiempos muy cortos, pero las fuerzas son tan grandes que los imanes se destruyen a sí mismos.

La Tierra magnética

Como se mencionó antes, una brújula sencilla muestra que la Tierra actúa como si tuviera un enorme imán en su centro, como se observa en la figura 12-13. La intensidad del campo magnético de la Tierra en la superficie suele ser de 5×10^{-5} teslas (0.5 gauss). En Estados Unidos, su componente horizontal suele apuntar hacia el norte y un componente todavía más grande apunta hacia abajo.

Las mediciones del campo magnético muestran que uno de los polos magnéticos de la Tierra está en el noreste de Canadá, justo al norte de la bahía de Hudson, a unos 1300 kilómetros del Polo Norte geográfico. El otro polo magnético de la Tierra está casi directamente en el otro lado del planeta. Una línea que atraviesa la Tierra y que conecta estos dos polos se inclina unos 12 grados a partir del eje de rotación de la Tierra, el cual pasa por los Polos geográficos Norte y Sur de la Tierra.



Figura 12-13 La Tierra es un imán gigante con su polo sur magnético en el hemisferio norte. Esta visión inicial del magnetismo de la Tierra ha sido reemplazada por una en la cual el campo magnético se genera mediante las corrientes eléctricas en el centro de la Tierra.

Pregunta ¿El polo magnético ubicado al norte de Canadá es un polo norte o un polo sur magnético?

Respuesta Debido a que este polo atrae el polo norte de una brújula y a que los polos opuestos se atraen, este polo magnético en realidad debe ser un polo sur magnético. Sin embargo, la ubicación geográfica del polo todavía se conoce como Polo Norte magnético.

La inclinación del eje magnético de la Tierra desde su eje de rotación complica la localización de un norte verdadero con una brújula. El único momento en que su brújula apuntará al norte verdadero es cuando el polo magnético está entre usted y el polo geográfico. Debido a las variaciones locales en el campo magnético, esta situación ocurre sobre una línea irregular que va desde Florida a los Grandes Lagos, como se indica en la figura 12-14. Si usted está al este de esta línea, su brújula apuntará al oeste del norte verdadero. Si usted está al oeste de esta línea, su brújula apunta al este del norte verdadero. La diferencia en las direcciones de los polos magnético y geográfico se conoce como la *variación magnética*. Como ejemplo, la variación magnética en Bozeman, Montana, en la actualidad es de 15.5 grados este.

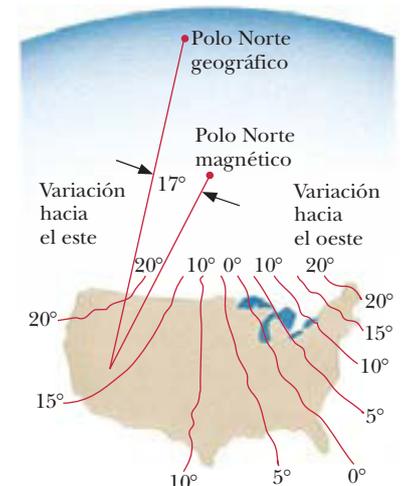


Figura 12-14 La variación magnética entre las direcciones de los Polos Norte geográfico y magnético cambia a través de Estados Unidos.

Los pilotos de aviones emplean rumbos magnéticos y consultan sus mapas aeronáuticos para determinar los rumbos verdaderos. Los números grandes pintados en los extremos de las pistas corresponden a las direcciones magnéticas de las pistas, divididas entre 10 y redondeadas.

En una época, los científicos imaginaban que el campo magnético de la Tierra era provocado por hierro sólido magnetizado en el interior de ésta, pero ahora creen que esto no es cierto. Se sabe que el interior de la Tierra es lo suficientemente caliente para que el hierro y el níquel estén en estado líquido. En un estado líquido, los campos magnéticos atómicos no permanecen alineados, sino adquieren orientaciones aleatorias, lo cual elimina el efecto magnético macroscópico.

El mejor modelo es uno en donde las grandes corrientes eléctricas que circulan en el interior fundido provocan el campo magnético de la Tierra. Tales corrientes podrían fácilmente producir el campo que observamos en la Tierra, al igual que las características generales de los campos magnéticos de los otros planetas. Sin embargo, esta teoría presenta algunas dificultades. Nadie comprende los detalles de los mecanismos para producir y conservar las corrientes.

El aspecto más desconcertante del campo magnético de la Tierra son sus inversiones, cuando los Polos Norte y Sur cambian de posiciones. Existe una fuerte evidencia de que el campo magnético de la Tierra ha cambiado de dirección 171 veces en los últimos 17 millones de años. Esta evidencia proviene de las rocas en ambos lados de una grieta en medio del Atlántico. Conforme la roca emerge de la grieta, se enfría y solidifica, y en ese momento la dirección de la magnetización de la Tierra se fija en las rocas y se conserva. Las muestras del suelo oceánico indican que la dirección de los campos magnéticos en la roca se alternan conforme nos acercamos a la grieta. Aunque sabemos que han ocurrido estas inversiones, nadie ha propuesto un mecanismo satisfactorio para ellas o para explicar el origen de la inmensa cantidad de energía requerida para invertir el campo.

✓ El suplemento *Problem Solving* (Solución de problemas) ofrece una presentación extendida.

Partículas cargadas en los campos magnéticos

✓ **MATEMÁTICAS**

Recuerde que un imán no afecta un objeto cargado, aparte de la atracción electrostática normal entre los objetos neutros y cargados. Por otra parte, un cable que transporta corriente en un campo magnético experimenta una fuerza. Debido a que una corriente eléctrica es una serie de partículas cargadas, el movimiento de las cargas debe ser importante. Por extraño que parezca, la fuerza magnética en una partícula cargada es cero, a menos que la carga se mueva.

Además, es probable que la dirección de la fuerza magnética no sea lo que usted predeciría. Recuerde que la corriente (el movimiento de las partículas cargadas) es sobre el cable de la figura 12-11, pero que el cable experimenta una fuerza en una dirección perpendicular al mismo y perpendicular al campo magnético. Por lo tanto, esperamos que una partícula cargada que se mueve en un campo magnético experimente una fuerza que está en ángulos rectos a su velocidad y al campo magnético.

La intensidad de la fuerza depende de la carga q , la intensidad del campo magnético B , la velocidad v , y el ángulo entre el campo y la velocidad. La fuerza magnética está al máximo cuando el campo y la velocidad están perpendiculares:

fuerza magnética máxima = carga \times 
velocidad \times campo magnético

$$F_{max} = qvB$$

Cuando la velocidad y el campo magnético están paralelos, la fuerza es cero.

La fuerza magnética produce algunos fenómenos interesantes. En primer lugar, debido a que la fuerza siempre está perpendicular a la velocidad de la partícula, nunca cambia la velocidad de la partícula, sólo su dirección. Si la velocidad de la partícula está paralela al campo magnético, la partícula no experimenta ninguna fuerza, y se mueve en una línea recta. Por otra parte, si la velocidad está perpendicular al campo, la partícula experimenta una fuerza centrípeta que hace que se mueva en una trayectoria circular (figura 12-15[a]). Si la velocidad tiene componentes paralelo y perpendicular al campo magnético, estos dos movimientos se

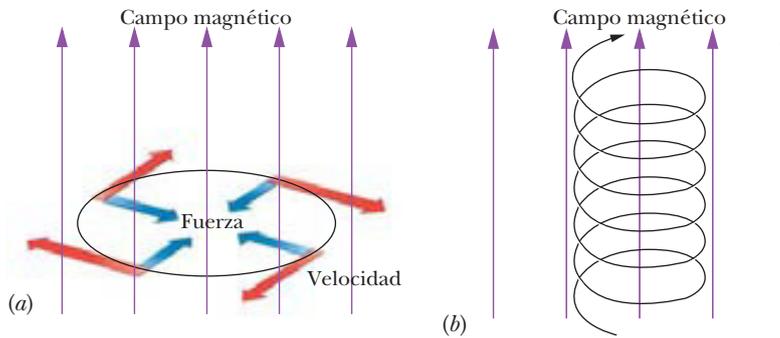


Figura 12-15 (a) Las partículas cargadas siguen una trayectoria circular si su velocidad está perpendicular al campo magnético. (b) La trayectoria es helicoidal si su velocidad tiene componentes perpendicular y paralelo al campo.

superpondrán y la partícula seguirá una trayectoria helicoidal (figura 12-15[b]) a lo largo del campo magnético.

La fuerza magnética sobre las partículas cargadas es la causa de los dramáticos efectos conocidos como *aurora boreal* y *aurora austral*. Cuando las partículas cargadas, principalmente del Sol, pero también del espacio exterior, se acercan a la Tierra, interactúan con el campo magnético terrestre. Esta interacción hace que las partículas cargadas sigan trayectorias helicoidales a lo largo del campo magnético terrestre, de modo que chocan contra la atmósfera en las regiones de los polos magnéticos. Las colisiones de estos rayos cósmicos con las moléculas de oxígeno y nitrógeno en la atmósfera producen las espectaculares luces nocturnas que se observan en lo alto de los Polos Norte y Sur magnéticos.

Las fuerzas magnéticas en las partículas cargadas son importantes en muchos dispositivos científicos y tecnológicos, desde recipientes de contención utilizados para desarrollar la tecnología futura de los reactores de fusión hasta aceleradores de partículas utilizados en la investigación y en los televisores.

Magnetismo y corrientes eléctricas

En la evolución de la visión del mundo de la física, ha surgido una pequeña cantidad de temas básicos que reflejan nuestras tendencias, pero también alimentan nuestras búsquedas. Uno de tales temas es la simetría. Varias veces, se han hecho avances mientras se buscan los efectos simétricos. Al principio en el desarrollo de nuestra comprensión de la electricidad y el magnetismo, las preguntas sobre la simetría obsesionaban a algunos experimentadores. En particular, preguntaban, “Dado que una corriente eléctrica produce un campo magnético, ¿un campo magnético produce una corriente eléctrica?”. Para investigar esto, puede hacer la prueba de envolver cable alrededor de un imán y conectar el cable a un *amperímetro*, un instrumento para medir la corriente. Aunque se efectuaron experimentos similares con imanes grandes e instrumentos sensibles, no se encontró dicho efecto.

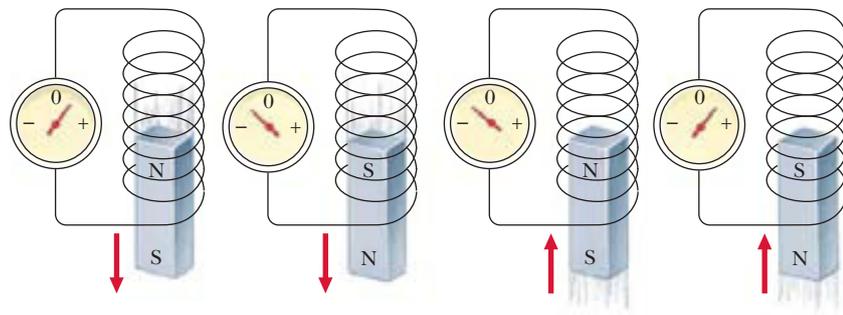
El científico británico Michael Faraday descubrió la conexión en 1831. Encontró que el movimiento es la clave para producir una corriente eléctrica con un imán. Si se mueve un cable a través de un campo magnético (pero no paralelo al campo), se produce una corriente en el cable. Esta corriente se debe al movimiento del cable en el campo magnético; no hay baterías. La corriente es más grande si el movimiento es perpendicular al campo, y aumenta con la velocidad del cable. Con el beneficio de la retrospectiva, vemos que esto es comprensible a causa de la fuerza magnética sobre las cargas en el cable.

Debido a que el principio de la relatividad debe ser válido para la electricidad y el magnetismo, sabemos que lo importante es el movimiento *relativo* del cable y el imán. No importa cuál se mueve respecto al laboratorio y cuál está inmóvil. Por lo tanto, debemos ser capaces de generar una corriente en un cable inmóvil al mover el imán. Este principio se demuestra con un experimento sencillo. Si se coloca un imán en barra en una bobina de alambre y se retira rápido, se genera una corriente que se detecta con facilidad. La inserción rápida del imán dentro de la bobina genera una corriente en la dirección opuesta. La inversión de la dirección del imán



La aurora boreal es provocada por los rayos cósmicos que siguen las líneas del campo magnético hacia el Polo Norte magnético.

Figura 12-16 Un imán insertado o retirado de una bobina de un cable produce una corriente. (Cuando la aguja está centrada, no hay corriente.)



en barra también invierte la dirección de la corriente. La figura 12-16 exhibe las cuatro posibilidades.

Faraday también descubrió que el movimiento no es la única manera de producir una corriente con un campo magnético. Se produce una corriente si la intensidad del campo magnético varía con el tiempo, incluso cuando no hay un movimiento relativo del cable y el imán. Un campo creciente produce una corriente en una dirección; un campo decreciente produce una corriente en la dirección opuesta.

Después de una extensa serie de experimentos efectuados durante varios años, Faraday fue capaz de generalizar sus resultados en términos de las líneas de un campo magnético. Se observa que estas líneas apuntan sobre la dirección del campo magnético en todos los puntos en el espacio. El número de líneas en una región específica del espacio representa la intensidad del campo magnético. Las líneas están más cercanas donde el campo magnético es más fuerte.

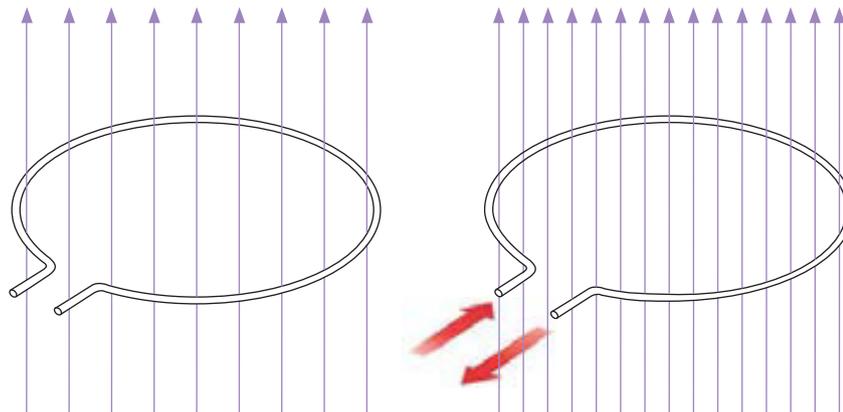
ley de Faraday ➤

Faraday demostró que si el número de líneas de un campo magnético que pasan por un circuito de cable cambiaba *por cualquier razón*, se producía una corriente en el circuito (figura 12-17). El voltaje (y, por lo tanto, la corriente) generado en el circuito depende de cuán rápido cambia el número de líneas del campo que atraviesan el circuito: entre más rápido es el cambio, más grande es el voltaje. Estos fenómenos se conocen ahora como la ley de Faraday.

ley de Lenz ➤

La dirección de la corriente inducida en la bobina por el número cambiante de líneas en el campo magnético se obtiene mediante la ley de Lenz, la cual afirma que la corriente siempre produce un campo magnético para oponerse al cambio. Por ejemplo, en la figura 12-17 aumenta el número de líneas en dirección hacia arriba. Por lo tanto, la corriente inducida producirá un campo magnético que apunta hacia abajo para tratar de cancelar el incremento. Observe que la corriente presentada en la figura 12-17 hace esto. Si el número de líneas hubiera disminuido, la corriente se induciría en la dirección opuesta, para producir un campo magnético en dirección hacia arriba para tratar de conservar el campo original.

Figura 12-17 Cambiando el número de líneas del campo magnético que atraviesa un circuito de cable produce una corriente. La dirección de la corriente se obtiene mediante la ley de Lenz.



Pregunta ¿Qué vería en el amperímetro si dejara caer un imán a través de la bobina de la figura 12-16?

Respuesta Cuando el imán entra a la bobina, la aguja girará hacia un lado debido al incremento en el número de líneas del campo que atraviesan la bobina. Cuando sale el imán, la aguja voltará al otro lado, porque disminuye el número de líneas.

Razonamiento defectuoso



La pregunta siguiente aparece en el examen de mitad del curso: “Un circuito de cobre se coloca plano sobre una mesa. Si el polo norte de un imán de barra se acerca rápido al circuito, como se aprecia en la figura 12-18, se induce una dirección en el circuito en la dirección expresada por la ley de Lenz. Encuentre esta dirección y explique cómo utilizó la ley de Lenz.”

José proporciona la respuesta siguiente: “Las líneas del campo magnético salen del polo norte de un imán de barra, de modo que las líneas del campo que atraviesan el circuito se dirigen hacia abajo. La ley de Lenz declara que se generará un campo magnético inducido en la dirección opuesta; es decir, hacia arriba. Mediante la regla de la mano derecha, la corriente inducida debe ser levógira para producir este campo.”

La corriente inducida es levógira, como afirma José, pero no por la razón expresada. **Explique la ley de Lenz a José.**

Respuesta Hay dos campos magnéticos en el circuito: el campo *externo* del imán de barra y el campo *inducido* debido a la corriente. José cree que el campo inducido se opone al campo externo, pero esto no es lo que afirma la ley de Lenz. El campo inducido se opone a cualquier carga en el campo externo, no al campo mismo. José señala la dirección correcta por suerte. Si el imán de barra se mueve hacia arriba, el razonamiento de José produce la respuesta incorrecta. El campo externo en el circuito es hacia abajo y se hace más débil. José predice que el campo inducido es hacia arriba para oponerse al campo externo hacia abajo. Lenz nos dice que el campo inducido es hacia abajo para oponerse al debilitamiento del campo externo.

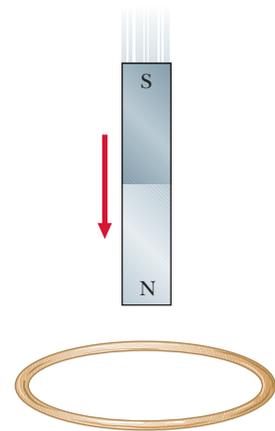


Figura 12-18



Los transformadores de una zona de viviendas reducen el voltaje para uso en los hogares.

Transformadores



Estos descubrimientos sobre el magnetismo —en especial sus conexiones con la electricidad— tienen muchos usos prácticos. Por ejemplo, son fundamentales para la operación de los transformadores utilizados para modificar el voltaje de la electricidad de corriente alterna. Se puede suministrar la misma cantidad de energía eléctrica a través de cables a un voltaje bajo y una corriente alta que a un voltaje alto y a una corriente baja (capítulo 11). Por ejemplo, 10 amperes a 12 volts proporcionan la misma potencia que 1 ampere a 120 volts. La elección específica de cuál amperaje y cuál voltaje se utilizan depende de las circunstancias. Los recipientes cilíndricos grandes de un poste de luz son transformadores para reducir el voltaje a 120 volts antes que entre a nuestras casas y negocios.

El diagrama esquemático de la figura 12-19 exhibe las funciones esenciales de un transformador. Una bobina, llamada la *bobina principal*, se conecta a una fuente de corriente alterna. La corriente alterna en la bobina principal produce un campo magnético alterno que el núcleo de hierro transmite a la *bobina secundaria*. Este campo magnético alterno produce un voltaje alterno en la bobina secundaria.

La magnitud del voltaje producido en la bobina secundaria depende de la razón del número de circuitos en las dos bobinas. Un transformador diseñado para reducir voltaje por un factor de 2 tendría la mitad de circuitos en la bobina secundaria que en la bobina primaria.

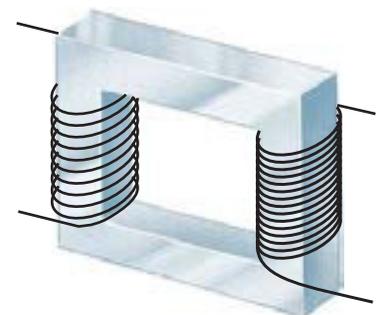


Figura 12-19 Las características esenciales de un transformador.

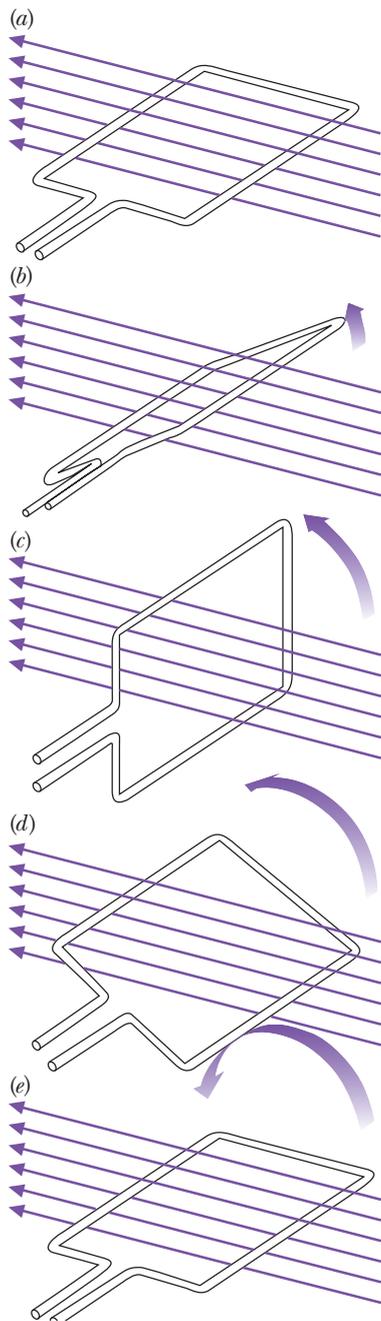


Figura 12-20 El número de líneas de un campo magnético que atraviesan un circuito de un cable cambia conforme gira el circuito. Esto produce el voltaje alterno exhibido en la figura 12-21.

Pregunta ¿Por qué un transformador no funciona con corriente directa?

Respuesta La corriente directa no produce el campo magnético variable necesario para inducir una corriente en la bobina secundaria.

Generadores y motores

El generador eléctrico es otra aplicación del descubrimiento de Faraday. Si giramos 90 grados el circuito del cable de la figura 12-17, el número de líneas del campo magnético que atraviesan el circuito disminuye a cero. El cambio en el número de líneas que atraviesan el circuito produce un voltaje alrededor del circuito, el cual genera una corriente. El circuito se hace girar mediante una turbina de vapor o el agua que cae en una instalación hidroeléctrica. El vapor se produce de muchas maneras: al quemar madera, carbón, petróleo, o gas natural, o al utilizar el calor del Sol o reactores nucleares.

La figura 12-20 contiene una serie de dibujos del campo magnético y un circuito de cable en un generador eléctrico que ejemplifica cómo la rotación del circuito produce voltajes (y corrientes) eléctricos. La figura 12-20 (a) presenta el plano del circuito paralelo a las líneas del campo magnético. El número de líneas que atraviesan el circuito en esta orientación es cero. Cuando el circuito gira a una velocidad constante, al principio el número de líneas disminuye rápido, lo cual produce un voltaje grande. Conforme sigue girando (b), el número de líneas que atraviesan el circuito sigue aumentando, pero a una velocidad más lenta. El voltaje disminuye a cero cuando el plano del circuito está perpendicular a las líneas del campo (c) y el número de líneas que atraviesa el circuito está al máximo. Ahora (d) disminuye el número de líneas que atraviesan el circuito y el voltaje aumenta en la dirección opuesta. Se incrementa a un valor máximo (e) y después regresa a cero cuando el plano del circuito otra vez está perpendicular a las líneas del campo. El voltaje aumenta a un máximo en la dirección opuesta, y se repite el ciclo completo. Este generador produce el voltaje alterno exhibido en la figura 12-21 (a).

Un cambio sencillo en el modo en que se transporta el voltaje al circuito externo convierte el generador para producir una corriente directa con pulsaciones (figura 12-21[b]). Un conector (llamado un *conmutador*), presentado en la figura 12-22, invierte las conexiones del circuito hacia el circuito exterior cada media vuelta. Esta corriente con pulsaciones después se regulariza electrónicamente para producir una corriente directa constante igual a la de una batería.

Un motor de corriente directa es básicamente un generador de corriente directa que funciona en reversa. De hecho, el descubrimiento del primero de esos

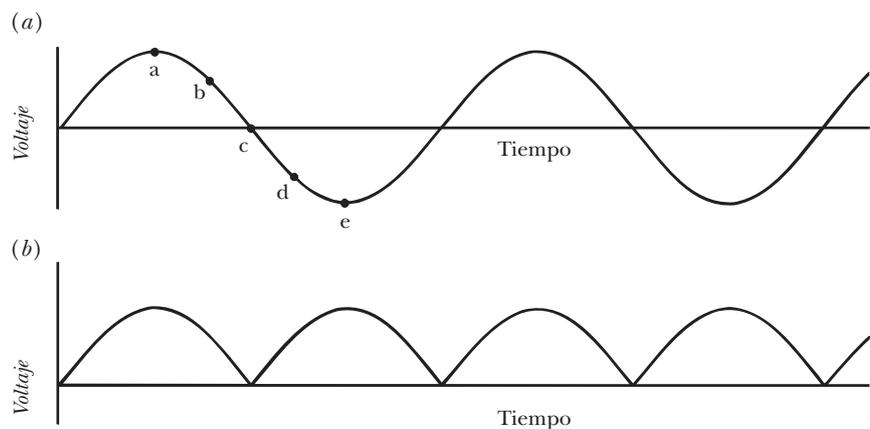


Figura 12-21 (a) Un circuito que gira en un campo magnético produce un voltaje alterno. Las letras muestran el voltaje producido cuando el circuito tiene las posiciones presentadas en la figura 12-20. (b) La corriente directa con pulsaciones producida al utilizar un conmutador.

Cargador de baterías "inalámbrico"

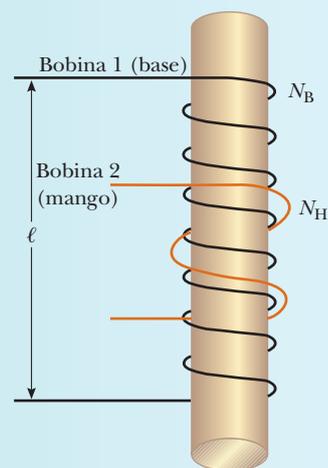
Un cepillo de dientes eléctrico tiene una base diseñada para sostener el mango del cepillo cuando no está en uso. Como se observa en la figura, el mango tiene un orificio con forma cilíndrica de plástico que se ajusta con holgura sobre un cilindro de plástico en la base. ¿Cómo se carga el cepillo de dientes cuando no hay contactos metálicos? Cuando el mango se pone en la base, una corriente cambiante en un solenoide dentro del cilindro de la base (la bobina principal) induce una corriente en una bobina dentro del mango (la bobina secundaria). Esta corriente inducida carga la batería dentro del mango. La magnitud de la corriente inducida se amplifica al

insertar un núcleo de material ferromagnético, como el hierro, dentro de la bobina principal. Después la bobina principal magnetiza el núcleo de hierro, de modo que sus polos se invierten 120 veces por segundo (para una corriente de 60 ciclos). Esto provoca un cambio más grande en el campo magnético dentro de la bobina secundaria.

La carga inalámbrica se utiliza en otros aparatos "inalámbricos". Un ejemplo importante es la carga inductiva utilizada por muchos fabricantes de automóviles eléctricos, la cual evita el contacto directo metal con metal entre el automóvil y el cargador.



Este cepillo de dientes eléctrico usa una inducción magnética para cargar su batería. La bobina principal (la bobina 1) de N_H gira en la unidad de la base y la bobina secundaria de N_B gira en el mango.



motores ocurrió durante una exhibición en 1873 cuando un técnico que instalaba una demostración de generadores conectó uno de manera incorrecta y ¡"descubrió" un motor! En un generador, giramos el circuito en un campo magnético, lo cual produce un voltaje que mueve las cargas eléctricas. En un motor se invierte la secuencia; aplicamos un voltaje, lo cual hace que las cargas se muevan. Esta corriente en un campo magnético produce una fuerza que hace girar el circuito.

La figura 12-20 sirve para ejemplificar la operación de un motor. Cuando se aplica un voltaje a un circuito cuando está en la posición presentada en la figura 12-20 (a), el campo magnético ejerce una torsión en el circuito que transporta corriente. Las fuerzas en los lados largos del circuito están en direcciones opuestas porque las corrientes también lo están. La torsión disminuye cuando el circuito gira y se vuelve cero cuando el plano del circuito está vertical. Si nada cambia mientras el circuito se desliza por esta posición, oscilará y, en algún momento, se detendrá. Sin embargo, el conmutador invierte la dirección de la corriente, de modo que la torsión continúa funcionando en la misma dirección.

La semejanza de un motor y un generador es importante en algunos vehículos con propulsión eléctrica. Mientras el vehículo acelera o viaja a velocidad constante, el motor funciona como un motor eléctrico. Sin embargo, cuando se aplican los frenos, las conexiones del motor cambian para que funcione como un generador, con el fin de recargar sus baterías. La corriente ejerce una torsión sobre el motor, el

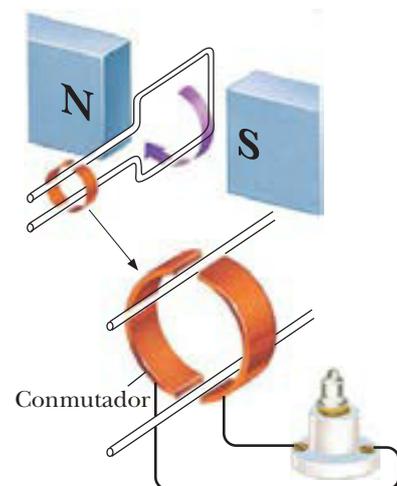


Figura 12-22 Esquema de un generador de corriente directa.

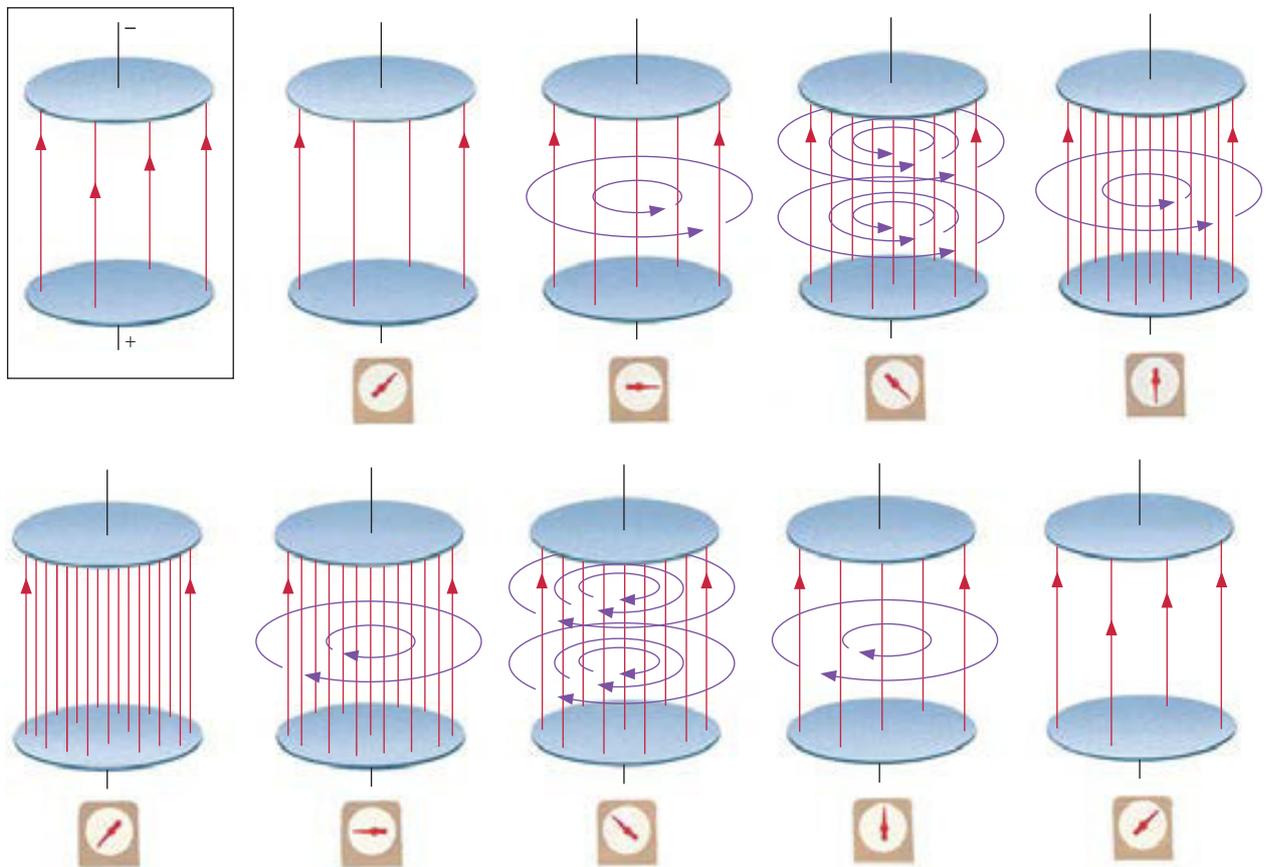


Figura 12-23 Un campo eléctrico constante entre las placas paralelas presentadas en el diagrama del cuadro de la izquierda no produce un campo magnético. Un campo eléctrico creciente produce un campo magnético en una dirección, mientras que un campo decreciente produce un campo magnético en la dirección opuesta.

cual a su vez ejerce una torsión sobre las ruedas para detener el vehículo. Ésta no es una máquina de movimiento perpetuo porque sólo se recobra una parte de la energía. No obstante, el frenado regenerativo aumenta la autonomía del vehículo.

Una cuestión de simetría

La conexión entre la electricidad y el magnetismo parece completa: un campo magnético *cambiante* produce una corriente eléctrica, y una corriente eléctrica produce un campo magnético. Sin embargo, observe que la situación no es realmente simétrica. Se requiere un campo magnético cambiante para producir la corriente eléctrica, pero la corriente eléctrica genera un campo magnético constante.

En realidad, esta conexión sólo se vuelve evidente cuando todo se expresa en términos de los campos eléctrico y magnético. Considere dos placas paralelas conectadas a una batería, igual que en la figura 12-23. Cuando la corriente de la batería acumula cargas en las placas, se genera un campo eléctrico en la región entre las placas. Aunque no fluyen cargas entre las placas, se produce un campo magnético en la región que rodea las placas que coincide con el campo magnético que rodea los cables. Por lo tanto, el origen del campo nuevo no pueden ser las cargas. Además, el campo magnético desaparece cuando se detiene la corriente. El campo eléctrico entre las placas aumenta de manera continua, siempre y cuando la carga fluya hacia las placas y se mantenga constante cuando la carga deja de fluir. Por lo tanto, un campo eléctrico *cambiante* produce el campo magnético. Cuando las cargas salen de las placas, el campo eléctrico disminuye y se produce un campo magnético en la dirección opuesta.

Podemos volver más cercana la analogía al observar la región entre los polos de un electroimán. Cuando aumenta el campo magnético entre los polos, se produce

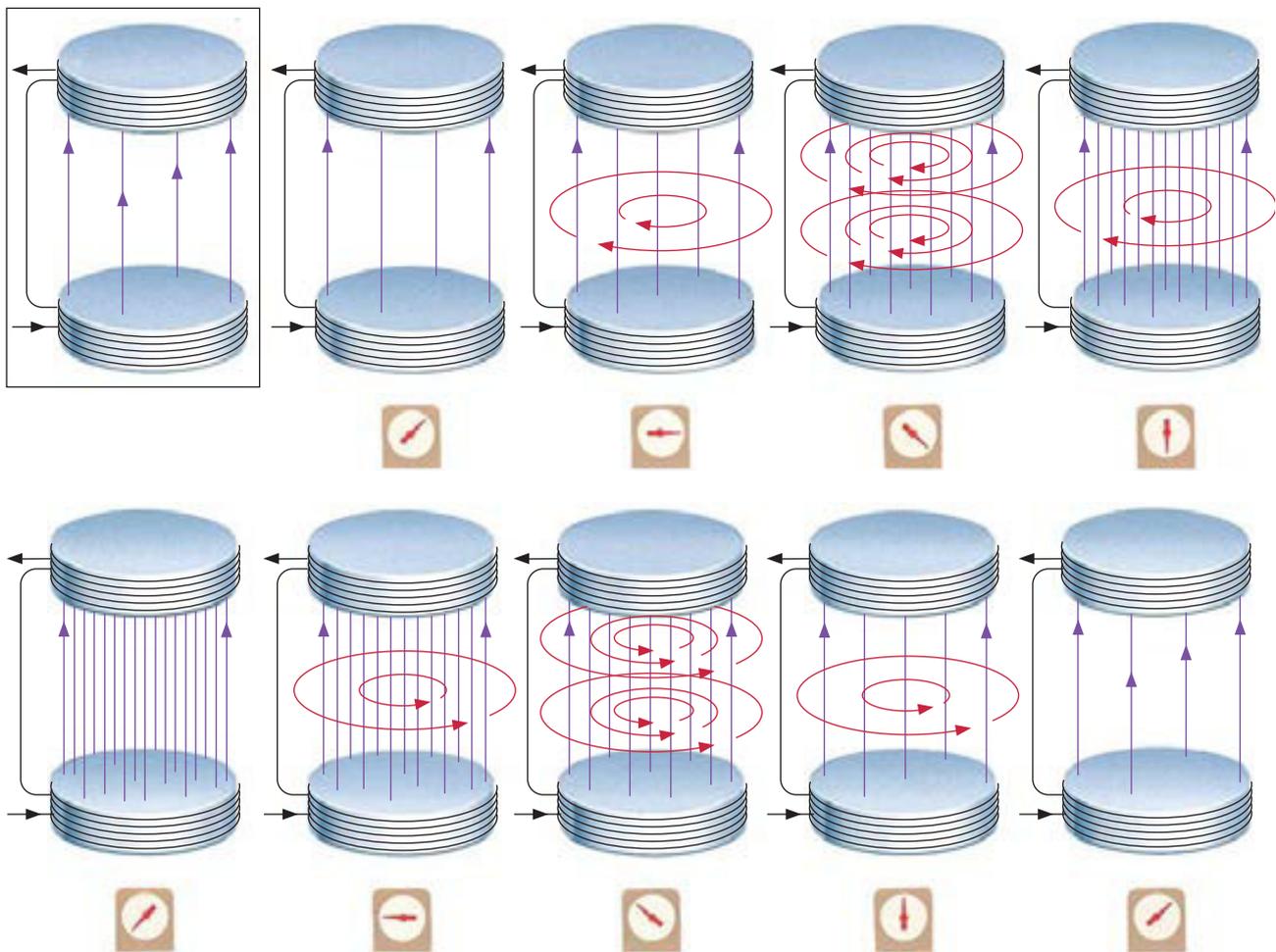


Figura 12-24 Un campo magnético constante entre los polos del electroimán presentado en el diagrama del cuadro de la izquierda no produce un campo eléctrico. Un campo magnético creciente produce un campo eléctrico en una dirección, mientras que un campo magnético decreciente produce un campo eléctrico en la dirección opuesta.

un campo eléctrico en la región circundante (figura 12-24). Cuando el campo magnético alcanza su intensidad máxima y ya no cambia, desaparece el campo eléctrico. Cuando disminuye el campo magnético, se produce un campo eléctrico en la dirección opuesta.

Es importante comprender que un campo magnético cambiante produce un campo eléctrico en un espacio *vacío*. No se necesita un cable. Si está presente un cable, el campo eléctrico ejerce fuerzas sobre las cargas dentro del cable y produce una corriente. Pero el punto importante es que, incluso ante la ausencia del cable, el campo eléctrico está presente.

Si utilizamos estos resultados y nos concentramos en los campos y no en las corrientes, la situación es completamente simétrica: un campo magnético *cambiante* genera un campo eléctrico, y un campo eléctrico *cambiante* produce un campo magnético. Existe una relación íntima entre la electricidad y el magnetismo.

Ondas electromagnéticas

✓ MATEMÁTICAS

Si el campo magnético cambia a una velocidad constante (es decir, si cada segundo cambia la misma magnitud), el campo eléctrico producido es constante. Un campo magnético rápidamente cambiante produce un campo eléctrico grande, y un campo magnético lentamente cambiante produce uno más pequeño. Sin embargo, si el campo magnético comienza a cambiar lentamente y luego aumenta su velocidad de cambio, el campo eléctrico comienza pequeño y se vuelve más

grande. Por lo tanto, es posible que un campo magnético cambiante produzca un campo eléctrico cambiante.

Las placas paralelas de la figura 12-23 muestran el efecto simétrico; el campo eléctrico cambiante produce un campo magnético. La velocidad de cambio del campo eléctrico determina la magnitud del campo magnético. Por lo tanto, un campo eléctrico cambiante puede producir un campo magnético cambiante.

Pregunta ¿Cómo usaría un campo eléctrico para generar un campo magnético cuya magnitud aumentara?

Respuesta El campo eléctrico debe cambiar lentamente al principio y aumentar de manera continua su velocidad de cambio.

Hemos analizado muchas “velocidades de cambio” y eso puede ser muy confuso, pero la recompensa para comprender el proceso vale el esfuerzo. Hemos descubierto una cadena secuencial de producciones de campos: un campo cambiante produce otro campo cambiante, y después este nuevo campo cambiante produce de nuevo el primer tipo de cambio, y así sucesivamente. Los dos campos se generan entre sí en el espacio vacío.

Sólo hemos argumentado que esto es posible, pero James Clerk Maxwell dedujo rigurosamente el proceso en la década de 1860. Maxwell fue capaz de demostrar que esto era una consecuencia de un conjunto de cuatro ecuaciones que él y otros habían desarrollado para describir la electricidad y el magnetismo y las numerosas conexiones entre ellos. Las ecuaciones, llamadas ecuaciones de Maxwell en honor de sus contribuciones, resumen toda la electricidad y el magnetismo.

Maxwell combinó estas ecuaciones en una sola, la cual tenía la misma forma que las ecuaciones que describen las ondas periódicas, ya sean ondas en una cuerda, en el agua, o de sonido. Los campos eléctricos y magnéticos con pulsaciones se pueden combinar para producir ondas que viajen por el espacio (figura 12-25). Según los cálculos de Maxwell, estas **ondas electromagnéticas** adoptan la forma de campos eléctricos y magnéticos con pulsaciones que viajan con una velocidad igual a la de la luz. En 1887, el físico alemán Heinrich Hertz pudo producir ondas electromagnéticas en un lado de una habitación y detectarlas en el otro. La existencia de las ondas electromagnéticas confirmó la idea de Faraday de que estos campos tienen identidades propias.

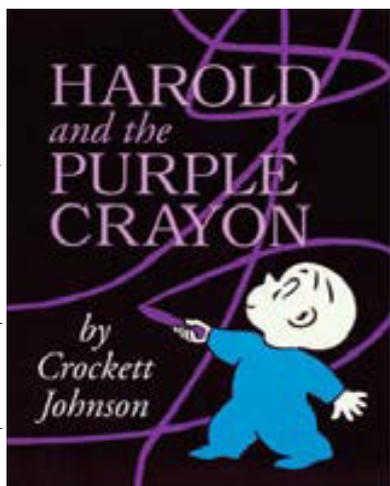
Se producen ondas electromagnéticas cuando se aceleran cargas eléctricas. Si las cargas tienen un movimiento oscilatorio periódico, la onda tendrá una frecuen-

Razonamiento defectuoso



Todos bregamos con conceptos erróneos mientras creamos nuestras visiones del mundo. Incluso Isaac Newton cometió errores en su razonamiento. Él creía que “el éter luminoso” debe llenar todo el espacio para proporcionar un medio para la propagación de las ondas de la luz. Si zangoloteamos la gelatina en un lado de un tazón, el zangoloteo cruza el tazón. Newton sentía que era imposible que el zangoloteo atravesara un tazón vacío. **Explique cómo se propaga una onda electromagnética por el espacio vacío.**

Respuesta La onda electromagnética se propaga a través del espacio vacío al recrearse a sí misma. Un campo eléctrico cambiante crea un campo magnético cambiante: ondula por el campo magnético. A su vez, este campo magnético cambiante crea un campo eléctrico cambiante: ondula por el campo eléctrico. Y luego el proceso vuelve a comenzar. De algún modo es como la conocida historia para niños preescolares de *Harold and the Purple Crayon* de Crockett Johnson. En esta historia, Harold llega a donde quiere ir al dibujar para sí unas escaleras con su crayola morada y su imaginación.



MAXWELL | Unificación del espectro electromagnético

James Clerk Maxwell nació el 13 de junio de 1831, en una prominente familia de Edimburgo. El nombre original de su familia era Clerk antes que ocurriera un matrimonio entre los Clerk y los Maxwell. Su nombre “combinado” fue el resultado de manipulaciones legales que evitaban que la familia poseyera una sola propiedad extensa.

Maxwell fue educado en un ambiente completamente escocés, con faldas escocesas, idioma gaélico, y pronunciación gutural de la “r”. Su padre, a quien interesaba mucho la ciencia, fomentó esta inclinación. Asistió a la Edinburgh Academy y, en 1847, se inscribió en la Edinburgh University, donde destacados profesores le dieron la bienvenida. Uno de sus profesores era famoso por sus textos de física, algunos de los cuales se utilizaron en Estados Unidos hasta después de la Segunda Guerra Mundial. En 1850, Maxwell se inscribió en la Cambridge University, primero en Peterhouse College y después en la antigua guarida de Newton, Trinity College. Como estudiante, destacó en matemáticas y comenzó un estudio que duró toda su vida de los modelos matemáticos de los anillos de Saturno. Ganó el premio de matemáticas más prestigiado entre los matemáticos británicos y comenzó lo que sería una revisión maravillosamente productiva de los primeros experimentos electromagnéticos de Faraday.

Maxwell regresó como profesor a Aberdeen, Escocia, y después al King's College en Londres. Se casó, pero no tuvo hijos. Se



James Clerk Maxwell

© North Wind Picture Archives

retiró a su propiedad en Galloway para redactar un monumental *Treatise on Electricity and Magnetism* (*Tratado sobre electricidad y magnetismo*). Su trabajo en su campo generó importantes avances en la industria eléctrica, en la tecnología, y en todas las ramas de la ciencia física.

Aunque estaba retirado y enfermo, Maxwell diseñó y fundó el Cavendish Laboratory y fue su primer director. Éste fue el primer laboratorio experimental específicamente diseñado con blindaje para evitar la radiación y la vibración.

También desarrolló una igualmente vigorosa teoría cinética de los gases, la cual a su vez lo llevó a un trabajo de vanguardia en la termodinámica.

Continuó el trabajo sobre Saturno y contribuyó a la astrofísica, la visión del color, la óptica, la fotoelasticidad, la servomecánica y, a largo plazo, a la fotografía en color. Dejó un notable legado. En tributo, Albert Einstein siempre exhibió un retrato de Maxwell junto al de Isaac Newton. Perdura como uno de los máximos científicos en la historia.

—Pierce C. Mullen, historiador y autor

Fuente: C. W. Francis Everitt, *James Clerk Maxwell: Physicist and Natural Philosopher* (Nueva York: Scribner, 1975).

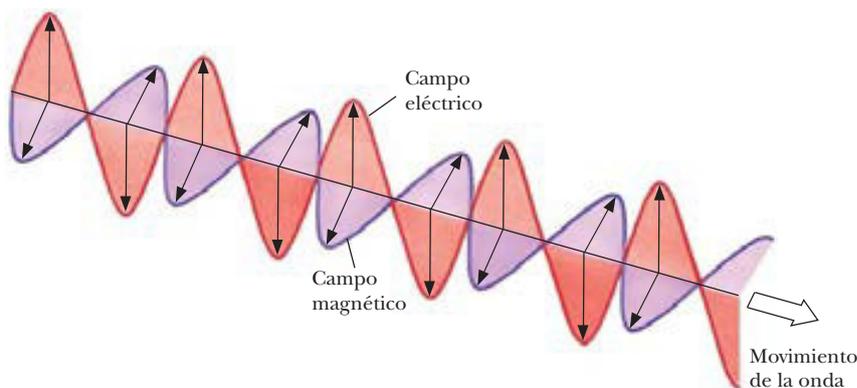


Figura 12-25 La propagación de una onda electromagnética por el espacio. Los campos eléctrico y magnético están perpendiculares entre sí y respecto a la dirección en que se mueve la onda.

cia fija y, por lo tanto, una longitud de onda fija, de acuerdo con la relación entre velocidad, longitud de onda y frecuencia:

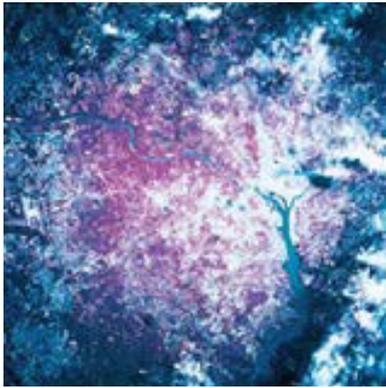
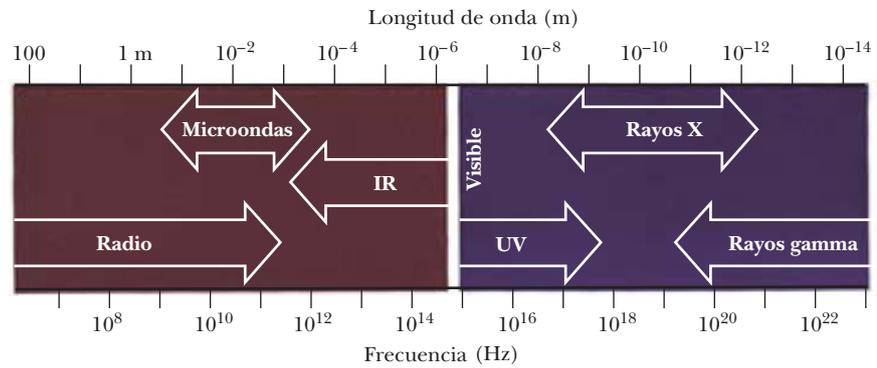
$$v = \lambda f$$

La ecuación de Maxwell requiere que la velocidad sea la de la luz, pero no impone restricciones en la frecuencia, como se indica en el diagrama del espectro electromagnético de la figura 12-26. Aunque todas estas ondas tienen la misma naturaleza básica, medios diferentes producen (y detectan) los diferentes rangos en la frecuencia. Los límites entre las diversas regiones nombradas no son perceptibles y, de hecho, se superponen bastante.

Las frecuencias más bajas y las longitudes de onda más altas pertenecen a las ondas de radio. Son producidas por aparatos grandes como las antenas de transmisión de radio. Las microondas también se producen de manera electrónica, pero los aparatos son más pequeños, y su tamaño va desde algunos milímetros hasta algunos metros. Estos dispositivos se utilizan en los hornos de microondas, el radar, y la transmisión a larga distancia de las llamadas telefónicas.

◀ velocidad = longitud de onda × frecuencia

Figura 12-26 El espectro electromagnético.



© NASA

Fotografía infrarroja del área de Washington, D. C., con vista hacia el norte, que muestra el río Potomac en azul y la vegetación en rojo. Esta vista desde un transbordador espacial cubre 68 millas cuadradas.

Las frecuencias de la luz visible van de 4.0 a 7.5×10^{14} hertz. Aunque la luz visible ocupa sólo una región muy pequeña del espectro completo, es obvio que resulta muy importante para nosotros. Por el lado bajo, esta región está limitada por la radiación infrarroja (IR), las ondas cuyas longitudes de onda son demasiado largas (más allá del rojo) para ser observadas por el ojo humano. La radiación infrarroja es más perceptible cuando es emitida por objetos calientes, en especial los que generan un calor abrasador. Ésta es la radiación que usted siente a través de una habitación debido a una chimenea o a un aparato calefactor. La radiación que está más allá del violeta se conoce como ondas ultravioleta (UV). Éste es el componente de la luz solar que provoca el bronceado (y las quemaduras, si es excesivo). La luz visible y sus vecinas son producidas a nivel atómico, y sus propiedades son indicios valiosos sobre la estructura de la materia a nivel atómico.

Todos conocemos los rayos X por las visitas al médico o al dentista. Los rayos X tienen frecuencias altas y son muy penetrantes. Se producen mediante una rápida aceleración de los electrones en las máquinas de rayos X y se emiten mediante átomos. Los rayos gamma son una radiación de frecuencia todavía más alta que se origina en los núcleos de los átomos. En las secciones finales de este texto los estudiaremos con mayor detalle.

Radio y TV

La radio es un medio para codificar las ondas electromagnéticas con información en las ondas de sonido, para que se puedan transmitir por el espacio, interceptarse, y convertirse de vuelta a sonido. La televisión es el mismo tipo de proceso, con la inclusión de información de video. Un micrófono transforma las ondas de sonido a una señal eléctrica. En una versión, las ondas de sonido hacen que vibre una bobina en un campo magnético. Esto produce una corriente en la bobina, la cual después se amplifica. Las frecuencias de audio están en el rango de 20 hertz a 20 kilohertz.

Si las frecuencias de audio se transmitieran directamente, sólo podría haber una estación de radio en cualquier región geográfica. En lugar de eso, la señal de audio se combina con una señal de transmisión. Una estación que transmite en el "1450 de su cuadrante" envía ondas con una frecuencia de 1450 kilohertz (también llamados kilociclos). Ésta es la *frecuencia portadora*. La señal de audio sirve para variar, o *modular*, la señal portadora. Dos métodos de modulación son la *amplitud modulada* (AM) y la *frecuencia modulada* (FM). La frecuencia del sonido determina la frecuencia de la modulación, y el volumen del sonido determina la amplitud de la modulación. En la radio AM la señal de audio hace que varíe la amplitud de la señal portadora; en la radio FM hace que varíe la frecuencia de la señal portadora (figura 12-27).

Pregunta Aunque la policía moderna y las sirenas de bomberos producen ondas de sonido en lugar de ondas de radio, se modulan. ¿Esta modulación es AM o FM?

Respuesta Debido a que estas sirenas tienen frecuencias oscilantes, deben ser FM.



© Ricky Carey/Dreamstime

Un plato receptor para señales de televisión satelital.

Transmisiones en estéreo

Las frecuencias portadoras de las estaciones de radio AM están separadas por sólo 10 kilohertz. Esto significa que el espectro completo de 20 kilohertz no se puede emitir sin que se superpongan las estaciones. En la práctica, cada estación se limita a frecuencias de audio de hasta 5 kilohertz. El descubrimiento de la radio FM permitió la transmisión en un espectro más amplio de la frecuencia de audio (hasta 15 kilohertz), al igual que señales estereofónicas.

Pero, ¿cómo las estaciones de radio FM transmiten señales en estéreo sin afectar el desempeño de las radios más antiguas que fueron diseñadas para recibir señales monofónicas? Esto se hace al transmitir las dos señales de audio en la misma portadora, pero separadas por una frecuencia física. Se agrega una frecuencia de 38 kilohertz a una señal antes de transmitirla y después se resta en el receptor. Se aplican técnicas similares con las señales de audio y video para las transmisiones de televisión.

Para crear señales que se puedan reproducir en receptores estereofónicos o monofónicos, las señales que se trans-



Cortesía de © Panasonic

miten no son las señales para los canales izquierdo y derecho, sino la suma y la diferencia de los dos canales. Un receptor monofónico reproduce la suma de las señales e ignora la señal de diferencia, mientras que un receptor estereofónico suma y resta de manera electrónica estas señales, para recuperar los canales izquierdo y derecho.

En cualquiera de los casos, después la señal se amplifica y se envía a la antena, en donde hace que los electrones suban y bajen por el cable de la antena. Las aceleraciones de estos electrones producen ondas electromagnéticas que se transmiten. Cuando estas ondas chocan con la antena de su radio, hacen que los electrones de la antena avancen y retrocedan, lo cual produce corrientes oscilatorias. Aunque todas las estaciones cercanas se reciben al mismo tiempo, la radio se sintoniza para que sólo resuene una de ellas a la vez. Su radio amplifica la señal de esta estación.

La radio contiene circuitos eléctricos para filtrar la frecuencia portadora y sólo conserva la versión eléctrica de la información de sonido. A continuación estas señales se envían al altavoz para su reconversión a ondas de sonido. En una versión de un altavoz, las señales eléctricas generan un campo magnético que interactúa con el imán para mover un diafragma. A su vez, este diafragma mueve el aire para generar el sonido.

La asignación de los rangos posibles de las frecuencias portadoras para diversos tipos de transmisión es una responsabilidad gubernamental que se complicó con la historia del descubrimiento de avances como las técnicas de transmisión de FM estéreo y televisión. Las estaciones de radio AM transmiten entre 550 y 1500 kilohertz, la radio FM entre 88 y 108 megahertz, y la televisión en tres regiones entre 54 y 890 megahertz. Otras regiones se asignan a receptores de banda para

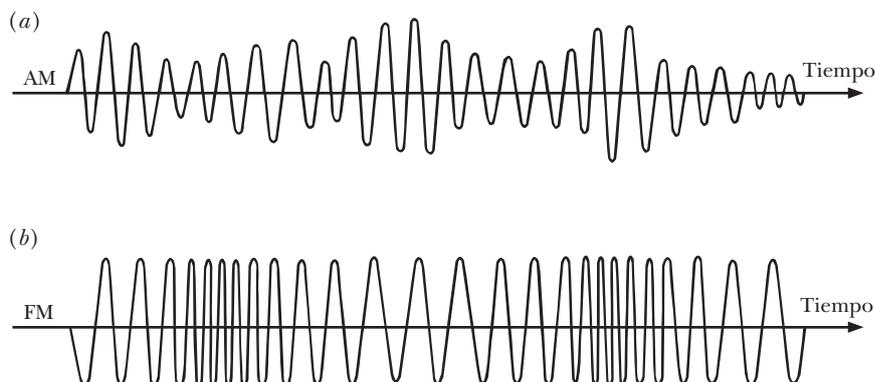


Figura 12-27 Ondas de radio (a) AM, y (b) FM.

ciudadanos, embarcaciones, aviones, policía, operadores de radioaficionados, y comunicación satelital.

Resumen

Los polos magnéticos se comportan igual que las cargas eléctricas: los polos iguales se repelen y los polos diferentes se atraen. Sin embargo, los polos magnéticos siempre ocurren en pares. Los imanes atraen algunos objetos, pero no tienen efecto sobre otros.

Los imanes no tienen efecto sobre las cargas inmóviles y no desvían las hojas de un electroscopio. Por otra parte, un cable que transporta una corriente produce un campo magnético y es atraído o repelido por otros imanes o cables que transportan corriente. La fuerza en el cable siempre está perpendicular al cable y al campo magnético. Dos cables que transportan corriente se atraen entre sí si las corrientes están en la misma dirección; se repelen si las corrientes están en direcciones opuestas. La intensidad del campo para el magnetismo se define como 2×10^{-7} teslas a una distancia de 1 metro desde un cable que transporta una corriente de 1 amperio.

Todos los campos magnéticos se originan en circuitos con corriente. El magnetismo que ocurre en la naturaleza se origina en los circuitos con corriente a nivel atómico. El magnetismo terrestre tiene una intensidad en la superficie de cerca de 5×10^{-5} teslas (0.5 gauss) y lo provocan las corrientes eléctricas grandes que circulan en el interior fundido de la Tierra.

Una partícula cargada que se mueve en un campo magnético experimenta una fuerza en ángulos rectos a su velocidad y al campo magnético. La intensidad de la fuerza depende del ángulo entre el campo y el movimiento de la partícula. Está al máximo cuando están perpendiculares y es cero cuando están paralelos.

Si un cable y un campo magnético se mueven uno respecto al otro, se produce una corriente en el cable, siempre y cuando el movimiento no esté paralelo al cable o al campo. Esta corriente es más grande si el movimiento está perpendicular al campo y aumenta con la velocidad relativa. También ocurre una corriente en un circuito de cable si el campo magnético dentro del circuito varía con el tiempo. Un campo creciente produce una corriente en una dirección; un campo decreciente produce una corriente en la dirección opuesta.

Se utilizan las líneas de un campo para representar los campos magnéticos. El campo magnético es más fuerte en las regiones donde las líneas del campo están cercanas entre sí. Si el número de líneas de un campo magnético que atraviesa un circuito de cable cambia *por cualquier razón*, se produce una corriente en el circuito. El voltaje (y, por lo tanto, la corriente) generado en el circuito depende de la velocidad del cambio: entre más rápido es el cambio, mayor es el voltaje.

Existe una conexión estrecha entre campos eléctricos y magnéticos cambiantes. Un campo magnético cambiante puede generar un campo eléctrico cambiante, y un campo eléctrico cambiante puede generar un campo magnético cambiante, con lo que crean ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio vacío. Estas ondas se producen cuando se aceleran las cargas eléctricas. Cuando las cargas tienen un movimiento oscilatorio periódico, la onda tiene una frecuencia y una longitud de onda fijas. El espectro de estas ondas va desde las ondas de radio de muy baja frecuencia hasta la luz visible, los rayos X y los rayos gamma de alta frecuencia.



TÉRMINOS IMPORTANTES

ampere: La unidad del Sistema Internacional para la corriente eléctrica. La corriente en cada uno de dos cables paralelos cuando la fuerza magnética por unidad de longitud entre ellos es 2×10^{-7} newtons por metro.

campo magnético: El espacio que rodea un objeto magnético, en donde se asigna a cada ubicación un valor determinado por la porción sobre una brújula colocada en esa ubicación. La dirección del campo está en la dirección del polo norte de la brújula.

electroimán: Un imán construido al envolver con cable un núcleo de hierro. Un electroimán se enciende y apaga al abrir y al interrumpir la corriente del cable.

gauss: Una unidad de la intensidad de un campo magnético; 10^{-4} teslas.

monopolo magnético: Un polo magnético hipotético, aislado.

onda electromagnética: Una onda formada por un campo eléctrico y uno magnético oscilantes. En un vacío, las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz.

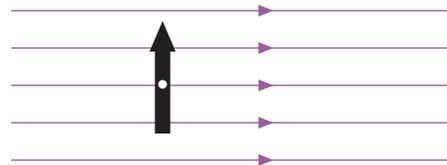
polo magnético: Un extremo de un imán, similar a una carga eléctrica.

tesla: La unidad en el sistema internacional para un campo magnético.

PREGUNTAS CONCEPTUALES

- Si le entregan tres barras de hierro, ¿cómo las utiliza para detectar cuál no está magnetizada?
- Si faltan las etiquetas en un imán, ¿cómo puede determinar cuál es el polo norte?
- Usted tiene tres barras de hierro, cada una de las cuales puede o no ser un imán permanente. Cada barra está pintada de verde en un extremo y de amarillo en el otro. Usted efectúa tres experimentos y encuentra que el extremo verde de la barra A atrae el extremo verde de la barra B, que el extremo amarillo de la barra A repele el extremo verde de la barra B, y que el extremo verde de la barra B repele el extremo amarillo de la barra C. ¿Cuál de esos tres resultados indica que la barra A debe ser un imán permanente? Explique.
- Considere los experimentos descritos en la pregunta 3. ¿El extremo verde de la barra A atraería, repelería, o no tendría una interacción con el extremo verde de la barra C? Explique.
- Usted tiene tres barras de hierro, cada una de las cuales puede o no ser un imán permanente. Cada barra está pintada de negro en un extremo y de blanco en el otro. Usted efectúa tres experimentos y encuentra que el extremo blanco de la barra A repele el extremo negro de la barra B, que el extremo negro de la barra A atrae el extremo blanco de la barra C, y que el extremo negro de la barra B atrae el extremo blanco de la barra C. ¿La barra C es un imán permanente? Explique.
- Considere los experimentos descritos en la pregunta 5. ¿El extremo blanco de la barra A atraería, repelería, o no tendría una interacción con el extremo blanco de la barra C? Explique.
- Si un imán de barra se rompe en dos pedazos, ¿cuántos polos magnéticos hay?
- Denominamos los polos magnéticos de modo que polos iguales se repelen y polos distintos se atraen. ¿Sería posible utilizar una convención de denominación en donde los polos iguales se atrajeran y los polos diferentes se repelieron? ¿Por qué sí o por qué no?
- ¿Cómo es la dirección del campo magnético definida en cada punto en el espacio?
- ¿Por qué no es posible que dos líneas de un campo magnético se crucen?

- Las líneas de un campo magnético en una región se exhiben en la figura. La aguja de una brújula que gira libremente se suelta en la orientación mostrada. ¿La aguja rotará en sentido dextrógiro, levógiro, o no se moverá? Explique.



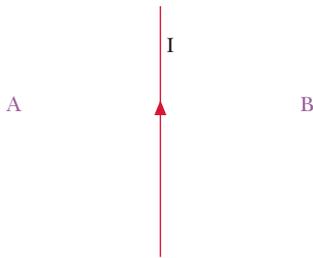
- Oersted encontró que las líneas de un campo magnético alrededor de un cable que transporta corriente forman círculos y se acercan a sí mismas. Debido a que las líneas del campo para un imán de barra también se acercan a sí mismas, ¿qué implica esto respecto a la dirección de las líneas del campo dentro del imán? ¿Las líneas del campo apuntan de norte a sur o de sur a norte?
- Cuando usted observa el eje de un solenoide de modo que la corriente circula en dirección dextrógiro, ¿mira en la dirección del campo magnético o en la dirección opuesta a él? Explique.
- ¿Cómo cambiaría la fotografía de la figura 12-4 si la corriente se moviera en la dirección opuesta?
- En la figura, usted observa el extremo de un cable recto largo. La corriente del cable se dirige hacia fuera de la página. En el punto A, ¿la dirección del campo magnético es hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia arriba, hacia abajo, hacia dentro de la página, o hacia fuera de la página? ¿Cuál es la dirección en el punto B? Explique.



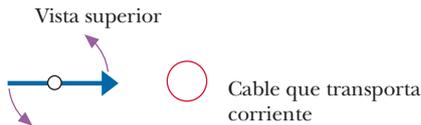
I (fuera de la página)

- Un cable recto largo transporta una corriente en la dirección indicada en la figura. En el punto A, ¿la dirección del campo magnético es hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia arriba, hacia abajo, hacia dentro de la página, o ha-

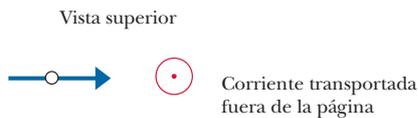
cia fuera de la página? ¿Cuál es la dirección en el punto B? Explique.



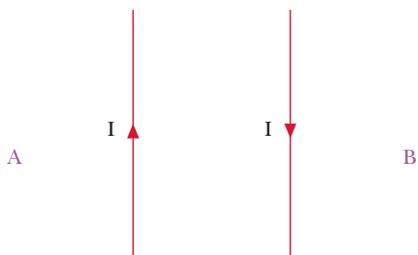
17. La figura exhibe una vista superior de una brújula junto a un cable recto largo. Una flecha indica el polo norte de la brújula. Cuando se cierra un interruptor, se establece una corriente en el cable, y la aguja de la brújula inicialmente gira según se indica. ¿La dirección de la corriente en el cable es hacia dentro o hacia fuera de la página? Explique.



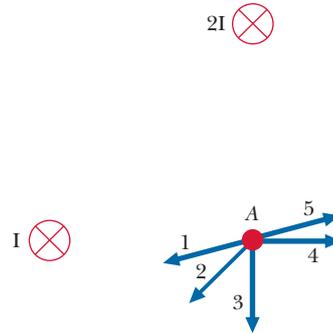
18. La figura exhibe una vista superior de una brújula junto a un cable recto largo. Una flecha indica el polo norte de la brújula. Cuando se cierra un interruptor, la corriente se dirige hacia fuera de la página, según se indica. ¿La aguja de la brújula al principio girará en sentido dextrógiro o levógiro? Explique.



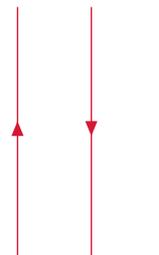
19. En los circuitos eléctricos y las líneas telefónicas, dos cables que transportan corriente en direcciones opuestas se trenzan juntos. ¿De qué manera reduce esto los campos magnéticos que rodean los cables?
20. ¿Puede utilizar una brújula para localizar los cables eléctricos ubicados dentro de las paredes de su casa? Explique.
21. Dos cables rectos largos transportan corrientes idénticas en direcciones opuestas, igual que en la figura. En los puntos A y B, ¿la dirección del campo magnético es hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia arriba, hacia abajo, hacia dentro de la página, o hacia fuera de la página? Explique.



22. Dos cables llevan corriente hacia el interior de la página, cómo se indica. Un cable lleva una corriente I y el otro lleva una corriente $2I$. ¿Cuál de las flechas representa mejor la dirección del campo magnético en el punto A, que es la misma distancia desde ambos cables? Explique.

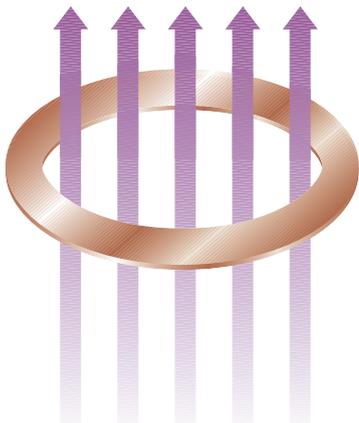


23. En la novela *Moby Dick* de Melville, el capitán Ahab recuperó la confianza de su tripulación cuando reparó la brújula dañada por una tormenta eléctrica, para que apuntara hacia el sur. ¿Cómo pudo haber hecho esto?
24. La piedra imán (magnetita) es una roca ígnea, que se forma a partir de material fundido. ¿Cómo supone que se magnetiza?
25. ¿Qué espera que le ocurrirá a la intensidad del magnetismo de un imán de barra que se deja caer sobre un suelo duro?
26. ¿Esperaría que se magnetizara la cabeza de un martillo de acero? Explique.
27. Dos cables rectos largos transportan corriente en direcciones opuestas. La corriente en el cable 1 es el doble de la corriente en el cable 2. Si la fuerza magnética neta por unidad de longitud en el cable 1 es 4 newtons por metro, ¿cuál es la fuerza magnética por unidad de longitud en el cable 2?
28. Tres cables rectos largos transportan una corriente idéntica en las direcciones señaladas en la figura. ¿Cuál es la dirección de la fuerza neta en el cable de la derecha?
29. ¿Cómo se define la unidad de la corriente?



30. ¿Cómo se define la unidad de la carga?
31. Uno de los polos magnéticos de la Tierra está en la Antártida. ¿Es un polo norte magnético o un polo sur magnético?
32. ¿Por qué sería más adecuado llamar a un polo norte magnético un polo magnético "que busca el norte"?
33. Si quiere caminar hacia el Polo Norte geográfico mientras está en Portland, Oregon, ¿cuál dirección de una brújula seguiría?
34. ¿Qué tan lejos del Polo Norte geográfico apunta una brújula en la ciudad de Nueva York?

35. ¿Por qué hay más rayos cósmicos en la Antártida que en Hawai?
36. Podemos modelar que el campo magnético de la Tierra se debe a un solo circuito que lleva una corriente grande y que se desplaza alrededor del ecuador justo bajo la superficie. En este modelo, ¿la dirección de la corriente es de este a oeste o de oeste a este? ¿Por qué?
37. Si una partícula cargada viaja en línea recta, ¿puede afirmar que no hay un campo magnético en esa región del espacio? Explique.
38. ¿Puede acelerar una partícula cargada inmóvil con un campo magnético? ¿Y con un campo eléctrico? Explique.
39. Un protón y un electrón con la misma velocidad entran a un imán de flexión con un campo magnético perpendicular a su velocidad. Compare los movimientos del protón y el electrón.
40. Un imán produce un campo magnético que apunta verticalmente hacia arriba. ¿En qué dirección actúa la fuerza sobre un protón si entra a esta región con una velocidad horizontal hacia el este?
41. Un circuito conductor está plano sobre el suelo. El polo norte de un imán en barra se acerca al circuito. Conforme se acerca el imán al circuito, ¿el campo magnético creado por la corriente inducida apuntará hacia arriba o hacia abajo? ¿Cuál es la dirección de la corriente en el circuito? Explique.
42. Ahora el imán de la pregunta 41 se levanta hacia arriba. ¿Cuál de sus respuestas cambiará, de ser el caso? Explique.
43. Considere el caso en donde el polo sur de un imán en barra se mueve hacia un anillo conductor de cobre. ¿Las líneas del campo creadas por la corriente inducida apuntan hacia el imán en barra o se alejan de él? Explique.
44. Considere el caso en donde el polo sur de un imán en barra se aleja de un anillo conductor de cobre. ¿Las líneas del campo creadas por la corriente inducida apuntan hacia el imán en barra o se alejan de él? Explique.
45. Un anillo de cobre se orienta perpendicular a un campo magnético uniforme. Si de repente el anillo se mueve en la



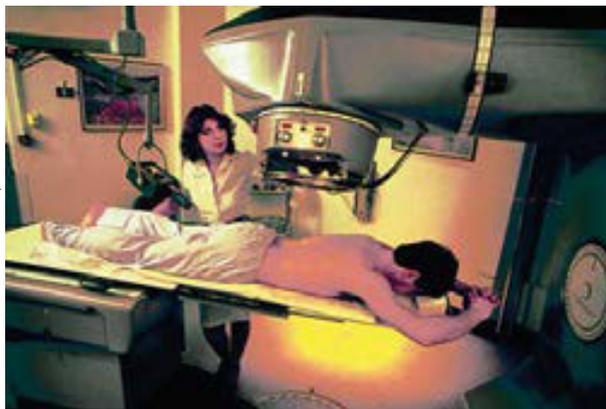
Preguntas 45 y 46

dirección de las líneas del campo, ¿la magnitud del campo magnético neto en el centro del circuito (el campo uniforme más el campo inducido) será mayor, igual, o menor que la magnitud del campo uniforme? Explique.

46. Un anillo de cobre se orienta perpendicular a un campo magnético uniforme. El anillo se estira rápido, de modo que su radio se duplica en poco tiempo. Cuando el anillo se estira, ¿la magnitud del campo magnético neto en el centro del circuito (el campo uniforme más el campo inducido) es mayor, igual, o menor que la magnitud del campo uniforme? Explique.
47. La inserción rápida del polo norte de un imán en barra en una bobina de cable hace que la aguja de un medidor se desvíe hacia la derecha. Describa dos acciones que harán que la aguja se desvíe hacia la izquierda.
48. ¿Cómo puede producir una corriente en un solenoide al girar un imán pequeño dentro de la bobina?
49. Cuando se conecta un transformador en una tomacorriente de pared, produce una electricidad de corriente alterna de 9 volts para un reproductor de cintas portátil. ¿Está conectada al tomacorriente de pared la bobina con la cantidad de vueltas más grande o más pequeña? ¿Por qué?
50. Si tuviera un automóvil antiguo que necesitara una batería de 6 volts para encender el motor, ¿podría utilizar una batería de 12 volts con un transformador para obtener el voltaje de salida necesario? ¿Cómo?
51. ¿Cuál es el propósito de utilizar un conmutador en un motor?
52. ¿Qué efecto tiene un conmutador en la salida eléctrica de un generador?
53. Describa una onda electromagnética mientras se propaga por el espacio vacío.
54. ¿Cómo se generan las ondas electromagnéticas?
55. ¿Cuál de las siguientes no es una onda electromagnética: de radio, de televisión, de luz azul, de luz infrarroja, o de sonido?
56. ¿Cuál de las ondas electromagnéticas siguientes tiene la frecuencia más baja: de radio, de microondas, de luz visible, de luz ultravioleta, o de rayos X? ¿Cuál tiene la frecuencia más alta?
57. ¿Cuál es la diferencia entre los rayos X y los rayos gamma?
58. ¿Qué tan rápido viajan por el vacío los rayos X?
59. ¿Cómo codifica el sonido una estación de radio AM?
60. ¿Cómo transmite el sonido una estación de radio FM?
61. ¿En qué frecuencia transmite la estación de radio FM 102.1?
62. ¿Qué significa que un locutor diga que "usted escucha radio 1380"?

EJERCICIOS

1. El récord para un campo magnético uniforme son 45 T. ¿Cómo se expresa este campo en gauss?
2. ¿Cuál es el campo magnético (expresado en gauss) de un imán de refrigerador con un campo magnético de 0.3 T?
3. Se ha medido que el campo magnético en el ecuador de Júpiter es 4.3 G. ¿A cuánto equivale este campo expresado en teslas?
4. El campo magnético asociado con las manchas solares está en el orden de 1500 G. ¿Cuántos teslas es esto?
5. Un electrón tiene una velocidad de 3×10^6 m/s perpendicular a un campo magnético de 2 T. ¿Cuáles fuerza y aceleración experimenta el electrón?
6. ¿Cuáles fuerza y aceleración experimentaría un protón bajo las condiciones del ejercicio 5?
7. Una bola metálica con una masa de 2 g, una carga de $1 \mu\text{C}$, y una velocidad de 40 m/s entra a un campo magnético de 30 T. ¿Cuáles son la fuerza y la aceleración máximas de la bola?
8. Una bola muy pequeña con una masa de 0.1 g tiene una carga de $10 \mu\text{C}$. Si entra a un campo magnético de 10 T con una velocidad de 30 m/s, ¿cuáles son la fuerza y la aceleración máximas que experimenta la bola?
- ▲ 9. Si quisiera que la fuerza magnética máxima sobre la bola del ejercicio 7 fuera igual a la fuerza gravitacional sobre la bola, ¿cuál carga necesitaría darle?
- ▲ 10. ¿Cuál velocidad se necesitaría en el ejercicio 8 para que la fuerza magnética máxima fuera igual a la fuerza gravitacional?
- ▲ 11. Una gota de tinta con una carga $q = 3 \times 10^{-9}$ C se mueve en una región que contiene un campo eléctrico y un campo magnético. La intensidad del campo eléctrico es 3×10^5 N/C, y la intensidad del campo magnético es 0.2 T. ¿A qué velocidad debe moverse la partícula perpendicular al campo magnético para que sean iguales las magnitudes de las fuerzas eléctrica y magnética?
- ▲ 12. ¿Cómo cambiaría su respuesta al ejercicio 11 si se duplicara la carga en la gota de tinta?
- ▲ 13. Una partícula con una carga $q = 5 \mu\text{C}$, y una masa $m = 6 \times 10^{-5}$ kg se mueve paralela a la superficie terrestre a una velocidad de 1000 m/s. ¿Cuál intensidad mínima de un campo magnético se requeriría para equilibrar la fuerza gravitacional sobre la partícula?
- ▲ 14. ¿Cuál intensidad mínima de un campo magnético se requiere para equilibrar la fuerza gravitacional sobre un protón que se mueve a una velocidad de 3×10^6 m/s?
15. Se utiliza un transformador para convertir la electricidad casera de 120 V a 9 V para emplearse en un reproductor de CDs portátil. Si la bobina principal conectada a la toma de corriente tiene 400 circuitos, ¿cuántos circuitos tendrá la bobina secundaria?
16. El voltaje en las líneas que transportan energía eléctrica a los hogares suele ser 2000 V. ¿Cuál es la razón requerida de los circuitos en las bobinas principal y secundaria del transformador para reducir el voltaje a 120 V?
17. Se emplea un transformador para reducir el voltaje de 120 V a 6 V para usarse con una rasuradora eléctrica. Si la rasuradora extrae una corriente de 0.5 A, ¿cuál corriente se extrae de las líneas de 120 V? ¿Cuál es la razón de los circuitos en las bobinas principal y secundaria del transformador?
18. Su toma de corriente de 120 V está protegida por un interruptor de circuitos de 20 A. ¿Cuál es la corriente máxima que puede suministrar a un aparato que utiliza un transformador que tiene en la bobina secundaria una décima parte de los circuitos que tiene en la bobina principal?
19. Usted utiliza un transformador con 800 circuitos en la bobina principal y 80 circuitos en la secundaria. Si la entrada de 120 V suministra 2 A, ¿cuál es la corriente en el aparato conectado al transformador?
20. Usted utiliza un transformador con 800 circuitos en la bobina principal y 80 circuitos en la secundaria. Si el transformador se conecta a una toma de corriente de 120 V protegida por un interruptor de circuitos de 20 A, ¿cuál es la clasificación de corriente máxima de un aparato que se pueda utilizar con este transformador?
21. ¿Cuánto tarda una señal de radio de la Tierra en alcanzar la Luna cuando está a 384 000 km de distancia?
22. Los satélites de comunicaciones que transportan mensajes telefónicos entre la ciudad de Nueva York y Londres tienen órbitas alrededor del ecuador a una altitud de 13 500 km. ¿Aproximadamente cuánto tarda un mensaje en viajar entre estas dos ciudades a través del satélite?
23. Muchos hornos de microondas utilizan microondas con una frecuencia de 2.45×10^9 Hz. ¿Cuál es la longitud de onda de esta radiación y cómo se compara con el tamaño de un horno convencional?
24. Una máquina de rayos X utilizada para terapia de radiación produce rayos X con una frecuencia máxima de 2.4×10^{20} Hz. ¿Cuál es la longitud de onda de estos rayos X?
25. La luz ultravioleta que provoca quemaduras de sol tiene una longitud de onda normal de 300 nm. ¿Cuál es la frecuencia de estos rayos?
26. El isótopo radiactivo de uso más común en la terapia de radiaciones es el cobalto 60. Genera dos rayos gamma con longitudes de onda de 1.06×10^{-12} m y 9.33×10^{-13} m. ¿Cuáles son las frecuencias de estos rayos gamma?



© Martín Dohm/Science Photo Library/Photo Researchers

27. ¿Cuál es el rango de las longitudes de onda de la radio AM?
28. ¿Cuál es el rango de las longitudes de onda de la radio FM?
29. ¿Cuál es la longitud de onda de la onda portadora para una estación de radio AM ubicada en el 1090 del cuadrante?
30. ¿Cuál es la longitud de onda más corta utilizada para las transmisiones de televisión?