

Repaso Clase 6

- Circuitos: fuentes
- Resistencias (paralelo y serie)
- Leyes de Kirchhoff

Campos Magnéticos



Los fenómenos magnéticos se conocen desde la antigüedad. (Tales de Mileto, ~ 600 AC)

Los chinos utilizaban brújulas hace miles de años (~ 20 DC)



Se sabe desde hace siglos también que ciertos materiales encontrados en la naturaleza son capaces de atraer metales

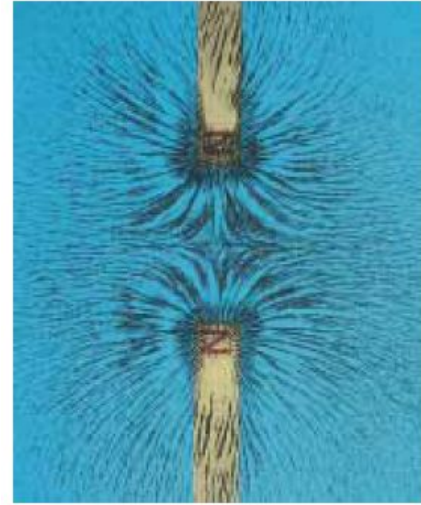
Magnetismo: consideraciones empíricas

<https://www.youtube.com/shorts/72vURTEX3Pk?feature=share>

Si rodeamos un imán con limaduras de hierro observamos:



Henry Leap and Jim Lehman



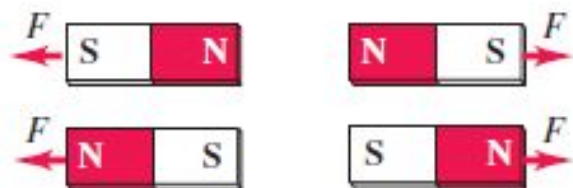
Todo imán presenta dos *po*los llamados arbitrariamente Norte y Sur

27.1 a) Dos imanes de barra se atraen cuando sus polos opuestos (N y S, o S y N) están cerca uno del otro. b) Los imanes de barra se repelen cuando sus polos iguales (N y N, o S y S) se aproximan entre sí.

a) Los polos opuestos se atraen

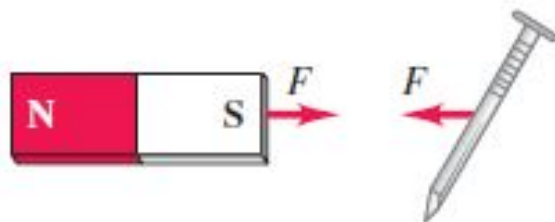
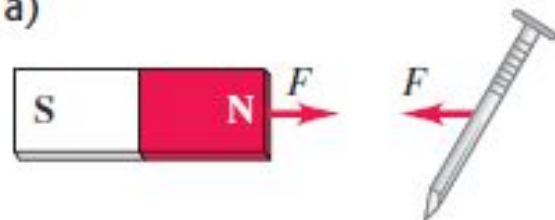


b) Los polos iguales se repelen



27.2 a) Cualquiera de los polos de un imán de barra atrae a un objeto no magnetizado que contenga hierro, como un clavo. b) Ejemplo de este efecto en la vida real.

a)

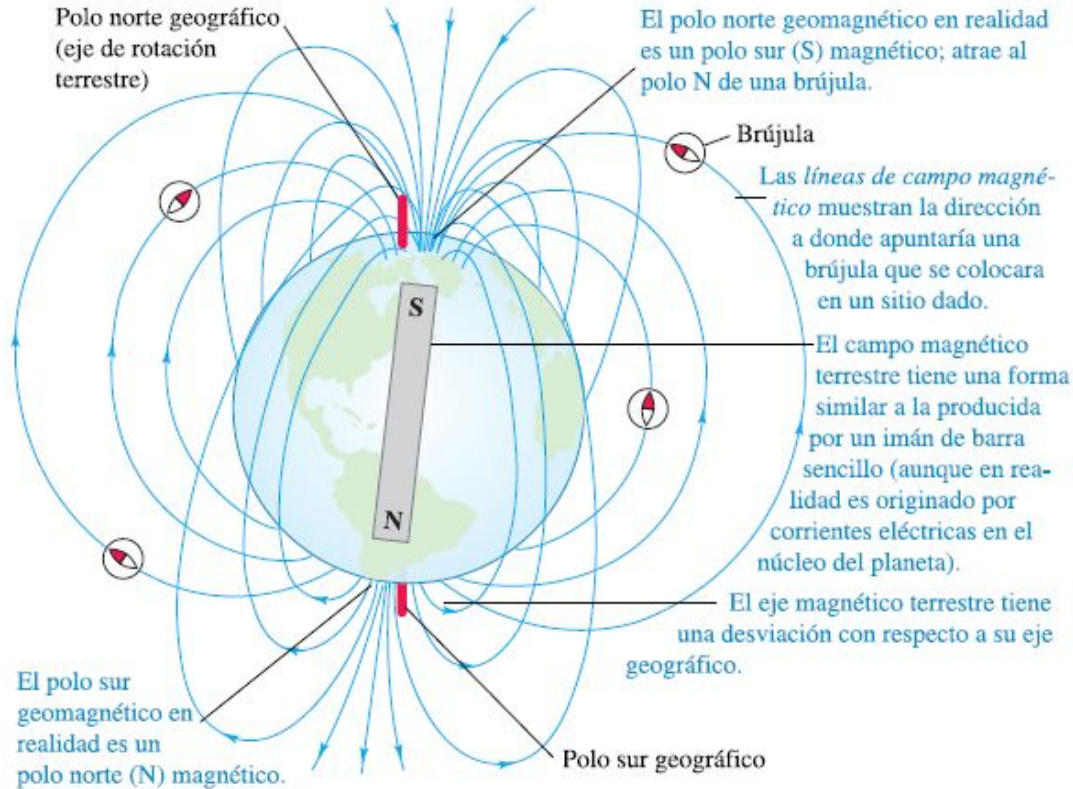


Magnetismo en China

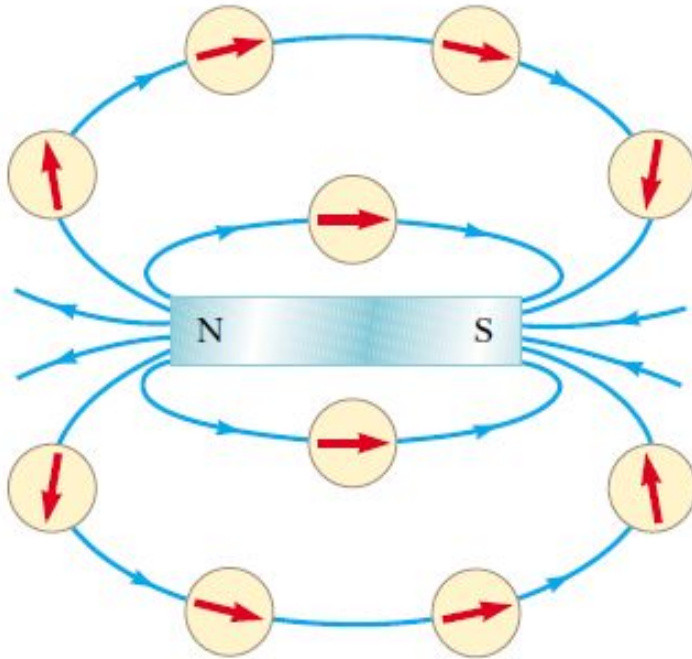
En el siglo II a. C. descubrieron que un trozo alargado de magnetita flotando en un cubo de agua se alineaba en dirección Norte-Sur.



El comportamiento de la aguja de una brújula nos lleva a concluir que la tierra se comporta también como un imán. La orientación de la aguja tiene que ver con la interacción con el campo magnético terrestre



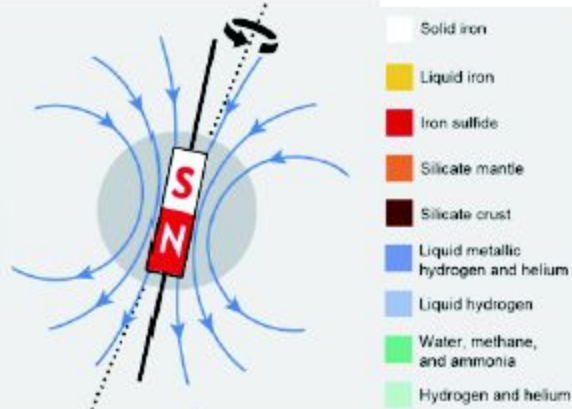
Las líneas de campo de un imán son esencialmente las líneas de un dipolo. No se ha encontrado hasta ahora un monopolo o “carga” magnética



Al igual que en electrostática, estudiaremos los fenómenos magnéticos a partir del campo magnético (B). Podemos pensar al campo magnético en un punto como la orientación de una aguja de brújula puesta en ese punto.

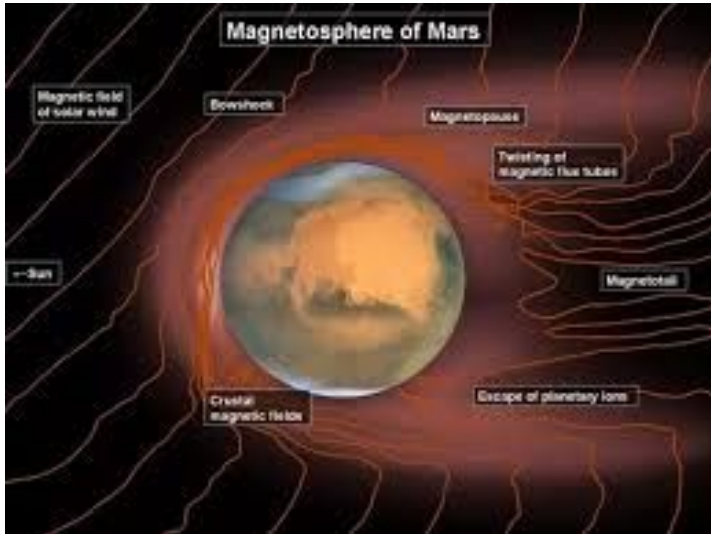
Earth

Our planet's magnetic north pole happens to point toward its geographic south pole, as do Mercury's and Uranus's.



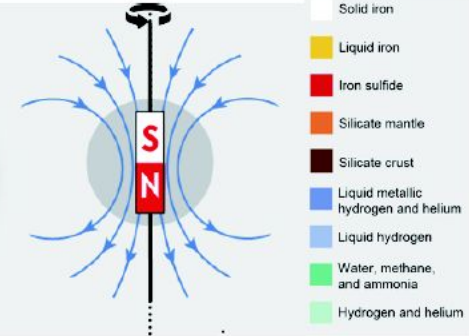
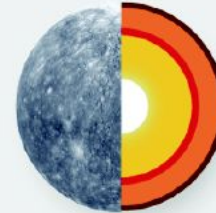
Credit: Mark Belan; Sources: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington (*Mercury's surface*); Reto Stöckli, NASA Earth Observatory (*Earth's surface*); NASA/JPL/Space Science Institute (*Jupiter's surface*)

<https://www.scientificamerican.com/article/the-solar-systems-mysterious-magnetic-fields/>



Mercury

The smallest of the planets also has the weakest magnetic field. Its internal dynamo is counteracted by the solar wind of particles streaming off the sun.

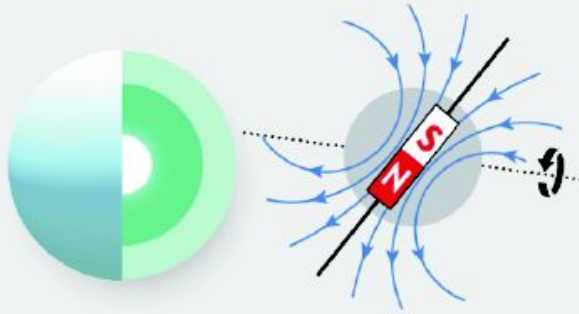


<https://blogs.ucl.ac.uk/irdr/2021/10/22/the-martian-residual-crustal-magnetic-fields-a-mitigation-measure-against-space-radiation-to-astronauts/>

https://www.youtube.com/watch?v=34gNgaME86Y&ab_channel=ScienceAtNASA

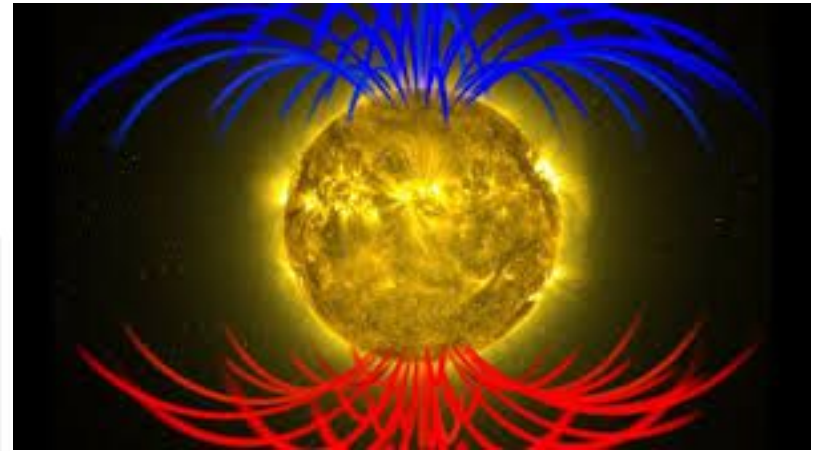
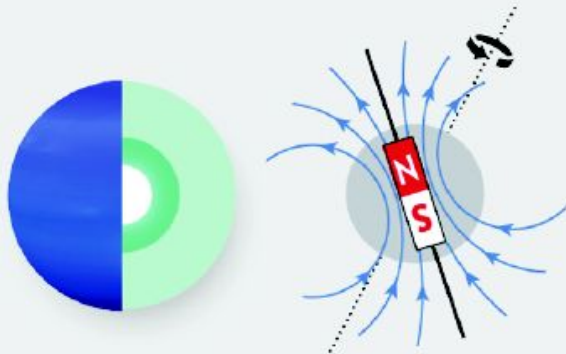
Uranus

The magnetic field here is tilted 60 degrees from the planet's rotational axis, causing the field's strength and orientation to fluctuate as Uranus spins.



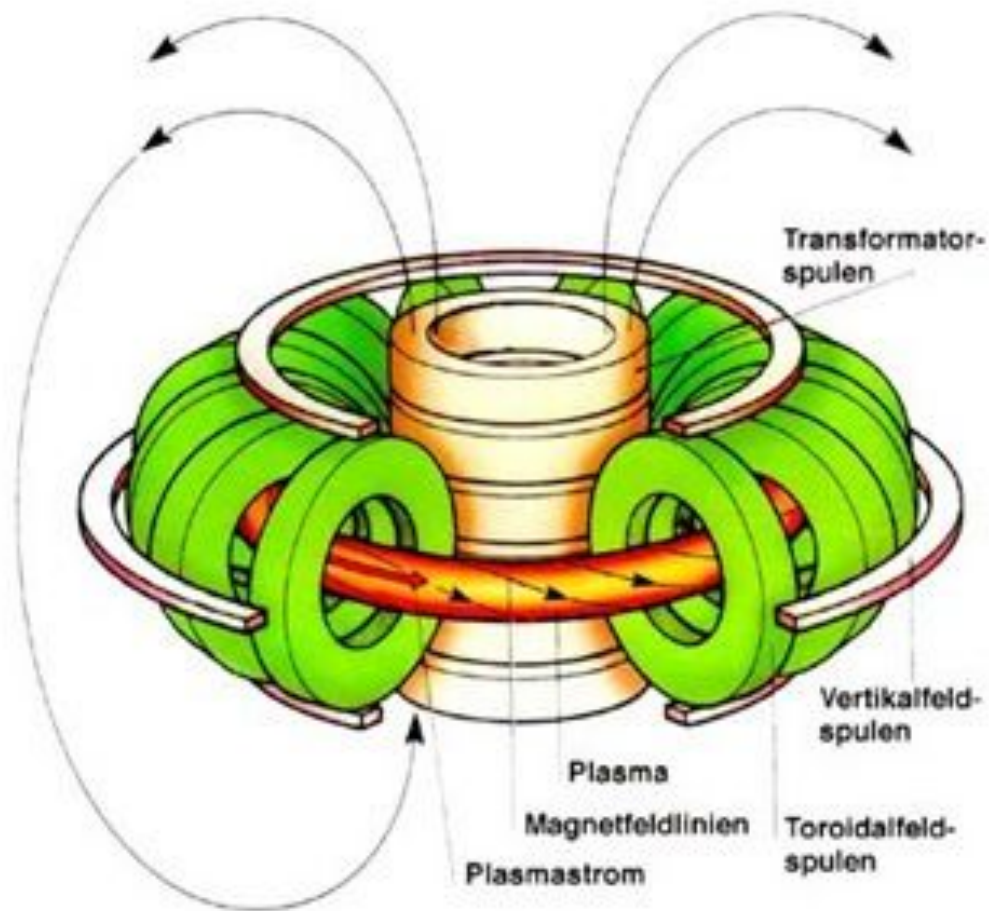
Neptune

The farthest planet's magnetic axis is also misaligned from its rotational axis, giving it a lopsided shape that interacts with the solar wind in unbalanced ways.



- White circle: Solid iron
- Yellow circle: Liquid iron
- Red circle: Iron sulfide
- Orange circle: Silicate mantle
- Dark brown circle: Silicate crust
- Dark blue circle: Liquid metallic hydrogen and helium
- Light blue circle: Liquid hydrogen
- Green circle: Water, methane, and ammonia
- Light green circle: Hydrogen and helium

Tokamaks



Producto vectorial

Orientación: Regla de la mano derecha

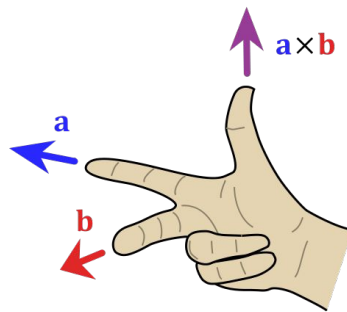
Cálculo: $\hat{i} \times \hat{i} = 0, \hat{j} \times \hat{j} = 0, \hat{k} \times \hat{k} = 0$

y todas las combinaciones cíclicas:

$$\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}$$

y todas las combinaciones anticíclicas: $\hat{j} \times \hat{i} = -\hat{k}$

Ejemplo: $\vec{A} = 5\hat{i} - 3\hat{k}$ y $\vec{B} = 4\hat{j}$



Además tenemos:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}|\sin(\theta)$$

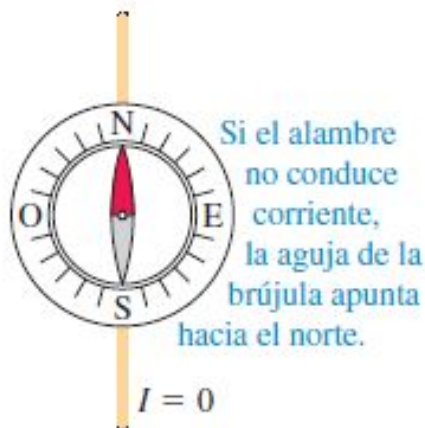
$$\vec{A} \times \vec{B} = (5\hat{i} - 3\hat{k}) \times 4\hat{j}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = 20(\hat{i} \times \hat{j}) - 12(\hat{k} \times \hat{j})$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = 20\hat{k} - 12(-\hat{i}) = 20\hat{k} + 12\hat{i}$$

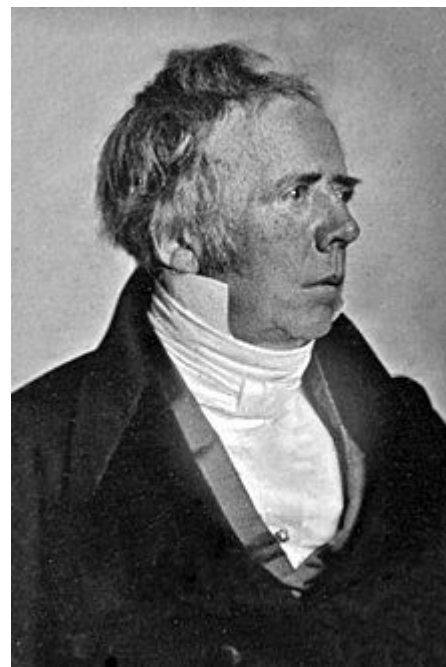
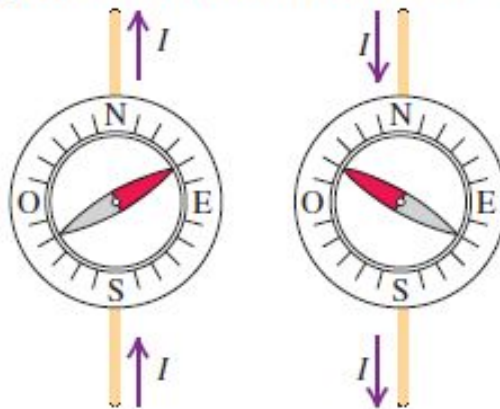
27.5 En el experimento de Oersted, se coloca una brújula directamente sobre un alambre horizontal (visto aquí desde arriba). Cuando la brújula se coloca directamente bajo el alambre, los movimientos de la brújula se invierten.

a)



b)

Si el alambre lleva corriente, la aguja de la brújula tiene una desviación, cuya dirección depende de la dirección de la corriente.



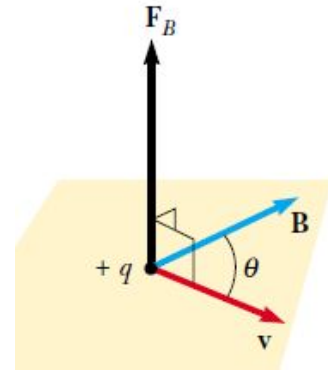
**Hans Christian
Ørsted (1820)**

Una carga o corriente móvil crea un **campo magnético** en el espacio circundante (además de su campo *eléctrico*).

La fuerza magnética: observaciones empíricas

En una carga eléctrica bajo la influencia de un **campo magnético (B)**:

- Si la carga está en reposo la fuerza es nula
- La fuerza es proporcional a la rapidez, el valor de la carga y la intensidad del campo
- Si la fuerza apunta en una cierta dirección, si invertimos el signo de la carga la fuerza apunta en la dirección opuesta
- Si la partícula se mueve paralelamente al campo, la fuerza se anula
- La fuerza es siempre perpendicular a la velocidad y al campo magnético

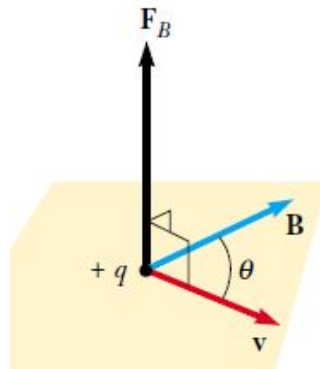
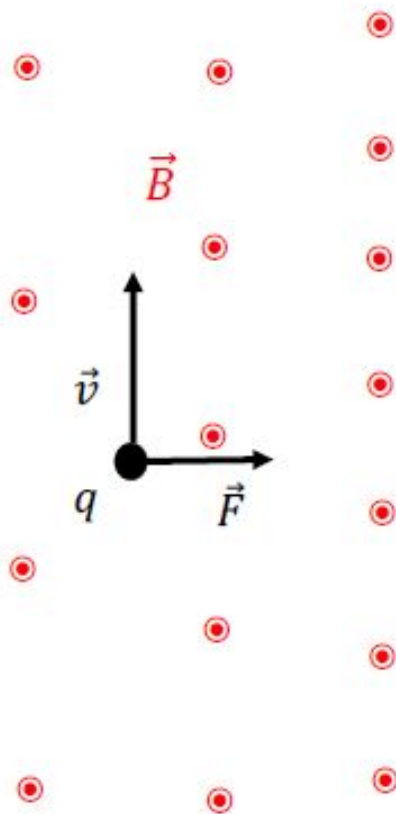


Fuerza de Lorentz

- Hendrik Lorentz formalizó en 1895 la expresión para la fuerza magnética a partir de un campo magnético $\vec{B}$
- Una carga q con una velocidad $\vec{v}$ que pasa por una región con campo magnético $\vec{B}$ experimentará una fuerza igual a:

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

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



El campo magnético: B

Se define el campo magnético a partir de la fuerza sobre una carga en movimiento:

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

Unidades de B: Tesla (MKS)

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Otra unidad muy utilizada: el Gauss

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$

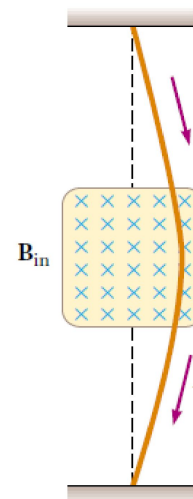
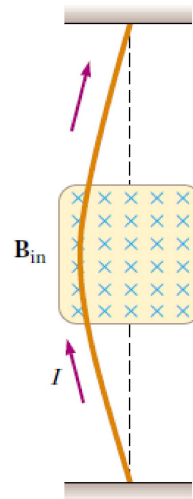
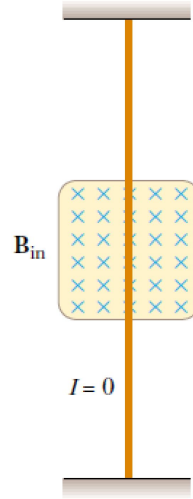
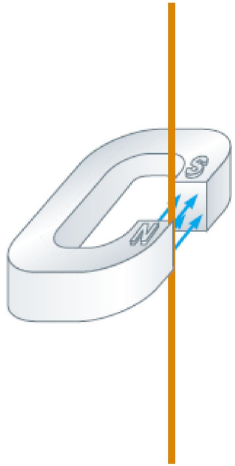
$$B_{\text{Tierra}} = 0.25\text{-}0.65 \text{ G}$$

$$B_{\text{Sol}} = 1 \text{ G}$$

$$B_{\text{Tokamak}} = 13 \text{ T} \sim 10^5 B_{\text{Tierra}}$$

Fuerza magnética sobre un conductor con corriente

Una corriente es un conjunto de cargas en movimiento, un cable que transporta corriente sometido a un campo magnético experimentará una fuerza.

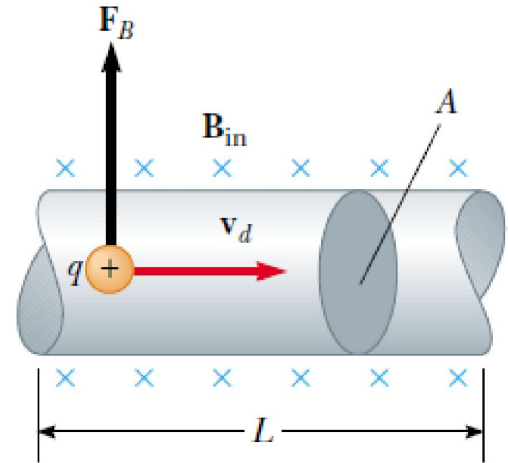


Fuerza magnética sobre un conductor con corriente

Sea un conductor recto de longitud L , sección A . Definimos n , el número de cargas por unidad de volumen. Consideramos una carga q que se mueve con una velocidad de deriva v

Si el campo magnético es uniforme, la fuerza magnética sobre una carga será

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



La corriente en el conductor es

$$I = qvAL$$

Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético uniforme

Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético uniforme. $B \perp v$

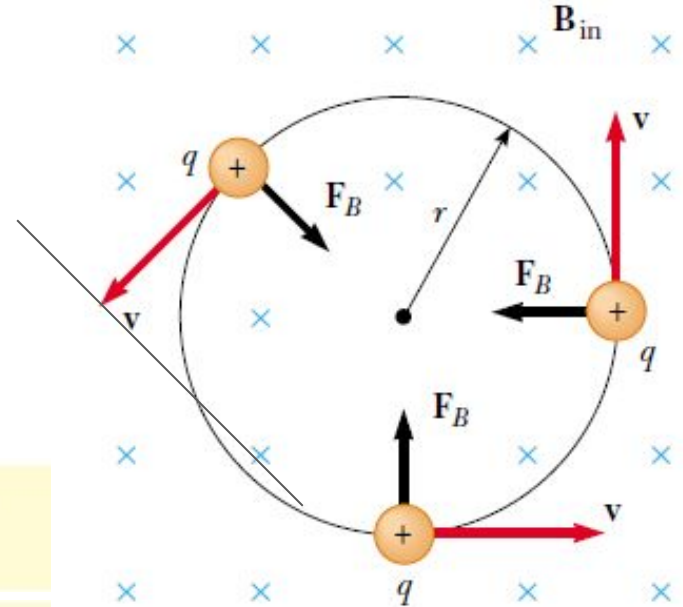
$$\sum F = ma_c \quad F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

El movimiento de una partícula cargada bajo la sola influencia de un campo magnético siempre ocurre con rapidez constante.

$$R = \frac{mv}{|q|B} \quad (\text{radio de una órbita circular en un campo magnético})$$

ω es la frecuencia de ciclotrón

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

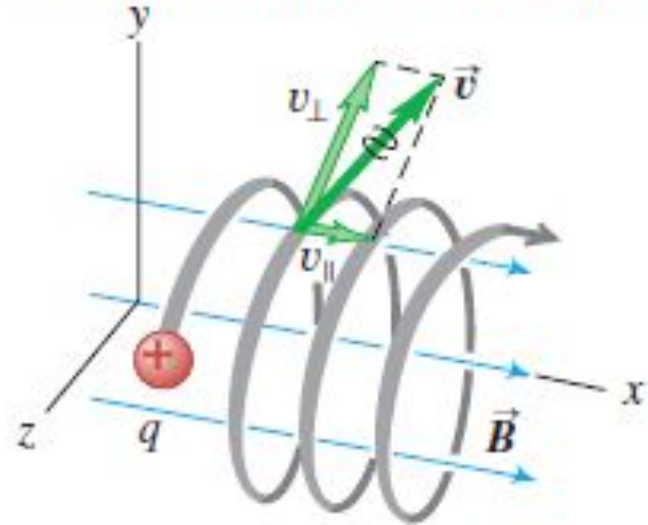


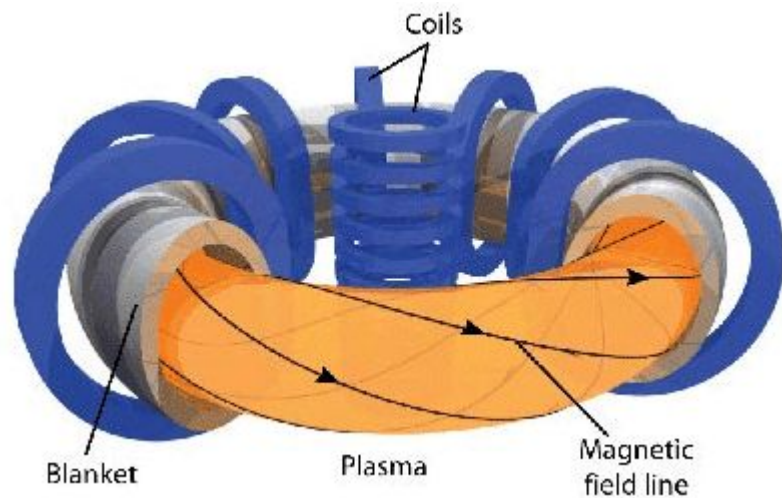
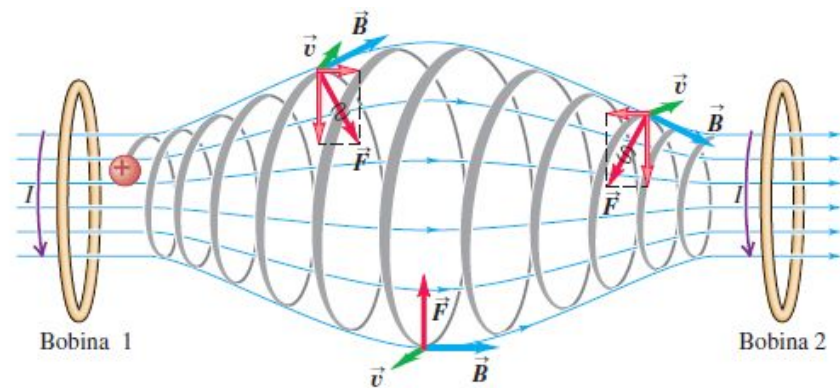
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético uniforme

Si la velocidad forma un ángulo arbitrario con el campo, el movimiento será helicoidal. La componente de velocidad paralela al campo no experimenta fuerza, por lo que en esa dirección la velocidad es constante. En las otras dos direcciones tenemos un movimiento circular.

El movimiento de esta partícula tiene componentes tanto paralelos ($v_{\parallel}$) como perpendiculares ($v_{\perp}$) al campo magnético, por lo que se mueve en una trayectoria helicoidal.

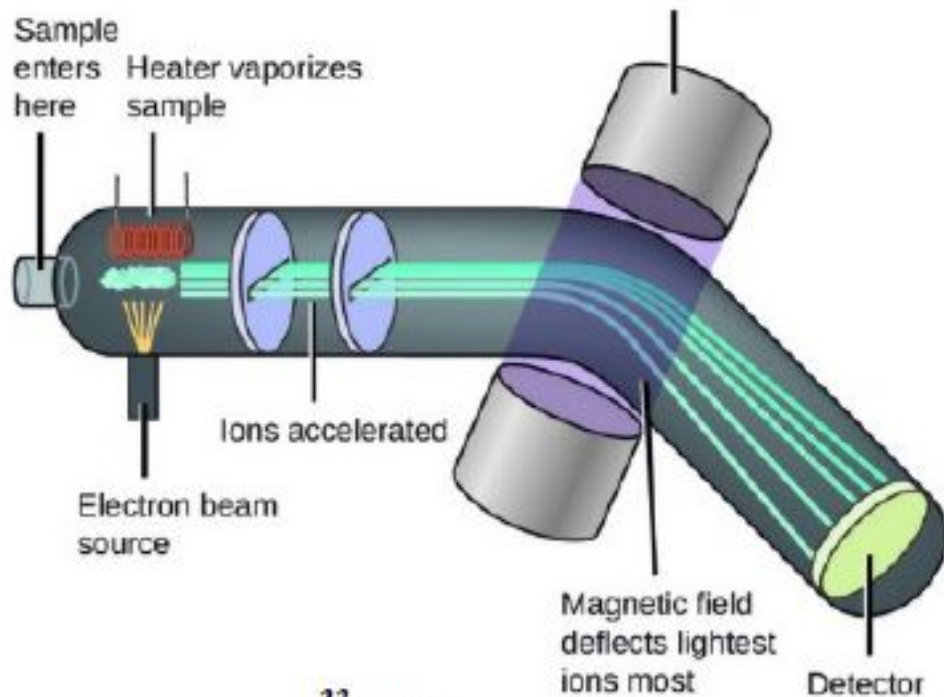




Aplicaciones:

Espectrómetro
de masa

(separa iones
de acuerdo a
su masa)



$$r_g = \frac{v_{\text{perp}}}{|q|B} m$$

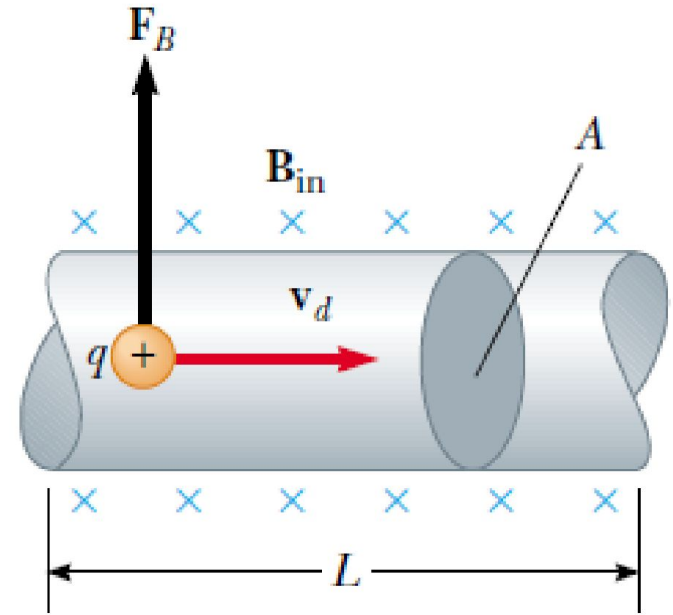
En el segmento de conductor hay una cantidad nAL de cargas. La fuerza está dada por

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

La fuerza será entonces

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

En donde $\vec{L}$ es un vector que apunta en la dirección en la que circula la corriente y cuyo módulo es igual a la longitud del conductor

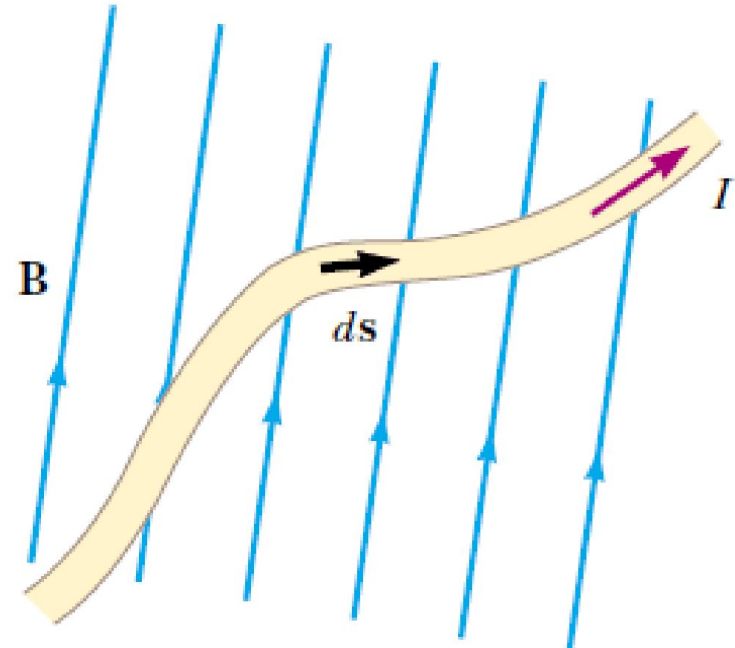


Si el conductor tiene una forma arbitraria, sobre un pequeño segmento recto de longitud ds se aplicará una fuerza $d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$

La fuerza total sobre el conductor será

$$\vec{F} = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

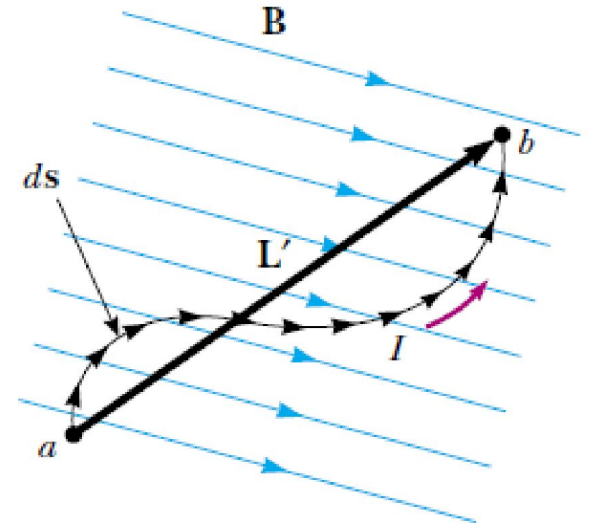
Donde a y b son los extremos del conductor



Si el campo es uniforme, podemos sacar $\vec{B}$ de la integral y se obtiene $\vec{F} = I \left(\int_a^b d\vec{s} \right) \times \vec{B}$

La suma vectorial de los elementos de longitud nos da un vector $\vec{L}'$ que une el punto a con el punto b.
La fuerza es: $\vec{F} = I\vec{L}' \times \vec{B}$.

La fuerza es entonces equivalente a la fuerza sobre un conductor recto que une los puntos a y b

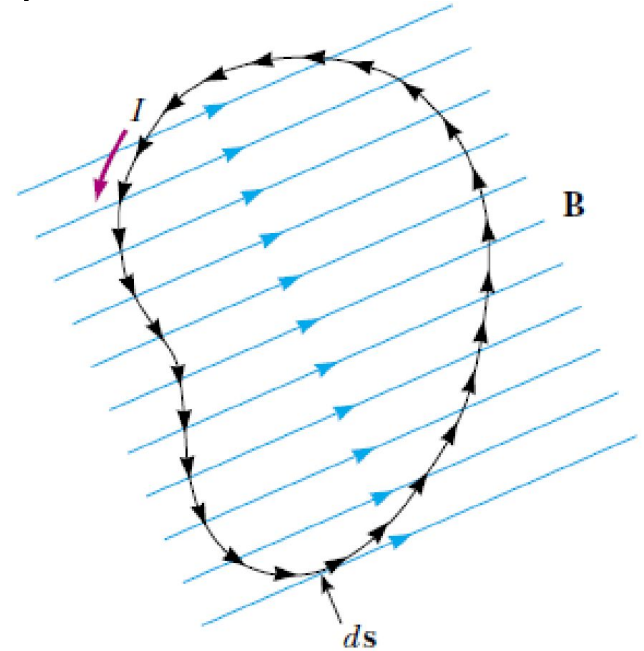


Si el conductor es cerrado (una espira) y el campo es uniforme tendremos para la fuerza

$$\vec{F} = I \left(\oint d\vec{s} \right) \times \vec{B}$$

La integral es nula por lo que la fuerza total que actúa sobre una espira inmersa en un campo magnético uniforme es nula.

$$\vec{F} = 0$$



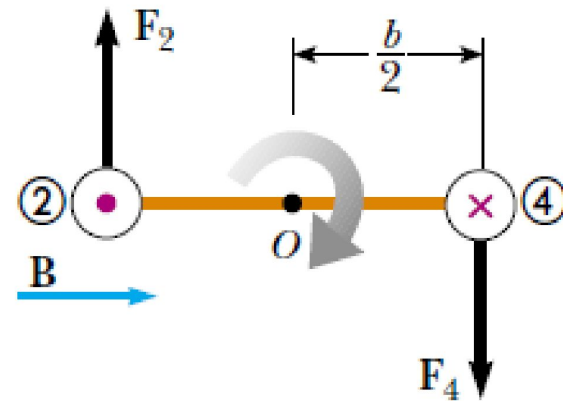
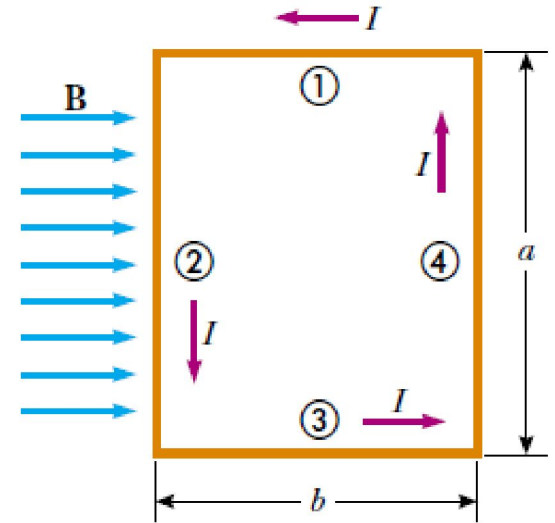
Torque sobre una espira en un campo magnético uniforme

Consideramos una espira inmersa en un campo magnético uniforme. Sabemos que la fuerza neta es nula.

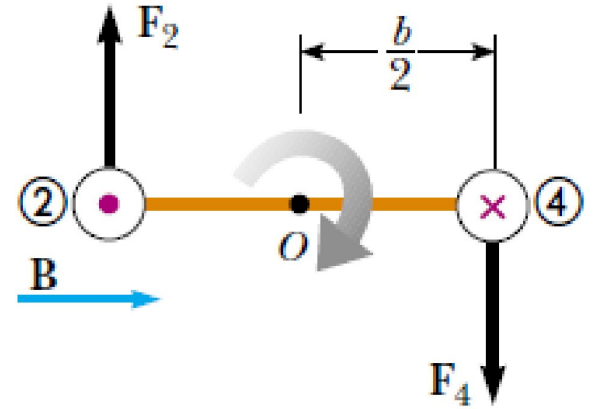
La fuerza sobre los segmentos 1 y 3 es nula.

Las fuerzas sobre los segmentos 2 y 4 son iguales y de sentido opuesto

$$F_2 = F_4 = I a B$$



Si calculamos el momento de las fuerzas con respecto al punto medio O tenemos



$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} = IabB$$

$$\tau_{\max} = IAB$$

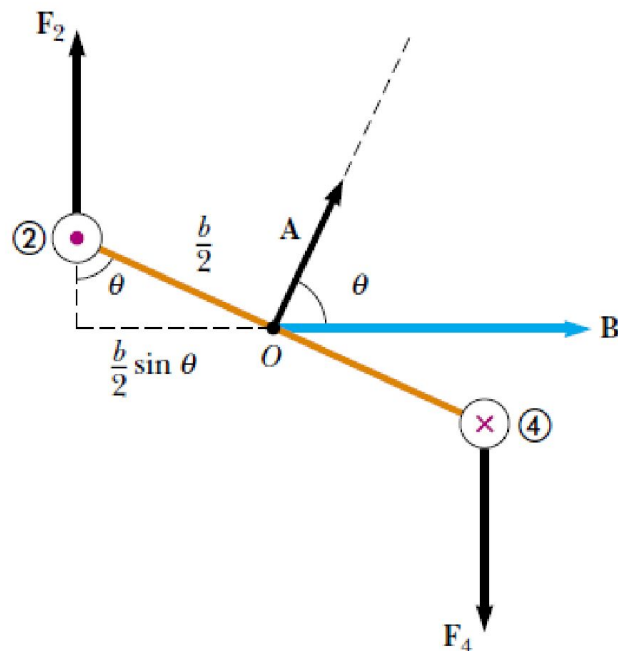
Si definimos $\vec{A}$ como un vector perpendicular al área de la espira tendremos

$$\tau = F_2 \frac{b}{2} \sin \theta + F_4 \frac{b}{2} \sin \theta$$

$$= IaB \left(\frac{b}{2} \sin \theta \right) + IaB \left(\frac{b}{2} \sin \theta \right) = IabB \sin \theta$$

$$= \mathbf{IAB \sin \theta}$$

El torque es $\vec{\tau} = I \vec{A} \times \vec{B}$



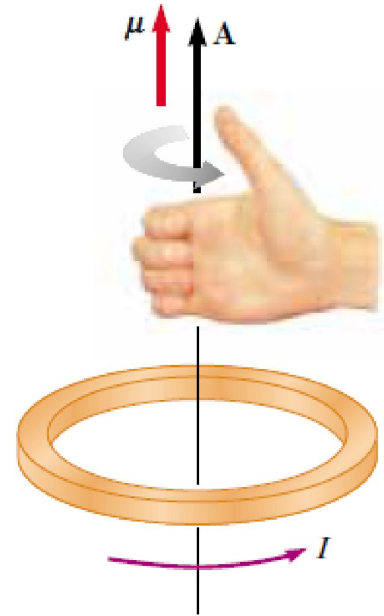
El vector $\vec{A}$ se define usando la regla de la mano derecha:

Definimos el Momento magnético $\vec{\mu}$ de una espira que lleva una corriente I como $\vec{\mu} = I \vec{A}$, con unidades de Ampere $\cdot m^2$.

El torque es entonces $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$. Este resultado no depende de la forma de la espira.

Si tenemos una bobina con N espiras, el momento magnético es

$$\vec{\mu} = N \mu_{\text{espira}}$$



Energía Potencial Magnética

La energía potencial de una espira inmersa en un campo magnético, se define de manera similar a la energía de un dipolo en un campo eléctrico:

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$