UNIDAD 5: Campo magnético

CUESTIONES INICIALES-PÁG. 129

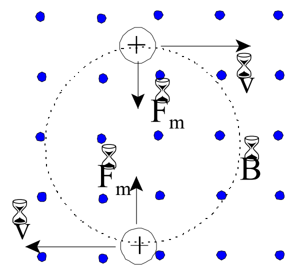
1. Mediante los fenómenos de electrización se separan las cargas negativas de las positivas. ¿Crees que al cortar un imán por la mitad se separa el polo norte del polo sur?
Es imposible separar los polos de una barra imán. Siempre que se corta una barra imán, cada trozo obtenido se comporta como un nuevo imán por muy pequeños que sean los pedazos.

2. Describe el funcionamiento de una brújula.
La brújula es un pequeño imán que puede girar libremente y por tanto alinearse con el campo magnético terrestre. Por la misma razón sirve para detectar la presencia de cualquier campo magnético.

3. ¿Existe alguna diferencia entre un imán permanente y un electroimán?
En los electroimanes el campo magnético es más intenso que en los imanes naturales.

ACTIVIDADES FINALES-PÁG. 154

1. Un protón es acelerado, a lo largo del eje X, desde el reposo por una diferencia de potencial de 15000 V. A continuación accede perpendicularmente a un campo magnético de 0,4 T, perpendicular al plano del papel y dirigido hacia el observador. Dibuja en un esquema la trayectoria de la partícula y calcula el radio y el período de su órbita.



El campo eléctrico que acelera al protón es conservativo, por lo que la velocidad de la partícula se determina aplicando la ley de la conservación de la energía mecánica.

$\Delta E_c + \Delta E_p = 0$; $½ \cdot m \cdot v^2 = q \cdot \Delta V$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot \Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 15000\,\text{V}}{1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}} = 1{,}7 \cdot 10^{6}\ \text{m/s}$$

Al penetrar la partícula en el campo magnético actúa la fuerza de Lorentz, perpendicular al vector velocidad y si ambos son perpendiculares inicialmente entonces el protón describe una trayectoria circular.
Aplicando la segunda ley de Newton al movimiento circular, resulta que:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_n;\ F_{Lorentz} = m \cdot \frac{v^2}{R};\ |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,90° = m\frac{v^2}{R}$$

Despejando: $R = \dfrac{m \cdot v}{|q| \cdot B} = \dfrac{1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} \cdot 1{,}7 \cdot 10^{6}\,\text{m/s}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 0{,}4\,\text{T}} = 4{,}44 \cdot 10^{-2}\,\text{m}$

Y el periodo del movimiento es:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 0{,}4\,\text{T}} = 1{,}64 \cdot 10^{-7}\,\text{s}$$

2. Un electrón y un protón acceden, con la misma velocidad, perpendicularmente a una zona en la que existe un campo magnético. Calcula la relación entre sus velocidades angulares.
Aplicando la segunda ley de Newton al movimiento circular de una partícula:

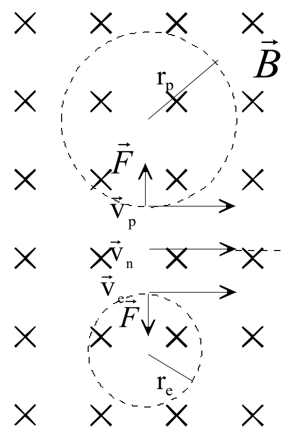
$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_n;\ F_{Lorentz} = m \cdot \frac{v^2}{R};\ |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,90° = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

La velocidad angular de una partícula es: $\omega = \dfrac{v}{R} = \dfrac{|q| \cdot B}{m}$

Aplicándolo al protón y al electrón y como su carga eléctrica tiene el mismo valor:

$$\frac{\omega_e}{\omega_p} = \frac{\dfrac{|q|\cdot B}{m_e}}{\dfrac{|q|\cdot B}{m_p}} = \frac{m_p}{m_e} = \frac{1{,}67\cdot 10^{-27}\,\text{kg}}{9{,}11\cdot 10^{-31}\,\text{kg}} = 1830$$

3. Un protón, un electrón y un neutrón penetran con la misma velocidad y en el mismo punto en una zona en la que existe un campo magnético uniforme perpendicular a su trayectoria. Dibuje esquemáticamente la trayectoria descrita por cada una de esas partículas en la zona en la que existe campo. Indique cuál de estas trayectorias presenta el mayor radio de curvatura y cuál el mayor período de rotación. Razone sus respuestas.



Cuando una partícula cargada penetra en un campo magnético actúa sobre ella la fuerza de Lorentz: $\vec{F} = q\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$, de dirección la perpendicular al plano que determinan los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ y sentido el indicado por la regla del producto vectorial.

Si el campo magnético es uniforme y la dirección del vector velocidad es perpendicular a él, entonces la fuerza de Lorentz proporciona una aceleración normal que le obliga a la partícula a describir describe una trayectoria circular contenida en un plano perpendicular al campo magnético.

En el caso que concierne el neutrón no está afectado por el campo magnético ya que no tiene carga y el protón y el electrón describen trayectorias circulares recorridas en sentidos contrarios.

Aplicando la segunda ley de Newton a una partícula cargada y como el vector velocidad y el vector campo magnético son perpendiculares, se tiene:

$$\Sigma\vec{F} = m\cdot\vec{a}_n\,;\ \ |q|\cdot v\cdot B\cdot \text{sen } 90º = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m\cdot v}{|q|\cdot B}$$

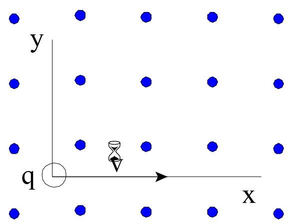
El protón y el electrón llevan la misma velocidad y tienen el mismo valor absoluto de su carga $R_P = \dfrac{m_p\cdot v}{|q|\cdot B}; R_e = \dfrac{m_e\cdot v}{|q|\cdot B}$ y como el protón tiene una masa mayor que el electrón, el radio de la órbita del protón es mayor que el de la órbita del electrón.

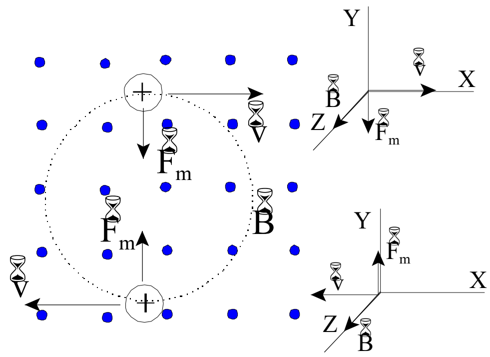
De la ecuación anterior se deduce la velocidad angular y el período del movimiento.

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{|q|\cdot B}{m} \Rightarrow T = \frac{2\cdot\pi}{\omega} = \frac{2\cdot\pi\cdot m}{|q|\cdot B}$$

Y para cada partícula los períodos del movimiento son: $T_p = \dfrac{2\cdot\pi\cdot m_p}{|q|\cdot B}; T_e = \dfrac{2\cdot\pi\cdot m_e}{|q|\cdot B}$, por lo que el período del protón en su órbita es mayor que el del electrón.

4. Un ion de carga $1{,}6\cdot 10^{-19}$ C y masa $9{,}62\cdot 10^{-26}$ kg se acelera desde del reposo mediante una diferencia de potencial de 3000 V y a continuación penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme de 0,12 T como el mostrado en la figura. Sabiendo que el ion describe un movimiento circular uniforme cuando está sumergido en el campo, se pide: a) Dibuje el sentido de la trayectoria del ion y represente, en dos puntos opuestos de esa trayectoria, un esquema con los vectores que intervienen en el problema. b) La velocidad con la que se mueve el ion dentro del campo magnético y el radio de curvatura de la trayectoria descrita por la partícula.





a) Sobre la partícula actúa la fuerza de Lorentz: $\vec{F} = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$, de dirección la de la perpendicular al plano formado por los vectores campo magnético y velocidad y sentido el indicado por la regla del sacacorchos al voltear la velocidad sobre el campo magnético siguiendo el camino más corto.

b) El campo eléctrico que acelera al ion es conservativo, por lo que la velocidad de la partícula se determina aplicando la ley de la conservación de la energía mecánica.

$\Delta E_c + \Delta E_p = 0$; $½ \cdot m \cdot v^2 = q \cdot \Delta V$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot \Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C \cdot 3000\,V}{9{,}62 \cdot 10^{-26}\,kg}} = 9{,}9 \cdot 10^4\,m/s$$

Al penetrar la partícula en el campo magnético actúa la fuerza de Lorentz, perpendicular al vector velocidad y si ambos son perpendiculares inicialmente entonces el ion describe una trayectoria circular.

Aplicando la segunda ley de Newton al movimiento circular del ion, resulta que:

$$\Sigma\vec{F} = m \cdot \vec{a}_n;\ F_{Lorentz} = m \cdot \frac{v^2}{R};\ |q| \cdot v \cdot B \cdot sen 90º = m\frac{v^2}{R}$$

Despejando: $R = \dfrac{m \cdot v}{|q| \cdot B} = \dfrac{9{,}62 \cdot 10^{-26}\,kg \cdot 9{,}9 \cdot 10^4\,m/s}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C \cdot 0{,}12\,T} = 0{,}496\,m$

5. Un chorro de partículas formadas por protones, deuterones y partículas alfa de la misma energía cinética penetran perpendicularmente en un campo magnético uniforme. La carga eléctrica del protón y del deuterón es igual a la del electrón y la de la partícula alfa es el doble de la del electrón. Si una partícula alfa tiene una masa doble que la del deuterón y cuatro veces la del protón, calcula la relación entre el radio de la órbita del deuterón y la del protón y entre el radio de la órbita de la partícula alfa y la del protón.

Aplicando la segunda ley de Newton a una partícula cargada y como el vector velocidad y el vector campo magnético son perpendiculares, se tiene:

$$\Sigma\vec{F} = m \cdot \vec{a}_n;\ |q| \cdot v \cdot B \cdot sen\ 90º = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

La energía cinética de una partícula es: $E_c = ½ \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot E_c}{m}}$

Operando en las ecuaciones anteriores: $R = \dfrac{m \cdot \sqrt{\dfrac{2 \cdot E_c}{m}}}{|q| \cdot B} = \dfrac{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_c}}{|q| \cdot B}$

Como las partículas tienen la misma energía cinética, aplicando las relaciones entre las cargas eléctricas y las masas resulta que:

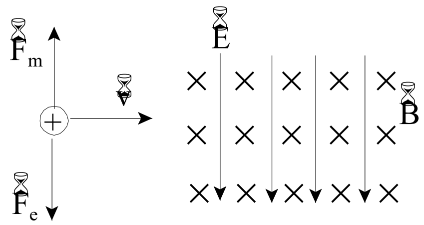
$$\frac{R_D}{R_p} = \frac{\dfrac{\sqrt{2 \cdot m_D \cdot E_c}}{|q_D| \cdot B}}{\dfrac{\sqrt{2 \cdot m_p \cdot E_c}}{|q_p| \cdot B}} = \frac{\sqrt{m_D} \cdot |q_p|}{\sqrt{m_p} \cdot |q_D|} = \frac{\sqrt{2 \cdot m_p}\,|q_p|}{\sqrt{m_p} \cdot |q_p|} = \sqrt{2}$$

De igual forma: $\dfrac{R_\alpha}{R_p} = \dfrac{\dfrac{\sqrt{2 \cdot m_\alpha \cdot E_c}}{|q_\alpha| \cdot B}}{\dfrac{\sqrt{2 \cdot m_p \cdot E_c}}{|q_p| \cdot B}} = \dfrac{\sqrt{m_\alpha} \cdot |q_p|}{\sqrt{m_p} \cdot |q_\alpha|} = \dfrac{\sqrt{4 \cdot m_p}\,|q_p|}{\sqrt{m_p} \cdot 2 \cdot |q_p|} = 1$

6. Un conjunto de protones se desplaza horizontalmente sin desviarse por un selector de velocidades, en el que el campo eléctrico tiene de módulo 2 · 10³ N/C de dirección la vertical y sentido hacia abajo. Si el módulo del campo magnético es igual a 0,5 T, calcula la velocidad de los protones. ¿Qué dirección y sentido tiene el campo magnético? Representa en un diagrama todos los vectores.

La fuerza eléctrica tiene el mismo sentido que el campo eléctrico, ya que la carga del protón tiene signo positivo. Por tanto, la fuerza magnética tiene que tener la dirección de la vertical y sentido hacia arriba.

De las reglas del producto vectorial se deduce que el campo magnético es perpendicular al plano del papel y su sentido es hacia dentro.

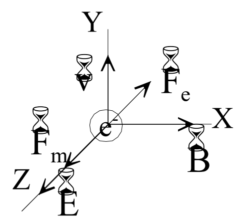


$$\vec{F}_{magnética} + \vec{F}_{eléctrica} = 0$$

En módulo: $|q| \cdot v \cdot B = |q| \cdot E \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{2 \cdot 10^3\ N/C}{0{,}5\,T} = 4 \cdot 10^3\ m/s$

7. Un electrón que lleva una velocidad de $\vec{v} = 10 \cdot \vec{j}\ m/s$ penetra en una región del espacio en la que actúa un campo eléctrico uniforme $\vec{E} = 20 \cdot \vec{k}\ N/C$ y un campo magnético uniforme $\vec{B} = B_0 \cdot \vec{i}\ T$. Despreciando los efectos del campo gravitatorio, dibuja las fuerzas que actúan sobre el electrón y calcula el módulo del campo magnético para que la partícula se mueva con movimiento rectilíneo uniforme.

La figura adjunta representa las fuerzas que actúan sobre el electrón en el sistema de referencia elegido.



Las fuerzas eléctrica y magnética que actúan sobre el electrón, teniendo en cuenta que su carga eléctrica tiene signo negativo son:

$$\vec{F}_{eléctrica} = q \cdot \vec{E} = -|q_e| \cdot 20 \cdot \vec{k}\,N/C$$

$$\vec{F}_{magnética} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = -|q_e| \cdot \left((10 \cdot \vec{j}\ m/s) \times (B_0 \cdot \vec{i}\ T)\right) = -|q_e| \cdot 10 \cdot B_0 \cdot (\vec{j} \times \vec{i})\,T \cdot m/s$$

$$\vec{F}_{magnética} = -|q_e| \cdot 10 \cdot B_0 \cdot (-\vec{k})\,N/C = |q_e| \cdot 10 \cdot B_0 \cdot \vec{k}\,N/C$$

Para que el electrón no se desvíe de su trayectoria los módulos de las fuerzas magnética y eléctrica tienen que ser iguales.

$F_{eléctrica} = F_{magnética}$; $|q_e| \cdot 20$ N/C = $|q_e| \cdot 10 \cdot B_0$ N/C $B_0 = 2$ T

8. Un chorro de iones es acelerado por una diferencia de potencial de 10 000 V, antes de penetrar en un campo magnético de 1 T. Si los iones describen una trayectoria circular de 5 cm de radio, determina su relación carga-masa.

La variación de la energía cinética que experimentan los iones es: 2 A m A v^2 = $|q|$ A ΔV

Aplicando la segunda ley de Newton a la zona donde actúa el campo magnético, resulta que:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}_n; |q| \cdot v \cdot B \cdot sen 90° = m \frac{v^2}{R}$$

Despejando la velocidad en las ecuaciones anteriores e igualando, se tiene:

$$\frac{2 \cdot |q| \cdot \Delta V}{m} = \frac{|q|^2 \cdot R^2 \cdot B^2}{m^2}$$

La relación carga masa es: $\frac{|q|}{m} = \frac{2 \cdot \Delta V}{R^2 \cdot B^2} = \frac{2 \cdot 10\ 000\ V}{(5 \cdot 10^{-2})^2\ m \cdot (1\ T)^2} = 8 \cdot 10^6\ \frac{C}{kg}$

9. Las *Des* de un ciclotrón tienen un radio de 70 cm y están inmersas en un campo magnético de 0,3 T. Determina la frecuencia de la diferencia de potencial alterna que se aplica entre las *Des* para acelerar a un protón. Calcula la velocidad del protón a la salida del ciclotrón y su energía cinética expresada en eV.

Dentro de las *Des* actúa un campo magnético perpendicularmente a la velocidad del protón que le obliga recorrer una semicircunferencia. Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\Sigma\vec{F} = m\cdot\vec{a}_n;\ q\cdot v\cdot B\cdot \text{sen}\,90° = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m\cdot v}{q\cdot B}$$

El período del movimiento es: $T = \frac{2\cdot\pi\cdot R}{v} = \frac{2\cdot\pi\cdot m}{q\cdot B} = \frac{2\cdot\pi\cdot 1{,}66\cdot 10^{-27}\,\text{kg}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{C}\cdot 0{,}3\,\text{T}} = 02{,}17\text{A}10^{-7}\ \text{s}$

El campo eléctrico en el espacio entre las *Des* cambia de sentido en un tiempo igual a la mitad del período, 2 T, que es igual a lo que tarda el protón en recorrer cada una de las *Des*. Por tanto, el período y la frecuencia de la diferencia de potencial alterna coinciden con los de la trayectoria del protón:

$$\text{frecuencia} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}17\cdot 10^{-7}\,\text{s}} = 4{,}6\cdot 10^{6}\ \text{Hz}$$

La velocidad con la sale expulsado depende del radio de la última órbita:

$$v_{máxima} = \frac{q\cdot R\cdot B}{m} = \frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{C}\cdot 0{,}70\,\text{m}\cdot 0{,}3\,\text{T}}{1{,}66\cdot 10^{-27}\,\text{kg}} = 2{,}02\cdot 10^{7}\ \text{m/s}$$

La energía cinética de la partícula a la salida del aparato es:

E_c = 2 A m A v^2 = 2 A 1,66 A 10^{-27} kg A (2,02 A 10^7 m/s)^2 = 3,4 A 10^{-13} J

Y expresa en eV: E_c = 3,4 A 10^{-13} J A $\frac{1\,\text{eV}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\,\text{J}}$ = 2,1 A 10^6 eV = 2,1 MeV

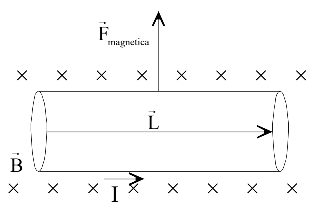
10. Sobre un hilo de 5 cm de longitud que lleva una intensidad de la corriente eléctrica de 5 A actúa una fuerza de 0,1 N. Calcula el módulo del campo magnético que actuando perpendicularmente al hilo produce esa fuerza.

El módulo de la fuerza que actúa sobre el hilo es: F = I · L · B · sen ϕ

Sustituyendo: 0,1 N = 5 A · 0,05 m · B · sen 90 $\Rightarrow$ B = 0,4 T

11. Un cable de 0,5 m de longitud transporta una intensidad de la corriente eléctrica de 2 A, según la dirección positiva del eje X. Si el cable está colocado perpendicularmente en un campo magnético de 0,25 T, que penetra en el plano del papel, calcula el módulo de la fuerza que actúa sobre el cable y representa en un diagrama todas las magnitudes vectoriales implicadas.

Sobre el conductor actúa una fuerza que queda determinada por la ley de Laplace: $\vec{F} = I\cdot(\vec{L}\times\vec{B})$

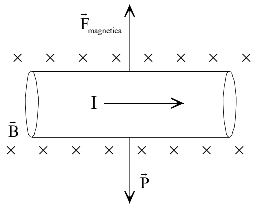


Su módulo es: F = I · L · B · sen ϕ = 2 A · 0,5 m · 0,25 T · sen 90 = 0,25 N

La dirección y sentido se determinan por las reglas del producto vectorial, su dirección es la vertical y su sentido hacia arriba.

12. Un segmento horizontal de un conductor de 25 cm de longitud y 20 g de masa por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica de 10 A se encuentra en equilibrio en un campo magnético uniforme, también horizontal y perpendicular al conductor. Calcula el valor del campo magnético y representa gráficamente la corriente, el campo magnético y las fuerzas que actúan sobre el conductor.

El peso tiene dirección la vertical y sentido hacia abajo, la fuerza magnética tiene sentido contrario al peso. Si el campo magnético penetra en el plano del papel, la intensidad de la corriente eléctrica se dirige hacia la derecha.



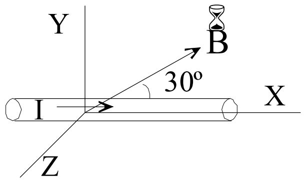
Como el conductor está en equilibrio: $P = F_{magnética}$; $m \cdot g = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}\ \phi$

Sustituyendo:

$20 \cdot 10^{-3}\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 = 10\ A \cdot 0{,}25\ m \cdot B \cdot \text{sen}\ 90º \Rightarrow B = 7{,}84 \cdot 10^{-2}\ T$

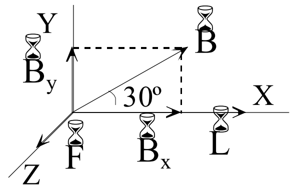
13. Sobre el eje X está situado un alambre de 9 cm de longitud que transporta una intensidad de la corriente eléctrica de 1 A. Si el conductor se encuentre inmerso en un campo magnético de 0,02 T de intensidad situado en el plano XY y formando un ángulo de 30º con el eje X,) qué fuerza actúa sobre el cable? Represéntala en un diagrama.

Las expresiones de los diferentes vectores, en el sistema de referencia de la figura son:



$\vec{L} = 0{,}09 \cdot \vec{i}\ m$; $\vec{B} = (0{,}02 \cdot \cos 30º \cdot \vec{i} + 0{,}02 \cdot \text{sen}\ 30º \cdot \vec{j})\ T$

La componente B_x del campo es paralela al conductor y por ello no actúa con ninguna fuerza. Solamente actúa sobre el conductor la componente B_y del campo.



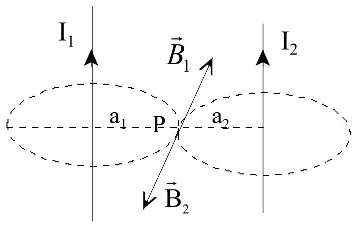
$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B}) = 1\ A \cdot (0{,}09 \cdot \vec{i}\ m \times 0{,}02 \cdot \text{sen}\ 30º \cdot \vec{j}\ )\ T$

Aplicando las reglas del producto vectorial, resulta que la fuerza que actúa sobre el conductor es:

$\vec{F} = 9 \cdot 10^{-4} \cdot \vec{k}\ N$

14. Dos conductores rectos y paralelos están separados pon una distancia de 9 cm y están recorridos en el mismo sentido por sendas intensidades de la corriente eléctrica de 1 A y 2 A.) A qué distancia de los conductores se anula el campo magnético?

Cada conductor genera un campo magnético, cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas en ellos y cuyo sentido es el indicado por el giro de un sacacorchos que avanza según el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica.



El campo magnético solamente se anula en un punto situado en el segmento que une a los conductores. Si ese punto está a una distancia a_1 del conductor I_1 y a una distancia a_2 del conductor I_2, entonces:

$a_1 + a_2 = 9\ cm$

Aplicando la ley de Biot y Savart para un conductor rectilíneo, denominando $I_1 = 1\ A$ e $I_2 = 2\ A$ e igualando los módulos del campo magnético, resulta que:

$$B_1 = B_2; \frac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot a_1} = \frac{\mu \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a_2} \Rightarrow \frac{1\ A}{a_1} = \frac{2\ A}{a_2}$$

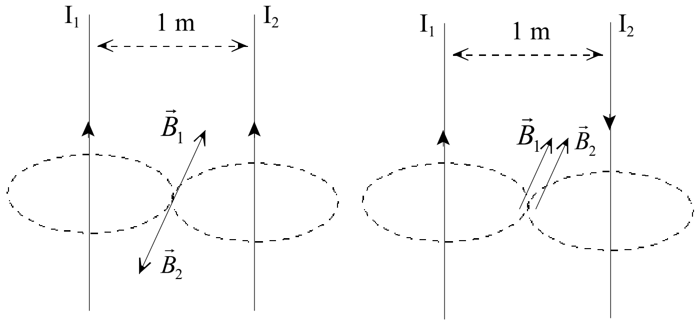
Operando y agrupando las ecuaciones, se tiene el sistema de ecuaciones:

$$\left.\begin{aligned} 1\,A \cdot a_2 &= 2\,A \cdot a_1 \\ a_1 + a_2 &= 9\ cm \end{aligned}\right\} \Psi a_1 = 30\ cm$$

El campo magnético se anula en el segmento que une a los conductores y a una distancia de 3 cm del conductor por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica $I_1 = 1$ A.

15. Dos hilos rectilíneos infinitos paralelos separados una distancia de 1 m transportan corrientes de intensidad I_1 e I_2. a) Cuando las corrientes circulan en el mismo sentido el campo magnético en un punto medio vale *$2 \cdot 10^{-6}$ T,* mientras que cuando circulan en sentidos opuestos dicho campo vale *$6 \cdot 10^{6}$ T.* Calcule el valor de las intensidades *I_1* e *I_2*.

Un hilo rectilíneo por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica, genera un campo magnético cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas en el hilo.



En la región del plano situada entre los dos conductores, los campos magnéticos son perpendiculares al plano del papel y su sentido es el indicado por la regla de Maxwell, que coincide con el del giro de un tornillo que avance según el sentido de la corriente eléctrica.

Cuando la intensidad de la corriente eléctrica tiene el mismo sentido, los dos campos tienen sentido contrario y si la intensidad de la corriente tiene distinto sentido, entonces los dos campos tienen el mismo sentido.

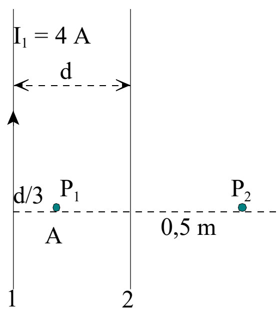
El módulo del campo magnético generado por un conductor a una distancia r de él es: $B = \dfrac{\mu \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$

Aplicando la ecuación anterior y como el punto considerado está a la misma distancia de los dos conductores, resulta que:

$$\left.\begin{array}{l} \text{mismo sentido}: \dfrac{\mu \cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot r} - \dfrac{\mu \cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot r} = 2\cdot 10^{-6}\ T \\ \text{sentido opuesto}: \dfrac{\mu \cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot r} + \dfrac{\mu \cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot r} = 6\cdot 10^{-6}\ T \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} \mu \cdot (I_1 - I_2) = 2\cdot\pi\cdot r\cdot 2\cdot 10^{-6}\ T \\ \mu \cdot (I_1 + I_2) = 2\cdot\pi\cdot r\cdot 6\cdot 10^{-6}\ T \end{array}\right\}$$

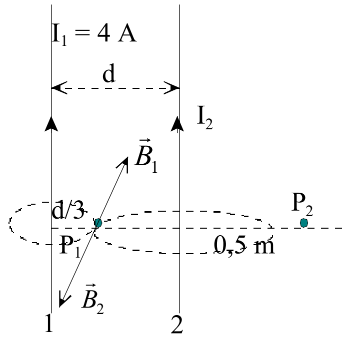
$$\left.\begin{array}{l} 4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\ N/A^2 \cdot (I_1 - I_2) = 2\cdot\pi\cdot 0{,}5\,m\cdot 2\cdot 10^{-6}\ T \\ 4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\ N/A^2 \cdot (I_1 + I_2) = 2\cdot\pi\cdot 0{,}5\,m\cdot 6\cdot 10^{-6}\ T \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} I_1 - I_2 = 5\,A \\ I_1 + I_2 = 15\,A \end{array}\right\} \Rightarrow I_1 = 10\,A;\ I_2 = 5\,A$$

16. Se tienen dos conductores rectilíneos, paralelos e indefinidos, separados por una distancia *d*. Por el conductor 1 circula una intensidad de 4 A en el sentido mostrado en la figura. a) Determine el valor y sentido de la intensidad que debe circular por el conductor 2 de forma que el campo magnético resultante en el punto *P_1* se anule. b) Si la distancia que separa los dos conductores es *d* = 0,3 m, calcule el campo magnético *B* (módulo, dirección y sentido) producido por los dos conductores en el punto *P_2*, en la situación anterior. *Nota:* Los conductores y los puntos *P_1* y *P_2* están contenidos en el mismo plano.



a) Cada conductor genera un campo magnético cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas en ellos y cuyo sentido es el indicado por el giro de un sacacorchos que avanza según la intensidad de la corriente eléctrica.

Los dos conductores generan en el punto P_1 campos magnéticos perpendiculares al plano del papel. El conductor 1 lo genera hacia dentro, por lo que el conductor 2 lo debe generar hacia afuera y por ello el sentido de la corriente eléctrica en él debe ser el mismo que en el conductor 1.



Aplicando la ley de Biot y Savart para un conductor rectilíneo e igualando los módulos del campo magnético, resulta que:

$$B_1 = B_2;\ \frac{\mu \cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot r_1} = \frac{\mu\cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot r_2} \Rightarrow \frac{4\,A}{d/3} = \frac{I_2}{2d/3}$$

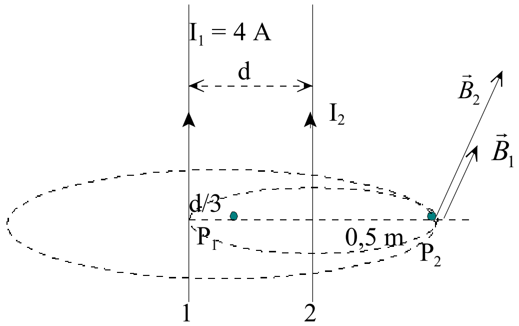
Despejando el módulo de la intensidad es: $I_2 = 8$ A

b) Los dos conductores generan en el punto P_2 campos magnéticos perpendiculares al plano del papel y sentido hacia dentro, por lo que sus módulos se suman.

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu\cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot r_1} + \frac{\mu\cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot r_2}$$

Operando y sustituyendo:

$$B = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\,N/A^2}{2\cdot\pi}\left(\frac{4\,A}{0{,}8\,m} + \frac{8\,A}{0{,}5\,m}\right) = 4{,}2 \cdot 10^{-6}\ T$$

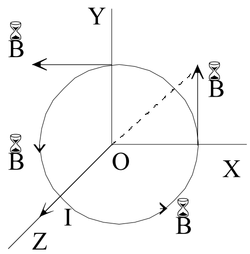


17. Un conductor rectilíneo transporta una corriente de 10 A en el sentido positivo del eje Z. Calcula la fuerza que actúa sobre un protón situado a 50 cm del conductor cuando se dirige hacia el conductor con una velocidad de $2 \cdot 10^5$ m/s. ¿Se modifica la energía cinética del protón?

El campo magnético creado por un conductor rectilíneo indefinido en un punto P a una distancia a del conductor, se determina aplicando la ley de Biot y Savart:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\cdot\pi\cdot a} = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\,N/A^2\cdot 10\,A}{2\cdot\pi\cdot 0{,}5\ m} = 4\cdot 10^{-6}\ T$$

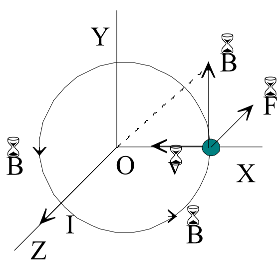
Las líneas de campo magnético son circunferencias concéntricas en el conductor y situadas en planos perpendiculares al mismo. El vector campo magnético es tangente a las líneas de campo y su sentido es el indicado por el giro de un sacacorchos que avanza según el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica.



Si el conductor está situado en el eje Z y el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica es el sentido positivo de dicho eje, $\vec{I} = 10\cdot\vec{k}\,A$, las líneas de campo están situadas en el plano XY del sistema de referencia de la figura.

Si el punto en el que se localiza el protón tiene de coordenadas (0,5; 0, 0) m, entonces la expresión del vector campo magnético en ese punto es: $\vec{B} = 4\cdot 10^{-6}\cdot\vec{j}\ T$

La fuerza que actúa sobre una partícula cargada en el seno de un campo magnético queda determinada por la ley Lorentz: $\vec{F} = q\cdot(\vec{v} \times \vec{B})$



La expresión del vector velocidad es: $\vec{v} = 2\cdot 10^5\cdot(-\vec{i})\,m/s$

Y la fuerza que actúa sobre la partícula es:

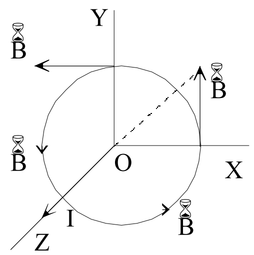
$$\vec{F} = 1{,}6\cdot 10^{-19}\,C\cdot(-2\cdot 10^5\cdot\vec{i}\ m/s \times 4\cdot 10^{-6}\cdot\vec{j}\ T) = 1{,}28\cdot 10^{-19}\cdot(-\vec{k})\,N$$

La fuerza que actúa sobre el electrón tiene la dirección del conductor y sentido contrario a la intensidad de la corriente eléctrica.
La fuerza es perpendicular al vector velocidad, y por tanto no se modifica esta y por ello la fuerza magnética no realiza trabajo y no se modifica la energía cinética de la partícula.

18. Por un conductor rectilíneo muy largo circula una intensidad de la corriente eléctrica de 20 A. Un electrón está situado a 1 cm de eje del conductor y se traslada con una velocidad de $5\cdot 10^6$ m/s. Calcula la fuerza que actúa sobre el electrón cuando se mueve paralelamente al conductor y en el mismo sentido que la intensidad de la corriente eléctrica.

El campo magnético creado por un conductor rectilíneo indefinido en un punto P a una distancia a del conductor, se determina aplicando la ley de Biot y Savart:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\cdot\pi\cdot a} = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\,N/A^2\cdot 20\,A}{2\cdot\pi\cdot 10^{-2}\,m} = 4\cdot 10^{-4}\,T$$

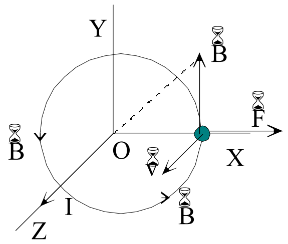


Las líneas de campo magnético son circunferencias concéntricas en el conductor y situadas en planos perpendiculares al mismo. El vector campo magnético es tangente a las líneas de campo y su sentido es el indicado por el giro de un sacacorchos que avanza según el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica.

Si el conductor está situado en el eje Z y el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica es el sentido positivo de dicho eje, $\vec{I} = 20\cdot\vec{k}\,A$, las líneas de campo están situadas en el plano XY del sistema de referencia de la figura.

Si el punto en el que se localiza el electrón tiene de coordenadas (10^{-2}, 0, 0) m, entonces la expresión del vector campo magnético en ese punto es: $\vec{B} = 4\cdot 10^{-4}\cdot\vec{j}\,T$

La fuerza que actúa sobre una partícula cargada en el seno de un campo magnético queda determinada por la ley Lorentz: $\vec{F} = q\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$



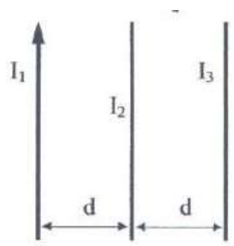
La expresión del vector velocidad es: $\vec{v} = 5\cdot 10^6\cdot\vec{k}\,m/s$

Y la fuerza que actúa sobre la partícula es:

$$\vec{F} = -1{,}6\cdot 10^{-19}\,C\cdot(5\cdot 10^6\cdot\vec{k}\,m/s\times 4\cdot 10^{-4}\cdot\vec{j}\,T) = 3{,}2\cdot 10^{-16}\cdot\vec{i}\,N$$

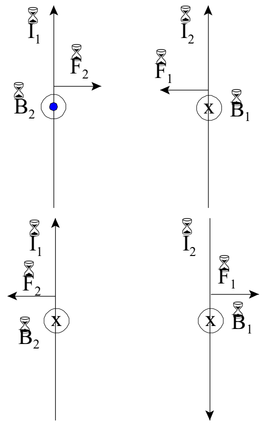
uerza que actúa sobre el electrón tiene el sentido perpendicular al conductor y alejándose de él.

19. La figura muestra tres conductores paralelos y rectilíneos por los que circulan las corrientes I_1, I_2 e I_3 respectivamente. La corriente I_1 tiene el sentido indicado en la figura. Sabiendo que la fuerza neta por unidad de longitud sobre el conductor 2 (debida a los conductores 1 y 3) y sobre el conductor 3 (debida a los conductores 1 y 2) son ambas nulas, razone el sentido de las corrientes I_2 e I_3 y calcule sus valores en función de I_1 .



Un hilo rectilíneo por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica, genera un campo magnético cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas en el hilo y situadas en un plano perpendicular a él. El sentido del campo magnético es el indicado por la regla de la mano derecha que coincide con el del giro de un sacacorchos que avanza según el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica. Aplicando la ley de Biot y Savart, el módulo del campo magnético generado por un conductor a una distancia r de él es: $B_1 = \dfrac{\mu\cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot r}$

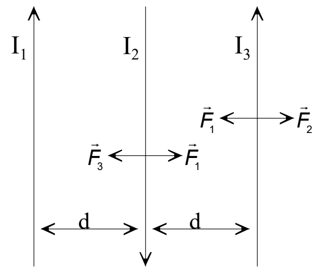
Al colocar otro conductor, por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica I_2, a una distancia r del primero, los conductores interaccionan con fuerzas del mismo módulo y dirección, pero de sentidos contrarios y que se calculan aplicando la segunda ley de Laplace: $\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$.



Como los conductores están colocados paralelamente, se tiene que los módulos de estas fuerzas, que forman un par de acción y reacción, son:

$F_2 = F_1 = L \cdot I_2 \cdot B_1 = L \cdot I_2 \cdot \dfrac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot r} = \dfrac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot I_1 \cdot I_2 \dfrac{L}{r}$, con L la longitud de los conductores

Estas fuerzas tienen por dirección la de la perpendicular a los hilos y sentido el indicado por la regla de Maxwell del producto vectorial, de forma que corrientes eléctricas del mismo sentido se atraen y si son de sentido contrario se repelen.



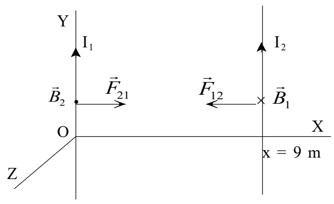
Con estas consideraciones se deduce que las intensidades de las corrientes eléctrica I_1 e I_3 tiene que tener el mismo sentido y que la intensidad I_2 tiene que tener sentido opuesto al de las anteriores.
Las intensidades I_1 e I_3 tienen que tener el mismo valor, ya que de otra forma los módulos de las fuerzas con las que actúan sobre la intensidad I_2 no serían iguales.

El valor de la intensidad de la corriente eléctrica I_2 tiene que ser igual a la mitad del valor de I_1, ya que está a una distancia de I_3 igual a la mitad de la distancia a la que está I_1.
En efecto: los módulos de las fuerzas que actúan sobre la intensidad I_3 tienen que ser iguales.

$$F_1 = F_2; \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot I_1 \cdot I_3 \frac{L}{2 \cdot d} = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot \frac{L}{d} \Rightarrow \frac{I_1}{2} = I_2$$

20. Dos alambres paralelos e infinitamente largos están situados en el plano XY. Uno de los alambres coincide con la recta x = 0 (eje Y) por el que circula una intensidad de la corriente eléctrica I_1 = 2 A y por el otro alambre que coincide con la recta x = 9 m circula una intensidad de la corriente eléctrica de I_2 = 1 A. Calcula la fuerza que actúa sobre cada uno de los alambres y por unidad de longitud: módulo, dirección y sentido.

Se elige como sistema de referencia el indicado en la figura adjunta.



El conductor I_1 crea un campo magnético B_1, cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas en el conductor y cuyo sentido está indicado por el giro de un tornillo que avanza con la corriente. En los puntos en los que se localiza el conductor I_2 tiene sentido hacia dentro del plano del papel y cuyo módulo es:

$$B_1 = \frac{\mu}{2 \cdot \pi} \frac{I_1}{r}$$

Este campo magnético actúa sobre el conductor I_2, mediante una fuerza magnética de dirección la de la perpendicular a los conductores y sentido hacia el conductor I_1, regla del producto vectorial.

El módulo es esta fuerza es: $F_{1 \to 2} = L_2$ A I_2 A B_1 A sen ν = $\dfrac{\mu}{2 \cdot \pi} I_1 \cdot I_2 \dfrac{L_2}{r}$

De igual forma y aplicando la ley de acción y reacción el conductor I_2 atrae al conductor I_1 con una fuerza $F_{2\to1}$ del mismo módulo, la misma dirección y sentido opuesto.
Sustituyendo, y si los conductores están situados en el vacío, el módulo de la fuerza de atracción es:

$$F_{1\to2} = F_{2\to1} = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}}{2\cdot\pi}\,2\,\mathrm{A}\cdot 1\,\mathrm{A}\,\frac{L}{9\,\mathrm{m}} = 0{,}44\cdot10^{-7}\cdot L\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

21. Calcula el campo magnético en el interior de un solenoide de 400 espiras y 25 cm de longitud por el que pasa una intensidad de la corriente eléctrica de 2 A.

El valor del campo magnético viene dado por: $B = \mu\frac{N}{L}I$, luego:

$$B = 4\,\pi\,10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}\,\frac{400\,\text{espiras}}{0{,}25\,\mathrm{m}}\,2\,\mathrm{A} = 4{,}02\ \cdot 10^{-3}\ \mathrm{T}$$