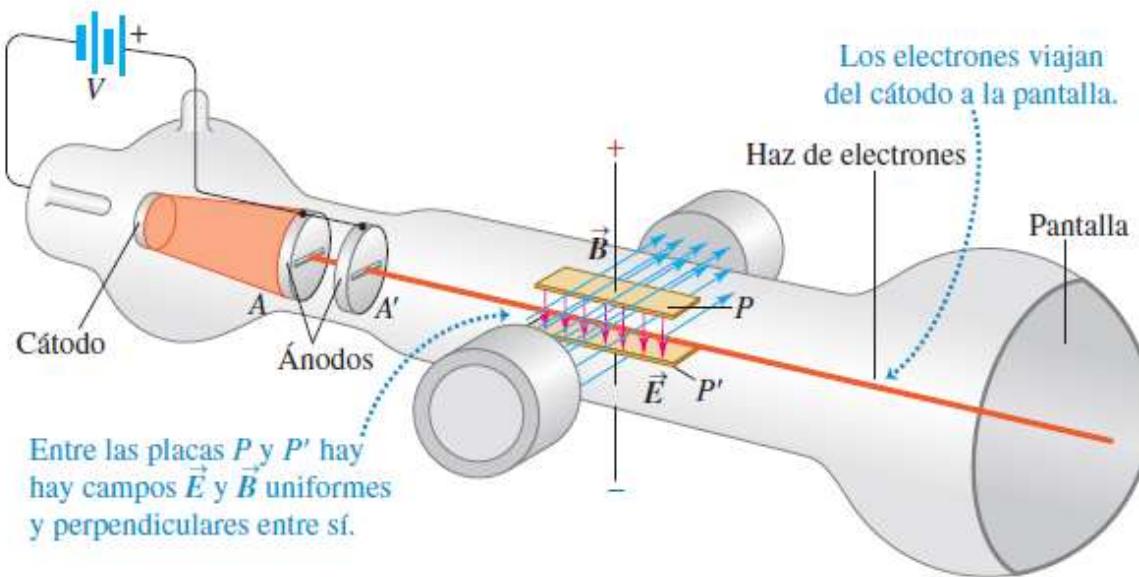
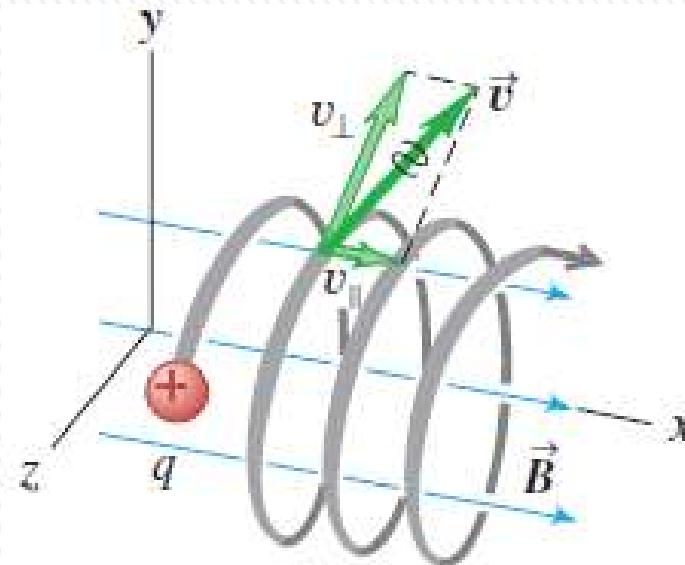


6-CAMPO MAGNÉTICO



Complementos de la presentación

Campo magnético terrestre: modelo, declinación e inclinación magnética, variación geográfica, desplazamiento de los polos magnéticos, inversiones geomagnéticas, teoría de la generación del campo terrestre (teoría del dínamo autosostenido de Elsasser).

Magnitudes de diferentes campos magnéticos.

Experimento de J.J. Thomson (1897) determina relación e/m del electrón.

Medidores de flujo electromagnéticos.

Deducción de las expresiones para la fuerza y el torque sobre un espiral con corriente en un campo uniforme.

Efecto Hall.

Ver en las presentaciones de las clases presenciales.



MAGNETISMO E IMANES

La naturaleza fundamental del magnetismo es la interacción entre las cargas eléctricas en movimiento.

Todo imán, cualquiera que fuera su forma, tiene dos polos, uno norte (N) y otro sur (S), que ejercen fuerzas sobre otros polos magnéticos de manera similar a como las cargas eléctricas ejercen fuerzas entre sí.

Polos iguales (N-N o S-S) se repelen y polos opuestos (N-S) se atraen.

El Polo Norte geográfico terrestre representa un polo sur magnético.

Como los polos magnéticos opuestos se atraen, el polo de un imán que es atraído hacia el Polo Norte geográfico de la Tierra es el polo norte del imán.

Los polos magnéticos siempre se encuentran en pares, no existen los monopolos magnéticos.

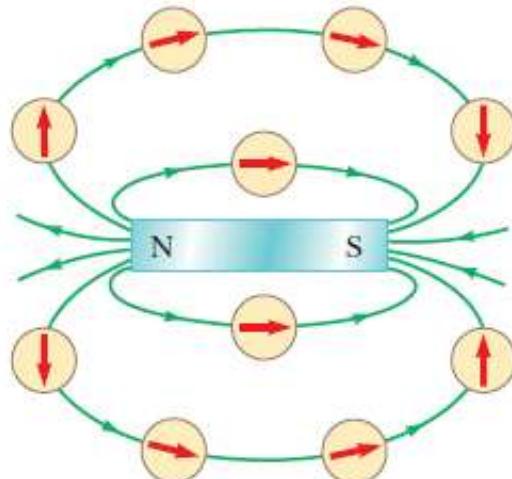
CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE: Se extiende desde el núcleo interno de la Tierra hasta el límite en el que se encuentra con el viento solar, la magnetósfera (desde los 500 km altura)

Magnitud sobre la superficie de la Tierra entre 20 y 67 μT .

Máxima en los polos y mínima en región de Sudamérica:

Uruguay tiene uno de los valores más bajo del planeta: 22 a 23 $\mu\text{T}!!!$

CAMPO MAGNÉTICO



Espacio que rodea a cualquier sustancia magnética (imán permanente) o a cualquier carga eléctrica *en movimiento* contiene un **campo magnético (B)**.

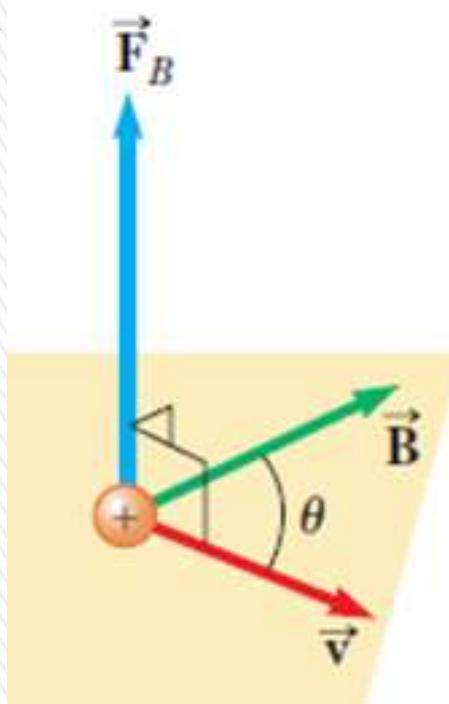
La dirección de **B** en cualquier sitio es la dirección a la cual apunta la aguja de una brújula colocada en dicha posición.

Es posible representar el campo magnético gráficamente utilizando **Líneas de campo magnético**.

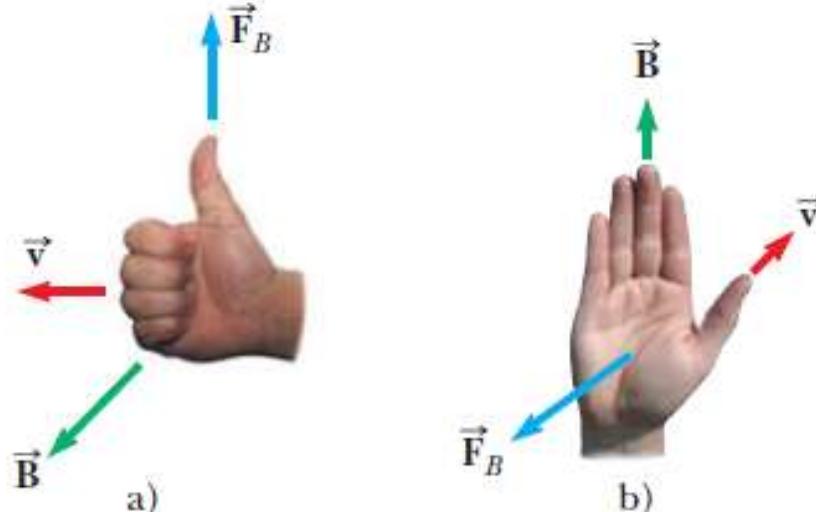
Supondremos que no existen ni E ni campo gravitacional en la ubicación del objeto de prueba.

Definimos el campo magnético **B** en algún punto en el espacio en función de la fuerza magnética \vec{F}_B que ejerce el campo sobre una partícula con carga que se mueve con una velocidad \vec{v} , la cual se identifica como el objeto de prueba.

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



Fuerzas magnéticas sobre cargas móviles



donde θ es el ángulo menor entre \mathbf{v} y \mathbf{B} . Por esta expresión puede que \mathbf{F}_B sea igual a cero cuando \mathbf{v} es paralela o antiparalela a \mathbf{B} ($\theta = 0$ o 180°) y es máxima cuando \mathbf{v} es perpendicular a \mathbf{B} ($\theta = 90^\circ$).

A partir de la definición se ve que la unidad del SI del campo magnético es newton por cada coulomb-metro por cada segundo, o **tesla (T)**:

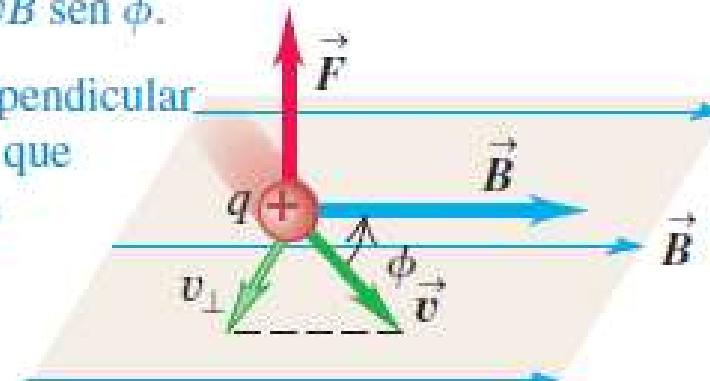
$$\overline{\mathbf{F}}_B = q \overline{\mathbf{v}} \times \overline{\mathbf{B}}$$

El módulo vale:

$$F_B = |q|vB \sin \theta$$

Una carga que se mueve con un ángulo ϕ con respecto a un campo magnético experimenta una fuerza magnética de magnitud $F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \sin \phi$.

\vec{F} es perpendicular al plano que contiene \vec{v} y \vec{B} .



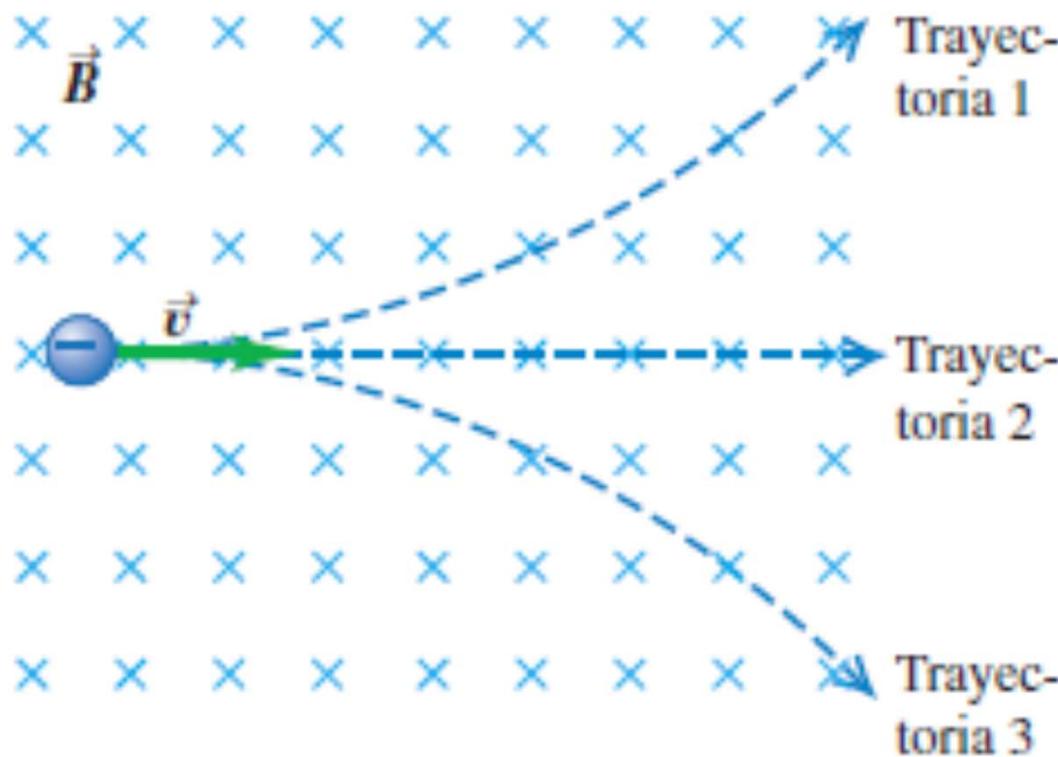
$$1T = 1 \frac{N}{C \cdot m/s} = 1 \frac{N}{A \cdot m}$$

Fuerzas magnéticas sobre cargas móviles

Diferencias entre fuerzas eléctrica y magnética:

- La fuerza eléctrica actúa a lo largo de la dirección del campo eléctrico, en tanto que **la fuerza magnética actúa perpendicularmente al campo magnético.**
- La fuerza eléctrica actúa sobre una partícula con carga sin importar si ésta se encuentra en movimiento, **fuerza magnética actúa sólo si la partícula con carga está en movimiento.**
- La fuerza eléctrica efectúa trabajo al desplazar una partícula con carga, **la fuerza magnética asociada con un campo magnético estable no efectúa trabajo cuando se desplaza una partícula** (la fuerza es perpendicular al desplazamiento).
- A partir del teorema trabajo-energía cinética, se concluye que la energía cinética de una partícula con carga que se mueve a través de un campo magnético no puede ser modificada por el campo magnético solo. El campo magnético, puede modificar la dirección del vector velocidad pero no puede cambiar la rapidez ni la energía cinética de la partícula.

1-CUESTIONARIO RÁPIDO



La figura muestra un campo magnético uniforme \mathbf{B} dirigido hacia el plano de la hoja (se muestra con símbolos \times celestes), en ese plano se mueve una partícula con carga negativa. ¿Cuál de las trayectorias sigue la partícula: 1, 2 ó 3?

Respuesta: Trayectoria 3 (tener en cuenta que la partícula es negativa)

2-CUESTIONARIO RÁPIDO

Un electrón se mueve en el plano de la pantalla hacia la parte superior. Además en el plano de la pantalla existe un campo magnético que está dirigido hacia la derecha.

¿Cuál es la dirección de la fuerza magnética sobre el electrón?

- a) hacia la parte superior,
- b) hacia la parte inferior,
- c) hacia el borde izquierdo,
- d) hacia el borde derecho,
- e) hacia fuera alejándose de la pantalla,
- f) hacia adentro de la pantalla.

e) hacia fuera alejándose de la pantalla,



EJEMPLO: ejercicio 3.1.5

3.1.5- La fuerza sobre una carga eléctrica que se mueve en un campo magnético:

- a) Aumenta la energía cinética de la carga si esta es positiva.
- b) Disminuye la energía cinética de la carga si esta es negativa.
- c) Aumenta la energía cinética de la carga independientemente de su signo.
- d) Disminuye la energía cinética de la carga independientemente de su signo.
- e) No cambia la energía cinética de la carga.

Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético

Partícula: masa m , q positiva en el punto O , se mueve con velocidad \vec{v} en campo magnético uniforme \mathbf{B} .

\vec{v} y \mathbf{B} son perpendiculares, por tanto: $F = qvB$.

La fuerza siempre es perpendicular a \vec{v} : no puede cambiar la magnitud de la velocidad, solo su dirección.

- nunca realiza trabajo sobre la partícula.

La trayectoria de la partícula es un *círculo*, con rapidez v constante.

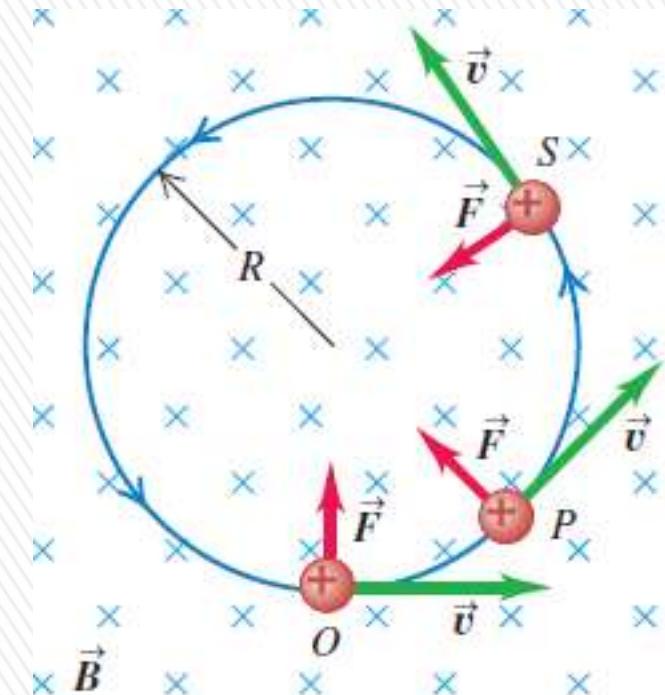
La aceleración centrípeta es v^2/R , y la única fuerza que actúa es la fuerza magnética, por lo que de acuerdo con la segunda ley de Newton

Radio de la órbita circular en un campo magnético uniforme:

Rapidez angular ω de la partícula se calcula con $v = R\omega$

Período T vale:

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



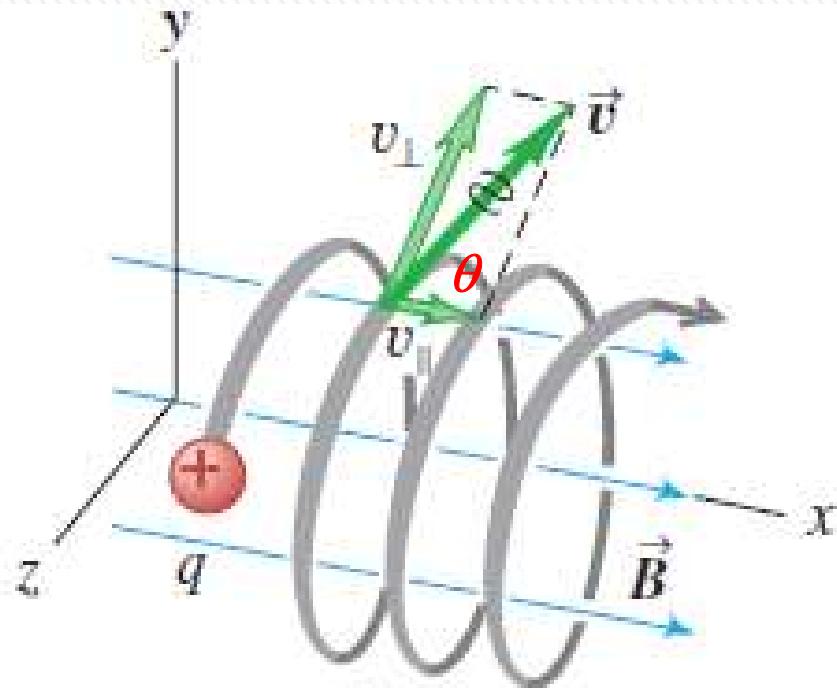
$$F = qvB = m \frac{v^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$$

$$\omega = \frac{qB}{m}$$



Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético



Si la dirección de la velocidad inicial *no es perpendicular al campo, la componente de la velocidad paralela al campo es constante porque no hay fuerza paralela al campo.* Así que la partícula se mueve en un patrón **helicoidal**.

El radio de la hélice está dado por la ecuación anterior donde v *ahora es la componente de la velocidad perpendicular al campo (v_{\perp})*
 $v_{\perp} = v \cdot \sin \theta$

El **paso** de la hélice, es decir la distancia entre dos puntos de la hélice situados sobre una generatriz del cilindro imaginario sobre la que se enrolla, vale:

$$\text{paso} = v_{\parallel} T = v \cos \theta T$$

Con T el periodo de la órbita

El movimiento de una partícula cargada en un campo magnético no uniforme es más complejo.

Selector de velocidad

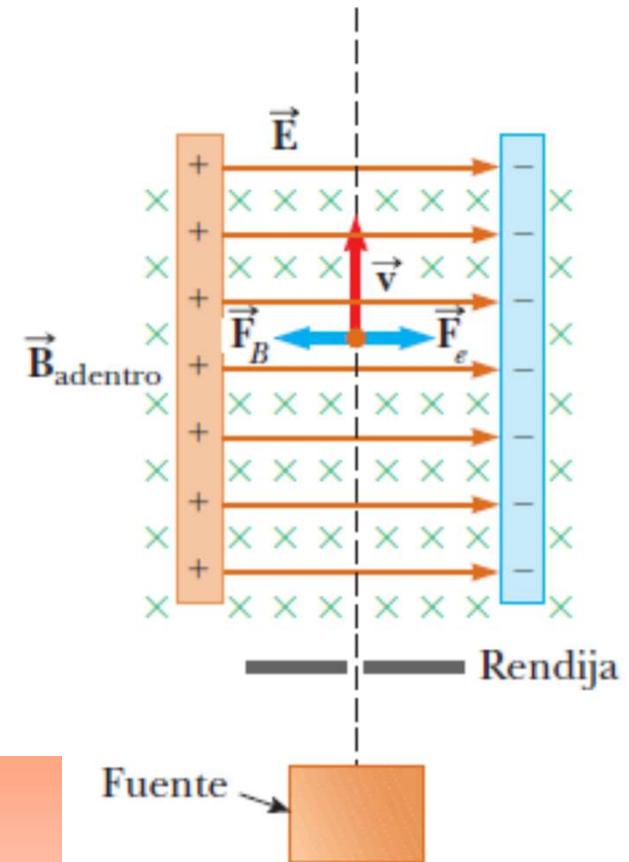
Cuando una partícula con carga positiva se mueve con velocidad v ante la presencia de un campo magnético dirigido hacia la página y un campo eléctrico dirigido hacia la derecha, experimenta una fuerza eléctrica qE hacia la derecha y una fuerza magnética $qvxB$ hacia la izquierda.

$$F_E = F_B \Rightarrow qE = qvB$$

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

Solo las partículas con rapidez igual a E/B pasan sin ser desviadas por los campos.

Un selector de velocidad para partículas con carga positiva también funciona para electrones u otras partículas cargadas negativamente



Espectrómetros de masas

1919 Francis Aston – permitió descubrir isótopos de distintos elementos.

Iones positivos de una fuente pasan a través de las ranuras S_1 y S_2 para formar un haz estrecho.

Pasan a través de selector de velocidad con campos E y B cruzados (iones con rapidez $v = E/B$).

Por último, los iones pasan hacia una región con un campo magnético perpendicular a la figura, donde se mueven en arcos circulares con radio $R = mv/qB'$.

Los iones con masas diferentes golpean al detector en diferentes puntos, y se miden los valores de R. Se supone que cada ion perdió un electrón, por lo que la carga neta de cada ion es simplemente +e.

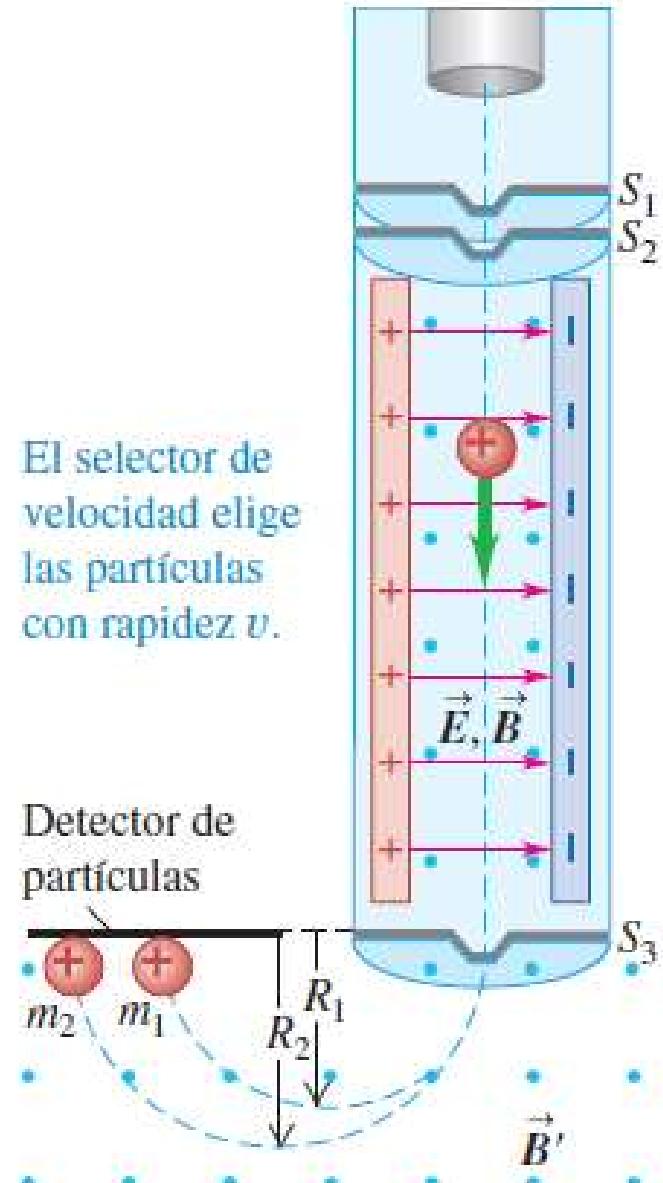
Con todos los parámetros conocidos en esta ecuación, excepto m, se calcula la masa m del ion.

$$R = \frac{mv}{qB'} = \frac{m}{qB'} \frac{E}{B}$$

$$m = \frac{qBB'R}{E}$$

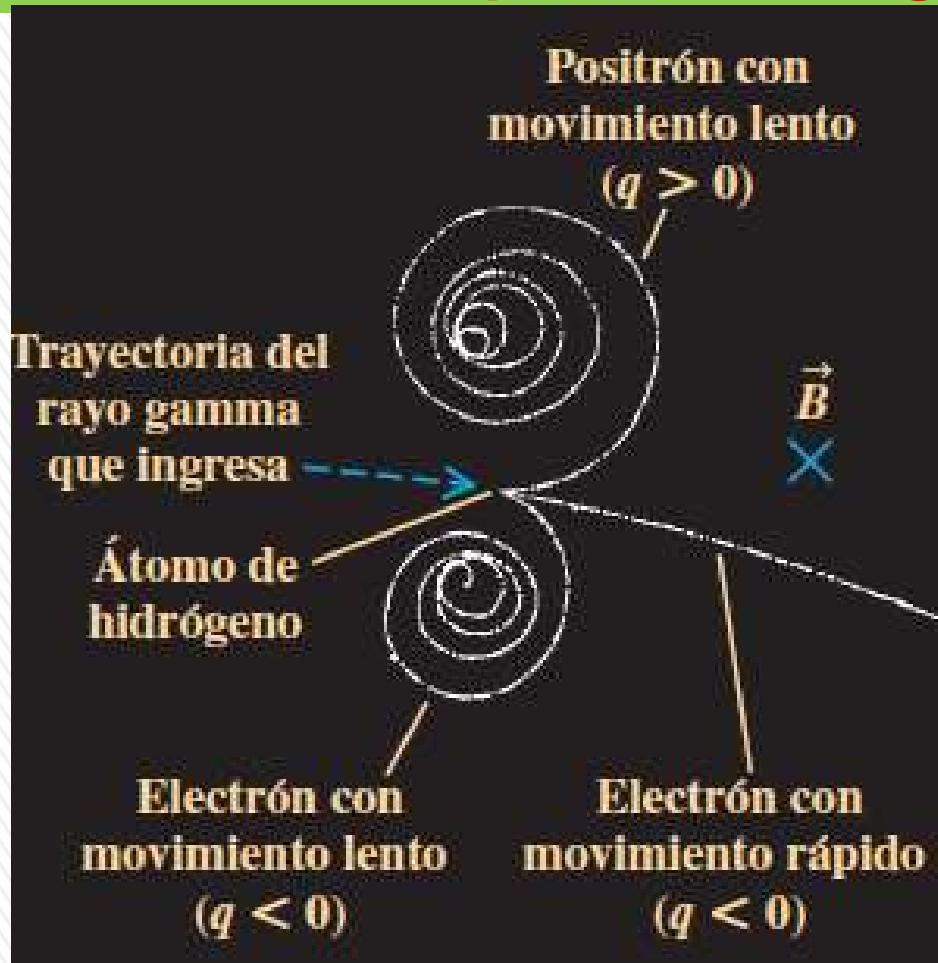
El selector de velocidad elige las partículas con rapidez v .

Detector de partículas



El campo magnético separa las partículas por masa; cuanto más grande sea la masa de una partícula, mayor será el radio de su trayectoria.

Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético



Cámara llena de hidrógeno líquido y con un B entrante

Un rayo gamma de alta energía desprende el electrón de un átomo de hidrógeno y lo lanza con gran rapidez creando un rastro visible en el hidrógeno líquido.

El rastro muestra al electrón que se curva hacia abajo debido a la fuerza magnética.

La energía de la colisión también produce otro electrón y un **positrón** (**electrón con carga positiva**): **creación de pares**.

Se requiere una energía mínima de 1,022 MeV

Debido a sus cargas opuestas, las trayectorias del electrón y del positrón se curvan en direcciones opuestas.

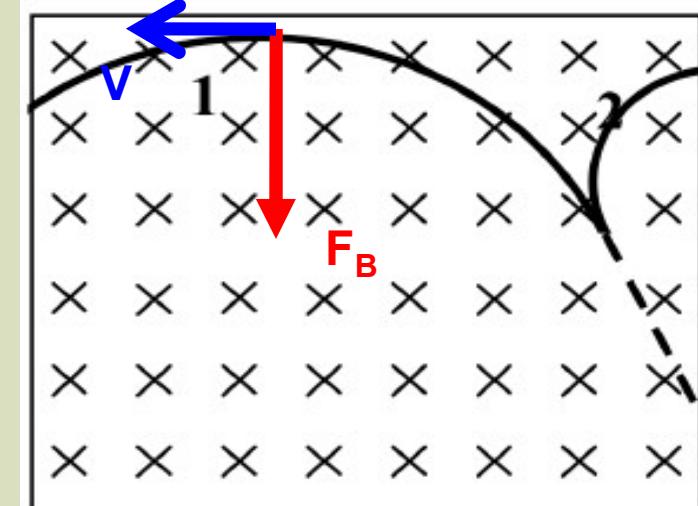
A medida que estas partículas se abren paso a través del hidrógeno líquido, chocan contra otras partículas cargadas, perdiendo energía y rapidez.

Como resultado, disminuye el radio de curvatura.

EJEMPLO: ejercicio 3.1.6

= Una partícula neutra choca con un átomo de hidrógeno en reposo que se encuentra en un campo magnético uniforme, disociándolo en un electrón y un protón. En la figura, la trayectoria de la partícula neutra está indicada por la línea quebrada, y las trayectorias de las partículas cargadas están indicadas por los arcos 1 y 2.

- ¿Cuál de las trayectorias corresponde al protón y cuál al electrón?
- ¿Cuál de los dos tiene mayor cantidad de movimiento?
- Exprese el cociente entre las velocidades de las partículas en función de los radios de ambas trayectorias.



a) Analizando la curvatura 1, deducimos que corresponde al protón, ya que debe tener carga positiva, la 2 corresponde al electrón.

b) $R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ qB es constante, el de mayor p, es el que tiene R mayor. Por tanto el protón tiene mayor cantidad de movimiento.

$$c) v = \frac{qBR}{m}$$

$$v_p = \frac{qBR_p}{m_p} \quad v_e = \frac{qBR_e}{m_e}$$

$$\frac{v_p}{v_e} = \frac{qBR_p}{m_p} \frac{m_e}{qBR_e} = \frac{m_e R_p}{m_p R_e}$$

