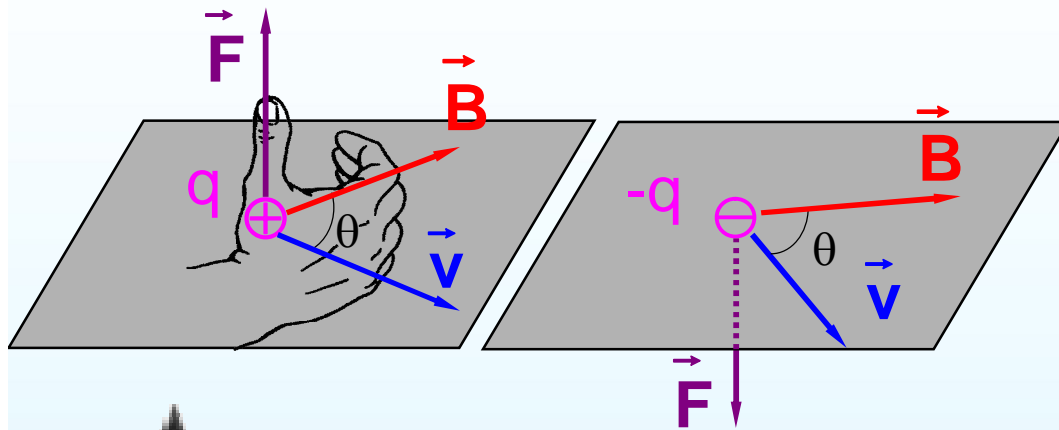


## TEMA 3: FUNDAMENTOS DE MAGNETISMO

- Movimiento de cargas en campos magnéticos
- Fuerzas sobre corrientes. Dipolo Magnético
- Ley de Biot y Savart.
- Ley de Gauss para el campo magnético
- Ley de Ampère: Aplicaciones

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## Fuerza magnética sobre una carga en movimiento



Características de  $\vec{F}_B$

- Es proporcional a la  $q$
- Es proporcional al  $|v|$
- Es proporcional al  $\text{sen}(\theta)$
- Es  $\perp$  a  $v$  y  $B$

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



$$|\vec{F}_B| = |q| |\vec{v}| |\vec{B}| \sin(\theta)$$

$B \perp v \Rightarrow F$  máxima

$B \parallel v \Rightarrow F = 0$

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## UNIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL S.I.: Tesla (T)

“Un tesla (T) corresponde al campo magnético que produce una fuerza de un newton sobre una carga de un culombio que se mueve perpendicularmente al campo a razón de un metro por segundo”

$$1 \text{ T} = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{C} = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$$

$$[ B ] = [ M ] [ T ]^{-2} [ I ]^{-1}$$

$$1 \text{ tesla (T)} = 10^4 \text{ gauss (G)}$$

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## ÓRDENES DE MAGNITUD DE CAMPOS MAGNÉTICOS TÍPICOS

	B (en T)
Espacio interestelar	$< 10^{-9}$
Campo magnético de la Tierra (en la superficie)	$5 \times 10^{-5}$
Superficie de las estrellas	$10^{-2}$ a 5
Imanes permanentes	$10^{-2}$ a 1
Electroimán con núcleo de hierro	$> 3$
Imanes superconductores	$> 20$
Bobinas de alta corriente	$> 20$
Bobinas pulsantes (duración $10^{-1}$ s)	10 a 30

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

$$|\vec{F}_B| = |q||\vec{v}||\vec{B}|\sin(\theta)$$

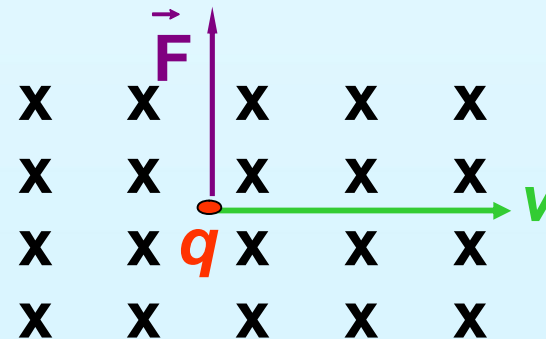
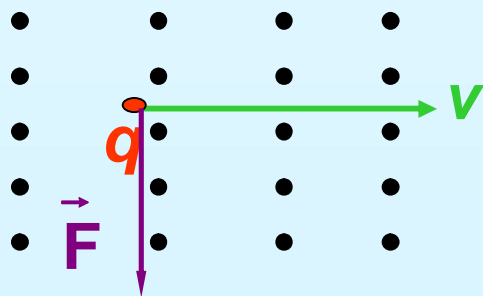
## Líneas del campo $B$

- Son cerradas sobre sí mismas
- Van del Norte al Sur (fuera del imán)
- Van del Sur al Norte (dentro del imán)
- Son tangentes en cada punto a  $B$

## Representación

Puntos • Campo  $\perp$  al folio (el campo sale del folio)

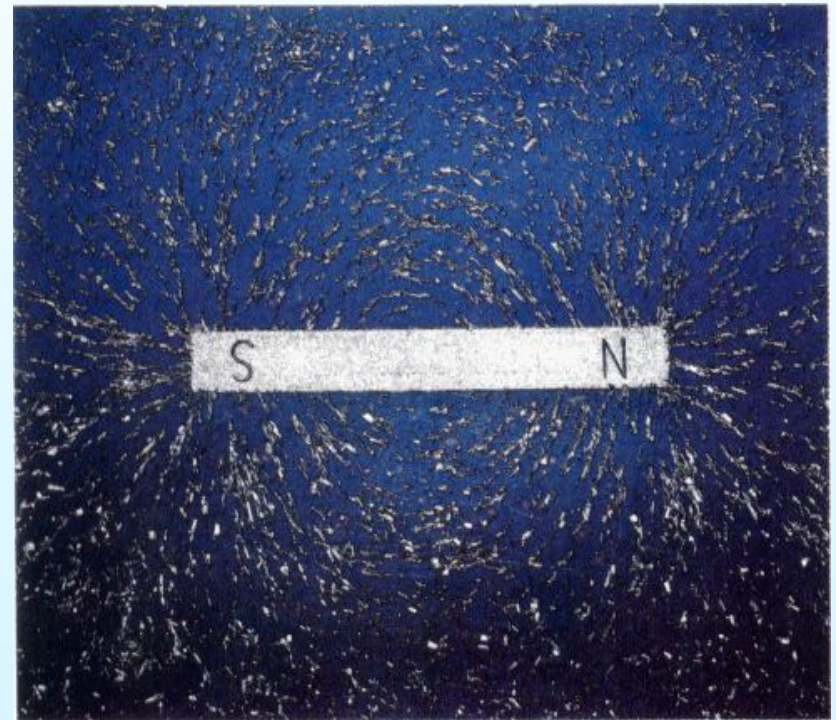
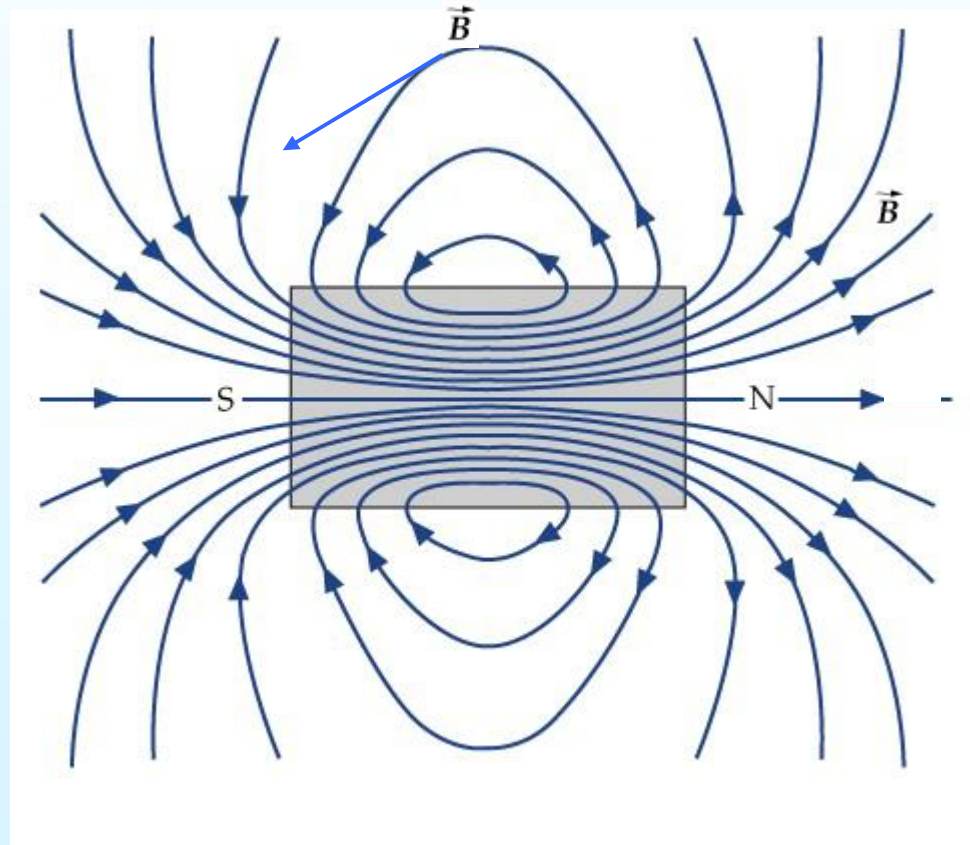
Cruces X Campo  $\perp$  al folio (el campo entra en el folio)



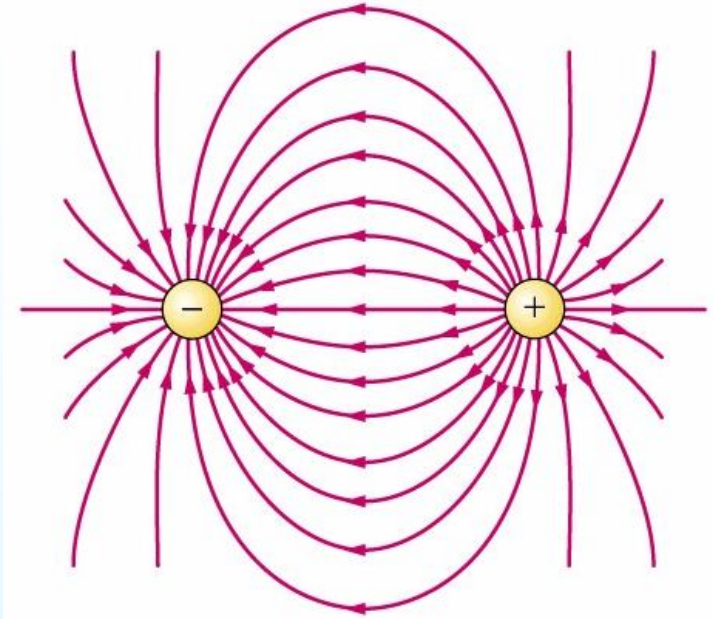
# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## Líneas del campo $B$

- Son cerradas sobre sí mismas
- Van del Norte al Sur (fuera del imán)
- Van del Sur al Norte (dentro del imán)
- Son tangentes en cada punto a  $B$

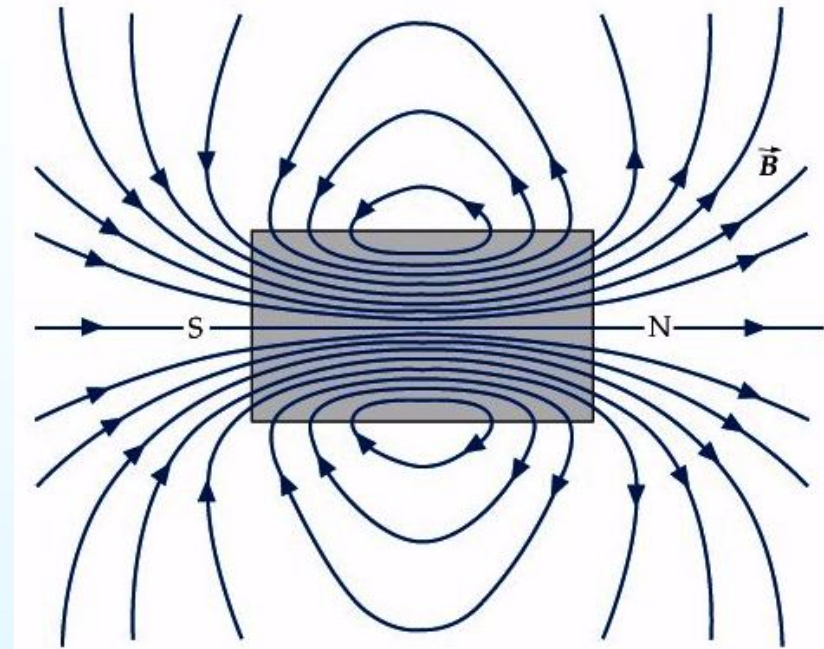


# Movimiento de cargas en campos magnéticos



Campo Eléctrico  
(electrostático):

conservativo  $\iff \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$   
podemos definir  
potencial escalar



Campo Magnético

no conservativo  $\iff \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} \neq 0$

**no podemos definir ni energía  
potencial ni potencial escalar  
magnético**



# Movimiento de cargas en campos magnéticos

**Más propiedades de la fuerza magnética sobre una carga:**

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

$\vec{F}_B \perp \vec{v} \quad \left( \vec{F}_B \perp d\vec{l} \right) \Rightarrow$  el trabajo  $W$  de la fuerza magnética al mover la carga es nulo.

– la energía cinética de la partícula se mantiene constante (no cambia el módulo de  $\vec{v}$  sino sólo su dirección)

- si la partícula cargada se mueve en región con campo eléctrico y magnético, la fuerza total es:

$$\vec{F} = q \left( \vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B} \right)$$

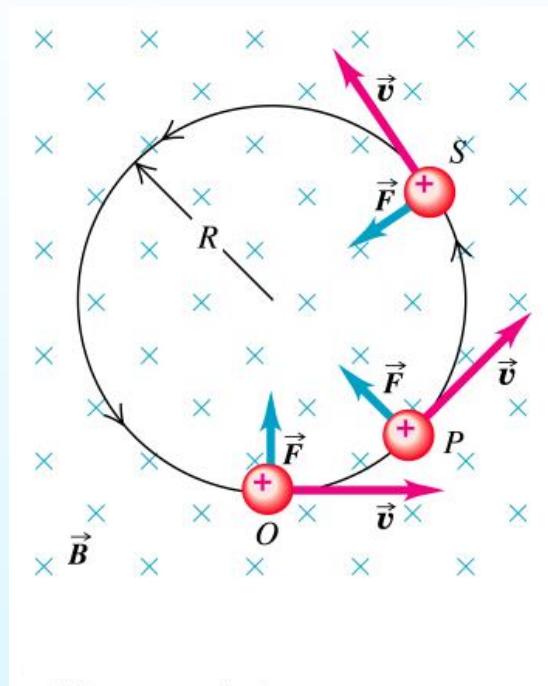
FUERZA DE LORENTZ



# Movimiento de cargas en campos magnéticos

Caso A:  $\vec{B}$  uniforme,  $\vec{v} \perp \vec{B}$

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



$\vec{F}_B \perp \vec{v} \Rightarrow |\vec{v}|$  no varía

$\vec{B}$  uniforme  $\Rightarrow |\vec{F}_B|$  constante

$\Rightarrow$  **Mov. Circular Uniforme (M.C.U.)**

$$\vec{F}_C = m \vec{a}_C \quad \vec{F}_B = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

aceleración centrípeta:  $|\vec{a}_C| = \frac{v^2}{r}$

radio de giro

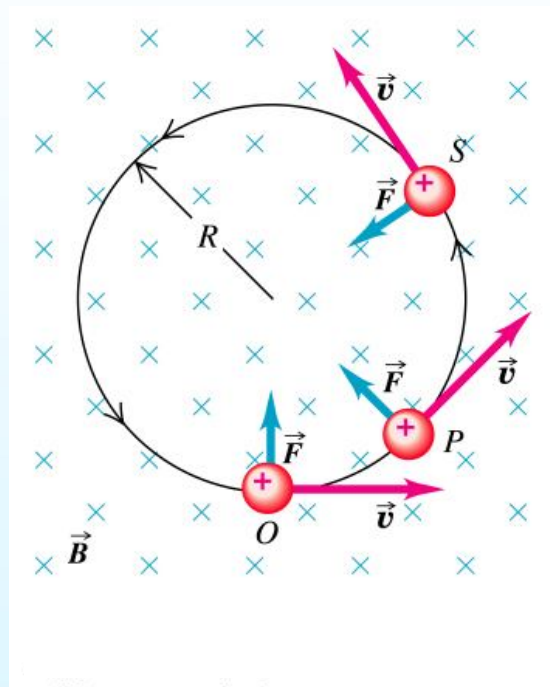
Campo que entra  $\times$   
Campo que sale  $\bullet$

$$|\vec{F}_C| = |\vec{F}_B| ; m \frac{v^2}{r} = q |\vec{v}| |\vec{B}| \Rightarrow$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

Caso A:  $\vec{B}$  uniforme,  $\vec{v} \perp \vec{B}$



Campo que entra  $\times$   
Campo que sale  $\bullet$

**Mov. Circular Uniforme (M.C.U.)**

radio de giro  $r = \frac{mv}{qB}$

período de giro  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \frac{mv}{qB}$   $T = \frac{2\pi m}{qB}$

frecuencia  $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$

frec. angular (FRECUENCIA CICLOTRÓNICA)

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

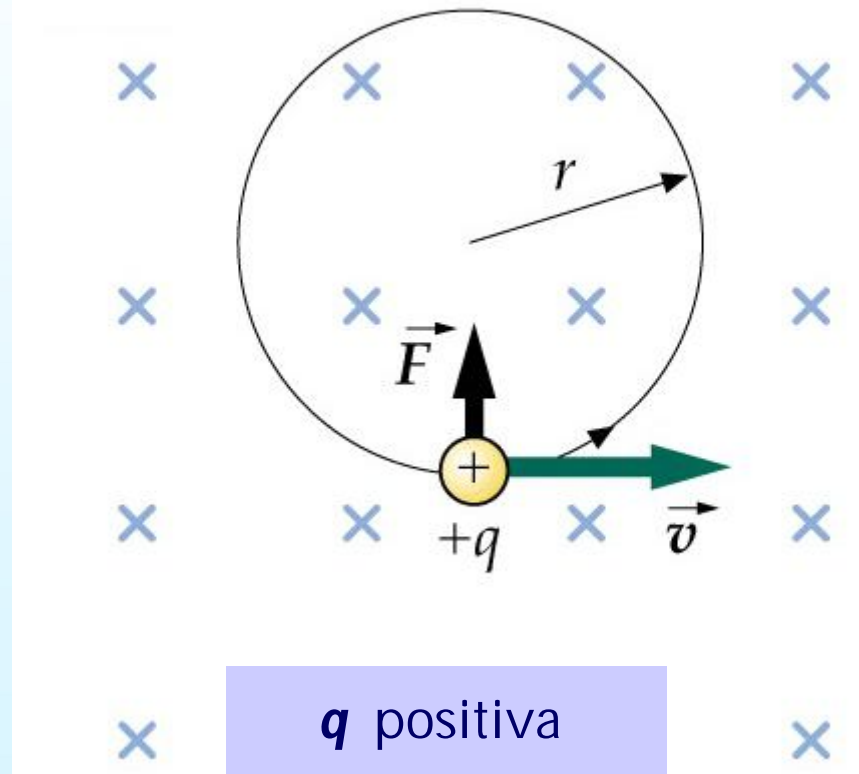
$$\vec{\omega} = -\frac{q}{m} \vec{B}$$

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## FRECUENCIA CICLOTRÓNICA

$$\vec{\omega} = -\frac{q}{m} \vec{B}$$

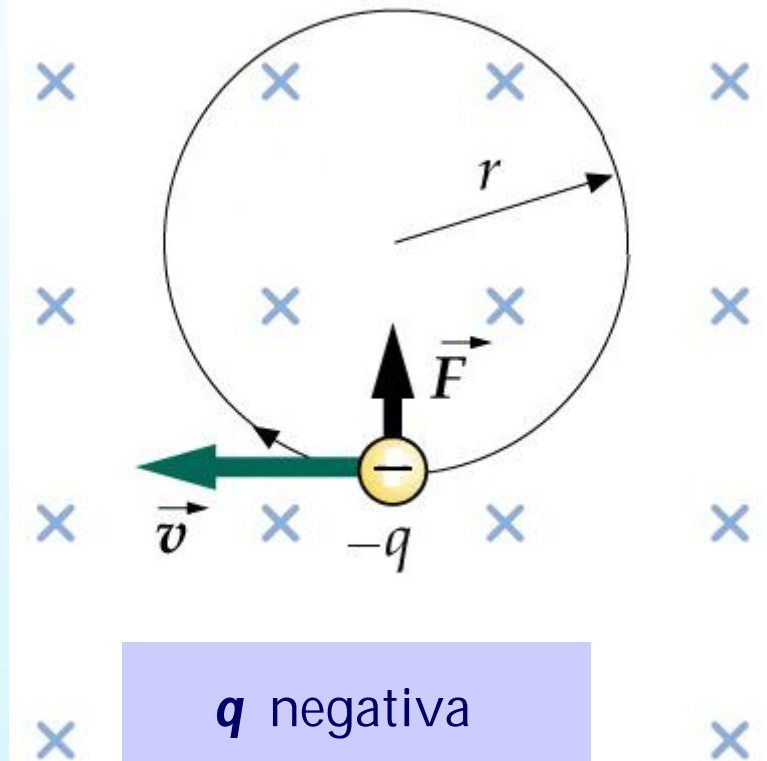
$\vec{B}$  hacia dentro



$q$  positiva

$\omega$  hacia fuera

$\vec{B}$  hacia dentro



$q$  negativa

$\omega$  hacia dentro

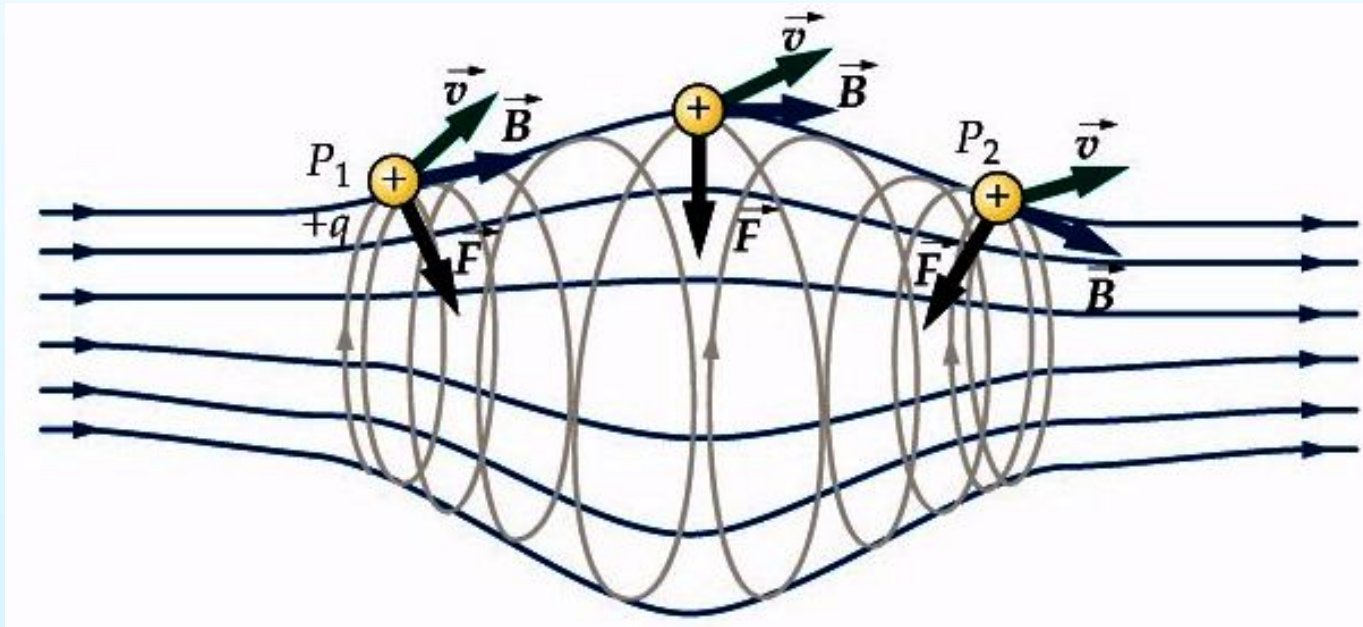
$$p = v_{\parallel} T = v_{\parallel} \frac{2\pi m}{qB}$$

# Movimiento de cargas en campos magnéticos

Caso C:  $\vec{B}$  no uniforme,  $\vec{v} \not\perp \vec{B}$

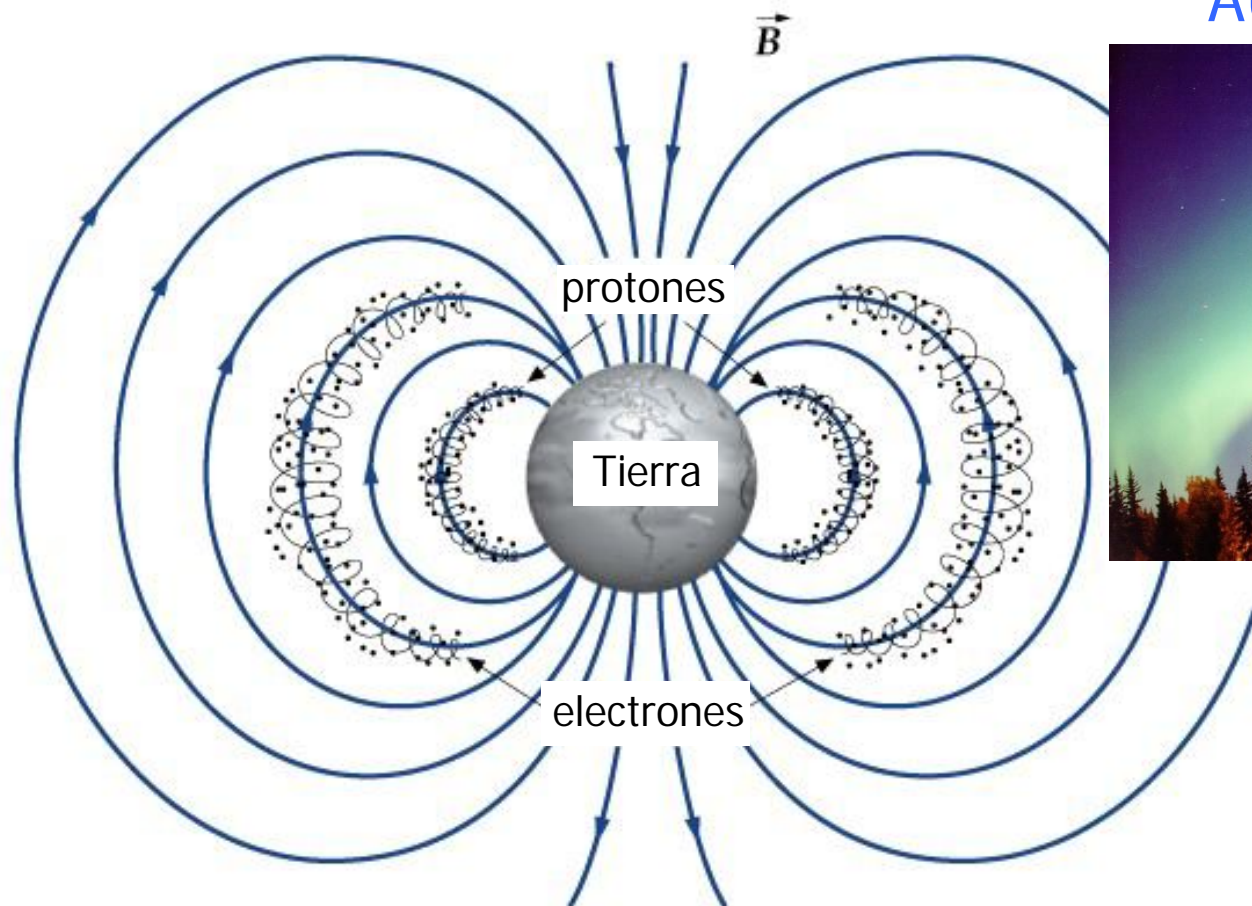
- radio de giro y paso de hélice variables
- fuerza magnética perpendicular a la línea de campo  $B$ : la componente de la velocidad paralela al campo  $B$  puede variar.

**Botella magnética**: confina partículas cargadas (plasma)



# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## Cinturón de Van Allen



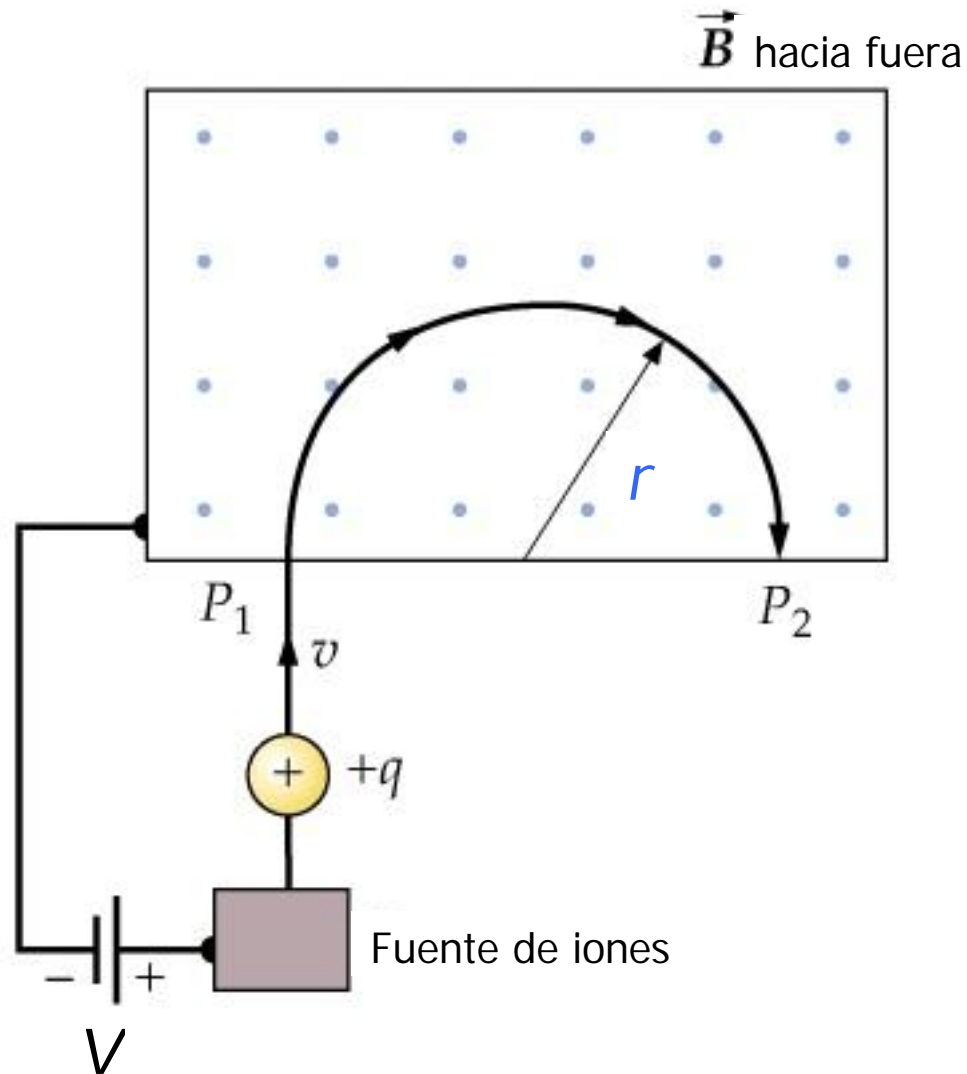
## AURORA BOREAL





# Movimiento de cargas en campos magnéticos

## ESPECTRÓMETRO DE MASAS



Energía cinética:

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \rightarrow v^2 = \frac{2qV}{m}$$

Radio:

$$r = \frac{mv}{qB} \rightarrow v^2 = \frac{r^2 q^2 B^2}{m^2}$$

Relación  $q/m$ :  $\frac{q}{m} = \frac{2V}{r^2 B^2}$

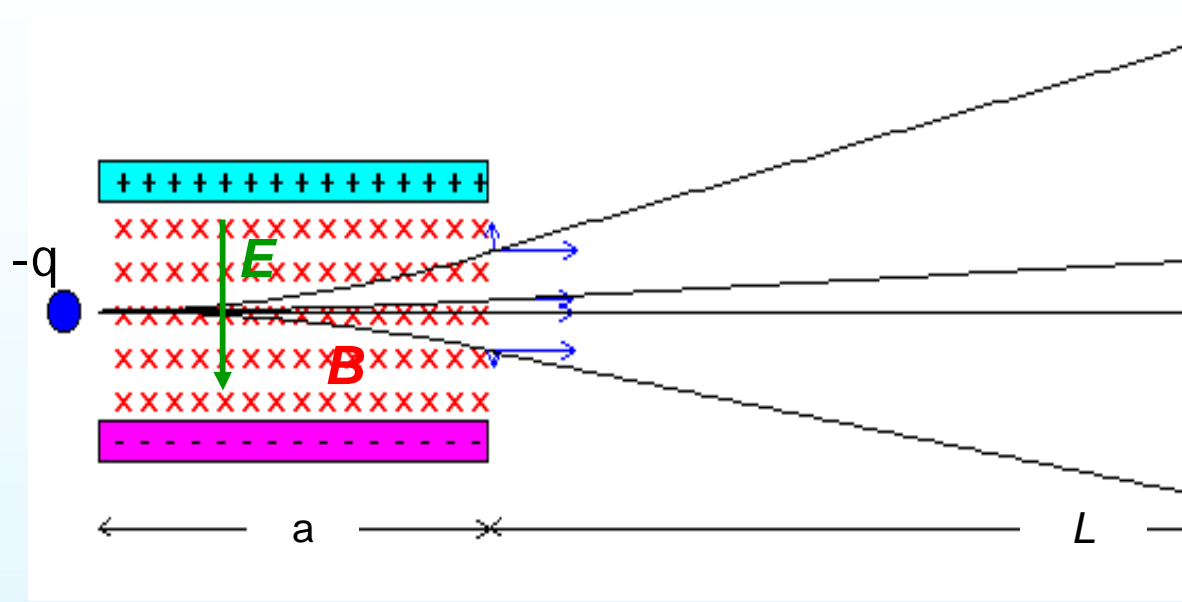
Masa de una partícula:  $m = \frac{qr^2 B^2}{2V}$

podemos diferenciar entre isótopos de un mismo elemento



# Movimiento de cargas en campos magnéticos

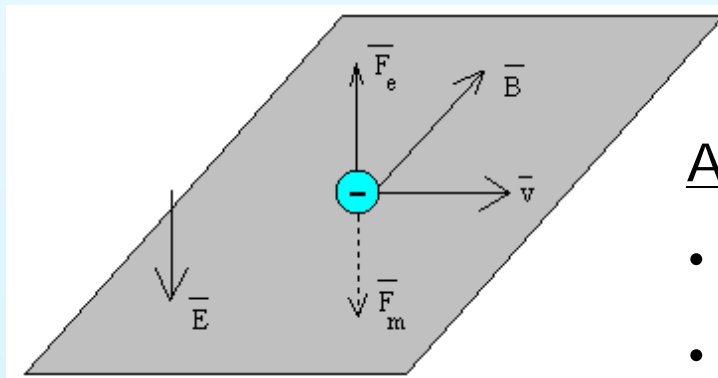
## SELECTOR DE VELOCIDADES



las partículas que no se desvían:

$$|\vec{F}_E| = |\vec{F}_B|$$

$$v = \frac{E}{B}$$



### Aplicaciones:

- medir la velocidad de una partícula
- seleccionar partículas de una determinada velocidad