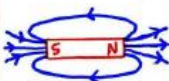


Campo magnético-inducción electromagnética

Efectúe un estudio comparativo entre el campo gravitatorio, el campo eléctrico y el campo magnético, contemplando los siguientes aspectos: fuentes del campo, líneas de fuerza y carácter conservativo.

	CAMPO GRAVITATORIO	CAMPO ELÉCTRICO	CAMPO MAGNÉTICO
Fuentes del campo	Masa (puntual o distribución de masa)	Carga eléctrica (puntual o distribución de carga) Campo magnético variable en el tiempo	Carga eléctrica en movimiento -corriente eléctrica- Campo eléctrico variable con el tiempo
Líneas de fuerza	 Abiertas y entrantes	 Abiertas Entrantes: $-q$ Salientes: $+q$	 Cerradas (de N a S) (campo solenooidal)
Carácter conservativo	$\vec{F}_{\text{grav}} = m' \vec{g}$ Conservativo - es un campo central - $E_{\text{pgrav}} = -G \frac{mm'}{r}$	$\vec{F}_{\text{el}} = q' \vec{E}$ Conservativo - es un campo central - $E_{\text{pel}} = k \frac{qq'}{r}$	$\vec{F}_{\text{mag}} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ No conservativo - $\vec{F}_{\text{mag}}$ depende de la velocidad - No existe E_{pmag}

Analice si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- Una partícula cargada que se mueve en un campo magnético uniforme aumenta su velocidad cuando se desplaza en la misma dirección de las líneas del campo.
- Una partícula cargada puede moverse en una región en la que existe un campo magnético y un campo eléctrico sin experimentar ninguna fuerza.

La afirmación a) es falsa, pero la b) es verdadera.
RESULTADO

Las fuerzas que ejercen un campo eléctrico y un campo magnético, de intensidades respectivas: $\vec{E}$ y $\vec{B}$, sobre una carga eléctrica q que se mueve con velocidad $\vec{v}$ valen, respectivamente:

$$\vec{F}_{\text{elec}} = q\vec{E} \quad ; \quad \vec{F}_{\text{mag}} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

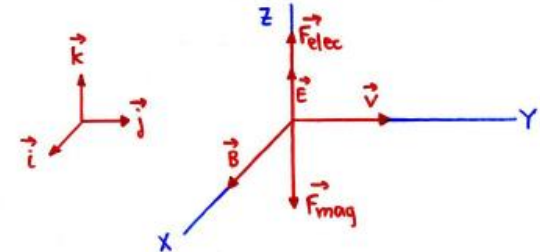
Si una partícula cargada se desplaza en la misma dirección de las líneas de un campo magnético uniforme los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ tienen igual dirección, por lo que su producto vectorial es nulo, valiendo también cero la fuerza magnética y, portanto, la aceleración de la partícula, por lo cual su velocidad permanece constante.

Sin embargo, si es posible que una partícula cargada pueda moverse en una región en la que existe un campo magnético y un campo eléctrico sin experimentar ninguna fuerza resultante; para ello deberá cumplirse:

$$\vec{F}_{\text{mag}} = -\vec{F}_{\text{elec}}$$

He aquí un ejemplo:

- Partícula con carga positiva: $+q$
- Velocidad de la partícula: $\vec{v} = \frac{E}{B} \vec{j}$
- Intensidad del campo eléctrico: $\vec{E} = E \vec{k}$
- Intensidad del campo magnético: $\vec{B} = B \vec{i}$
- Fuerzas: $\vec{F}_{\text{elec}} = q\vec{E} = qE\vec{k}$
 $\vec{F}_{\text{mag}} = q(\vec{v} \times \vec{B}) = q\left(\frac{E}{B} \vec{j} \times B \vec{i}\right) = -qE\vec{k}$
 $\vec{F}_{\text{total}} = \vec{F}_{\text{elec}} + \vec{F}_{\text{mag}} = 0$



Un electrón se mueve con velocidad $\vec{v}$ en una región del espacio donde coexisten un campo eléctrico y un campo magnético, ambos estacionarios. Razone si cada uno de estos campos realiza o no trabajo sobre la carga.

La fuerza que el campo eléctrico, de intensidad $\vec{E}$, ejerce sobre el electrón vale:
 $\vec{F}_{el} = e\vec{E}$ y **sí realiza trabajo** al desplazarlo; precisamente, al ser conservativo el campo eléctrico ese trabajo es igual a la disminución de la energía potencial eléctrica del electrón:

$$W_{el} i \rightarrow f = e(V_i - V_f)$$

La fuerza que el campo magnético, de intensidad $\vec{B}$, ejerce sobre el electrón vale:

$\vec{F}_{mag} = e(\vec{v} \times \vec{B})$, por lo cual dicha fuerza es perpendicular a la velocidad -y por tanto a la trayectoria-, de donde deducimos que **no realiza trabajo** al desplazar el electrón.

En resumen:

El campo eléctrico sí realiza trabajo, pero el campo magnético, no ; RESULTADO

Una partícula cargada se mueve en línea recta en una determinada región.

- Si la carga de la partícula es positiva, ¿puede asegurarse que en esa región el campo magnético es nulo?
- ¿Cambiaría la respuesta si la carga fuese negativa en vez de ser positiva?

No puede asegurarse que el campo magnético tenga intensidad nula en esa región, independientemente que la carga sea positiva o negativa.

RESULTADO

En efecto: si la carga se mueve en línea recta a través de un campo magnético la fuerza que dicho campo ejerce sobre la carga **sí es nula**.

Dado que tal fuerza vale:

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

podría suceder que la partícula se moviese en la misma dirección de $\vec{B}$, tanto en el mismo sentido: $\vec{v}$ paralelo a $\vec{B}$ como en sentido contrario: $\vec{v}$ antiparalelo a $\vec{B}$; en cualquiera de estos dos casos: $\vec{v} \times \vec{B} = 0$ y $\vec{F}_{mag} = 0$, aunque ni la velocidad de la partícula - $\vec{v}$ - ni la intensidad del campo magnético - $\vec{B}$ - sean nulas.

Un protón que se mueve con velocidad $\vec{v}$ entra en una región en la que existe un campo magnético $\vec{B}$ uniforme. Explique cómo es la trayectoria que seguirá el protón:

a) si la velocidad del protón $\vec{v}$ es paralela a $\vec{B}$;

a) $\vec{v}$ y $\vec{B}$ paralelos.-

La fuerza que ejerce un campo magnético que actúa sobre una carga eléctrica que se mueve en su seno está dada por:

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

Por tanto, si $\vec{v}$ y $\vec{B}$ son paralelos: $\hat{v}, \hat{B} = 0$
el módulo de la fuerza valdrá:

$$F = qvB \sin \hat{v}, \hat{B} = qvB \sin 0 = 0 ;$$

es decir: el protón estará exento de fuerza magnética y, de acuerdo a la ley de inercia:

se seguirá moviendo en su trayectoria inicial, en línea recta y con velocidad constante.

RESULTADO

b) $\vec{v}$ y $\vec{B}$ perpendiculares.-

Ahora el módulo de la fuerza magnética sobre el protón vale:

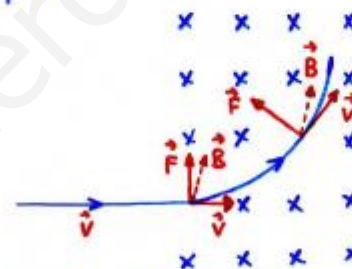
$$F = qvB \sin \hat{v}, \hat{B} = qvB \sin \frac{\pi}{2} = qvB \cdot 1 = qvB \text{ (N)}.$$

Por otra parte, al ser la fuerza proporcional al producto vectorial entre $\vec{v}$ y $\vec{B}$ es perpendicular a ambos. Se trata de una fuerza centrípeta que provoca que

el protón describa un movimiento circular uniforme dentro del campo magnético

RESULTADO

Ejemplo.-



El radio de la circunferencia descrita en el campo magnético lo obtenemos igualando los módulos de las fuerzas magnética y centrípeta:

$$qvB = m \frac{v^2}{R}; \text{ despejando: } R = \frac{mv}{qB}.$$

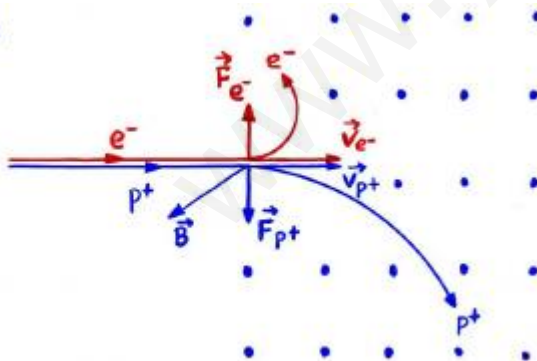
Un protón penetra en una región donde existe un campo magnético uniforme.

- Explique qué tipo de trayectoria describirá el protón si su velocidad es:
 - paralela al campo;
 - perpendicular al campo.
- ¿Qué sucede si el protón se abandona en reposo en el campo magnético?
- ¿En qué cambiarían las anteriores respuestas si en lugar de un protón fuera un electrón?

Una carga eléctrica q que penetra con velocidad $\vec{v}$ en un campo magnético uniforme de intensidad $\vec{B}$ está sometida a una fuerza que vale: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$; por ello:

- Si un protón penetra en el campo magnético siendo paralelos los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ no estará sometido a fuerza alguna, ya que: $\vec{v} \times \vec{B} = 0$ y $\vec{F} = 0$. De acuerdo a la Primera ley de Newton, el protón atravesará el campo magnético con movimiento rectilíneo uniforme.

Ejemplo:



- Si el protón penetra en el campo magnético siendo perpendiculares los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ entonces actúa sobre él una fuerza de módulo constante: $F = qvB$ y centrípeta -perpendicular a la velocidad-, por lo que el protón describe en el seno del campo magnético un movimiento circular uniforme, valiendo el radio de la trayectoria circular:

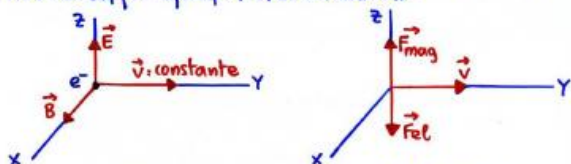
$$F = m \frac{v^2}{R} = qvB ; \quad R = \frac{mv}{qB}$$

- Si el protón se deja en reposo dentro del campo magnético permanece en reposo, de acuerdo también a la Primera ley de Newton, ya que: $\vec{v} = 0$ y la fuerza sobre el protón es nula; al igual que en el apartado a.1).
- Si en lugar de un protón es un electrón (carga eléctrica negativa y masa casi 2.000 veces más pequeña que la del protón) las respuestas anteriores seguirían siendo válidas, con la salvedad que la trayectoria circular descrita en el apartado a.2) lo sería en sentido contrario y con un radio casi 2.000 veces más pequeño que para el caso del protón:

- a) ¿Cuál es la velocidad de un electrón cuando se mueve en presencia de un campo eléctrico de módulo: $3,5 \times 10^5 \text{ N/C}$ y de un campo magnético de 2 T , ambos mutuamente perpendiculares y, a su vez, perpendiculares a la velocidad del electrón, para que éste no se desvíe?.
- b) ¿Cuál es el radio de la órbita descrita por el electrón cuando se suprime el campo eléctrico?.

Datos: Masa del electrón: $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
 Valor absoluto de la carga del electrón: $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

En presencia de los campos eléctrico y magnético podríamos tener, por ejemplo, esta situación:



Según la Primera Ley de Newton de la Dinámica, para que el electrón no se desvíe la fuerza resultante sobre él ha de ser nula, es decir:

$\vec{F}_{el} + \vec{F}_{mag} = 0$; $\vec{F}_{el} = -\vec{F}_{mag}$ y en módulo:

$F_{el} = qE = F_{mag} = qvB$; despejando obtenemos:

$$v = \frac{E}{B} = \frac{3,5 \times 10^5}{2} = 1,75 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \text{ RESULTADO}$$

Al suprimir el campo eléctrico y actuar sobre el electrón únicamente el campo magnético la fuerza magnética es una fuerza centrípeta, por lo que el electrón describe con velocidad constante una trayectoria circular cuyo radio lo obtenemos igualando las expresiones de las fuerzas magnética y centrípeta, recordando los datos y despejando:

$$F_{mag} = qvB = m \frac{v^2}{R} = F_{cpta}$$

El radio de la órbita descrita vale:

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{9,1 \times 10^{-31} \times 1,75 \times 10^5}{1,6 \times 10^{-19} \times 2} = 4,97 \times 10^{-7} \text{ m}$$

RESULTADO

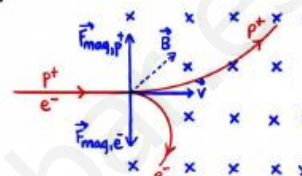
$$q = |e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Un protón y un electrón se mueven perpendicularmente a un campo magnético uniforme, con igual velocidad. ¿Qué tipo de trayectoria realiza cada uno de ellos?; ¿cómo es la trayectoria que realiza el protón en relación con la que realiza el electrón?.

Razona la respuesta.

Datos: Se considera que la masa del protón es igual, aproximadamente, a 1.836 veces la masa del electrón.

Ejemplo:



La fuerza que ejerce un campo magnético de intensidad $\vec{B}$ sobre una carga eléctrica q que se mueve en su interior con velocidad $\vec{v}$ vale: $\vec{F}_{mag} = q(\vec{v} \times \vec{B})$.

Si $\vec{v}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares, tenemos:

$$F_{mag} = qvB \text{ sen}(\vec{v}, \vec{B}) = qvB \text{ sen } 90^\circ = qvB; \quad \vec{F}_{mag} \perp \vec{v} \text{ y } \vec{F}_{mag} \perp \vec{B}.$$

Al ser $\vec{F}_{mag}$ perpendicular a $\vec{v}$ y de módulo constante es una fuerza centrípeta, por lo que la partícula describe una trayectoria circular cuyo radio calculamos igualando las expresiones de los módulos de $\vec{F}_{mag}$ y $\vec{F}_{cpta}$:

$$qvB = m \frac{v^2}{R}; \quad R = \frac{mv}{qB}$$

Dado que: $m_p = 1.836 m_e$
 $v_p = v_e$
 $q_p = q_e$ (en valor absoluto)
 B común,

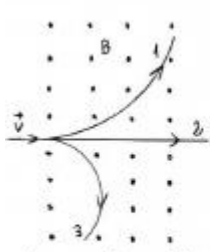
de la anterior expresión del radio deducimos, inmediatamente, que: $R_p = 1.836 R_e$.

(Obsérvese que el dibujo de la página anterior no está hecho a escala).

Por otra parte, al ser $q_e = -q_p$, los vectores fuerza: $\vec{F}_{mag,p+}$ y $\vec{F}_{mag,e-}$ son iguales y opuestos.

En resumen:

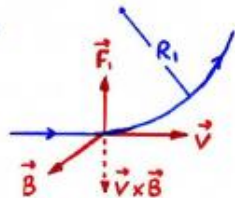
el electrón y el protón describen en el campo magnético trayectorias circulares en sentidos de giro opuestos, con unos radios respectivos: R_e y $R_p = 1.836 R_e$: RESULTADO



La figura representa una región en la que existe un campo magnético uniforme $\vec{B}$, cuyas líneas de campo son perpendiculares al plano del papel y saliendo hacia fuera del mismo. Si entran sucesivamente tres partículas con la misma velocidad $\vec{v}$ y describe cada una de ellas la trayectoria que se muestra en la figura (cada partícula está numerada):

- ¿cuál es el signo de la carga de cada una de las partículas?
- ¿en cuál de ellas es mayor el valor absoluto de la relación carga-masa (q/m)?

Partícula 1.-

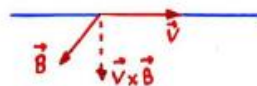


Dentro del campo magnético la partícula 1 describe un movimiento circular uniforme dado que la fuerza magnética es una fuerza centrípeta. Igualando los módulos de ambas, y observando las direcciones y sentidos de los vectores en la figura, deducimos:

q_1 : negativa: $\vec{F}_1 = q_1(\vec{v} \times \vec{B})$ con sentido contrario a $(\vec{v} \times \vec{B})$.

$$F_1 = q_1 v B = m_1 \frac{v^2}{R_1}; \text{ de donde: } \frac{q_1}{m_1} = \frac{v}{B R_1}$$

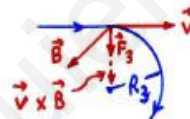
Partícula 2.-



De acuerdo a la primera ley de Newton, al describir un movimiento rectilíneo uniforme la fuerza magnética es nula, por lo que:

$$\vec{F}_2 = q_2(\vec{v} \times \vec{B}) = 0, \text{ y entonces, dado que: } \vec{v} \times \vec{B} \neq 0 \text{ deducimos que: } q_2 = \frac{q_2}{m_2} = 0.$$

Partícula 3.-



Ahora $\vec{F}_3 = q_3(\vec{v} \times \vec{B})$ y $(\vec{v} \times \vec{B})$ tienen el mismo sentido, de donde deducimos que: q_3 es positiva. Por otra parte, y de manera similar a la partícula 1:

$$\frac{q_3}{m_3} = \frac{v}{B R_3}, \text{ y como de la figura: } R_1 > R_3: \left| \frac{q_1}{m_1} \right| < \frac{q_3}{m_3}$$

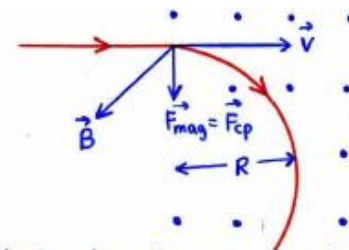
En resumen:

Partícula	Signo de la carga	$\left \frac{q}{m} \right $
1	negativo	intermedio
2	ninguno	0
3	positivo	mayor
RESULTADOS		

Una partícula de carga $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ se mueve en un campo magnético uniforme de valor $B = 0,2 \text{ T}$, describiendo una circunferencia en un plano perpendicular a la dirección del campo magnético con período de $3,2 \times 10^{-7} \text{ s}$, y velocidad de $3,8 \times 10^6 \text{ m/s}$. Calcule:

- el radio de la circunferencia descrita;
- la masa de la partícula.

Ejemplo:



Si la partícula describe un movimiento circular uniforme en un plano perpendicular al campo magnético, su velocidad lineal vale: $v = \frac{2\pi R}{T}$; de donde:

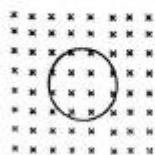
$$R = \frac{vT}{2\pi} = \frac{3,8 \times 10^6 \times 3,2 \times 10^{-7}}{2\pi} = 0,2 \text{ m : RESULTADO}$$

Dado que la fuerza magnética es también centrípeta, igualando las expresiones de ambas: $F = qvB = m \frac{v^2}{R}$; despejando la masa:

$$m = \frac{qBR}{v} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 0,2 \times 0,2}{3,8 \times 10^6} = 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg : RESULTADO}$$

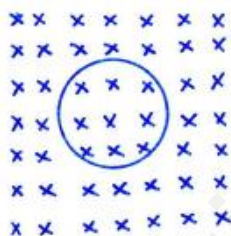
- La partícula es un **proton** -

- a) Enuncie las leyes de Faraday y de Lenz de la inducción electromagnética.



- b) La espira circular de la figura adjunta está situada en el seno de un campo magnético uniforme. Explique si existe fuerza electromotriz inducida en los siguientes casos:
- la espira se desplaza hacia la derecha;
 - el valor del campo magnético aumenta linealmente con el tiempo.

La ley de Faraday-Henry de la inducción electromagnética establece que en un circuito situado en el seno de un campo magnético se establece una fuerza electromotriz -y, en consecuencia, una corriente eléctrica- si varía el flujo del campo magnético a través del circuito. Dicha fuerza electromotriz inducida es directamente proporcional a la variación del flujo magnético, y se opone a la causa que la genera -esta última característica constituye la ley de Lenz-



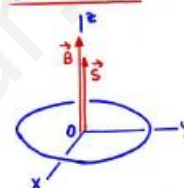
Si la espira de la figura se desplaza en cualquier sentido, pero siempre en el seno del campo magnético, no se induce en ella fuerza electromotriz alguna, ya que los valores del campo, de la superficie de la la espira, la orientación entre ambos y, en definitiva, el flujo magnético son constantes.

Sin embargo, si aumenta el valor del campo magnético es evidente que también aumenta el valor del flujo del mismo a través de la espira, y entonces dicha variación de flujo magnético sí induce en la espira una fuerza electromotriz, y en ella aparece una corriente eléctrica inducida.

Un campo magnético uniforme y constante de $0,01 \text{ T}$ está dirigido a lo largo del eje Z . Una espira circular se encuentra situada en el plano XY , centrada en el origen, y tiene un radio que varía con el tiempo según la función: $r = 0,1 - 10t$ (en unidades S. I.). Determine:

- la expresión del flujo magnético a través de la espira.
- ¿En qué instante de tiempo la fuerza electromotriz inducida en la espira es $0,01 \text{ V}$?

SOLUCIÓN:



Del enunciado y la figura tenemos:

$$\vec{B} = B\vec{k} = 0,01\vec{k} \text{ (T)}$$

$$\vec{S} = \pi r^2 \vec{k} = \pi(0,1 - 10t)^2 \vec{k} \text{ (m}^2\text{)} = \vec{S}(t)$$

De la definición de flujo magnético a través de una superficie sacamos:

$$\phi = \phi(t) \equiv \vec{B} \cdot \vec{S} = 0,01\pi(0,1 - 10t)^2 = \pi(t^2 - 0,02t + 10^{-4}) \text{ Wb}$$

RESULTADO

Al tratarse de un flujo magnético variable en la espira aparece una fuerza electromotriz inducida que, según la ley de Faraday-Henry-Lenz, vale:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d[\pi(t^2 - 0,02t + 10^{-4})]}{dt} = \pi(0,02 - 2t) \text{ V}$$

Esta f.e.m. inducida valdrá $0,01 \text{ V}$ cuando:

$$0,01 = \pi(0,02 - 2t); \text{ es decir:}$$

$$\text{en } t = \frac{0,02\pi - 0,01}{2\pi} = 8,41 \times 10^{-3} \text{ s}, \quad V = 0,01 \text{ V: RESULTADO}$$

Un solenoide de resistencia $3,4 \times 10^{-3} \Omega$ está formado por 100 espiras de hilo de cobre y se encuentra situado en un campo magnético de expresión: $B = 0,01 \cos(100\pi t)$ en unidades S. I. El eje del solenoide es paralelo a la dirección del campo magnético y la sección transversal del solenoide es de 25 cm^2 . Determine:

- la expresión de la fuerza electromotriz inducida y su valor máximo;
- la expresión de la intensidad de la corriente que recorre el solenoide y su valor máximo.



El flujo magnético a través del solenoide vale:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{N} = BNS = 0,01 \cos(100\pi t) \cdot 100 \cdot 2,5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\phi = \phi(t) = 2,5 \times 10^{-3} \cos(100\pi t) \text{ Wb.}$$

Al tratarse de un flujo magnético variable con el tiempo se induce en el solenoide una fuerza electromotriz que, según la ley de Faraday-Henry-Lenz vale:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d[2,5 \times 10^{-3} \cos(100\pi t)]}{dt}$$

$$V = 0,25\pi \sin(100\pi t) \text{ V : RESULTADO}$$

El valor máximo de esa fuerza electromotriz inducida se da cuando:

$$\sin(100\pi t^*) = 1, \text{ y entonces:}$$

$$V_{\text{máx}} = 0,25\pi = 0,79 \text{ V : RESULTADO}$$

La ley de Ohm nos da la intensidad de la corriente que circula por el solenoide:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,25\pi \sin(100\pi t)}{3,4 \times 10^{-3}} = 231 \sin(100\pi t) \text{ A}$$

RESULTADO

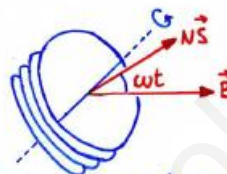
De nuevo, cuando: $\sin(100\pi t^*) = 1$ esta intensidad toma su valor máximo, que es:

$$I_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{máx}}}{R} = 231 \text{ A : RESULTADO}$$

Una bobina de sección circular gira alrededor de uno de sus diámetros en un campo magnético uniforme de dirección perpendicular al eje de giro. Sabiendo que el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida es de 50 V cuando la frecuencia es de 60 Hz, determine el valor máximo de la fuerza electromotriz inducida:

- si la frecuencia es 180 Hz en presencia del mismo campo magnético;
- si la frecuencia es 120 Hz y el valor del campo magnético se duplica.

SOLUCIÓN:



El flujo magnético a través de la bobina vale:

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{N} = BNS \cos(\omega t) \text{ (Wb).}$$

Al tratarse de un flujo variable se induce en la bobina una fuerza electromotriz dada por la ley de Faraday-Henry-Lenz:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d[BNS \cos(\omega t)]}{dt} = \omega BNS \sin(\omega t).$$

Recordando la relación entre frecuencia: ν y frecuencia angular: ω

$$\omega = 2\pi\nu, \text{ tenemos:}$$

$$V = 2\pi\nu BNS \sin(\omega t) = V_{\text{máx}} \sin(\omega t)$$

$$V_{\text{máx}} = 2\pi\nu BNS \quad -\sin(\omega t) = 1-$$

Tenemos estos tres casos:

$$a) \quad B = B_a; \nu_a = 60 \text{ Hz}; V_{\text{máx } a} = 2\pi \times 60 \times B_a NS = 50 \text{ V.}$$

$$b) \quad B = B_b = B_a; \nu_b = 180 \text{ Hz} = 3\nu_a$$

$$V_{\text{máx } b} = 2\pi \times 180 \times B_a NS = 3 V_{\text{máx } a} = 150 \text{ V}$$

RESULTADO

$$c) \quad B = B_c = 2B_a; \nu_c = 120 \text{ Hz} = 2\nu_a$$

$$V_{\text{máx } c} = 2\pi \times 120 \times 2B_a NS = 4 V_{\text{máx } a} = 200 \text{ V}$$

RESULTADO

- a) ¿Qué es un transformador?. ¿Por qué son útiles para el transporte de la energía eléctrica?
- b) Si el primario de un transformador tiene 1.200 espiras y el secundario 100, ¿qué tensión habrá que aplicar al primario para tener en la salida del secundario 6 V?

SOLUCIÓN:



Un transformador consta de un núcleo de hierro laminado con un hueco central, a cuyos lados se enrollan sendas bobinas: primario y secundario, con distinto número de espiras: N_p y N_s .

Por inducción electromagnética, al someter el primario a una tensión alterna: V_p , se induce en el secundario otra tensión, también alterna: V_s , de la misma frecuencia.

Aplicando la ley de Faraday-Heury-Lenz:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{-N_s \frac{d\phi}{dt}}{-N_p \frac{d\phi}{dt}} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad (\text{razón de transformación})$$

Por consiguiente, si:

$N_p = 1.200$ espiras; $V_s = 6V$; $N_s = 100$ espiras, queda:

$$V_p = V_s \frac{N_p}{N_s} = 6 \frac{1.200}{100} = 72V : \text{RESULTADO}$$

Aunque el enunciado no lo dice explícitamente, debe entenderse que estas tensiones, tanto en el primario como en el secundario, son eficaces.

La energía eléctrica interesa transportarla en líneas de alta tensión, para reducir las pérdidas. En efecto, por la ley de Joule, dichas pérdidas valen:

$$E = I^2 R t = \frac{P^2}{V^2} R t = \frac{P^2}{V^2} \rho \frac{l}{S} t,$$

donde P es la potencia ($P=IV$), V es la tensión y $R = \rho \frac{l}{S}$ es la resistencia del conductor metálico de la línea (ρ : resistividad del conductor -normalmente cobre- l : longitud de la línea y S : sección -grosor- de los cables).

Para minimizar las pérdidas la energía eléctrica se transporta a muy alta tensión (V) - Pérdida inversamente proporcional a V^2 -, y es por ello por lo que son necesarios los transformadores: uno al comienzo de la línea para elevar mucho la tensión y otro al final, para reducirla.

No olvidemos que la energía eléctrica transportada se hace en corriente alterna.

Para transformar el voltaje de 220 V de la red eléctrica a un voltaje de 12 V que necesita una lámpara halógena se utiliza un transformador:

- a) ¿Qué tipo de transformador debemos utilizar?. Si la bobina del primario tiene 2.200 espiras, ¿cuántas espiras debe tener la bobina del secundario?
- b) Si la lámpara funciona con una intensidad de corriente de 5 A, ¿cuál es el valor de la intensidad de la corriente que debe circular por la bobina del primario?

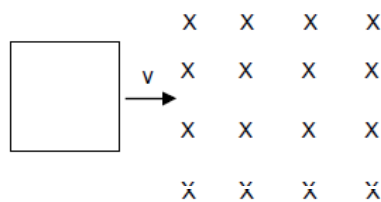
SOLUCIÓN:

Aplicando la ley de Faraday-Heury-Lenz de la inducción electromagnética en las bobinas primario y secundario del transformador, y suponiendo que no hay pérdidas de potencia, se llega a esta relación de transformación:

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} ; \text{ entonces:}$$

PRIMARIO	espiras: $n_p = 2.200$ espiras tensión: $V_p = 220V$ intensidad: $I_p = \frac{I_s V_s}{V_p} = \frac{5 \times 12}{220} = 0,27A$
SECUNDARIO	espiras: $n_s = \frac{n_p V_s}{V_p} = \frac{2.200 \times 12}{220} = 120$ espiras tensión: $V_s = 12V$ intensidad: $I_s = 5A$
RESULTADOS	

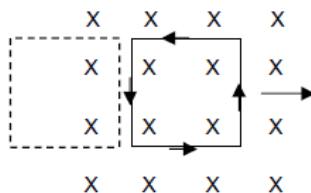
Una espira cuadrada se desplaza hacia una zona donde hay un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la espira (ver figura). ¿Cuál será el sentido de la corriente inducida en la espira:



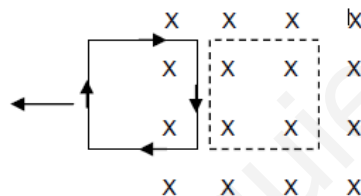
- Si entra en la zona donde está el campo magnético.
- Si sale de la zona donde está el campo magnético

Solución:

- A medida que la espira penetra en el campo magnético se produce un **aumento del número de líneas que la atraviesan. Esto es, el flujo aumenta.** Según la Ley de Lenz se inducirá en la espira una corriente eléctrica que creará un campo magnético que se oponga al campo inductor (disminuyendo de esta manera el flujo). La corriente inducida recorrerá la espira en **sentido contrario al de las agujas del reloj** (produciendo de esta forma un campo magnético que sale del plano del papel)



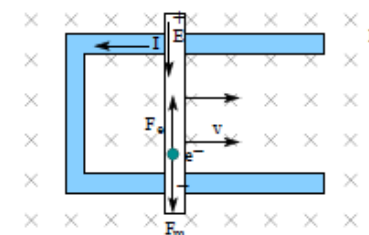
- Si la espira sale del campo magnético se produce una **disminución del flujo.** Ahora se inducirá una corriente que refuerce el campo inductor. La corriente recorrerá la espira en **el sentido de las agujas del reloj** (creando un campo magnético que entra en el plano del papel).



Una varilla conductora, de 20 cm de longitud y 10Ω de resistencia eléctrica, se desplaza paralelamente a sí misma y sin rozamiento, con una velocidad de 5 cm/s, sobre un conductor en forma de U, de resistencia despreciable, situado en el interior de un campo magnético de 0,1 T. Calcula la fuerza magnética que actúa sobre los electrones de la barra y el campo eléctrico en su interior. Halla la fuerza electromotriz que aparece entre los extremos de la varilla y la intensidad de la corriente eléctrica que recorre el circuito y su sentido. ¿Qué fuerza externa hay que aplicar para mantener el movimiento de la varilla? Calcula la potencia necesaria para mantener el movimiento de la varilla.

Solución 1

Considérese el circuito de la figura adjunta en el que el campo magnético tiene la dirección perpendicular al papel y sentido hacia adentro y que el conductor se mueve hacia la derecha.



- Sobre cada electrón actúa la fuerza de Lorentz, de dirección la de la varilla y sentido hacia abajo.

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow F = |q| v B = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,05 \cdot 0,1 = 8 \cdot 10^{-22} \text{ N}$$

Como consecuencia de la separación de cargas se origina un campo eléctrico en el interior del conductor. Siempre que la velocidad del conductor sea constante

los módulos de la fuerza magnética y de la fuerza eléctrica que actúan sobre los electrones son iguales.

$$F_m = F_e; \quad |q| v B = |q| E \Rightarrow E = v B = 0,05 \cdot 0,1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ N/C}$$

El sentido del campo eléctrico dentro del conductor es desde las cargas positivas a las negativas.

2. La f.e.m. inducida se determina aplicando la relación entre el campo y el potencial eléctricos. Su valor absoluto es:

$$\varepsilon = E L = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 = 10^{-3} \text{ V}$$

Siempre que el conductor se mueva con velocidad constante, la f.e.m. es estable y se origina una corriente eléctrica, cuyo sentido convencional es el contrario al del movimiento de los electrones. Aplicando la ley de Ohm:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{10^{-3}}{10} = 10^{-4} \text{ A}$$

3. Sobre la varilla, recorrida por la intensidad de la corriente eléctrica I , actúa una fuerza magnética de sentido opuesto al vector velocidad. Para mantener su movimiento hay que aplicar una fuerza externa de sentido contrario al de la fuerza magnética, es decir, del mismo sentido que el del vector velocidad. Esta fuerza es la que realiza el trabajo necesario para mantener la corriente eléctrica por el circuito. Su módulo es:

$$F_{ext} = I L B = 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

4. La potencia intercambiada por un agente externo para mantener el movimiento de varilla es:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 = 10^{-7} \text{ W}$$

Esta potencia se intercambia en forma de calor en la resistencia eléctrica del circuito.

$$P = I^2 \cdot R = (10^{-4})^2 \cdot 10 = 10^{-7} \text{ W}$$

Una bobina circular, que está formada por 100 espiras de 2 cm de radio y 10Ω de resistencia eléctrica, se encuentra colocada perpendicularmente a un campo magnético de 0,8 T. Si el campo magnético se anula al cabo de 0,1 s, determina la fuerza electromotriz inducida, la intensidad que recorre el circuito y la cantidad de carga transportada.

¿Cómo se modifican las magnitudes anteriores si el campo magnético tarda el doble de tiempo en anularse?

Solución 3

1. El flujo del campo magnético que atraviesa inicialmente a la bobina es:

$$\phi_{B,0} = N \vec{B} \vec{S} = N B S \cos \theta = 100 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot (0,02)^2 \cdot \cos 0^\circ = 0,032 \pi \text{ Wb}$$

Aplicando la ley de Lenz-Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = -\frac{0 - 0,032 \pi}{0,1} = 0,32 \pi \text{ V}$$

Aplicando la ley de Ohm:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,32 \pi}{10} = 0,032 \pi \text{ A}$$

Aplicando la definición de intensidad:

$$q = I \Delta t = 0,032 \pi \cdot 0,1 = 3,2 \cdot 10^{-3} \pi \text{ C}$$

2. Si el campo magnético tarda el doble de tiempo en anularse: $\Delta t = 0,2 \text{ s}$, se tiene que la rapidez con la que varía el flujo magnético es menor por lo que disminuye el valor absoluto de la fuerza electromotriz inducida y el de la intensidad de la corriente eléctrica.

Sin embargo, la cantidad de carga eléctrica transportada permanece constante, ya que no depende de la rapidez con la que varía el flujo magnético. La cantidad de carga transportada depende de la propia variación del flujo magnético, que no se modifica. En efecto:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = -\frac{0 - 0,032 \pi}{0,2} = 0,16 \pi \text{ V}$$

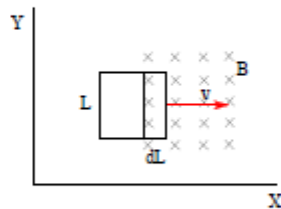
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,16 \pi}{10} = 0,016 \pi \text{ A}$$

$$q = I \Delta t = 0,016 \pi \cdot 0,2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \pi \text{ C}$$

Una espira cuadrada de 5 cm de lado, situada en el plano XY , se desplaza con velocidad $\vec{v} = 2\vec{i}$ cm/s, penetrando en el instante $t = 0$ en una región del espacio donde hay un campo magnético uniforme $\vec{B} = -0,2\vec{k}$ T. Calcula la fuerza electromotriz y la intensidad de la corriente inducidas en la espira si su resistencia es de 10 Ω . Haz un esquema indicando el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica inducida.

Solución 4

Según avanza la espira hacia el interior del campo magnético, la superficie que delimita es atravesada por un flujo del campo magnético cada vez mayor, por lo que se genera una fuerza electromotriz inducida y una corriente eléctrica inducida que se opone a la variación del flujo.



Al cabo de un tiempo: $t = \frac{L}{v} = \frac{5}{2} = 2,5$ s, la espira se sitúa completamente dentro del campo magnético.

A partir de ese instante el flujo del campo magnético a través de la espira permanece constante y con ello desaparece la fuerza electromotriz y la intensidad de la corriente eléctrica inducida.

Transcurrido un tiempo dt , desde el instante inicial, el elemento de superficie que se ha situado en el interior del campo magnético es:

$$dS = L dL = L v dt$$

Los vectores $\vec{B}$ y $d\vec{S}$ son paralelos, por lo que:

$$d\phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B L v dt$$

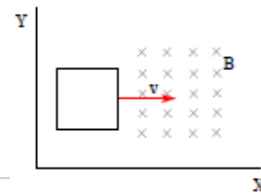
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} = -B L v = -0,2 \cdot 0,05 \cdot 0,02 = -2 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

Aplicando la ley de Ohm:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

El sentido de la intensidad inducida es el contrario al de las agujas del reloj, con el fin de generar en el interior de la espira un campo magnético inducido de sentido contrario al del campo magnético inductor.

A partir del instante $t = 2,5$ s, cesa la variación del flujo del campo magnético y la fuerza electromotriz y la intensidad de la corriente eléctrica se hacen iguales a cero.



Un cuadro, que tiene una resistencia eléctrica de 8 Ω , está formada por 40 espiras de 5 cm radio. El cuadro gira alrededor de un diámetro con una frecuencia de 20 Hz dentro de un campo magnético uniforme de 0,1 T. Si en el instante inicial el plano de la espira es perpendicular al campo magnético, determina las expresiones del flujo magnético, la fuerza electromotriz e intensidad de la corriente eléctrica inducida.

Solución 6

Inicialmente el vector superficie y el vector campo magnético tienen la misma dirección y sentido, por lo que el ángulo que delimitan en el instante inicial es igual a cero: $\theta_{t=0} = 0$ rad y el flujo del campo magnético que atraviesa las espiras es máximo.

1. El flujo del campo magnético que atraviesa al cuadro en cualquier instante es:

$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos(\omega t) = B N \pi r^2 \cos(2\pi \nu t)$$

Sustituyendo:

$$\phi_B = 0,1 \cdot 40 \cdot \pi (5 \cdot 10^{-2})^2 \cos(2\pi \cdot 20 t) = 0,03 \cos(40\pi t) \text{ Wb}$$

2. Aplicando la ley de Lenz-Faraday, se tiene que la f.e.m. inducida es:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} = 0,03 \cdot 40 \cdot \pi \cdot \sin(40\pi t) = 3,95 \sin(40\pi t) \text{ V}$$

3. Aplicando la ley de Ohm se determina la expresión de la intensidad de la corriente eléctrica:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{3,95 \sin(40\pi t)}{8} = 0,49 \sin(40\pi t) \text{ A}$$

