Instituto Tecnológico Metropolitano ITM

6.2 Fuerza sobre una carga en movimiento

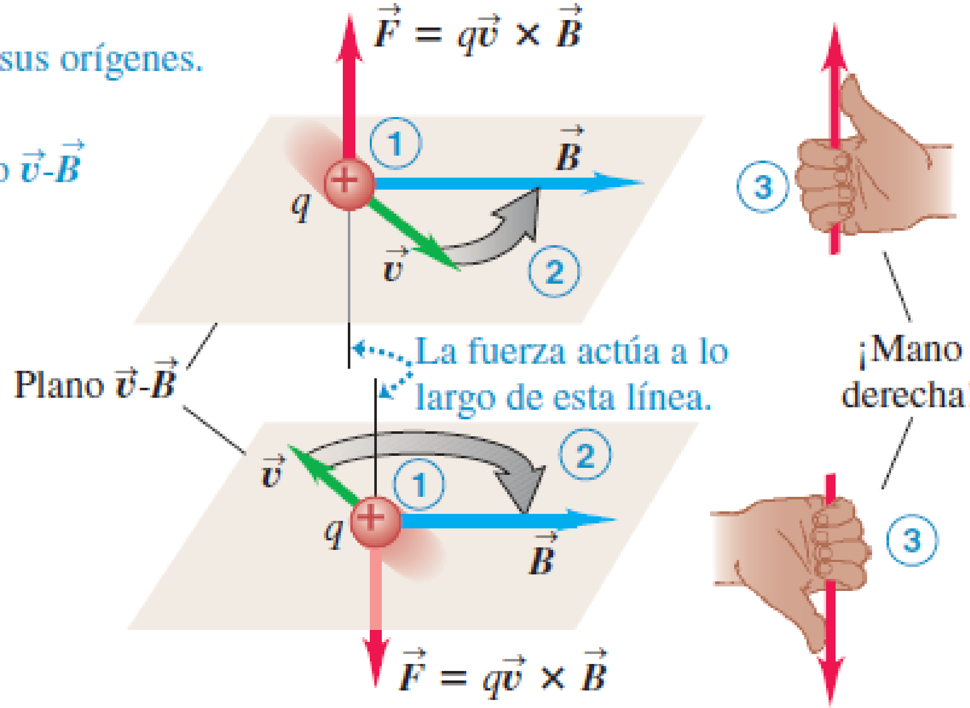
El **campo magnético:** es una propiedad del espacio por la cual una carga eléctrica puntual de valor *q* que se desplaza a una velocidad, sufre los efectos de una fuerza perpendicular y proporcional a la velocidad, y a una propiedad del campo, llamada inducción magnética, en ese punto:

$$F = q\, v \times B$$

a)

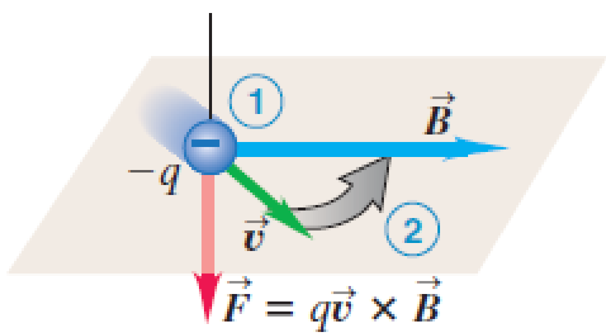
Regla de la mano derecha para la dirección de la fuerza magnética sobre una carga **positiva** que se mueve en un campo magnético:

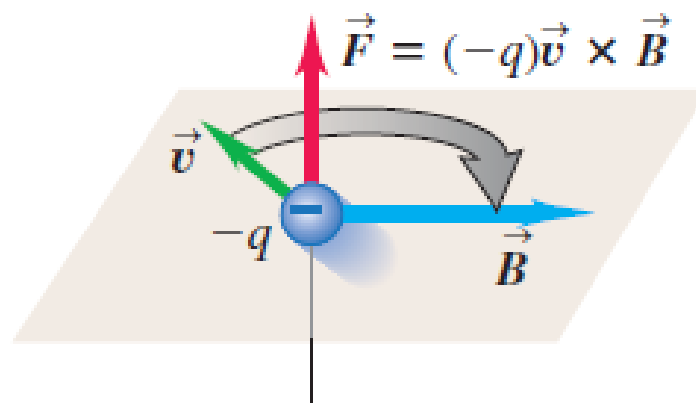
1. Coloque los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$ unidos en sus orígenes.
2. Imagine que gira $\vec{v}$ hacia $\vec{B}$ en el plano $\vec{v}$-$\vec{B}$ (en el menor ángulo).
3. La fuerza actúa a lo largo de una línea perpendicular al plano $\vec{v}$-$\vec{B}$. Enrolle los dedos de su mano derecha en torno a esta línea en la misma dirección que giró a $\vec{v}$. Ahora, su pulgar apunta en la dirección que actúa la fuerza.



b)

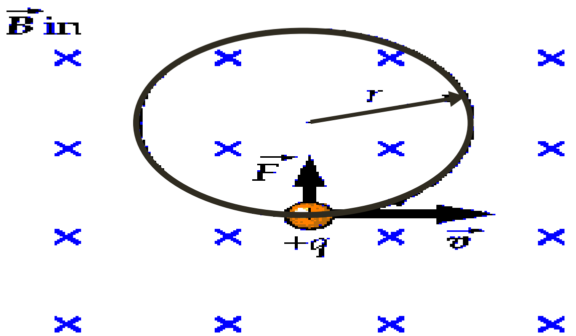
Si la carga es negativa, la dirección de la fuerza es *opuesta* a la que da la regla de la mano derecha.





6.3 Movimiento de cargas en un campo magnético

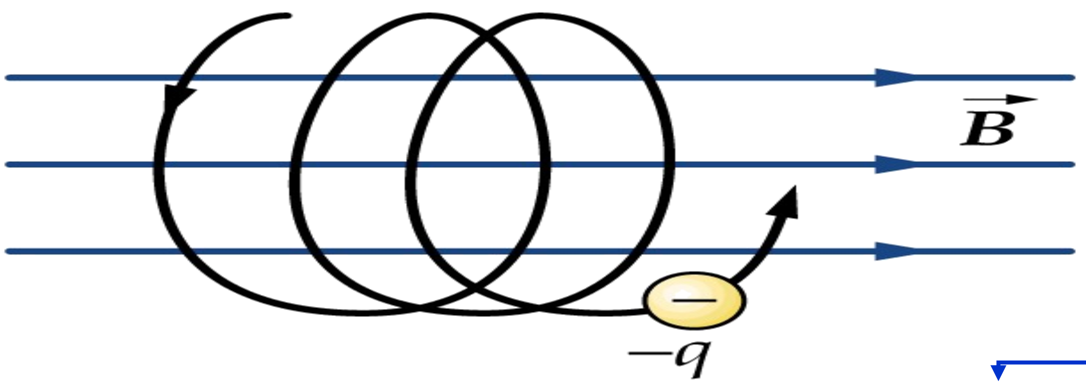
Ejemplo 1 Partícula cargada que incide en dirección perpendicular al campo magnético. Como esta fuerza es constante, produce un movimiento de trayectoria circular.



Frecuencia de ciclotrón

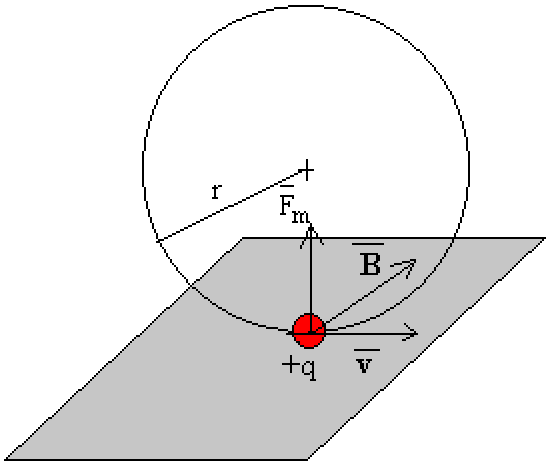
$$\boxed{\omega = \frac{q\,B}{m}}$$

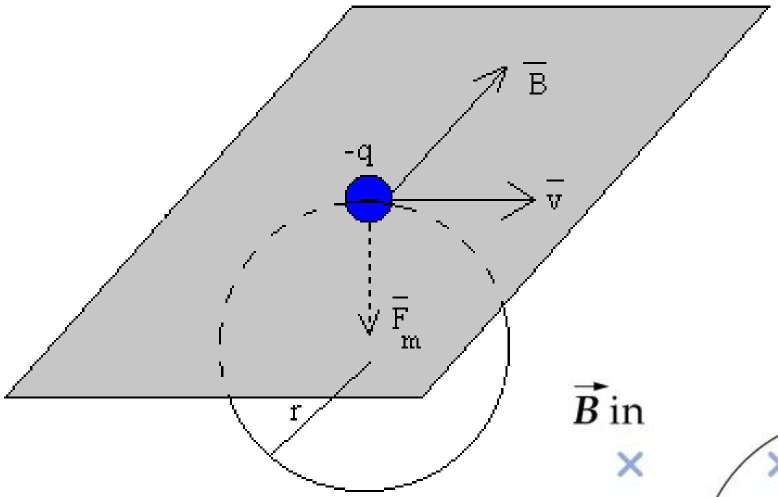
Si la partícula cargada que posee una componente de la velocidad paralela al campo magnético y otra perpendicular.

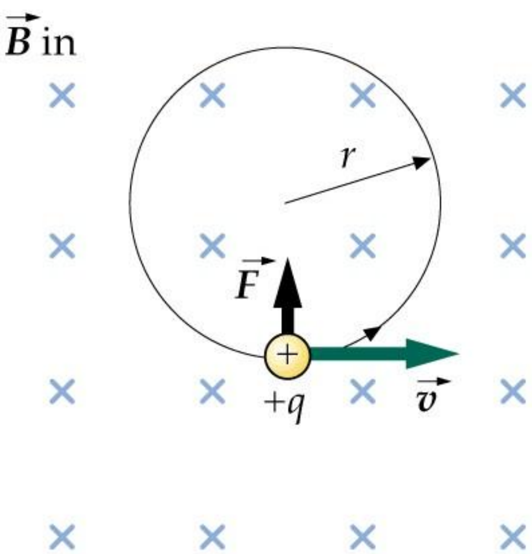


Trayectoria helicoidal

Una partícula cargada describe órbita circular en un campo magnético uniforme. El radio de dicha órbita, se obtiene a partir de la ecuación de la dinámica del movimiento circular uniforme: fuerza igual a masa por aceleración normal







$$F_m = m\frac{v^2}{r} \qquad qvB = m\frac{v^2}{r} \qquad r = \frac{mv}{qB}$$

Relaciones cinemáticas $a = r\omega^2$

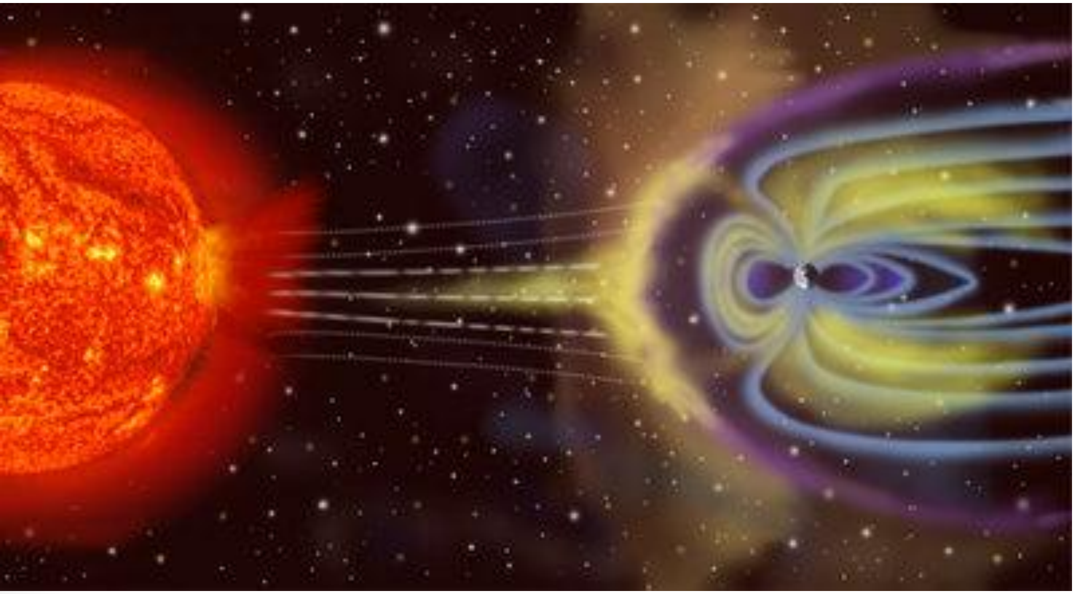
v= $r\ \omega$

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

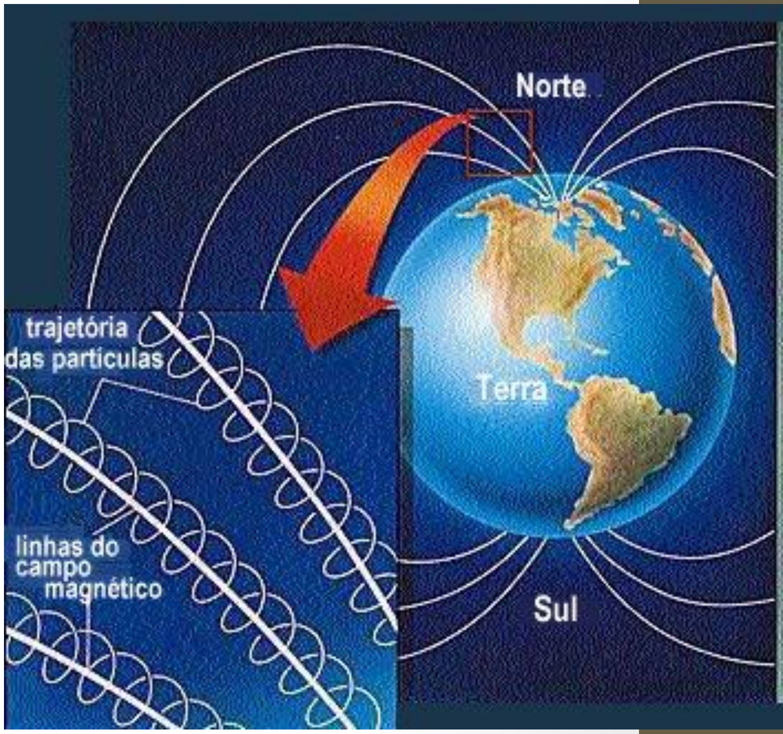
Frecuencia de Ciclotrón

El campo magnético terrestre nos protege del VIENTO SOLAR, haciendo desviar hacia los polos las partículas cargadas procedentes del sol. Una vez allí, al penetrar en la atmósfera, ionizan los gases de esas zonas polares, produciendo las AURORAS BOREALES y AUSTRALES.

Este fenómeno NO es exclusivo de la Tierra, y han podido observarse auroras en la atmósfera de otros planetas como Júpiter o Saturno.



Magnetosfera

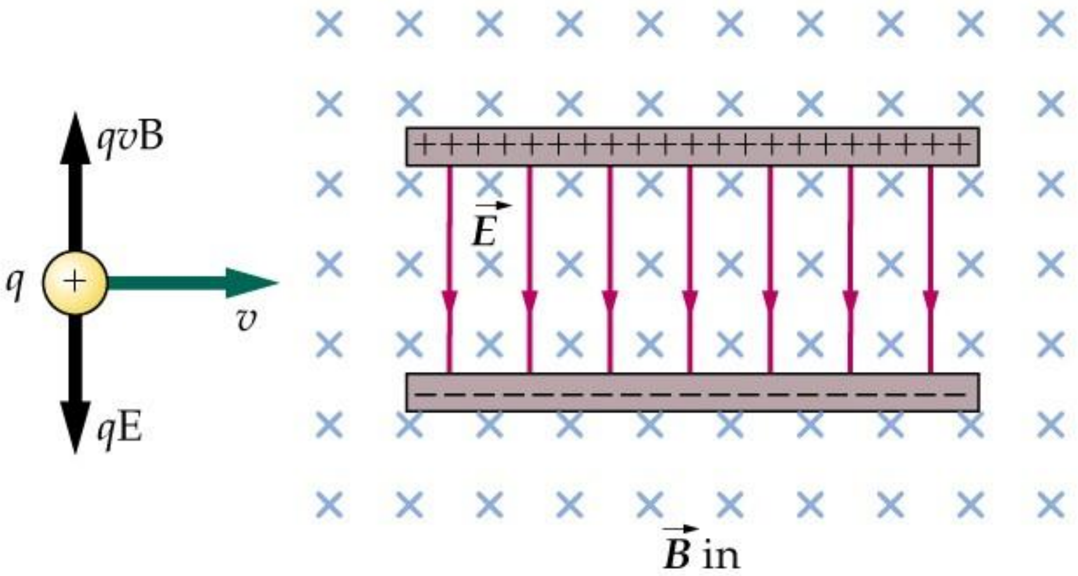


Algunas auroras

Aurora vista desde el espacio exterior

Ejemplo 2 Selector de velocidades

Dispositivo que permite seleccionar la velocidad de un haz de partículas interponiendo campos eléctricos y magnéticos de forma adecuada



$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

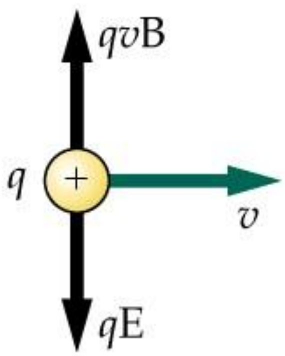
$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}(-j) + q\mathbf{v}(i) \times \mathbf{B}(-K)$$

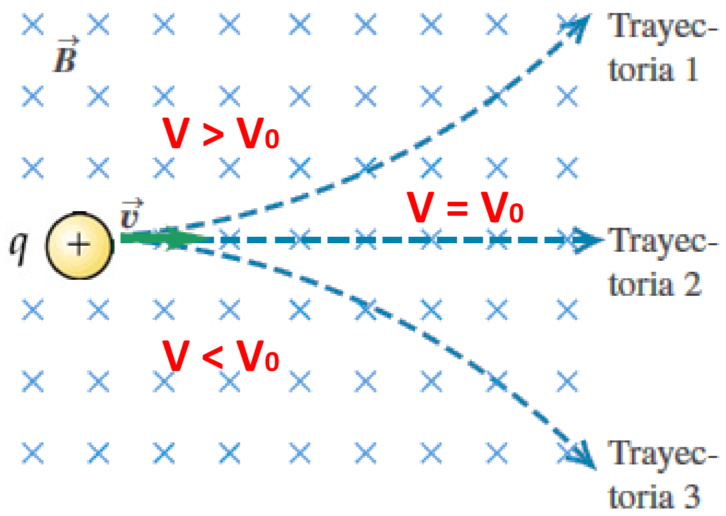
Una partícula no se desvía cuando **F**=0 $\Longrightarrow$ $\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

$$\mathrm{v_o} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{B}}$$

Ejemplo 2 Selector de velocidades

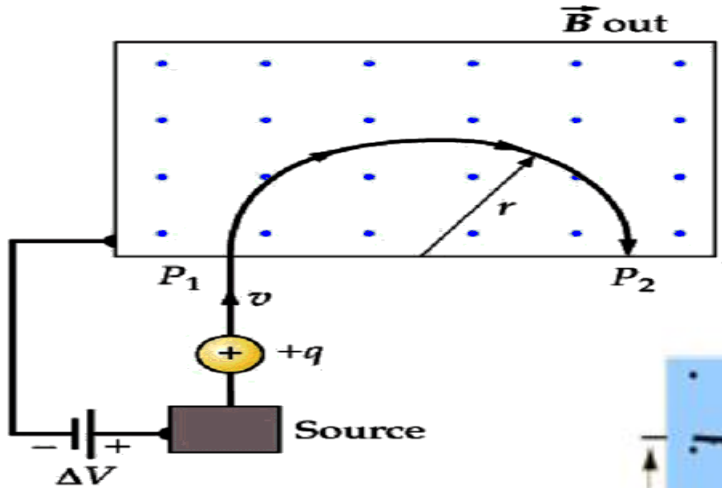
Dispositivo que permite seleccionar la velocidad de un haz de partículas interponiendo campos eléctricos y magnéticos de forma adecuada





$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Ejemplo 3 Espectrómetro de masas



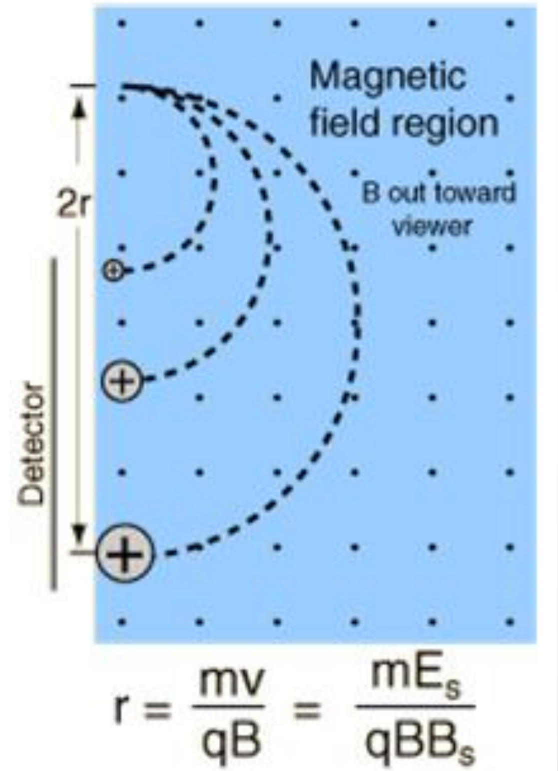
Velocidad con la que entra

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

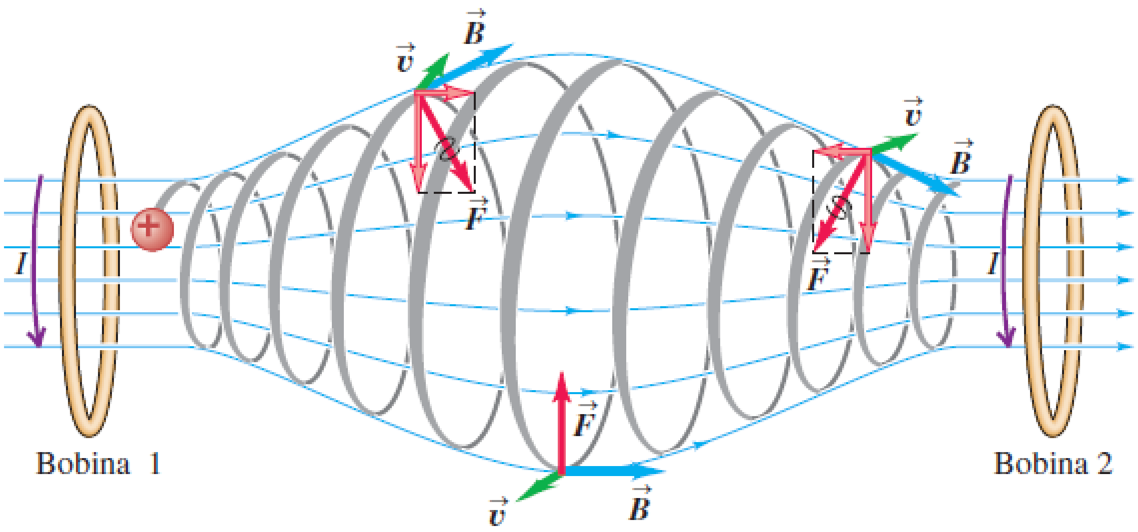
Radio del movimiento

$$F = ma$$

$$qvB = m\frac{v^2}{r}$$

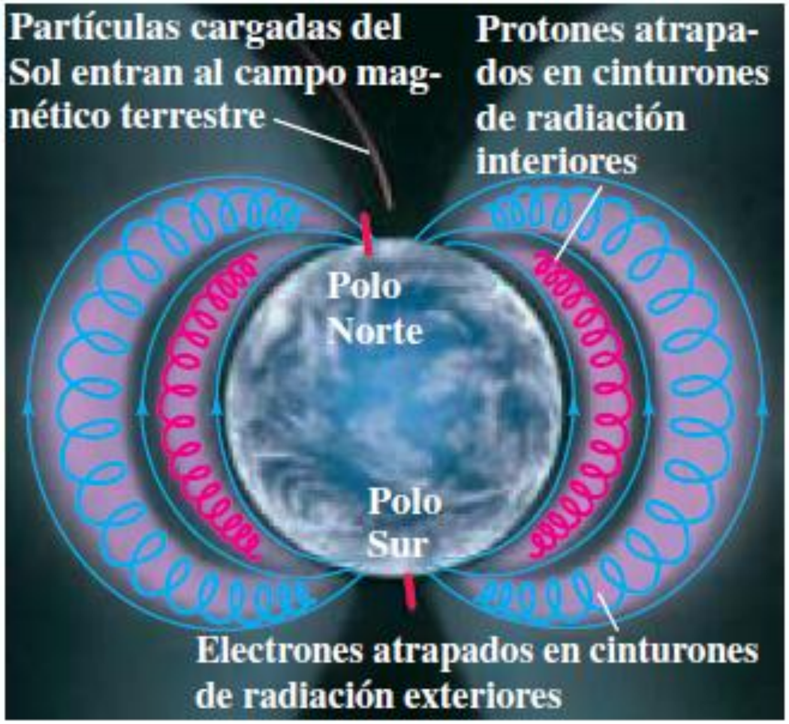


Ejemplo 4 Botella magnética



Botella magnética. Las partículas cerca de cualquier extremo de la región experimentan una fuerza magnética hacia el centro de la región. Ésta es una forma de contener un gas ionizado con temperatura del orden de 10^6 K, que vaporizaría cualquier material para contenedores.

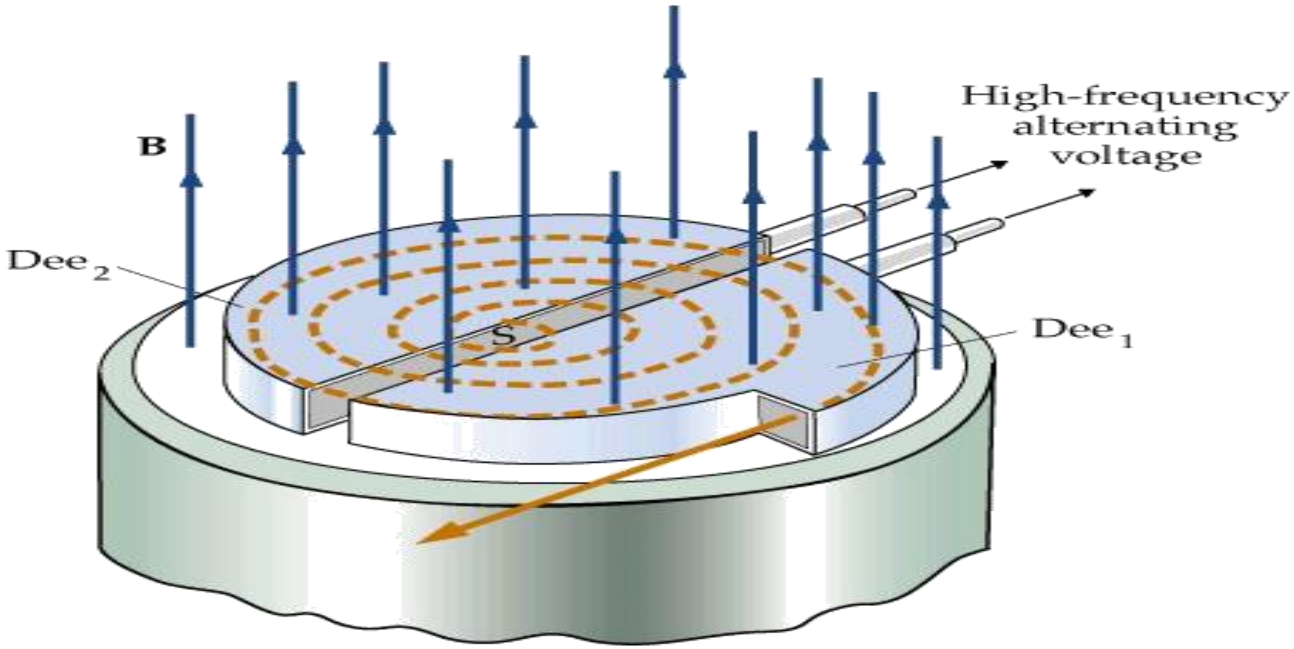
Ejemplo 5 Cinturones de Van Allen



Cinturones de radiación Van Allen alrededor de la Tierra. Cerca de los polos, partículas cargadas de estos cinturones ingresan a la atmósfera y producen auroras boreales ("luces del norte") y auroras australes ("luces del sur").

Ejemplo 5.- El ciclotrón

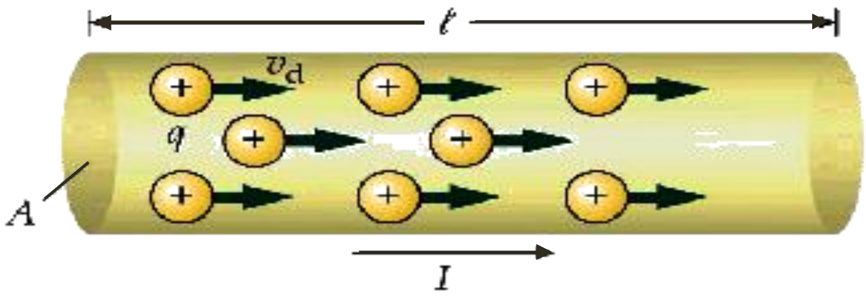
Inventado en 1934 por Lawrence y Livingston



Las partículas cargadas procedentes de la fuente S son aceleradas por la diferencia de potencial existente entre las dos “des”. Cuando llegan de nuevo al hueco, la diferencia de potencial ha cambiado de signo y vuelven a acelerarse describiendo un círculo mayor. Esta diferencia de potencial alterna su signo con el periodo de ciclotrón de la partícula, que es independiente del radio de la circunferencia descrita.

6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Supongamos un alambre situado en el interior de un campo magnético.



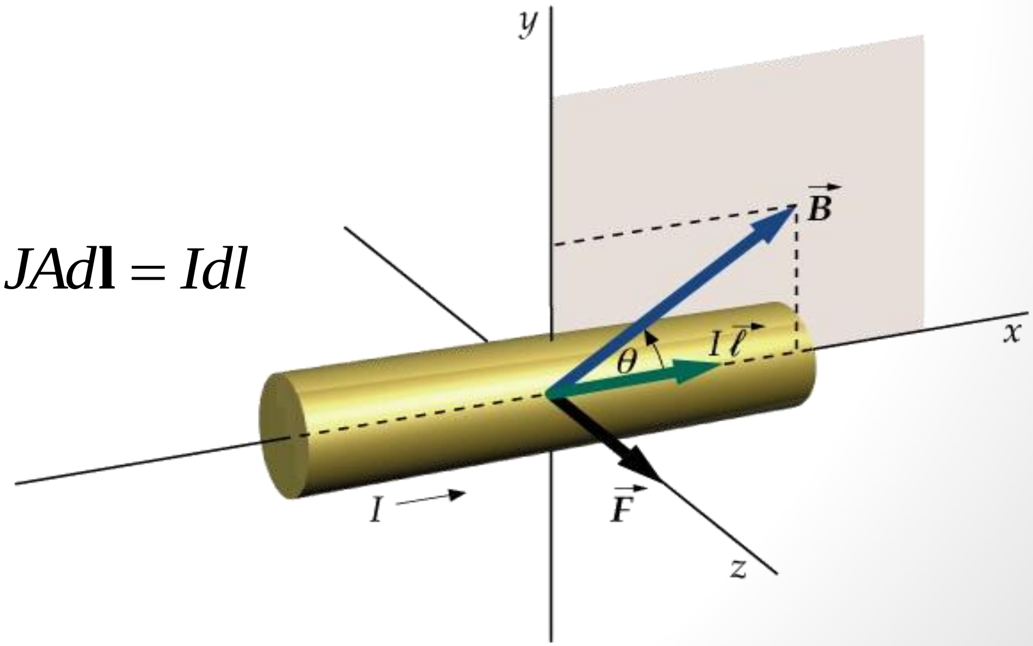
El campo magnético interacciona con cada una de las partículas cargadas cuyo movimiento produce la corriente

$$d\mathbf{F} = dQ\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$$

$$dQ = nqAdl$$

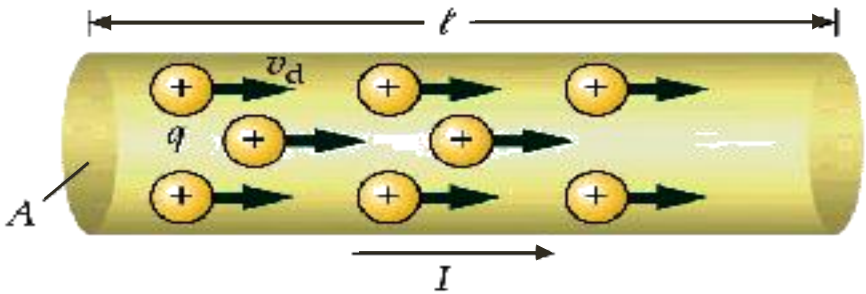
$$\mathbf{v_d}dQ = \mathbf{v_d}nqAdl = \mathbf{J}Adl = JAd\mathbf{l} = Idl$$

$$d\mathbf{F} = Id\vec{l} \times \mathbf{B}$$



6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Supongamos un alambre situado en el interior de un campo magnético.



r_A r_B

a) Caso particular: B=cte

$$\mathbf{F} = \int_A^B I d\vec{l} \times \mathbf{B} = I\left(\int_A^B d\vec{l}\right) \times \mathbf{B} = I\left(\mathbf{r}_\mathbf{B} - \mathbf{r}_A\right) \times \mathbf{B}$$

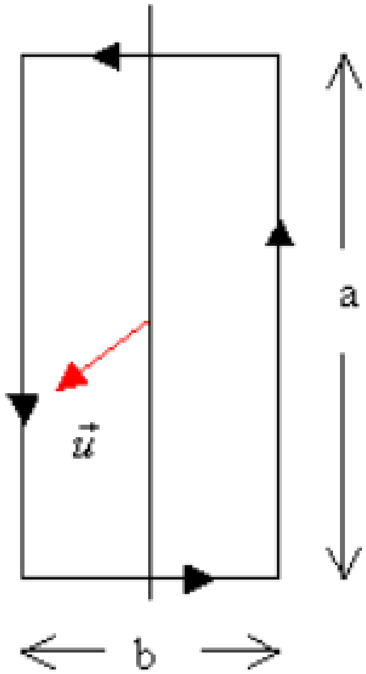
Conductor rectilíneo

la fuerza neta será $\mathbf{F} = I\,\vec{l} \times \mathbf{B}$

6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

<u>b) Caso particular</u>: Conductor de forma arbitraria, para el ejemplo usaremos una espira de corriente.

$$Id\vec{l}$$ Elemento de corriente



$$\mathbf{F} = I\,\vec{l} \times \mathbf{B}$$

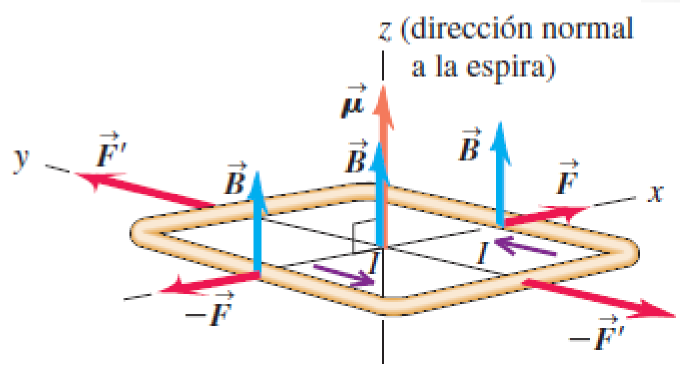
$$F_1 = Il_1(\hat{j})\; x\; B_0(\hat{k}) \longrightarrow F_1 = IaB_0(\hat{\imath})$$

$$F_2 = Il_2\left(\widehat{-i}\right)\; x\; B_0(\hat{k}) \longrightarrow F_2 = IbB_0(\hat{j})$$

$$F_3 = Il_3(-\hat{j})\; x\; B_0(\hat{k}) \longrightarrow F_3 = -IaB_0(\hat{\imath})$$

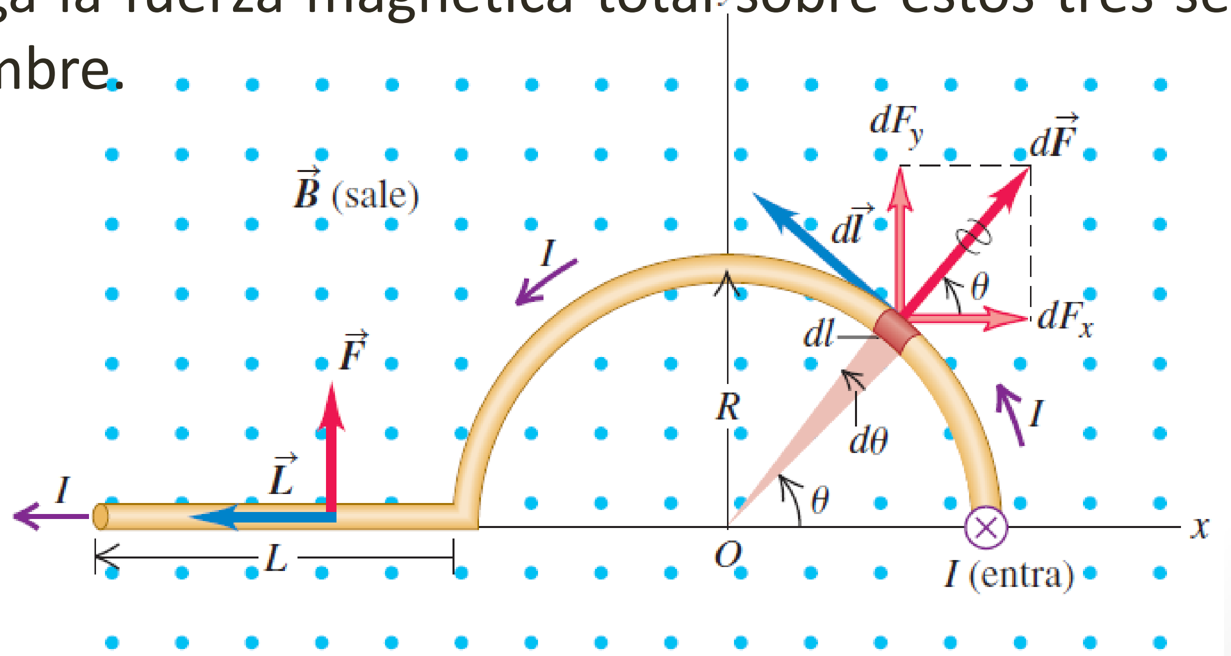
$$F_4 = Il_4(\hat{\imath})\; x\; B_0(\hat{k}) \longrightarrow F_4 = -IbB_0(\hat{j})$$

Por tanto la fuerza neta será =0



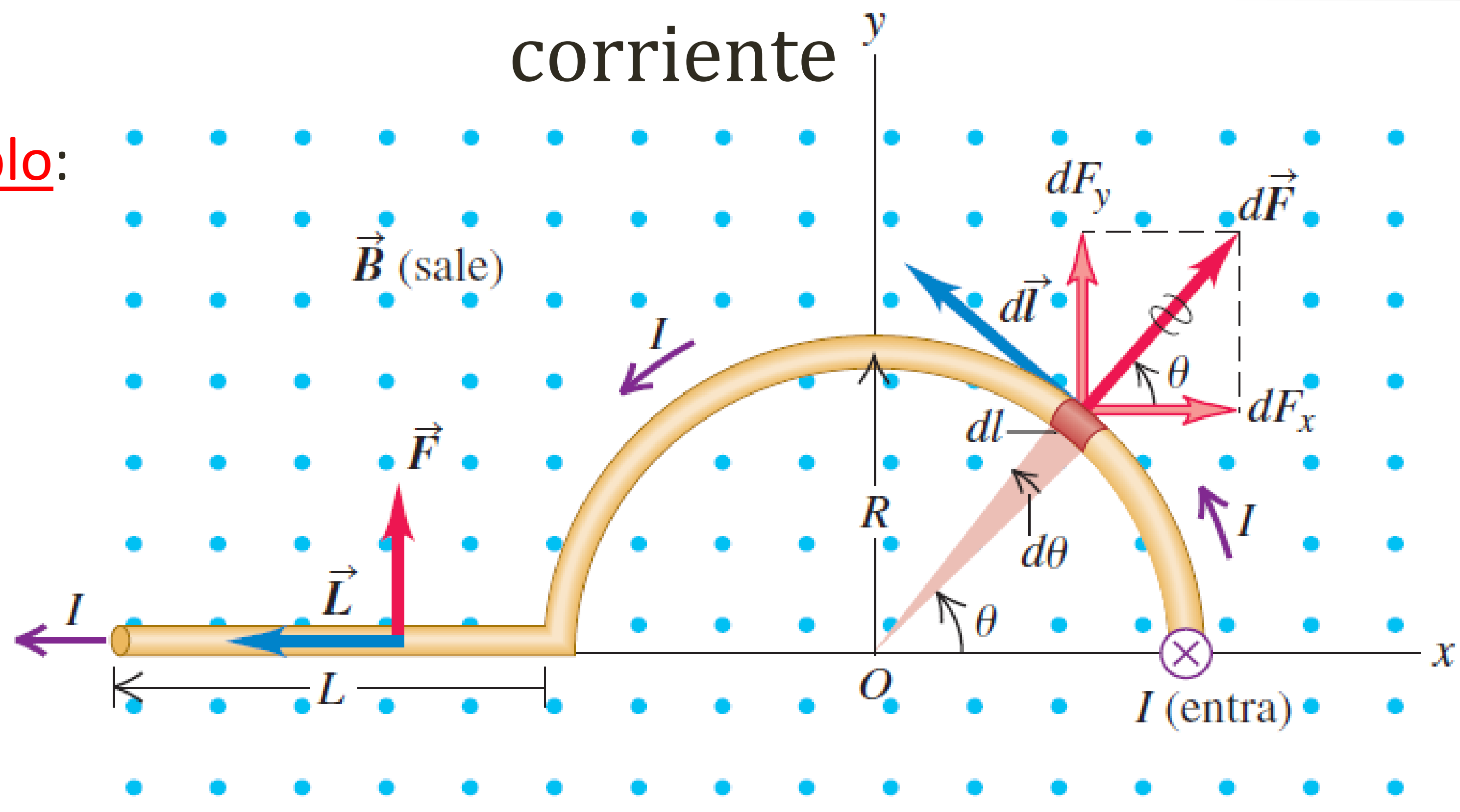
6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Ejemplo: En un campo magnético uniforme B y perpendicular al plano saliente, donde un conductor que tiene un segmento rectilíneo con longitud en la derecha, con la corriente en sentido opuesto a seguido de un semicírculo con radio R y, por último, otro segmento rectilíneo con longitud L paralelo al eje x (como se indica). El conductor transporta una corriente I. Obtenga la fuerza magnética total sobre estos tres segmentos de alambre.



6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Ejemplo:



En el semicírculo $dl = R\,d\theta$

La dirección de $d\vec{l} \times \vec{B}$ es radialmente hacia fuera del centro

$$dF_y = IR\,d\theta\,B\,\mathrm{sen}\,\theta$$

6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Ejemplo:

$$dF_y = IR\, d\theta\, B \operatorname{sen}\theta$$

$$F_y = IRB \int_0^{\pi} \operatorname{sen}\theta\, d\theta = 2IRB$$

En el alambre que entra

$$\mathbf{F} = \int_A^B I d\vec{l} \times \mathbf{B}$$

$$F_x = 0$$

En el alambre frontal

$$\boldsymbol{F_y = -Idx(\hat{\imath})\ x\ B(\hat{k})}$$

$$\boldsymbol{F_y = \int_{-R-l}^{-R} IBdx(\hat{\jmath})}$$

6.4 Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

Ejemplo:

En el alambre frontal

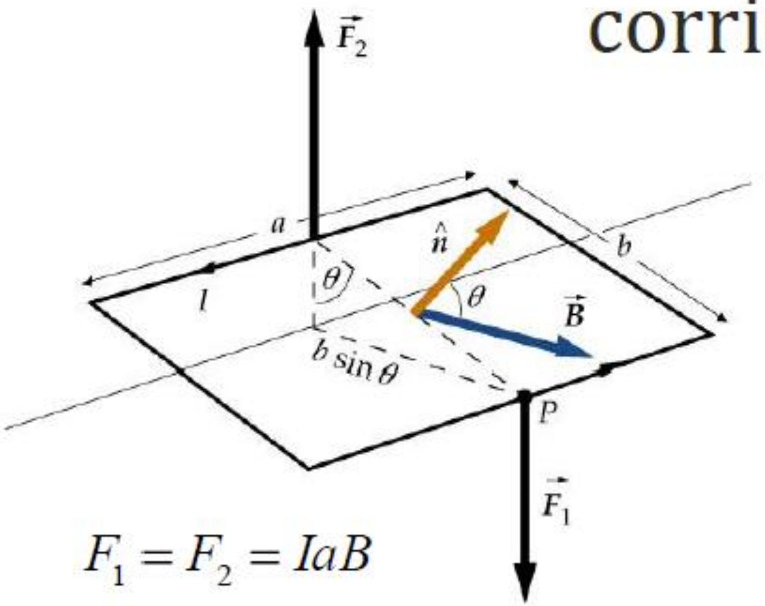
$$F_y = -Idx(\hat{\imath})\ x\ B(\hat{k}) \qquad F_y = \int_{-R-l}^{-R} IBdx(\hat{\jmath})$$

$$F_y = IBL$$

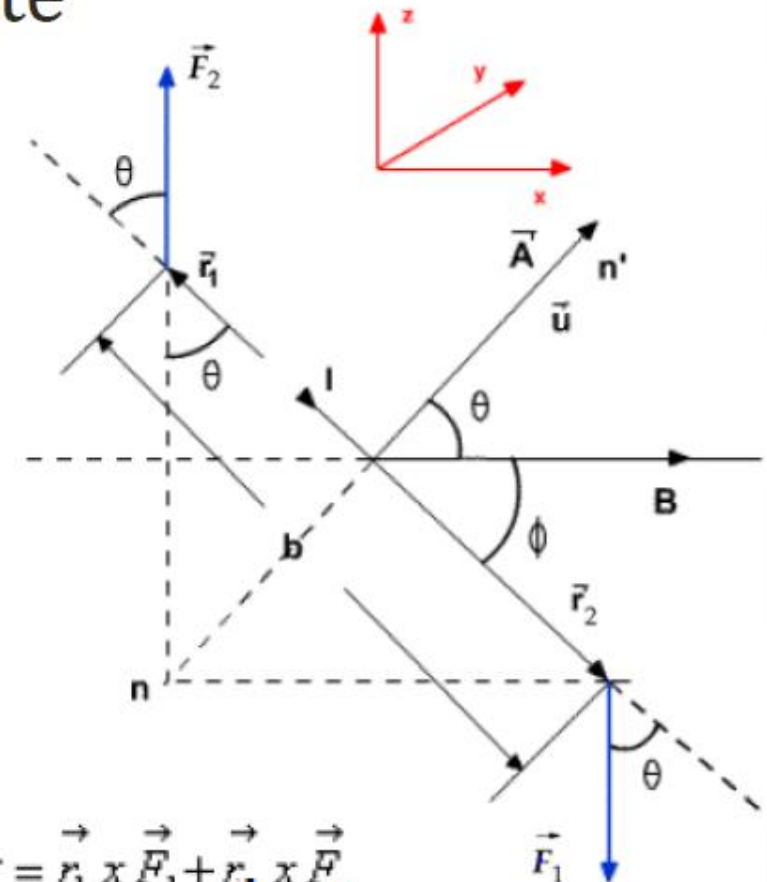
La fuerza total es:

$$\vec{F} = IB(L + 2R)\hat{\jmath}$$

6.5 Momento Magnético sobre una espira de corriente

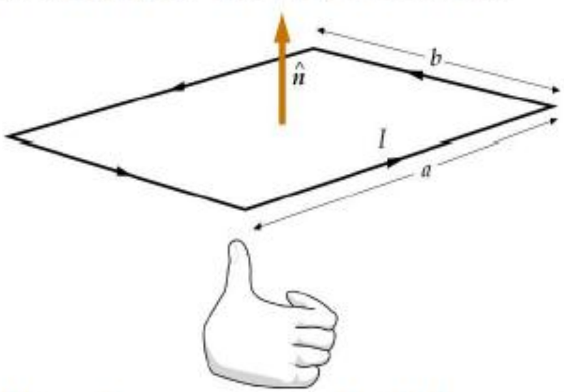


$$F_1 = F_2 = IaB$$



$$\vec{\tau} = \vec{r}_1 \, x \, \vec{F}_1 + \vec{r}_2 \, x \, \vec{F}_2$$

Criterio para la elección de la dirección del vector normal



$$\tau = IaB\left(\frac{b}{2}\right) sen\,\theta + IaB\left(\frac{b}{2}\right) sen\,\theta$$

$$\tau = F_{total}\, b sen\,\theta = IaBb sen\,\theta = IAB sen\,\theta \quad \tau = IAB sen\theta = \mu B sen\theta$$

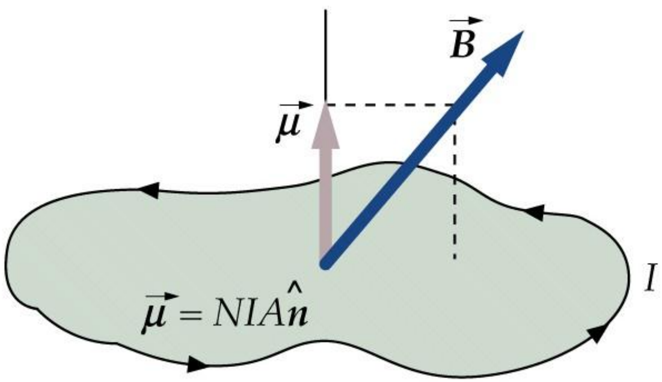
6.5 Momento sobre una espira de corriente

$$\tau = F_2 b sen\theta = IaBb sen\theta = IAB sen\theta$$

$$\tau = IAB sen\theta = \mu B sen\theta$$

$$\Downarrow$$

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



Momento magnético de una espira

Torque o momento sobre una espira de corriente en un campo magnético

Se acostumbra agrupar a la corriente **I** con el vector de área **A** para formar un nuevo vector asociado con la espira con corriente. El nuevo vector se define como.

$$\vec{\mu} = I\vec{A}$$

Y se llama **momento dipolar magnético** de la espira de corriente

6.6 Energía potencial de un Momento dipolar Magnético

Un dipolo magnético tiene una energía potencial asociada con su orientación en un campo magnético externo.

Se define esta energía potencial como el trabajo que debe realizar un agente externo para hacer girar el dipolo desde su posición de energía cero (α = 90º) hasta una posición α .

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

$$\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{E}$$

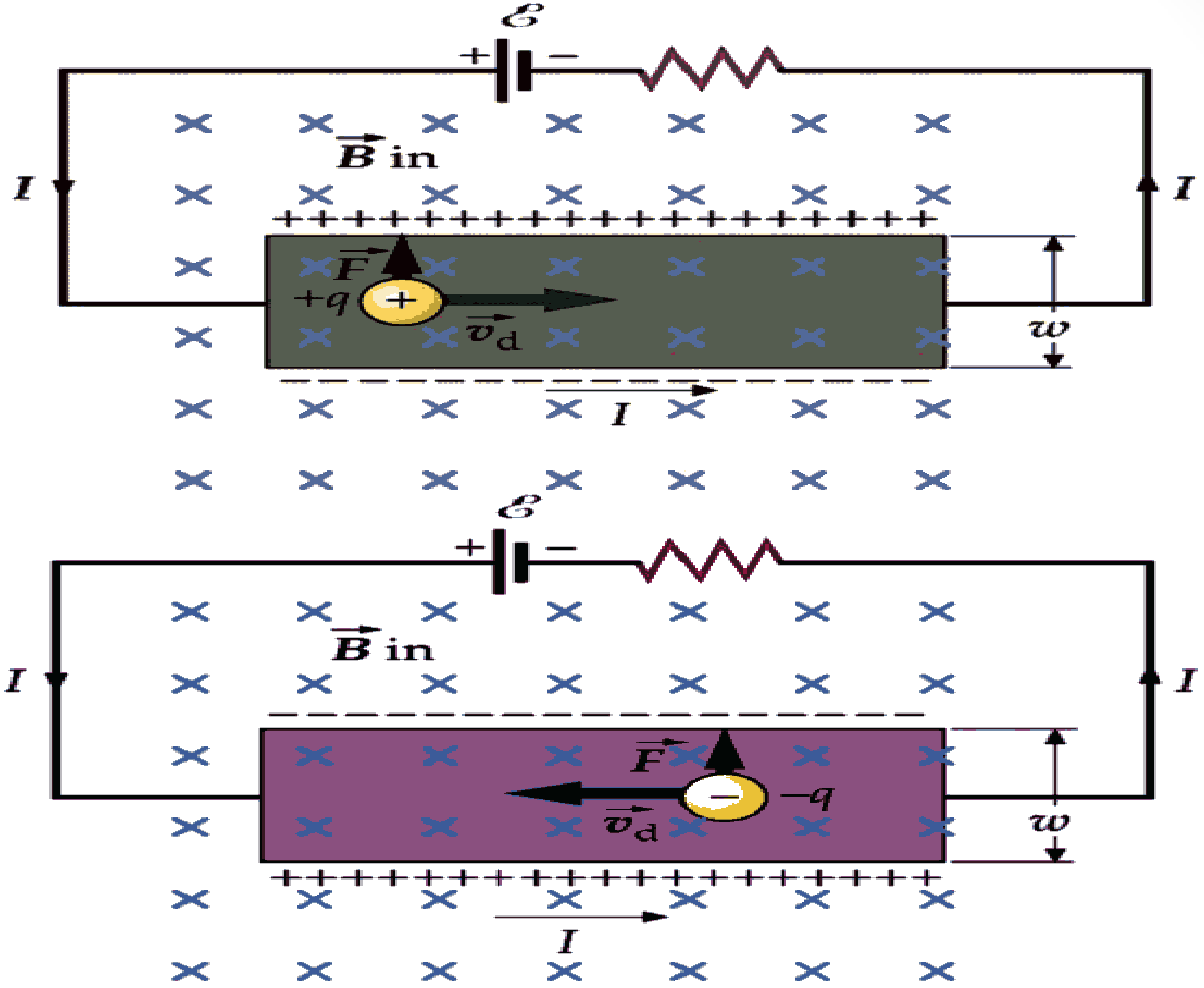
Torque o momento sobre una espira de corriente en un campo magnético

$$Up = -\vec{\mu}.\vec{B}$$

$$Up = -\vec{P}.\vec{E}$$

Energía potencial de un Momento dipolar magnético

6.7 Efecto Hall



$$\boxed{V_H = v_d\, B\, w}$$

Voltaje Hall