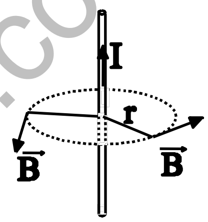
3. Dos conductores rectilíneos, verticales y paralelos, distan entre sí 10 cm. Por el primero de ellos circula una corriente de 20 A hacia arriba.
a) Calcule la corriente que debe circular por el otro conductor para que el campo magnético en un punto situado a la izquierda de ambos conductores y a 5 cm de uno de ellos sea nulo.
b) Razone cuál sería el valor del campo magnético en el punto medio del segmento que separa los dos conductores si por el segundo circulara una corriente del mismo valor y sentido contrario que por el primero.
$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T m A^{-1}

a) Un conductor rectilíneo por el que circula corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas. Dicho campo $\vec{B}$ tiene como características:

Su módulo viene dado por $B = \dfrac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$



Dirección: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)
Perpendicular al vector $\vec{r}$ (distancia desde la corriente al punto considerado)
Sentido: Dado por la regla del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.

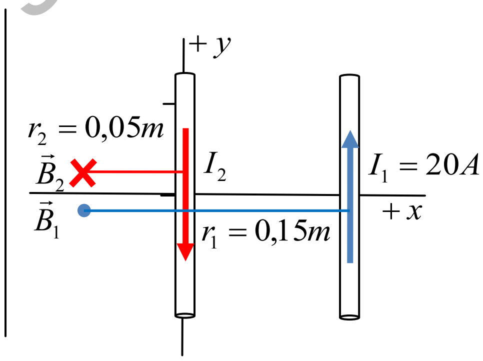
Cuando son varios conductores los que producen campos, aplicaremos el principio de superposición (el campo magnético total es la suma de los campos producidos por cada conductor)

En el caso del problema

$$B_1 = \frac{\mu \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} TmA^{-1} \cdot 20A}{2\pi \cdot 0{,}15m} = 2{,}67 \cdot 10^{-5}\,T \rightarrow \vec{B}_1 = 2{,}67 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,T$$

$$B_2 = \frac{\mu \cdot I_2}{2\pi \cdot r_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} TmA^{-1} \cdot I_2}{2\pi \cdot 0{,}05m} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot I_2 \rightarrow \vec{B}_2 = -4 \cdot 10^{-6} \cdot I_2 \vec{k}\,T$$

Dirección y sentido de los vectores en el dibujo.



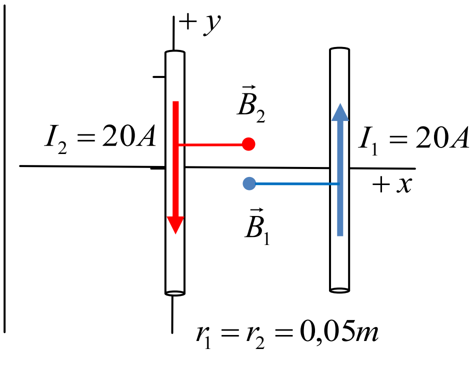
Para que el campo magnético total sea nulo

$$\vec{B}_{TOT} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = 2{,}67 \cdot 10^{-5}\,\vec{k}\,T - 4 \cdot 10^{-6} \cdot I_2 \vec{k}\,T = 0 \rightarrow 2{,}67 \cdot 10^{-5} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot I_2 \rightarrow I_2 = 6{,}675A$$

El sentido de la corriente es el indicado en el dibujo de la derecha, el contrario al del conductor 1.

b) En la situación que nos plantea el apartado b, las direcciones y sentidos de los campos magnéticos son las que indica la figura.

Siendo iguales las corrientes y las distancias, también los campos magnéticos (en módulo) serán iguales.



$$B_1 = B2 = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} TmA^{-1} \cdot 20A}{2\pi \cdot 0{,}05m} = 4 \cdot 10^{-6}\,T$$

$\vec{B}_1 = 4 \cdot 10^{-6}\,\vec{k}\,T \qquad \vec{B}_2 = 4 \cdot 10^{-6}\,\vec{k}\,T$

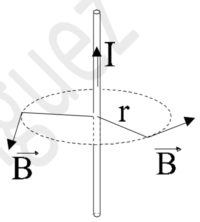
y el campo total

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = 8 \cdot 10^{-6}\,\vec{k}\,T$$

OPCIÓN A:

1. a) Explique las características del campo magnético creado por una corriente rectilínea e indefinida.
b) Por dos conductores rectilíneos, paralelos y de longitud infinita, circulan corrientes de la misma intensidad y sentido. Dibuje un esquema indicando la dirección y sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que une a los dos conductores. Razone cómo cambiaría la situación al duplicar una de las intensidades y cambiar su sentido.

a) Un conductor rectilíneo por el que circula corriente eléctrica de intensidad I crea a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas. Dicho campo $\vec{B}$ tiene como características:



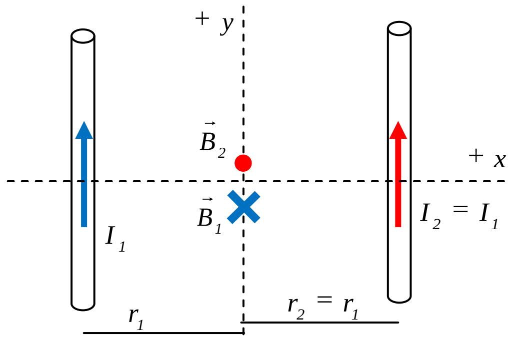
Su módulo viene dado por $B = \dfrac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$ (aplicando la ley de Ampère o la de Biot-Savart)

Dirección: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)

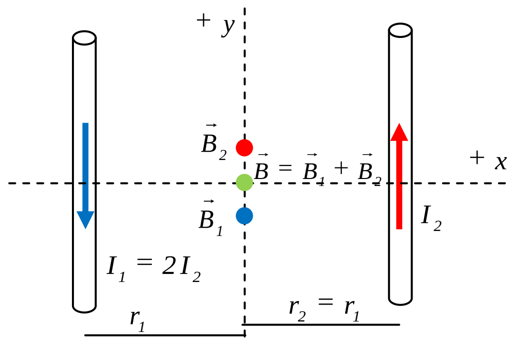
Perpendicular al vector $\vec{r}$ (distancia desde la corriente al punto considerado)

Sentido: Dado por la regla del sacacorchos (o de la mano derecha) al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.

b) Aplicando lo explicado en el apartado anterior, los campos magnéticos producidos por cada cable son los que aparecen en el esquema. El módulo de cada campo es el mismo, ya que tanto las intensidades como las distancias desde el punto a los cables son las mismas. Como ambos campos van en la misma dirección pero en sentido contrario, aplicando el principio de superposición, el campo total en el punto medio es nulo.

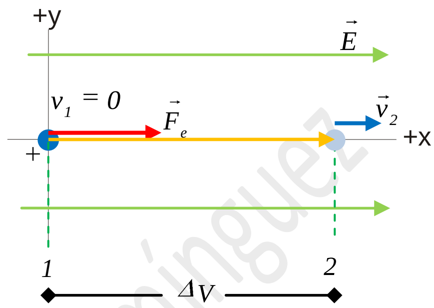


Si cambiamos el sentido de una de las corrientes (de la 1, por ejemplo), el sentido del campo producido será el opuesto que anteriormente. Por tanto, ahora el campo total no será nulo, ya que se suman los módulos. Como ahora el valor de la intensidad de corriente 1 se ha duplicado, el módulo del campo total será el triple que el que produce la corriente 2 (dirección y sentido en el dibujo).



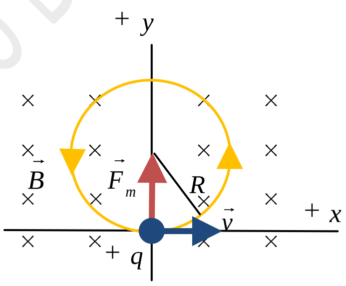
3. Una partícula α se acelera desde el reposo mediante una diferencia de potencial de $5 \cdot 10^3$ V y, a continuación, penetra en un campo magnético de 0,25 T perpendicular a su velocidad.
a) Dibuje en un esquema la trayectoria de la partícula y calcule la velocidad con que penetra en el campo magnético.
b) Calcule el radio de la circunferencia que describe tras penetrar en el campo magnético.
$m_\alpha = 6,7 \cdot 10^{-27}$ kg ; $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$C;

a) La trayectoria que sigue la partícula a consta de dos partes:



1º: La partícula es acelerada desde el reposo por una diferencia de potencial. Aquí, la única fuerza que actúa es la electrostática $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$, que consideramos constante, con lo que la aceleración que sufre $a = \frac{\vec{F}_e}{m} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m}$ es también constante y el movimiento resultante será uniformemente acelerado. La trayectoria será rectilínea, ya que su velocidad inicial era cero.

Para conseguir esta aceleración, es necesario que $V_1 > V_2$. Al ser la carga positiva, la fuerza eléctrica va en el mismo sentido que el campo electrostático.



2º: Dentro del campo magnético deja de actuar la fuerza electrostática y sólo actúa la fuerza magnética, que viene dada por la ley de Lorentz $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$ y que es perpendicular a la velocidad. Por lo tanto, sólo produce aceleración normal. El módulo de la velocidad no cambia, sólo su dirección. El movimiento es, por tanto, circular uniforme, en el sentido que indica el dibujo.

Para calcular la velocidad que adquiere la partícula dentro del campo magnético, aplicamos el principio de conservación de la energía mecánica, a que la única fuerza que actúa, la electrostática, es conservativa. Por tanto, la suma de energías cinética y potencial se mantendrá constante durante la aceleración. Así

La energía mecánica inicial : $E_{M1} = Ec_1 + Ep_{e1} = \frac{1}{2} m v_1^2 + q \cdot V_1$

Y la final: $E_{M2} = Ec_2 + Ep_{e2} = \frac{1}{2} m v_2^2 + q \cdot V_2$

Igualando: $\frac{1}{2} m v_1^2 + q \cdot V_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + q \cdot V_2 \quad \rightarrow \quad q \cdot (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$

Sustituyendo los valores ($v_1 = 0$, $V_1 - V_2 = 5000\ V$, $q = 3,2 \cdot 10^{-19}\ C$, $m_\alpha = 6,7 \cdot 10^{-27}\ kg$)

Despejamos y obtenemos $v_2 = 6,91 \cdot 10^5\ m\ s^{-1}$

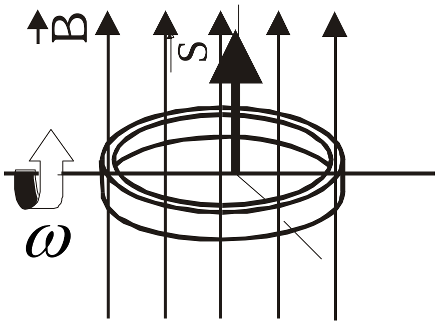
b) Teniendo en cuenta lo explicado arriba acerca del movimiento circular descrito por la partícula en el interior del campo magnético, el radio de la órbita se calcula a partir de la fuerza magnética y aplicando la segunda ley de Newton. La aceleración es sólo normal

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \qquad F = |q| \cdot v \cdot B \cdot sen\,\alpha = |q| \cdot v \cdot B \qquad |q| \cdot v \cdot B = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

Sustituyendo los valores dados en el problema

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} = \frac{6,7 \cdot 10^{-27}\ kg \cdot 6,91 \cdot 10^5\ ms^{-1}}{3,2 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 0,25\ T} = 0,058\ \ m$$

3. Una espira circular de 5 cm de radio, inicialmente horizontal, gira a 60 rpm en torno a uno de sus diámetros en un campo magnético vertical de 0,2 T.
a) Dibuje en una gráfica el flujo magnético a través de la espira en función del tiempo entre los instantes t = 0 s y t = 2 s e indique el valor máximo de dicho flujo.
b) Escriba la expresión de la fuerza electromotriz inducida en la espira en función del tiempo e indique su valor en el instante t = 1 s.



a) Estamos ante una cuestión de inducción electromagnética (generación de corriente eléctrica en un circuito por la acción de un campo magnético).
Se inducirá corriente eléctrica en el circuito si varía respecto al tiempo el flujo magnético ϕ_m que atraviesa la superficie encerrada por el circuito. El flujo magnético nos indica el nº de líneas de campo (considerando una línea por cada m^2) que atraviesan la superficie del circuito. Se calcula con la expresión:
$\phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = ... = B \cdot S \cdot cos\,\alpha$ considerando el campo B uniforme y el circuito plano.

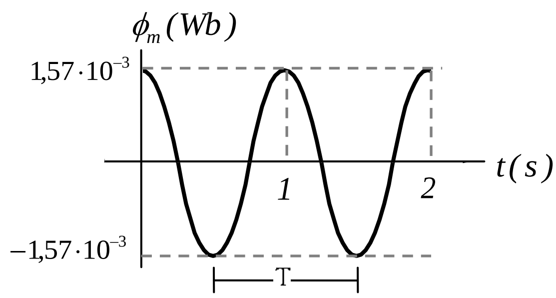
α es el ángulo que forma el vector superficie $\vec{S}$ (perpendicular al plano de la espira) con el campo $\vec{B}$. Inicialmente es cero (dibujo), pero cambia con el tiempo, ya que la espira describe un movimiento circular uniforme, con una velocidad angular

$\omega = 60\,rpm = 60 \cdot \dfrac{2\pi\,rad}{60\,s} = 2\pi\,rad \cdot s^{-1}$ De este modo $\alpha = \alpha_0 + \omega \cdot t = 0 + 2\pi \cdot t = 2\pi \cdot t\ (rad)$

El flujo magnético que atraviesa la espira será
$\phi_m = B \cdot S \cdot \cos\alpha = B \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \cos(2\pi \cdot t) = 1{,}57 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(2\pi \cdot t)\ Wb$
(datos: B = 0,2 T, R = 0,05 m)

El valor máximo del flujo será de 1,57 ·10^{-3} Wb.

Representación gráfica



$T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 1\ s$

b) La fuerza electromotriz inducida (f.e.m.) (ε), energía que se suministra a cada culombio de carga eléctrica, se obtiene aplicando la ley de Faraday-Lenz

"La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación."

La expresión de esta ley queda $\varepsilon = -\dfrac{d\,\Phi_m}{dt}$

Así, $\varepsilon = -\dfrac{d\,\Phi_m}{dt} = -\dfrac{d\left[1{,}57 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(2\pi \cdot t)\right]}{dt} = -9{,}86 \cdot 10^{-3} \cdot sen(2\pi \cdot t)\ V$

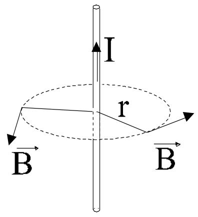
Para t = 1 s, el valor de la fem inducida será de $\varepsilon(t = 1s) = -9{,}86 \cdot 10^{-3} \cdot sen(2\pi)\ V = 0\,V$

SOLUCIÓN AL EXAMEN.

OPCIÓN A:

1. **Sean dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentido..**
   a) Explique qué fuerzas ejercen entre sí ambos conductores.
   b) Represente gráficamente la situación en la que las fuerzas son repulsivas, dibujando el campo magnético y la fuerza sobre cada conductor.

a) Un conductor rectilíneo por el que circula corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas. Dicho campo $\vec{B}$ tiene como características:



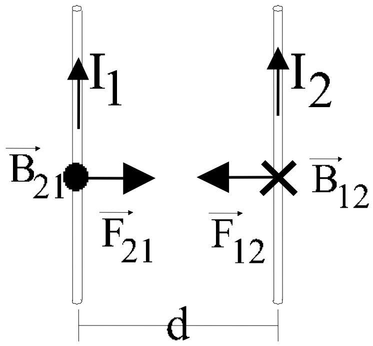
Su módulo viene dado por $B = \dfrac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$

Dirección: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)

Perpendicular al vector $\vec{r}$ (distancia desde la corriente al punto considerado)

Sentido: Dado por la regla del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.

Los dos conductores situados paralelamente y con las corrientes en idéntico sentido ejercen entre sí fuerzas magnéticas de atracción dadas por la ley de Laplace.



La corriente I_1 crea un campo B_{12} en la zona donde está el conductor 2

La corriente I_2 crea un campo B_{21} en la zona donde está el conductor 1.

La fuerza que ejerce el conductor 1 sobre el 2 $\vec{F}_{12} = I_2 \cdot \vec{L}_2 \wedge \vec{B}_{12}$

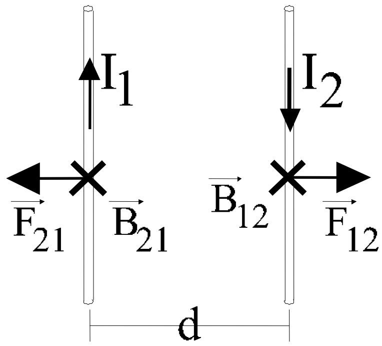
La fuerza que ejerce el conductor 2 sobre el 1 $\vec{F}_{21} = I_1 \cdot \vec{L}_1 \wedge \vec{B}_{21}$

Las direcciones y sentidos vienen dadas por la regla de la mano derecha.

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ $\qquad F_{12} = I_2 \cdot L_2 \cdot B_{12} = I_2 \cdot L \cdot \dfrac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot d} = L \cdot \dfrac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} = F_{21}$

Calculando fuerza por unidad de longitud $f_{12} = \dfrac{F_{12}}{L} = \dfrac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} = f_{21}$

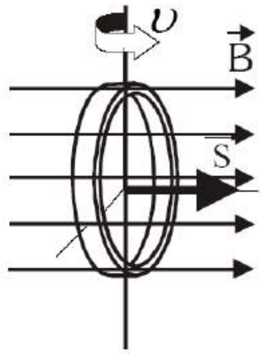
b) Las fuerzas serán repulsivas en el caso de que las corrientes circulen en sentidos contrarios, como indica el dibujo. Se explica análogamente a lo hecho en el apartado anterior. El módulo de las fuerzas es el mismo en ambos casos.



2. **a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz con ayuda de un esquema.**
   b) Un haz de luz pasa del aire al agua. Razone cómo cambian su frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.

a) La luz visible es un tipo particular de onda electromagnética. Como toda onda, puede sufrirReflexión y refracción son dos fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una onda (luz, en este caso) que se propaga por un medio incide sobre la forntera con otro medio distinto.

3. Una espira de 10 cm de radio se coloca en un campo magnético uniforme de 0,4 T y se la hace girar con una frecuencia de 20 Hz. En el instante inicial el plano de la espira es perpendicular al campo.
a) Escriba la expresión del flujo magnético que atraviesa la espira en función del tiempo y determine el valor máximo de la f.e.m. inducida.
b) Explique cómo cambiarían los valores máximos del flujo magnético y de la f.e.m. inducida si se duplicase el radio de la espira. ¿Y si se duplicara la frecuencia de giro?



a) Estamos ante una cuestión de inducción electromagnética (generación de corriente eléctrica en un circuito por la acción de un campo magnético).
Se inducirá corriente eléctrica en el circuito si varía respecto al tiempo el flujo magnético ϕ_m que atraviesa la superficie encerrada por el circuito. El flujo magnético nos indica el nº de líneas de campo (considerando una línea por cada m^2) que atraviesan la superficie del circuito. Se calcula con la expresión:
$\phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = ... = B \cdot S \cdot \cos\alpha$ considerando el campo B uniforme y el circuito plano.
α es el ángulo que forma el vector superficie $\vec{S}$ (perpendicular al plano de la espira) con el campo $\vec{B}$. Inicialmente es cero (dibujo), pero cambia con el tiempo, ya que la espira describe un movimiento circular uniforme.
$\alpha = \alpha_0 + \omega \cdot t = 0 + 2\pi\upsilon \cdot t = 2\pi \cdot t \ (rad)$

El flujo magnético que atraviesa la espira será $\phi_m = B \cdot S \cdot \cos\alpha = B \cdot 4\pi R^2 \cdot \cos(2\pi\upsilon \cdot t)$

La fuerza electromotriz inducida (f.e.m.) (ε), energía que se suministra a cada culombio de carga eléctrica, se obtiene aplicando la ley de Faraday-Lenz
"La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación."

La expresión de esta ley queda $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_m}{dt}$

Así, $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_m}{dt} = -\dfrac{d\left[B \cdot 4\pi R^2 \cdot \cos(2\pi\upsilon \cdot t)\right]}{dt} = -8\pi^2\upsilon \cdot B \cdot R^2 \cdot sen(2\pi\upsilon \cdot t)$

Sustituyendo valores: $R = 0{,}1\ m,\ \ B = 0{,}4\ T\ \ ,\ \ \upsilon = 20\ Hz$

$$\phi_m = B \cdot S \cdot \cos\alpha = B \cdot 4\pi R^2 \cdot \cos(2\pi\upsilon \cdot t) = 0{,}05 \cdot \cos(40\pi \cdot t) \quad Wb$$

$$\varepsilon = -6{,}3 \cdot sen(40\pi \cdot t) \quad V \qquad \rightarrow \qquad \varepsilon_{Máx} = 6{,}3 \quad V$$

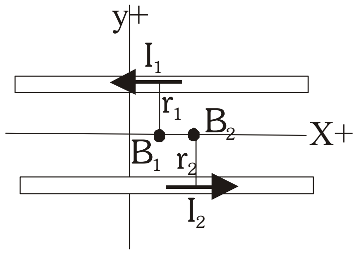
b) Al duplicar el radio de la espira, la superficie de la misma se cuadruplica, con lo que el valor máximo del flujo magnético y de la f.e.m. también se cuadruplicará. $\phi_m = B \cdot 4\pi R^2 \cdot \cos(2\pi\upsilon \cdot t) \ \rightarrow \ \phi_{mMáx} = 4\pi \cdot B \cdot R^2$

$$\varepsilon = -8\pi^2\upsilon \cdot B \cdot R^2 \cdot sen(2\pi\upsilon \cdot t) \ \rightarrow \ \varepsilon_{Máx} = 8\pi^2\upsilon \cdot B \cdot R^2$$

Al duplicar la frecuencia de giro, el valor máximo del flujo magnético no se ve afectado, no depende de υ . Lo único que cambia es el ritmo de variación del flujo magnético. Según la ley de Faraday-Lenz, la f.e.m. debe cambiar. Y el valor máximo cambia (se duplica), ya que depende de υ .

(Nota: habrás observado que en el apartado a) no hemos sustituido los valores hasta el final. Esto ha sido muy útil para poder razonar luego el apartado b) con más facilidad)

2.
Por dos conductores rectilíneos y paralelos al eje OX, separados 20 cm, circulan corrientes en sentidos contrarios de 2 A y 4 A respectivamente.
a) Calcular el campo magnético en el punto medio entre ambos conductores.



Nos encontramos ante dos corrientes rectilíneas que generan campo magnético en una misma zona del espacio. El campo total en cualquier punto del espacio se calculará aplicando el principio de superposición $\vec{B}_{tot} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$

El campo magnético creado por un conductor rectilíneo por el que circula corriente tiene las siguientes características:

Módulo: $B = \dfrac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$

Dirección de $\vec{B}$: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)
Perpendicular al vector $\vec{r}$ (distancia desde la corriente al punto considerado)

Sentido de $\vec{B}$: Dado por la regla del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.

Calculamos los módulos de los campos producidos por cada conductor en el punto medio entre los cables. La dirección y sentido puede verse en el dibujo (punto: hacia fuera, aspa: hacia dentro). Asignamos luego el vector unitario correspondiente a cada campo.

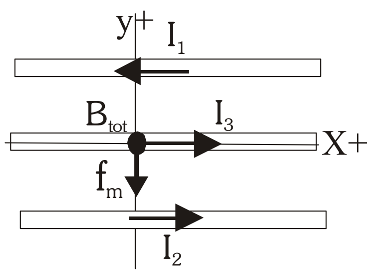
Estamos en el vacío, por lo que $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ TmA^{-1}

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\,TmA^{-1} \cdot 2A}{2\pi \cdot 0{,}1m} = 4 \cdot 10^{-6}\ T \quad \rightarrow \vec{B}_1 = 4 \cdot 10^{-6}\ \vec{k}\ T$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi \cdot r_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\,TmA^{-1} \cdot 4A}{2\pi \cdot 0{,}1m} = 8 \cdot 10^{-6}\ T \quad \rightarrow \vec{B}_1 = 8 \cdot 10^{-6}\ \vec{k}\ T$$

El campo magnético total: $\vec{B}_{tot} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = 4 \cdot 10^{-6}\ \vec{k}\ T + 8 \cdot 10^{-6}\ \vec{k}\ T = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ \vec{k}\ T$

b) Fuerza por unidad de longitud que sufre un tercer conductor por el que circule una corriente de 1 A en el mismo sentido que la de 4 A.
(μ_0= 4π ·10^{-7} T m A^{-1})



al colocar un tercer conductor entre los dos anteriores, sufrirá fuerzas magnéticas, ya que se producen interacciones entre imanes. Los conductores 1 y 3 sufrirán repulsión, ya que sus corrientes van en sentidos opuestos, mientras que 2 y 3 se atraerán, al tener sus corrientes en el mismo sentido.

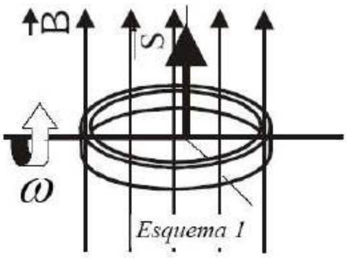
Ya que sabemos el valor del campo magnético en un punto equidistante de ambos conductores, lo más directo para calcular la fuerza que sufre es aplicar la ley de Laplace, suponiendo una longitud de 1 m para el cable 3.

I = 1 A ; $\vec{L}$: longitud de 1 m, en el eje OX, sentido positivo $\vec{L} = 1 \cdot \vec{i}\ m$; $\vec{B}_{tot} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ \vec{k}\ T$

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \wedge \vec{B} = 1 \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1{,}2 \cdot 10^{-5} \end{vmatrix} = -1{,}2 \cdot 10-5\ \vec{j}\ \tfrac{N}{m}$$

3. Una espira conductora de 40 cm^2 se sitúa en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme de 0,3 T.
a) Calcule el flujo magnético a través de la espira y explique cuál sería el valor del flujo si se girara la espira un ángulo de 60° en torno a un eje perpendicular al campo.
b) Si el tiempo invertido en ese giro es de $3 \cdot 10^{-2}$ s, ¿cuánto vale la fuerza electromotriz media inducida en la espira? Explique qué habría ocurrido si la espira se hubiese girado en sentido contrario.

a) Nos encontramos ante una espira (un circuito plano cerrado) dentro de un campo magnético. Las líneas de campo magnético atraviesan la superficie encerrada por el circuito.



El flujo magnético (Φ) mide la intensidad de líneas de campo magnético que atraviesan la superficie encerrada por la espira. Se calcula con la expresión $\Phi_m = \int \vec{B} \cdot \vec{ds}$. En el caso que nos ocupa, campo magnético uniforme y superficie plana, el flujo nos queda $\Phi_m = \int \vec{B} \cdot \vec{ds} = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\alpha$

Donde B es el módulo del campo, S el área encerrada por el circuito y α es el ángulo que forma el vector superficie con el vector campo. En este caso, como nos muestra el esquema 1, si la espira es perpendicular al campo, su vector superficie será paralelo al mismo, con lo que $\alpha = 0°$.

El flujo entonces será $\Phi_{m1} = B \cdot S \cdot \cos\alpha = 3\,T \cdot 0{,}004\,m^2 \cdot \cos 0 = 0{,}012\,Wb$

Si giramos la espira un ángulo de 60° en torno a un eje perpendicular al campo, el vector superficie formará ahora 60° con el vector campo. Las otras dos magnitudes quedan igual. El flujo ahora será

$$\Phi_{m2} = B \cdot S \cdot \cos\alpha = 3\,T \cdot 0{,}004\,m^2 \cdot \cos 60° = 0{,}006\,Wb$$

b) Al girar la espira, se produce una variación del flujo magnético que atraviesa la misma. Estaremos ante un caso de inducción electromagnética, generación de corriente en un circuito por acción de un campo magnético. Aplicando la ley de Faraday-Lenz, se genera corriente inducida en el circuito debido a la variación de flujo magnético que atraviesa el mismo. El sentido de la corriente inducida es tal que genera un campo magnético inducido que se opone a la variación del flujo.

La fuerza electromotriz (ε) generada se calcula con la expresión $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_m}{dt}$

En este caso nos piden la fuerza electromotriz media, que podemos calcularla directamente calculando la variación de flujo y el tiempo transcurrido

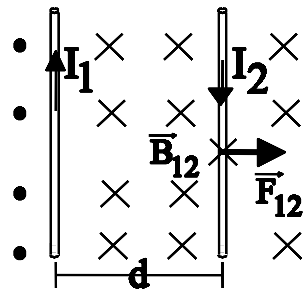
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t} = -\frac{\Phi_{m2} - \Phi_{m1}}{\Delta t} = -\frac{0{,}006\,Wb - 0{,}012\,Wb}{3 \cdot 10^{-2}\,s} = 0{,}2\,V$$

Si el giro hubiera sido en sentido contrario, pudiera parecer que la corriente inducida tendría sentido contrario a la anterior, pero no es así. En ambos casos partimos de una situación en la que el flujo es máximo (espira perpendicular al campo). Tanto si giramos 60° o -60°, se producirá una disminución del flujo, y el nuevo flujo será de 0,006 Wb [tengamos en cuenta que cos(-60°) = cos60° = 0,5]. La fuerza electromotriz media será en ambos casos de 0,2 V y la corriente irá en el mismo sentido.

SELECTIVIDAD. FÍSICA. JUNIO 08 SOLUCIÓN.

OPCIÓN A

1. Comente razonadamente la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:
a) La fuerza magnética entre dos conductores rectilíneos e indefinidos por los que circulan corrientes de diferente sentido es repulsiva.
b) Si una partícula cargada en movimiento penetra en una región en la que existe un campo magnético siempre actúa sobre ella una fuerza.



a) La afirmación es cierta. Podemos calcular la fuerza que un conductor ejerce sobre el otro calculando en primer lugar el campo magnético que crea el primer conductor en la zona en la que está el segundo

$B_{12} = \frac{\mu \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d}$ con dirección perpendicular a al conductor y a la distancia, y sentido dado por la regla de la mano derecha,

y posteriormente aplicar la ley de Laplace para obtener la fuerza que sufre el conductor 2.

$\vec{F}_{12} = I_2 \cdot \vec{L_2} \wedge \vec{B_{12}}$

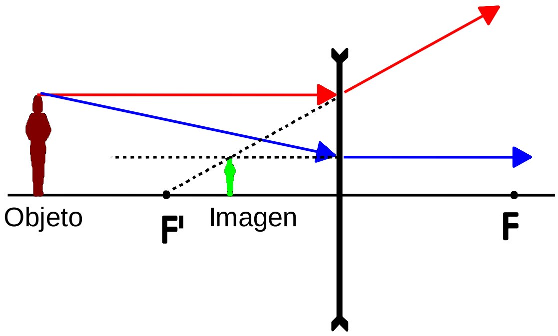
El sentido de esta fuerza hace que el conductor 2 tienda a alejarse del 1, como puede verse en el esquema.

Del mismo modo puede calcularse la fuerza que ejerce el conductor 2 sobre el 1. Cumpliendo la 3º ley de Newton, va en sentido contrario. Estas fuerzas hacen que ambos conductores sufran repulsión.

b) La fuerza magnética que sufre una partícula cargada q en el interior de un campo magnético viene dada por la ley de Lorentz $\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$, donde $\vec{v}$ es la velocidad de la partícula y $\vec{B}$ el campo magnético.
Si la partícula se mueve en dirección paralela al campo magnético, entonces el producto vectorial será nulo, y no actuará fuerza magnética sobre la partícula.
Por lo tanto, la afirmación es falsa. No siempre actuará una fuerza.

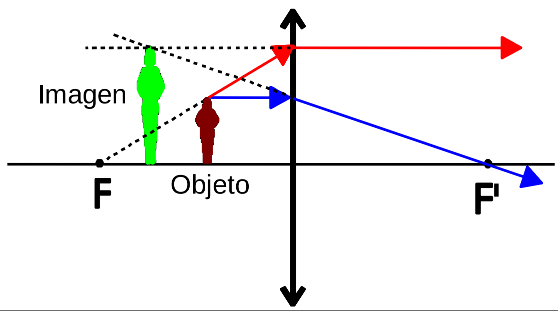
2. a) Explique la formación de imágenes y sus características en una lente divergente.
b) ¿Pueden formarse imágenes virtuales con lentes convergentes? Razone la respuesta.

a) Una lente divergente es un sistema óptico (normalmente de vidrio) que, mediante refracción, rayos que inciden paralelos al eje óptico, a la salida diverjan de un punto denominado foco. La posición de los focos objeto (F) e imagen (F') está indicada en el esquema.



La imagen que produce una lente divergente es siempre virtual (los rayos no convergen en un punto, sino que parecen divergir de él), derecha y más pequeña que el objeto, como puede verse en el esquema de rayos.

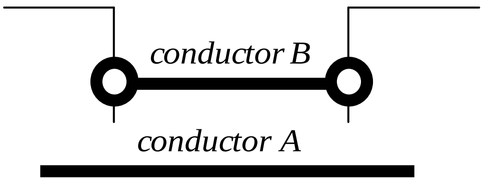
b) Una lente convergente puede producir una imagen virtual si el objeto está situado entre el foco objeto y la lente. Es el caso de una lupa, que produce imágenes virtuales, derechas y de mayor tamaño que el objeto. En el siguiente esquema vemos cómo se forman las imágenes en este caso.



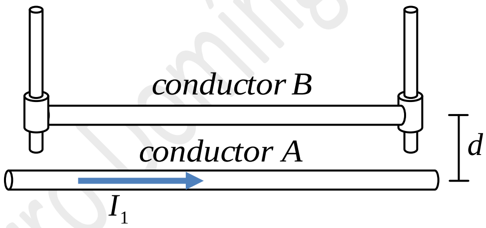
La longitud de onda (distancia más corta entre dos puntos en fase) de la luz depende tanto del medio (a través de la velocidad v) como del foco (frecuencia υ) $\lambda = \frac{v}{\upsilon}$

La frecuencia no varía con el medio, pero sí la velocidad de propagacion, por lo que la longitud de onda de la luz cambia al pasar del aire al agua. En concreto, disminuye.

3. Por el conductor A de la figura circula una corriente de intensidad 200 A. El conductor B, de 1 m de longitud y situado a 10 mm del conductor A, es libre de moverse en la dirección vertical.
a) Dibuje las líneas de campo magnético y calcule su valor para un punto situado en la vertical del conductor A y a 10 cm de él.
b) Si la masa del conductor B es de 10 g, determine el sentido de la corriente y el valor de la intensidad que debe circular por el conductor B para que permanezca suspendido en equilibrio en esa posición.
$g = 9{,}8\ m\ s^{-2}$; $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}\ T\ m\ A^{-1}$;



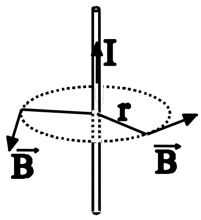
La verdad es que el dibujo que proponen no está muy claro. Creo que podrían esmerarse un poco más. He rehecho el dibujo a la derecha, donde aparece el conductor móvil, que recibe corriente a través de los raíles



a) Un conductor rectilíneo por el que circula corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas. Dicho campo $\vec{B}$ tiene como características:

Su módulo viene dado por $B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$

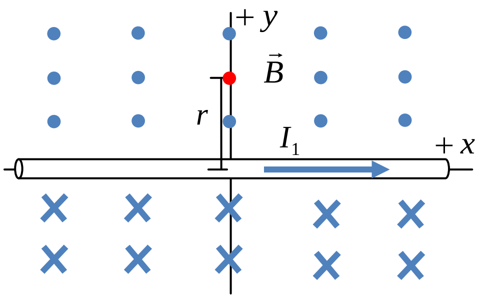
Dirección: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)
Perpendicular al vector $\vec{r}$ (distancia desde la corriente al punto considerado)
Sentido: Dado por la regla del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector $\vec{r}$.



En el caso del problema $B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ TmA^{-1} \cdot 200A}{2\pi \cdot 0{,}1m} = 4 \cdot 10^{-4}\ T$

Dirección y sentido en el dibujo.

Las líneas de campo magnético son circunferencias concéntricas alrededor del conductor. en el papel podemos dinujar aspas y puntos indicando en qué zonas el campo "entra" o "sale" en el plano del papel.



Teniendo en cuenta el sistema de referencia y el sentido escogido para la corriente, el valor del campo para un punto situado en la vertical del conductor y sobre él *(lo escogemos así, pero también debería valer si está por debajo,sigue estando en la vertical, lo importante es que el dibujo coincida con lo que escribimos)*

$\vec{B} = 4 \cdot 10^{-4}\ \vec{k}\ T$

b) En la situación que nos proponen ahora, interviene el conductor móvil, ya que ahora circula corriente por él, con lo que produce campo magnético y actúa como un imán. Entre ambos conductores paralelos se ejercerán fuerzas magnéticas de atracción o repulsión cuyo valor por unidad de longitud (por cada metro) viene dado por

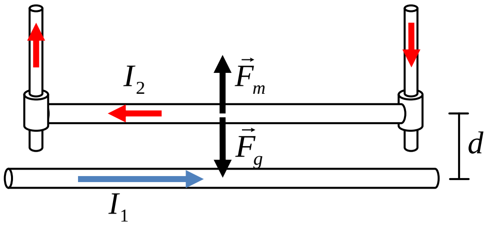
$f_{12} = f_{21} = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d}$ donde $I_1 = 200$ A, $d = 10$ mm $= 0{,}01$ m

Como la longitud del conductor es de 1 m, la fuerza total coincide con la fuerza por unidad de longitud.

Para que el conductor esté en equilibrio, la fuerza neta sobre él debe ser nula (1ª ley de Newton), es decir, la fuerza gravitatoria debe ser compensada con la fuerza magnética repulsiva (ver dibujo)

$$F_g = F_m \quad \rightarrow \quad mg = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{mg \cdot 2\pi \cdot d}{\mu \cdot I_1} = 24{,}5\ A$$

Para que la fuerza magnética sea repulsiva, ambas corrientes deben ir en sentidos opuestos, como indica el dibujo.



4. Sobre una superficie de potasio, cuyo trabajo de extracción es 2,29 eV, incide una radiación de 0,2 ·10^{-6} m de longitud de onda.
a) Razone si se produce efecto fotoeléctrico y, en caso afirmativo, calcule la velocidad de los electrones emitidos y la frecuencia umbral del material.
b) Se coloca una placa metálica frente al cátodo. ¿Cuál debe ser la diferencia de potencial entre ella y el cátodo para que no lleguen electrones a la placa?

a) Nos encontramos ante un problema de efecto fotoeléctrico (emisión de electrones por parte de un metal al incidir sobre él radiación electromagnética). Este fenómeno, que las teorías clásicas no podían explicar suponiendo un carácter ondulatorio para la luz, fue explicado por Einstein en 1905 suponiendo que en la interacción entre radiación y materia la luz adopta carácter de partícula, es decir, la energía de la luz incidente se transmite de forma discreta, concentrada en partículas o "cuantos" de luz, los fotones. La energía de un fotón depende de su frecuencia y viene dada por la expresión $E_f = h \cdot \upsilon$, donde *h* es la constante de Planck (h = 6,6·10^{-34} J s).

Al incidir sobre los electrones externos del metal, el fotón cede su energía íntegramente al electrón. Para poder extraerlo del metal, esta energía debe ser superior a la necesaria para vencer la atracción del núcleo (trabajo de extracción o función trabajo) $W_{extr} = h \cdot \upsilon_0$, donde υ_0 es la frecuencia umbral característica del metal.
La energía sobrante se invierte en aportar energía cinética a los electrones.
El balance energético queda $E_f = W_{extr} + Ec_e$

Para que se produzca el efecto fotoeléctrico, la energía de los fotones incidentes debe ser superior al trabajo de extracción del metal.

La energía de un fotón: $E_f = h \cdot \upsilon = \dfrac{h \cdot c}{\lambda} = \dfrac{6{,}6 \cdot 10^{-34} J \cdot s \cdot 3 \cdot 10^{8} m \cdot s^{-1}}{0{,}2 \cdot 10^{-6} m} = 9{,}9 \cdot 10^{-19}\ J$

Pasamos a julios el trabajo de extracción $W_{extr} = 2{,}29\, eV \cdot \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19} J}{1\, eV} = 3{,}664 \cdot 10^{-19} J$

Vemos que la energía de los fotones es mayor que el trabajo de extracción, por lo que sí se producirá efecto fotoeléctrico. La energía sobrante será la energía cinética máxima de los electrones emitidos.

$$Ec_e = E_f - W_{extr} = 9{,}9 \cdot 10^{-19} J - 3{,}664 \cdot 10^{-19} J = 6{,}236 \cdot 10^{-19} J$$

Calculamos la velocidad de los electrones, sin tener en cuenta efectos relativistas

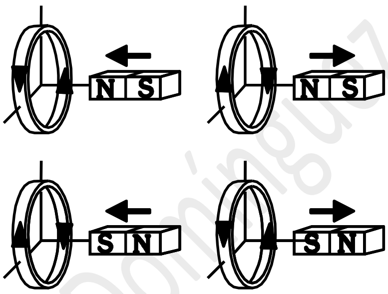
$$Ec_e = \tfrac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2Ec_e}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}236 \cdot 10^{-19} J}{9{,}1 \cdot 10^{-31} kg}} = 1{,}17 \cdot 10^{6}\ m s^{-1}$$

Y la frecuencia umbral del metal $W_{extr} = h \cdot \upsilon_0 \quad \rightarrow \quad \upsilon_0 = \dfrac{W_{extr}}{h} = \dfrac{3{,}664 \cdot 10^{-19}\ J}{6{,}6 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s} = 5{,}55 \cdot 10^{14}\ Hz$

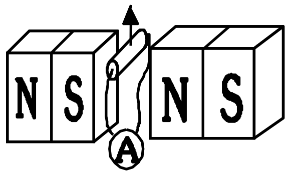
OPCIÓN B:

1. **a) Explique los fenómenos de inducción electromagnética y enuncie la ley de Faraday-Lenz.**
b) Dos espiras circulares "a" y "b" se hallan enfrentadas con sus planos paralelos.
i) Por la espira "a" comienza a circular una corriente en sentido horario. Explique con la ayuda de un esquema el sentido de la corriente inducida en la espira "b".
ii) Cuando la corriente en la espira "a" alcance un valor constante, ¿qué ocurrirá en la espira "b"? Justifique la respuesta.

a) Llamamos inducción electromagnética a la generación de corriente eléctrica en un circuito por efecto de un campo magnético. Este fenómeno fue observado en el s. XIX por Faraday, Henry y otros científicos. Describimos a continuación algunas de las experiencias que hicieron.



Experiencias de Faraday: Faraday observa que, colocando un imán frente a una espira conductora, no se observa corriente en la espira mientras mantenemos ambos en reposo, pero sí se mide paso de corriente cuando los acercamos o alejamos. El sentido de la corriente depende de si acercamos o alejamos, y de qué polo enfrentemos a la espira.
Faraday también observa que, situando dos bobinas, una arrollada alrededor de la otra, al circular corriente variable por una de ellas (por ejemplo, al conectar el interruptor), se induce corriente en el otro circuito. La inducción de corriente en el secundario se interrumpe al estabilizarse el paso de corriente en el primer circuito.



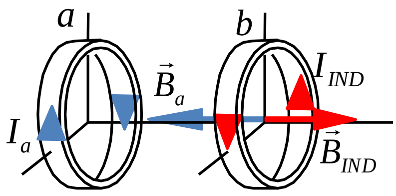
Experiencia de Henry: Henry coloca un trozo de material conductor entre dos imanes. Cierra el circuito conectando el conductor a un amperímetro. Observa que al mover el conductor se origina corriente en él.

Tanto Faraday como Lenz explican las características de este fenómeno:
- El origen de la corriente inducida está en la variación del campo magnético que atraviesa la superficie delimitada por la espira. (Lenz)
- Dicho de otra forma, está originada por la variación de flujo magnético que atraviesa la espira (Faraday)
- El sentido de la corriente es tal que origina un nuevo campo magnético inducido $\vec{B}_{ind}$, que se opone a la variación del campo magnético existente. (Lenz).
- Se opone a la variación del flujo (Faraday)

Teniendo en cuenta todo esto, llegamos a la **ley de Faraday-Lenz** sobre la inducción electromagnética:
"La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación."

La expresión de esta ley queda $$\varepsilon = -\frac{d\,\Phi_m}{dt}$$

b) La situación propuesta es muy semejante a una de las experiencias de Faraday descritas brevemente arriba.
i) *(Lo del "sentido horario" es tremendamente arbitrario, ya que depende del punto de vista del observador. Puede ser sentido horario mirando desde la otra espira, o sentido horario mirando desde detrás de la espira "a", así que, se dibuje como se dibuje, y siempre que se explique, debería ser válido... ¿o no? :( ).*



Cuando comienza a circular corriente por la espira "a", durante breves instantes la intensidad de corriente aumenta desde cero hasta cierto valor I_a. El campo magnético que produce (B_a) también aumenta, en la dirección y sentido que indica el dibujo (aplicando la regla de la mano derecha para las espiras). Por lo tanto, el flujo magnético que atraviesa la espira "b" también aumenta, generándose corriente inducida en esa espira. El sentido de la corriente es tal que genera un campo magnético B_{IND} que se opone a la variación de flujo magnético (es decir, intenta que vuelva a disminuir, se "resta" con el campo magnético generado por "a"). Aplicando la regla de la mano derecha para las espiras, sabemos el sentido de la corriente inducida en "b", como aparece en el dibujo.

ii) Cuando la corriente en "a" alcanza un valor constante, también se vuelven constantes el campo magnético que produce y el flujo magnético que atraviesa la espira "b". Por lo tanto, aplicando la ley de Faraday-Lenz, ya no se producirá corriente inducida en la espira "b".

2. a) Teoría de Einstein del efecto fotoeléctrico.
b) Una superficie metálica emite fotoelectrones cuando se ilumina con luz verde pero no emite con luz amarilla. Razone qué ocurrirá cuando se ilumine con luz azul o con luz roja.

a) El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por parte de un metal al incidir sobre él radiación electromagnética. La teoría ondulatoria clásica de Maxwell sobre la luz no podía explicar las características de este fenómeno, como la existencia de una frecuencia umbral, al suponer una transmisión continua de la energía.
Einstein aplicó las hipótesis cuánticas de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico. Pero llegó aún más allá en su ruptura con las teorías clásicas. Supuso que no sólo los intercambios de energía están cuantizados, sino que *la propia radiación está constituida por "partículas" (posteriormente llamadas **fotones**) que transportan la energía de forma discreta, concentrada en cuantos de energía*. Es decir, supuso un comportamiento corpuscular para la luz, al menos en este fenómeno. La energía de un fotón viene dada por la expresión de Planck $E_f = h \cdot \upsilon$
Suponiendo que la luz se comporta como una partícula, al chocar ésta con un electrón, le transmite instantáneamente toda su energía. Evidentemente, esta energía que cede al electrón dependerá de la frecuencia de la radiación.
Así, la energía de un fotón se emplea, en primer lugar, en arrancar al electrón del metal. Esta energía necesaria, que depende del tipo de metal, se denomina **trabajo de extracción** o **función trabajo** (W_{extr}, o Φ_o). También puede definirse como la energía mínima que debe tener el fotón para extraer un electrón del metal. Así, tendremos que $W_{extr} = h \cdot \upsilon_0$, donde υ_0 es la frecuencia umbral característica del metal.
Si el fotón no posee energía (frecuencia) suficiente, no podrá arrancar al electrón, y el fotón será emitido de nuevo. Esto explica la existencia de la frecuencia umbral.
Si la energía es superior al trabajo de extracción, la energía sobrante se emplea en darle energía cinética (velocidad) a los electrones emitidos. De este modo, llegamos a la expresión:
$$E_f = W_{extr} + Ec_e \quad \rightarrow \quad h \cdot \upsilon = h \cdot \upsilon_0 + \tfrac{1}{2} m \cdot v^2$$
Así, una mayor frecuencia de la radiación significará una mayor energía cinética de los electrones, pero no un mayor nº de electrones emitidos. Y una mayor intensidad de la radiación (mayor nº de fotones) significará un mayor nº de electrones emitidos, pero no una mayor energía cinética.

b) El color (o tipo) de la radiación viene dado por su frecuencia. Una luz verde tiene mayor frecuencia que la amarilla y, por lo tanto, cada fotón de luz verde tiene mayor energía que un fotón de luz amarilla. Si la luz verde produce la emisión de electrones, es porque su frecuencia es mayor que la frecuencia umbral del metal. Del mismo modo, la frecuencia de la luz amarilla es menor que la frecuencia umbral, y por tanto los fotones no tienen energía suficiente para producir la emisión.

Teniendo en cuenta que la frecuencia de la luz azul es mayor que la verde (y por tanto, mayor que la umbral), podemos concluir que la luz azul producirá la emisión de fotoelectrones, mientras que la luz roja no, dado que su frecuencia es aún menor que la de la luz amarilla.