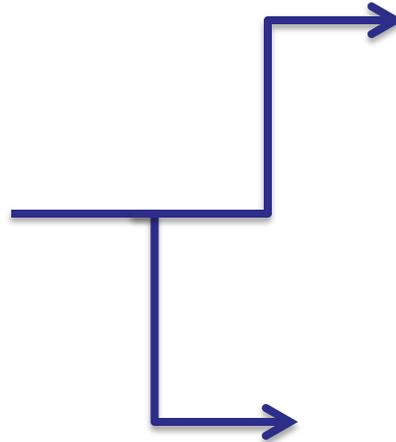


INTERACCIÓN MAGNETICA

Atrae pequeños trozos de hierro



Magnetita



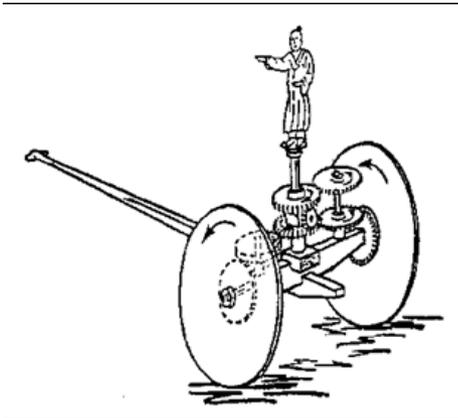
Campo magnético



En la mitología china se dice, al parecer, que en el año 2634 Hiuan Yuan fabricó un carro dotado de un dispositivo magnético que indicaba el sur, y que en la misma época el emperador Huang-Ti usó en una batalla un carro similar para conocer la dirección de la fuga del príncipe Tchi-Yeou, quién para huir había provocado gran cantidad de humo con el objetivo de desorientar al ejército del emperador. También se ha afirmado que en el año 1100 el emperador Tching Wang ofreció algunos ejemplares de dicho dispositivo al Rey de Siam. De acuerdo con estas afirmaciones, se trataba de un objeto prodigioso muy apreciado por los reyes chinos, toda vez que sus poseedores, como el emperador Huang-Ti, aventajaban a sus rivales en la guerra.

Tampoco se sabe dónde ni cuándo navegantes marinos primero se beneficiaron de estos descubrimientos.

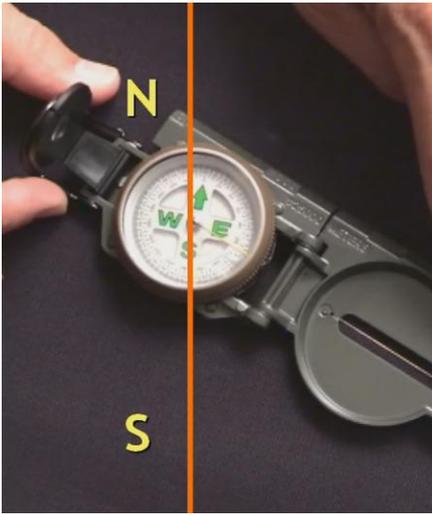
Plausible records indicate that the Chinese were using the magnetic compass around ad 1100, western Europeans by 1187, Arabs by 1220, and Scandinavians by 1300



En los viajes de Colón (Libro de a bordo)

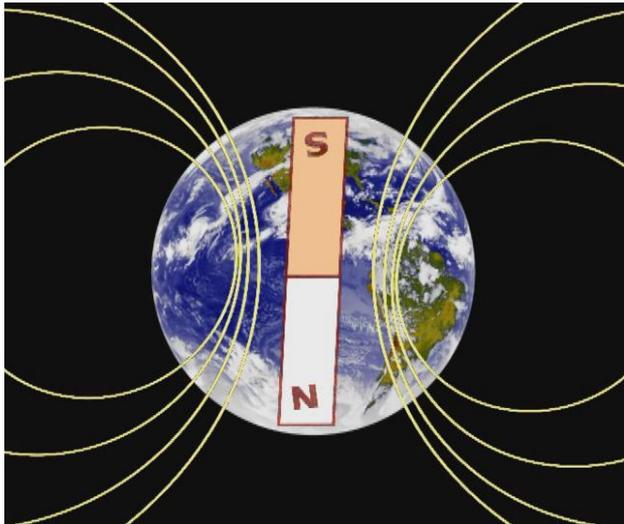
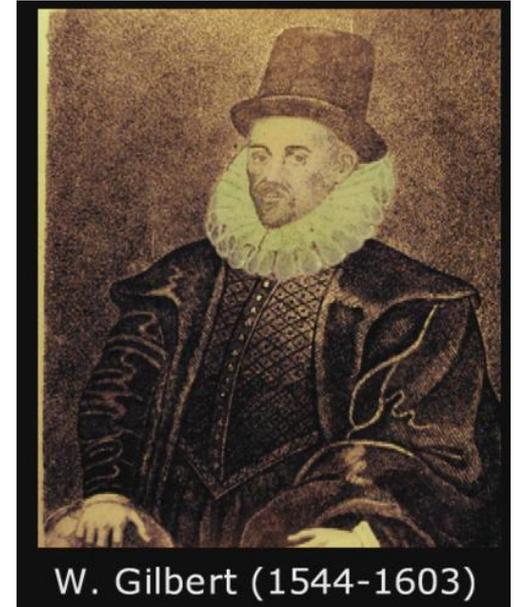
13 septiembre 1492:

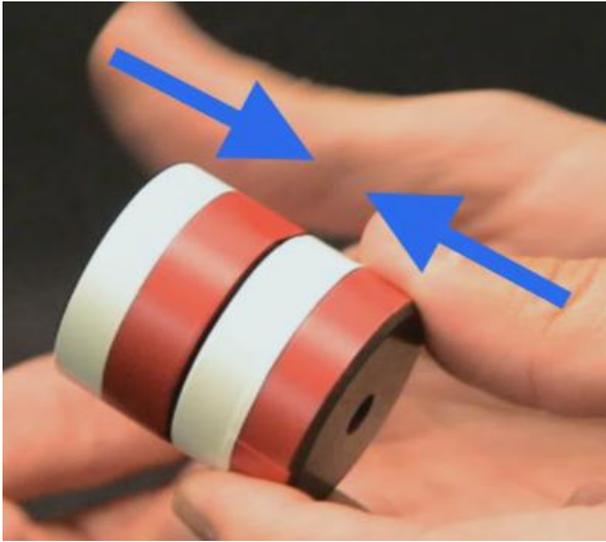
“Antes de caer la noche, la brújula indicaba una desviación hacia el noroeste”



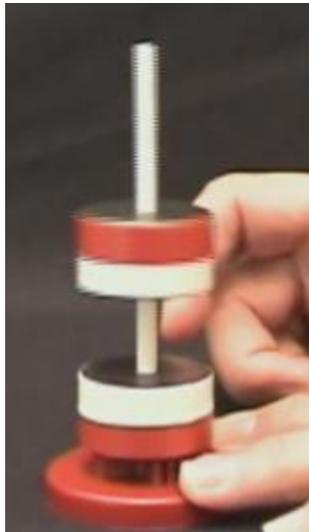
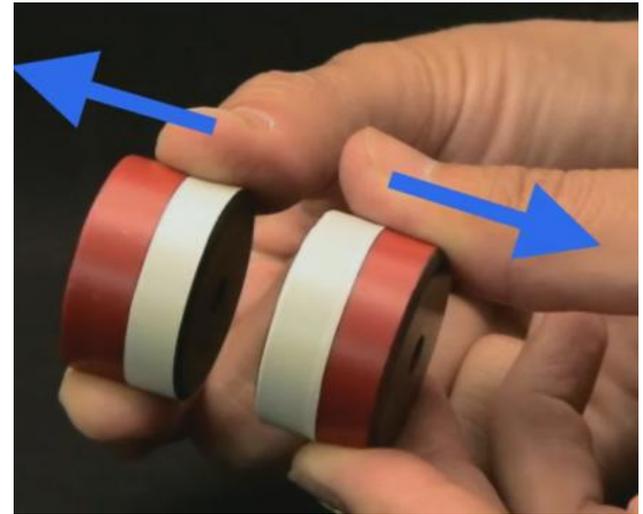
Si una aguja magnética se deja girar libremente siempre señala dirección **Norte - Sur**

La primera explicación de este hecho fue dada por Gilbert (1600). Considera a la Tierra como un gran imán. Descubre que cada imán posee dos polos (N) y (S). Aparecen fuerzas de repulsión y atracción

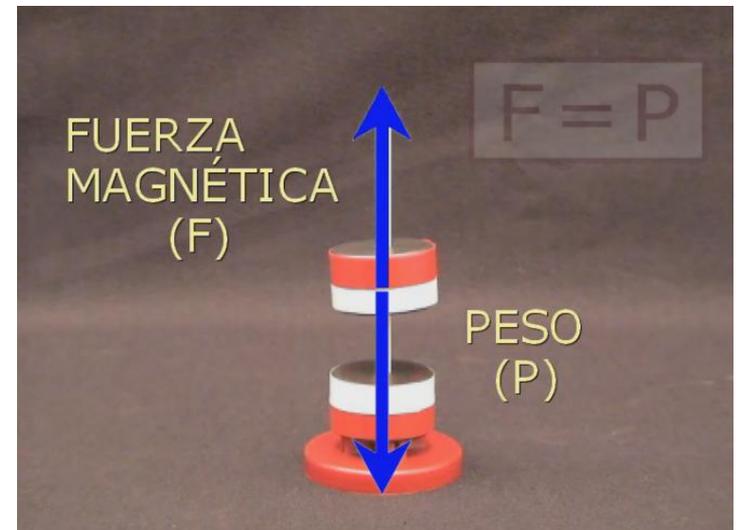




Las fuerzas son atractivas cuando la interacción se produce entre polos distintos, y repulsiva en caso contrario



Observamos la existencia de una fuerza magnética, cuando colocamos dos imanes, uno a continuación del otro, en un eje vertical. La fuerza es tan grande que el segundo imán queda flotando en el aire.



La ley de Coulomb



Interacción entre cargas estáticas



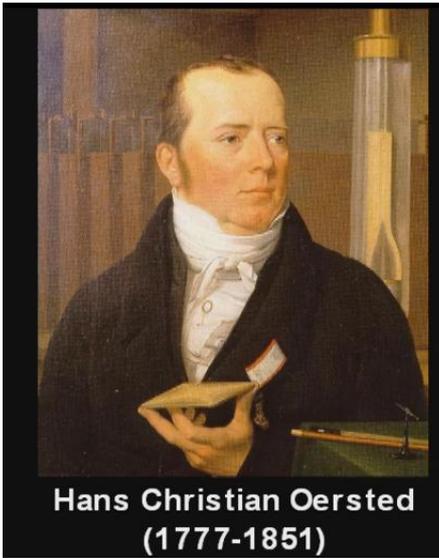
No. Si las cargas están en movimiento

Hay otros factores como la velocidad

significaba que los fenómenos magnéticos eran diferentes de los eléctricos.

Oersted

Relaciona las interacciones magnéticas con la corriente eléctrica



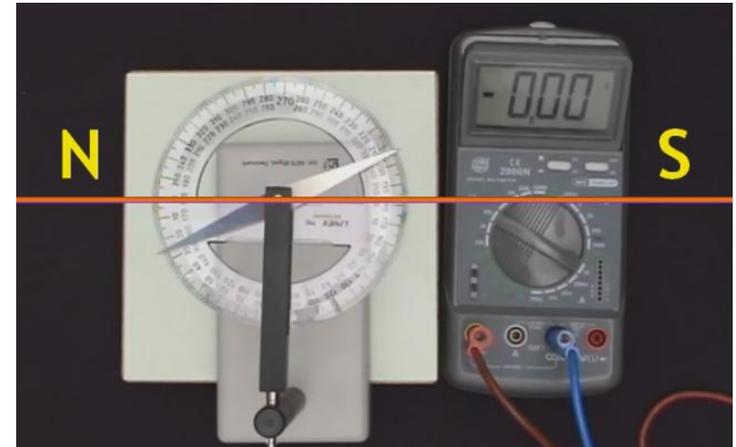
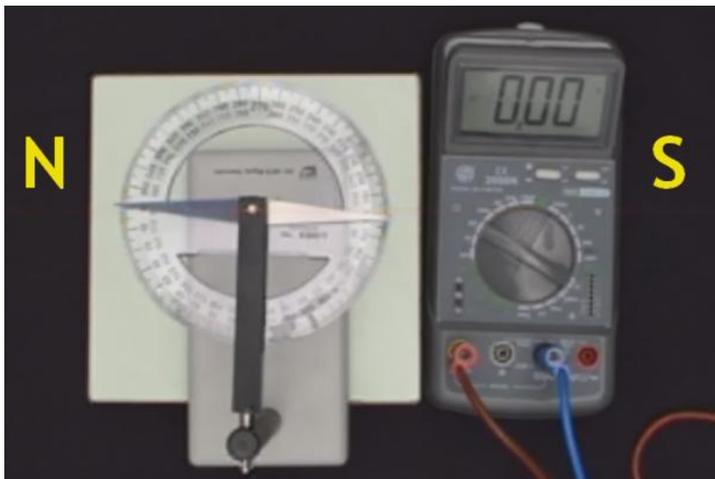
Hans Christian Oersted
(1777-1851)

Estudia la desviación de una aguja magnética debido al campo magnético creado por una corriente

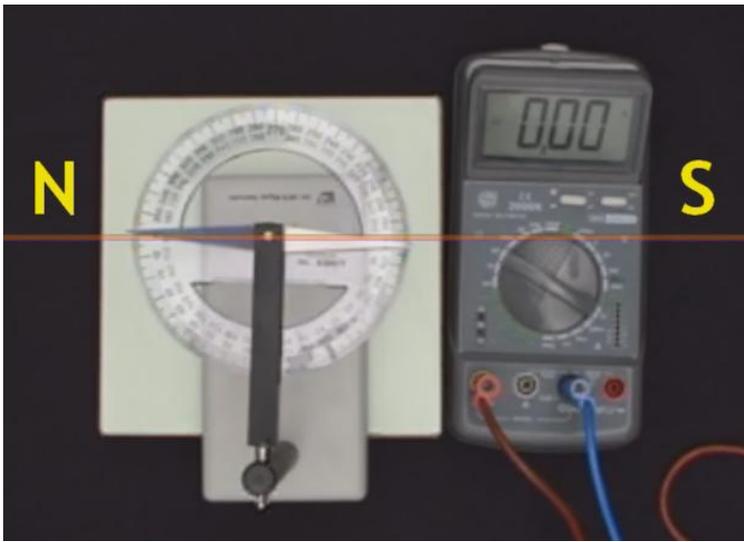


Alcanza el equilibrio.
Parte negra apunta al Norte

Sólo campo magnético terrestre. Desviamos la aguja y oscila en torno a la dirección N-S



Campo magnético

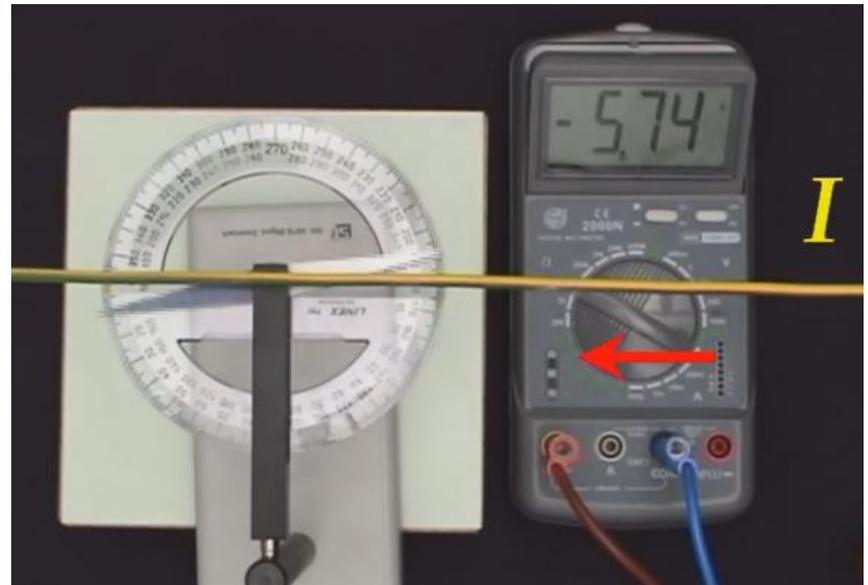
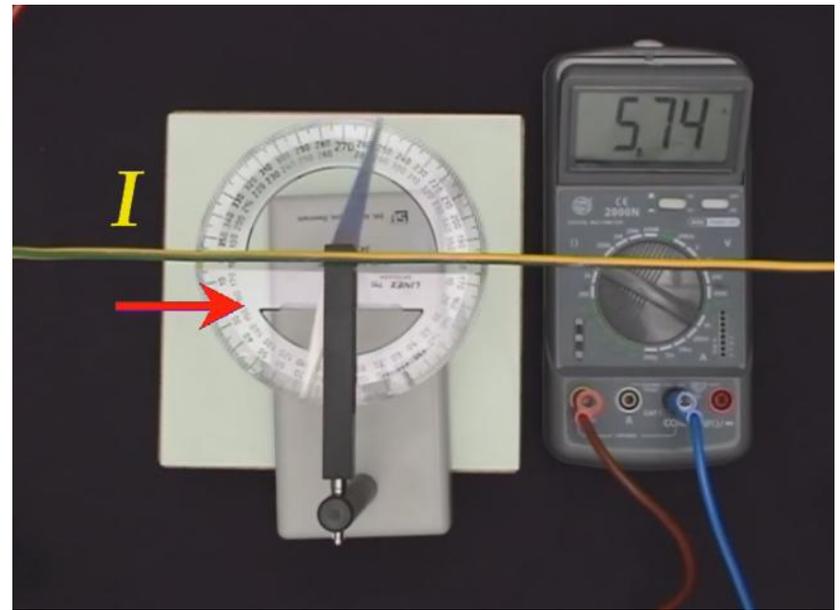


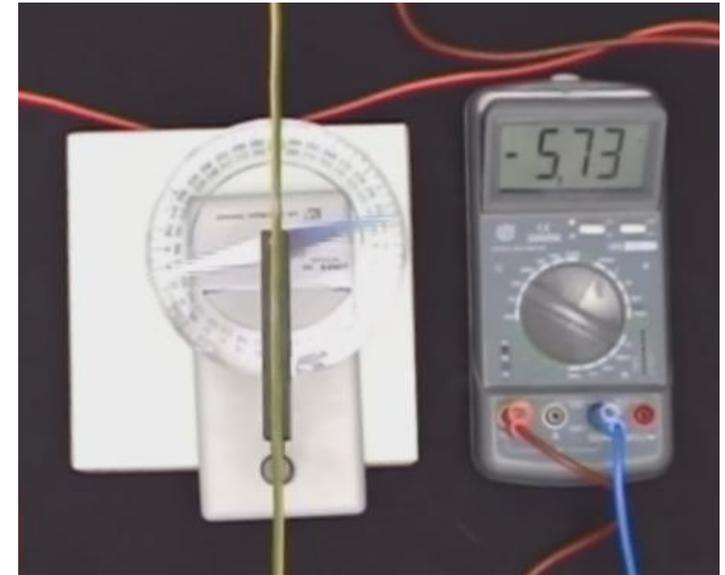
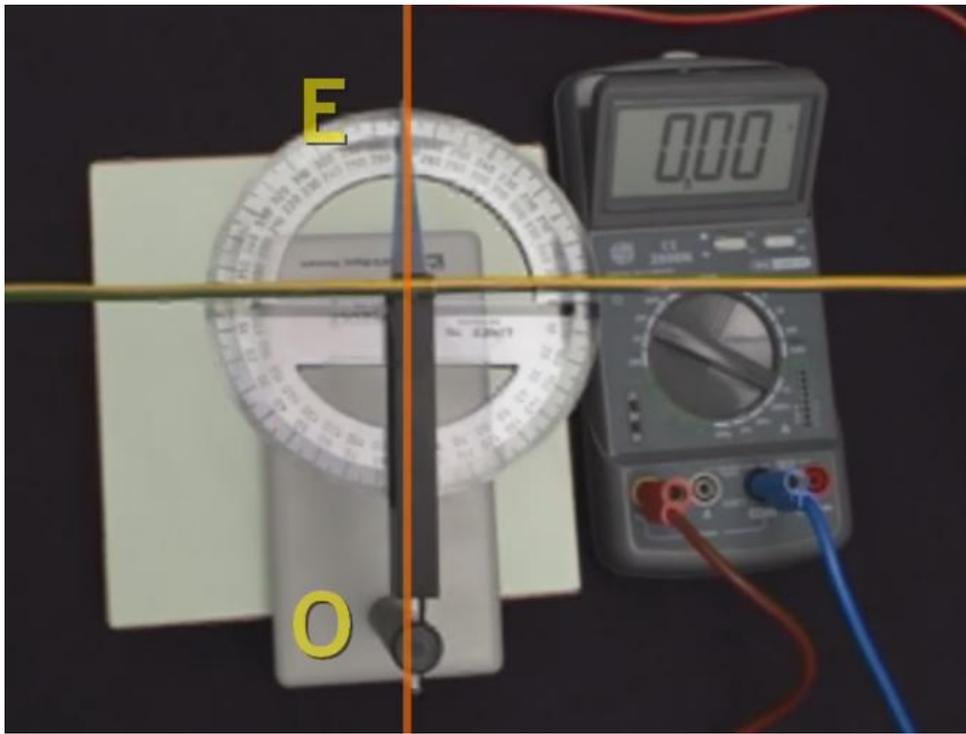
Posición de equilibrio indica Norte geográfico

Colocamos un conductor y un amperímetro. Hacemos circular corriente. La aguja oscila entre la dirección paralela y perpendicular al conductor

Cesa la corriente y la aguja se posiciona en el Norte geográfico

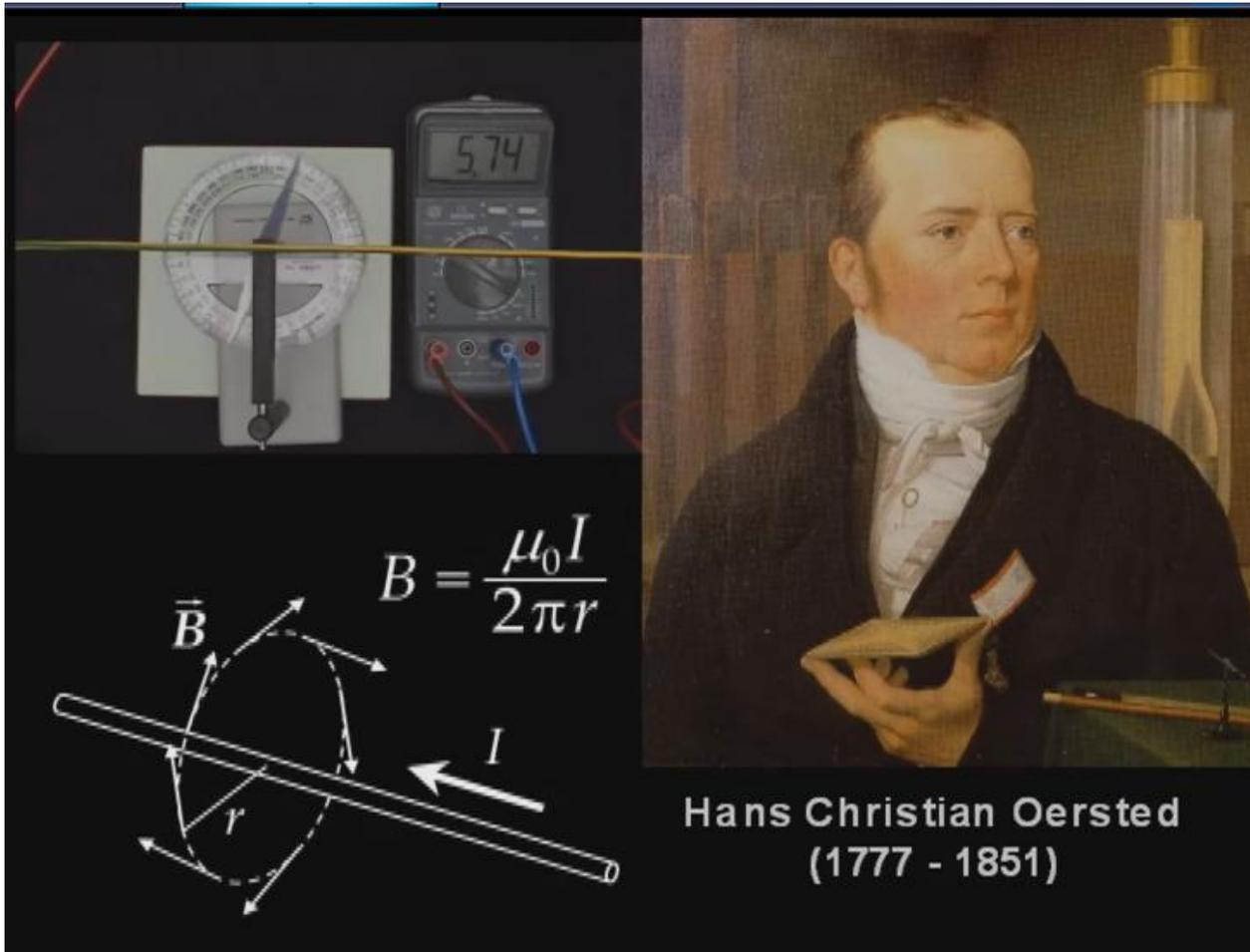
Cambiamos el sentido de la corriente, la aguja se desvía y oscila entre las direcciones Norte y Oeste





Si contrarrestamos el campo magnético terrestre, la aguja magnética queda en equilibrio en la dirección perpendicular al conductor indicando la dirección Este

Si hacemos circular corriente por el conductor, la aguja magnética oscila en torno a la dirección perpendicular. Al eliminar la corriente, la aguja retorna lentamente a su posición de equilibrio



Hans Christian Oersted
(1777 - 1851)

La experiencia de Oersted pone de manifiesto que existe una conexión entre los fenómenos eléctricos y magnéticos. A partir de esta experiencia se establece el origen del magnetismo, situado en el movimiento de cargas eléctricas

Interacción magnética

Cuando una carga entra en cierta región donde existe un campo magnético, experimenta una interacción que determinamos de forma empírica:

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

→ Campo magnético

Una característica importante de la interacción magnética es que, para cualquier valor de la velocidad y dirección de ésta, siempre es perpendicular al campo magnético.

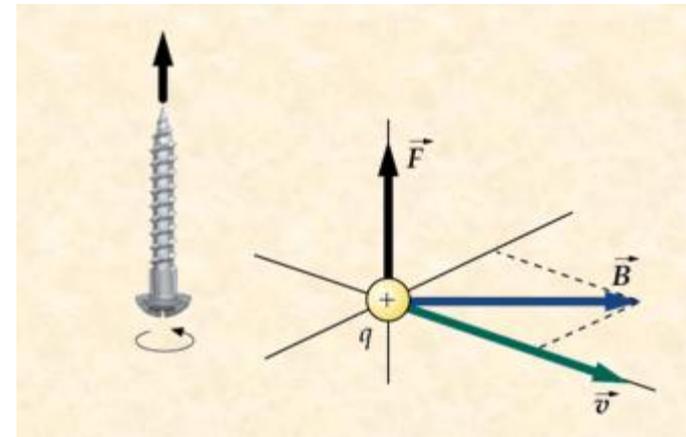
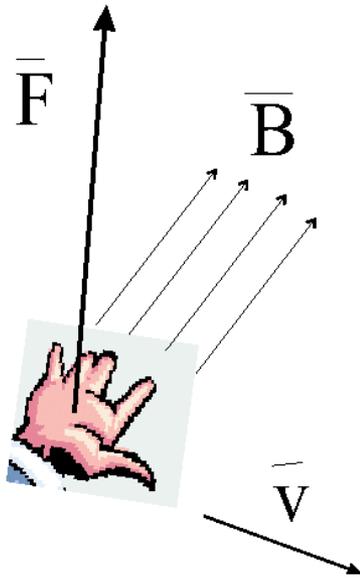
$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \longrightarrow \text{Fuerza de Lorentz}$$

La unidad en el Sistema Internacional, del campo magnético es la *Tesla* (T), definida como aquella cantidad de campo magnético necesaria para que una partícula cargada con un culombio viajando con una velocidad de 1 m/s , experimente una interacción de 1 N :

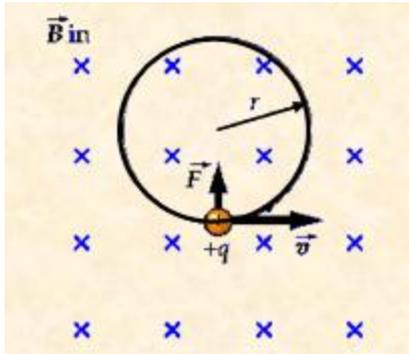
$$T = \frac{N\text{ s}}{C\text{ m}}$$

Se utiliza el gauss, equivalente a $10^{-4} T$.

Una característica importante de la fuerza magnética es que siempre es perpendicular a la velocidad que lleve la partícula, y por tanto ésta sólo modificará su dirección.



Movimiento de cargas en el seno de un campo B



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

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2)$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Por el teorema de las fuerzas vivas

Como la fuerza y el desplazamiento son perpendiculares

$$W = \Delta E_c$$

$$W = 0 \Rightarrow \Delta E_c = 0 \Rightarrow v_f = v_i$$

Sólo hay cambio en la dirección de la velocidad.

El movimiento resulta circular uniforme

$$\frac{m v^2}{R} = q v B \Rightarrow R = \frac{m v}{q B}$$

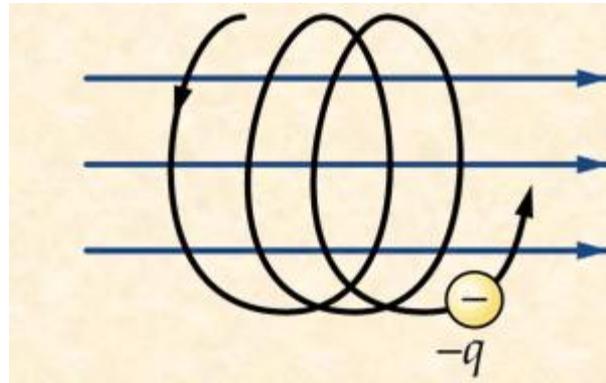
$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{v q B}{m v^2} = \frac{q}{m} B$$

Si una partícula cargada se mueve en una dirección que no es perpendicular al campo magnético

$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel}$$

Movimiento uniforme en la dirección del campo

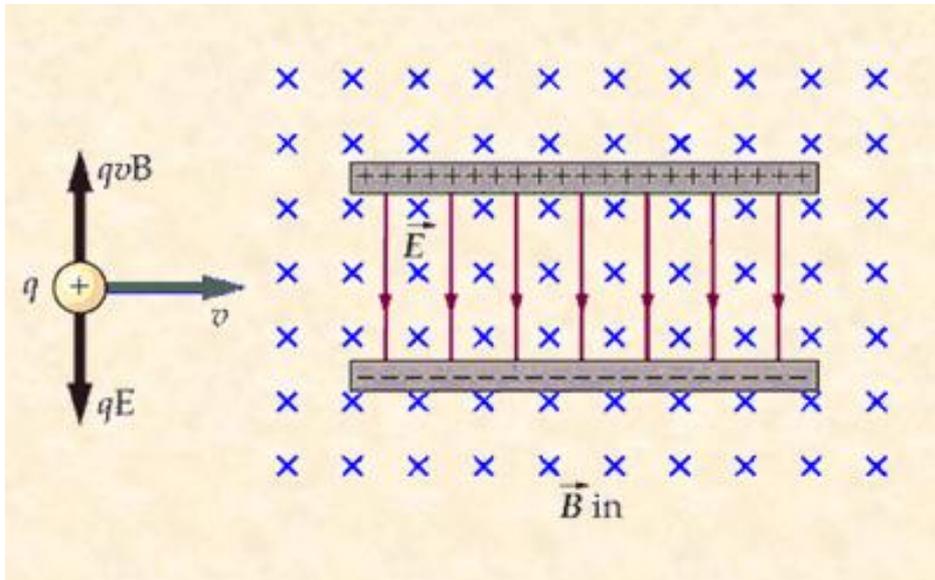
Movimiento circular uniforme



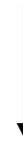
Trayectoria helicoidal

Campo magnético

Selector de velocidades



Campos **cruzados**



E y B perpendiculares

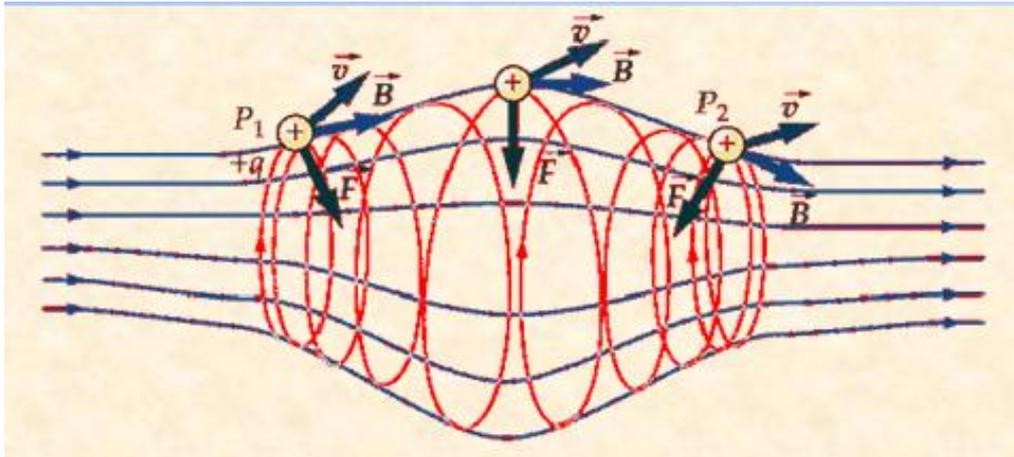
$$\vec{F}_T = q \vec{E} + q (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_T = -q E \hat{j} + q v B \hat{j}$$

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

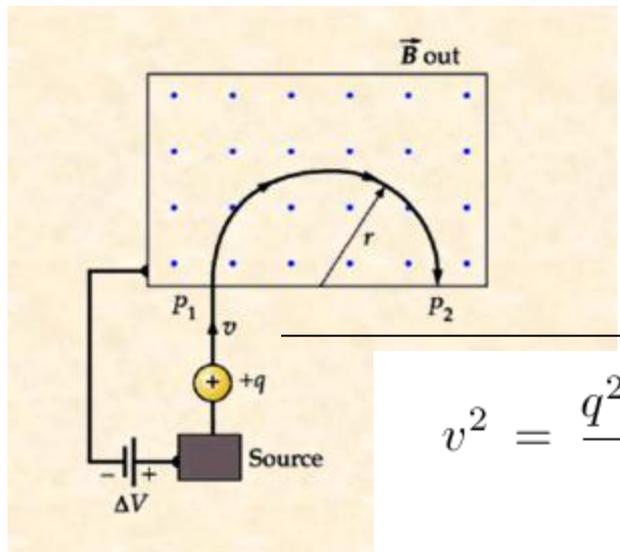
Una partícula cargada con esta velocidad atraviesa la región sin desviarse. Si la velocidad es menor se desviará en el sentido de la fuerza eléctrica, y si es mayor, en el sentido de la fuerza magnética. Sólo se seleccionan o pasarán las partículas con velocidad E/B .

Botella magnética



Partícula cargada se mueve en un campo muy intenso en los extremos y débil en el centro, la partícula queda atrapada y se mueve en espiral hacia atrás y hacia delante alrededor de las líneas de campo

Espectrómetro de masas



Iones entran con una velocidad tal que

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

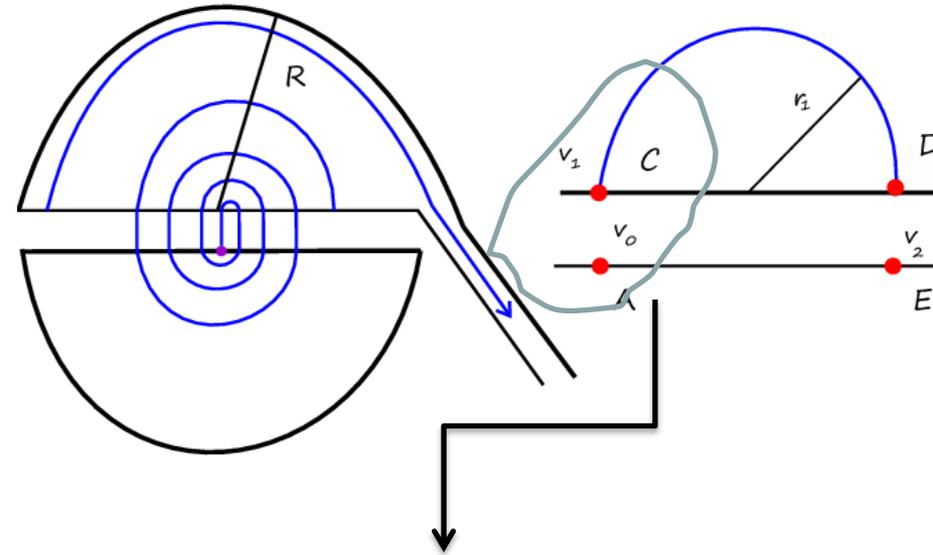
Describe una órbita de radio r

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

$$v^2 = \frac{q^2 B^2 r^2}{m^2} \text{ portanto } \frac{1}{2} m \frac{q^2 B^2 r^2}{m^2} = q \Delta V \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2 \Delta V}{B^2 r^2}$$

Ciclotrón

Dicho dispositivo consiste en un electroimán para generar un campo magnético uniforme. Dos electrodos en forma de 'D' con sus lados rectos enfrentados. Entre dichos lados existe un campo eléctrico que oscila, debido a la aplicación de una fuente de voltaje en alterna, produciendo un valor V_0 como diferencia de potencial entre ambos lados. También disponemos de una fuente de iones que serán las partículas a acelerar.



La energía necesaria para realizar esta variación en la velocidad de la partícula es

$$W = q V_0$$

Esta energía provoca, según el teorema de la energía cinética, la variación de velocidad en la partícula cargada

$$\Delta E_c = q V_0 \Rightarrow v_1^2 = \frac{2 q V_0}{m}$$

Esta partícula cargada entra en la zona del otro electrodo, donde existe un campo magnético uniforme de valor B , y perpendicular a la incidencia de la partícula

$$\sum_i F_n = m a_n \Rightarrow q v_1 B = m \frac{v_1^2}{R_1}$$

$$R_1^2 = \frac{2 V_0 m}{B^2 q}$$

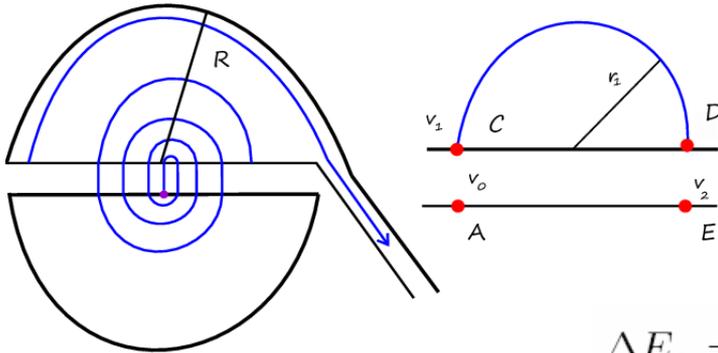
La velocidad angular de la partícula es

$$qB = \frac{v_1}{R_1} = m\omega \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$$

La frecuencia asociada a dicho movimiento es

$$2\pi\nu = \frac{q}{m}B \Rightarrow \nu = \frac{q}{2\pi m}B$$

El campo eléctrico invierte su polaridad cada media vuelta, tendrá siempre el sentido adecuado para acelerar la partícula cargada cuando ésta atraviese esa zona



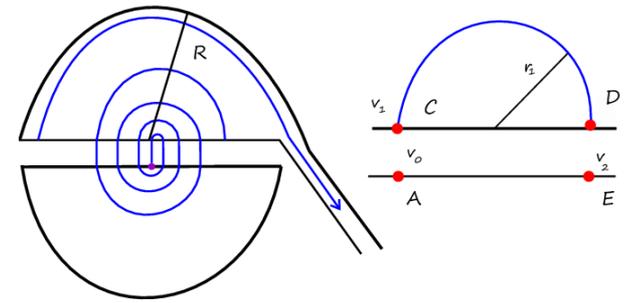
La partícula cargada llegará al otro electrodo, punto E, con una energía cinética debida a la energía asociada al campo, es decir

$$\Delta E_c = qV_0 \Rightarrow \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = qV_0 \Rightarrow v_2^2 - v_1^2 = \frac{2qV_0}{m}$$

$$v_2^2 = v_1^2 + \frac{2qV_0}{m} \Rightarrow v_2^2 = \frac{2qV_0}{m} + \frac{2qV_0}{m} = 2 \left(\frac{2qV_0}{m} \right)$$

La partícula entra de nuevo en una región donde existe ese campo magnético uniforme, B. Como consecuencia describirá una nueva trayectoria circular de radio R_2 cuyo valor será

$$R_2^2 = m^2 v_2^2 q^2 B^2 = 2 \left(\frac{m}{qB} \right)^2 \left(\frac{2qV_0}{m} \right) = 2 \left(\frac{2mV_0}{qB^2} \right)$$



En este punto volvemos a repetir el proceso, de forma que cuando la partícula haya descrito n medios ciclos, la velocidad saliente será

$$v_n^2 = n \left(\frac{2qV_0}{m} \right) \quad R_n^2 = n \left(\frac{2V_0 m}{qB^2} \right)$$

El número máximo de ciclos corresponderá a un radio de la trayectoria igual al radio de los electrodos, R. Es decir

$$R_n^2 = R^2 = n \left(\frac{2V_0 m}{qB^2} \right) \Rightarrow n = \frac{R^2 q B^2}{2V_0 m}$$

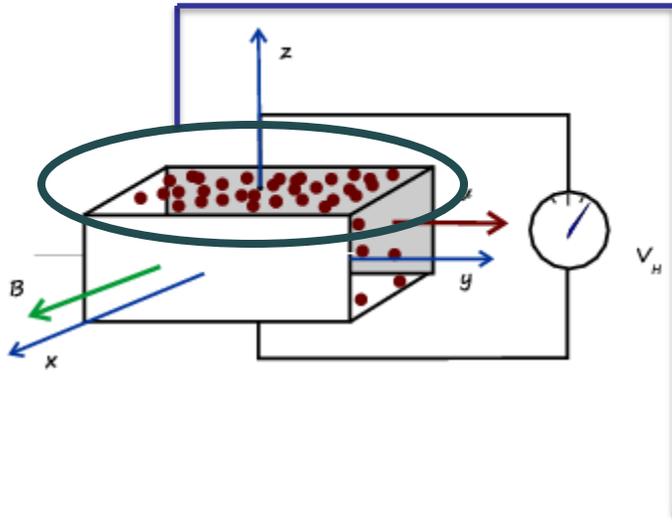
La velocidad máxima, v_m resulta

$$v_m^2 = n \left(\frac{2qV_0}{m} \right) = \frac{R^2 q B^2}{2V_0 m} \left(\frac{2qV_0}{m} \right)$$

$$v_m = \frac{RqB}{m}$$

Efecto Hall

En 1879 E. Duntey Hall descubre que la acción del campo magnético sobre cargas en movimiento, origina una fuerza electromotriz. A este efecto se le conoce como **Efecto Hall**.



Hacemos pasar una corriente eléctrica por una lámina metálica que está colocada perpendicularmente al campo magnético uniforme aplicado

El electrón experimenta una deflexión en su trayectoria

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) = q(-vB)\hat{k} = e v_y B_x \hat{k}$$

Las trayectorias de los electrones se curvan hacia un lado del conductor, de forma que se creará una densidad de carga superficial, y por tanto un déficit de carga en la cara opuesta

Se origina un **campo eléctrico**

El electrón se verá sometido a otra interacción

$$e v_y B_x \hat{k} + q E_z \vec{k} = 0$$

como la carga es un electrón

$$e v_y B_x \hat{k} - e E_z \vec{k} = 0 \Rightarrow E_z = v_y B_x$$

Este campo eléctrico lo podemos expresar en términos de la densidad de corriente en vez de la velocidad de las cargas

Si n es el número de electrones por unidad de volumen que fluyen. La densidad de carga la expresamos como

$$\rho = -n e$$

$$\vec{j} = \rho \vec{v}$$

$$j_y = \rho v_y \Rightarrow v_y = \frac{j_y}{\rho} = -\frac{j_y}{n e}$$

$$E_z = -\frac{j_y}{n e} B_x$$

$$E_z = R_H j_y B_x$$

Coefficiente Hall

$$R_H = -\frac{1}{n e}$$

Si los portadores de corriente fueran de carga positiva, p , entonces el coeficiente Hall cambia de signo

$$R_H = \frac{1}{p e}$$

Por tanto, *el signo en el coeficiente Hall* nos permite saber si la corriente es transportada por portadores positivos o negativos

Es posible determinar la densidad del material a partir del conocimiento de dicho coeficiente

El número de cargas por unidad de volumen, n lo expresamos como

$$n = \frac{N}{V}$$

Si consideramos como masa la masa atómica, el número de cargas corresponderá al número de electrones libres en los N_A átomos

$$n = \frac{N_A z \rho}{M}$$

$$R_H = \frac{1}{n e} = \frac{M}{N_A e \rho z}$$

El coeficiente Hall lo medimos mediante la diferencia de potencial que aparece entre las placas debido a la existencia del campo eléctrico. A dicho potencial le denominamos **Potencial Hall**

$$V_H = E_z d$$

$$j_y = \frac{I}{a d}$$

$$V_H = R_H j_y B_x d = R_H \frac{I}{a d} B_x d$$

La expresión del coeficiente Hall es

$$R_H = \frac{V_H a}{I B_x}$$

Fuerza sobre un conductor

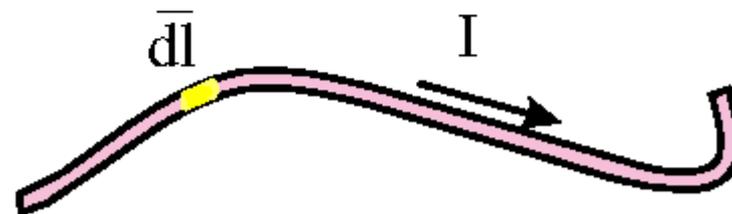
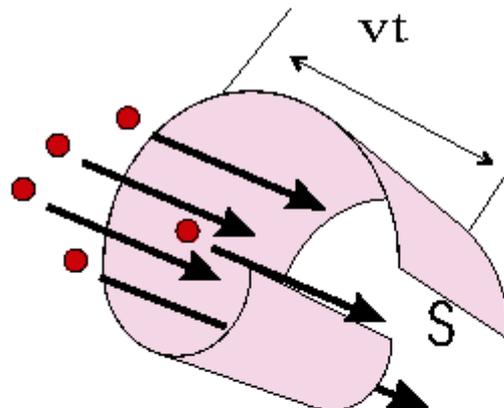
n cargas por unidad de volumen

Q , la carga de cada partícula

se mueven con una velocidad \vec{v} ,

entonces la carga que atraviesa la sección S

$$QnS\hat{u}_n \cdot \vec{v}\Delta t,$$



La intensidad en el hilo es la carga que fluye por unidad de tiempo

$$\vec{I} = nQ\vec{v} \cdot \hat{u}_n S$$

La fuerza total sobre el hilo es la suma de las fuerzas ejercidas por el campo magnético sobre cada una de las partículas

un elemento \vec{dl} del hilo conductor

Al conjunto de cargas que circulan por \vec{dl} se le denomina *elemento de corriente*

$$d\vec{F} = n S \hat{u}_n \cdot \vec{dl} Q \vec{v} \times \vec{B}$$

$$d\vec{F} = n S \hat{u}_n \cdot \vec{v} Q \vec{dl} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = \oint I \vec{dl} \times \vec{B}$$

Dipolo magnético

$$\vec{F}_3 = I \vec{l} \times \vec{B} = -IBb \hat{k}$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_T = 0. \text{ No hay desplazamiento}$$

$$\vec{M}_T = \vec{M}_{F_3} + \vec{M}_{F_4}$$

$$\vec{M}_{F_3} = \vec{r} \times \vec{F}_3 = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & \frac{a}{2} \sin\theta & -\frac{a}{2} \cos\theta \\ 0 & 0 & -IBb \end{vmatrix} = -\frac{a}{2} IBb \sin\theta \hat{i}$$

$$\vec{M}_{F_4} = -\frac{a}{2} IBb \sin\theta \hat{i}$$

$$\vec{M}_T = -IBba \sin\theta \hat{i} = -IBA \sin\theta \hat{i}$$

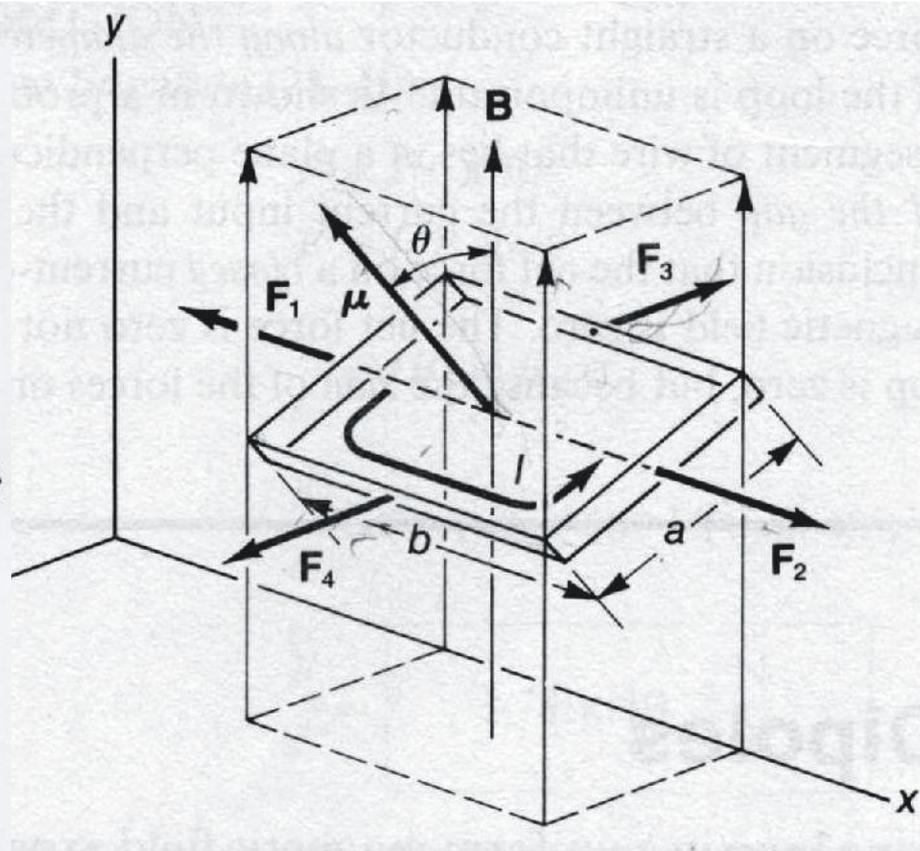
$A \rightarrow$ superficie.

Definición

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

momento dipolo magnético.

$$\vec{M}_T = -\mu B \sin\theta \hat{i} \longrightarrow \boxed{\vec{M}_T = \vec{\mu} \times \vec{B}}$$



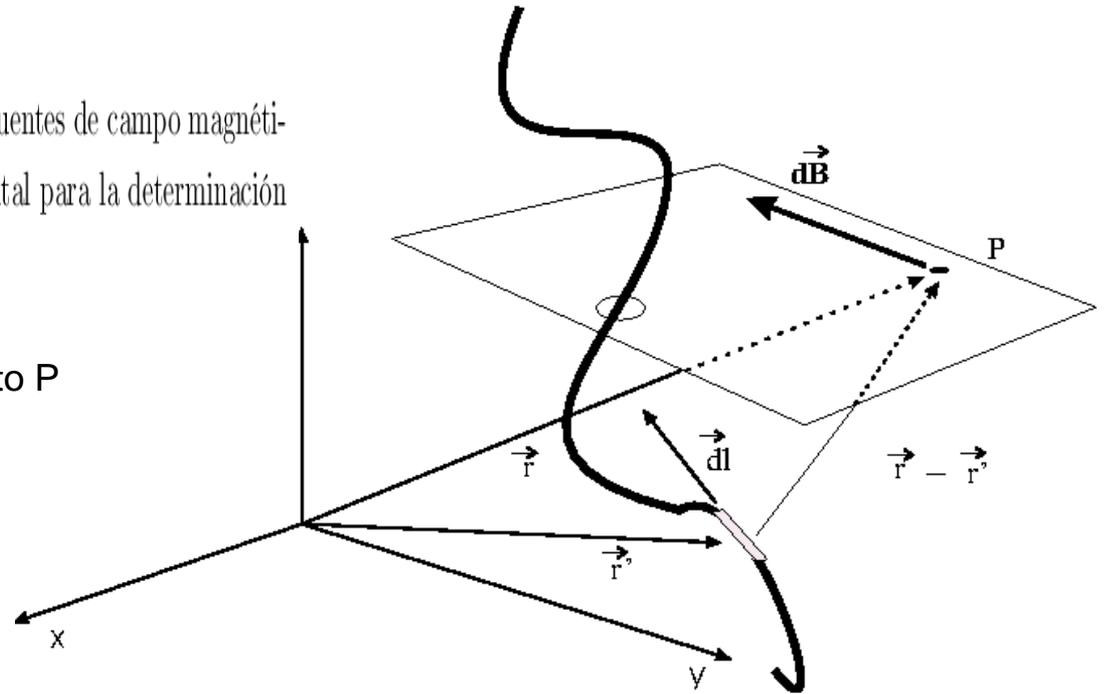
La espira experimenta un torque. La conducta es similar a un dipolo en un campo eléctrico. A esta espira que transporta una corriente le llamamos dipolo magnético

Ley de Biot - Savart

En 1819 Oersted observó que las corrientes eléctricas eran fuentes de campo magnético. Biot-Savart (1820), establecieron una ley básica experimental para la determinación del campo magnético.

El campo magnético elemental en el punto P

$$d\vec{B} = k I \frac{d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

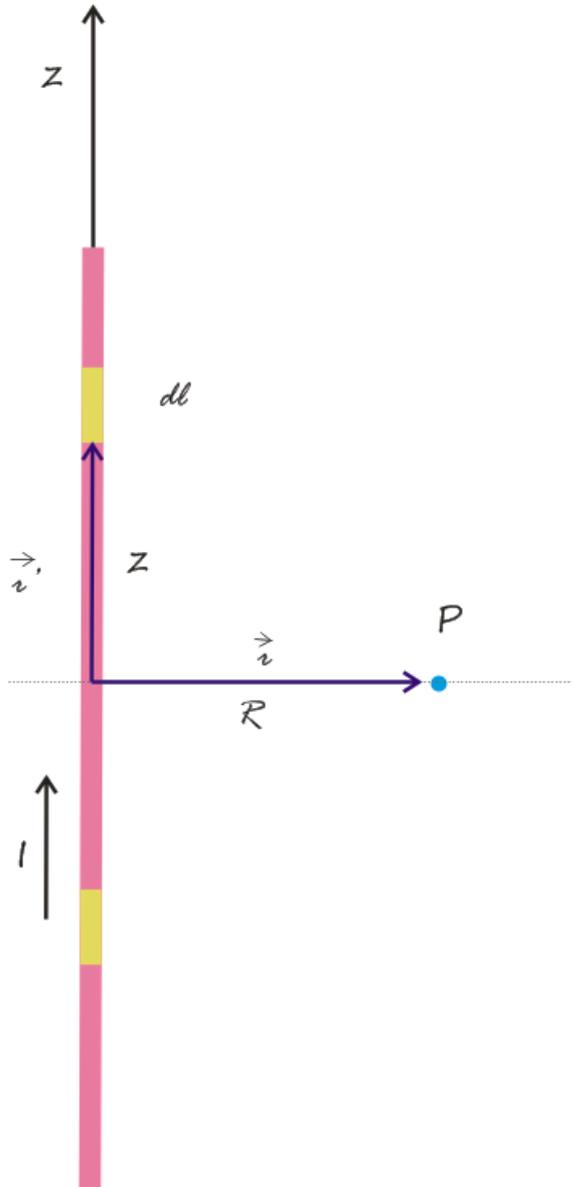


Utilizaremos siempre el sistema internacional, de forma que la constante k tiene el valor indicado en la tabla, $k = \mu_0/4\pi = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, donde μ_0 es la permitividad magnética del vacío.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L I \frac{d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

Determina el campo eléctrico creado por esta distribución de corriente en el punto P



$$\vec{r} = (R, 0, 0) \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{r} - \vec{r}' = (R, 0, -z) ; \quad |\vec{r} - \vec{r}'|^3 = (R^2 + z^2)^{3/2} \\ \vec{r}' = (0, 0, z) \\ d\vec{l} = dz \hat{z} \end{array} \right.$$

$$d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}') = \begin{vmatrix} \hat{r} & \hat{\theta} & \hat{z} \\ 0 & 0 & dz \\ R & 0 & -z \end{vmatrix} = R dz \hat{\theta}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R dz}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \hat{\theta} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dz}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \hat{\theta}$$

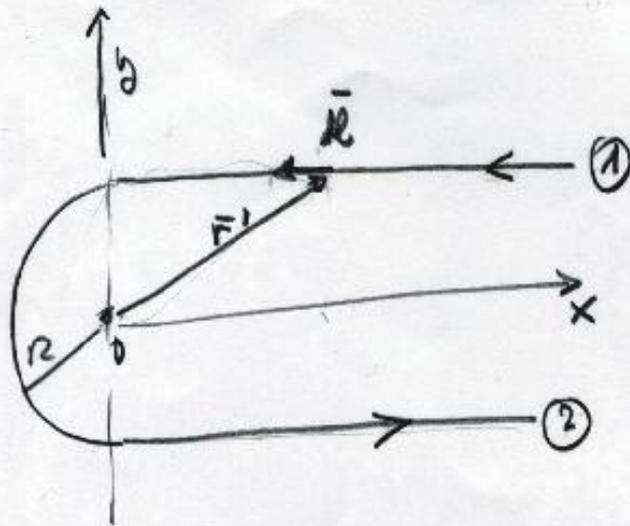
$$\int \frac{dz}{(R^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{z}{R^2 \sqrt{R^2 + z^2}} \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \left[\frac{z}{R^2 \sqrt{R^2 + z^2}} \right]_{-\infty}^{\infty} \hat{\theta} =$$

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \frac{z}{R^2 \sqrt{R^2 + z^2}} = \frac{1}{R^2} \quad = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \left[\frac{1}{R^2} + \frac{1}{R^2} \right] \hat{\theta}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi} \frac{2}{R^2} \hat{\theta} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \hat{\theta} //$$

Campo magnético

Aplicación. Determina el campo magnético creado por la siguiente distribución de corrie



Campo magnético en el pto O.

RADIA1

$$d\vec{l} = dx \hat{i}$$

$$\vec{r} - \vec{r}' = (-x, -R)$$

$$\vec{r}' = x \hat{i} + R \hat{j}$$

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{x^2 + R^2}$$

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^0 \frac{-R dx}{(\sqrt{x^2 + R^2})^3} \hat{k} =$$

$$d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}') = -R dx \hat{k}$$

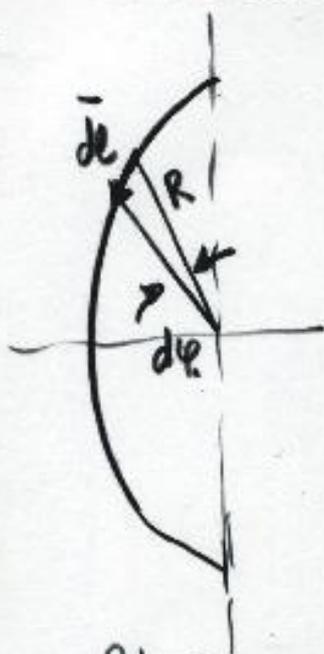
$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi} (-R) \left[\frac{x}{R^2 \sqrt{x^2 + R^2}} \right]_{-\infty}^0 \hat{k} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (-R) \left(-\frac{1}{R^2} \right) \hat{k} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{k}$$

RADIA2

El campo es el mismo que en el RADIA1.

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{k}$$

RAMA CIRCULAR



$$\vec{dl} = R d\varphi \hat{\varphi}$$

$$\vec{r}' = R \hat{r} \quad ; \quad d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}') = \begin{vmatrix} \hat{r} & \hat{\varphi} & \hat{z} \\ 0 & R d\varphi & 0 \\ -R & 0 & 0 \end{vmatrix} = R^2 d\varphi \hat{z}$$

$$\vec{r} = 0$$

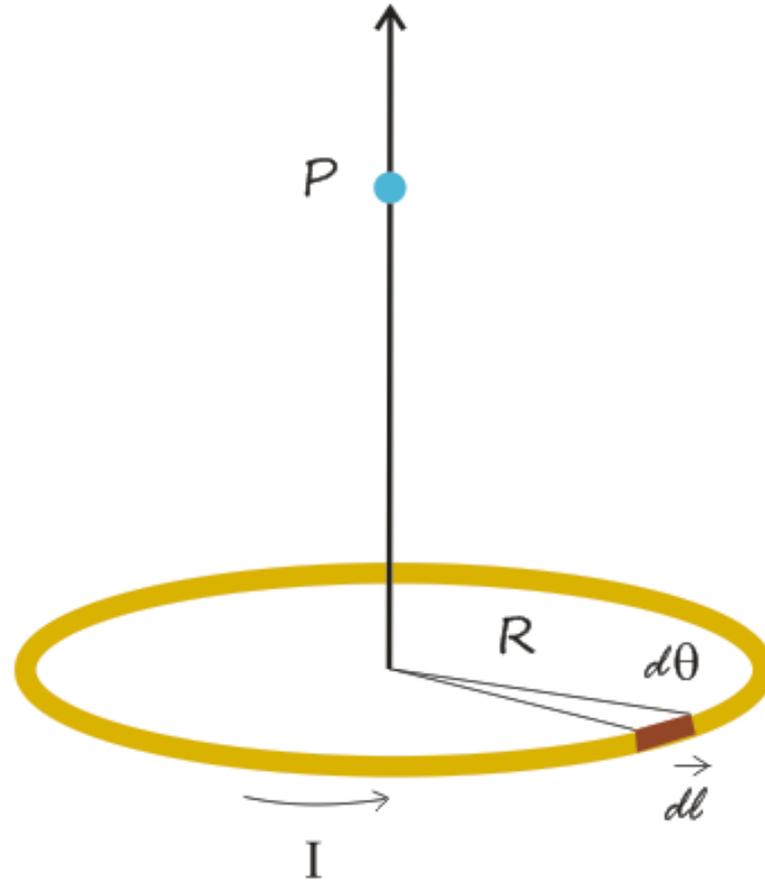
$$|\vec{r} - \vec{r}'|^3 = (\sqrt{R^2})^3 = R^3$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \frac{R^2 d\varphi}{R^3} \hat{z} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \right) \hat{z} = \frac{\mu_0 I}{4R} \hat{z}$$

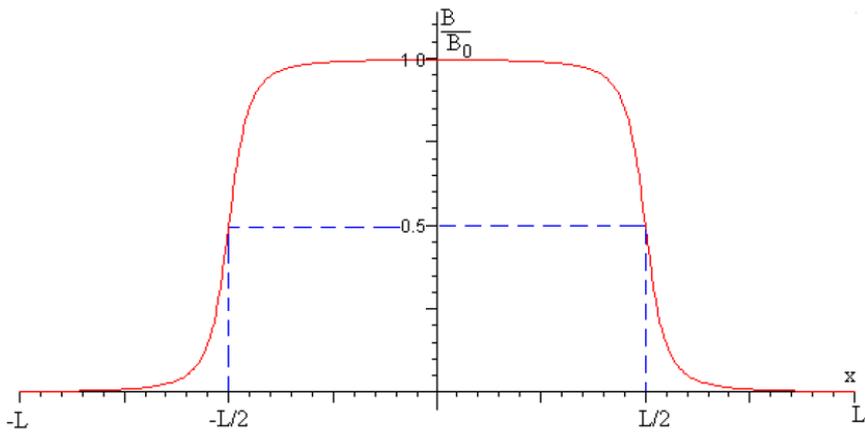
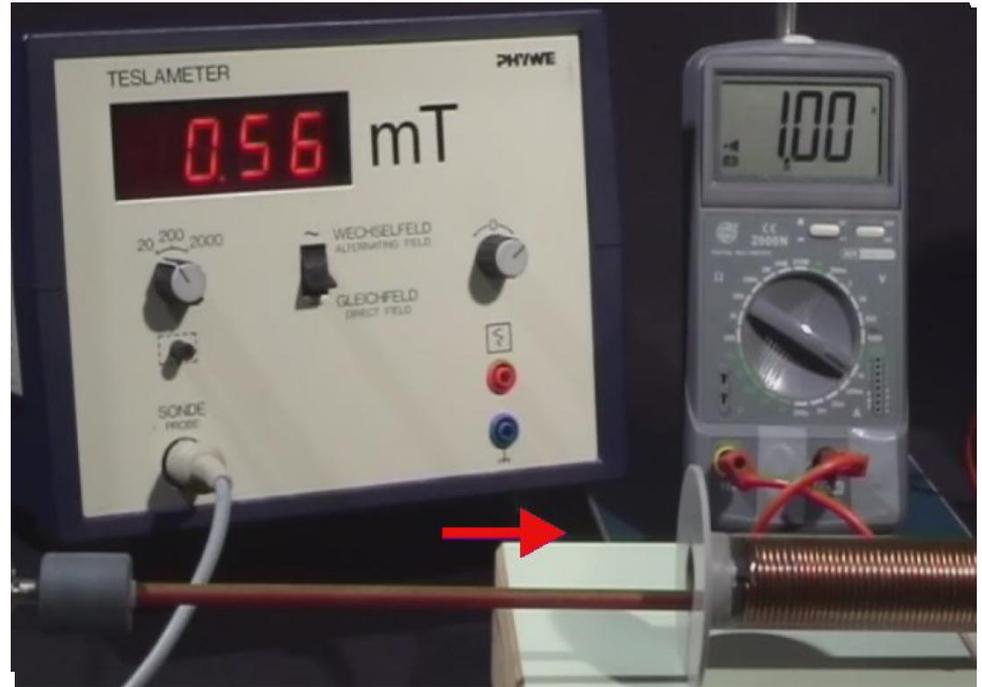
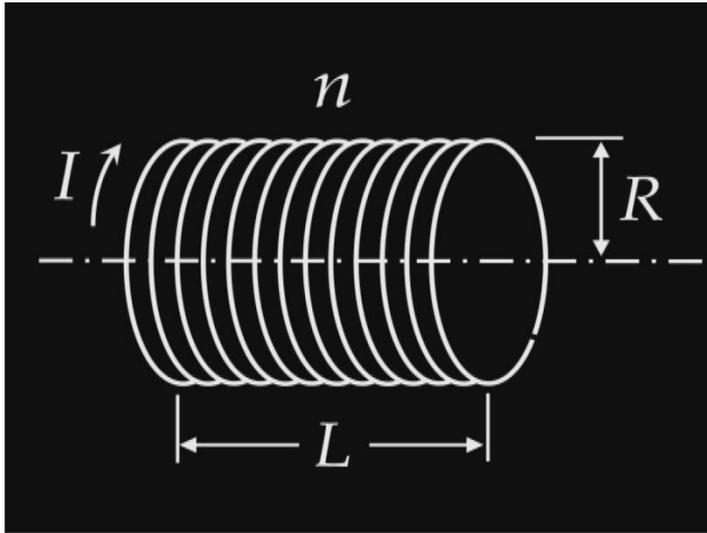
El campo magnético total \vec{B} :

$$\vec{B} = 2 \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \hat{k} + \frac{\mu_0 I}{4R} \hat{k} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 + \pi) \hat{k} //$$

Determina el campo magnético en un punto del eje que crea una espira circular de radio R



Campo magnético



Campo magnético en una bobina

Campo magnético

Fuentes del campo magnético

La divergencia del campo es nula. No hay fuentes escalares

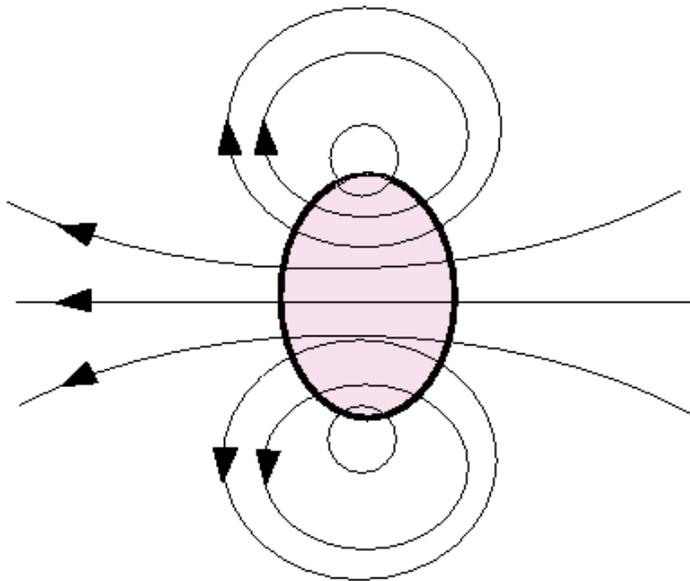
Escalares

$$\int_{S \supset V'} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

S es la superficie que encierra el volumen V' .

el flujo magnético a través de una superficie cerrada es nulo.

Las líneas de campo magnético deben ser por consiguiente continuas.



Vectoriales

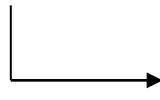
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla} V$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{existe un potencial vector } \vec{A},$$

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

\vec{A} le llamaremos *potencial vector magnético*.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}(\vec{r})$$

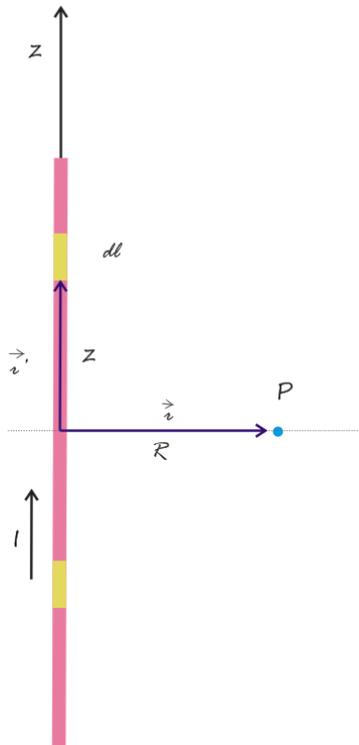

 Densidad de corriente

Cantidad de carga que fluye por unidad de superficie y de tiempo, y cuya dirección es la del movimiento de las cargas

La corriente neta que atraviesa la superficie la denotaremos por I_n

$$I_n = \int_{S'} \vec{J} \cdot \vec{ds}'$$

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 I_n$$



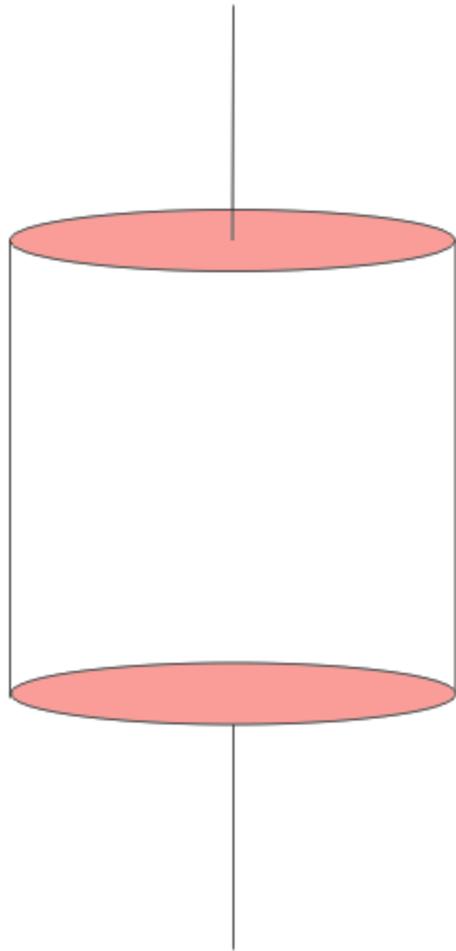
Aplicación

La ley de Ampere en forma integral

$$\int_L \vec{B} \cdot \vec{dl} = \int_L B dl = B 2 \pi r$$

$$B 2 \pi r = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$$

Campo magnético en el interior y exterior de un cilindro infinitamente largo y con una densidad de corriente uniforme



$$\vec{J} = \frac{I}{\pi a^2} \hat{z}$$

$$\boxed{r \leq a}$$

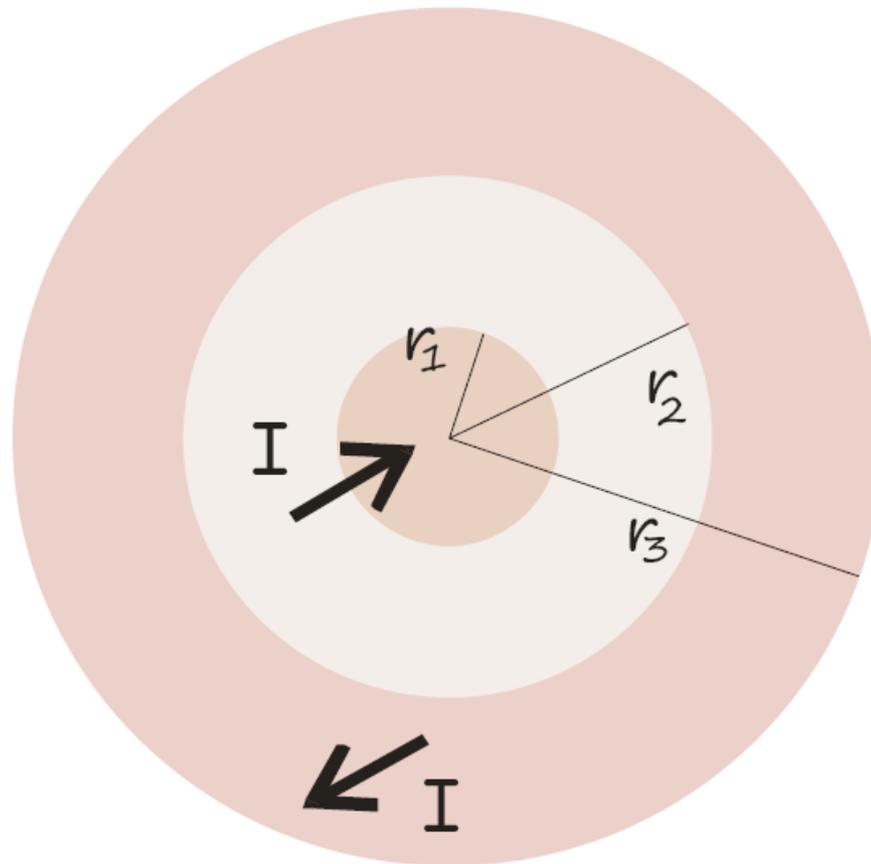
$$\oint \vec{B}_i \cdot d\vec{l} = \vec{B}_i 2\pi r$$

$$I_n = \int \vec{j} \cdot d\vec{s} = \int_S \frac{I}{\pi a^2} \hat{z} \cdot \pi r dr d\theta \hat{z}$$

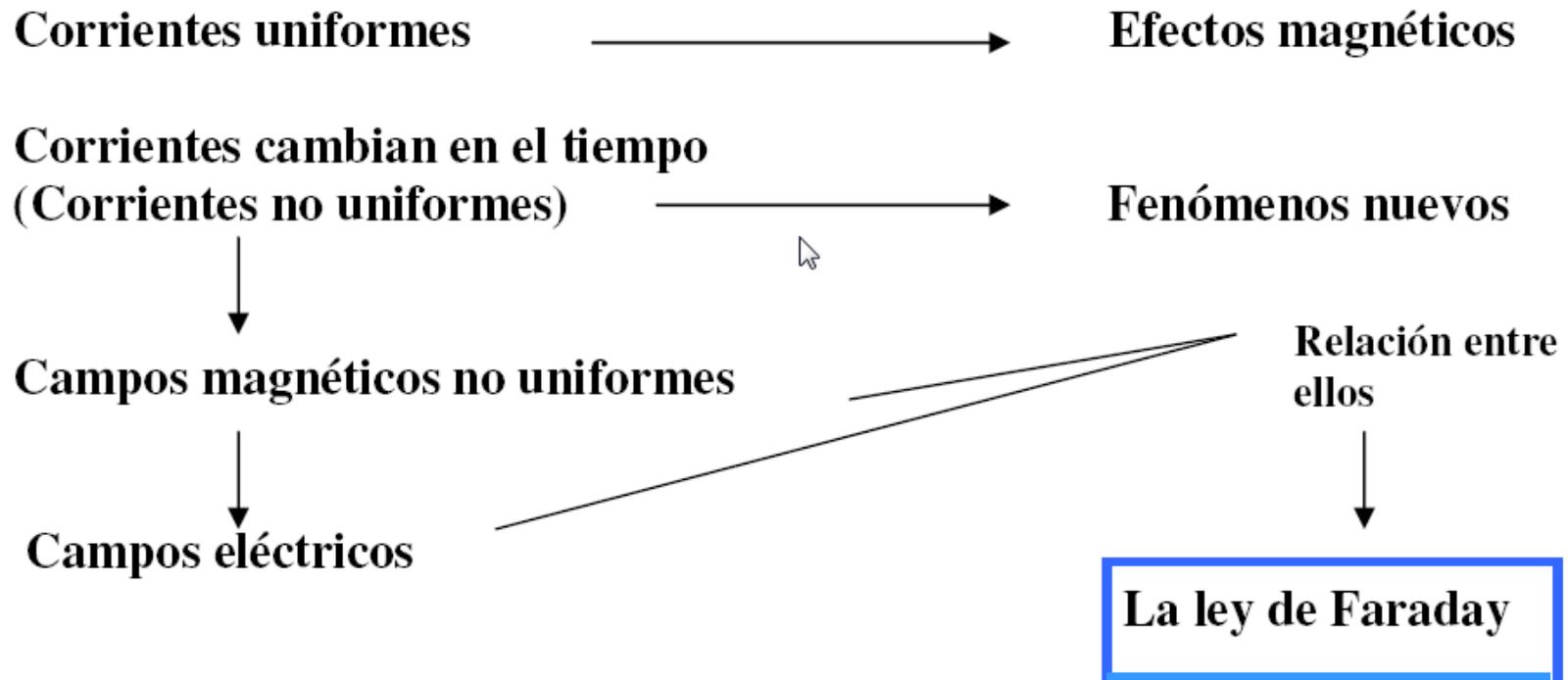
$$I_{[n]} = \int_S \frac{I}{\pi a^2} \pi r dr d\theta = \frac{I r^2}{a^2}$$

$$\mu_0 \left(\frac{I}{\pi a^2} \right) (\pi r^2) = B_i 2\pi r \Rightarrow B_1 = \mu_0 \frac{I_n r}{2\pi a}$$

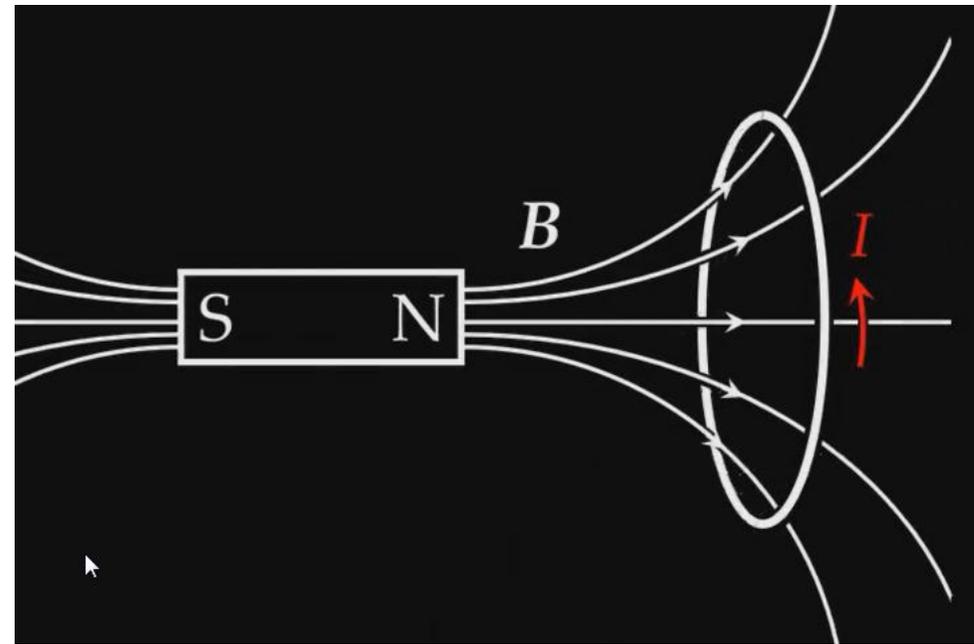
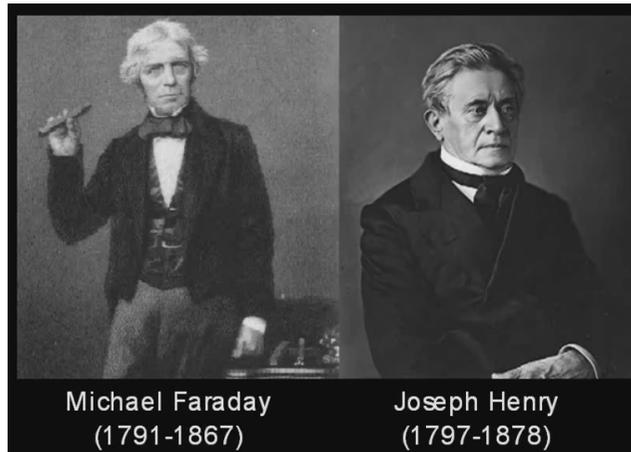
Determina el campo magnético en un cable coaxial para la transmisión de una corriente uniforme I . La corriente fluye a lo largo del conductor central de radio r_1 , y es cerrada por una cáscara de radios r_2 y r_3 . El espacio entre el conductor y la cáscara es aire



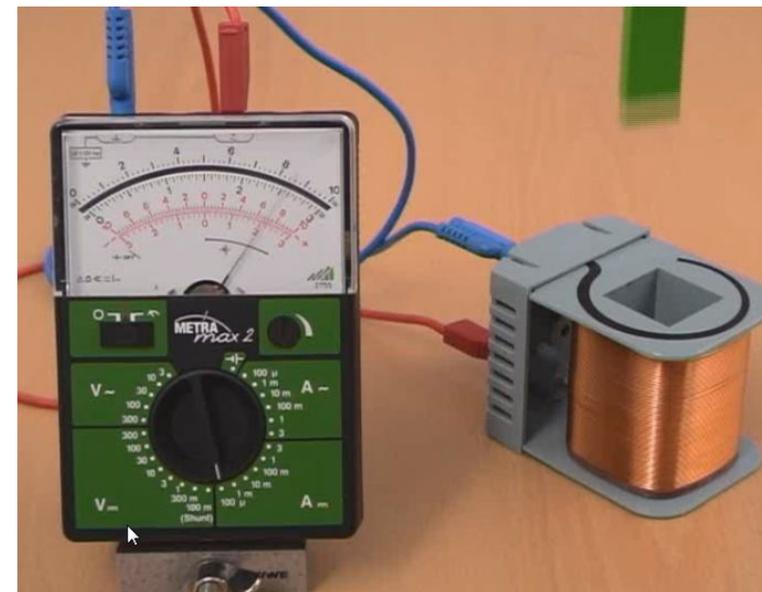
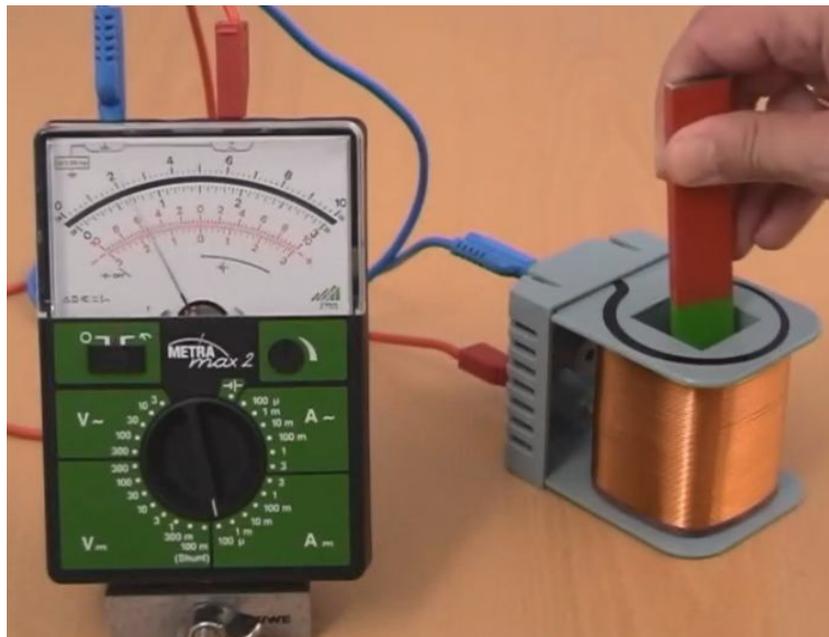
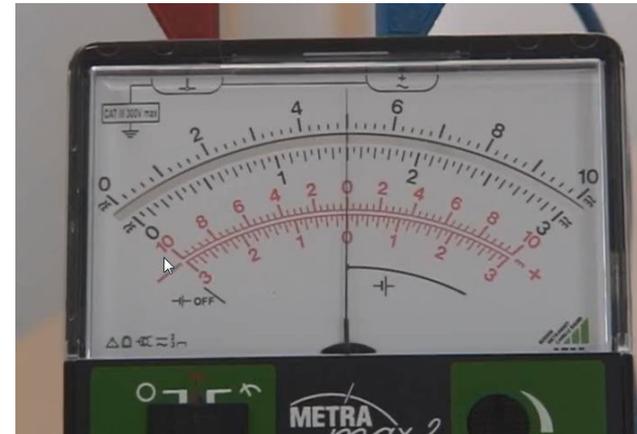
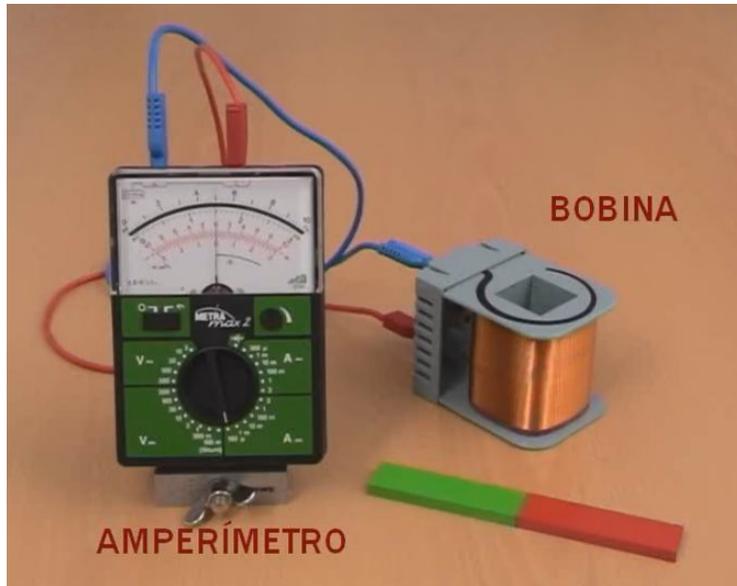
INDUCCION MAGNETICA



Ley de Faraday-Henry



En esta experiencia se demuestra la aparición de una corriente eléctrica en una espira, cuando el campo magnético que atraviesa la superficie limitada por la misma varía con el tiempo. A este proceso se le denomina inducción electromagnética y es el principio fundamental del generador eléctrico, del transformador y de otros muchos dispositivos de uso cotidiano. Fueron Michael Faraday, en Inglaterra, y Joseph Henry, en los Estados Unidos, los que a principios de la década de 1830, descubrieron, independientemente, este fenómeno físico.

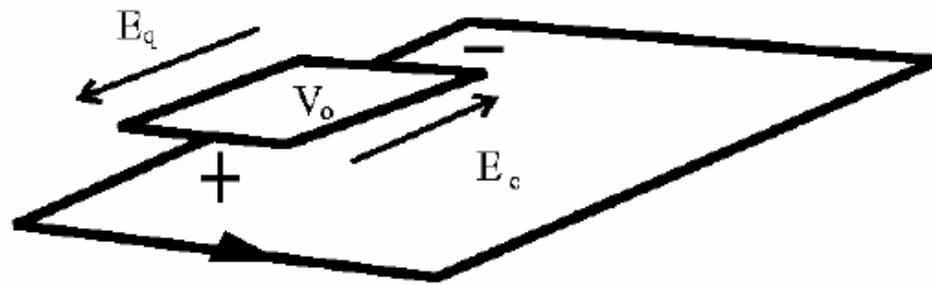


Inducción y materiales

Fuerza electromotriz

Es necesario una ddp para que fluya una corriente

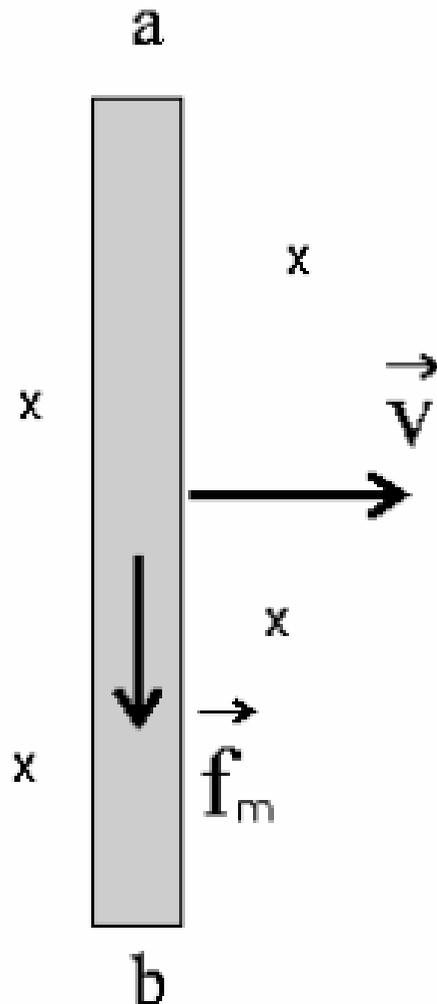
Batería



$$\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_c$$

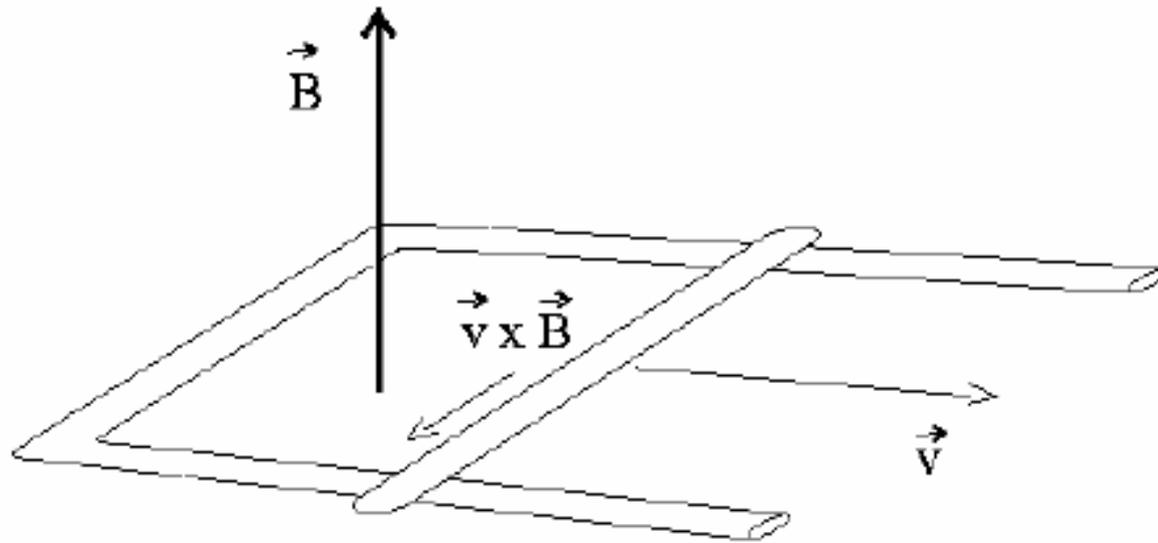
$$V_0 = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint (\vec{E}_q + \vec{E}_c) \cdot d\vec{l} = \oint \vec{E}_q \cdot d\vec{l} + \oint \vec{E}_c \cdot d\vec{l} = \oint \vec{E}_q \cdot d\vec{l}$$

Fuerza electromotriz producida por movimiento



Los electrones acumulados en el punto b empujan a los otros y recorren un circuito

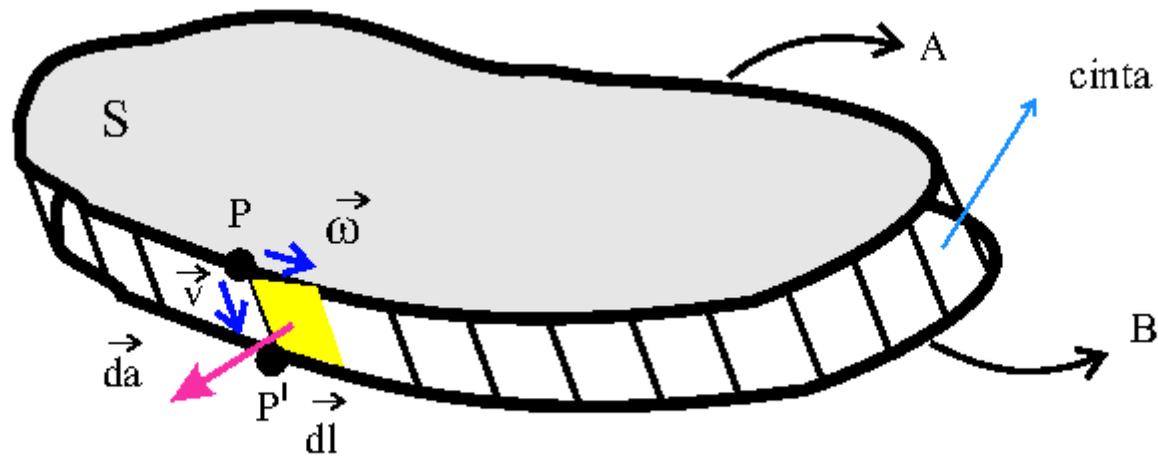
El exceso de carga se reduce. El campo electrostático se debilita y la fuerza magnética produce un nuevo movimiento dentro del conductor. (Batería)



$$fem = \int_a^b \vec{E}_q \cdot d\vec{l} = \int_a^b (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

$$|fem| = \int_a^b v B dl = v B L$$

$$|I| = \frac{vBL}{R}$$



$$\left. \begin{array}{l} \Phi(t) \\ \Phi(t+dt) \end{array} \right\} \Rightarrow d\Phi = \Phi(t+dt) - \Phi(t) = \Phi_{cinta} = \int_{sc} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$d\vec{a} = (\vec{v} \times d\vec{l}) dt$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \oint \vec{B} \cdot (\vec{v} \times d\vec{l})$$

Si llamamos \vec{u} , a la velocidad neta de la carga, ($\vec{u} = \vec{v} + \vec{w}$)

$$\frac{d\Phi}{dt} = \oint \vec{B} \cdot ((\vec{u} - \vec{w}) \times d\vec{l}) = \oint \vec{B} \cdot (\vec{u} \times d\vec{l})$$

Si aplicamos la relación vectorial $\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$

$$\frac{d\Phi}{dt} = - \oint (\vec{u} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

Inducción y materiales

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

⇨ Por un conductor recto e indefinido pasa una corriente I que origina un campo magnético que podemos determinar fácilmente utilizando la ley de Ampere. Determina el flujo magnético que atraviesa la espira cuadrada.

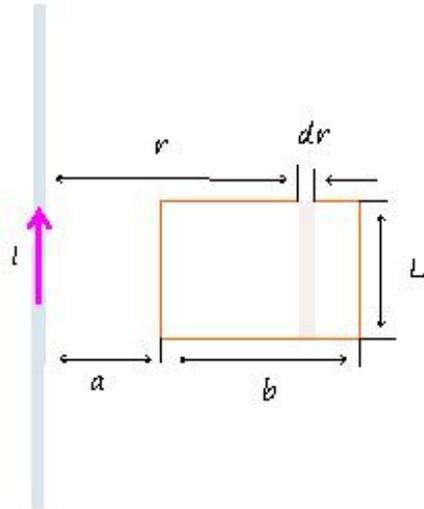


Figura 1:

Si aplicamos el teorema de Ampere, el campo magnético que crea la corriente a una distancia r , es

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\theta}$$

Determinamos el flujo que atraviesa la espira cuadrada, para ello tomamos un elemento de superficie $\vec{ds} = L dr \hat{\theta}$. El flujo elemental a través de este elemento es

$$d\phi = \vec{B} \cdot \vec{ds} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\theta} \cdot L dr \hat{\theta} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} L dr$$

El flujo total será la suma de los flujos a través de todos los elementos de superficie que podemos tomar en la espira.

$$\phi = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} L dr = \frac{\mu_0 I L}{2\pi} [\ln r]_a^{a+b}$$

$$\phi = \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a}$$

⇨ La espira del ejercicio anterior, se aleja del hilo conductor con una velocidad \vec{v} . Determina la fuerza electromotriz inducida en la espira.

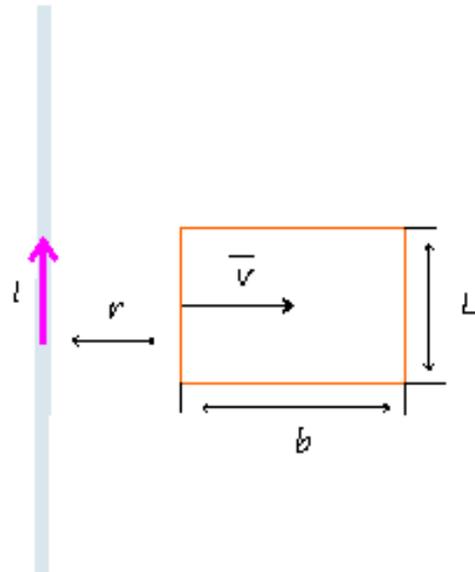


Figura 2:

derivamos

Fijamos la posición de la espira cuando se encuentre a una distancia r del hilo conductor. El flujo del campo magnético creado por dicho hilo en la espira, es

$$\phi = \int_r^{r+b} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} L dr = \frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \frac{r+b}{r}$$

y la fuerza electromotriz inducida la determinamos aplicando la ley de Faraday

$$\epsilon = - \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\mu_0 I L}{2\pi} \ln \frac{r+b}{r} \right)$$

$$\epsilon = \frac{\mu_0 I L b}{2\pi (r+b)r} v$$

⇨ Una espira circular de radio a está situada en una región donde existe un campo magnético, tal y como observamos en la figura. Dicho campo es variable en el tiempo, y tiene una expresión $\vec{B} = r \cos \omega t \hat{z}$. Determina la fuerza electromotriz inducida en la espira.

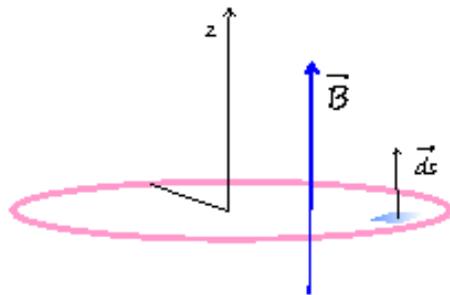


Figura 3:

La espira se encuentra en una situación de reposo, y es el campo magnético el que cambia en el tiempo, siendo la causa de que se genere una corriente inducida en la espira. Determinamos el flujo de dicho campo magnético a través de la espira en cuestión.

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot \vec{ds}$$

donde S es la superficie de la espira.

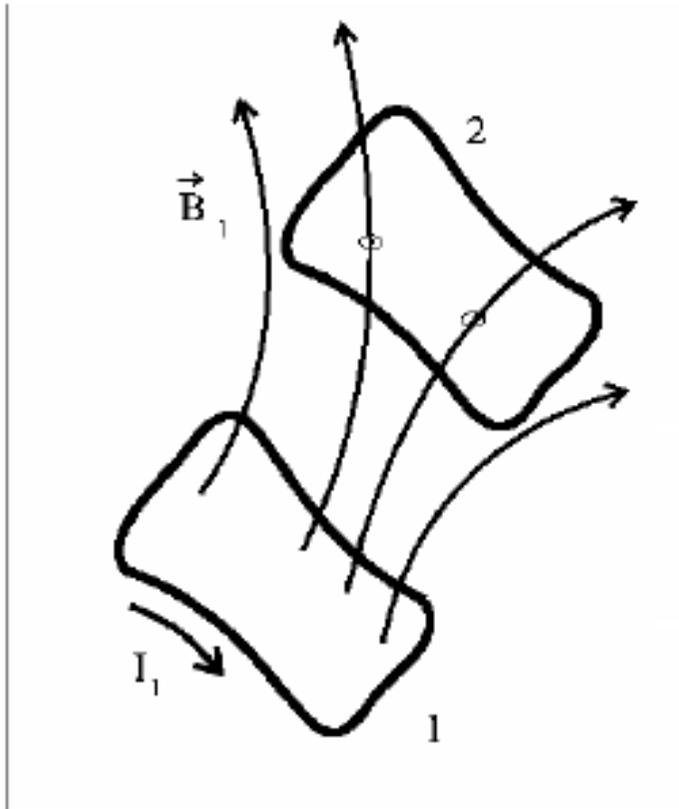
$$\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^a r \cos \omega t \hat{z} \cdot r dr d\theta \hat{z} = \int_0^{2\pi} \int_0^a r^2 \cos \omega t dr d\theta = \frac{2\pi a^3}{3} \cos \omega t$$

La fuerza electromotriz inducida la determinamos aplicando la ley de Ampere

$$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = \frac{2\pi a^3 \omega}{3} \sin \omega t$$

⇨ Disponemos de un conductor rectilíneo e indefinido, por el que circula una intensidad I , que es variable en el tiempo y cuya expresión es $I = I_0 e^{j(\omega t + \phi)}$, y una espira rectangular de lados a y b , tal y como se indica en la figura. Determina la fuerza electromotriz inducida.

Inductancia



Corriente produce campo magnético, y algunas líneas de campo atravesarán la la superficie de la segunda espira.

Determinamos el flujo del campo creado por la espira 1 a través de la superficie de la espira 2.

$$\vec{B}_{\vec{r}} = \frac{\mu}{4\pi} I_1 \oint \frac{d\vec{l}_1 \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

$$\Phi_2 = \int_{S_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} = \frac{\mu}{4\pi} I_1 \int_{S_2} \oint \frac{d\vec{l}_1 \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \cdot d\vec{s}$$

Se pone de manifiesto la dependencia con la corriente I_1

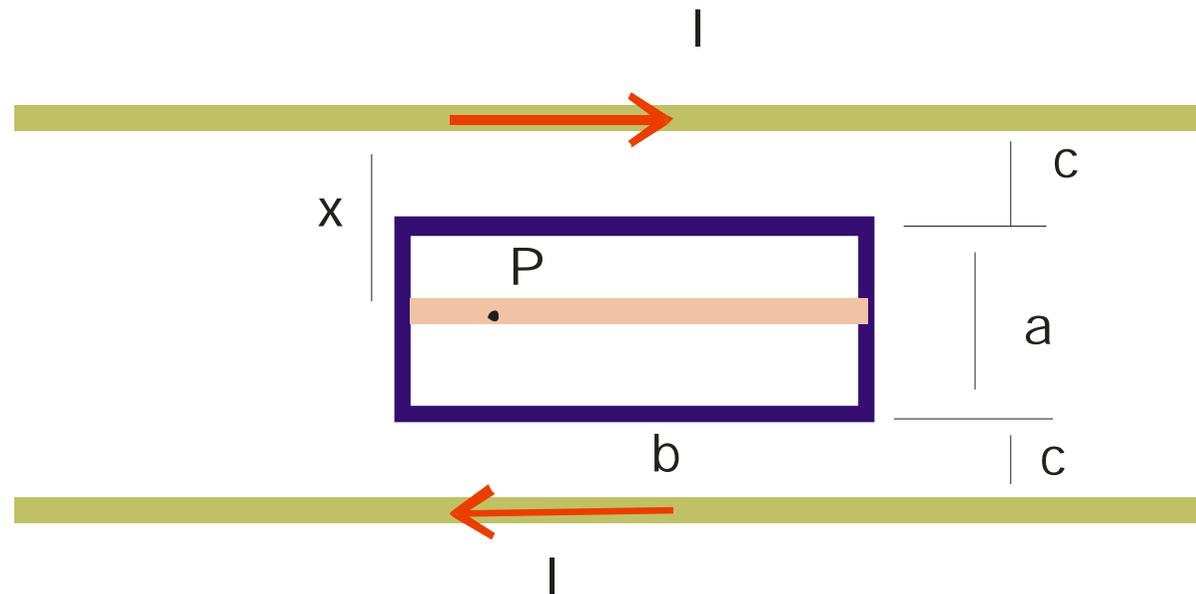
$$\Phi_2 = M_{21} I_1$$

Inductancia mutua

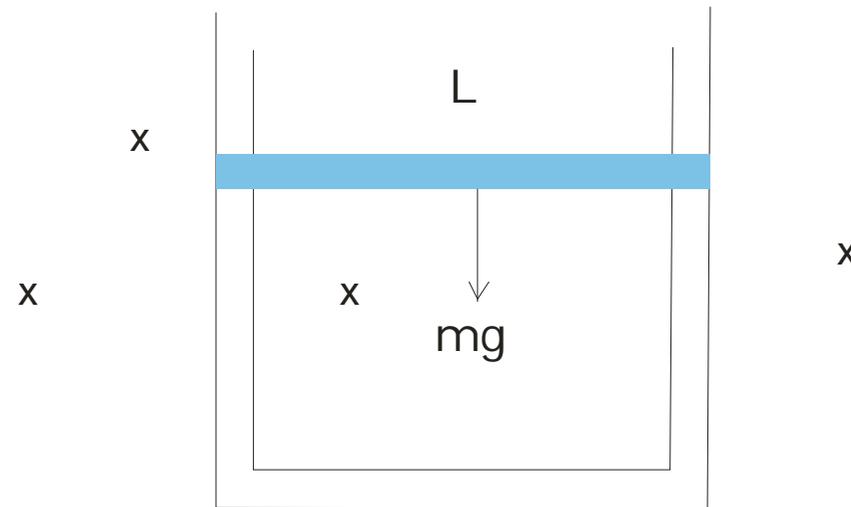
Se puede establecer un coeficiente de inducción mutua de la espira 1 en la espira 1

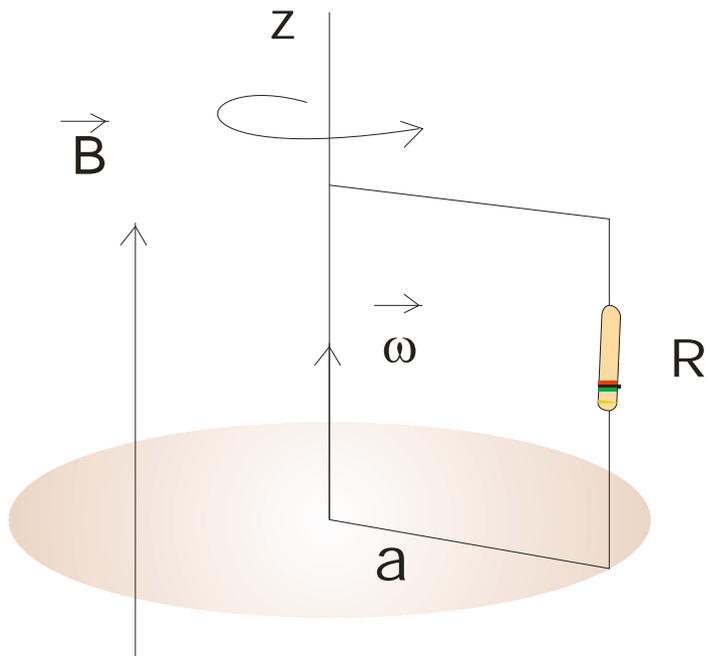
⇨ Una espira rectangular de lados a y b se encuentra entre dos conductores rectilíneos e indefinidos por los que circula una intensidad de corriente I , tal y como se aprecia en la figura. Determina:

- El campo magnético en el punto P .
- El flujo de campo magnético a través de la superficie de la espira.
- El coeficiente de inducción mutua entre la espira y el sistema de conductores.



⇨ Un alambre de longitud L , masa m y resistencia R cae con velocidad v bajo la acción de la gravedad apoyándose en unos rieles verticales sin rozamiento, estando sus extremos unidos por un conductor, todo ello de resistencia despreciable. Un campo magnético uniforme B y horizontal atraviesa al circuito. Calcula la velocidad límite de caída del alambre.





⇨ Un disco conductor de radio a , gira con velocidad angular constante ω , alrededor de su eje normal a él por su centro. El disco está situado en un campo magnético constante y uniforme. SE cierra el circuito mediante una resistencia R . Determina:

- La fuerza sobre los electrones libres del disco, indicando el sentido en el que fluyen.
- La fem inducida.
- La intensidad de corriente.

⇨ Un circuito está formado por dos láminas cilíndricas de radios a y b . Por cada una circula una corriente I , pero en sentido contrario. Determina la autoinducción por unidad de longitud.

⇨ Una espira como la indicada en la figura, de resistencia R , gira sin rozamiento alrededor del eje x , donde

$$\theta = \theta_0 \sin \omega t$$

En esa región existe un campo magnético $[\vec{B} = B \hat{j}]$. Determina:

- El flujo magnético a través de la superficie de la espira.
- La fem y la intensidad de la corriente.

