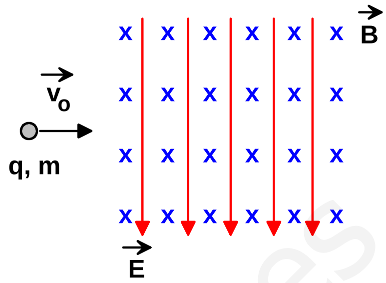
Actividad 1

Una partícula de masa m, carga positiva q y dotada de velocidad horizontal $\vec{v}_o$, penetra en una región del espacio donde hay un campo eléctrico $\vec{E}$ y un campo magnético $\vec{B}$. Ambos campos son mutuamente perpendiculares y a su vez perpendiculares a la velocidad de la partícula. El campo magnético es perpendicular al papel, dirigido hacia adentro y representado en la figura por "x", mientras que el campo eléctrico es paralelo al papel y representado por líneas rectas. Observamos que la partícula no experimenta ninguna desviación.

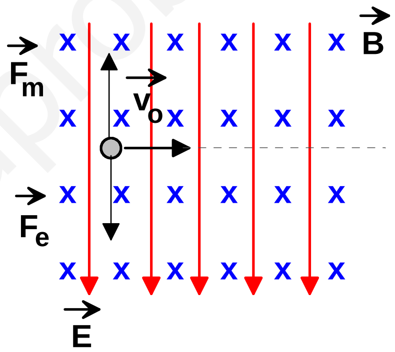
[a] Sin considerar efectos gravitatorios, calcula la expresión de la velocidad de la partícula.

[b] En el experimento anterior determina la trayectoria de la partícula si solamente existiera el campo magnético, calculando todos los parámetros que puedas de dicha trayectoria.

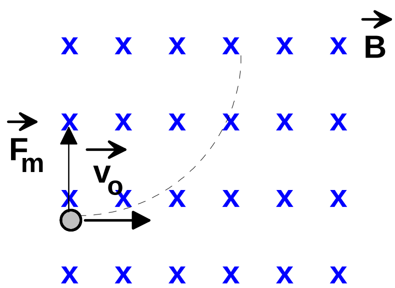


Respuesta

[a] La fuerza eléctrica sobre la partícula cargada es un vector paralelo a la intensidad del campo eléctrico $\vec{E}$, ya que $\vec{F}_e = q\vec{E}$. Por otro lado, la fuerza magnética sobre la partícula cargada en movimiento está dada por: $\vec{F}_m = q(\vec{v}_o \times \vec{B})$; se trata de un vector perpendicular al plano que determinan la velocidad y la intensidad del campo magnético (por lo tanto, en el plano del papel) y sentido hacia arriba.
Como la partícula no se desvía, los módulos de estas dos fuerzas han de ser iguales: $F_e = F_m$
$qE = qv_oB$; al dividir todo por q, queda:
$v_o = \frac{E}{B}$.



[b] Si solamente existiera el campo magnético, la fuerza sobre la partícula cargada se comporta como fuerza centrípeta, describiendo la carga una trayectoria circular con movimiento uniforme. Se cumple, entonces, que:
$qv_oB = m\frac{v_o^2}{R}$, expresión que nos permite calcular el radio de la trayectoria circular: $R = \frac{mv_o}{qB}$.
La velocidad angular de la partícula cargada es $\omega = \frac{v_o}{R} = \frac{q}{m}B$, de donde se deduce que todas las partículas con el mismo cociente $\frac{q}{m}$ girarán con la misma velocidad angular, aunque describan órbitas de radios distintos.



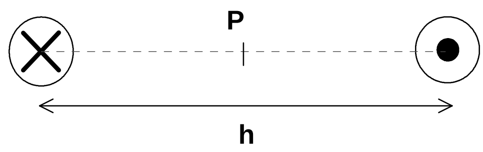
La frecuencia de este movimiento circular es: $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{q}{m}\frac{B}{2\pi}$.

❧ Actividad 2

La figura representa la sección de dos largos conductores rectilíneos y paralelos separados una distancia h. La intensidad de la corriente en ambos casos es la misma pero los sentidos son opuestos. (El signo "x" indica perpendicular al papel hacia adentro y el signo "•" hacia afuera).

[a] Calcula numéricamente y dibuja el campo magnético en el punto P, equidistante de ambos conductores en el plano del papel.

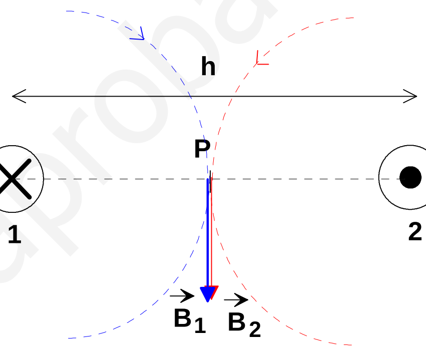
[b] Deduce el módulo, la dirección y el sentido de la fuerza que experimenta un metro del conductor de la parte derecha de la figura.



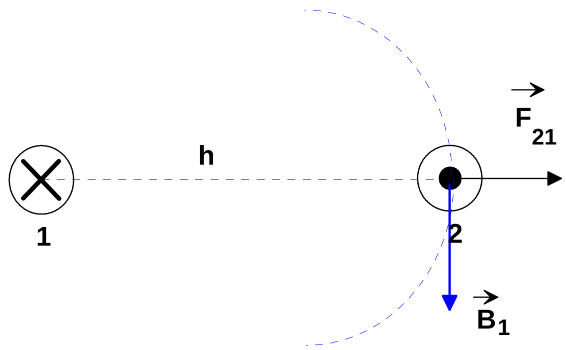
Respuesta

[a] La figura muestra las líneas de fuerza de los campos magnéticos creados por cada una de las corrientes eléctricas en el punto P; también se ha dibujado las intensidades de dichos campos magnéticos. A continuación, se calcula los módulos de las intensidades de campo magnético, los cuales, por las condiciones del ejercicio, son iguales: $B_1 = B_2 = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{\frac{h}{2}} = \frac{\mu_o}{\pi}\frac{I}{h}$. El módulo de la intensidad del campo magnético resultante es, entonces, $B_T(P) = \frac{2\mu_o}{\pi}\frac{I}{h}$; la dirección de este vector coincide con la mediatriz del segmento que une los conductores en el plano del papel y el sentido es el mostrado en la figura.

(Creo que existe un error en el enunciado: donde dice "calcula numéricamente" debería decir "calcula analíticamente").



[b] Sabemos que la fuerza magnética sobre un elemento de corriente de longitud $\vec{l}$ está dado por: $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$. La figura muestra la fuerza magnética que el conductor de la izquierda ejerce sobre el de la derecha. La intensidad del campo magnético de 1 en la posición de 2 vale: $B_1 = \frac{\mu_o I}{2\pi h}$. El módulo de la fuerza sobre un trozo de longitud l del conductor de la derecha es: $F_{12} = IlB_1 = \frac{\mu_o I^2 l}{2\pi h}$. La fuerza por unidad de longitud es, entonces, $\frac{F_{12}}{l} = \frac{\mu_o I^2}{2\pi h}(\frac{N}{m})$. Se observa existe una repulsión entre los conductores que transportan estas corrientes.



Actividad 3

Por un largo conductor rectilíneo circula una corriente continua de intensidad I.

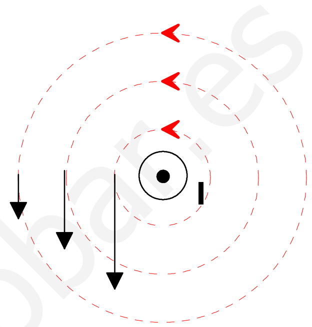
[a] Dibuja las líneas del campo magnético que crea este conductor, indicando, claramente, los sentidos de la intensidad y del campo.

[b] ¿Qué fuerza recibirá una partícula de carga +q que se deposita sin velocidad a una distancia h del conductor?

[c] Recordando que $\frac{\mu_o}{4\pi} = 10^{-7} U.S.I.$, enuncia la definición de amperio internacional.

Respuesta

[a] La figura muestra al conductor rectilíneo representado perpendicularmente al plano del papel y con el sentido de la corriente hacia afuera. Las líneas del campo son circunferencias concéntricas al conductor en el plano del papel. Su sentido se obtiene por la regla de la mano derecha.



[b] Los campos magnéticos sólo actúan sobre cargas en movimiento. Por lo tanto, la fuerza que recibirá la partícula de carga +q es nula.

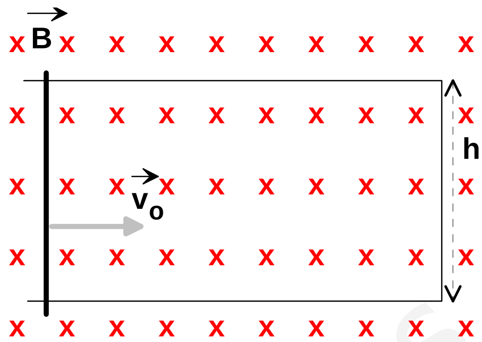
[c] La fuerza que, por unidad de longitud, se ejercen dos corrientes paralelas de intensidades I_1 e I_2, separadas una distancia d, está dada por $\frac{F}{l} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$.
Si las intensidades son de 1 A y d = 1 m, de la expresión anterior se obtiene: $\frac{F}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1}{2\pi \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-7} (\frac{N}{m})$. La definición internacional de amperio hace uso de este resultado:
"Si por dos conductores muy largos situados a una distancia de 1 m entre sí circulan corrientes iguales, se define la corriente en cada uno de ellos igual a un amperio si la fuerza por unidad de longitud sobre cada conductor es de $2 \cdot 10^{-7}$ N/m."

Actividad 4

La figura muestra un rectángulo de alambre de "altura" h situado en el plano del papel. El lado vertical izquierdo es móvil y se desliza horizontalmente hacia la derecha a velocidad constante $\vec{v}_o$, haciendo contacto permanentemente con los lados horizontales. En todo el espacio de este experimento hay un campo magnético uniforme $\vec{B}$, perpendicular al plano del papel, dirigido hacia adentro y representado por el símbolo "x".

[a] Enuncia la ley de Faraday-Lenz.

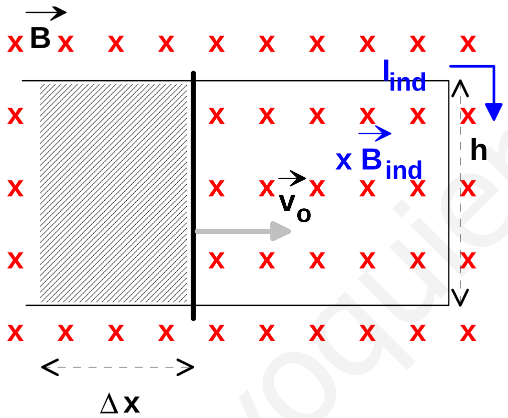
[b] Calcula el valor de la fuerza electromotriz y el sentido de la intensidad inducida en el rectángulo del alambre.



Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] Para aplicar la ley de Faraday-Lenz vamos a seguir dos pasos: por un lado, calcularemos el valor absoluto de la fuerza electromotriz; por otro lado, deduciremos el sentido de la corriente inducida en la espira cuadrada.



En un intervalo de tiempo Δt, el lado móvil se ha desplazado una distancia Δx = v_o Δt hacia la derecha, por lo que el flujo magnético ha disminuido, cumpliéndose que: $\Delta\phi_B = -v_o \Delta t h B$.

La fuerza electromotriz inducida es, en valor absoluto, $\varepsilon = \frac{|\Delta\phi_B|}{\Delta t} = v_o h B$.

El flujo magnético a través de la espira, mientras dura el movimiento de la varilla, está disminuyendo, por hacerlo la superficie; el sistema reacciona contra esta disminución creando su propio campo magnético, paralelo al campo magnético exterior, para compensar esa disminución. La figura muestra el campo magnético inducido y el correspondiente sentido de la corriente inducida.

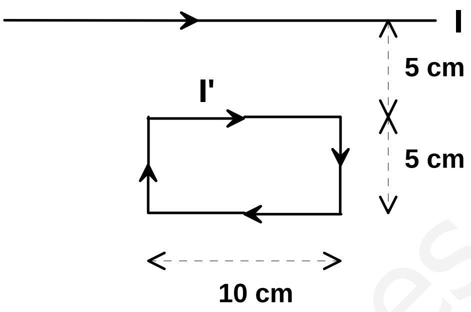
Actividad 5

Por un conductor rectilíneo de gran longitud circula una corriente I = 2 A.

[a] Dibuja las líneas del campo magnético creado por esa corriente. Si en las proximidades del conductor situamos una brújula que puede orientarse libremente en cualquier dirección, ¿cómo se orientará?

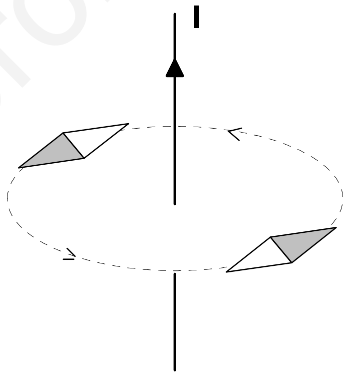
[b] Situamos junto al conductor anterior una espira rectangular rígida por la que circula una corriente I′ = 1 A, tal y como se indica en la figura. Calcula la fuerza (módulo y orientación) que actúa sobre cada uno de los dos lados paralelos al conductor. {*DATO:* $\frac{\mu_o}{4\pi} = 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$}

[c] ¿Qué fuerza neta actúa sobre toda la espira?



Respuesta

[a] La figura muestra las líneas del campo magnético del conductor rectilíneo y una brújula en sus proximidades, la cual se ha orientado siguiendo las líneas del campo magnético.



[b] Sabemos que la fuerza magnética sobre un elemento de corriente de longitud $\vec{l}$ está dado por: $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$. La intensidad del campo magnético en el lado MN vale: $B_{MN} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{r}$, donde r = 0,05 m. La intensidad del campo magnético en el lado OP vale: $B_{OP} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{2r}$.

Fuerza sobre el lado MN

Módulo:

$$F_{MN} = I' l_{MN} B_{MN} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{II' l_{MN}}{r} = \frac{2{\cdot}10^{-7}{\cdot}2{\cdot}1{\cdot}0,1}{0,05} = 8 \cdot 10^{-7}(N)$$

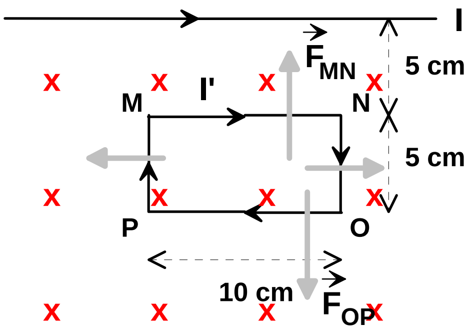
Dirección y sentido: Mostrado en la figura.

Fuerza sobre el lado OP

Módulo:

$$F_{OP} = I' l_{OP} B_{OP} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{II' l_{OP}}{2r} = \frac{2{\cdot}10^{-7}{\cdot}2{\cdot}1{\cdot}0,1}{0,1} =$$
$$= 4 \cdot 10^{-7}(N).$$

Dirección y sentido: Mostrado en la figura.



[c] Sobre los lados de la espira perpendiculares al conductor actúan dos fuerzas opuestas que se anulan mutuamente. Por lo tanto, el módulo de la fuerza neta sobre toda la espira es: $4 \cdot 10^{-7}(N)$, su dirección es perpendicular al conductor en el plano de la espira y el sentido hacia el conductor.

Actividad 6

Un solenoide está construido enrollando uniformemente 600 vueltas de un fino hilo conductor sobre un cilindro hueco de 30 cm de longitud. Por el bobinado se hace circular una corriente I = 2 A. *{DATO:* $\frac{\mu_o}{4\pi} = 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}*.

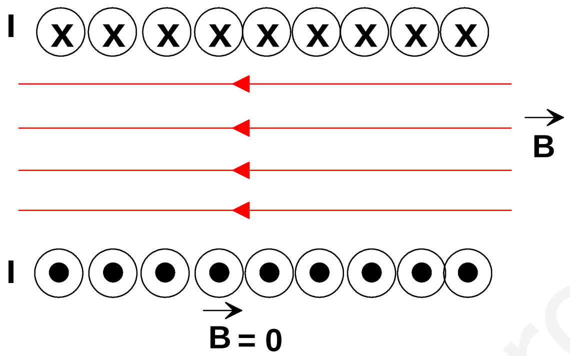
[a] Calcula el campo magnético en el interior del solenoide y representa gráficamente, de forma aproximada, las líneas de campo magnético dentro y fuera del solenoide.

[b] Una partícula cargada entra en el solenoide moviéndose con velocidad $\vec{v}$ a lo largo de su eje. Debido a la existencia de un campo magnético, ¿se curvará en algún sentido su trayectoria? ¿Por qué?

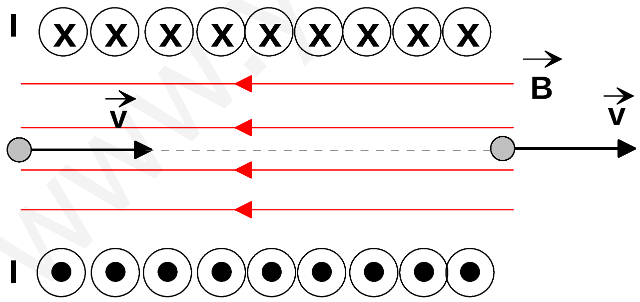
Respuesta

[a] Las líneas del campo magnético cercanas al centro del solenoide son aproximadamente paralelas, lo que indica que se trata de un campo uniforme; fuera del solenoide, las líneas del campo están dispersas y el campo magnético es débil. El módulo de la intensidad de este campo magnético se calcula mediante:

$$B = \frac{\mu_o NI}{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 600 \cdot 2}{0{,}3} = 5 \cdot 10^{-3} (T).$$



[b] La fuerza sobre una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético uniforme está dada por: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$. En nuestro caso, las direcciones de los vectores $\vec{v}$ y son paralelas, por lo que no existe ninguna fuerza sobre la partícula cargada; por lo tanto, esta sigue con la trayectoria rectilínea que llevaba antes de entrar en el campo magnético.



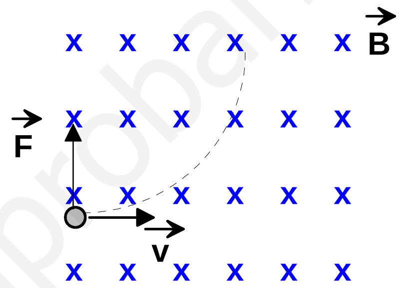
Actividad 7

[a] Escribe la expresión de la "fuerza de Lorentz" y comenta su significado y características.
[b] Cuando una partícula con carga q y masa m se mueve en una región donde existe un campo magnético uniforme, con una velocidad $\vec{v}$ perpendicular a las líneas de , realiza una trayectoria circular. ¿Por qué? Determina su periodo de revolución.

Respuesta

[a] La fuerza de Lorentz es la fuerza ejercida por el campo electromagnético sobre una partícula cargada. Para una partícula sometida a un campo eléctrico combinado con un campo magnético, la fuerza electromagnética total o fuerza de Lorentz sobre esa partícula viene dada por: $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ donde $\vec{v}$ es la velocidad de la carga, $\vec{E}$ es la intensidad del campo eléctrico y $\vec{B}$ es la intensidad del campo magnético.

[b] La fuerza sobre la partícula cargada se comporta como fuerza centrípeta, describiendo la carga una trayectoria circular con movimiento uniforme. Se cumple, por la 2ª ley de Newton, que: $qvB = m\frac{v^2}{R}$, expresión que nos permite calcular el radio de la trayectoria circular: $R = \frac{mv}{qB}$. La velocidad angular de la partícula cargada es $\omega = \frac{v}{R} = \frac{q}{m}B$, de donde se deduce que todas las partículas con el mismo cociente $\frac{q}{m}$ girarán con la misma velocidad angular, aunque describan órbitas de radios distintos.



El periodo de este movimiento circular es: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$.

Actividad 8

Una línea de alta tensión, de 220 kV, transporta energía eléctrica desde una central hasta una ciudad.

[a] Explica por qué el transporte de energía eléctrica se realiza a tan altas tensiones.
[b] Para reducir esta tensión hasta su valor de consumo doméstico, 220 V, se emplea un único transformador con 20 espiras en el circuito secundario. ¿Cuántas espiras debe tener el primario?

Respuesta

[a] Sabemos que la potencia eléctrica que se pierde en la línea de transporte es proporcional al cuadrado de la intensidad: $P_L = I^2 R_L^2$, donde R_L es la resistencia de la línea. Es conveniente, por lo tanto, tener una intensidad baja si se quiere sufrir pocas pérdidas de potencia. Al mismo tiempo, para transmitir una potencia alta (P = VI), que es lo que pretende una central eléctrica, la tensión debe ser alta si se quiere tener una intensidad baja. Por ello, las pérdidas de potencia (y de energía) en una línea son menores si se utiliza alta tensión.

[b] La ecuación que rige el funcionamiento de un transformador es: $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$. En nuestro caso, las tensiones en el primario y en el secundario son de 220.000 V y 220 V, respectivamente. En consecuencia, $N_p = \frac{N_s V_p}{V_s} = \frac{20 \cdot 220000(V)}{220(V)} = 20.000(espiras)$.

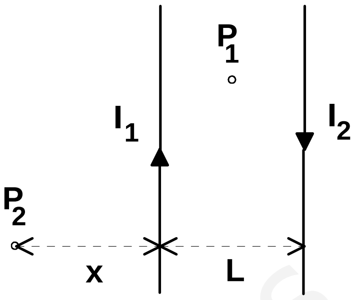
Actividad 9

Por dos conductores rectilíneos y paralelos, separados una distancia L = 0,5 m, circulan corrientes I_1 = 2 A e I_2 = 4 A en sentidos opuestos.

[a] Calcula el campo magnético (módulo y orientación) en un punto como el P_1, equidistante de ambos conductores y situado en su mismo plano.

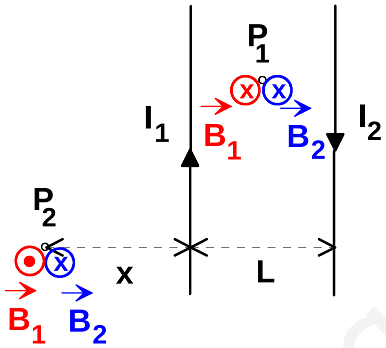
[b] Considera un punto, P_2, donde el campo magnético total es nulo. Razona por qué ha de estar situado a la izquierda de ambas corrientes y en su mismo plano, como se indica en la figura. Calcula la distancia, x, de P_2 a I_1.

{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ m kg C^{-2}}.



Respuesta

[a] Las dos corrientes eléctricas crean, en el punto P_1, sendos campos magnéticos, cuyas intensidades son perpendiculares al plano que contiene a los conductores y con el sentido hacia adentro (regla de la mano derecha). Los módulos de las intensidad de campo magnético son:



$B_1 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{2}{0,25} = 1,6 \cdot 10^{-6} (T)$ y

$B_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{4}{0,25} = 3,2 \cdot 10^{-6} (T)$, así que el módulo de la intensidad del campo magnético resultante es: $B_T(P_1) = 4,8 \cdot 10^{-6} (T)$; su dirección es perpendicular al plano del papel y su sentido hacia adentro.

[b] La figura muestra las intensidades del campo magnético, debidas a ambas corrientes, en el punto P_2. Se trata de dos vectores de la misma dirección (perpendicular al plano del papel) y de sentidos contrarios; por lo tanto, es posible que en esa zona exista un punto tal que estos vectores tengan el mismo módulo y su resultante sea nula. Ello ocurrirá cuando se cumpla: $B_1 = B_2$; es decir, $\frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I_1}{x} = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I_2}{x+0,5}$; $\frac{2}{x} = \frac{4}{x+0,5}$; $2x + 1 = 4x$; $1 = 2x$; $x = 0,5 (m)$.

Por otro lado, es fácil darse cuenta que en los puntos situados la derecha de ambas corrientes y en su mismo plano, los módulos de las intensidades del campo magnético nunca pueden ser iguales.

Actividad 10

[a] Enuncia y explica las *leyes de Faraday y Lenz* sobre inducción electromagnética.
[b] Imagina una espira conductora circular de radio R = 5 cm situada en una región donde existe un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la espira y, en la figura 1, dirigido hacia adentro. La intensidad del campo magnético varía con el tiempo tal y como se indica en la figura 2. Calcula la f.e.m. inducida en la espira e indica razonadamente en qué sentido circulará corriente por ella.

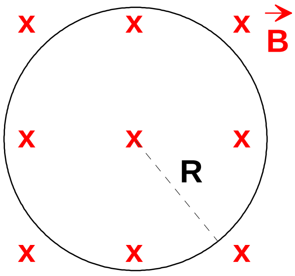
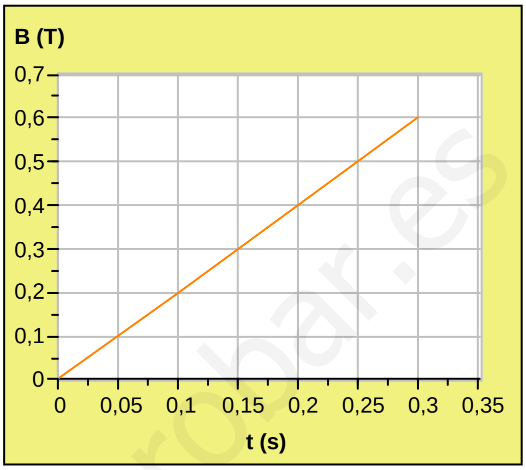


Fig. 1

Fig. 2



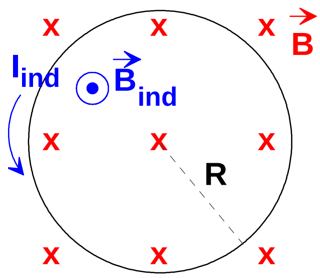
Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] El flujo magnético que atraviesa la espira es variable, ya que la intensidad del campo magnético es una función del tiempo; en consecuencia, se generará en la espira una fem inducida dada por: $\varepsilon = \left|\frac{d\phi_B}{dt}\right|$, siendo ϕ_B el flujo magnético. De la gráfica B-t, deducimos que la intensidad varía con el tiempo según la función: $B(t) = 2t(T)$.
Si asociamos a la superficie de la espira un vector paralelo a la intensidad del campo magnético, tendremos que $\phi_B = BS = 2t \cdot \pi R^2 = 2\pi R^2 t$. Su derivada con respecto al tiempo nos permite calcular la fem inducida: $\varepsilon = 2\pi R^2 = 2\pi \cdot 0,05^2 = 1,57 \cdot 10^{-2}(V)$.

El flujo magnético a través de la espira está aumentando, por hacerlo la intensidad del campo magnético; el sistema reacciona contra este aumento creando su propio campo magnético, antiparalelo al campo magnético exterior, para compensar ese aumento. La figura 3 muestra el campo magnético inducido y el correspondiente sentido de la corriente inducida.

Fig. 3



Actividad 11

[a] Escribe las expresiones del *campo magnético creado por una corriente rectilínea e indefinida* y de la *fuerza magnética que actúa sobre una corriente rectilínea* en presencia de un campo magnético uniforme. A partir de ellas, deduce y explica las *fuerzas de interacción por unidad de longitud entre dos corrientes* indefinidas, rectilíneas y paralelas.
[b] Basándote en lo anterior, enuncia la *definición de Amperio* como unidad de intensidad de corriente en el S.I.
{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}*.

Respuesta

Acotación "filosófica"
Lo primero que llama la atención es la cantidad de cursiva que hay en este enunciado. Creen, seguramente, que con ello se centra la atención del estudiante. Yo, que pienso que al alumnado hay que tratarlo cada vez más como una persona adulta, para que consiga al final serlo, escribiría todo con el estilo normal.

[a] Consulta cualquier manual de Física. Fíjate que se pide simplemente escribir dos fórmulas y, a partir de ellas, obtener una tercera.

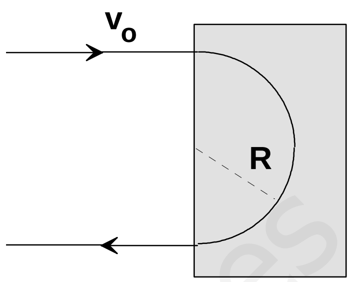
[b] Véase el apartado (c) de la actividad 3.

☙ Actividad 12

[a] Una partícula con carga q se mueve con velocidad $\vec{v}$ por una región donde existe un campo magnético $\vec{B}$. ¿Qué fuerza actúa sobre ella? Explica las características de esta fuerza. ¿Para qué orientación relativa entre $\vec{v}$ y $\vec{B}$ es nula dicha fuerza?

[b] Un electrón que viaja con velocidad $v_o = 10^7$ m/s penetra en la región sombreada de la figura, donde existe un campo eléctrico uniforme. Se observa que el electrón realiza una trayectoria semicircular de radio R = 5 cm dentro de dicha región, de forma que sale de ella moviéndose en dirección paralela a la de incidencia, pero en sentido opuesto. Determina el módulo, la dirección y el sentido del campo magnético que existe dentro de esa región.

{DATO: Relación carga/masa del electrón: $e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ C/kg}

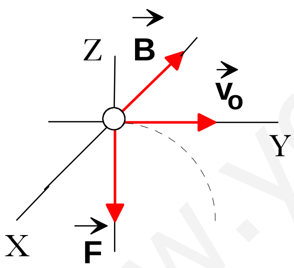


Respuesta

[a] La fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético se calcula mediante: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$. Se trata de una fuerza perpendicular al plano que determinan los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$, cuyo sentido viene dado por las propiedades del producto vectorial de dos vectores y por el signo de la carga. El módulo de dicha fuerza es: $F = qvB\,sen\,\alpha$, siendo α el ángulo que forman los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$. (Puedes completar esta descripción con un dibujo en perspectiva).

De acuerdo con lo anterior, la fuerza es nula cuando lo sea el seno de α, cosa que ocurre si los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ son paralelos (α = 0) o antiparalelos (α = 180º)

[b] De acuerdo con la trayectoria del electrón, la fuerza tiene que estar en el plano del dibujo y dirigida hacia abajo (véase la figura). Analicemos ahora las dos posibilidades que existen: si la intensidad del campo magnético tuviera la dirección y el sentido dados por +X, la fuerza estaría dirigida según -Z; si la intensidad del campo magnético estuviera dirigida según -X, la fuerza tendría la dirección y el sentido dados por +Z. Este comportamiento sería el propio de las cargas positivas en movimiento, pero como las cargas móviles son electrones, la intensidad del campo magnético es la mostrada en la figura.



Para calcular el módulo de la intensidad del campo magnético, hay que tener en cuenta que la fuerza sobre el electrón se comporta como fuerza centrípeta, así que:

$$eBv_o = m\frac{v_o^2}{R};\ B = \frac{m}{e}\frac{v_o}{R} = \frac{10^7}{1{,}76 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}05} = 1{,}14 \cdot 10^{-3}(T)$$

Actividad 13

Por un largo conductor rectilíneo circula una corriente I = 2 A.

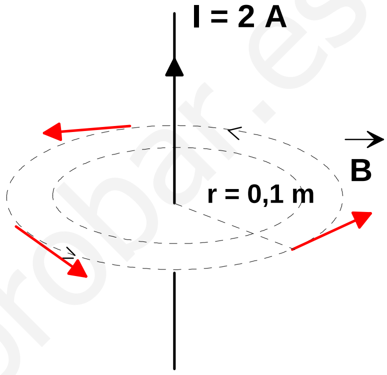
[a] ¿Qué campo magnético crea esta corriente a una distancia r = 10 cm del conductor? Explica cuál es la dirección y el sentido de este campo.

[b] En paralelo al anterior y a la distancia indicada se sitúa un segundo conductor, por el que circula una corriente I' = 1 A en el mismo sentido. ¿Qué fuerza por unidad de longitud actúa sobre cada conductor? ¿Es atractiva o repulsiva?

{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}.*

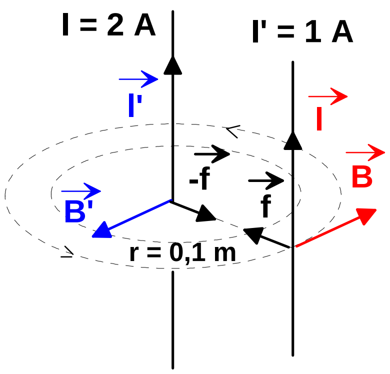
Respuesta

[a] El módulo de la intensidad del campo magnético debido a una corriente rectilínea se calcula mediante: $B = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{r} = 2 \cdot 10^{-7}\frac{2}{0{,}1} = 4 \cdot 10^{-6}(T)$. Las líneas del campo son circunferencias concéntricas al conductor, cuyo sentido se obtiene mediante la regla de la mano derecha, tal como se muestra en la figura.



[b] El módulo de la fuerza que, por unidad de longitud, se ejercen dos corrientes paralelas de intensidades I e I', separadas una distancia r, está dada por: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_o I I'}{2\pi r} = 2 \cdot 10^{-7}\frac{2 \cdot 1}{0{,}1} = 4 \cdot 10^{-6}(\frac{N}{m})$

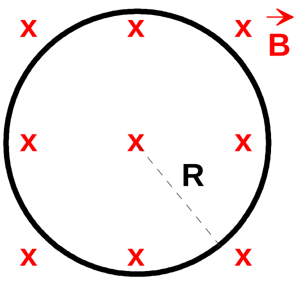
La dirección y el sentido de las fuerzas que las corrientes se ejercen mutuamente se obtiene, para cada una de ellas, a partir del producto vectorial: $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$. Por otro lado, el conductor de la izquierda está sometida a la acción del campo magnético de la corriente de la derecha. Con todo ello, la dirección y el sentido de las fuerzas por unidad de longitud se muestran en la figura adjunta. Vemos que las corrientes se atraen.



f: fuerza por unidad de longitud

☙ Actividad 14

[a] Enuncia y explica las *leyes de Faraday y Lenz* sobre inducción electromagnética.
[b] Una bobina está formada por 100 espiras circulares de radio R = 10 cm y está situada en el seno de un campo magnético uniforme de intensidad B = 0,05 T, perpendicular al plano de las espiras y, en la figura, dirigido hacia adentro. Calcula la f.e.m. media inducida en la bobina si el campo se duplica en un intervalo de tiempo Δt = 0,1 s. Indica razonadamente en qué sentido tenderá a circular corriente por las espiras.

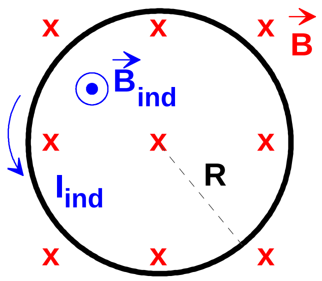


Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] El flujo magnético que atraviesa la bobina es variable, ya que la intensidad del campo magnético se duplica; en consecuencia, se generará en la bobina una fem inducida dada por: $\varepsilon = \left|\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}\right|$, siendo $\Delta\phi_B$ la variación del flujo magnético.
Si asociamos a la superficie de la cada espira un vector paralelo a la intensidad del campo magnético, tendremos que $\Delta\phi_B = N \cdot \Delta B \cdot S = N \cdot \Delta B \cdot \pi R^2$, donde N es el número de espiras de la bobina. El valor medio de la f.e.m. inducida es, entonces, $\varepsilon = \left|\frac{100 \cdot 0{,}05 \cdot \pi 0{,}1^2}{0{,}1}\right| = 1{,}57(V)$.

El flujo magnético a través de la bobina está aumentando, por hacerlo la intensidad del campo magnético; el sistema reacciona contra este aumento creando su propio campo magnético, antiparalelo al campo magnético exterior, para compensar ese aumento. La figura muestra el campo magnético inducido y el correspondiente sentido de la corriente inducida.



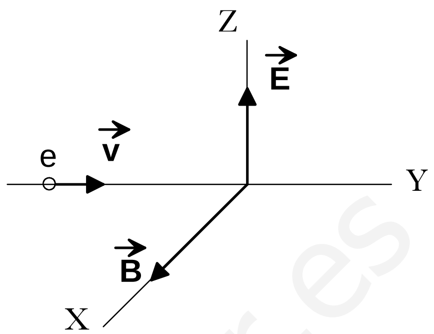
☙ Actividad 15

Un electrón que viaja con velocidad *v* penetra en una región del espacio donde existe un campo eléctrico uniforme de intensidad *E = 5,6·10³ V/m* y un campo magnético, también uniforme, *B = 1,4 mT*. Las direcciones de $\vec{v}$, $\vec{E}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares entre sí, tal y como indica la figura.

[a] Calcula el valor que debe tener *v* para que el electrón siga su trayectoria rectilínea inicial sin desviarse.

[b] Describe detalladamente el movimiento que realizaría el electrón si $\vec{E}=0$, es decir, si sólo existiese el campo magnético $\vec{B}$ indicado.

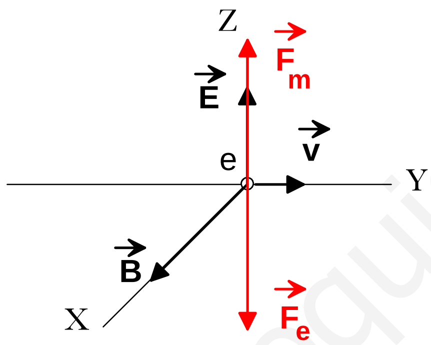
{DATOS: e = 1,6·10⁻¹⁹ C; mₑ = 9,1·10⁻³¹ kg}



Respuesta

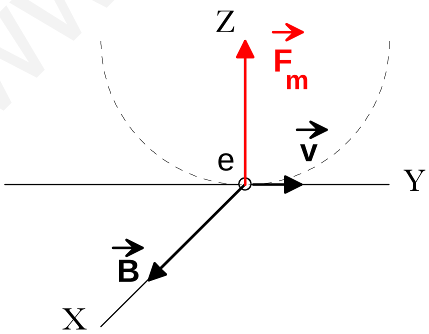
[a] Sobre el electrón actúan dos fuerzas: una eléctrica y otra magnética. Dichas fuerzas tienen la misma dirección y sentidos opuestos, por lo que, si el electrón no debe desviarse de su trayectoria inicial, las fuerzas eléctrica y magnética deben tener el mismo módulo. Se cumplirá, entonces, que: $F_e = F_m$; $eE = evB$;

$v = \frac{E}{B} = \frac{5{,}6\cdot10^3(\frac{N}{C})}{1{,}4\cdot10^{-3}(T)} = 4\cdot10^6(\frac{m}{s})$.



[b] Si no existiese el campo eléctrico, la fuerza magnética, perpendicular a la velocidad, se comportaría como fuerza centrípeta, así que el electrón describiría una trayectoria circular, en el plano YZ, con movimiento uniforme. El radio de esta órbita se calcula mediante:

$$R = \frac{m_e v}{eB} = \frac{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot4\cdot10^6}{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot1{,}4\cdot10^{-3}} = 1{,}6\cdot10^{-2}(m).$$

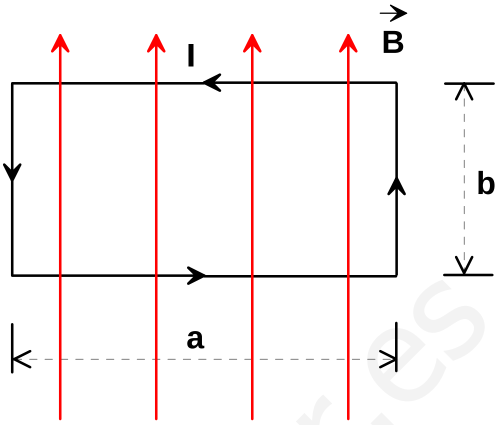


Actividad 16

En el seno de un campo magnético uniforme de intensidad B = 3,5 mT se sitúa una espira rígida rectangular de lados a = 12 cm y b = 6 cm, por la que circula una corriente I = 2,4 A. Las líneas de $\vec{B}$ son paralelas al plano de la espira y están orientadas como se indica en la figura.

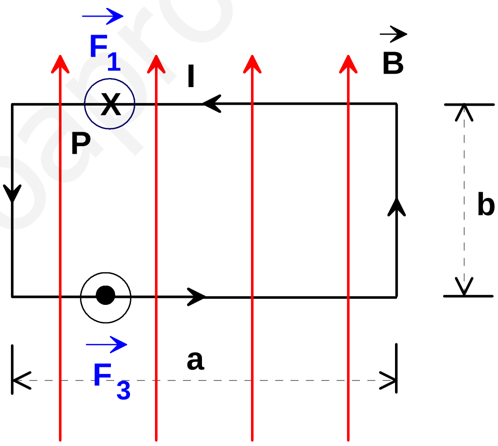
[a] Calcula la fuerza que actúa sobre cada uno de los cuatro lados de la espira y la resultante de todas ellas. ¿Cuál es el momento resultante de estas fuerzas?

[b] Si la espira puede moverse, ¿cómo lo hará? Explica cuál es la orientación respecto a $\vec{B}$ que tenderá a alcanzar el equilibrio?



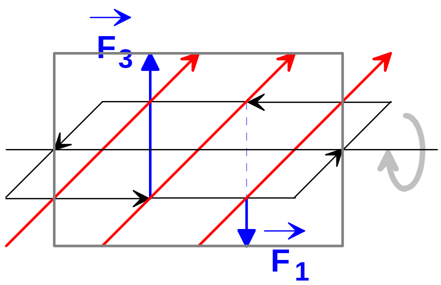
Respuesta

[a] La fuerza magnética sobre un elemento de corriente está dado por: $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$. En primer lugar, calculamos los módulos de las fuerzas sobre cada uno de los lados; tenemos que $F_1 = F_3 = IaB$ y que $F_2 = F_4 = 0$, pues los vectores $\vec{l}$ y $\vec{B}$, en estos dos casos, tienen la misma dirección. En segundo lugar, dibujamos las fuerzas sobre la espira. La fuerza $\vec{F}_1$ es perpendicular al plano del dibujo y hacia adentro, mientras que la fuerza $\vec{F}_3$, también perpendicular al plano del dibujo, está dirigida hacia afuera.



La resultante de todas las fuerzas que se ejercen sobre la espira es nula; sin embargo, como sobre la misma actuando un par de fuerzas, el momento del par será distinto de cero. Respecto al punto de aplicación P de la fuerza $\vec{F}_1$, el momento de esta fuerza es nulo y el momento de la fuerza $\vec{F}_3$ vale: $M_P(F_3) = bF_3 = abIB = SIB(N \cdot m)$, siendo S la superficie de la espira.

[b] La espira girará tal como se indica en la figura. Lo hará hasta colocarse perpendicular a la intensidad del campo magnético, pues, en ese momento la pareja de fuerzas sobre los lados largos de la espira, al igual que el par de fuerzas sobre los lados cortos, son fuerzas opuestas que se anulan mutuamente. Lo que sucede, en realidad, es que la espira oscila brevemente hasta alcanzar la citada posición de equilibrio.

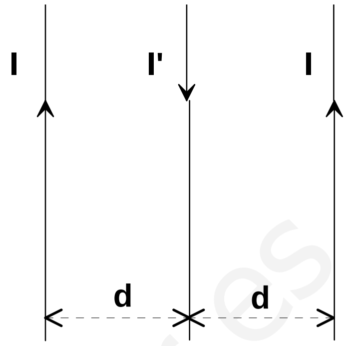


☙ Actividad 17

[a] Escribe y comenta la expresión de la *fuerza de interacción entre corrientes rectilíneas y paralelas*. Basándote en esta expresión, enuncia la *definición de Amperio* como unidad de intensidad de corriente eléctrica en el S.I.

[b] Por tres largos conductores rectilíneos, coplanarios y paralelos, separados entre sí distancias d = 40 cm, circulan corrientes en los sentidos indicados, con I = 1 A e I' = 2 A. Calcula la fuerza neta por unidad de longitud (módulo dirección y sentido) que actúa sobre cada conductor.

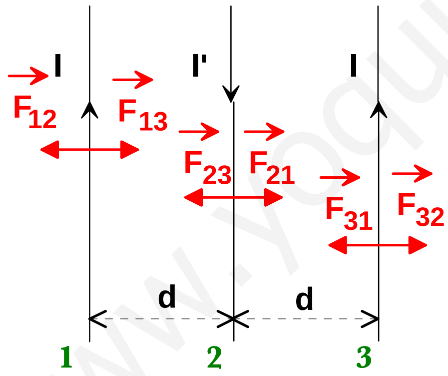
{*DATO:* $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$}.



Respuesta

[a] La pregunta se refiere a un simple comentario de la correspondiente fórmula. Creo que esto es una respuesta muy pobre, aunque dejo a criterio del estudiante la deducción de dicha fórmula. En cualquier caso, consulta el libro de Física.

[b] El módulo de la fuerza por unidad de longitud entre dos corrientes paralelas se calcula mediante: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d}$. Además, se sabe que corrientes del mismo sentido se atraen y que corrientes de distinto sentido se repelen. Dibujamos, entonces, las fuerzas sobre cada corriente. Las corrientes 1 y 2 se repelen, lo mismo que las corrientes 2 y 3, mientras que las corrientes 1 y 3 se atraen. Los módulos de dichas fuerzas por unidad de longitud son:



$$\frac{F_{12}}{l} = \frac{F_{21}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1 \cdot 2}{0,4} = 1 \cdot 10^{-6} (\tfrac{N}{m});$$
$$\frac{F_{23}}{l} = \frac{F_{32}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1 \cdot 2}{0,4} = 1 \cdot 10^{-6} (\tfrac{N}{m});$$
$$\frac{F_{13}}{l} = \frac{F_{31}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{1 \cdot 1}{0,8} = 0,25 \cdot 10^{-6} (\tfrac{N}{m})\text{-}$$

La fuerza neta por unidad de longitud sobre el **conductor 1** vale $0,75 \cdot 10^{-6} (\frac{N}{m})$, es perpendicular al conductor en el plano de las corrientes y está dirigida hacia la izquierda. La fuerza neta por unidad de longitud sobre el **conductor 2** es nula.

La fuerza neta por unidad de longitud sobre el **conductor 3** vale $0,75 \cdot 10^{-6} (\frac{N}{m})$, es perpendicular al conductor en el plano de las corrientes y está dirigida hacia la derecha.

Actividad 18

[a] Cuando una partícula con carga q se mueve con velocidad $\vec{v}$ en el seno de un campo magnético $\vec{B}$, ¿qué fuerza actúa sobre ella? Explica las características de esta fuerza. ¿Qué circunstancias deben cumplirse para que la partícula describa una trayectoria circular?

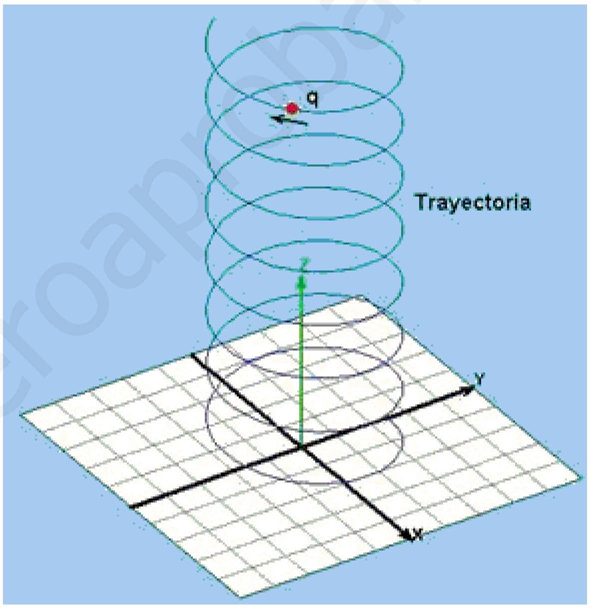
[b] Una partícula α que se mueve con velocidad v = 2,1·10^7 m/s describe una trayectoria circular en una región donde existe un campo magnético uniforme B = 0,15 T. Calcula el radio de la trayectoria y el periodo de revolución.

{DATOS: $m_\alpha = 6,6 \cdot 10^{-27} kg; q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} C$}

Respuesta

[a] Consulta cualquier libro de Física. En particular, ten en cuenta que, para que la trayectoria sea circular, la fuerza magnética debe comportarse como fuerza centrípeta exclusivamente, por lo que, inicialmente, la velocidad y la intensidad del campo magnético deben ser perpendiculares.

Supongamos que una partícula cargada entra en un campo magnético uniforme con una velocidad que no es perpendicular a $\vec{B}$. La velocidad de la partícula puede descomponerse en dos componentes: una paralela a $\vec{B}$ y otra perpendicular a $\vec{B}$. El movimiento debido a la componente perpendicular es el mismo que se ha citado en el párrafo anterior. La componente de la velocidad paralela a $\vec{B}$ no se ve afectada por el campo magnético y, por lo tanto, permanece constante. Como consecuencia todo ello, la trayectoria de la partícula es una **hélice**.



[b] La fuerza magnética se comporta como fuerza centrípeta, así que: y el radio de la trayectoria es, entonces, $R = \frac{m_\alpha v}{q_\alpha B} = \frac{6,6 \cdot 10^{-27} \cdot 2,1 \cdot 10^{7}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 0,15} = 2,9(m)$.

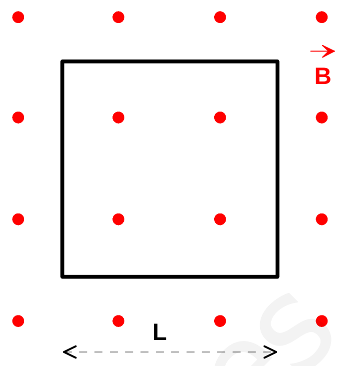
El periodo de revolución se obtiene como sigue: $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \cdot 2,9}{2,1 \cdot 10^7} = 8,7 \cdot 10^{-7}(s)$.

Actividad 19

Una espira conductora cuadrada, de lado L = 20 cm, está situada en una región donde existe un campo magnético uniforme B = 0,2 T perpendicular al plano de la espira y, en la figura, con sentido saliente.

[a] Calcula la f.e.m. media inducida en la espira cuando ésta rota 90º en torno a un lado en un intervalo de tiempo Δt = 0,1 s.

[b] Si la espira permanece fija, pero el campo magnético se duplica en el mismo intervalo de tiempo indicado, ¿cuál es la f.e.m. inducida? Razona en qué sentido tiende a circular la corriente por la espira.



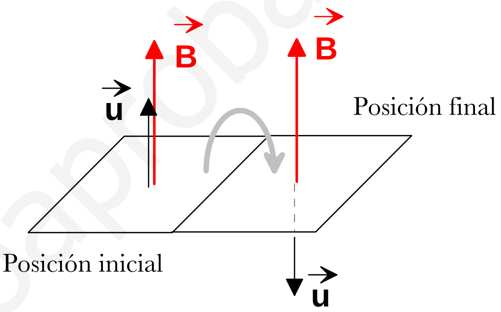
Respuesta

[a] En primer lugar, se calcula el flujo magnético a través de la espira en las posiciones inicial y final:

$\phi_{B,inicial} = BS\cos 0 = 0,2 \cdot 0,2^2 \cdot 1 = 2 \cdot 10^{-3}(Tm^2)$

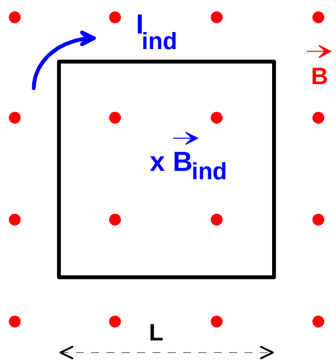
$\phi_{B,final} = BS\cos\pi = 0,2 \cdot 0,2^2 \cdot (-1) =$
$= -2 \cdot 10^{-3}(Tm^2)$

El flujo magnético que atraviesa la espira ha cambiado; en consecuencia, se generará en la espira una fem inducida dada por: $\varepsilon = \left|\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}\right|$, siendo $\Delta\phi_B$ la variación del flujo magnético. La fem media inducida es, entonces, $\varepsilon = \left|\frac{-4\cdot 10^{-3}}{0,1}\right| = 0,04(V)$.



[b] La variación del flujo magnético a través de la espira es ahora: $\Delta\phi_B = 4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3}(T\,m^2)$.

La fem media inducida es, entonces, $\varepsilon = \left|\frac{2\cdot 10^{-3}}{0,1}\right| = 0,02(V)$. El flujo magnético a través de la espira está aumentando, por hacerlo la intensidad del campo magnético; el sistema reacciona contra este aumento creando su propio campo magnético, antiparalelo al campo magnético exterior, para compensar ese aumento. La figura muestra el campo magnético inducido y el correspondiente sentido de la corriente inducida.

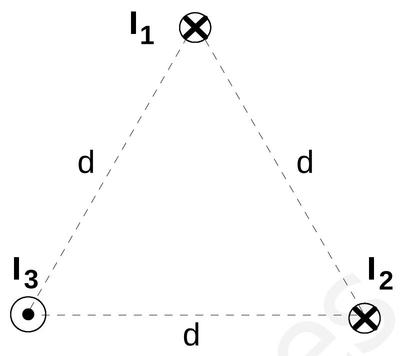


Actividad 20

[a] Escribe y comenta la expresión de la *fuerza de interacción entre corrientes rectilíneas y paralelas*. Basándote en esta expresión, enuncia la definición de *Amperio*.

[b] Por tres largos conductores rectilíneos y paralelos circulan corrientes iguales, $I_1 = I_2 = I_3 = 2$ A. En la figura se esquematiza el sistema en un plano perpendicular a los conductores, que pasan por los vértices de un triángulo equilátero de lado d = 10 cm. Las corrientes I_1 e I_2 circulan hacia el interior de la figura y la I_3 hacia el exterior. Calcula el módulo de la fuerza magnética total que actúa, por unidad de longitud, sobre el conductor número 1. Indica, mediante una figura, la dirección y el sentido de esta fuerza.

{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}*.



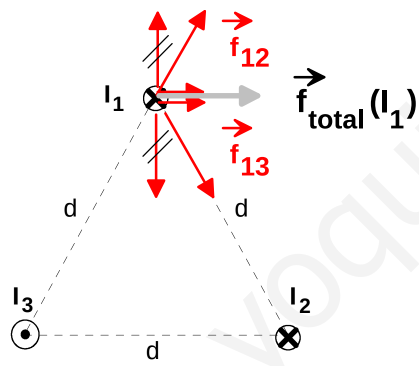
Respuesta

[a] Consulta, una vez más, el libro de Física.

[b] El conductor 1 es atraído por el conductor 2 y repelido por el conductor 3; la figura muestra las correspondientes fuerzas por unidad de longitud. Los módulos de estas fuerzas son:

$f_{12} = \frac{F_{12}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{4}{0{,}1} = 8 \cdot 10^{-6}(\frac{N}{m})$ y

$f_{13} = \frac{F_{13}}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{4}{0{,}1} = 8 \cdot 10^{-6}(\frac{N}{m})$.



Al descomponer estas fuerzas en sus componentes horizontales y verticales, se observa que las componentes verticales se anulan entre sí y que las componentes horizontales son iguales; en consecuencia, la fuerza magnética total que, por unidad de longitud, actúa sobre el conductor 1 vale: $f_{total}(I_1) = 2f_{12} \cos 60 = f_{12} = 8 \cdot 10^{-6}(\frac{N}{m})$. La dirección y el sentido de esta fuerza se muestran en la figura.

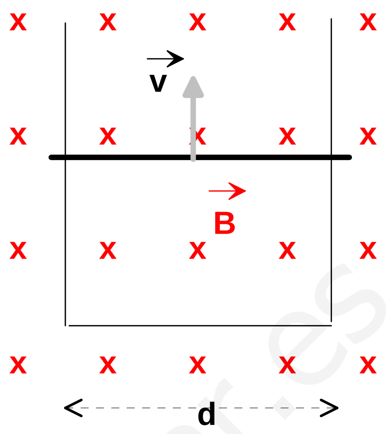
Actividad 21

[a] Enuncia y explica las *Leyes de Faraday y Lenz*.

Un alambre conductor se dobla en forma de U, con sus lados paralelos separados una distancia d = 20 cm. Sobre estos lados se apoya una varilla conductora, formando un circuito rectangular por el que puede circular corriente eléctrica. Existe un campo magnético uniforme de intensidad B = 0,2 T perpendicular al plano del circuito y, en la figura, dirigido hacia adentro. La varilla se mueve como indica la figura, con velocidad uniforme v = 0,5 m/s.

[b] Calcula la f.e.m. inducida en el circuito.

[c] ¿En qué sentido circula corriente por la varilla? Razona la respuesta.



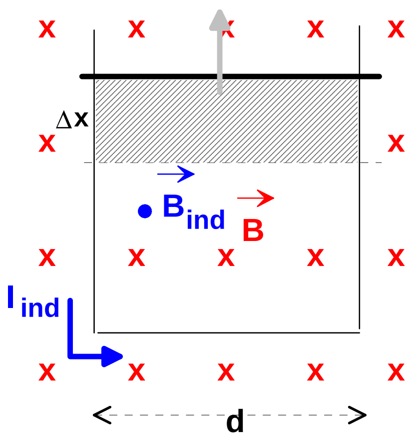
Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] Para aplicar la ley de Faraday-Lenz vamos a seguir dos pasos: por un lado, calcularemos el valor absoluto de la fuerza electromotriz; por otro lado, deduciremos el sentido de la corriente inducida en la espira rectangular.

En un intervalo de tiempo Δt, el lado móvil se ha desplazado una distancia Δx = v Δt hacia arriba, por lo que el flujo magnético ha aumentado, cumpliéndose que: $\Delta\phi_B = v\Delta t dB$.

La fuerza electromotriz inducida es, en valor absoluto, $\varepsilon = \frac{|\Delta\phi_B|}{\Delta t} = vdB = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,2 = 0,02(V)$.



[c] El flujo magnético a través de la espira, mientras dura el movimiento de la varilla, está aumentando, por hacerlo la superficie; el sistema reacciona contra este aumento creando su propio campo magnético, antiparalelo al campo magnético exterior, para compensar ese aumento. La figura muestra el campo magnético inducido y el correspondiente sentido de la corriente inducida.

Actividad 22

[a] ¿Qué es un *ciclotrón*? Explica brevemente sus fundamentos físicos.
[b] Se aceleran protones en un ciclotrón de 0,25 m de radio máximo (radio de extracción), que opera con un campo magnético uniforme B = 0,83 T. Calcula la velocidad final de los protones.
{DATO: Relación carga/masa de un protón: 9,6·10⁷ C/kg}

Respuesta

[a] Consulta cualquier manual de Física.

[b] Los protones describen en el ciclotrón semicircunferencias de radio variable. Para cada una de ellas se cumple que: $R = \frac{m_p v}{q_p B}$, de donde se deduce la velocidad de los protones: $v = \frac{R q_p B}{m_p} = 0,25 \cdot 9,6 \cdot 10^7 \cdot 0,83 = 2 \cdot 10^7 (\frac{m}{s})$.

Actividad 23

[a] Explica qué es el coeficiente de *autoinducción* de un circuito.
[b] Por un solenoide de autoinducción L = 0,02 H circula una corriente que decrece con el tiempo en la forma $I = I_o - \alpha t - \beta t^2$, donde I_o es una constante, α = 5 A/s y β = 2,5 A/s². Determina, en función del tiempo, la f.e.m. autoinducida en el solenoide.

Respuesta

[a] Repasa los apuntes de Física.

[b] Se trata de un ejercicio meramente matemático. La fem autoinducida, en cualquier instante, verifica la relación: $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$, siendo L el coeficiente de autoinducción. En nuestro caso, $\varepsilon = -L\frac{d(I_o - \alpha t - \beta t^2)}{dt} = -L(-\alpha - 2\beta t) = 2\beta L t + \alpha L = 0,1t + 0,1(V)$.

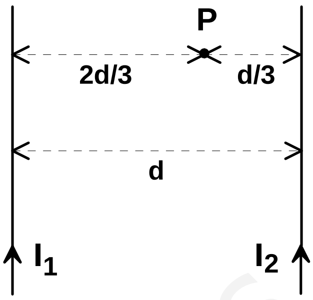
Actividad 24

En la figura se representan dos largos conductores rectilíneos, paralelos y separados una distancia *d*, por los que circulan corrientes I_1 e I_2 en el mismo sentido.

[a] Si I_1 = 2 A, calcula el valor de I_2 para que se anule el campo magnético total en el punto P, situado entre los dos conductores como se indica en la figura.

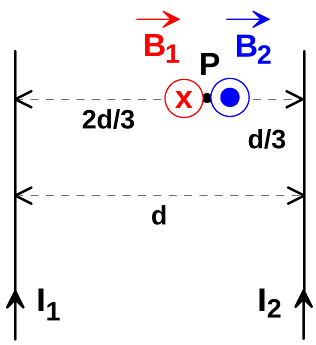
[b] Para d = 2 cm, I_1 = 2 A e I_2 = 1 A, determina las fuerzas de interacción (módulo, dirección y sentido) que actúa sobre una longitud L = 0,5 m de cada conductor.

{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ m kg C^{-2}}.



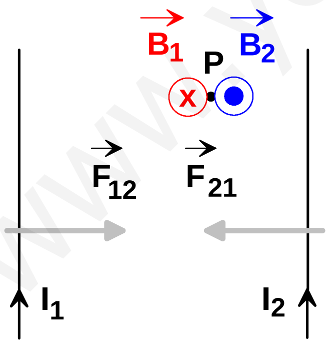
Respuesta

[a] En primer lugar, dibujamos los vectores intensidad del campo magnético en el punto P. Estos vectores son perpendiculares al plano del dibujo, uno hacia adentro y otro hacia afuera (tienen la misma dirección, aunque se han dibujado separados para lograr una mayor claridad). Los módulos de estos dos vectores han de ser iguales, así que: $\frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I_1}{\frac{2d}{3}} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I_2}{\frac{d}{3}}$; $\frac{3I_1}{2d} = \frac{3I_2}{d}$; $I_2 = \frac{I_1}{2} = 1(A)$.



[b] El módulo de la fuerzas por unidad de longitud entre dos corrientes rectilíneas y paralelas se calcula mediante: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{d} = 2\cdot 10^{-7}\frac{2\cdot 1}{2\cdot 10^{-2}} = 2\cdot 10^{-5}(\frac{N}{m})$. El módulo de la fuerzas sobre cada medio metro de conductor será, entonces, $F = 1\cdot 10^{-5}(N)$.

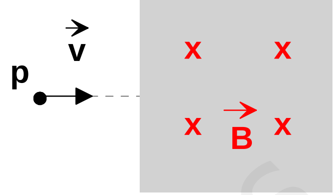
Por otro lado, sabemos que las corrientes del mismo sentido se atraen, por lo que las fuerzas de interacción tienen la dirección de la recta perpendicular a ambos conductores y los sentidos opuestos: uno hacia la izquierda y otro hacia la derecha.



Actividad 25

[a] Una partícula con carga q se mueve con velocidad $\vec{v}$ por una región del espacio donde existe un campo magnético $\vec{B}$. ¿Qué fuerza actúa sobre la partícula? Explica las características de esta fuerza. ¿En qué circunstancias es nula?

[b] En la región sombreada de la figura existe un campo magnético de intensidad B = 5 mT, perpendicular al plano de la figura y dirigido hacia adentro. En esta región penetra un protón, p, que viaja con velocidad v = $3 \cdot 10^6$ m/s en dirección perpendicular a las líneas de $\vec{B}$, tal y como se indica en la figura. Describe detalladamente la trayectoria del protón en la región con campo magnético.

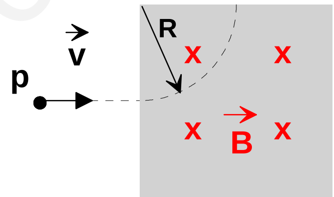


{DATO: Relación carga/masa del protón: $\frac{q_p}{m_p} = 9,6 \cdot 10^7 \left(\frac{C}{kg}\right)$*}*

Respuesta

[a] Consulta el apartado [a] de la actividad 18.

[b] La fuerza magnética, perpendicular inicialmente a la velocidad del protón, se comporta como fuerza centrípeta; en consecuencia, el protón describe una trayectoria circular, con rapidez constante, en el plano del dibujo. Se cumple, entonces: $q_p v B = m_p \frac{v^2}{R}$, de donde se puede obtener el valor del radio de la órbita: $R = \frac{m_p}{q_p}\frac{v}{B} = \frac{3 \cdot 10^6}{9,6 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 6,25(m)$. Además, el periodo de revolución del protón vale: $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \cdot 6,25}{3 \cdot 10^6} = 1,3 \cdot 10^{-5}(s)$.



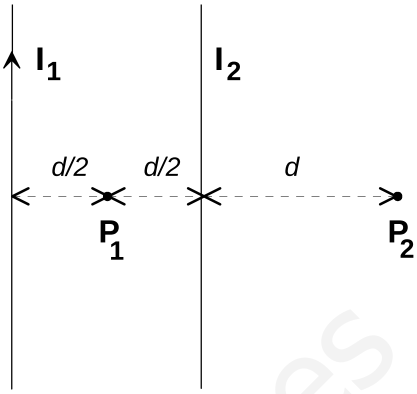
Actividad 26

Se tienen dos hilos conductores, rectos, paralelos e indefinidos, separados una distancia d. Por el conductor 1 circula una intensidad I_1 = 2 A hacia arriba (ver figura).

[a] ¿Qué intensidad I_2, y en qué sentido, debe circular por el conductor 2 para que se anule el campo magnético $\vec{B}$ en el punto P_2?

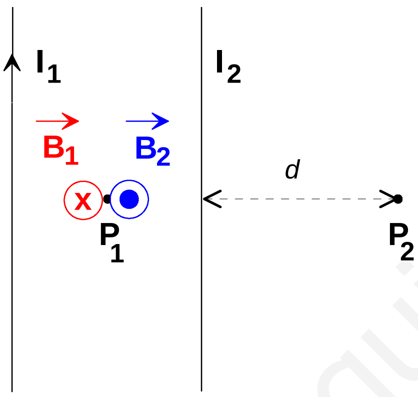
[b] La distancia que separa los conductores es d = 20 cm. Calcula el campo magnético en los puntos P_1 y P_2 cuando $I_2 = I_1$ = 2 A (hacia arriba).

{DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}*.



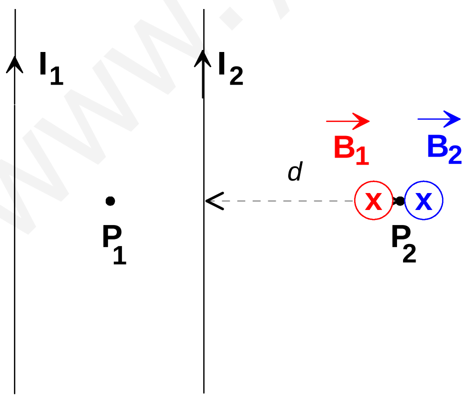
Respuesta

[a] La intensidad del campo magnético en el punto P_1, debido a la corriente I_1, es perpendicular al plano del dibujo hacia adentro. Si la intensidad del campo magnético resultante ha de ser nula, la intensidad del campo magnético debido a la corriente I_2 también debe ser perpendicular al plano del papel pero hacia afuera; si esto es así, la corriente del conductor 2 circula hacia arriba.



Por otro lado, los módulos de las intensidades $\vec{B}_1$ y $\vec{B}_2$ deben ser iguales y, dado que ambos conductores equidistan del punto P_1, las intensidades de corriente que los recorren también serán iguales; por lo tanto I_2= 2 A.

[b] Según acabamos de ver, la intensidad del campo magnético resultante en el punto P_1 es nula. Para calcular dicha magnitud en el punto P_2, comenzamos dibujando las intensidades del campo magnético, debidas a los dos conductores, en dicho punto. Se trata de vectores perpendiculares al plano del papel con sentido hacia adentro. Los módulos de estos vectores son:



$$B_1 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{2}{0,4} = 1 \cdot 10^{-6} (T)$$

$$B_2 = 2 \cdot 10^{-7} \frac{2}{0,2} = 2 \cdot 10^{-6} (T)$$

La intensidad del campo magnético resultante en el punto P_2 vale $3 \cdot 10^{-6}$ (T), su dirección es perpendicular al plano del papel y su sentido hacia adentro.

Actividad 27

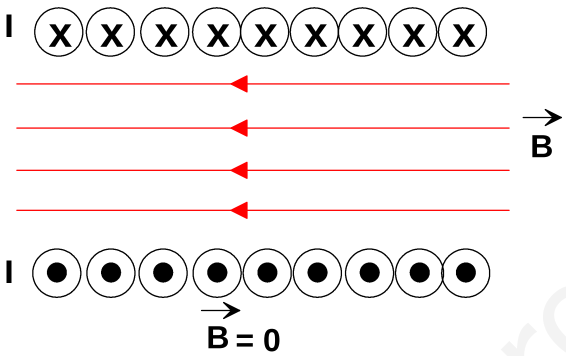
Se construye un solenoide enrollando uniformemente 1000 espiras circulares de cable conductor sobre un cilindro hueco de longitud L = 50 cm. Por el cable circula una corriente I = 2 A. *{DATO:* $\frac{\mu_o}{4\pi} = 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$*}*.

[a] Calcula el campo magnético en el interior del solenoide. Representa gráficamente, de forma aproximada, las líneas de campo magnético dentro y fuera del solenoide.

[b] Si dentro del solenoide se introduce una barra de material ferromagnético, la intensidad del campo magnético aumenta notablemente. Explica este fenómeno.

Respuesta

[a] Las líneas del campo magnético cercanas al centro del solenoide son aproximadamente paralelas, lo que indica que se trata de un campo uniforme; fuera del solenoide, las líneas del campo están dispersas y el campo magnético es débil. El módulo de la intensidad de este campo magnético se calcula mediante: $B = \frac{\mu_o N I}{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 2}{0,5} = 5 \cdot 10^{-3} (T)$.

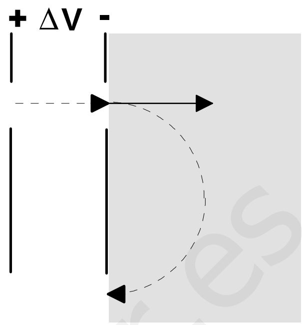


[b] Consulta el libro de Física.

☙ Actividad 28

[a] Escribe la expresión de la *Fuerza de Lorentz* para partículas que se mueven en el seno de un campo magnético $\vec{B}$. Explica las características de esta fuerza y qué circunstancias deben cumplirse para que la partícula describa una trayectoria circular.

[b] Un ión de $^{7}Li^{+}$, de masa m = 1,15·10^{-26} kg, carga q = 1,60·10^{-19} C y velocidad inicial nula, es acelerado mediante un campo eléctrico entre dos placas entre las que existe una diferencia de potencial $\Delta V = 450\ V$. Después penetra en una región donde existe un campo magnético perpendicular a $\vec{v}$ y de intensidad $\left|\vec{B}\right| = 0,723\ T$. Calcula la velocidad $\vec{v}$ que tiene el ión al salir de la zona del campo eléctrico y el radio R de la trayectoria que describe en la región del campo magnético.



Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] En la zona del campo eléctrico, se calcula la velocidad con que el ión abandona el mismo mediante la aplicación de la ley de conservación de la energía mecánica. En efecto, $E_{m,inicial} = E_{m,final}$; la partícula parte del reposo, por lo que: $0 + qV_+ = \frac{1}{2}mv^2 + qV_-$; $\frac{1}{2}mv^2 = q(V_+ - V_-) = q\Delta V$; $v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 450}{1,15 \cdot 10^{-26}}} = 1,12 \cdot 10^5 (\frac{m}{s})$.

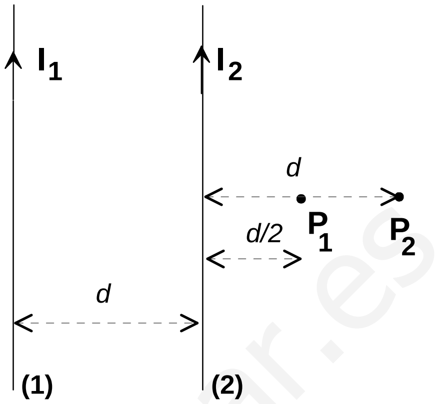
La partícula cargada penetra perpendicularmente a la intensidad del campo magnético; por lo tanto, la fuerza magnética se comporta como fuerza centrípeta, es decir, $qvB = m\frac{v^2}{R}$, de donde se deduce el radio de la trayectoria circular descrita por el ión:
$R = \frac{mv}{qB} = \frac{1,15 \cdot 10^{-26} \cdot 1,12 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,732} = 0,011(m)$.

Actividad 29

[a] ¿Qué campo magnético $\vec{B}$ crea en su entorno una corriente eléctrica rectilínea e indefinida de valor I? Dibuja las líneas del campo. ¿Cómo decrece con la distancia?

El sistema de la figura está formado por dos conductores rectilíneos, paralelos e indefinidos, situados en el mismo plano y separados una distancia d = 20 cm.

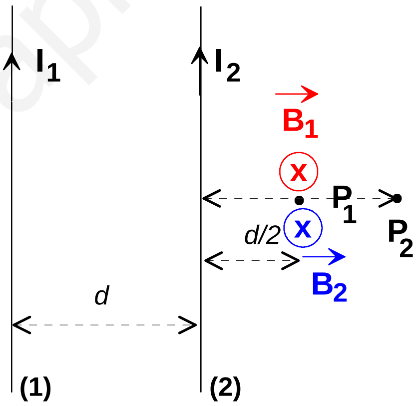
[b] Calcula el valor del campo $\vec{B}$ en el punto P_1 cuando por ambos conductores circula la misma intensidad $I_1 = I_2 = 2$ A. ¿Qué corriente y en qué sentido debe circular por el conductor (2) para que anule el campo $\vec{B}$ creado por el conductor (1) en el punto P_2? {*DATO:* $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *m kg C*$^{-2}$}.



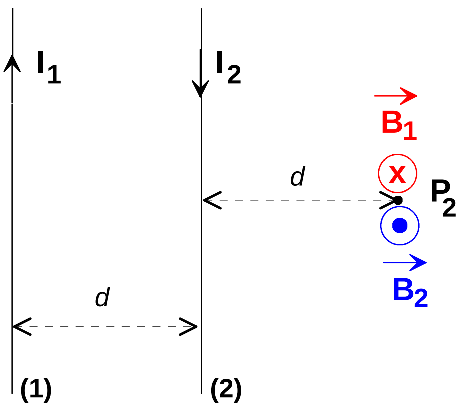
Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] En primer lugar, se dibuja las intensidades de los campos magnéticos asociados a las dos corrientes eléctricas. Se trata de dos vectores perpendiculares al plano del dibujo y dirigidos hacia adentro. La intensidad del campo magnético resultante en P_1 será también un vector perpendicular al plano del dibujo y dirigido hacia adentro; su módulo será la suma de los módulos de las intensidades de campo individuales: $B_T(P_1) = B_1 + B_2 = \frac{\mu_o}{2\pi}\left(\frac{I_1}{3d/2} + \frac{I_2}{d/2}\right)$. Al hacer la aplicación numérica queda: $B_T(P_1) = 2 \cdot 10^{-7}\left(\frac{2}{0{,}3} + \frac{2}{0{,}1}\right) = 5{,}33 \cdot 10^{-6}(T)$.



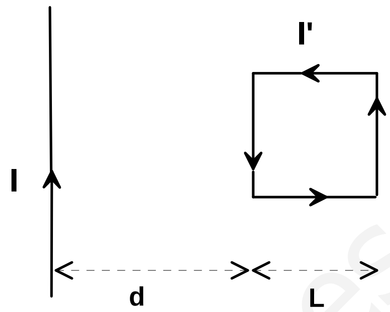
Ahora se debe cumplir que la intensidad del campo magnético resultante en P_2 debe ser nulo y ello sólo es posible si $\vec{B}_2$ es un vector perpendicular al plano del dibujo y dirigido hacia afuera. Esto requiere que la intensidad I_2 cambie de sentido y que los módulos de $\vec{B}_1$ y de $\vec{B}_2$ en el punto P_2 sean iguales: $\frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I_1}{2d} = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I_2}{d}$; por lo que $I_2 = \frac{I_1}{2} = 1(A)$.



Actividad 30

[a] Escribe y comenta la expresión de la fuerza de interacción entre corrientes rectilíneas y paralelas. Basándote en esta expresión, enuncia la definición de amperio.

[b] Por un conductor rectilíneo e indefinido circula una corriente eléctrica de intensidad I = 2 A. Se sitúa una espira cuadrada de lado L = 5 cm a una distancia d = 10 cm, tal y como indica la figura. Si por la espira circula una corriente I' = 3 A en el sentido indicado, calcula la fuerza $\vec{F}$ (módulo, dirección y sentido) que ejerce la corriente y sobre el lado de la espira más próximo al conductor rectilíneo.
DATO: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}\ m \cdot kg \cdot C^{-2}$.



Respuesta

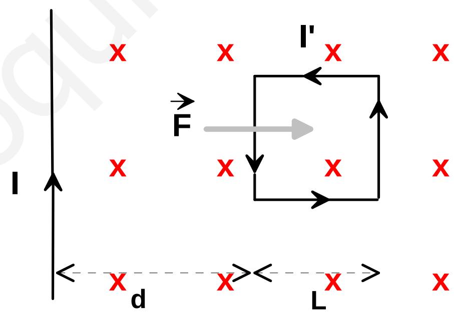
[a] Consulta el libro de Física.

[b] Sabemos que la fuerza magnética sobre un elemento de corriente de longitud $\vec{l}$ está dado por: $\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$. La intensidad del campo magnético en el lado más próximo de la espira vale: $B = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{r}$, donde r = 0,10 m.

Fuerza sobre el dicho lado

Módulo: $F_{MN} = I'lB = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{II'l}{r} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 0{,}05}{0{,}10} = 6 \cdot 10^{-7}(N)$

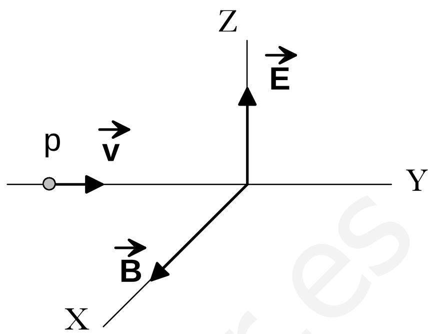
Dirección y sentido: Mostrado en la figura.



Actividad 31

[a] ¿Qué fuerza actúa sobre una partícula, de masa m y carga eléctrica q, que penetra con velocidad $\vec{v}$ en una región del espacio donde existe un campo magnético $\vec{B}$ uniforme? ¿Qué trabajo realiza dicha fuerza?

[b] Un protón que viaja con rapidez v penetra en una región del espacio donde existe un campo magnético B = 0,3 T y un campo eléctrico E = $2 \cdot 10^5$ N/C. Las direcciones de $\vec{v}$, $\vec{B}$ y $\vec{E}$ son perpendiculares entre sí, tal y como indica la figura.



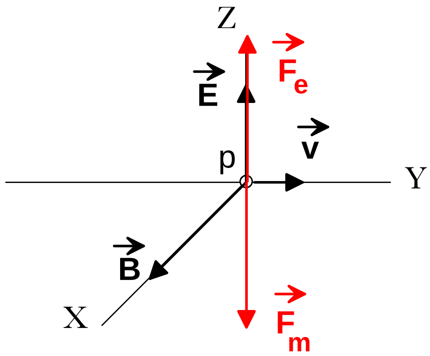
- Si el protón no se desvía, ¿cuál es su velocidad?
- Describe detalladamente la trayectoria que seguiría el protón si no existiese campo eléctrico.

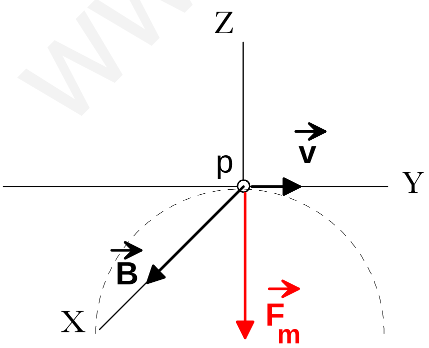
DATO: Relación carga/masa del protón: $\frac{q_p}{m_p} = 9,6 \cdot 10^7 \left(\frac{C}{kg}\right)$.

Respuesta

[a] La fuerza está dada por la expresión: $\vec{F} = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$. Vamos a suponer que la partícula penetra en la citada región perpendicularmente a la intensidad del campo magnético $\vec{B}$; en este caso la trayectoria de la partícula es circular y la fuerza $\vec{F}$ es siempre perpendicular a la velocidad $\vec{v}$; en consecuencia, el trabajo realizado por la fuerza es nulo.

[b] Sobre el protón actúan dos fuerzas: una eléctrica y otra magnética. Dichas fuerzas tienen la misma dirección y sentidos opuestos, por lo que, si el protón no debe desviarse de su trayectoria inicial, las fuerzas eléctrica y magnética deben tener el mismo módulo. Se cumplirá, entonces, que: $F_e = F_m$; $q_p E = q_p v B$; $v = \frac{E}{B} = \frac{2 \cdot 10^5 \left(\frac{N}{C}\right)}{0,3 (T)} = 6,7 \cdot 10^5 \left(\frac{m}{s}\right)$.





[c] Si no existiese el campo eléctrico, la fuerza magnética, perpendicular a la velocidad, se comportaría como fuerza centrípeta, así que el electrón describiría una trayectoria circular, en el plano YZ, con movimiento uniforme. El radio de esta órbita se calcula mediante:
$R = \frac{m_p v}{q_p B} = \frac{6,7 \cdot 10^5}{9,6 \cdot 10^7 \cdot 0,3} = 2,3 \cdot 10^{-2} (m)$.