

TÍTULO: *Campo magnético.*

OBJETIVOS:

- Explicar la generación de campos magnéticos por corrientes eléctricas.
- Explicar la constitución interna de los imanes.
- Estudiar el movimiento de las cargas eléctricas sometidas a un campo magnético.

DESARROLLO CONCEPTUAL

DEFINICIONES

Los campos magnéticos son creados por corrientes eléctricas. Las líneas de campo magnético se cierran sobre sí mismas. No existen cargas magnéticas donde empiecen o terminen las líneas de campo magnético (a diferencia de lo que ocurre con las líneas de campo eléctrico que empiezan y terminan en cargas eléctricas).

Cuando una partícula con carga eléctrica q se mueve dentro de un campo magnético \vec{B} experimenta una fuerza $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$ (siendo $\vec{v} \times \vec{B}$ el producto vectorial de la velocidad de la partícula cargada por la intensidad del campo magnético).

FORMULACIÓN SIMPLE DEL PROBLEMA

Cuando se coloca una aguja imantada en las proximidades de un conductor rectilíneo por el que circula una corriente eléctrica se observa experimentalmente que la aguja adopta una posición perpendicular al conductor, tangente a una circunferencia imaginaria centrada en el mismo y que pasa por el centro de la aguja. Esto indica que una corriente eléctrica crea un campo magnético cuyas líneas son circunferencias centradas en el conductor y perpendiculares al mismo.

Los campos magnéticos, a diferencia de los campos eléctricos, están generados por corrientes eléctricas y no por unas hipotéticas cargas magnéticas.

Asimismo, si se coloca la aguja en el centro de una espira circular por la que pasa una corriente, la aguja se coloca perpendicular al plano de la espira. Si se invierte la dirección de la corriente que circula por la espira, se invierte también la dirección de la aguja. Todo esto indica que el

campo magnético en el centro de una espira circular es perpendicular a la misma y su dirección depende del sentido de la corriente en la espira.

Si juntamos muchas espiras circulares paralelas por las que circulan corrientes en el mismo sentido, los campos magnéticos que generan se suman para dar un campo total dirigido a lo largo de su eje común. Ésta es la explicación de los imanes. Su estructura microscópica es similar a un conjunto de minúsculas espiras alineadas. Las líneas del campo magnético salen por un extremo del imán y entran por el otro, lo que da la apariencia de que en un extremo haya una carga magnética positiva (polo positivo) y en el otro haya una carga magnética negativa (polo negativo). Sin embargo, estos polos magnéticos aparentes no pueden aislarse. Si se corta un imán por la mitad se tienen dos imanes más pequeños, cada uno de ellos con dos polos.

Cuando una carga eléctrica q se mueve con velocidad \vec{v} en un campo magnético \vec{B} experimenta una fuerza que obedece a la expresión $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$. Esta fuerza se denomina fuerza de Lorentz. Conviene señalar varias consecuencias de esta expresión:

- una carga eléctrica en reposo ($\vec{v} = 0$) no experimenta ninguna fuerza en un campo magnético.
- la fuerza sobre una carga eléctrica en movimiento es perpendicular a la dirección de movimiento de la carga. Por lo tanto, la fuerza magnética no realiza trabajo sobre la partícula cargada, y la energía cinética de la partícula se conserva. Por esta razón no existe un potencial magnético escalar.
- si la partícula se mueve en una dirección paralela a la dirección del campo magnético, la partícula no siente ninguna fuerza.

Si una partícula con velocidad inicial $\vec{v}_0 = v_{0x}\vec{e}_x$ entra en una región en la que existe un campo magnético dirigido a lo largo del eje Z, experimentará una fuerza de valor $F = qv_{0x}B$ y dirigida a lo largo del eje Y. Por lo tanto, adquirirá una componente de velocidad v_y a expensas de la componente v_x inicial, puesto que $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ debe permanecer constante e igual a v_0^2 . La partícula acaba describiendo una trayectoria circular en el plano XY con velocidad constante (en módulo) y radio dado por

$$m\frac{v_0^2}{R} = qv_0B \quad \Rightarrow \quad R = \frac{mv_0}{qB}$$

EJEMPLO

ENUNCIADO

Una partícula con carga eléctrica q y velocidad inicial $\vec{v}_0 = v_{0x}\vec{e}_x + v_{0y}\vec{e}_y + v_{0z}\vec{e}_z$ entra en una región donde hay un campo magnético uniforme \vec{B} dirigido en la dirección del eje Z. Estudiar la trayectoria que seguirá la partícula sometida a dicho campo.

RESOLUCIÓN

La velocidad de la partícula es un vector que puede escribirse como suma vectorial de 3 componentes $\vec{v} = v_x\vec{e}_x + v_y\vec{e}_y + v_z\vec{e}_z$. Esta velocidad puede escribirse también como suma vectorial de una velocidad $\vec{v}_\parallel = v_z\vec{e}_z$ paralela al campo \vec{B} y una velocidad $\vec{v}_\perp = v_x\vec{e}_x + v_y\vec{e}_y$ perpendicular a \vec{B} . Entonces, la fuerza que actúa sobre la partícula es

$$\vec{F}_m = q(\vec{v}_\parallel + \vec{v}_\perp) \times \vec{B} = q\vec{v}_\perp \times \vec{B} + q\vec{v}_\parallel \times \vec{B}$$

Como \vec{v}_\parallel es paralelo a \vec{B} su producto vectorial es cero. Por otra parte, \vec{v}_\perp es perpendicular a \vec{B} y la fuerza tiene el valor

$$F_m = qv_\perp B$$

y esta contenida en el plano XY. Esta fuerza daría lugar a una trayectoria circular de radio

$$R = \frac{mv_\perp}{qB} = \frac{m\sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}}{qB}$$

y velocidad angular

$$\omega = \frac{v_\perp}{R} = \frac{qB}{m}$$

Sin embargo, la existencia de la velocidad \vec{v}_\parallel hace que, al mismo tiempo, la partícula se esté desplazando a lo largo del eje Z. La trayectoria es así parecida a un sacacorchos de radio R y eje en la dirección de eje Z. Es fácil calcular el "paso de rosca" del sacacorchos. En efecto, el tiempo que tarda la partícula en cada giro es

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

y en ese tiempo la partícula habrá avanzado una cantidad $\Delta z = v_\parallel T = 2\pi m v_{0z} / qB$ en la dirección del eje Z.

EJERCICIO DE AUTOCOMPROBACIÓN

ENUNCIADO

Una partícula con carga eléctrica q y velocidad $\vec{v} = v\vec{e}_x$ dirigida a lo largo del eje X entra en una región donde existe un campo eléctrico $\vec{E} = E\vec{e}_y$, dirigido a lo largo del eje Y y un campo magnético $\vec{B} = B\vec{e}_z$ dirigido a lo largo del eje Z. ¿Qué relación debe haber entre E y B para que la partícula siga una trayectoria rectilínea a lo largo de X?

RESULTADO

$$E / B = v$$

REFERENCIAS:

- P. A. Tipler y G. Mosca, Física para la Ciencia y la Tecnología, 5ª Edición, Editorial Reverté, 2005.

AUTOR:

- Javier García Sanz