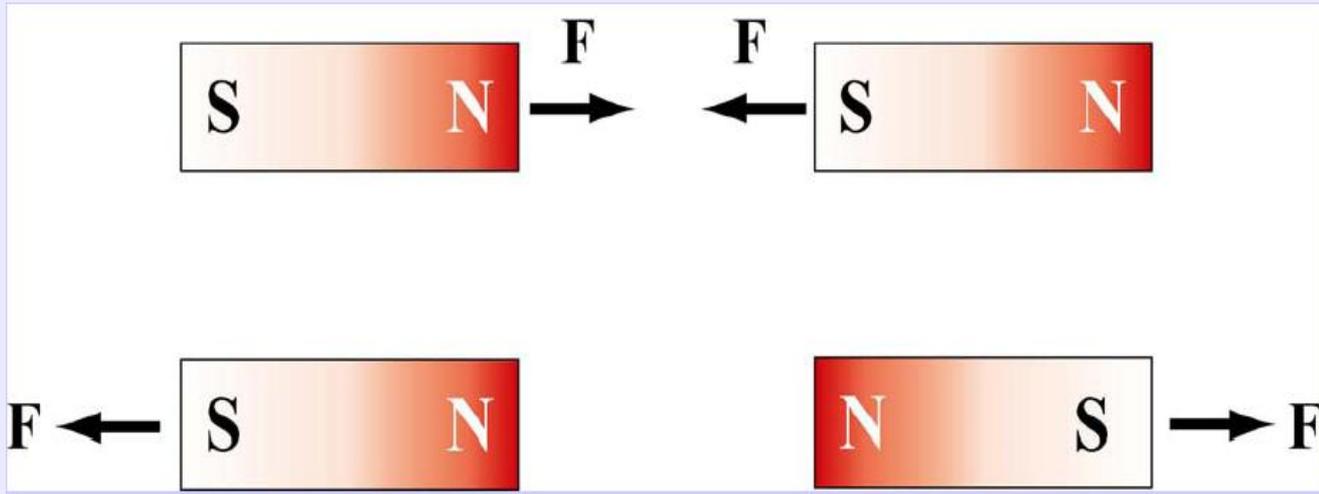


Tema 4: Magnetostática

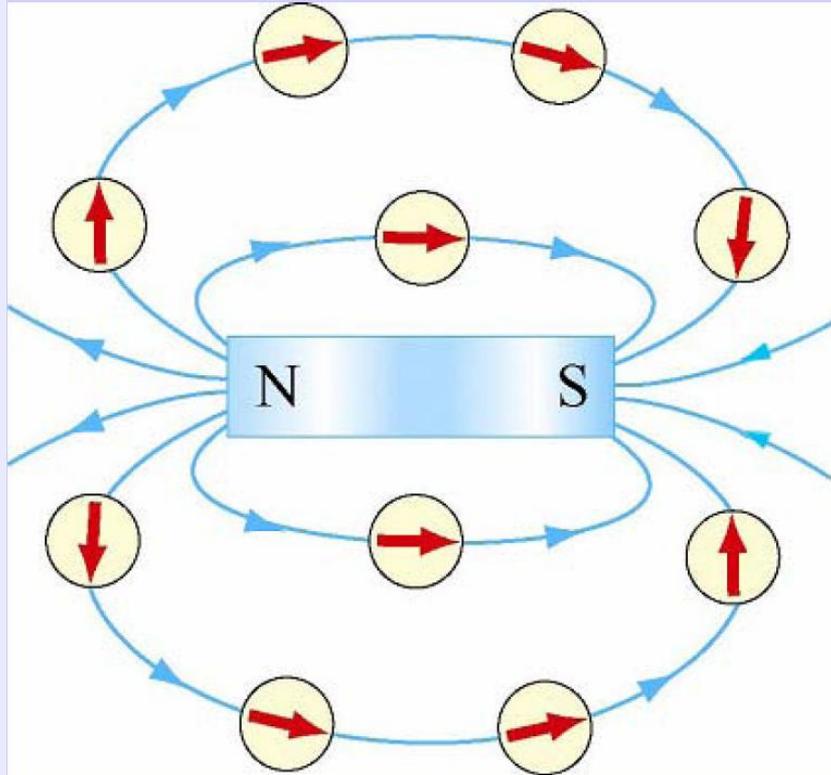
- Campos magnéticos
- Carga en un campo magnético
- Fuerza de Lorentz
- Fuerza sobre cargas móviles en un campo magnético
- Fuerza sobre un cable recorrido por una intensidad
- Magnetostática: producida por campos magnéticos constantes

T4-1.-Magnetismo: imanes



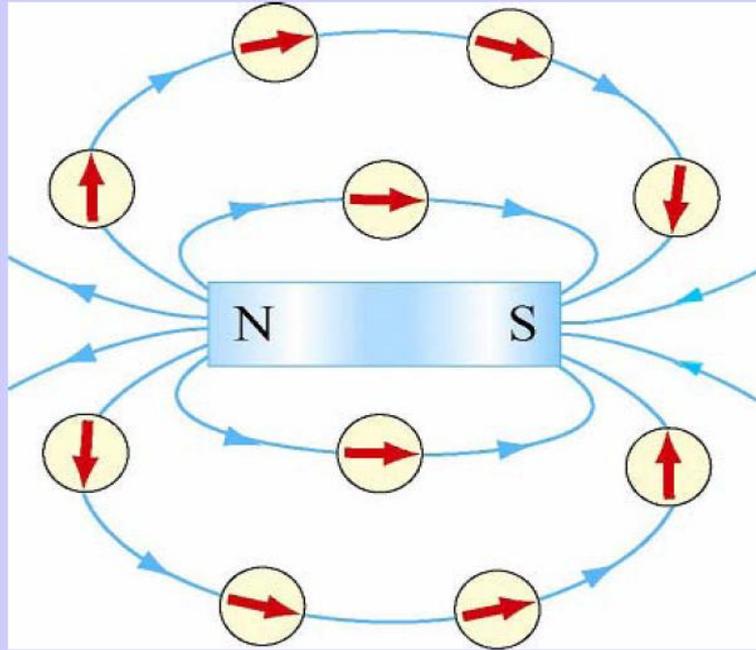
- Dos polos: Norte y Sur
- Polos iguales se repelen
- Polos opuestos se atraen

Campo magnético creado por un imán



Las líneas de campo magnéticas salen del polo norte (N) y terminan en el polo sur (S)

Los imanes son dipolos



- Crean campo magnético
- Giran para orientarse paralelos al campo magnético

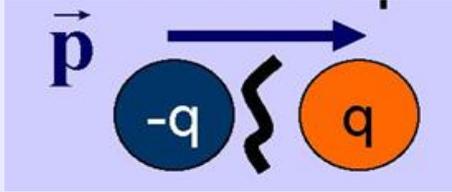
¿Existe masa o carga magnética?



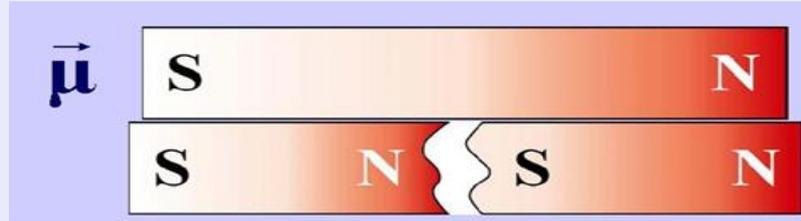
¡NO! No existen monopolos magnéticos aislados

¿Monopolos magnéticos?

Dipolo eléctrico



Dipolo magnético



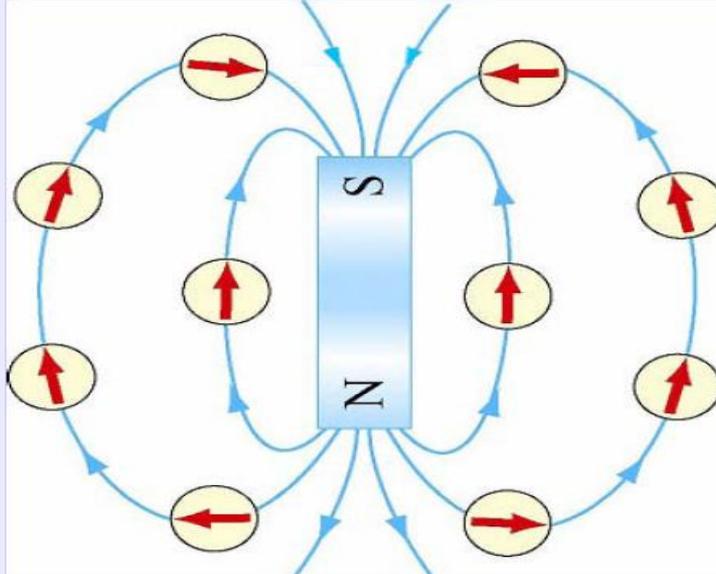
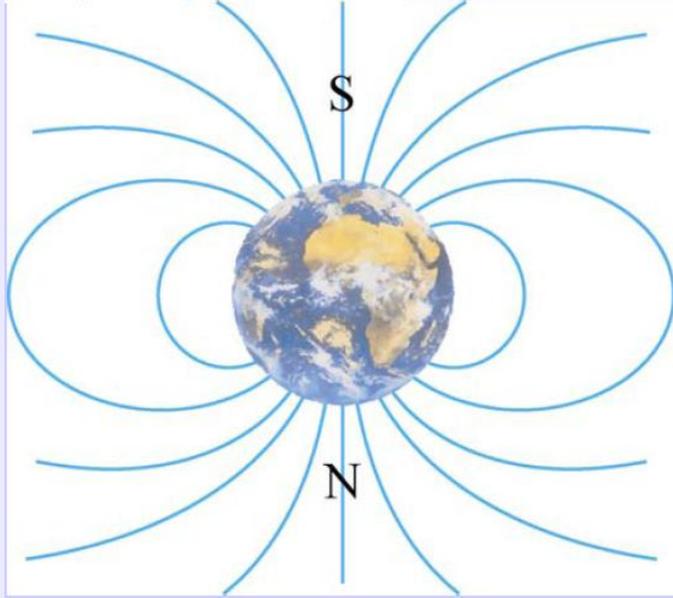
Cuando se corta:
Dos monopolos:
cargas eléctricas

Cuando se corta:
Dos dipolos
magnéticos

Los monopolos magnéticos no existen aislados

¿Qué más es magnético?

El campo magnético de la tierra

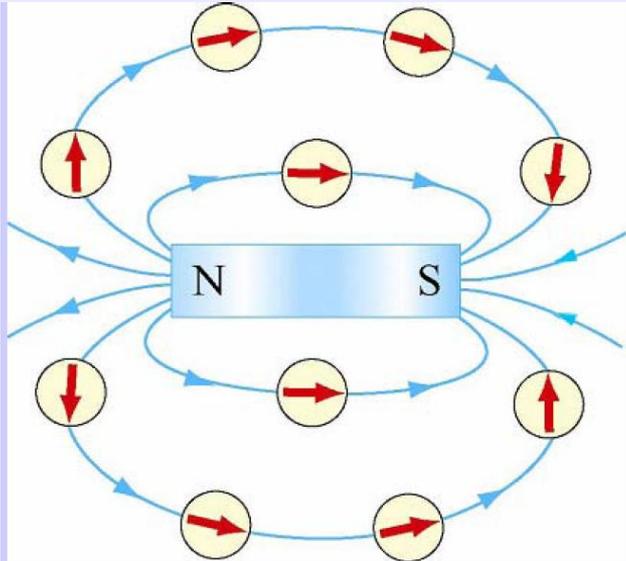


El polo norte magnético está situado en el hemisferio sur

El campo magnético hasta ahora

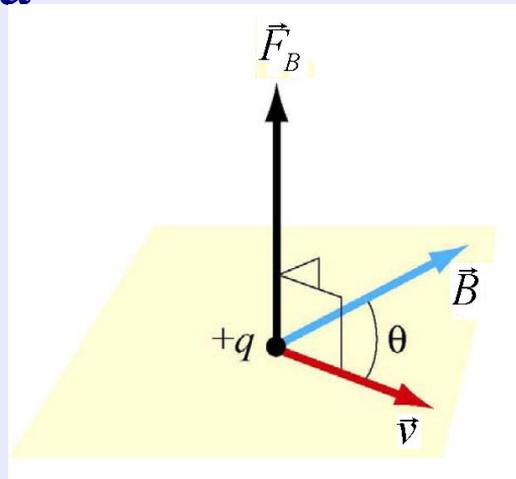
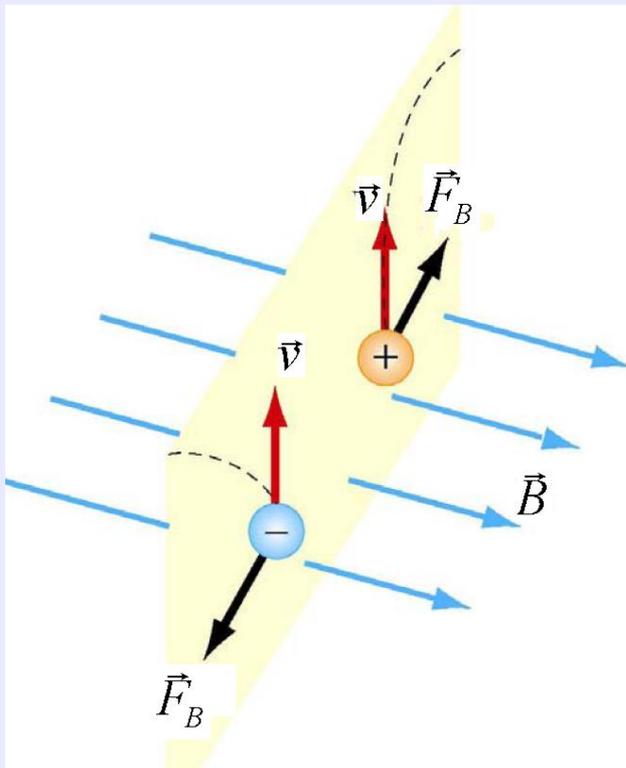
Los imanes son dipolos magnéticos:

- **Crean campo magnético:** el campo de un dipolo
- **Sienten el campo:** se orientan en un campo magnético



¿Hay algo más
que crea o siente
el campo?

T4-2. Las cargas eléctricas en movimiento experimentan una fuerza magnética



$$F_B = |q/vB \text{sen}(\theta)|$$

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$$

La fuerza magnética es perpendicular a:

- 1) Velocidad de la carga
- 2) Al campo magnético

Sentido: **regla de Maxwell** o del tornillo:

Si q es positiva: *el sentido de la fuerza es el de avance de un tornillo que gira del primer vector al segundo*

Unidades:
Tesla: $T = \frac{N}{Am}$

Gauss: $G = 10^{-4}T$

Propiedades de la fuerza magnética

1) Si \vec{B} es paralelo a \vec{v} : $F_B=0$

2) El campo magnético no realiza trabajo

$$dW = \vec{F}_B \cdot d\vec{l} = \vec{F}_B \cdot \vec{v} dt = F_B v \cos(90^\circ) = 0 \Rightarrow$$

$$dW = 0 \quad \text{y} \quad W_{ab} = 0$$

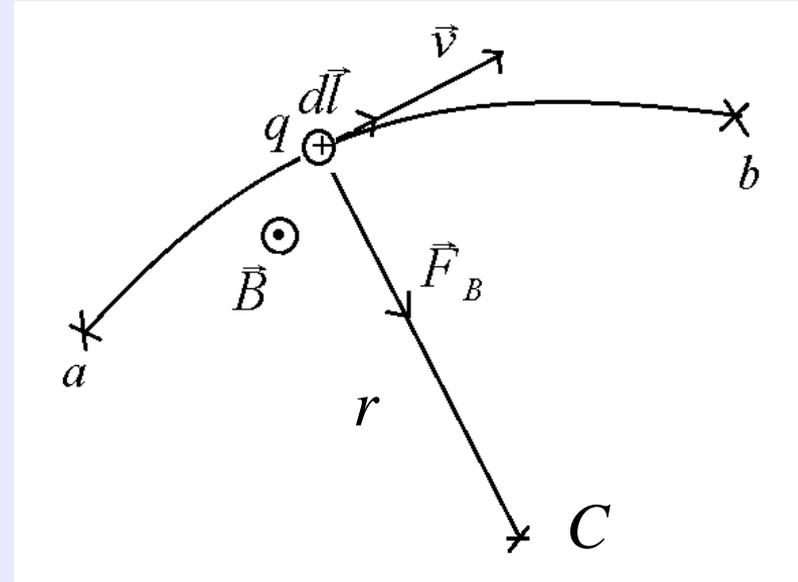
3) El campo magnético no varía la energía cinética ni la velocidad

$$W_{ab} = \frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_b^2 = \frac{1}{2}mv_a^2 \quad \text{y} \quad v_b = v_a$$

4) La fuerza magnética es la fuerza normal y varía la dirección

$$F_B = F_n = m \frac{v^2}{r}$$

r : radio de curvatura. C : centro de curvatura



Fuerza de Lorentz

Las cargas sienten:
campos eléctricos

y magnéticos

$$\vec{F}_B = q \vec{E}$$

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$$

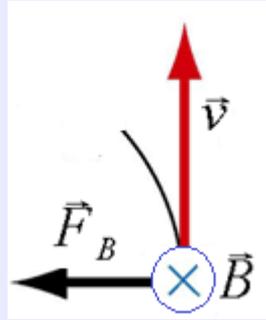
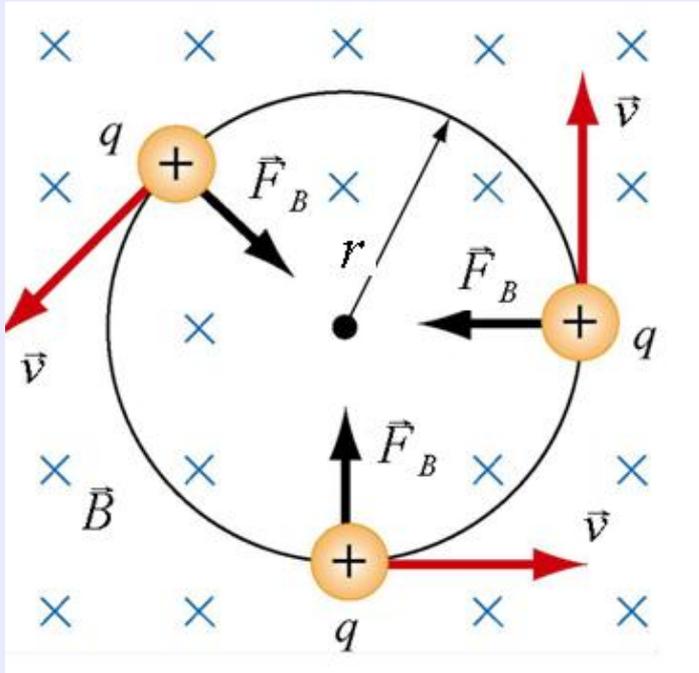
$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Esta es la última palabra sobre la fuerza que experimenta una carga eléctrica

¿Qué tipo de movimiento producen las fuerzas magnéticas?

Movimiento de ciclotrón

Si el campo magnético es uniforme y perpendicular a la velocidad



(1) Radio: $|q|vB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow$

$$r = \frac{mv}{|q|B}$$

(2) Periodo

$$T = \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

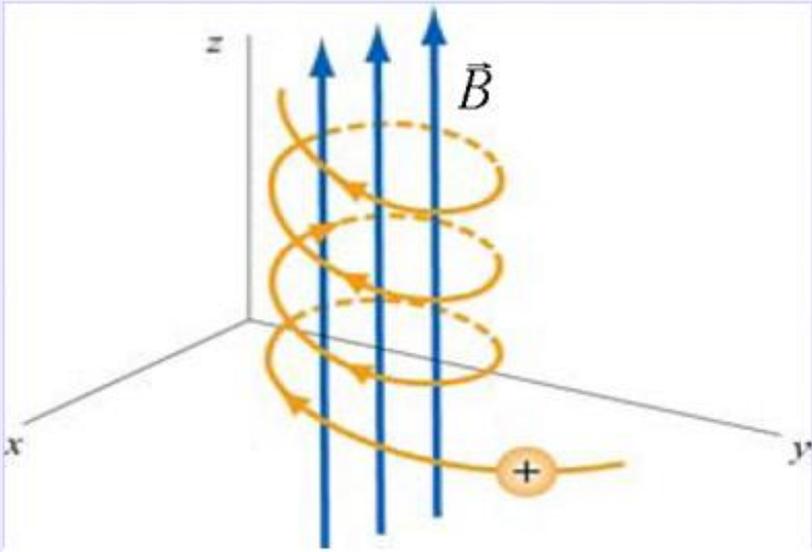
(3) Frecuencia del ciclotrón:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{|q|B}{m}$$

$r \propto v$; T y ω no dependen de v

Recorrido helicoidal de una partícula cargada en un campo magnético uniforme

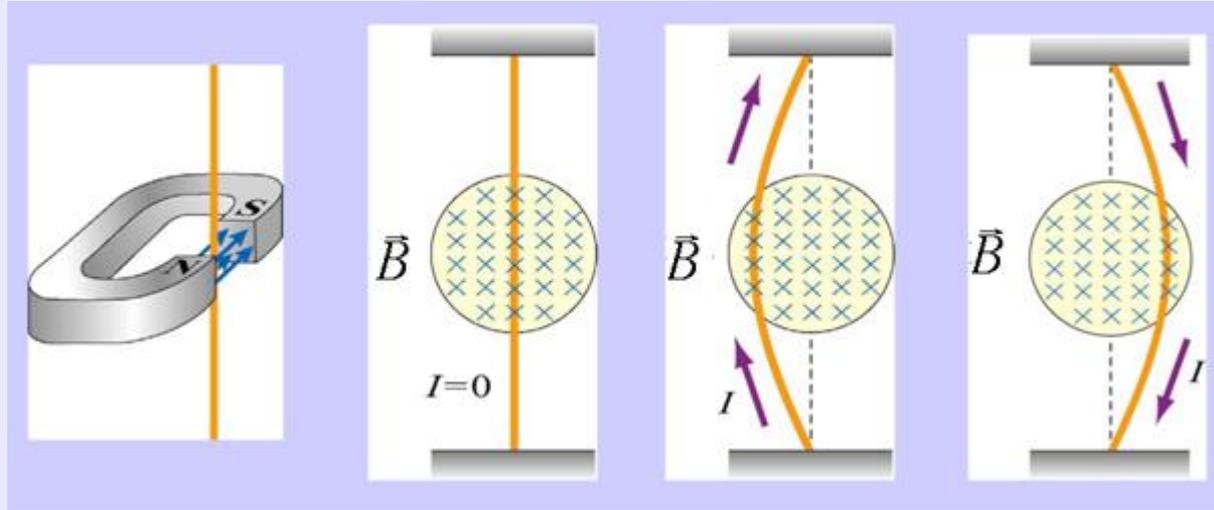
Si \vec{B} es uniforme pero \vec{v} no es perpendicular a \vec{B}



La velocidad de la partícula tiene una componente no nula en la dirección de \vec{B}

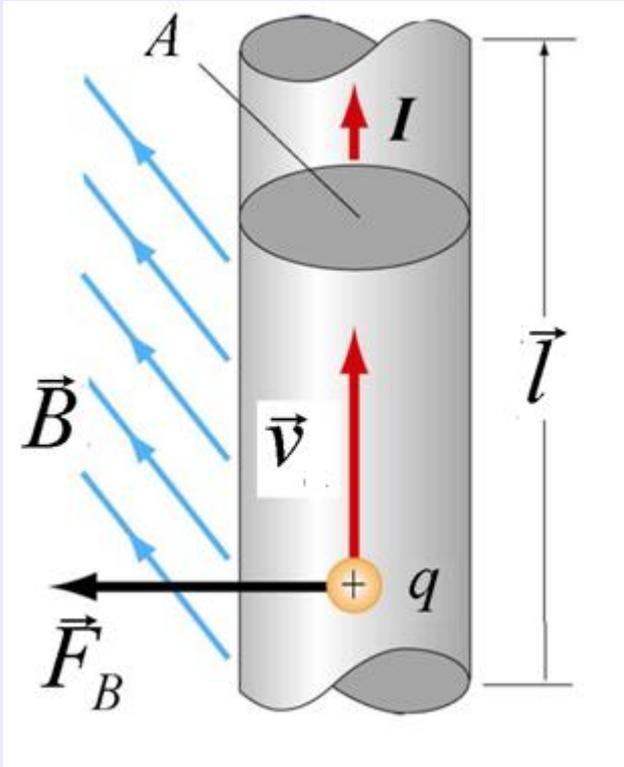
T4-3. Fuerzas magnéticas sobre cables que transportan corrientes

T4-3-Fuerza magnética sobre un cable recorrido por una intensidad



- Una intensidad está formada por cargas eléctricas en movimiento.
- Las cargas en movimiento experimentan fuerzas magnéticas

Fuerza magnética sobre un cable recorrido por una intensidad

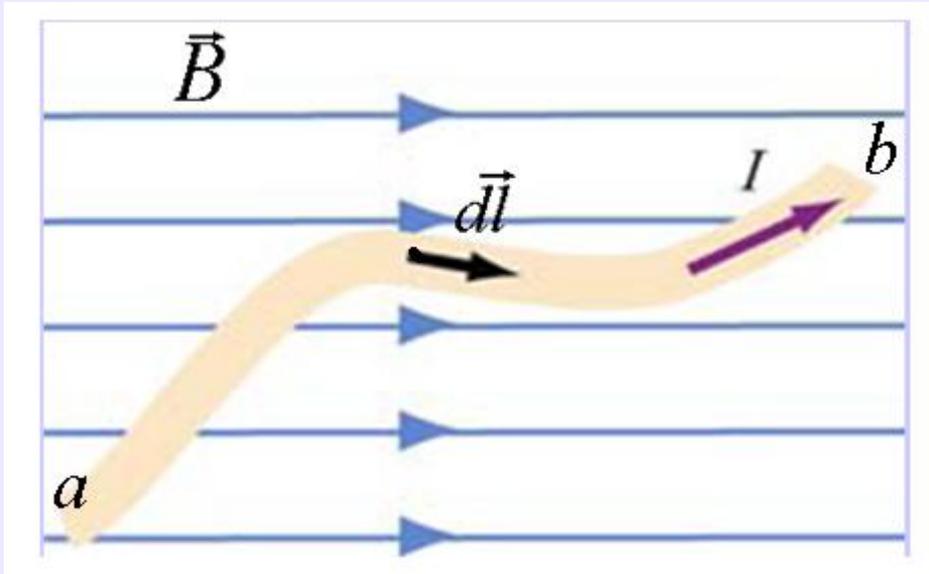


$$F_B = (\text{número de portadores})(\text{fuerza sobre un portador}) = N (qvB\sin(\theta)) =$$
$$(\text{densidad de portadores})(\text{volumen})(qvB\sin(\theta)) = n (A L) qvB\sin(\theta) =$$
$$(nqvA) lB\sin(\theta) = IlB\sin(\theta)$$

- Dirección: Perpendicular a \vec{l} y a \vec{B}
- Sentido: regla de Maxwell para \vec{l} y \vec{B}
- \vec{l} tiene el sentido de la intensidad

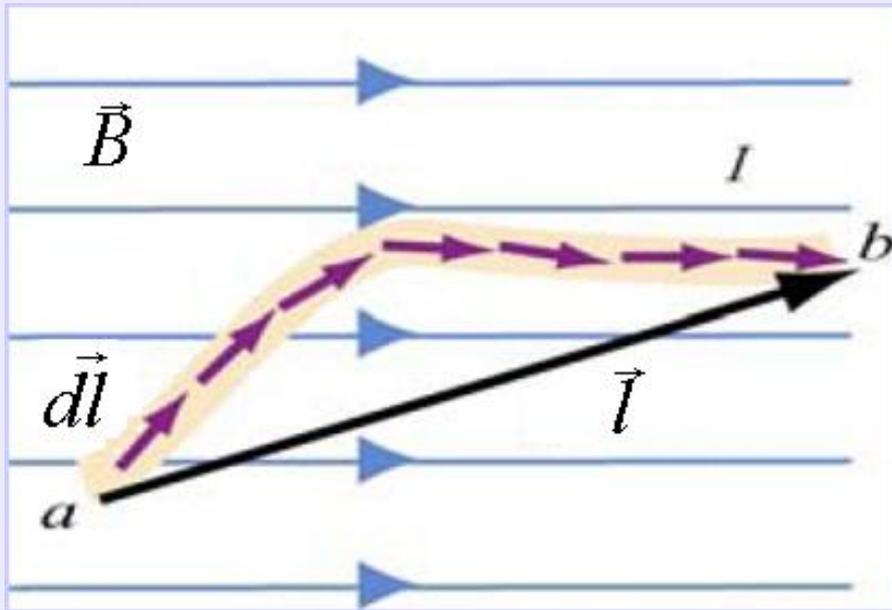
$$\vec{F}_B = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Fuerza magnética sobre un cable curvo recorrido por una intensidad



$$d\vec{F}_B = I(d\vec{l} \times \vec{B}) \Rightarrow \vec{F}_B = I \int_a^b (d\vec{l} \times \vec{B})$$

Fuerza magnética sobre un cable curvado recorrido por una intensidad en un campo magnético uniforme

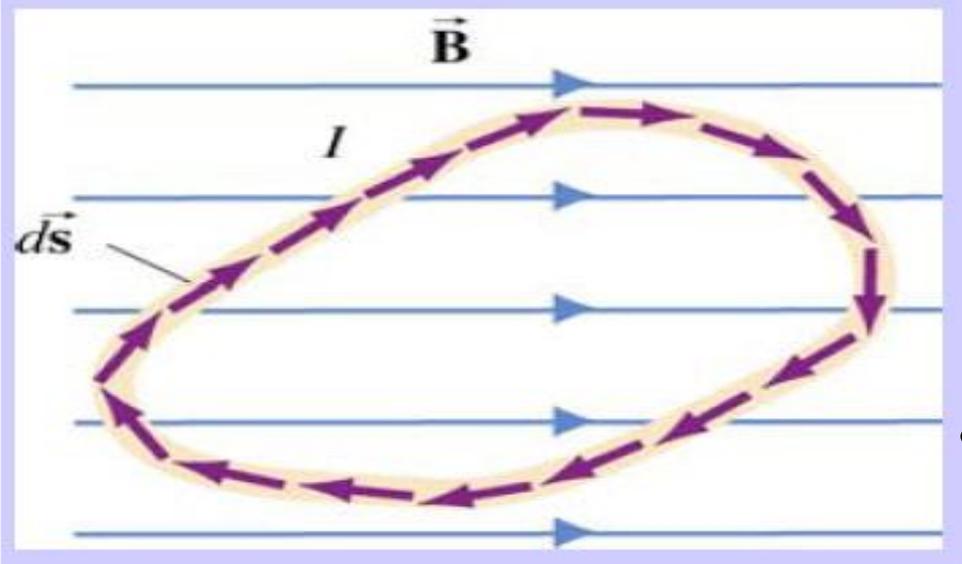


$$\vec{l} = \vec{l}_{ab}$$

$$\vec{F}_B = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Si el campo magnético es uniforme, la fuerza magnética no depende de la forma del cable entre a y b

Fuerza magnética sobre un cable cerrado en un campo magnético uniforme



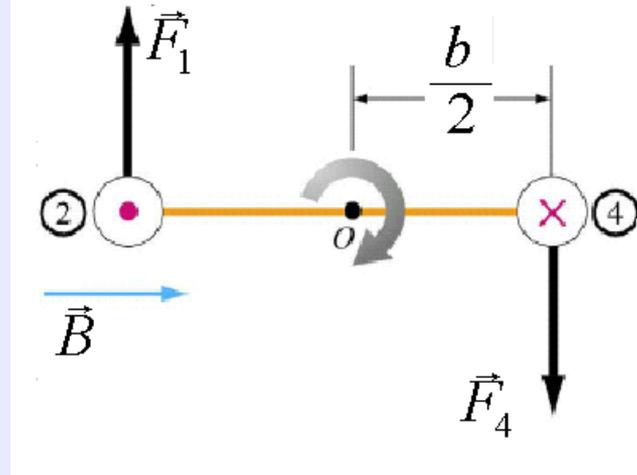
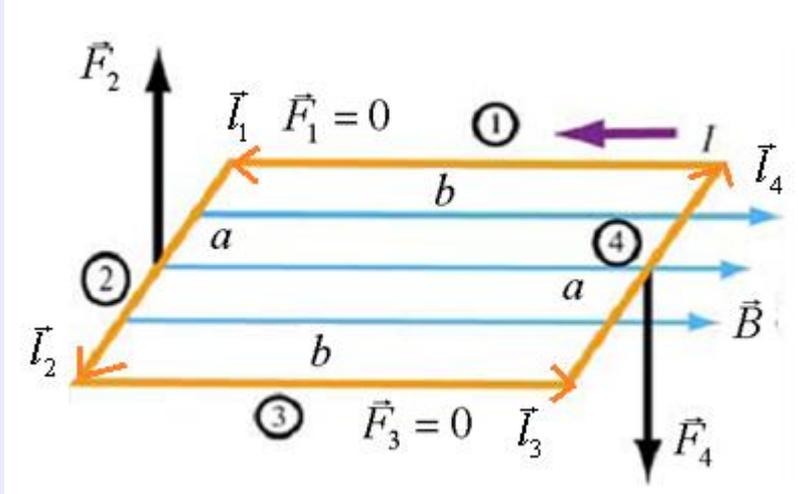
$$\vec{F}_B = I \left(\oint d\vec{l} \right) \times \vec{B}$$

$$\oint d\vec{l} = 0 \Rightarrow$$

En un campo magnético uniforme, la fuerza magnética sobre un cable con intensidad que se cierra sobre si mismo es nula.

$$\boxed{\vec{F}_B = 0}$$

Momento de fuerzas sobre una espira rectangular. Campo magnético paralelo a la espira



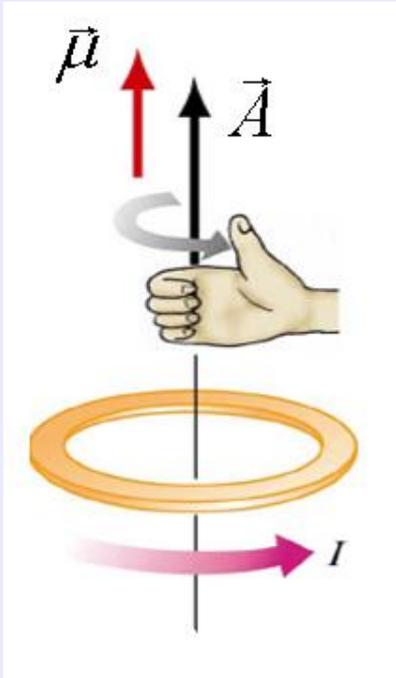
$$F_2 = F_4 = I a B \sin(90^\circ) = I a B \quad \vec{F}_{\text{net}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0$$

$$F_1 = F_3 = I b B \sin(0^\circ/180^\circ) = 0$$

No hay fuerza neta pero sí un momento de fuerzas

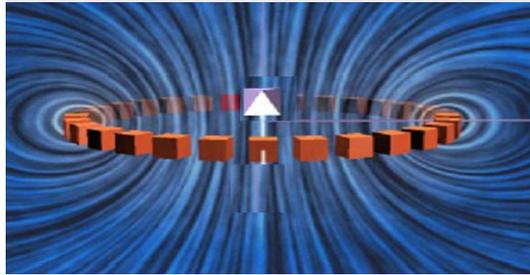
$$\tau = F_2 b = I a b B = I A B = \mu B$$

Momento dipolar magnético



Definimos el momento dipolar magnético:

$$\vec{\mu} = IA \hat{n} = I \vec{A}$$

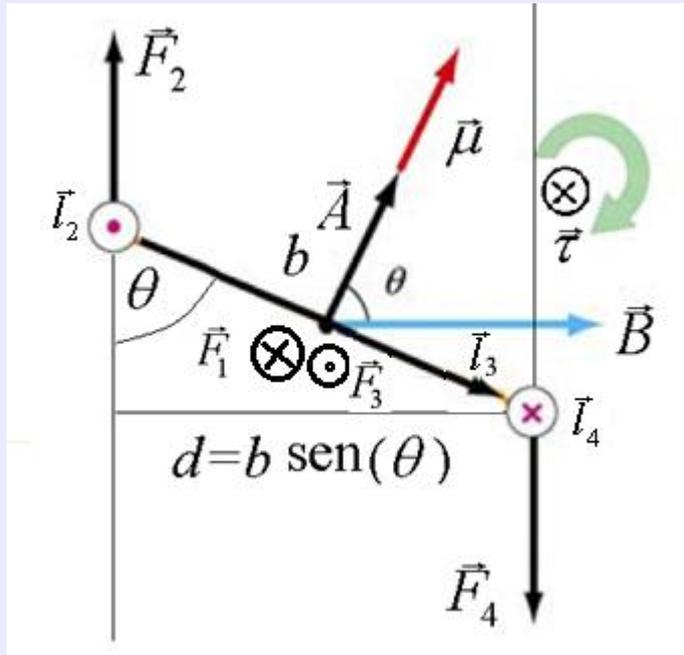


$\vec{\mu}$ es paralelo a \vec{B}_{int}

Bobina: con N espiras o vueltas:
$$\vec{\mu} = NI \vec{A}$$

$\vec{\tau}$ tiende a alinear $\vec{\mu}$ con \vec{B}

Espira a un ángulo con el campo magnético



$$\vec{F}_1 = I\vec{l}_1 \times \vec{B}; \quad \vec{F}_3 = I\vec{l}_3 \times \vec{B}$$

$$\vec{l}_3 = -\vec{l}_1 \Rightarrow \vec{F}_3 = -\vec{F}_1$$

Además actúan sobre la misma línea de acción, luego dan momento nulo

$$F_2 = F_4 = IaB \sin(90^\circ) = IaB$$

$$\tau = F_2 d = (IaB)(b \sin(\theta)) = (Iab)B \sin(\theta)$$

$$\tau = \mu B \sin(\theta)$$

Momento de fuerzas hacia el papel:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

$\vec{\tau}$ tiende a alinear $\vec{\mu}$ con \vec{B}