INSTITUTO de ENSEÑANZAS a DISTANCIA de ANDALUCÍA

2º de Bachillerato

Física

Contenidos

Interacción electromagnética. Campo magnético: Efectos del campo magnético.

1. Introducción

Si te paras un instante a pensar qué es lo que conoces sobre el magnetismo hasta ahora, es decir, lo que has estudiado en los temas 1 y 2 de esta unidad, te permite contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es el magnetismo?
- ¿Cuáles son las fuentes del campo magnético?
- ¿Cuánto vale el campo magnético en algún sitio?

Bien, este tema se va a plantear de manera diferente, ahora la idea es que, cuando lo termines, seas capaz de contestar a la cuestión ¿qué efectos produce el campo magnético? Esa es la gran pregunta de este tema.

Para responderla, empieza por imaginar que en algún sitio existe un campo magnético, olvídate de quien lo ha creado y no te pienses si ha sido un imán permanente, una carga moviéndose o una corriente, y, a continuación, plantéate la interrogación siguiente: qué ocurre si en ese sitio introducimos una carga en movimiento, o una corriente, o lo que sea.

Por lo tanto, no vas a calcular campos magnéticos, eso ya lo has hecho en el tema anterior, lo que emprenderás es el estudio de la acción de un campo magnético sobre diferentes elementos que se colocan en su interior. Por ejemplo, y para ir abriendo boca, la imagen siguiente presenta un rayo de electrones moviéndose en una trayectoria circular en un campo magnético, Principio del Ciclotrón. La emisión de luz es causada por la excitación de átomos de gas en el bulbo.

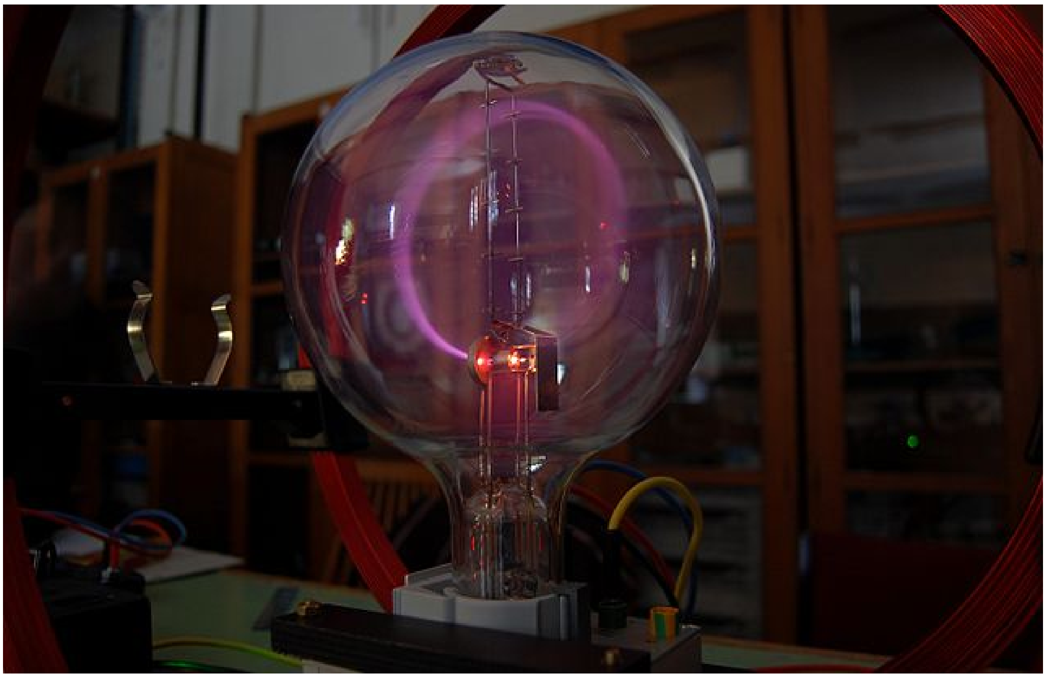


Imagen de Marcin Bialek en Wikimedia Commons. GNU

¿Te parece interesante la propuesta? Bueno, decide tú mismo pero, para tu información, te adelanto que los contenidos que se tratan en este tema sirven para explicar fenómenos tan interesantes como las auroras boreales, el acelerador de partículas LHC, el motor eléctrico, ... y muchos más.

2. Fuerza de Lorentz

Usa imaginación y recréate en la configuración de una región del espacio donde existe un campo magnético **B.** En este apartado, se verá qué le pasa a una carga q cuando se encuentra en esa región. Para eso, lo más práctico es hacer la experiencia, ya sabes que la experiencia es el juez supremo de la física. Bien, pues resulta que, cuando se realiza ese experimento se observan varias cosas:

1. Si la carga está en reposo, el campo magnético no actúa sobre ella, es decir, no se ejerce ninguna fuerza sobre ella.
2. La carga se ve sometida a una fuerza sólo en el caso en que esté moviéndose a una cierta velocidad **v**. Esta fuerza es proporcional al valor de la carga q, es perpendicular a la velocidad **v** y depende de la dirección de movimiento (dirección de **v**), de tal forma que la fuerza es máxima cuando **v** es perpendicular a **B**, y es nula si v es paralela a **B**.

Recuerda que estos son resultados experimentales y, lo que son las matemáticas, resulta que este comportamiento de la carga en un campo magnético lo podemos representar matemáticamente por una fórmula muy simple, que recibe el nombre de **Ley de Lorentz**:

$$\overrightarrow{F_m} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Pues bien, se va a proceder a hacer un análisis de la fórmula de Lorentz y verás que se ajusta a los resultados del experimento. Para empezar, al tratarse de un producto vectorial, el módulo de la fuerza se calcula así:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot sen(\widehat{\vec{v},\vec{B}})$$

lo cual hace que:

- La fuerza es proporcional a "q" y a "v".
- Es perpendicular a **v** y a **B**. Su dirección la determina el signo de la carga y el sentido del producto vectorial **v**x**B**.
- Si **v** y **B** son perpendiculares, el sen(**v**,**B**)=1 y la fuerza es máxima: $F_m = qvB$. En cambio, si **v** y **B** son paralelos, el sen(**v**,**B**)=0 y la fuerza es nula.
- Al ser la fuerza siempre perpendicular a "v", no producirá un cambio en el módulo de la velocidad, el efecto que produce sobre la carga es simplemente torcer su trayectoria de tal forma que, si la fuerza magnética es la única que actúa, se convierte en la fuerza centrípeta que obliga a la carga a describir una trayectoria circular. Un asunto interesante es calcular el radio de la trayectoria, para ello basta con igualar el módulo de la fuerza magnética con la expresión de la fuerza centrípeta (F_m=F_c).

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

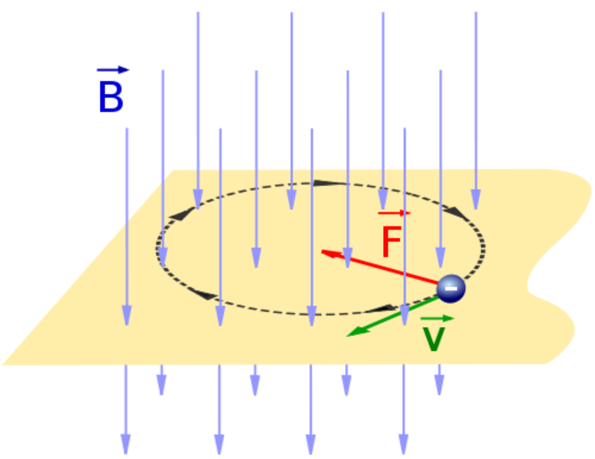


Imagen de Jfmelero en Wikimedia Commons. CC

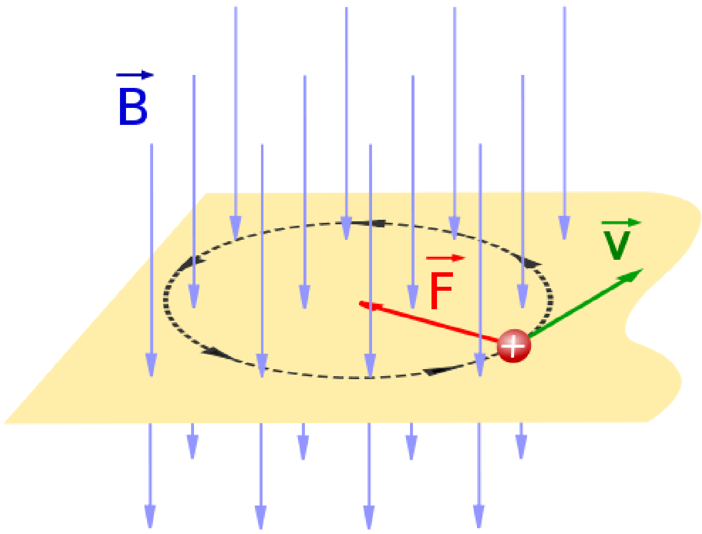


Imagen de Jfmelero en Wikimedia Commons. CC

Ya ves que hemos supuesto que "v" es perpendicular a "B", si no lo fuera, la trayectoria sería helicoidal, como puedes comprobar en el vídeo a continuación

Vídeo de fisyquimchaparil alojado en Youtube

Curiosidad

Existe una regla que te puede venir bien para determinar la dirección de la fuerza magnética, se trata de la regla de la mano izquierda. Si colocas el dedo corazón en el sentido de **v** y el índice en el sentido de **B**, el pulgar marcará el sentido de **F** para una carga positiva. Si la carga es negativa será el sentido contrario.

Aquí no se han comido mucho el coco los científicos con el nombre le llaman la regla de la mano derecha, otra muy similar y con los mismos resultados es la regla del sacacorchos.

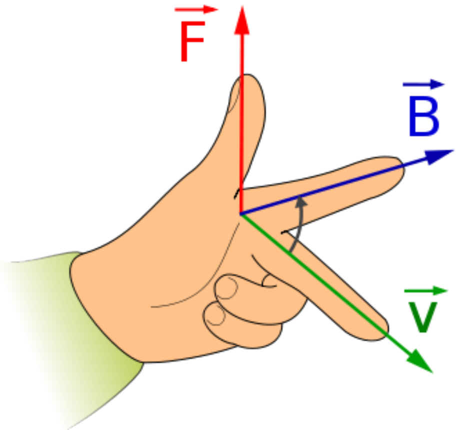


Imagen de Jfmelero en Wikimedia Commons. CC

Reflexiona

A partir de la expresión matemática de la fuerza de Lorentz, ¿cuál crees que es el trabajo realizado por la fuerza magnética a lo largo de cualquier trayectoria?

Mostrar retroalimentación

Puesto que la fuerza magnética es siempre perpendicular al desplazamiento infinitesimal ($d\vec{r}$) , **el trabajo** realizado por ella **es siempre cero**. Recuerda la expresión del trabajo.

$$W = \int \vec{F} d\vec{r}$$

También puedes aplicar el teorema de las fuerzas vivas, la partícula no cambia en ningún momento el módulo de la velocidad si su dirección.

$$W = \int \vec{F} d\vec{r} = \Delta E_c$$

Comprueba lo aprendido

De los vectores **v**, **B** y **F**, ¿cuáles son perpendiculares siempre?

- [ ] **v** y **F**
- [ ] **v** y **B**
- [ ] **F** y **B**

Mostrar retroalimentación

Solution

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Incorrecto

Ejercicio resuelto

Dos partículas con cargas eléctricas, del mismo valor absoluto y diferente signo, se mueven con la misma velocidad, dirigida hacia la derecha y en el plano del folio. Ambas partículas penetran en un campo magnético de dirección perpendicular al folio y dirigido hacia abajo.

a) Analiza con ayuda de un gráfico las trayectorias seguidas por las dos partículas.

a) Analiza con ayuda de un gráfico las trayectorias seguidas por las dos partículas.

Mostrar retroalimentación

El movimiento de una partícula cargada en el interior de un campo magnético viene determinado por la fuerza magnética que el campo ejerce sobre la partícula conocida por fuerza de Lorentz.

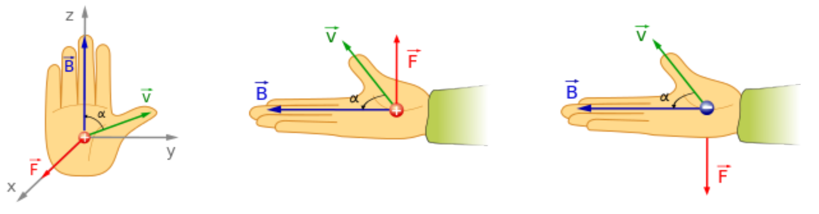


Imagen en Wikimedia Commons
de Jfmelero bajo licencia CC

El valor de esta fuerza viene expresado por la ley que lleva su nombre.

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Su modulo se obtiene multiplicando todas las magnitudes por la función seno del ángulo que forman velocidad y campo magnético. La dirección es perpendicular al plano que se puede construir con la velocidad y el campo magnético. Su sentido estará marcado por la carga y puede ser establecido por la regla de la mano derecha.

En este caso de que el ángulo que forma la velocidad con el campo es de 90º el valor de la fuerza será máximo.

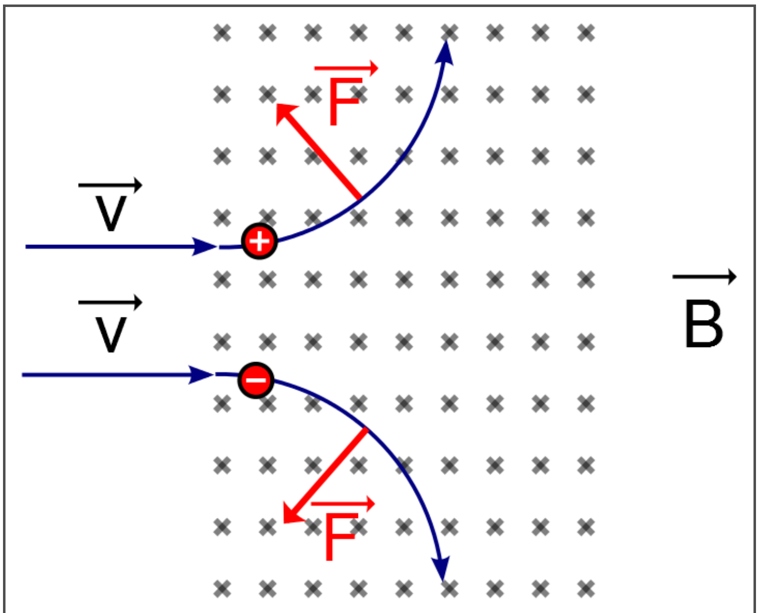


Imagen en Wikimedia Commons
de FJGAR bajo licencia CC

Como la fuerza es perpendicular a la velocidad el efecto sobre la misma es un cambio de dirección, ya que la aceleración producida es de tipo normal, luego quiere decir que la partícula adquirirá un movimiento circular uniforme.

Que al aplicarles las leyes de Newton se puede establecer el radio de giro y demás magnitudes características del movimiento. Hay que hacer constar que para que ambas tengan la misma trayectoria deben coincidir las masas. La situación recalca que tienen diferentes signos, por tanto, difieren en la orientación del giro.

b) Si la masa de una de ellas es doble que la de la otra (m_1 = 2 m_2) ¿Cuál gira más rápidamente?

Mostrar retroalimentación

La pregunta es un poco confusa ya que la velocidad lineal es la misma para las dos partículas. Sin embargo la velocidad de giro es diferente debido a que su radio también lo será como consecuencia de tener diferente masa.

Tras aplicar la ley de Lorentz e igualar la fuerza a la aceleración normal, es fácil deducir el periodo de giro.

$$2\pi m_1$$

$$T_1 = \frac{}{qB}$$

$$T_2 = \frac{2\pi m_2}{qB}$$

Como la masa de una es el doble de la otra se puede establecer una relación al dividir ambos periodos.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{2\pi m_1}{qB}}{\frac{2\pi m_2}{qB}}$$

$$m_1 = 2m_2$$

Al sustituir queda

$$\frac{T_1}{T_2} = 2$$

De resultado se deduce que la más ligera describe la trayectoria en un menor tiempo que la más pesada, obviamente, su trayectoria tendrá un menor radio.

2.1. Fuerza de Lorentz generalizada

Este es un caso interesante. Imagina que introducimos una carga en una región del espacio en la que existe, además de un campo magnético **B**, otro eléctrico **E**.

Como sabes de la unidad anterior, una carga en el interior de un campo eléctrico se ve sometida a una fuerza dada por

$$\vec{F}_e = q\cdot\vec{E}$$

y la fuerza magnética ya conoces que se puede escribir:

$$\vec{F}_m = q\cdot\vec{v}\times\vec{B}$$

Cuando en una zona existen los dos campos, la carga se verá sometida a una fuerza igual a la suma de las anteriores expresiones:

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q\cdot\vec{E} + q\cdot\vec{v}\times\vec{B} = q\cdot\left(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right)$$

expresión que se conoce como **fuerza de Lorentz generalizada.**

Importante

No debes olvidar que, sean cuales sean las fuerzas que actúan sobre una carga, la segunda ley de Newton debe cumplirse siempre.

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$

La ecuación matemática anterior es válida en este y en cualquier problema en el que intervengan fuerzas. La cuestión es que esta expresión no se suele utilizar para calcular fuerzas, sino que debe entenderse de la siguiente forma: Conocidas las fuerzas que actúan sobre una carga (fuerza eléctrica, magnética, gravitatoria,...) la segunda ley de Newton permite estimar el valor de su aceleración.

Por lo tanto, la ley de Lorentz posibilita calcular la fuerza que actúa sobre una carga. Conocida esta fuerza, la segunda ley de Newton te llevará a la aceleración.

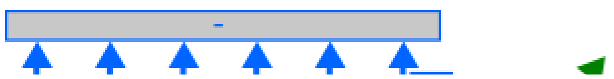
$$\vec{F} = q\cdot\left(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right) = m\vec{a}$$

Ejercicio resuelto

Una partícula con carga positiva se mueve en línea recta y penetra en una región en la que existen un campo eléctrico y un campo magnético, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la velocidad inicial de la partícula.

Haga un esquema y razone qué condición debe cumplirse para que la partícula continúe su trayectoria rectilínea.

Mostrar retroalimentación



Como la carga se encuentra sometida tanto a un campo magnético como eléctrico sobre

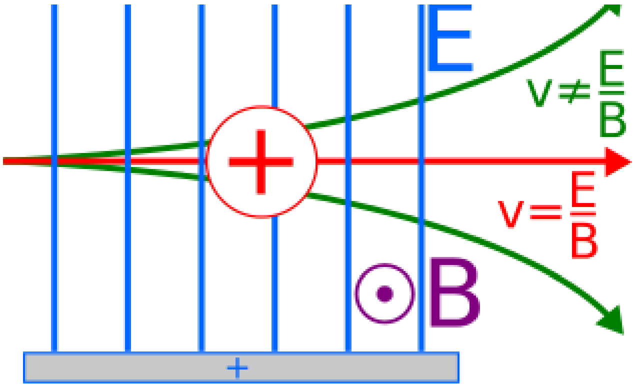


Imagen en Wikimedia Commons de Sjlegg de dominio público

magnético como eléctrico sobre ella aparecerán dos interacciones debido a los citados campos.

Las fuerzas vienen determinadas por:

$$F_m = qvB; \ F_e = qE$$

Para que la carga mantenga su trayectoria rectilínea supone, en virtud a la primera ley de Newton, que la suma de las fuerzas actuantes se anulen, es decir, que sus módulos sean idénticos.

Luego,

$$qvB = qE$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Concluyendo, la fuerza eléctrica y magnética tienen la misma dirección y modulo, pero sentido contrario.

Comprueba lo aprendido

En la retroalimentación de la reflexión anterior hemos presentado una imagen en la que se observa la trayectoria rectilínea de una carga positiva. ¿Qué habría pasado si la carga hubiera sido negativa?

- Los vectores E y B habría que dibujarlos en sentido contrario y, por tanto, la trayectoria de la carga sería en sentido contrario
- Los vectores $\mathbf{F}_m$ y $\mathbf{F}_e$ habría que dibujarlos en sentido contrario, pero la dirección y sentido de movimiento seguirían siendo los mismos.

Falso. Las direcciones de **E** y **B** se han dibujado independientemente de la dirección en la que se mueve la carga. Es al revés, la dirección de movimiento de la carga depende de las direcciones en las que se dibujen **E** y **B**.

Cierto. Puesto que ambas fuerzas dependen de q, al cambiar de signo q, cambia el sentido de ambas fuerzas. Sin embargo la trayectoria de la partícula no cambia porque la suma de ambas sigue siendo cero.

Esto se puede deducir también de la expresión que hemos obtenido

$$\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0 \ \Rightarrow \ \vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$$

Solution

1. Incorrecto
2. Opción correcta

2.2. Aplicaciones

Pues lo cierto es que todo este asunto del magnetismo sobre cargas en movimiento tiene aplicaciones muy interesantes, por ejemplo, las dos que te presentamos aquí:

EL CICLOTRÓN

En el ciclotrón se combinan la acción de un campo eléctrico alterno, que les proporciona sucesivos impulsos, con un campo magnético uniforme que curva su trayectoria y las redirige una y otra vez hacia el campo eléctrico. Fue inventado en el año 1934 por los físicos estadounidenses Livingston (1905-1986) y Lawrence (1901-1958) (por este motivo, este último recibió en 1939 el premio Nobel).

En la vídeo de la derecha puedes ver el funcionamiento del ciclotrón. Observa que el dispositivo consta de dos cámaras semicirculares (llamadas "des" por su forma) que se encuentran en el interior de un campo magnético perpendicular a ellas. Ese campo magnético las obliga a describir un semicírculo antes de entrar en una zona de campo eléctrico que las acelera hasta la otra "de", donde vuelven a describir un círculo de mayor radio antes de volver a ser aceleradas por el campo eléctrico (que ahora está invertido)

Vídeo de wolframmathematica alojado en Youtube

La velocidad que adquieren las partículas después de cada semicircunferencia es:

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \;\rightarrow\; v = \frac{qBR}{m}$$

No olvides que la velocidad angular correspondiente es:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m}$$

y la frecuencia correspondiente a esta velocidad

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m}$$

Ese valor debe el mismo al que tiene que oscilar el campo eléctrico para que esté sincronizado con las partículas y las acelere cada vez que pasen por la zona de campo eléctrico. Se le llama **frecuencia de resonancia del ciclotrón**.

ESPECTRÓMETRO DE MASAS

¿Te has preguntado alguna vez cómo es posible conocer datos de masa de partículas atómicas, siendo estas tan pequeñas? El espectrómetro de masas permite analizar la composición de diferentes elementos químicos e isótopos atómicos, separando los núcleos atómicos en función de su relación carga-masa (q/m).

Consta de una cámara donde se producen iones de cierta sustancia, los cuales son acelerados por un campo eléctrico hasta penetrar en una región en la que existe un campo magnético perpendicular que los obliga a describir círculos de cierto radio R. La idea es medir el radio experimentalmente observando el impacto de las partículas en una pantalla detectora. Como los diferentes isótopos tienen igual carga pero diferente masa, las circunferencias descritas tendrán diferentes radios, con lo que consigues encontrar su relación carga-masa. Estas son las cuentas que hay que hacer:

El radio de la semicircunferencia descrita ya lo has visto en apartados anteriores, viene dado por:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Por otra parte, la velocidad de las partículas al entrar en la zona de campo magnético se puede obtener igualando su variación de energía cinética con la disminución de energía potencial. Fíjate que esta expresión permite calcular la velocidad de los iones en función de la diferencia de potencial que se aplica, o sea, que la velocidad de las partículas se controla experimentalmente a través de la diferencia de potencial.

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V \;\rightarrow\; v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}$$

Combinando las dos ecuaciones nos queda la relación carga-masa:

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{B \cdot R} = \frac{\sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}}{B \cdot R} \;\rightarrow\; \frac{q}{m} = \frac{2\Delta V}{B^2 R^2}$$

Lo siguiente es una simulación y una imagen que representa el principio de funcionamiento del espectrómetro

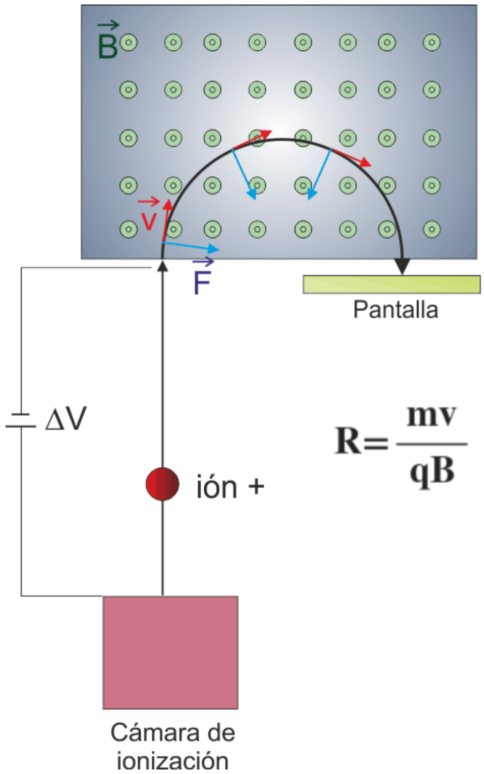
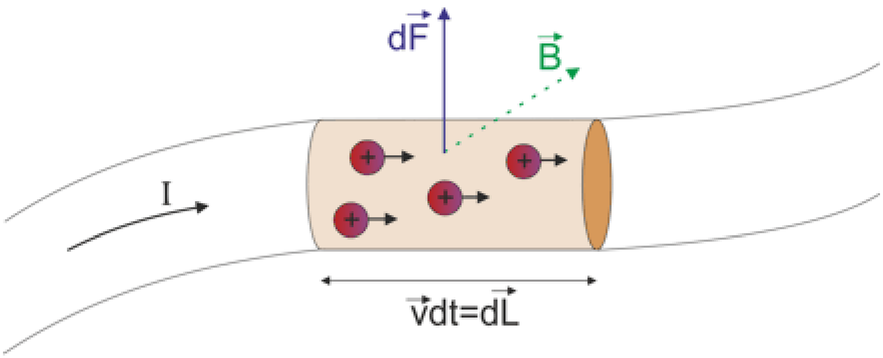


Imagen de Juancarcole en Wikimedia Commons. CC

3. Fuerza sobre un hilo conductor

Vas a ver ahora un asunto interesante que tiene muchas repercusiones en la práctica. Ya sabes que una corriente eléctrica no es otra cosa que el movimiento de cargas eléctricas en el seno de un conductor. Resulta evidente que, si un campo magnético es capaz de ejercer una fuerza sobre una carga en movimiento, por la misma razón ejercerá una fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente eléctrica de intensidad I.

¿Cuánto vale esa fuerza? Para obtener una fórmula que te permita calcularla, se hará uso de la expresión de la fuerza de Lorentz y con ayuda de algunos "trucos" matemáticos te la presentaré. ¿Preparado? Listo, ¡ya!



$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{L} \times \vec{B}$$

Imagen de Juancarcole en Wikimedia Commons. CC

En primer lugar, imagina un trozo de conductor muy, muy pequeño. Tan pequeño, para ahorrar problemas, se pueda suponer que la velocidad de las cargas en él es constante. Los matemáticos y los físicos, como no, llaman a estos trozos tan pequeños **elementos infinitesimales**. La longitud de este fragmento se representa por d**L** , al poner la "d" delante se expresa con ello su variación es infinitesimal. Al ser tan diminut, por no decir insignificante, la carga que pasa por ellos en un intervalo de tiempo minúsculo (dt) será también semejante a las otras magnitudes muy reducida (dq).

La intensidad de corriente, que se define como la carga que atraviesa un punto del conductor en la unidad de tiempo, se expresa como:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

por otra parte, para la distancia recorrida por las cargas, se usa la expresión del movimiento uniforme, recuerda que **v** es constante en ese trozo.

$$d\vec{L} = \vec{v} \cdot dt$$

Bien , ha llegado el momento de aplicar la ley de Lorentz a la carga "dq" que se mueve por el conductor. Si se sustituye ésta por I·dt y, posteriormente, **v**·dt por d**L** queda:

$$d\vec{F} = dq \cdot \vec{v} \times \vec{B} = I \cdot dt \cdot \vec{v} \times \vec{B} = I \cdot \overrightarrow{dL} \times \vec{B}$$

Así que el formalismo matemático de la fuerza ejercida por el campo magnético sobre el trozo "dL" tomo el valor:

$$d\vec{F} = I \cdot \overrightarrow{dL} \times \vec{B}$$

Esto está muy bien, sin embargo lo que se desea es conocer la fuerza que actúa sobre un conductor de cierta longitud L que podamos ver, no sobre un trocito imaginario y pequeñísimo dL. ¿Cómo se hace esto? La respuesta es simple, si tenemos un trozo de longitud L, lo que tenemos que hacer es sumar todas las fuerzas dF que actúan sobre los trozos infinitesimales. ¿Y cómo se suma esto? Afortunadamente los matemáticos tienen trucos para casi todo y lo hacen a través de una integral.

$$\vec{F} = \int_C I \cdot \overrightarrow{dL} \times \vec{B}$$

Es posible que ya sepas lo que es una integral, en caso contrario no te preocupes (lo aprenderás este curso en mates), a nosotros lo único que nos interesa es que sepas que, si el conductor es rectilíneo, el resultado de esta integral es:

$$\overrightarrow{F_m} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

Esta es la expresión que se quería obtener. Un detalle importante, aunque parece intuitivo, el vector **L** tiene la dirección y sentido que marca la intensidad de corriente, pero ojo, I no es un vector. No olvides esta fórmula, la utilizarás de nuevo en el apartado siguiente para comprender un fenómeno interesante. De momento, se fragmentará la expresión de la fuerza para su análisis.

Por ejemplo, se puede empezar escribiendo la expresión del módulo

$$F_m = I \cdot L \cdot B \cdot sen(\widehat{\vec{L},\vec{B}})$$

Ya ves que la fórmula es del mismo tipo que la fuerza de Lorentz, es proporcional a la intensidad, la longitud y el campo, y además es perpendicular a **L** y a **B**. La dirección y sentido de **F** la determina el producto vectorial de **L**x**B**, la tienes representada en la imagen siguiente. De camino puedes comprobar que también es posible aplicar la regla de la mano izquierda para conocer la dirección y sentido de la fuerza. No olvides que **L** es un vector que tiene la dirección y sentido de I.

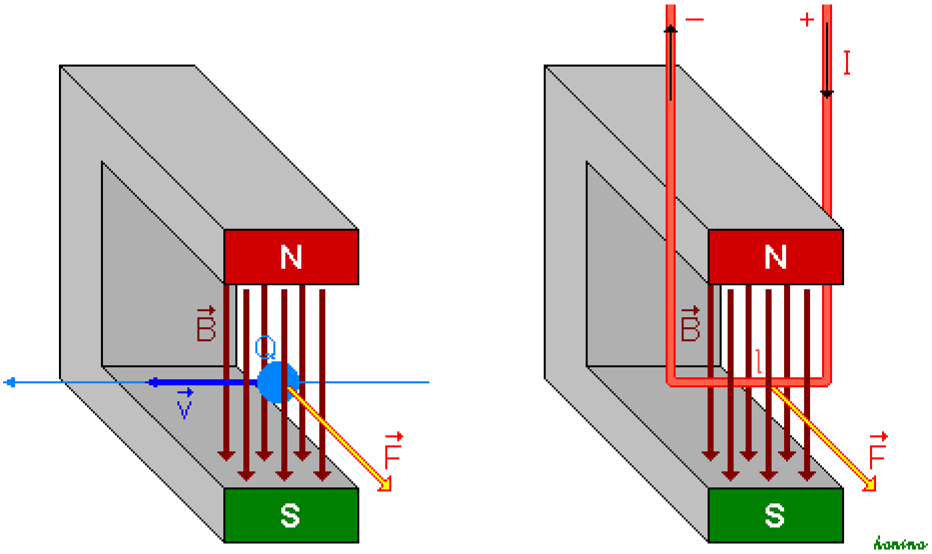


Imagen de Honina en Wikimedia Commons. GNU

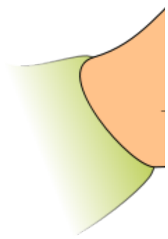


Imagen de Jfmel

Reflexiona

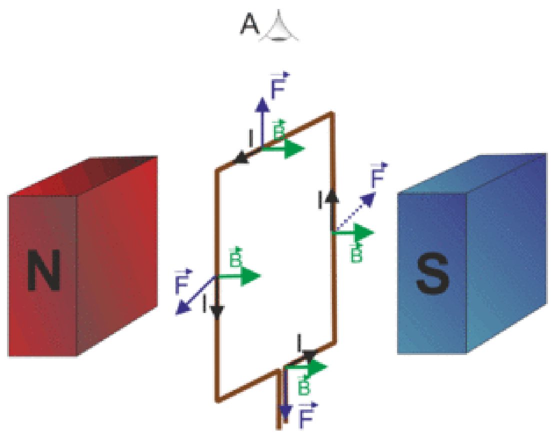
¿Qué orientación debe tener una corriente eléctrica en el interior de un campo magnético para no experimentar ninguna fuerza?

Mostrar retroalimentación

La única posibilidad es que la corriente sea paralela al campo, de esta manera el producto vectorial **L**x**B**=0

4. Fuerza sobre una espira

Puede que, al leer el apartado anterior, te hayas preguntado, bueno ¿y qué?, ¿qué interés tiene conocer la formulita $\overrightarrow{F_m} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$?



Vale, la idea de este apartado es que cambies de opinión o, mejor dicho, la concepción de lo que sigue es sentar las bases para que alteres tu parecer.

¿Cómo se va a hacer? Pues el quid de la cuestión está en imaginar una espira rectangular como la de la figura, por la que circula una corriente I, situada en un campo magnético constante **B**.

Todo lo que hay que hacer es aplicar la fórmula anterior a cada uno de los cuatro lados de la espira. Piénsalo y comprobarás lo siguiente:

- Sobre los lados que se ha dibujado horizontales actúan fuerzas iguales y de sentido contrario. Ambas se anulan y no producen ningún efecto.
- En cambio, sobre los lados dibujados verticalmente las dos fuerzas que actúan también son iguales y de sentido contrario pero, en este caso y como puedes comprobar en la parte inferior de la figura, ambas fuerzas no están alineadas y provocan un par que tiende a girar la espira.

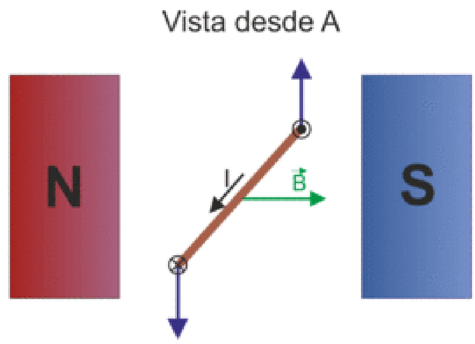


Imagen de Juancarcole en Wikimedia Commons. CC

Este giro de la espira es lo más interesante de todo esto que se está hablando. En general, se puede afirmar que, si se introduce una espira por la que circula una corriente en un campo magnético, **la espira gira hasta situarse de forma perpendicular al campo**.

Cuando la espira se coloca perpendicular al campo la espira está en equilibrio porque, tanto las fuerzas como los pares de fuerzas son cero.

Si quieres, puedes ampliar esta idea en el apartado siguiente.

Para saber más

En general, un objeto que tiene libertad para trasladarse o girar se encuentra en equilibrio cuando se cumplen dos condiciones:

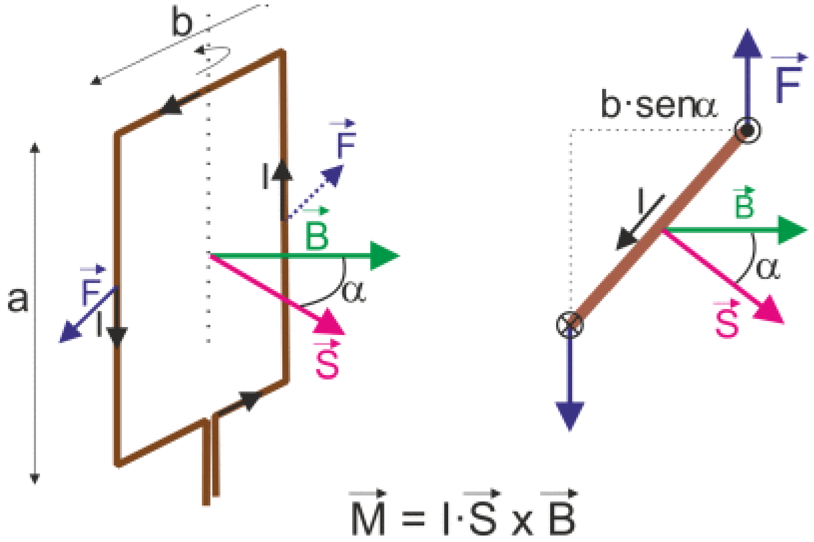
- Que la suma de las fuerzas que actúan sobre él sea cero (Σ**F**=0).
- Que la suma de los momentos de las fuerzas respecto de cualquier punto sea cero (Σ**M**=0).

¿Qué es eso del momento de una fuerza y por qué no sabías nada de él hasta ahora?

El momento de una fuerza respecto de un punto se define como el producto vectorial $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, donde **r** es un vector que va desde el punto que sea hasta el punto de aplicación de la fuerza. Es importante que te des cuenta que el momento de una fuerza es una magnitud interesante en los movimientos de cuerpos que giran en torno a un punto como, por ejemplo, la espira analizada anteriormente. La razón por la que no sabías nada del momento es porque, hasta ahora, siempre has estudiado la física de una partícula, y una partícula no puede girar sobre sí misma. Pero, si se te viene a la cabeza el giro de la Tierra, basta con que pienses que está compuesta por muchas partículas.

Fíjate ahora en la espira de la figura. El módulo de la fuerza magnética que actúa

sobre cualquiera de los lados verticales, de longitud "a", se calcula de la siguiente forma:



Imagende Juancarcole en Wikimedia Commons. CC

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot sen\alpha = I \cdot a \cdot B$$

y ambas fuerzas ejercen un momento sobre el punto medio del lado, que es el punto alrededor del cual viran o por donde pasa el eje de rotación o giro, que vale:

$$M = M_1 + M_2 = F \cdot \frac{b}{2} \cdot sen\alpha + F \cdot \frac{b}{2} \cdot sen\alpha = F \cdot b \cdot sen\alpha$$

Sustituyendo el valor de F.

$$M = I \cdot a \cdot b \cdot B \cdot sen\alpha = I \cdot S \cdot B \cdot sen\alpha$$

Esta expresión la podemos escribir de forma vectorial así:

$$\overrightarrow{M} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B}$$

donde $\vec{S}$ es un vector perpendicular a la espira cuyo módulo coincide con su área, es decir: S=a·b

EL MOTOR ELÉCTRICO

Como ya sabes, un motor eléctrico es un dispositivo que permite transformar la energía potencial eléctrica de la corriente en energía cinética y/o energía potencial gravitatoria. Para conseguir esto basta con hacer que pase una corriente por una espira rectangular tal como se indica en la simulación siguiente. El detalle importante es que te des cuenta que el aparato está diseñado de tal forma que, cada media vuelta, las escobillas, extremos de los conductores A y B, hacen que la corriente cambie de sentido en la espira, lo que permite el movimiento continuo.

Simulación adaptada a JS alojada en Proyecto Newton, bajo licencia Creative Commons

EL GALVANÓMETRO

Un galvanómetro es un dispositivo que sirve para detectar corriente eléctrica. Su funcionamiento es muy simple, si queremos medir el paso de corriente por un circuito, basta con insertar en él una bobina situada en el interior de un campo magnético. Cuando pase corriente por la bobina, el campo magnético la obligará a girar, y además este giro será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad de corriente que pasa por ella. Esta proporcionalidad entre el giro de la bobina y la corriente que la atraviesa es la que permite medirla.

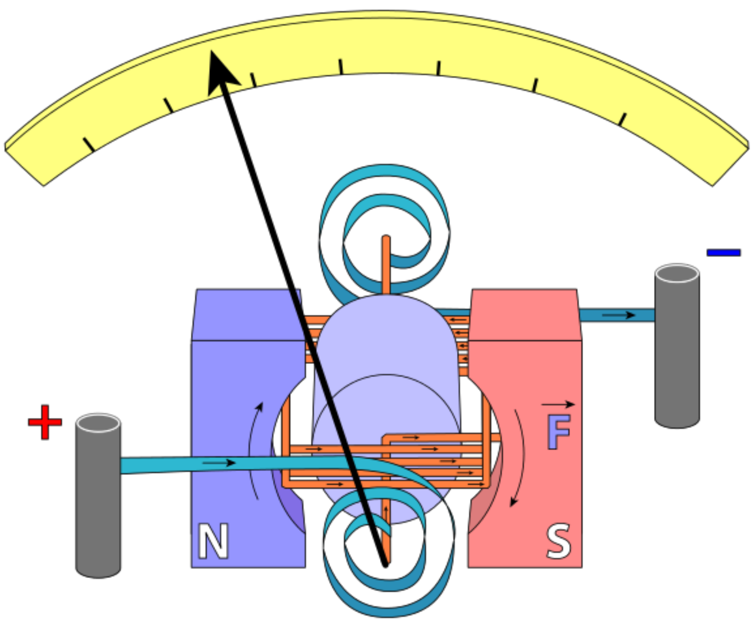


Imagen de Fred de Oyster en Wikimedia Commons. CC

5. Fuerza entre hilos conductores

Imagina dos conductores rectilíneos y paralelos, separados una cierta distancia d, por los que circulan corrientes I_1 e I_2. Se va a combinar dos expresiones conocidas para conocer la fuerza que se ejercen entre sí dos corrientes paralelas.

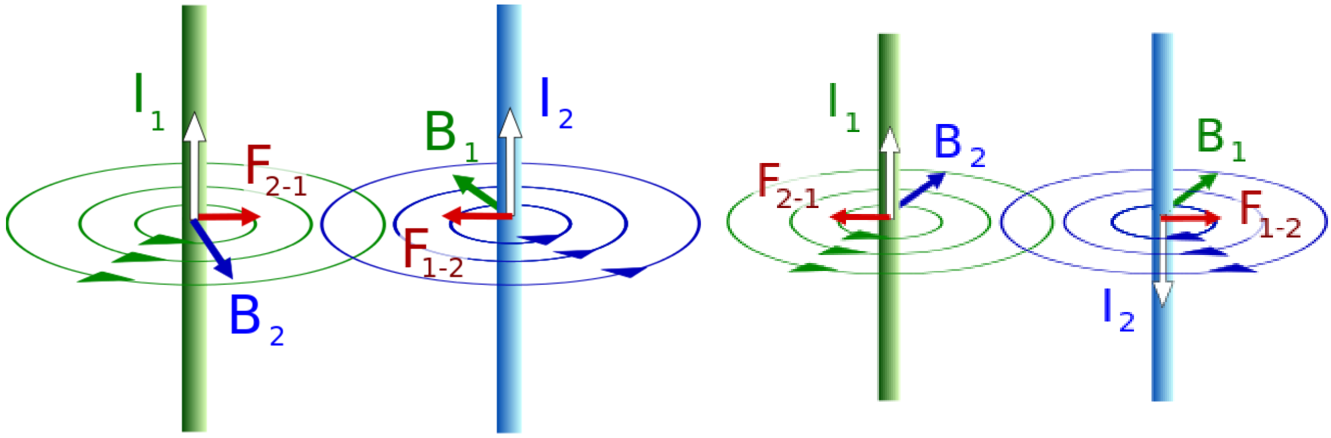
1. Lleva la mirada en uno cualquiera de los conductores, por ejemplo el 1, y se calcula el campo magnético que crea en el lugar en el que se encuentra el 2. Este campo viene dado por la expresión: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$. La dirección y sentido de B_1 la puedes conocer por la regla de la mano derecha que has visto en el tema anterior, además la puedes ver en la imagen de más abajo.
2. Se evalúa la fuerza que actúa sobre el conductor 1 por estar situado en el interior de ese campo B_1.

$$F = I_2 l B_1 = I_2 l \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

La dirección y sentido de **F** la puedes conocer por la regla de la mano izquierda que has visto en este mismo tema, la imagen te da una visión. Normalmente, se suele escribir la expresión como la fuerza que actúa sobre la unidad de longitud.

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

En la imagen siguiente se representan la dirección y sentido de los vectores que están implicados en este proceso. Observa que, si las corrientes tienen el mismo sentido, la fuerza entre ellas es atractiva, y si las corrientes son de sentido contrario, la fuerza es repulsiva.



Imágenes en Wikimedia Commons de Jfmelero (atracción y repulsión) . GNU

Finalmente, aquí tienes una simulación en la que puedes ir viendo paso a paso todo el proceso que hemos seguido para obtener la fórmula anterior.

Animación en Fisica y Quimica en Flash de Ramón Flores. CC

Importante

La expresión de la fuerza entre corrientes se utiliza para definir la unidad de intensidad de corriente en el sistema internacional, el amperio.

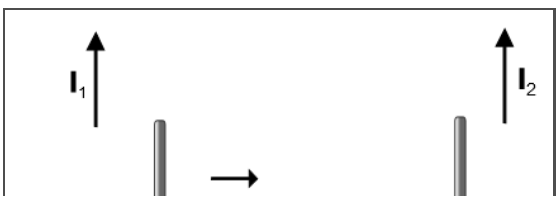
Definición de amperio: Es la intensidad de corriente que debe circular por dos conductores rectilíneos, paralelos e indefinidos, separados una distancia de un metro en el vacío, para que ambos se repelan con una fuerza de $2 \cdot 10^{-7}$ N por cada metro de longitud.

Ejercicio resuelto

Sean dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentido.

a) Explica qué fuerzas ejercen entre sí ambos conductores.

Mostrar retroalimentación



Como consecuencia del movimiento de las cargas que pasa por el interior de un conductor estos crean a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas.

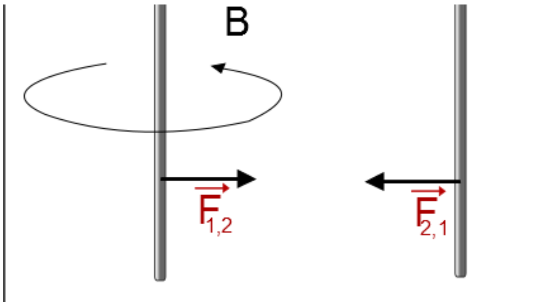


Imagen en Wikimedia Commons
de FJGAR bajo licencia CC

Dicho campo $\acute{B}$ tiene como características:

- Su módulo viene expresado según la Ley de Ampère: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
- Su dirección es perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas y perpendicular al vector $\vec{r}$ que corresponde en modulo a la distancia desde la corriente al punto considerado.
- Su sentido se puede determinar por la regla de la mano derecha o del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.

Como los dos conductores se disponen de forma paralela, siendo sus corrientes de igual sentido ambos muestran una interacción atractiva dada por la ley de la Laplace.

$$F = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r}$$

b) Representa gráficamente la situación en la que las fuerzas son repulsivas, dibujando el campo magnético y la fuerza sobre cada conductor.

Mostrar retroalimentación

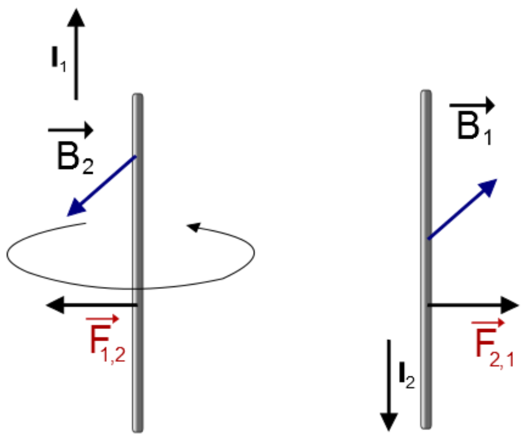


Imagen en Wikimedia Commons
de FJGAR bajo licencia CC

Al poseer las corrientes en sentido contrario, las fuerzas magnéticas que aparecen serán repulsivas, como se muestra en el dibujo. Se explica de manera similar que lo realizado en el apartado anterior.

Se debe hacer constar que tanto si son repulsivas las fuerzas o atractivas su módulo no difiere ya que la ley de Laplace en ambas situaciones es idéntica.

Ejercicio resuelto

Un electrón penetra con una velocidad de 5.10^6 m/s en un campo magnético de 12 T perpendicular a dicha velocidad.

me = $9{,}1.10^{-31}$ Kg. e = $1{,}6.10^{-19}$ C

Dibuje en un esquema la fuerza que actúa sobre la partícula así como la trayectoria seguida, y justificar el tipo de trayectoria.

Mostrar retroalimentación

La trayectoria seguida por el electrón es circular (como se observa en la figura) debido a que la fuerza ejercida por el campo magnético sobre él es perpendicular a su velocidad en todo momento. Dicha fuerza viene dada por la ley de Lorentz:

$$\overrightarrow{F_m} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

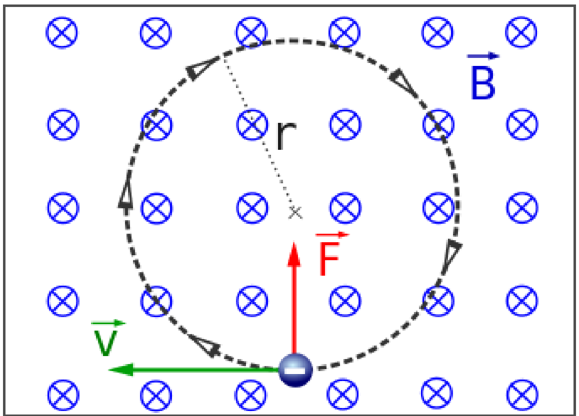


Imagen en Wikimedia Commons de Jfmelero bajo licencia CC

Calcule el radio de la trayectoria y el tiempo que tarda en dar una vuelta completa. Comentar cómo varían dichos resultados si el campo magnético fuera de valor doble.

Mostrar retroalimentación

Para calcular el radio de la circunferencia trayectoria, se debe tener en cuenta que la fuerza magnética expresada por la ley de Lorentz, en módulo, es la fuerza centrípeta que obliga al electrón a torcer su trayectoria. Es decir:

$$q_e v B = \frac{m_e v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m_e v}{q_e B} = 2.37 \cdot 10^{-6} \ m$$

El tiempo que tarda en dar una vuelta completa se calcula:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2.97 \cdot 10^{-12} \ s$$

Al analizar las expresiones permiten calcular r y T se puede observar que, si se modifica el valor de B hasta el doble, el radio y el período se reducen a la mitad.

Ejercicio resuelto

A lo largo de dos conductores rectilíneos y paralelos, separados por una distancia de 3 m, circulan intensidades de corriente I_1 e I_2 con la misma dirección y sentido.

$I_1=2.10^{-2}$ A ; $I_2=4.10^{-2}$ A ; $\mu_0=4\Pi.10^{-7}$ T.m/A

Determine:

La fuerza por unidad de longitud que actúa sobre cada uno de los conductores, indicando su dirección y sentido.

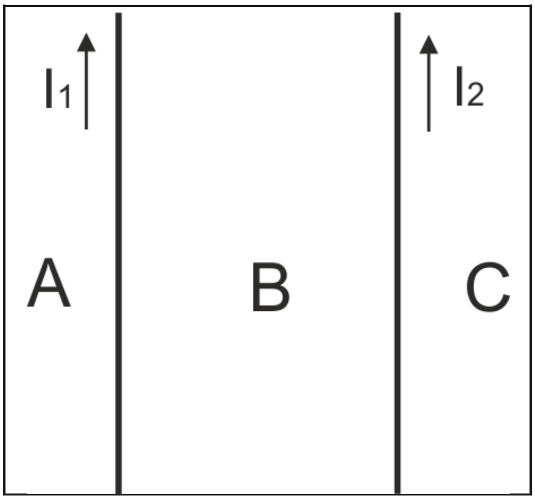
Mostrar retroalimentación

La fuerza por unidad de longitud se puede obtener por la expresión

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} = 5.33\cdot 10^{-11}\ N/m$$

siendo atractiva por tener las corrientes el mismo sentido.

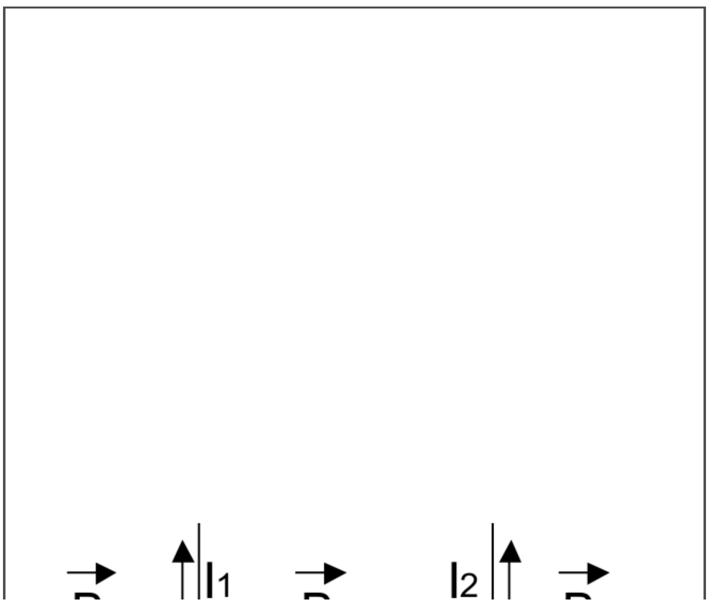
Dibuje el campo magnético creado por cada conductor en cada una de las regiones de la figura (A,B o C). A la vista del esquema, en qué punto el campo magnético vale 0.

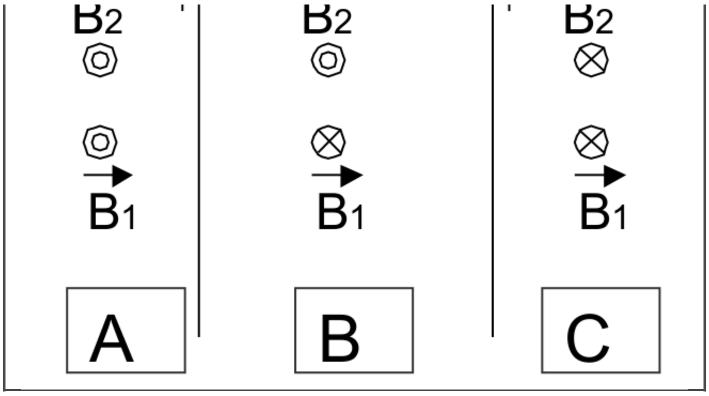


Mostrar retroalimentación

En la figura se observa la dirección y sentido de los campos magnéticos creados por la corriente I_1 (B_1) e I_2 (B_2) en cada una de las regiones A, B y C. Como se puede observar, sólo en la región B los campos B_1 y B_2 tienen sentidos contrarios y, por lo tanto, sólo en esa región el campo total puede ser cero. Para calcular el lugar exacto donde esto se produce basta con igualar los

módulos de los campos B_1 y B_2. Por lo tanto:





$$B_1 = B_2 \rightarrow \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi(3-x)} \rightarrow \frac{2}{x} = \frac{4}{3-x} \rightarrow x = 1\ m$$

el campo se anula a 1 m del conductor I_1

Ejercicio resuelto

Por un conductor rectilíneo indefinido, apoyado sobre un plano horizontal, circula una corriente de 20 A.

$\mu_0 = 4\pi\ 10^{-7}\ N{\cdot}m^2{\cdot}A^{-2}$; $g = 10\ m{\cdot}s^{-2}$

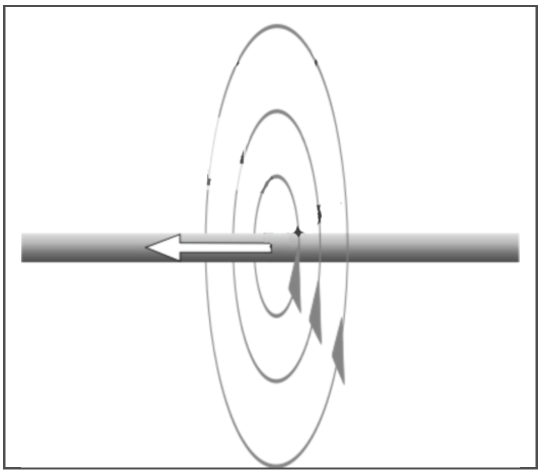
Dibuje las líneas del campo magnético producido por la corriente y calcule el valor de dicho campo en un punto situado en la vertical del conductor y a 2 cm de él.

Mostrar retroalimentación

Tal como viste en el tema anterior, las líneas de campo son circunferencias con centro en el conductor. El vector **B** es tangente a estas circunferencias imaginarias. Su dirección y sentido viene determinada por la regla de la mano derecha.

A 2 cm de él el valor del campo es

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = 2{\cdot}10^{-4}\ T$$



¿Qué corriente tendría que circular por un conductor, paralelo al anterior y situado a 2 cm por encima de él, para que no cayera, si la masa por unidad de longitud de dicho conductor es de 0,1 kg?

Mostrar retroalimentación

Para que no cayera el segundo conductor, la suma de las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero. Para eso es preciso que por este conductor circule una corriente en sentido contrario al primer conductor. De esta manera la fuerza entre corrientes sería repulsiva, dirigida hacia arriba, que debe compensarse con la fuerza peso, dirigida hacia abajo. Matemáticamente esto es:

$$mg = \frac{\mu_0}{2\pi} l \frac{I_1 I_2}{d} \;\rightarrow\; I_2 = \frac{m}{l}\frac{2\pi d g}{\mu_0 I_1} = 5000 \;\; A$$

Resumen

Importante

Cuando en una zona existen los dos campos, la carga se verá sometida a una fuerza igual a la suma de las anteriores expresiones:

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

expresión que se conoce como **fuerza de Lorentz generalizada.**

Importante

La fórmula matemática de la fuerza ejercida por el campo magnético sobre el trozo "dL" toma el valor:

$$d\vec{F} = I \cdot \overrightarrow{dL} \times \vec{B}$$

Es necesario integrar para determinar F.

Si el conductor es rectilíneo, el resultado de esta integral es:

$$\overrightarrow{F_m} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

Importante

En general, se puede afirmar que, si se introduce una espira por la que circula una corriente en un campo magnético, **la espira gira hasta situarse de forma perpendicular al campo**.

Cuando la espira se coloca perpendicular al campo la espira está en equilibrio porque, tanto las fuerzas como los pares de fuerzas son cero.

Importante

Fuerza entre hilos conductores

Si tenemos dos conductores rectilíneos y paralelos, separados una cierta distancia d, por los que circulan corrientes I_1 e I_2, la fuerza que actúa es (normalmente, se suele escribir los que circulan corrientes I_1 e I_2, la fuerza que actúa es (normalmente, se suele escribir la expresión como la fuerza que actúa sobre la unidad de longitud):

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

Importante

La expresión de la fuerza entre corrientes se utiliza para definir la unidad de intensidad de corriente en el sistema internacional, el amperio.

Definición de amperio: Es la intensidad de corriente que debe circular por dos conductores rectilíneos, paralelos e indefinidos, separados una distancia de un metro en el vacío, para que ambos se repelan con una fuerza de $2 \cdot 10^{-7}$ N por cada metro de longitud.

Aviso Legal

AVISO DEL SERVIDOR

Por motivos de seguridad esta página web solo está accesible mediante acceso seguro (https):

https://www.juntadeandalucia.es/Aviso_Legal_Andalucia_v04.htm

Por favor, actualice sus marcadores. Gracias.

Imprimible

Descargar imprimible