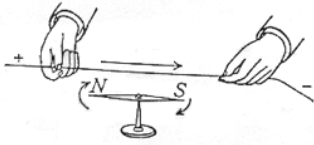


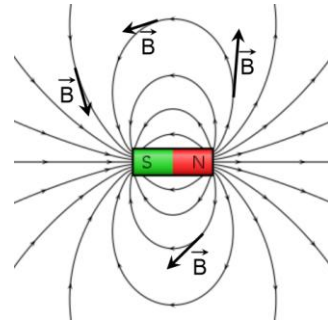
EL CAMPO MAGNÉTICO

EXPERIENCIA DE ØRSTED

Ørsted descubrió que una o varias cargas eléctricas en movimiento creaban un campo magnético.



Hasta entonces se creía que los campos magnéticos sólo se creaban por imanes.



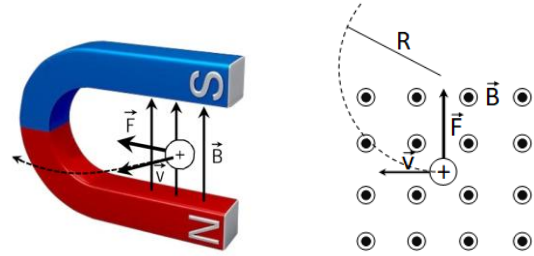
LEY DE LORENTZ

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

$$q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad \text{Aceleración centrípeta}$$

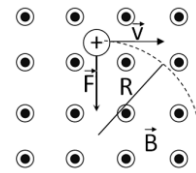


Ejemplo: Un protón, acelerado por una diferencia de potencial de 10^5 V, penetra en una región en la que existe un campo magnético uniforme de dirección perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de 30 cm de radio.

a) Calcule la intensidad del campo magnético, B;
b) ¿Cómo variaría el radio de la trayectoria si se duplicase el campo magnético?

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C. } m_p = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

Ten en cuenta que la diferencia de potencial se utiliza para dar velocidad al protón (utiliza el principio de conservación de la energía: $\Delta E_c = -\Delta E_p$ y ten también en cuenta que $\Delta E_p = q \cdot \Delta V$).



$$a) E_c = q \cdot \Delta V = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^5 = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

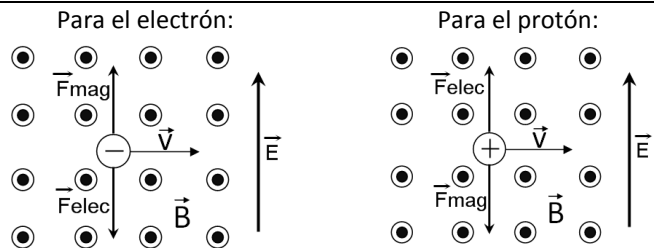
$$B = \frac{m \cdot v}{q \cdot R} = \frac{1,7 \cdot 10^{-27} \cdot \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-14} \cdot 2}{1,7 \cdot 10^{-27}}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,3} = 0,154 \text{ T}$$

b)

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Si se duplica el campo, B, el radio se reduce a la mitad.

Ejemplo: Un electrón se mueve con un movimiento rectilíneo uniforme por una región del espacio en la que existen un campo eléctrico y un campo magnético. Justifique cual deberá ser la dirección y sentido de ambos campos y deduzca la relación entre sus módulos. ¿Qué cambiaría si la partícula fuese un protón?



Ejemplo: Un protón y una partícula alfa se mueven en el seno de un campo magnético uniforme describiendo trayectorias circulares idénticas. ¿Qué relación existe entre sus velocidades, sabiendo que $m_a = 4 \cdot m_p$ y $q_a = 2 \cdot q_p$?

$$\text{Para el protón: } R = \frac{m_p \cdot v_p}{q_p \cdot B}$$

$$\text{Para la partícula alfa: } R = \frac{4 \cdot m_p \cdot v_a}{2 \cdot q_p \cdot B}$$

$$\text{Dividiendo: } v_p = 2 \cdot v_a$$

Ejemplo: Un electrón se mueve con una velocidad de $2 \cdot 10^3$ m s⁻¹ en el seno de un campo magnético uniforme de módulo B = 0,25 T. Calcule la fuerza que ejerce dicho campo sobre el electrón cuando las direcciones del campo y de la velocidad del electrón son paralelas, y cuando son perpendiculares. Determine la aceleración que experimenta el electrón en ambos casos.

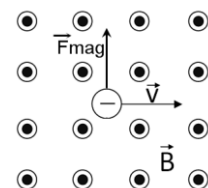
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C; } m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Si \vec{B} y \vec{v} son paralelos la Fuerza magnética es nula:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 0^\circ = 0$$

La aceleración es cero ya que la velocidad no cambia.

Si \vec{B} y \vec{v} son perpendiculares:



$$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 8 \cdot 10^{-17} \text{ N}$$

$$F = m \cdot a; a = 8 \cdot 10^{-17} / 9,1 \cdot 10^{-31} = 8,8 \cdot 10^{13} \text{ m/s}^2$$

Ejemplo: Un protón y un electrón penetran con la misma velocidad perpendicularmente a un campo magnético. a) ¿Cuál de los dos experimentará una mayor aceleración? b) ¿Qué partícula tendrá un radio de giro mayor?

Solución: a) $q \cdot v \cdot B = m \cdot a$

El protón y electrón poseen la misma carga.

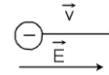
El protón al tener más masa poseerá menor aceleración.

b) $R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ → El electrón describirá una trayectoria con un mayor radio por tener menor masa.

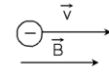
EL CAMPO MAGNÉTICO

Ejemplo: Un haz de electrones atraviesa una región del espacio siguiendo una trayectoria rectilínea. En dicha región hay aplicado un campo electrostático uniforme. a) ¿Es posible deducir algo acerca de la orientación del campo? b) Repita el razonamiento para un campo magnético uniforme.

Solución: a) La única posibilidad es que \vec{E} y \vec{v} sean paralelos.

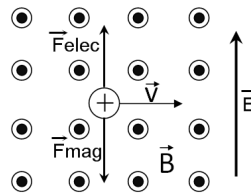


b) Para que sufra desviación la Fuerza de Lorentz debe ser nula, situación que sucede cuando \vec{v} y \vec{B} son paralelos:



Ejemplo: Un protón penetra en un campo eléctrico uniforme E de 200 N/C, con una velocidad v, de 10^6 m/s, perpendicular al campo. Calcule el campo magnético, B, que habría que aplicar, superpuesto al eléctrico, para que la trayectoria del protón fuera rectilínea. Ayúdese de un esquema.

Solución:



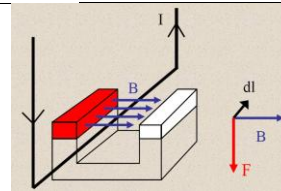
$$q \cdot v \cdot B = q \cdot E$$

$$B = E/v$$

$$E = 200/10^6 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}$$

LEY DE LAPLACE

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$



CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN HILO LARGO CONDUCTOR

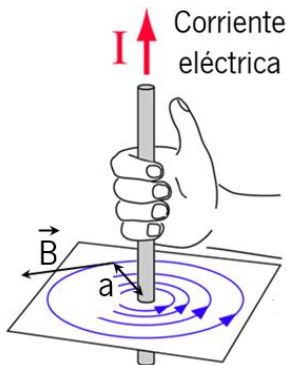
El valor de \vec{B} , en módulo, creado por un hilo conductor en un punto situado a una distancia "a" del hilo es:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{a}$$

$$K' = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} = 10^{-7}$$

K' depende del medio en el que estemos.

Este es el valor de K' en el vacío.



μ_0 es la **permeabilidad magnética** en el vacío cuyo valor es:

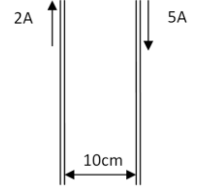
$$\text{Suelen dar } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

Vemos pues que la intensidad del campo magnético depende del medio en el que estemos.

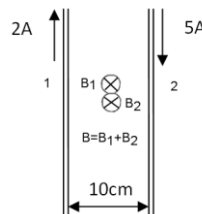
Ejemplo: Un conductor rectilíneo transporta una corriente de 10 A en el sentido positivo del eje Z. Un protón situado a 50 cm del conductor se dirige perpendicularmente hacia el conductor con una velocidad de $2 \cdot 10^5$ m s⁻¹. Realice una representación gráfica indicando todas las magnitudes vectoriales implicadas y determine el módulo, dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre el protón.

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Ejemplo: Existen dos hilos conductores rectilíneos y paralelos separados una distancia de 10 cm. Por uno circula una corriente de 2 A y por el otro circula una corriente en sentido contrario de 5 A. a) Dibuja el vector \vec{B} y calcula su módulo en la mitad de los dos hilos y b) a 3 cm a la izquierda del primer hilo.



Solución: a) En el centro:



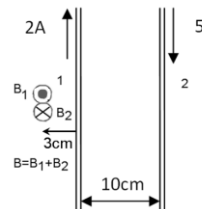
$$B = B_1 + B_2;$$

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 2/0,05 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot 5/0,05;$$

$$B = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

El campo magnético estará dirigido hacia adentro.

b) A 3cm a la izquierda de (1)



$$B = B_1 + B_2;$$

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 2/0,03 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot 5/0,13;$$

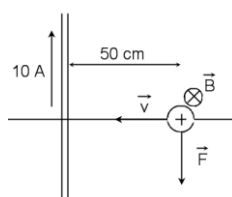
$$B = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Estaría dirigido hacia fuera al ser $B_1 > B_2$

Ejemplo: Dos conductores rectilíneos, paralelos y verticales, distan entre sí 20 cm. Por el primero de ellos circula una corriente de 10 A hacia arriba. Calcule la corriente que debe circular por el segundo conductor, colocado a la derecha del primero, para que el campo magnético total creado por ambas corrientes en un punto situado a 5 cm a la izquierda del segundo conductor se anule. $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$.

Solución: I=3,33 A hacia arriba.

Solución:



$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{a} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{0,5} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

$$F = q \cdot v \cdot B = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-6};$$

$$F = 1,28 \cdot 10^{-19} \text{ N}$$

EL CAMPO MAGNÉTICO

CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA ESPIRA DE CORRIENTE

El valor de B en el centro de la espira viene dado por la fórmula:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I \cdot \pi}{R}$$



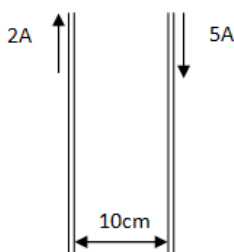
Regla de la mano derecha: Se agarra la espira con el pulgar apuntando la intensidad. La salida de los dedos indican la cara norte.

CAMPO CREADO POR UN SOLENOIDE O BOBINA

$$B = N \cdot \frac{2 \cdot K' \cdot I \cdot \pi}{R}$$



FUERZA ENTRE DOS HILOS PARALELOS RECTILÍNEOS CONDUCTORES



Aquí hay que combinar la Ley de Laplace y la B que crea un hilo rectilíneo conductor.

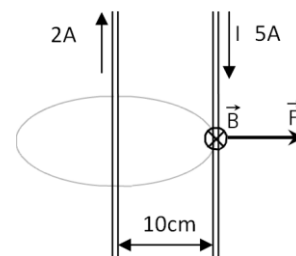
El hilo de la izquierda crea en la zona del segundo una inducción magnética, \vec{B} , cuyo valor en módulo es:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{a} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 2}{0,1} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Por otro lado debemos tener en cuenta que el segundo hilo (el de la derecha) está inmerso en ese campo magnético de $4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ y que por lo tanto estará sometido a una fuerza (Ley de Laplace, $\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$):

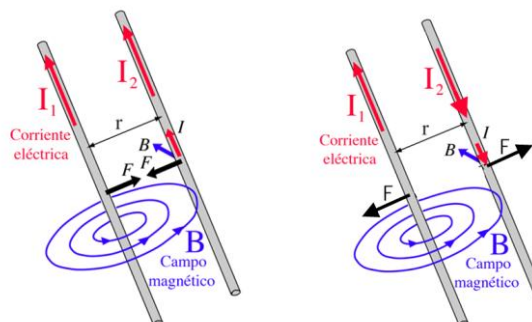
$$F = I \cdot l \cdot B = 5 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Para ver cuál es la dirección y sentido de esa fuerza primero averiguamos la dirección y sentido de \vec{B} , en este caso será perpendicular al papel y hacia adentro, y luego averiguamos la dirección y sentido de \vec{F} utilizando la Ley de Laplace vectorial (ver al margen).



De igual manera podemos averiguar el valor de la fuerza \vec{F} que ejerce el campo magnético creado por el hilo de la derecha sobre el hilo de la izquierda.

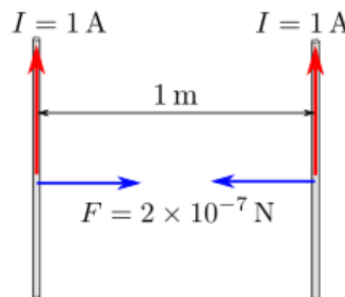
Se dan las siguientes posibilidades dependiendo del sentido de las corrientes:



DEFINICIÓN DE AMPERIO

La atracción entre dos hilos de corriente paralelos se utiliza para la definición de Amperio.

Un Amperio sería la corriente que debe circular por cada uno de los dos hilos paralelos de longitud infinita para que entre ellos existiese una fuerza de atracción de $2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$



EL CAMPO MAGNÉTICO ES NO CONSERVATIVO

El campo magnético es un campo NO CONSERVATIVO y por lo tanto no podremos asociarle un potencial o energía potencial como en el caso del campo eléctrico.