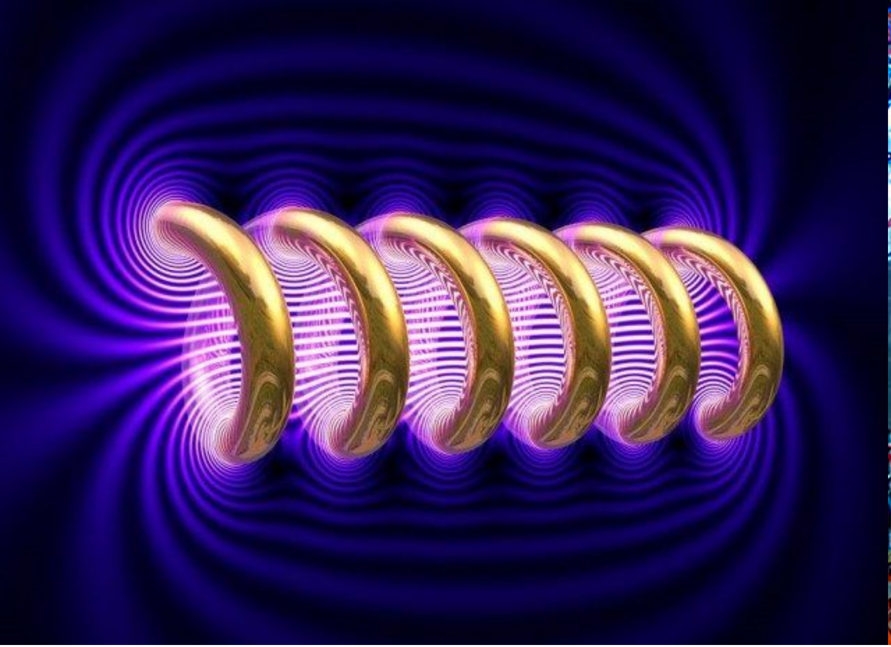
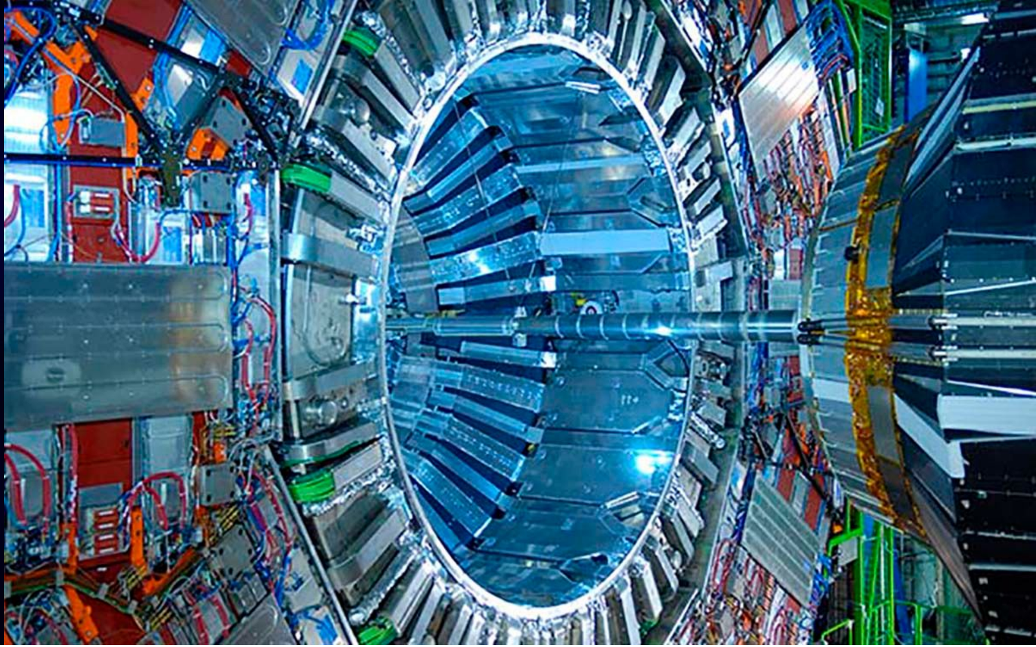
 

Física General II (Electromagnetismo)
Clase Muestra: partícula en un campo magnético

Jhovanny Andres Mejia Guisao

Departamento de Física y Matemáticas

Movimiento de una partícula en un campo magnético

Objetivo de la clase:

- **Analizar la fuerza que actúa sobre una partícula cargada en presencia de un campo magnético.**
- **Comprender el movimiento resultante.**
- **Aplicar las ecuaciones para calcular radio, período y frecuencia del movimiento.**

¿una partícula cargada se acelera en la dirección del campo magnético?

Temas a tratar:

A. **Fuerza magnética**:

$$\boxed{\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}}$$

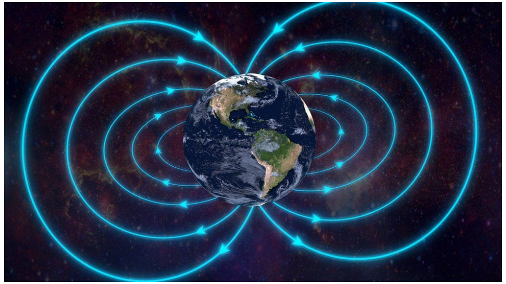
B. **Condiciones para el movimiento circular**.

C. **Radio de la trayectoria y período**:

$$\boxed{r = \frac{mv}{qB}, \qquad T = \frac{2\pi m}{qB}}$$

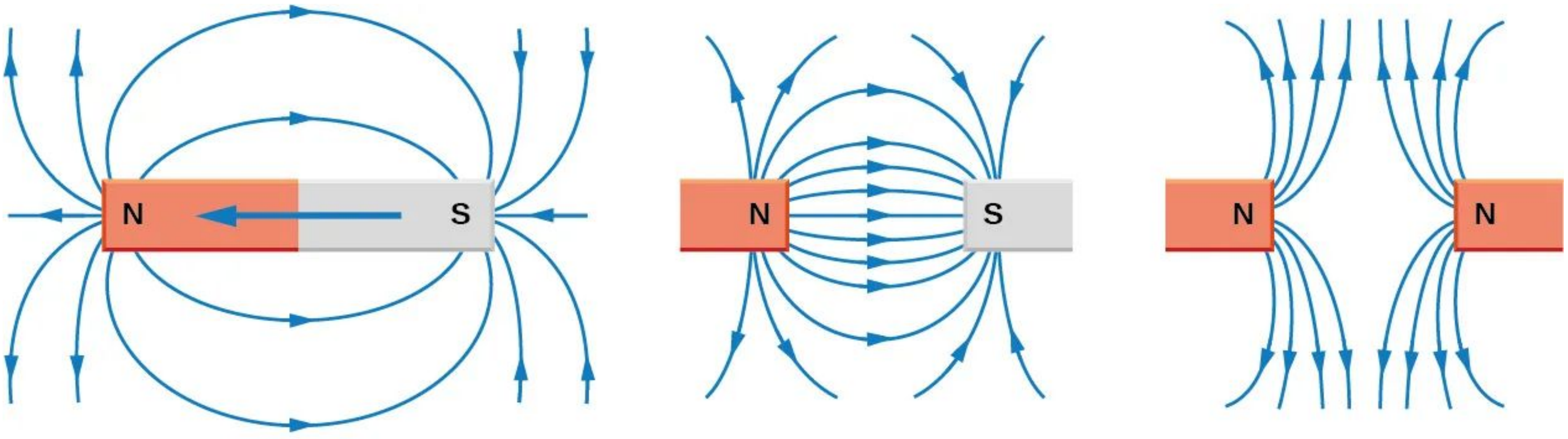
Un viaje por la historia del magnetismo

- Aguja de brújula se orienta en direcciones preferenciales.
- Tierra imán permanente gigantesco.



líneas de campo magnético.

Recuerde que cualquier carga eléctrica está rodeada por un campo eléctrico. Además de contener un campo eléctrico, el espacio que rodea a cualquier carga eléctrica en movimiento, también contiene un campo magnético.



Líneas de campo magnético de una barra magnética

(a)

Líneas de campo magnético entre polos opuestos

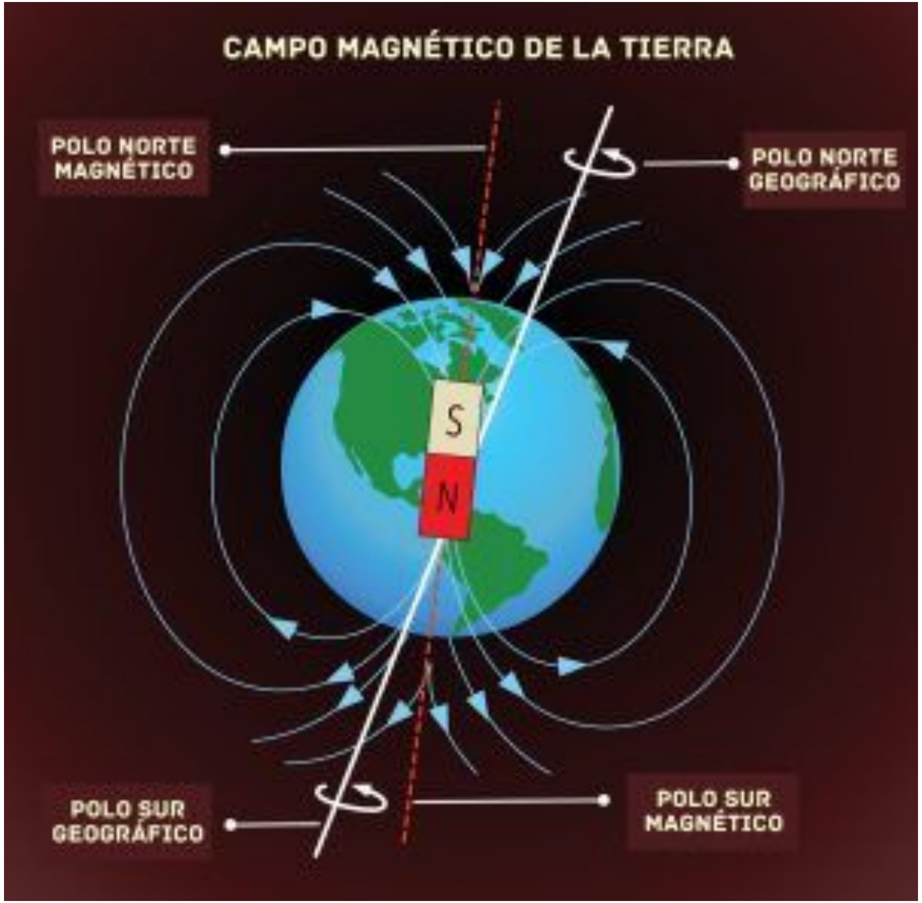
(b)

Líneas de campo magnético entre polos similares

(c)

Limaduras de hierro e imanes

Líneas de campo magnético de la Tierra



Polo norte magnético de la Tierra está localizado cerca del Polo Sur geográfico.

La dirección del campo magnético de la Tierra se ha invertido varias veces durante el último millón de años.

Análisis de modelo

Igual que con el modelo para la gravedad y el de la electricidad, podemos cuantificar el campo magnético B mediante el uso de nuestro modelo de una partícula en un campo.

La existencia de un campo magnético en algún punto en el espacio puede determinarse midiendo la magnitud de la fuerza magnética $\boxed{\vec{F}_B}$ que ejerce el campo sobre una partícula de prueba ubicada en ese punto.

Históricamente, el símbolo $\vec{B}$ ha sido utilizado para representar el campo magnético.

Análisis de modelo

Si realizamos un experimento colocando una partícula cargada q en el campo magnético, nos encontramos con los siguientes resultados, que son similares a los de los experimentos con las fuerzas eléctricas:

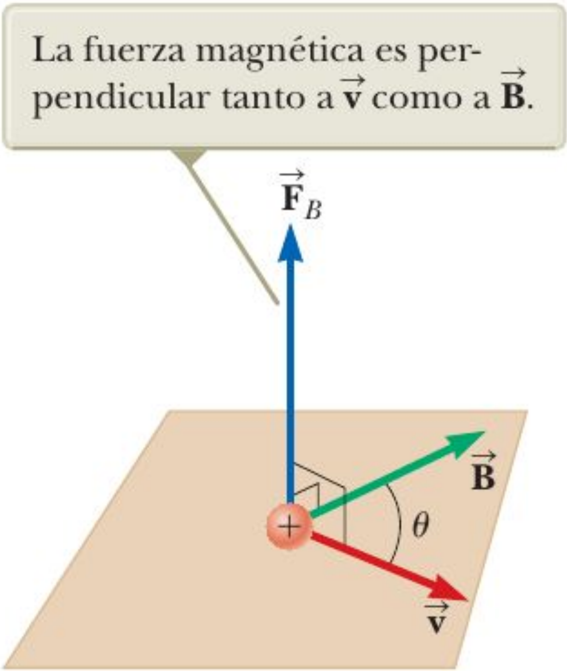
- ➔ **La fuerza magnética es proporcional a la carga q de la partícula.**
- ➔ **La fuerza magnética ejercida sobre una carga negativa tiene dirección opuesta a la dirección de la fuerza magnética ejercida sobre una carga positiva que se mueva en la misma dirección.**
- ➔ **La fuerza magnética es proporcional a la magnitud del vector de campo magnético $\vec{B}$.**

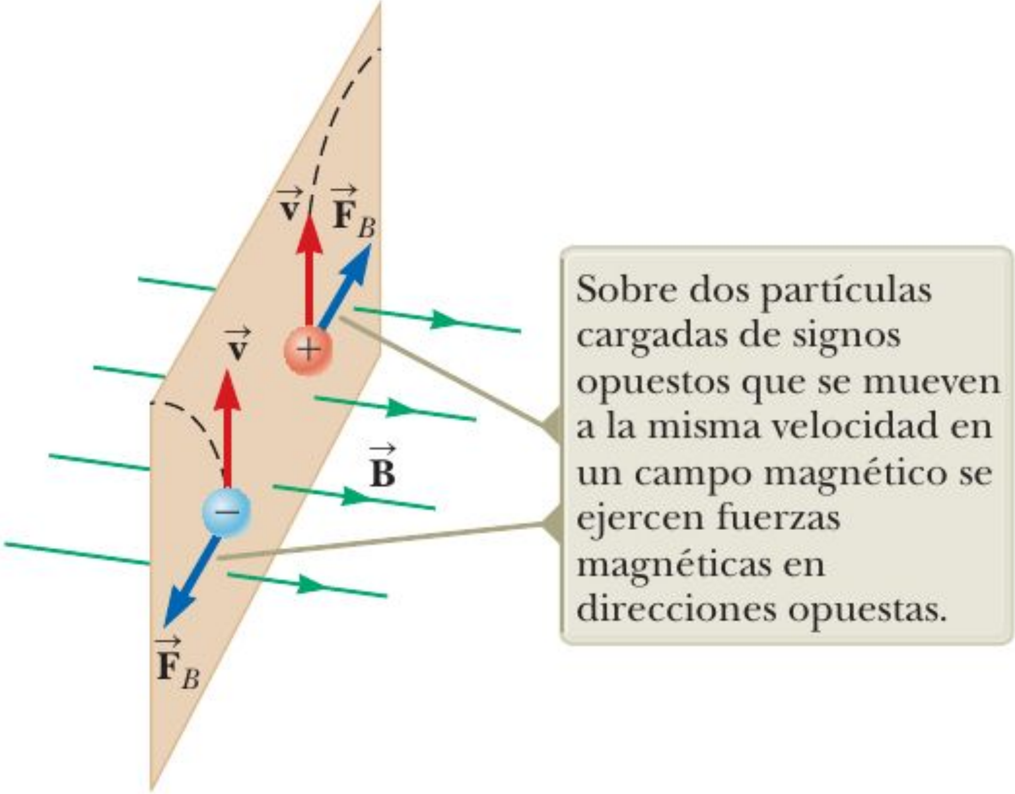
Análisis de modelo

También encontramos los siguientes resultados, *que son totalmente diferentes* de los de los experimentos con las fuerzas eléctricas:

- ➔ **La fuerza magnética es proporcional a la rapidez v de la partícula.**
- ➔ **Si el vector velocidad forma un ángulo θ con el campo magnético, la magnitud de la fuerza magnética es proporcional al seno de θ.**
- ➔ **Cuando una partícula cargada se mueve paralela al vector de campo magnético, la fuerza magnética que actúa sobre ella es igual a cero.**
- ➔ **Cuando una partícula cargada se mueve de forma no paralela al vector de campo magnético, la fuerza magnética actúa en dirección perpendicular a $\vec{v}$ y a $\vec{B}$, es decir, la fuerza magnética es perpendicular al plano formado por $\vec{v}$ y $\vec{B}$.**

Dirección de la fuerza magnética sobre una partícula cargada





Representación matemática

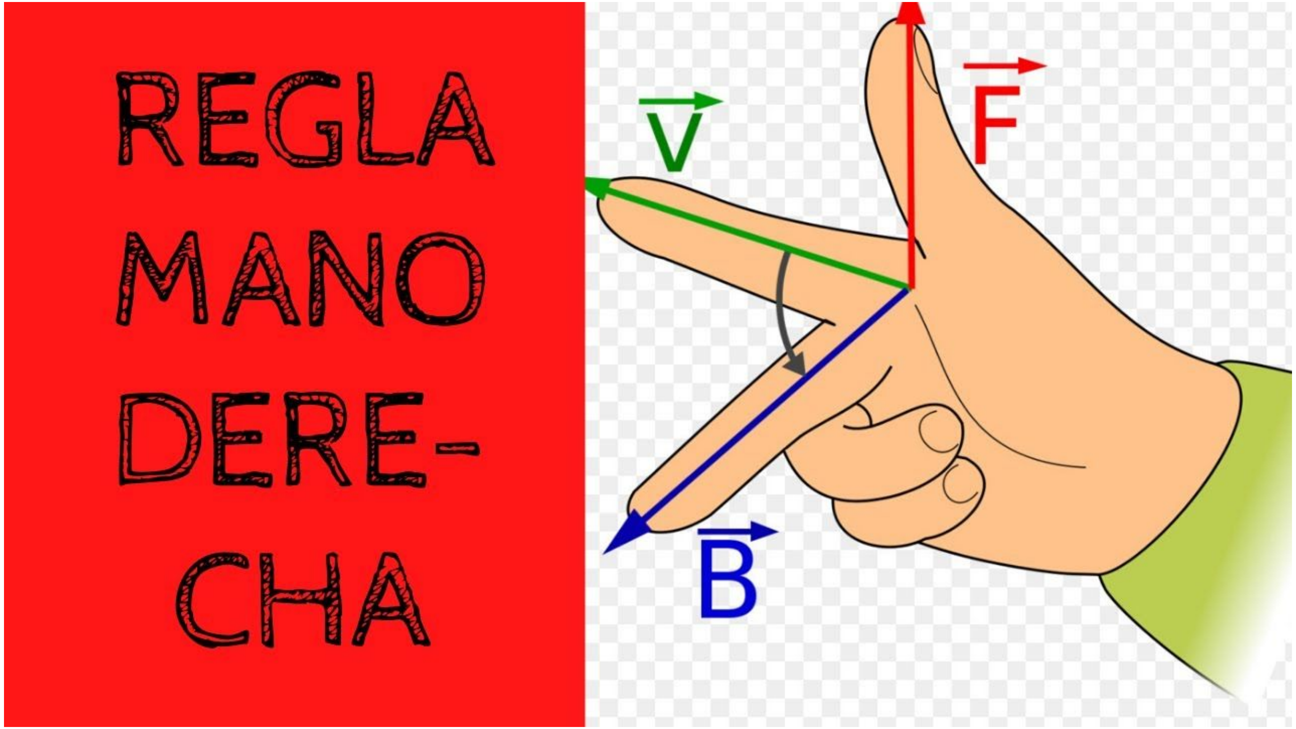
$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Esta ecuación es una <u>definición operacional del campo magnético</u> en algún punto en el espacio. Esto es, el campo magnético está definido en función de la fuerza que actúa sobre una partícula cargada en movimiento.

La magnitud de la fuerza magnética sobre una partícula cargada es

$$F_B = qvBsen(\theta)$$

Regla de la mano derecha campo magnetico



1) Apunte sus dedos en la dirección de $\vec{v}$, y a continuación enróllelos hacia la dirección de $\vec{B}$.

2) Su pulgar en posición vertical muestra la dirección de la fuerza magnética sobre una partícula positiva.

$\vec{F}_B$ Queda en la dirección del pulgar si <u>q es positiva</u> y en la dirección opuesta si <u>q es negativa</u>

Diferencias versiones eléctrica y magnética del modelo de partícula en un campo

- El vector fuerza eléctrica actúa a lo largo de la dirección del campo eléctrico, en tanto que el vector fuerza magnética actúa perpendicularmente al campo magnético.

- La fuerza eléctrica actúa sobre una partícula cargada sin importar si ésta se encuentra en movimiento, en tanto que la fuerza magnética actúa sobre una partícula cargada sólo cuando está en movimiento.

- La fuerza eléctrica efectúa trabajo al desplazar una partícula cargada, en tanto que la fuerza magnética asociada con un campo magnético estable no efectúa trabajo cuando se desplaza una partícula, debido a que la fuerza es perpendicular al desplazamiento de su punto de aplicación.

Con base en este último enunciado y también con el teorema trabajo-energía cinética, ¿**la energía cinética de una partícula cargada que se mueve a través de un campo magnético puede ser modificada sólo por el campo magnético**?

La unidad del SI del campo magnético

$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ T} = 1 \text{ N/A} \cdot \text{m} \quad (1 \text{ A} = 1 \text{ C/s})$$

Otra unidad de B que también es de uso común es el **gauss** ($1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$).

Campos Magnéticos Naturales

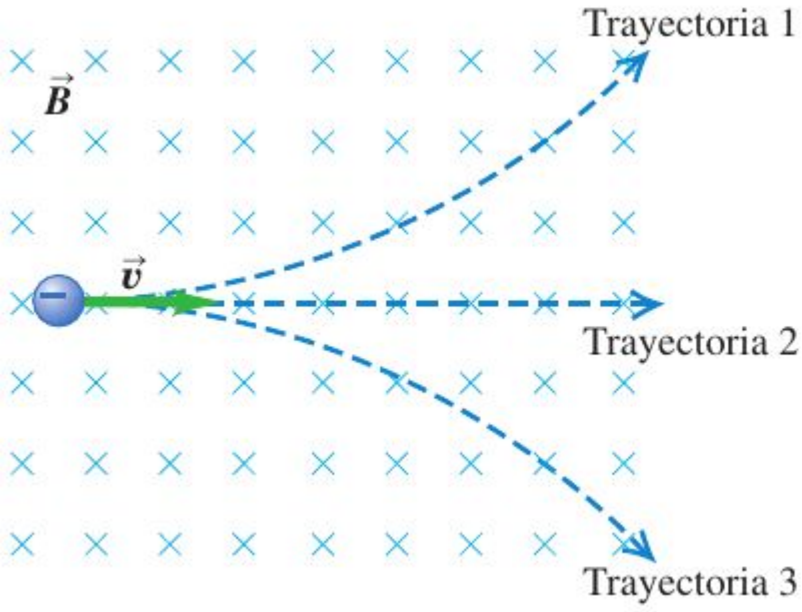
Origen	Magnitud Aproximada	Unidad (T)
Intergaláctico	1 pT a 10 pT	10^{-12} T
Nuestra Galaxia (Vía Láctea)	0.5 nT	$0.5 \times 10^{-9} \text{ T}$
Tierra (en la superficie)	25 a 65 µT	$25 \times 10^{-6} \text{ T}$ a $65 \times 10^{-6} \text{ T}$
Mancha Solar	$\sim 0.1 \text{ T}$ a $\sim 1 \text{ T}$	10^{-1} T a 1 T
Estrella de Neutrones	1 MT a 100 GT	10^{6} T a 10^{11} T
Magnetar (el más intenso conocido)	80 a 100 GT	$80 \times 10^{9} \text{ T}$ a 10^{11} T

Campos Magnéticos Cotidianos y Artificiales

Origen	Magnitud Aproximada	Unidad (T)
Interior de una Casa (con corriente eléctrica)	0.1 a 100 µT	10^{-7} T a 10^{-4} T
Teléfono Móvil (cerca)	$\sim 100 \text{ µT}$	10^{-4} T
Imán de Nevera (superficie)	0.005 T a 0.01 T (≈ 50 a 100 G)	$5 \times 10^{-3} \text{ T}$ a 10^{-2} T
Imán de Neodimio (permanente, fuerte)	$\sim 1.3 \text{ T}$	1.3 T
Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	1.5 T a 3 T (clínico); hasta 22 T (laboratorio)	1.5 T a 22 T
Electroimán Híbrido (máx. en laboratorio)	45 T	45 T
Detector CMS (CERN)	3.8 T a 4 T	3.8 T a 4 T

Comprensión del modelo

La figura ilustra un campo magnético uniforme $\vec{B}$ dirigido hacia el plano del papel (que se muestra con símbolos "x"); en este plano se mueve una partícula con carga negativa.
¿**Cuál de las tres trayectorias sigue la partícula: 1, 2 o 3**?



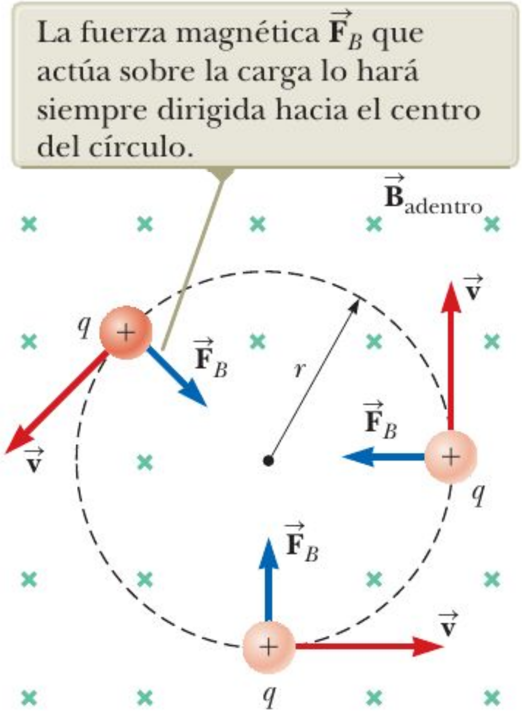
Comunmente:

1) Las líneas de campo magnético que van **hacia afuera del papel se indican mediante puntos**, que representan las puntas de las flechas que van hacia afuera.

2) Las líneas de campo magnético que **van hacia el papel se indican mediante cruces**, que representan las plumas de las flechas que van hacia adentro

Partícula en movimiento circular uniforme!

Considere el caso especial de una partícula **cargada positiva** que se mueve en un campo magnético uniforme, estando el vector de velocidad inicial de la partícula en posición perpendicular al campo.



¿**porque la partícula se mueve en círculo**?

¿**la fuerza magnética tiene una magnitud constante o variable**?

¿**a que/cuanto es igual la fuerza magnética**?

$$F_B = q\nu B$$

Deducir ecuaciones para el radio, el periodo y otras.

1.2 Fuerza magnética (Lorentz):

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

Para $\vec{v} \perp \vec{B}$, la magnitud es:

$$F = qvB$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

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

1.3 Segunda Ley de Newton:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Como la fuerza es puramente centrípeta:

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

En movimiento circular: $v = \omega r$
Sustituyendo $r = \frac{mv}{qB}$:

$$v = \omega\left(\frac{mv}{qB}\right)$$

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

Es importante notar que la velocidad angular ω es independiente de la velocidad lineal v y del radio r.

Deducir ecuaciones para el radio, el periodo y otras.

Periodo (T) del Movimiento

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

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

Aceleración Centrípeta

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

Frecuencia (f)

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

Observaciones Clave

➔ **El periodo NO depende de la velocidad**: Partículas con la misma relación q/m (carga/masa) tardan el mismo tiempo en completar una órbita, independientemente de su rapidez.

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

➔ **Partículas más rápidas trazan círculos de mayor radio.**

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

➔ **Campos magnéticos más fuertes producen órbitas más pequeñas y mayores frecuencias.**

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

Para pensar: velocidad inicial no perpendicular al campo

"Considere una partícula cargada se mueve en un campo magnético uniforme **con su velocidad orientada en algún ángulo arbitrario respecto de B**."

¿**En que tipo de trayectoria se movería esta particula**?

Vamos a suponer el campo está dirigido en la dirección x.

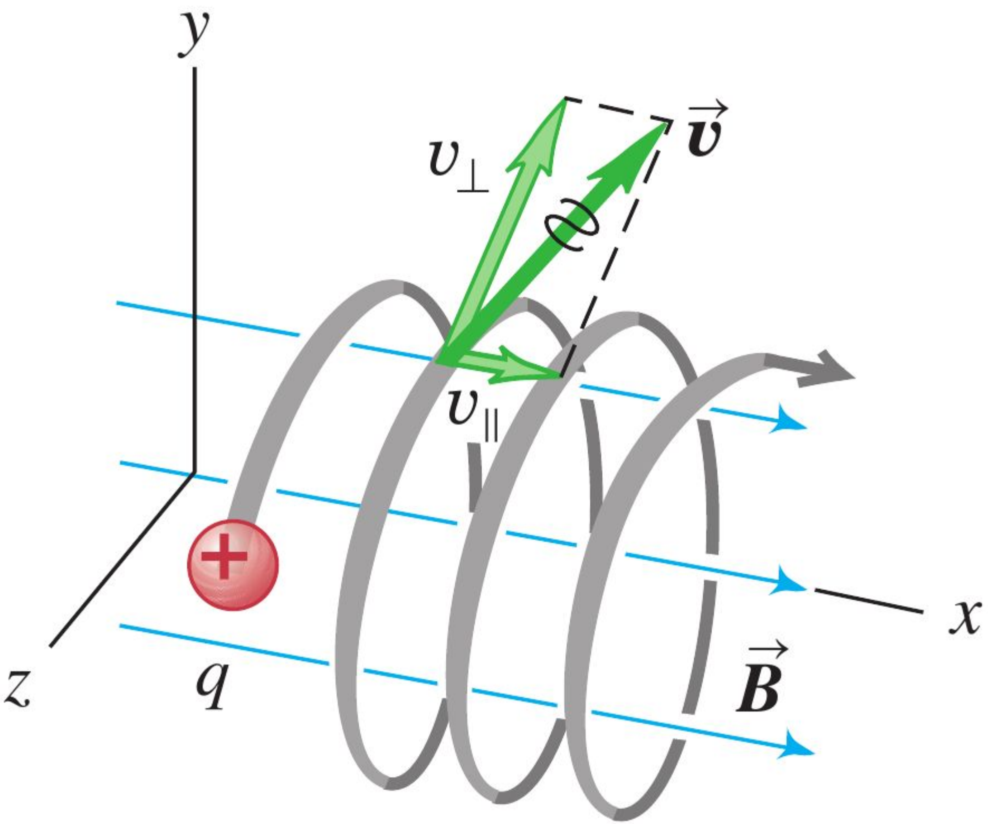
Si descomponemos el vector velocidad en dos componentes: una paralela al campo magnético ($v_{//}$) y otra perpendicular ($v_{\perp}$), ¿cómo afecta el campo magnético a cada componente?

Para la componente perpendicular $v_{\perp}$, ¿qué tipo de movimiento ya conocemos que produce un campo magnético perpendicular a la velocidad?"

"¿Qué fuerza magnética experimenta la componente paralela $v_{//}$? (Recuerden: **F = q(v × B)**)"

Dibujen mentalmente: un círculo que se traslada uniformemente en dirección perpendicular a su plano. ¿Qué figura geométrica describe?

Trayectoria helicoidal



¡Exacto! Han descubierto que la combinación de:

- ★ Movimiento circular en el plano perpendicular (debido a $v_\perp$)
- ★ Movimiento rectilíneo uniforme en la dirección paralela (debido a ($v_{//}$)

produce una trayectoria helicoidal, donde el radio depende de $v_\perp$ y el 'paso' de la hélice depende de $v_{//}$.

Resumen

🎯 LO QUE APRENDIMOS HOY

✔️ La fuerza magnética **no realiza trabajo**, solo cambia la dirección del movimiento

✔️ El radio depende de la velocidad, pero el período depende solo de **q/m** y **B**

✔️ Partículas más rápidas → órbitas más grandes, mismo tiempo de giro

✔️ Campos más intensos → órbitas más pequeñas y mayor frecuencia

🚀 PRÓXIMOS PASOS

🔍 Selector de velocidad

🔍 Espectrómetros de masas (identificación de elementos y moléculas)

🔍 Ciclotrones y aceleradores de partículas (investigación nuclear y médica).

📚 **Fuentes del campo magnético**

¡**Gracias por su atención**!
¿Preguntas?

Backup slides

Teorema Trabajo-Energía Cinética

1. Definición de Trabajo

El trabajo mecánico se define como:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = F\, d \cos\theta$$

Donde:

- W es el trabajo
- $\vec{F}$ es el vector fuerza
- $\vec{d}$ es el vector desplazamiento
- θ es el ángulo entre los vectores

2. Energía Cinética

La energía cinética de un objeto es:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde:

- K es la energía cinética
- m es la masa del objeto
- v es su rapidez

3. Teorema Trabajo-Energía Cinética

$$W_{\text{neto}} = \Delta K = K_f - K_i = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

O de forma más compacta:

$$W_{\text{neto}} = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

Movimiento Circular Uniforme (MCU)

Es el movimiento de un objeto que describe una **trayectoria circular con rapidez constante**.

Característica principal: Aunque la rapidez es constante, la velocidad cambia continuamente de dirección, por lo que existe aceleración centrípeta.

1. Posición Angular (θ)

$$\theta = \frac{s}{r}$$

Donde:

- s = arco recorrido
- r = radio de la circunferencia

2. Velocidad Angular (ω)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$$

Unidad: radianes por segundo $(\mathrm{rad/s})$

3. Periodo (T)

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

Definición: Tiempo que tarda en dar **una vuelta completa**.

4. Frecuencia (f)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Definición: Número de vueltas por unidad de tiempo.

Unidad: Hertz (Hz) = s^{-1}

5. Relación entre Velocidad Lineal y Angular

$$v = \omega r$$

6. Aceleración Centrípeta (a_c)

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Dirección: Siempre hacia el **centro** de la circunferencia.

Aceleración Centrípeta

2. Vector de Posición

Para un ángulo θ:

$$\vec{r} = r\cos\theta\,\hat{\imath} + r\sin\theta\,\hat{\jmath}$$

3. Vector Velocidad

Derivando la posición:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = -r\sin\theta\frac{d\theta}{dt}\,\hat{\imath} + r\cos\theta\frac{d\theta}{dt}\,\hat{\jmath}$$

Como $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, entonces:

$$\vec{v} = -r\omega\sin\theta\,\hat{\imath} + r\omega\cos\theta\,\hat{\jmath}$$

Y como $v = r\omega$:

$$\vec{v} = -v\sin\theta\,\hat{\imath} + v\cos\theta\,\hat{\jmath}$$

4. Vector Aceleración

Derivando la velocidad:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -v\cos\theta\frac{d\theta}{dt}\,\hat{\imath} - v\sin\theta\frac{d\theta}{dt}\,\hat{\jmath}$$

Sustituyendo $\frac{d\theta}{dt} = \omega = \frac{v}{r}$:

$$\vec{a} = -v\cos\theta\left(\frac{v}{r}\right)\,\hat{\imath} - v\sin\theta\left(\frac{v}{r}\right)\,\hat{\jmath}$$

$$\vec{a} = -\frac{v^2}{r}\cos\theta\,\hat{\imath} - \frac{v^2}{r}\sin\theta\,\hat{\jmath}$$

5. Magnitud y Dirección

Magnitud:

$$a = \sqrt{\left(-\frac{v^2}{r}\cos\theta\right)^2 + \left(-\frac{v^2}{r}\sin\theta\right)^2}$$

$$a = \frac{v^2}{r}\sqrt{\cos^2\theta + \sin^2\theta} = \frac{v^2}{r}$$

$$\vec{a} = -\frac{v^2}{r}(\cos\theta\,\hat{\imath} + \sin\theta\,\hat{\jmath}) = -\frac{v^2}{r}\,\hat{r}$$