FUERZA de Lorentz. Fuerza magnética

Fuerza magnética sobre una carga

- La fuerza es proporcional a la carga, a la velocidad y al módulo del campo magnético

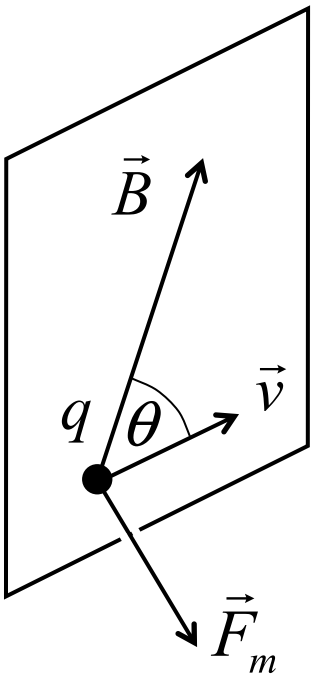
$$F_m \propto q \quad F_m \propto B$$
$$F_m \propto v$$

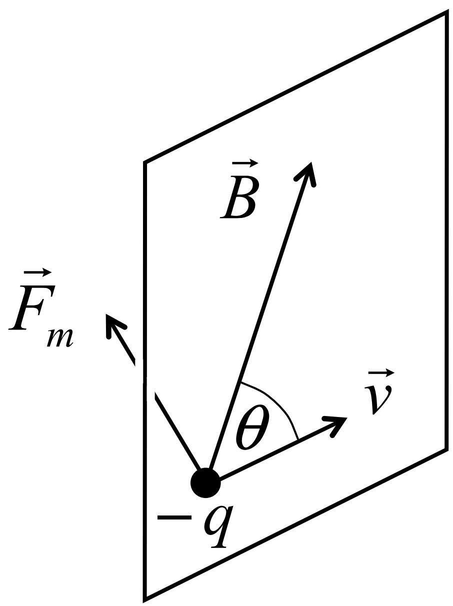
- La dirección de la fuerza es perpendicular a la dirección de movimiento de la carga y a la dirección del campo magnético

$$\vec{F}_m \perp \begin{cases} \vec{v} \\ \vec{B} \end{cases}$$

- El módulo de la fuerza depende de la posición relativa entre la velocidad y el campo magnético

$$\vec{v} \,//\, \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_m = 0 \qquad \vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_m \; máxima$$





- La fuerza sobre una carga positiva es opuesta a la de una carga negativa

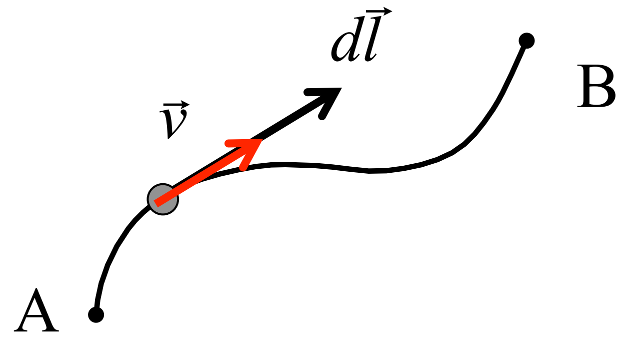
$$\boxed{\vec{F}_m = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)}$$

Fuerza de Lorentz

$$[B] = \frac{[F]}{[q][v]} = \frac{N}{C\, m/s} = \frac{N}{Am} = T\,(tesla)$$

Diferencias entre fuerza eléctrica y magnética

$$\vec{F}_e = q\,\vec{E}$$



$$\vec{F}_m = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_e \,//\, \vec{E}$$

Fuerza eléctrica independiente de la velocidad

El trabajo de una fuerza eléctrica es no nulo

$$W_e = \int_A^B \vec{F}_e \cdot d\vec{l} = \int_{t_A}^{t_B} \vec{F}_e \cdot \vec{v}\; dt \neq 0$$

$$d\vec{l} = \vec{v}\; dt$$

La energía cinética de la carga puede cambiar

$$\vec{F}_m \perp \vec{B}$$

Fuerza magnética actúa sólo cuando una carga se mueve

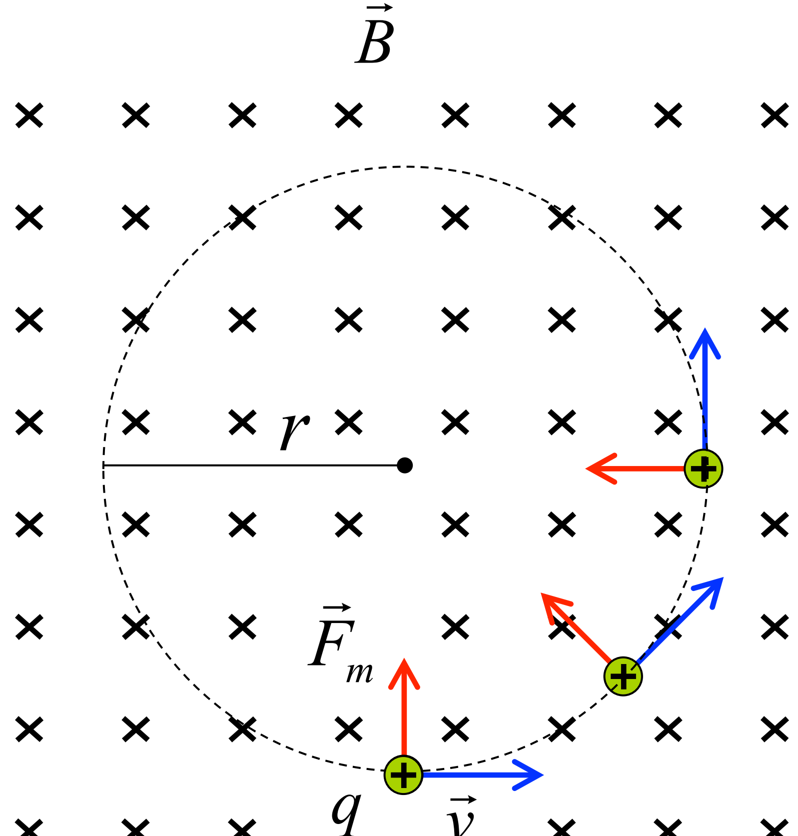
El trabajo de una fuerza magnética es nulo

$$W_m = \int_A^B \vec{F}_m \cdot d\vec{l} = \int_{t_A}^{t_B} \vec{F}_m \cdot \vec{v}\; dt = 0$$

$$d\vec{l} = \vec{v}\; dt$$

La energía cinética de la carga NO puede cambiar

Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético



× Campo entrante

● Campo saliente

$$\vec{F}_m = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$$

$$\vec{F}_m = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right) = m\,\vec{a}$$

Considerando los módulos de las fuerzas

$$|q|\; v\, B = m\, a$$

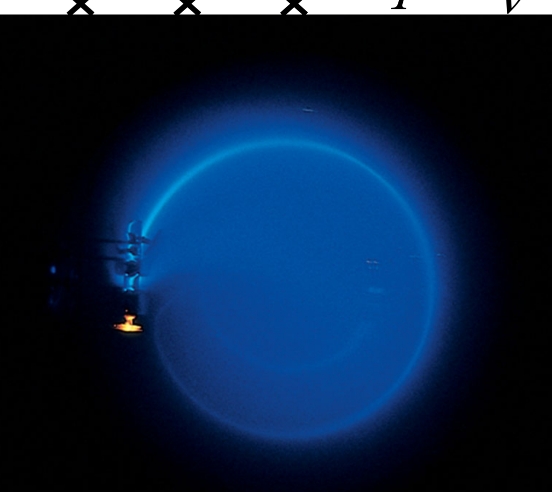
Al describir un movimiento circular, la aceleración es

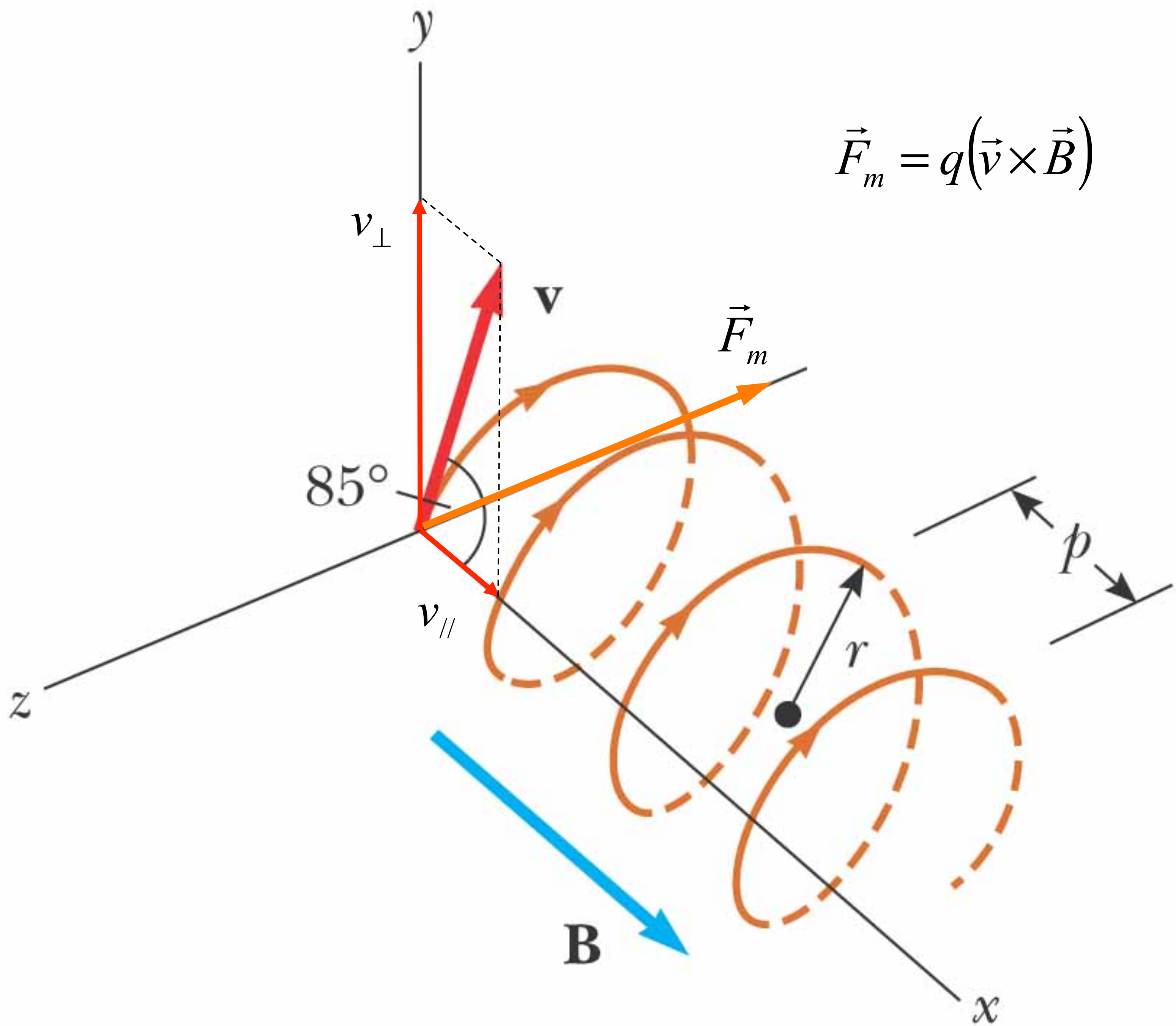
$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{|q|\; B}{m}$$

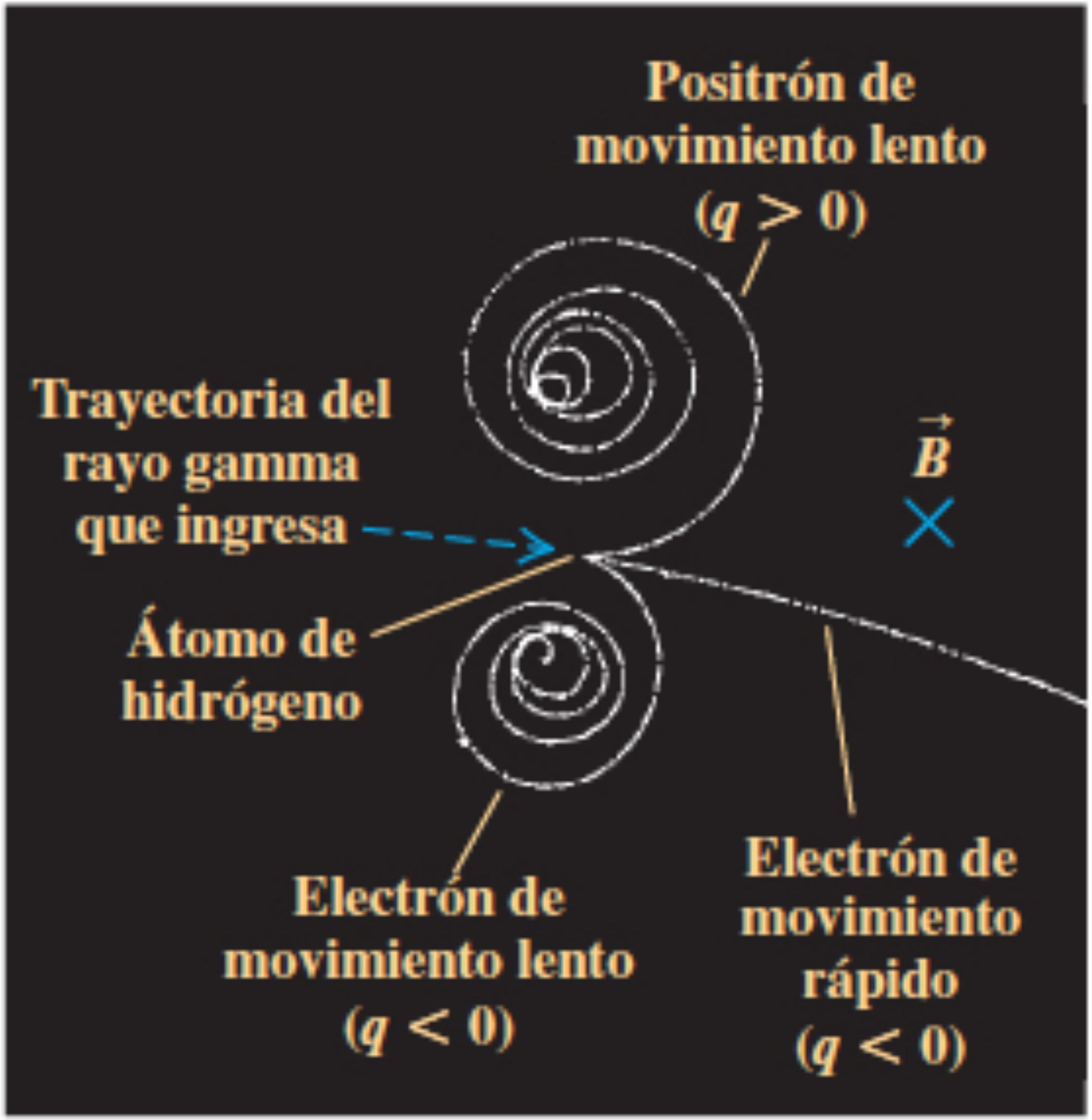
$$\boxed{r = \frac{m\, v}{|q|\; B}}$$

$$\boxed{\tau = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi\, m}{|q|\; B}}$$

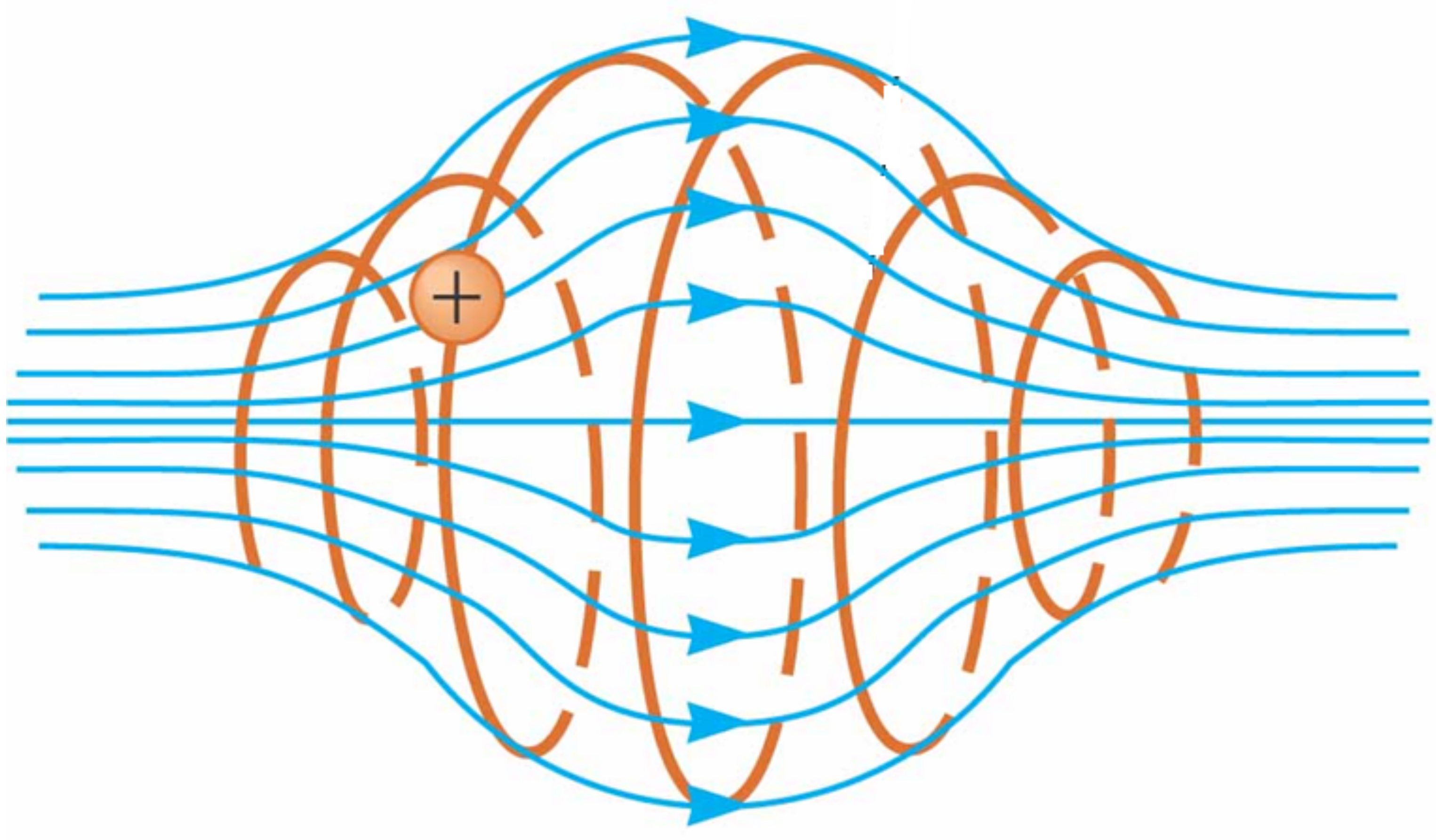




y
$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$
$v_\perp$
v
$\vec{F}_m$
85°
p
r
$v_{//}$
z
B
x

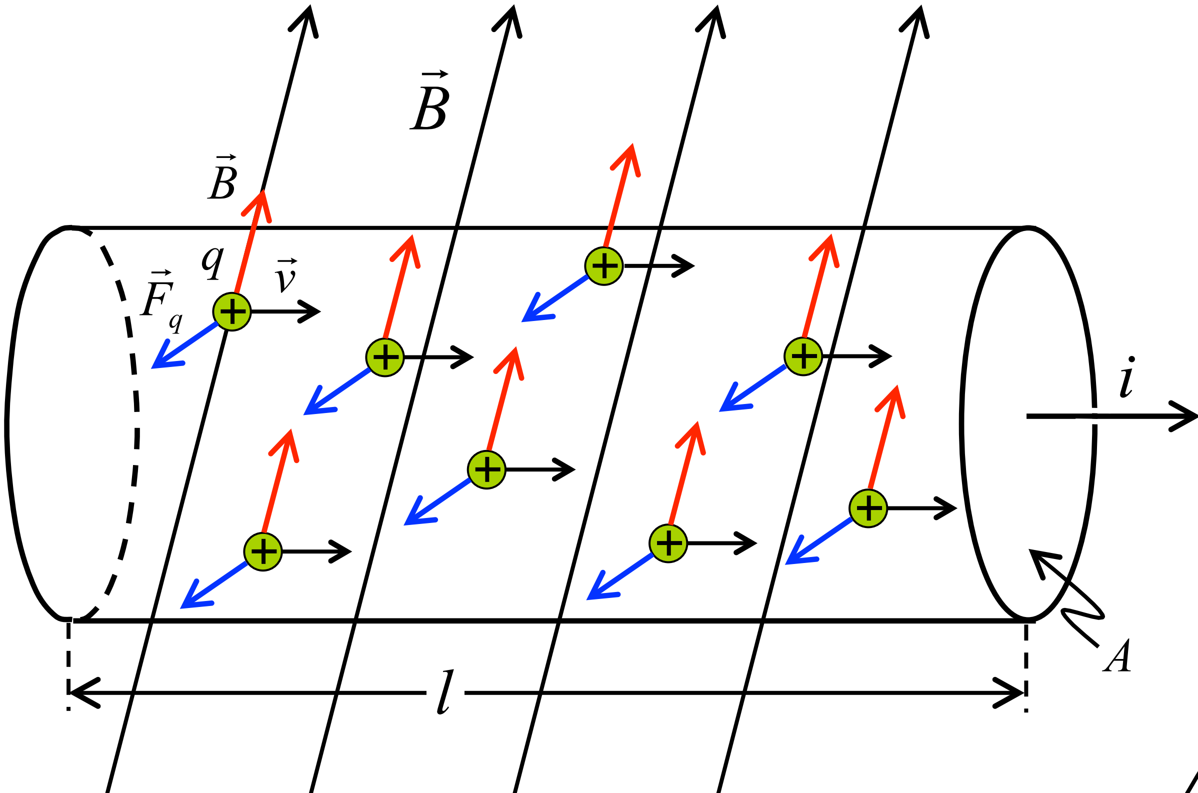

Positrón de
movimiento lento
($q > 0$)
Trayectoria del
rayo gamma
que ingresa
$\vec{B}$
Átomo de
hidrógeno
Electrón de
movimiento lento
($q < 0$)
Electrón de
movimiento
rápido
($q < 0$)

¿Qué ocurre si el campo magnético no es uniforme?



Fuerza magnética

Fuerza magnética sobre un conductor rectilíneo con corriente



$$\vec{F}_q = q\,(\vec{v} \times \vec{B})$$

Fuerza total

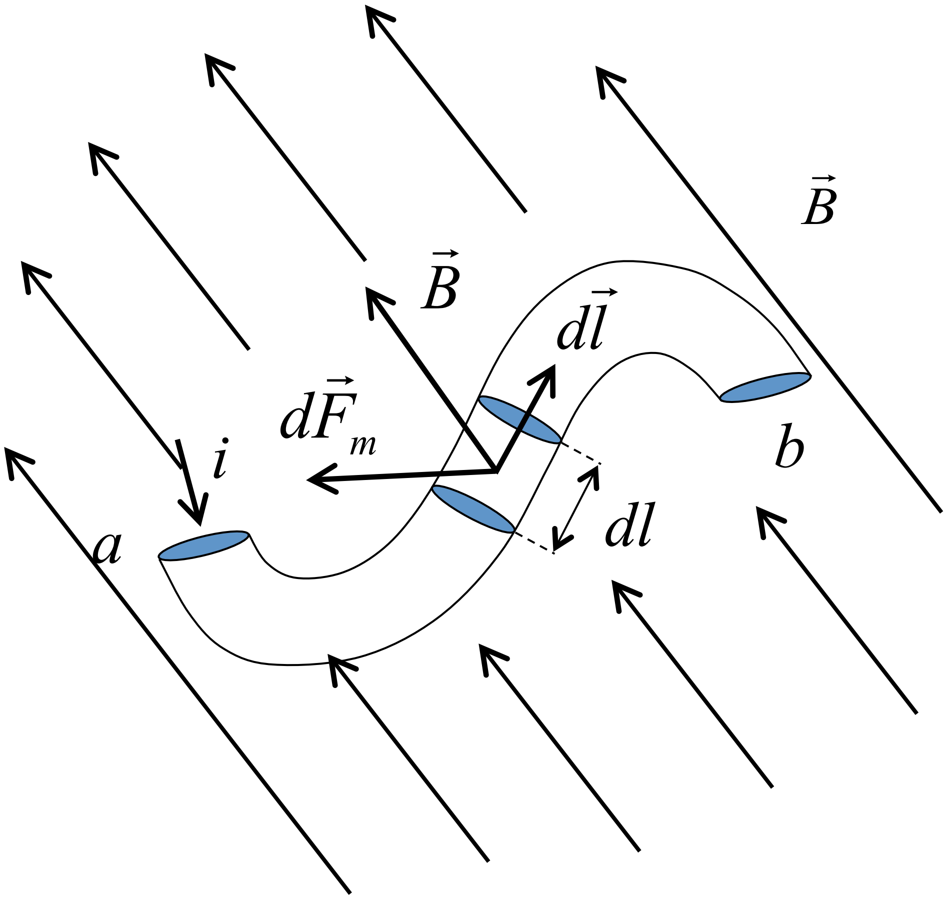
$$\vec{F}_m = \sum_q \vec{F}_q = N\vec{F}_q$$

$$N = n\,A\,l$$ Cantidad de cargas

$$\vec{F}_m = (nAl)\,q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow \vec{F}_m = \underbrace{(n\,q\,v\,A)}_{i}\left[\overbrace{(\hat{v}l)}^{\vec{l}} \times \vec{B}\right]$$

$$\vec{F}_m = i\,(\vec{l} \times \vec{B})$$

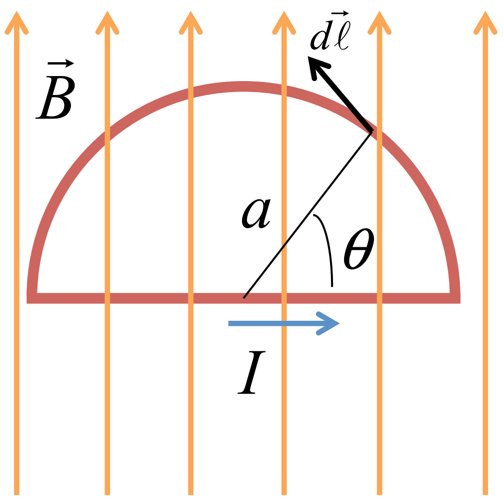
Fuerza magnética sobre un conductor con corriente



$$d\vec{F}_m = i\,(d\vec{l} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_m = \int_a^b i(d\vec{l} \times \vec{B})$$

Ejemplo: calcular la fuerza magnética sobre el conductor en presencia de un campo magnético



Sobre la parte recta la fuerza es saliente

$$\vec{F}_1 = i\left(\vec{l} \times \vec{B}\right) \qquad \left|\vec{F}_1\right| = 2aI\left|\vec{B}\right|$$

Sobre la parte curva la fuerza es entrante

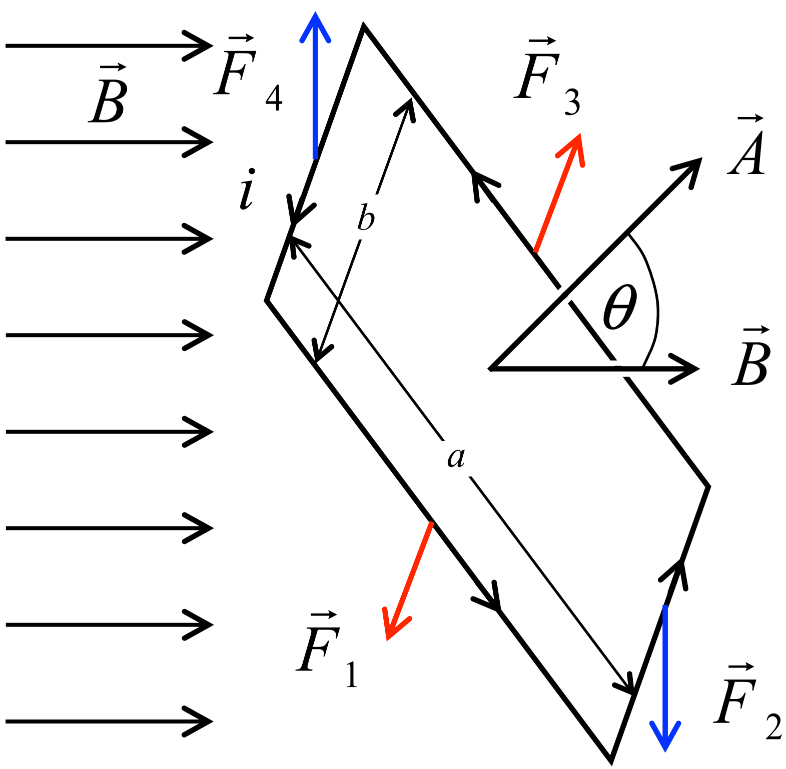
$$d\vec{F}_2 = I\,(d\vec{l} \times \vec{B}) \qquad \left|d\vec{F}_2\right| = I\left|d\vec{l}\right|\left|\vec{B}\right|\sin\theta$$

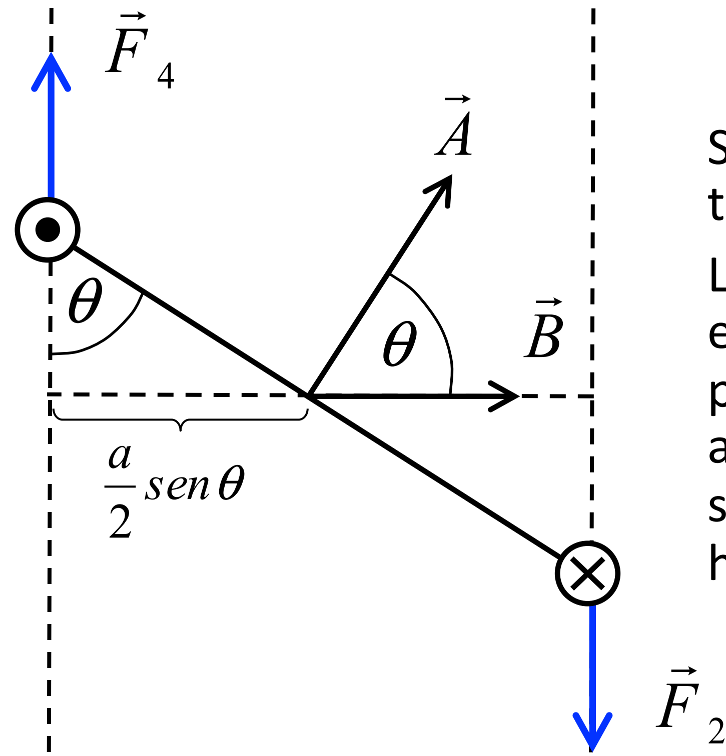
$$\left|\vec{F}_2\right| = \int I\left|\vec{B}\right|\sin\theta\, dl = \int_0^{\pi} aI\left|\vec{B}\right|\sin\theta\, d\theta$$

$$= 2aI\left|\vec{B}\right|$$

Sobre todo el conductor $\quad \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

Fuerzas sobre una espira de corriente





Se genera un torque

La espira rota en un eje perpendicular a la hoja en sentido horario

$$F_2 = F_4 = i\, b\, \mathrm{B}$$

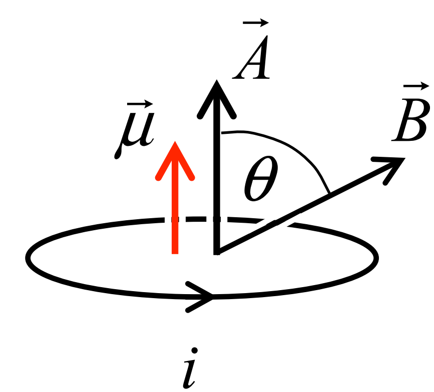
$$\vec{F}_m = i(\vec{l} \times \vec{B})$$

$$\begin{cases} \vec{F}_1 - \vec{F}_3 = 0 \\ \vec{F}_2 - \vec{F}_4 = 0 \end{cases}$$

$$\tau = iBA\,sen\,\theta \Rightarrow \vec{\tau} = i\left(\vec{A} \times \vec{B}\right)$$

$$\vec{\mu} = i\,\vec{A} \Rightarrow \boxed{\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}}$$

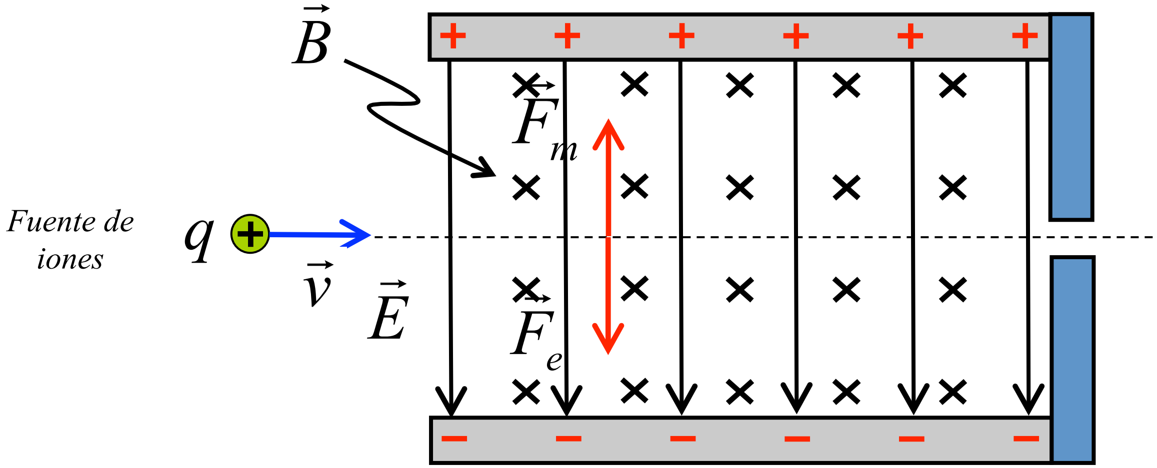
Momento magnético dipolar



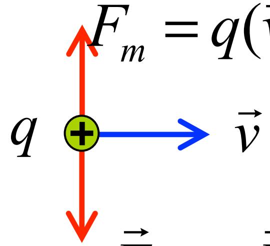
Aplicaciones

Selector de velocidades

En muchos experimentos con partículas cargadas es importante que todas posean la misma velocidad



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



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

$$\vec{F}_e + \vec{F}_m = 0$$

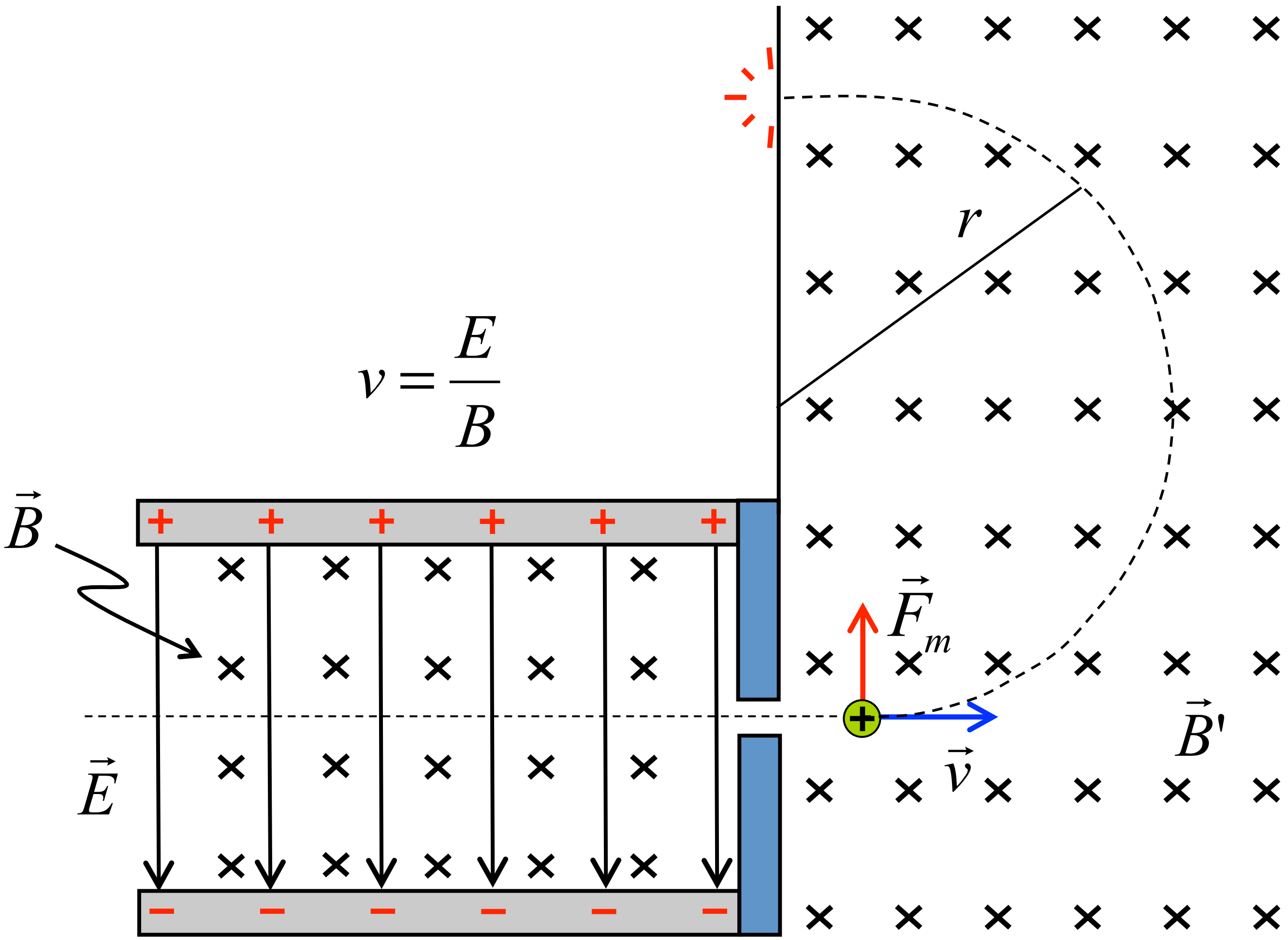
$$\vec{F}_e = -\vec{F}_m$$

$$F_e = F_m$$

$$q\,E = q\,vB$$

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

Espectrómetro de masas



$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}')$$

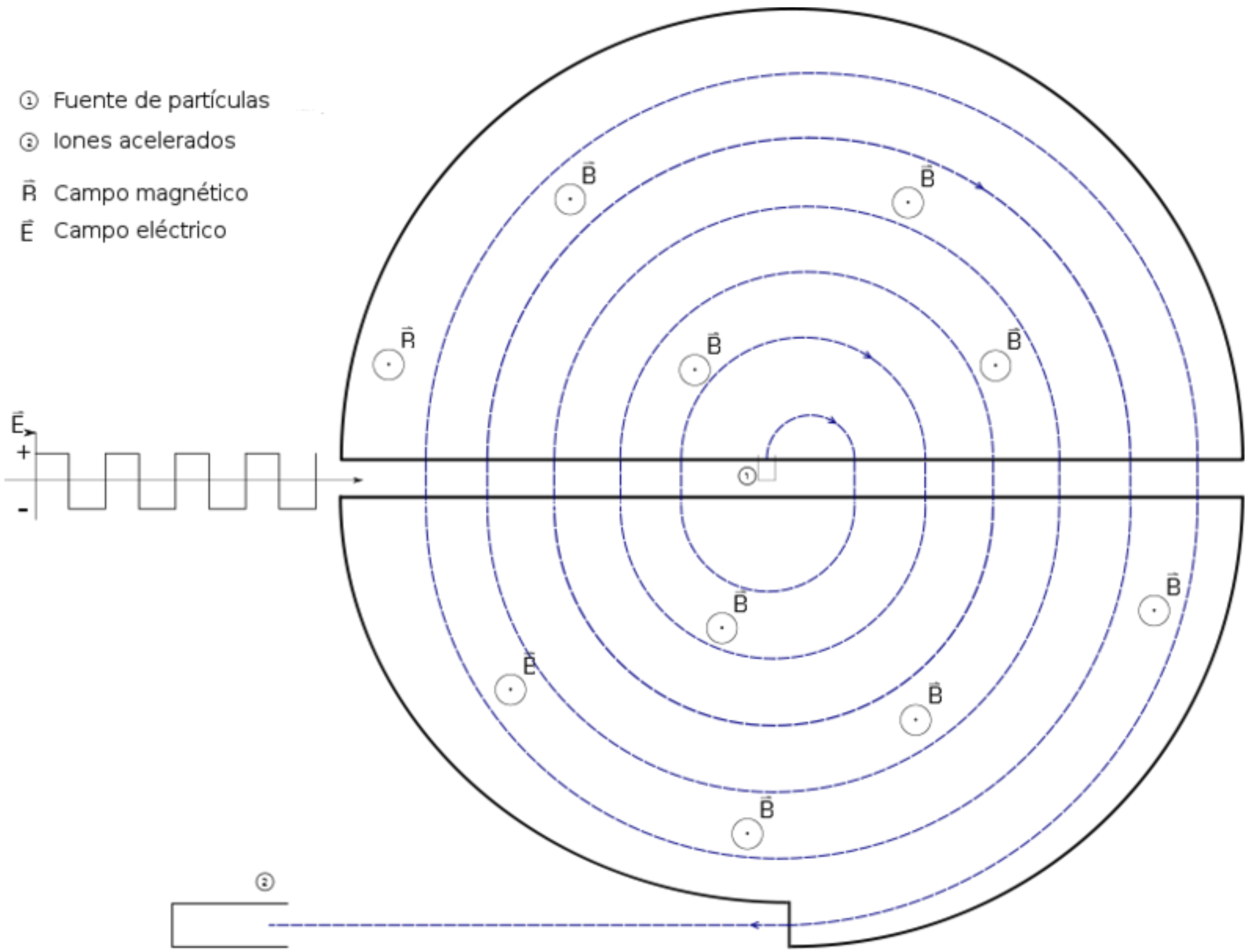
$$q\ v\ B' = m\ a$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{m\ v}{q\ B'}$$

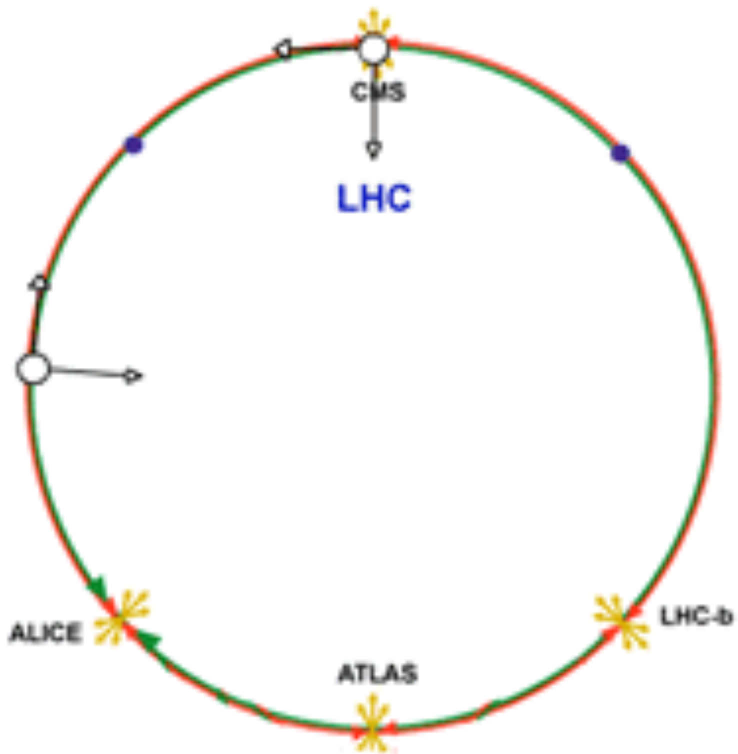
$$\frac{m}{q} = \left(\frac{BB'}{E}\right) r$$

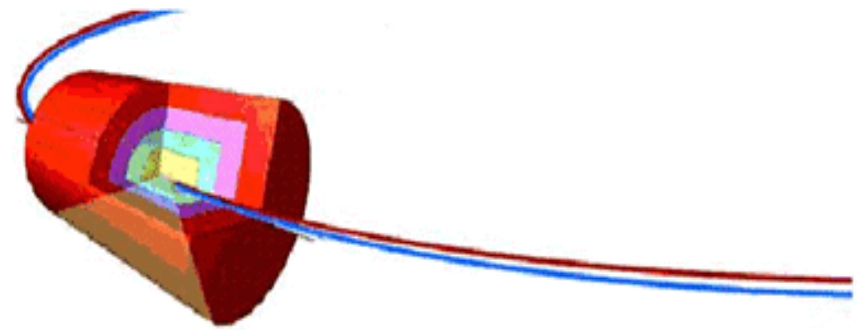
Ciclotrón



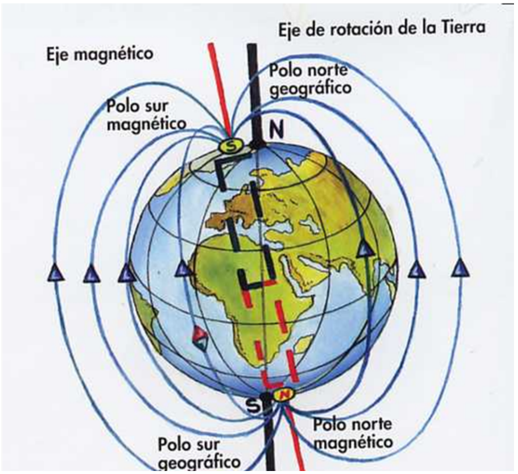
Fuente de partículas
Iones acelerados
Campo magnético
Campo eléctrico
E
+
-
B
R

Sincrotrón

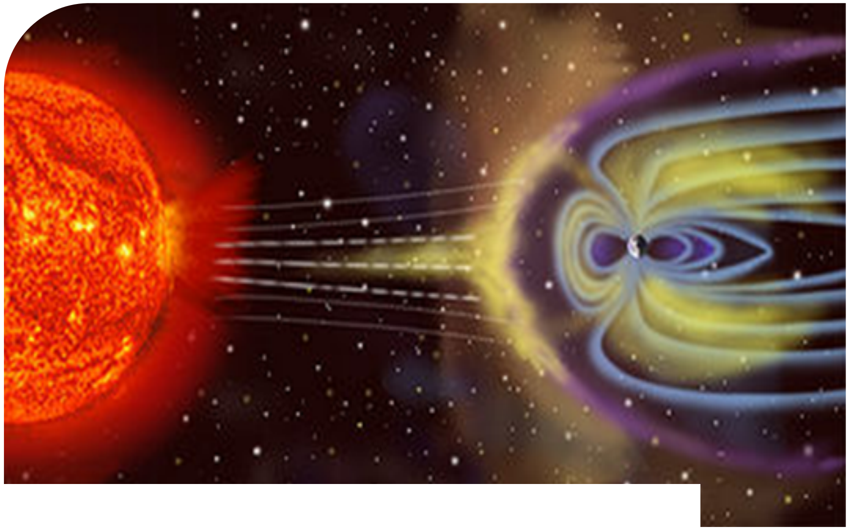




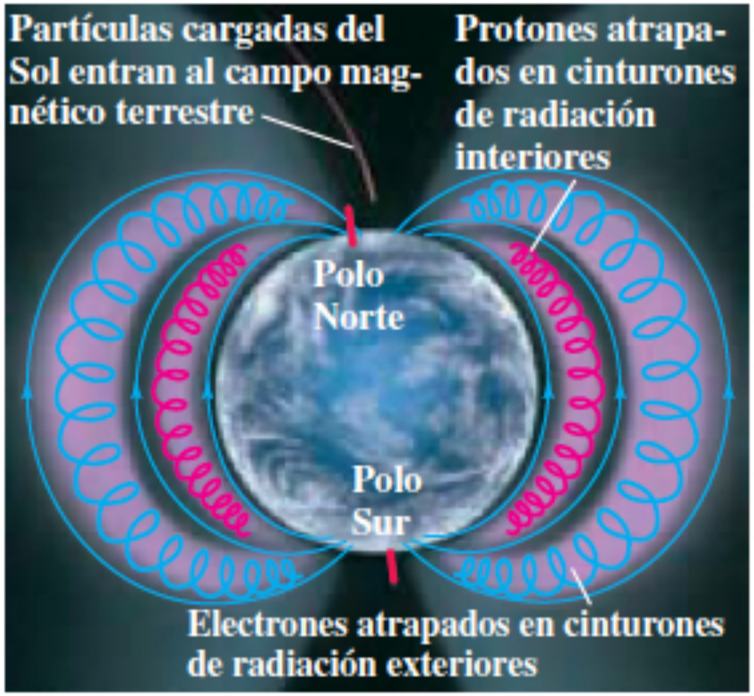
Campo magnético terrestre



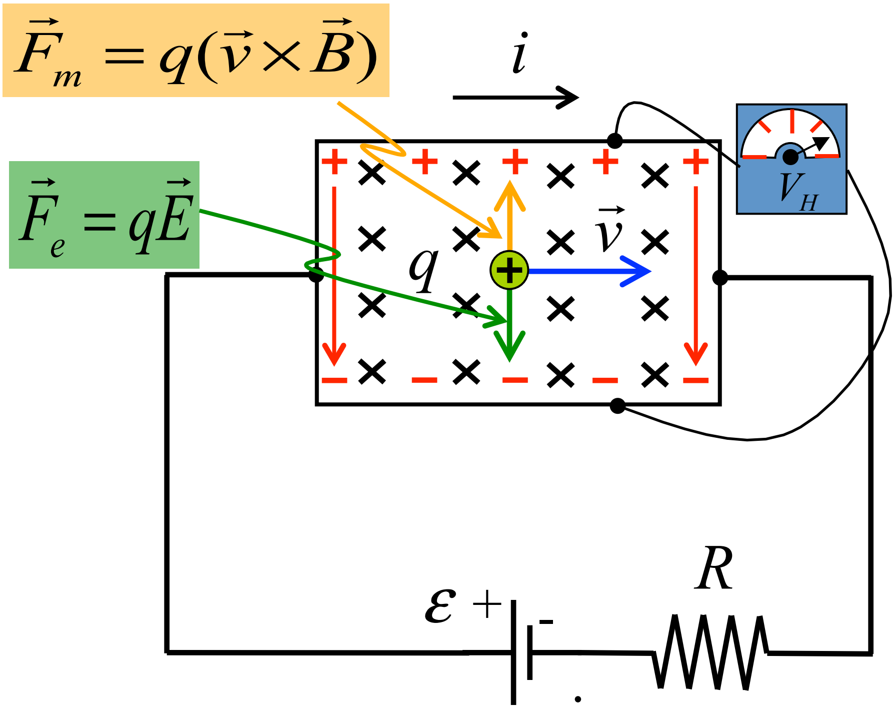
a)

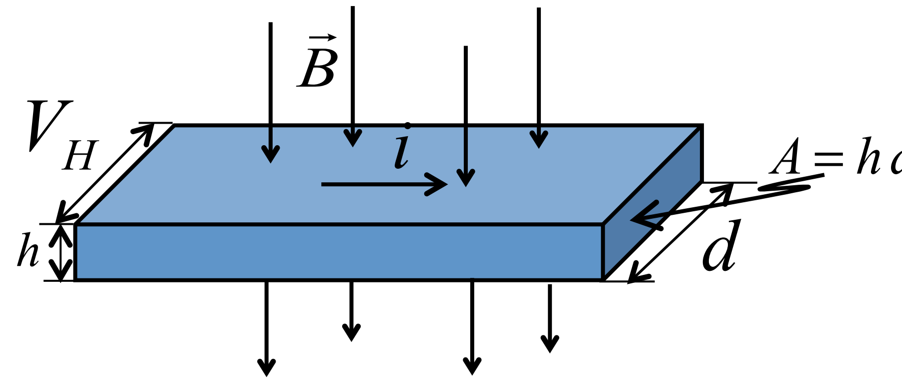


b)



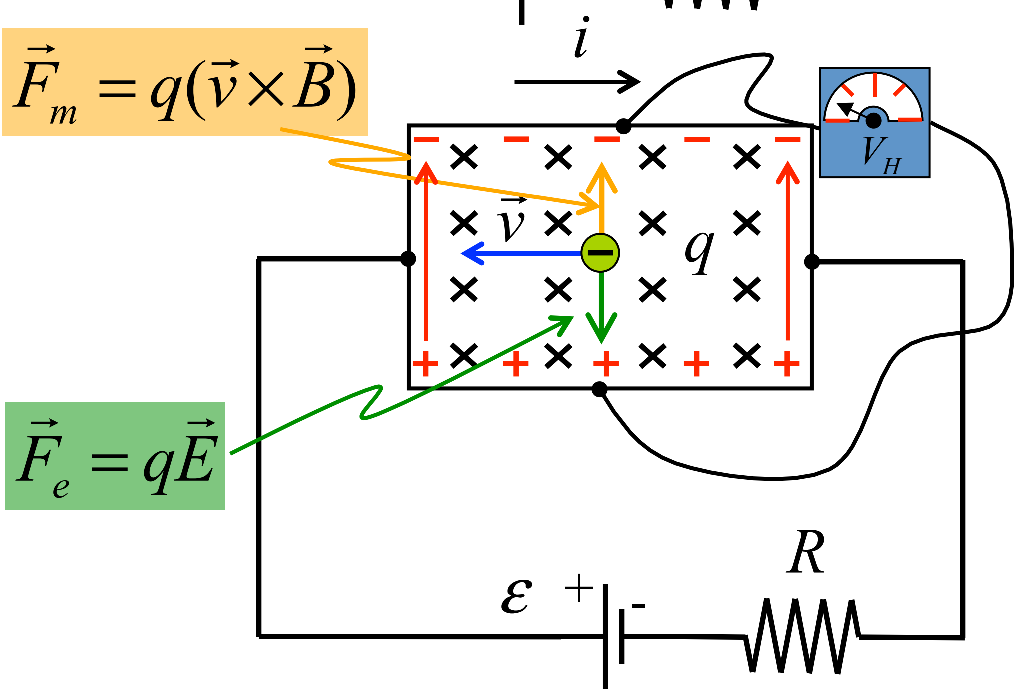
Efecto Hall





$$F_e = F_m \longrightarrow q\,E = q\,vB \longrightarrow E = v\,B$$

$$V_H = E\,d = v\,d\,B$$



Medir el signo del potencial de Hall da el signo de los portadores de carga

En un conductor metálico la parte superior está a menor potencial que la inferior, los portadores llevan cargas negativas

Al medir el valor del voltaje de Hall para una cinta de un tamaño conocido, por la cual circula una corriente conocida, sumergida en una región con campo magnético, se determinar el número de portadores de carga por unidad de volumen de la cinta.

$$I = n\, q\, v\, A$$

$$n = \frac{I\, B}{q\, h V_H}$$

$$V_H = E\, d = v\, d\, B$$