

**Problema 1** (10 puntos)

a) (1,5 puntos) Si todos los átomos tienen cargas eléctricas en movimiento, ¿por qué no todos los materiales presentan un comportamiento magnético apreciable? Explique su respuesta y mencione un ejemplo.

No todos los materiales son magnéticos de forma apreciable porque los momentos magnéticos asociados al movimiento y espín de los electrones suelen cancelarse entre sí. En muchos materiales, los electrones están apareados o los momentos magnéticos están orientados al azar, por lo que el momento magnético neto es nulo. Un ejemplo de material con comportamiento magnético apreciable es el hierro, mientras que materiales como el plástico o la madera no presentan una magnetización.

b) (1,5 puntos) Tu amigo te dice que un electrón en movimiento experimenta una fuerza en un campo eléctrico, pero no en un campo magnético. ¿Estás de acuerdo? ¿Por qué? ¿En qué caso tu amigo tiene razón?.

La afirmación es falsa en general. Un electrón en un campo eléctrico experimenta una fuerza $\vec{F}_E = q\vec{E}$, la cual apunta en sentido opuesto a $\vec{E}$, debido a que el electrón tiene carga negativa. Además, si el electrón se mueve dentro de un campo magnético, también puede experimentar una fuerza magnética dada por $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$, cuya magnitud es $F_B = |q|vB \sin \theta$.

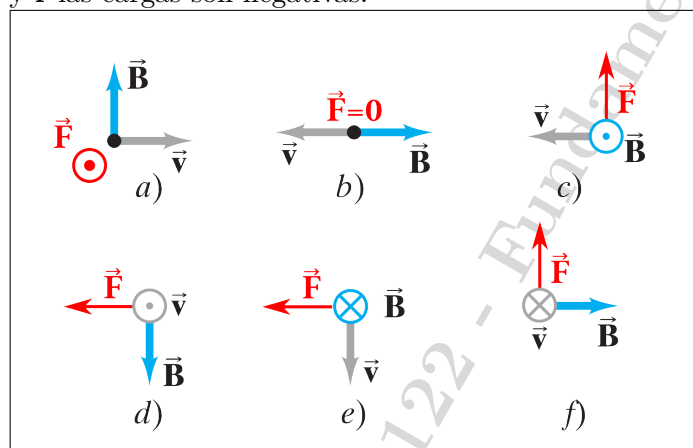
Por ello, la fuerza magnética será nula solo si la velocidad del electrón es paralela o antiparalela al campo magnético, es decir, si $\theta = 0^\circ$ o $\theta = 180^\circ$. En ese caso, $\sin \theta = 0$ y, por tanto, $F_B = 0$. Por lo tanto, el amigo solo tiene razón en ese caso particular.

c) (1,25 puntos) Un protón se mueve en una trayectoria circular perpendicular a un campo magnético uniforme. Si se incrementa la intensidad del campo del imán, ¿el diámetro de la trayectoria circular se incrementará, disminuirá o permanecerá igual? Justifica tu respuesta.

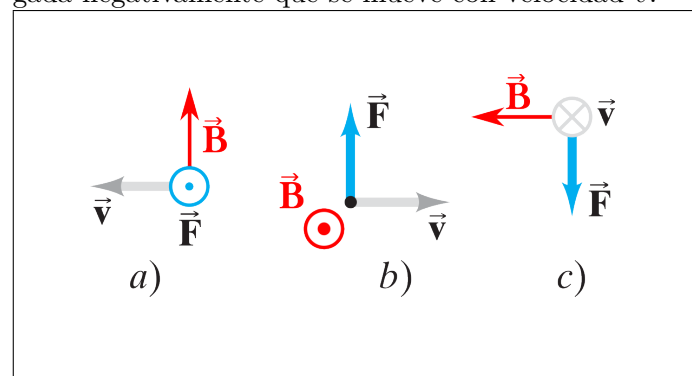
La trayectoria circular del protón se debe a que la fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta. Por ello, se cumple que $qvB = \frac{mv^2}{r}$, de donde el radio de la trayectoria circular es $r = \frac{mv}{qB}$.

Como el radio es inversamente proporcional a la magnitud del campo magnético B , si se incrementa B , el radio de la trayectoria disminuye. Por lo tanto, el diámetro de la trayectoria circular también disminuye.

d) (1,5 puntos) Determine la dirección de la fuerza magnética sobre la carga en cada uno de los diagramas de la figura. Considere que en los gráficos a, b y c las cargas son positivas, mientras que en los gráficos d, e y f las cargas son negativas.



e) (0,75 puntos) Determine la dirección de $\vec{B}$ para cada caso mostrado en la figura, donde $\vec{F}$ representa la fuerza magnética máxima sobre una partícula cargada negativamente que se mueve con velocidad $\vec{v}$.



f) (1,5 puntos) Dos electrones ingresan a una región donde existe un campo magnético uniforme $\vec{B}$. Ambos electrones se mueven con velocidades perpendiculares al campo magnético. El electrón 1 tiene rapidez v , mientras que el electrón 2 tiene rapidez $2v$. ¿Cuál de los dos electrones tiene mayor rapidez angular? Justifique su respuesta.

Como los electrones describen trayectorias circulares debido al campo magnético, la fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta. Por tanto, se cumple que $F_B = F_c$, es decir, $|q|vB = \frac{mv^2}{r}$. Además, como la rapidez angular se define como $\omega = \frac{v}{r}$, podemos reescribir la ecuación anterior como $|q|B = m\frac{v}{r} = m\omega$. Luego, la rapidez angular queda dada por $\omega = \frac{|q|B}{m}$.

Como ambos electrones tienen la misma carga, la misma masa y se encuentran dentro del mismo campo magnético, sus rapidez angular son iguales. Aunque uno de los electrones tenga el doble de rapidez lineal, esto solo aumenta el radio de su trayectoria circular, pero no modifica su rapidez angular.

g) (1 punto) Si colocas un trozo de hierro cerca del polo norte de un imán, lo atraerá. ¿Por qué también lo atraerá si colocas el hierro cerca del polo sur del imán? Justifique su respuesta.

Sí, el hierro puede ser atraído tanto por el polo norte como por el polo sur de un imán, porque es un material ferromagnético. Al acercarlo a un imán, sus dominios magnéticos tienden a alinearse con el campo magnético externo, produciendo una magnetización inducida en el trozo de hierro.

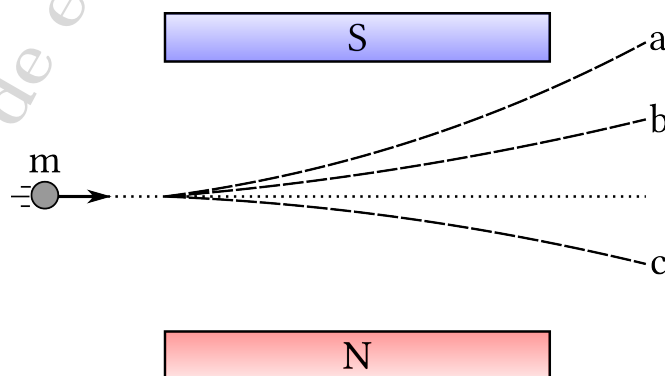
Por esta magnetización inducida, la zona del hierro más cercana al imán adquiere una polaridad opuesta al polo que se le acerca. Por ejemplo, si se acerca el polo norte del imán, la parte cercana del hierro se comporta como un polo sur inducido; si se acerca el polo sur, la parte cercana se comporta como un polo norte inducido. En ambos casos aparece una fuerza de atracción.

h) (1 punto) Un imán permanente es calentado durante cierto tiempo y luego parece atraer objetos con menor intensidad. ¿Qué pudo haber ocurrido dentro del material magnético? Justifica tu respuesta.

Al calentar un imán permanente, aumenta la agitación térmica de sus átomos. Esto dificulta que los dominios magnéticos permanezcan alineados, por lo que la magnetización del imán empieza a disminuir.

Si la temperatura aumenta demasiado y se alcanza la temperatura de Curie, el material pierde su comportamiento ferromagnético y deja de actuar como un imán permanente. Por ello, al calentar un imán, este puede debilitarse o incluso perder prácticamente toda su capacidad de atraer objetos ferromagnéticos.

Problema 2 — (4 puntos) En un laboratorio se realiza un experimento con un imán de gran tamaño y tres pequeñas muestras de materiales distintos, todas de igual masa. Cada muestra es lanzada con la misma rapidez hacia la región comprendida entre los polos del imán, tal como se muestra en la figura. Luego de atravesar la zona donde existe campo magnético, cada una sigue una trayectoria diferente, identificada como a, b y c. Determine qué tipo de material magnético corresponde a cada muestra y explique, en cada caso, por qué presenta esa desviación.

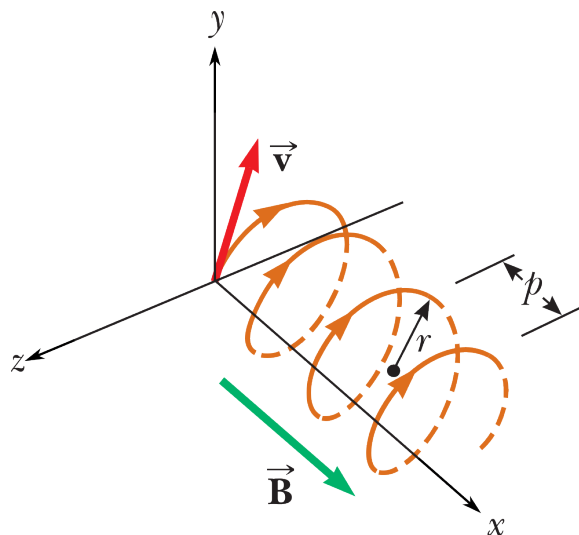


La trayectoria *a* corresponde a un material **ferromagnético**, ya que presenta la mayor desviación hacia la región donde el campo magnético es más intenso. Esto ocurre porque sus dominios magnéticos se alinean fuertemente con el campo externo, produciendo una atracción intensa.

La trayectoria *b* corresponde a un material **paramagnético**, porque también es atraído hacia la región donde el campo magnético es más intenso, pero con menor intensidad que un material ferromagnético. Por esta razón, su desviación es menor que la de la muestra *a*.

La trayectoria *c* corresponde a un material **diamagnético**, ya que se desvía en sentido contrario a la región de mayor campo magnético. Esto se debe a que en estos materiales se induce una magnetización opuesta al campo externo, generando una débil repulsión.

Problema 3 — (6 puntos) Un campo magnético uniforme de magnitud $B = 0,75 \text{ T}$ está dirigido a lo largo del eje x positivo. Un protón, de masa $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, pasa por el origen de coordenadas con una velocidad $\vec{v} = (6\hat{i} + 4\hat{j} + 0\hat{k}) \times 10^6 \text{ m/s}$, tal como se muestra en la figura. Debido a la acción del campo magnético, la partícula describe un movimiento helicoidal.



a) (3 puntos) Determine el radio r de la trayectoria helicoidal.

Como el protón describe una trayectoria helicoidal, la componente de la velocidad perpendicular al campo magnético es la responsable del movimiento circular. La fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta, por lo que se cumple

$$F_B = F_c.$$

Entonces,

$$qv_{\perp}B = \frac{m_p v_{\perp}^2}{r}.$$

Despejando el radio,

$$r = \frac{m_p v_{\perp}}{qB}.$$

Como el campo magnético está dirigido a lo largo del eje x , la componente paralela al campo es $v_x = 6 \times 10^6 \text{ m/s}$, mientras que la componente perpendicular al campo es

$$v_{\perp} = 4 \times 10^6 \text{ m/s}.$$

Por tanto,

$$r = \frac{(1,67 \times 10^{-27})(4 \times 10^6)}{(1,6 \times 10^{-19})(0,75)}.$$

$$r = 5,57 \times 10^{-2} \text{ m}.$$

Por lo tanto, el radio de la trayectoria helicoidal es

$$r = 0,0557 \text{ m} = 5,57 \text{ cm}$$

b) (2 puntos) Determine el período T del movimiento circular descrito por el protón alrededor del eje x .

Del ítem anterior se obtuvo que el radio de la trayectoria circular es

$$r = \frac{m_p v_{\perp}}{qB}.$$

Además, para el movimiento circular:

$$v_{\perp} = \omega r \Rightarrow \omega = \frac{v_{\perp}}{r}.$$

Reemplazando r :

$$\omega = \frac{v_{\perp}}{\frac{m_p v_{\perp}}{qB}} = \frac{qB}{m_p}.$$

Como en el formulario:

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

entonces:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m_p}{qB}.$$

Sustituyendo los datos:

$$T = \frac{2\pi(1,67 \times 10^{-27})}{(1,6 \times 10^{-19})(0,75)}$$

Por lo tanto:

$$T = 8,74 \times 10^{-8} \text{ s}$$

c) (1 punto) Si p representa la distancia recorrida por la partícula a lo largo del eje x durante un período, determine el valor de p .

La distancia p recorrida a lo largo del eje x durante un período se debe a la componente de la velocidad paralela al campo magnético. Como $\vec{B}$ está dirigido a lo largo del eje x , se tiene $v_{\parallel} = v_x = 6 \times 10^6 \text{ m/s}$. Para esta parte del movimiento se utiliza la fórmula del MRU: $d = vt$, por lo que $p = v_{\parallel}T$.

Usando el período obtenido en el ítem anterior, $T = 8,74 \times 10^{-8} \text{ s}$, resulta $p = (6 \times 10^6)(8,74 \times 10^{-8}) = 0,52 \text{ m}$. Por lo tanto, $p = 0,52 \text{ m}$.