

Teoría Electromagnética 1

Semanas 17 a la 20

Aplican motores, transformaciones,
micrófonos, teléfonos, televisión,
levitación magnética, almacenamiento
de información. . . .

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO \vec{H}
DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO \vec{B}

FUERZA MAGNÉTICA

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

UNIDAD DE \vec{B} ES EL TESLA (T)

$$1 \text{ tesla} = \frac{N}{C \text{ m/s}} \quad (\text{SI})$$

1 GAUSS (unidad más antigua)

1 GAUSS (unidad más antigua)

$$1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ GAUSS}$$

1. Una distribución de carga eléctrica en reposo crea un campo eléctrico \vec{E} en el espacio circundante.
2. El campo eléctrico ejerce una fuerza $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre cualquier otra carga q presente en el campo.

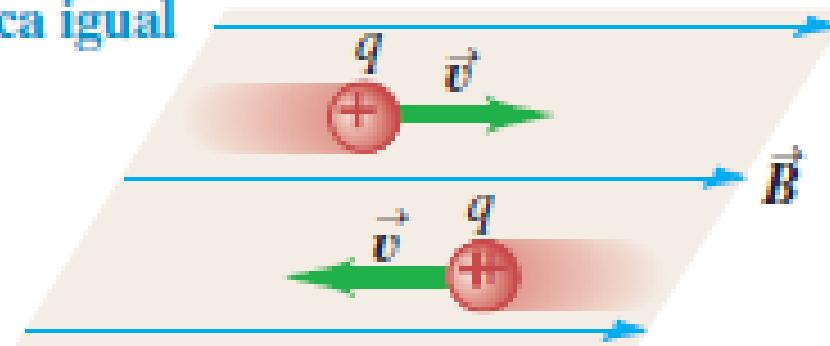
Las interacciones magnéticas se describieron de manera similar:

1. Una carga o corriente móvil crea un campo magnético en el espacio circundante (además de su campo *eléctrico*).
2. El campo magnético ejerce una fuerza \vec{F} sobre cualquier otra carga o corriente en movimiento presente en el campo.

27.6 La fuerza magnética \vec{F} que actúa sobre una carga positiva q que se mueve con velocidad \vec{v} es perpendicular tanto a \vec{v} como al campo magnético \vec{B} . Para valores dados de la velocidad v y la intensidad del campo magnético B , la fuerza es mayor cuando \vec{v} y \vec{B} son perpendiculares.

a)

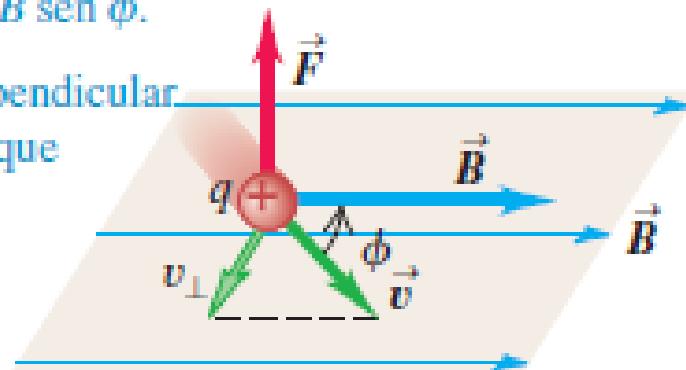
Una carga que se mueve en forma paralela al campo magnético experimenta una fuerza magnética igual a cero.



b)

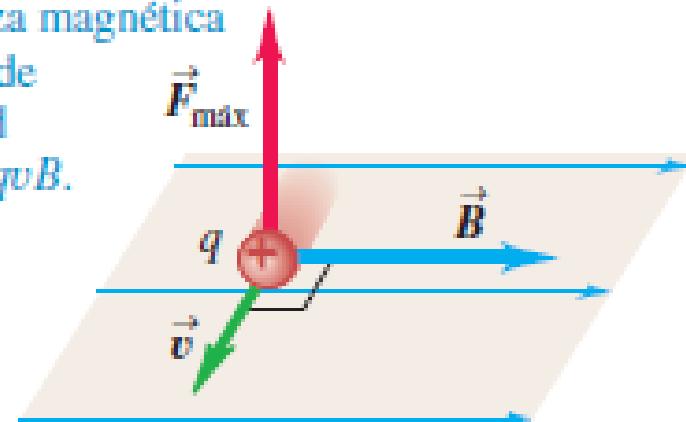
Una carga que se mueve con un ángulo ϕ con respecto a un campo magnético experimenta una fuerza magnética de magnitud $F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \operatorname{sen} \phi$.

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



c)

Una carga que se mueve de manera perpendicular a un campo magnético experimenta una fuerza magnética máxima de magnitud $F_{\max} = qvB$.



FUERZA MAGNÉTICA

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

UNIDAD DE \vec{B} ES EL TESLA (T)
 $1 \text{ tesla} = \frac{N}{C \cdot m/s}$ (SI)

1 GAUSS (UNIDAD MÁS ANTIGUA)
 $1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gauss}$

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

(fuerza magnética sobre una partícula con carga en movimiento)

27.7 Obtención de la dirección de la fuerza magnética sobre una partícula cargada en movimiento.

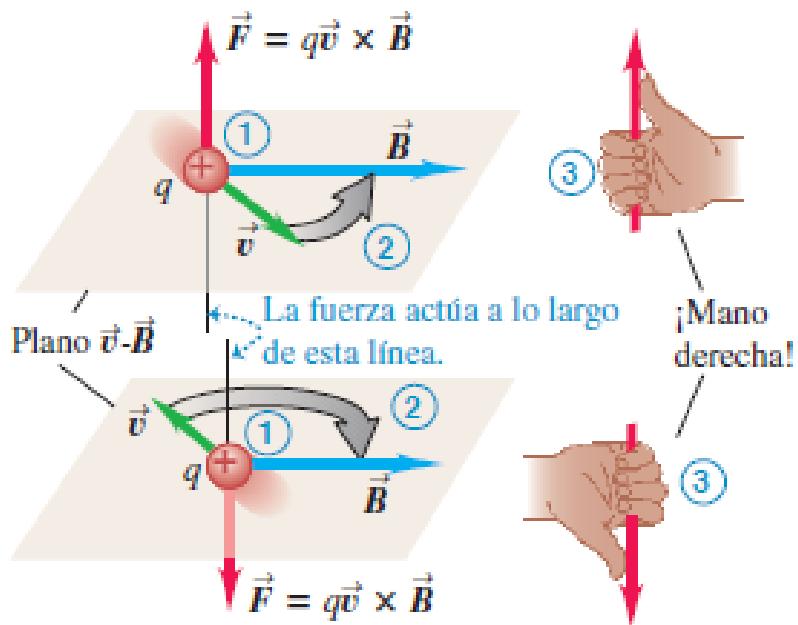
a)

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} cola con cola.

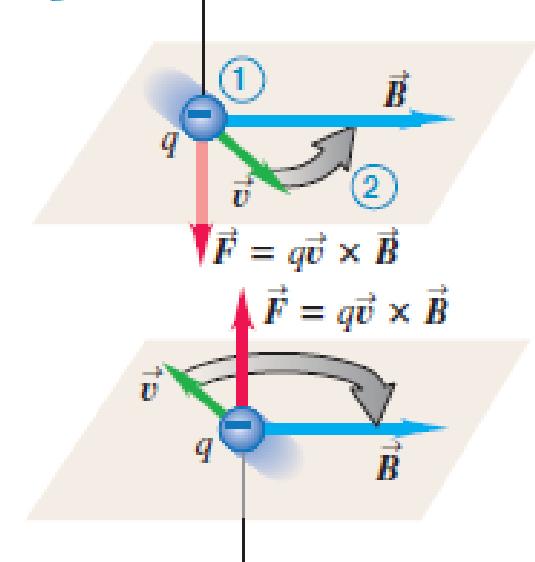
② Imagine que gira \vec{v} hacia \vec{B} en el plano $\vec{v}-\vec{B}$ (en el menor ángulo).

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.



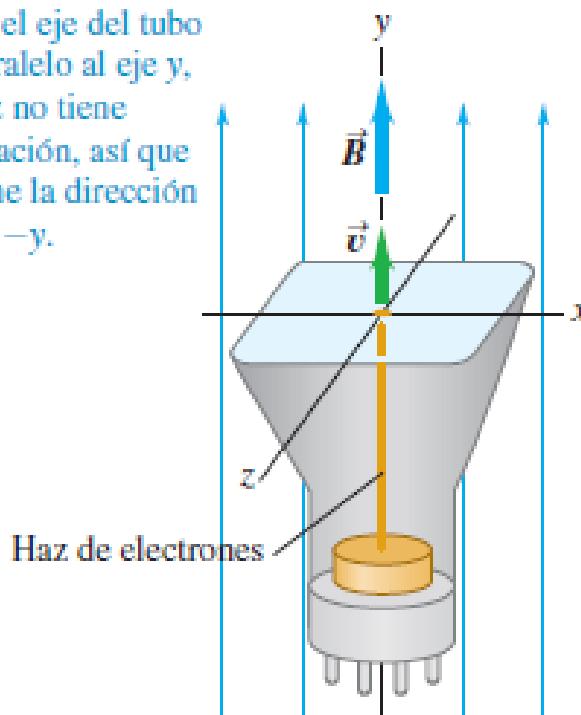
COMBINACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

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

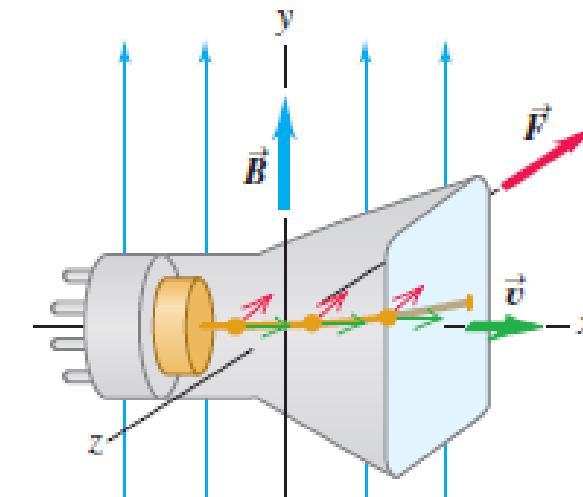
(FUERZA DE LORENTZ)

27.9 Determinación de la dirección de un campo magnético usando un tubo de rayos catódicos. Como los electrones tienen carga negativa, la magnitud de la fuerza magnética $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ en el inciso b) apunta en dirección opuesta a la dirección dada por la regla de la mano derecha (véase la figura 27.7b).

a) Si el eje del tubo es paralelo al eje y, el haz no tiene desviación, así que \vec{B} tiene la dirección +y o -y.



b) Si el eje del tubo es paralelo al eje x, el haz experimenta una desviación en la dirección $-z$ por lo que \vec{B} tiene la dirección +y.



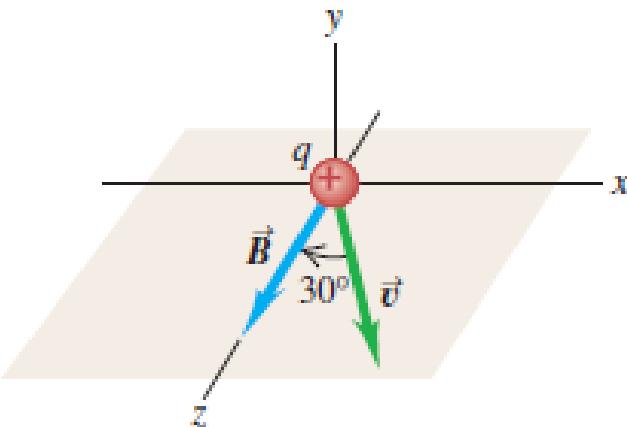
Ejemplo 27.1 Fuerza magnética sobre un protón

Un haz de protones ($q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) se mueve a $3.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ a través de un campo magnético uniforme de 2.0 T dirigido a lo largo del eje z positivo, como se indica en la figura 27.10. La velocidad de cada



protón se encuentra en el plano xz a un ángulo de 30° con respecto al eje $+z$. Calcule la fuerza sobre un protón.

27.10 Direcciones de \vec{v} y \vec{B} para un protón en un campo magnético.



$$\vec{F}_M = qv \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}_M| = |qv||B| \sin \theta$$

$$|\vec{F}_N| = (1.6 \times 10^{-19})(3 \times 10^5)(z) \sin 30$$

$$|\vec{F}_N| = 4.8 \times 10^{-14} N$$

vectorial $\vec{B} = (0, 0, \hat{k})$
 $v = (v_x, v_y, v_z)$

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

$$\vec{F}_N = -4.8 \times 10^{-14} N \hat{j}$$

otra forma

$$\vec{F}_H = q \vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ N_x & 0 & N_K \\ 0 & 0 & B_K \end{vmatrix}$$
$$\vec{F}_N = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ N \sin 30 & 0 & N \cos 30 \\ 0 & 0 & B_2 \end{vmatrix} q \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 150,000 & 0 & 259808 \\ 0 & 0 & 2 \end{vmatrix}$$

$$\vec{F}_N = [0 \hat{i} - (2 \times 150,000 - 0) \hat{j} + 0 \hat{k}] (1.6 \times 10^{-19})$$

$$\vec{F}_N = -2(150,000)(1.6 \times 10^{-19}) \hat{j}$$

$$\vec{F}_N = -4.8 \times 10^{-14} N$$

27.1 • Una partícula con carga de -1.24×10^{-8} C se mueve con velocidad instantánea $\vec{v} = (4.19 \times 10^4 \text{ m/s})\hat{i} + (-3.85 \times 10^4 \text{ m/s})\hat{j}$. ¿Cuál es la fuerza que sobre esta partícula ejerce un campo magnético, a) $\vec{B} = (1.40 \text{ T})\hat{i}$ y b) $\vec{B} = (1.40 \text{ T})\hat{k}$?

27.1

$$q = -1.24 \times 10^{-8} C$$

$$\vec{v} = (4.19 \times 10^4 \text{ m/s} \hat{i} + 3.85 \times 10^4 \text{ m/s} \hat{j})$$

a) $\vec{B} = 1.40 T \hat{i}$

$$\vec{F}_N = \begin{vmatrix} -1.24 \times 10^{-8} (4.19 \times 10^4) & (-1.24 \times 10^{-8}) (-3.85 \times 10^4) \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \hat{k}$$

$$\vec{F}_N = 0 \hat{i} + 0 \hat{j} - (-1.24 \times 10^{-8}) (-3.85 \times 10^4) (1.40) \hat{k}$$

$$\vec{F}_N = -0.000668 N \hat{k}$$

$$b) \vec{B} = 1.40 T \hat{k}$$

$$\vec{F}_M = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -1.24 \times 10^{-8} (4.19 \times 10^4) & (-1.24 \times 10^{-8}) (-3.85 \times 10^4) & 0 \\ 0 & 0 & 1.40 \end{vmatrix}$$

$$\vec{F}_M = (-1.24 \times 10^{-8}) (-3.85 \times 10^4) (1.40) \hat{i} - (-1.24 \times 10^{-8}) (4.19 \times 10^4) (1.40) \hat{j} + 0 \hat{k}$$

$$\vec{F}_M = 0.000668 N \hat{i} + 0.000727 N \hat{j}$$

MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS CARGADAS EN UN CAMPO MAGNÉTICO

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

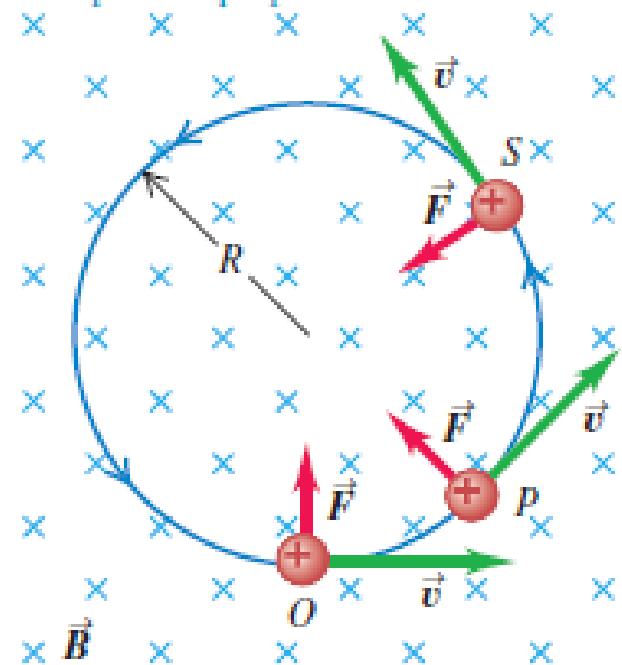
LA FUERZA SIEMPRE
ES PERPENDICULAR

EL MOVIMIENTO DE UNA PARCÍCULA CARGADA
BAJO LA INFLUENCIA DE UN CAMPO MAGNÉTICO
SIEMPRE OCURRE CON VELOCIDAD CONSTANTE

27.17 Una partícula cargada se mueve en un plano perpendicular a un campo magnético uniforme \vec{B} .

a) Órbita de una partícula cargada en un campo magnético uniforme

Una carga que se mueve en ángulos rectos con respecto a un campo \vec{B} uniforme se mueve en círculo a rapidez constante, porque \vec{F} y \vec{v} siempre son perpendiculares entre sí.



$$\vec{F} = m\vec{a}_{cp} = qvB$$

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

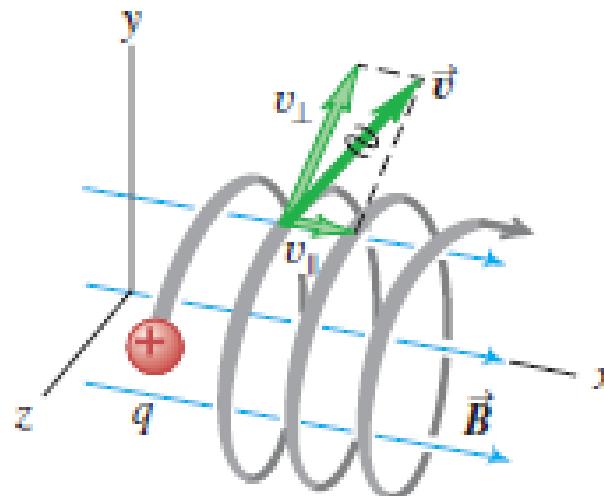
$$R = \frac{mv}{qB}$$

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

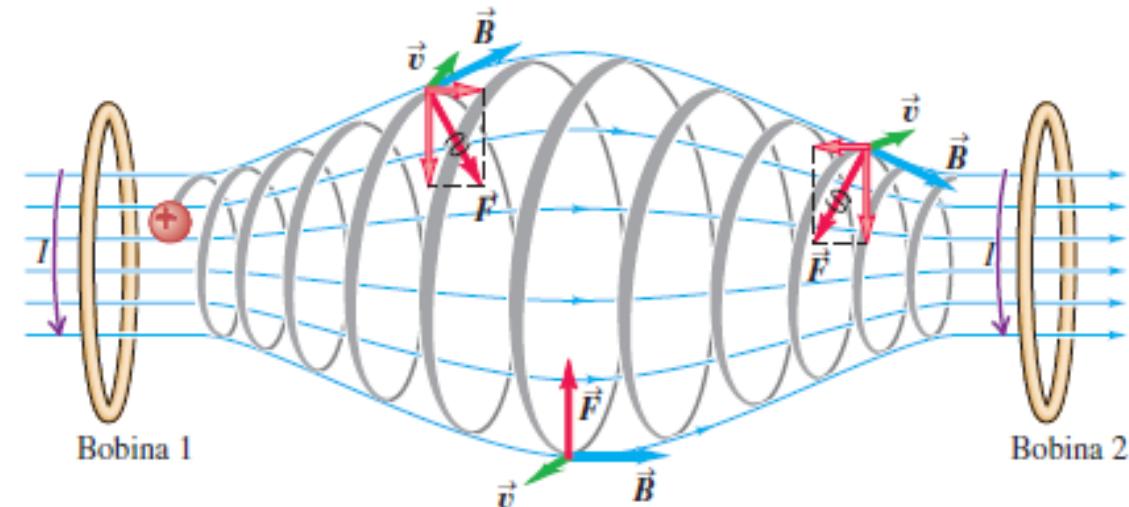
SI LA DIRECCIÓN INICIAL NO ES PERPENDICULAR
AL CAMPO, SE MUEVE EN UN PATRÓN HELICOIDAL

27.18 Caso general de una partícula cargada que se mueve en un campo magnético uniforme \vec{B} . El campo magnético no realiza trabajo sobre la partícula, por lo que su rapidez y la energía cinética permanecen constantes.

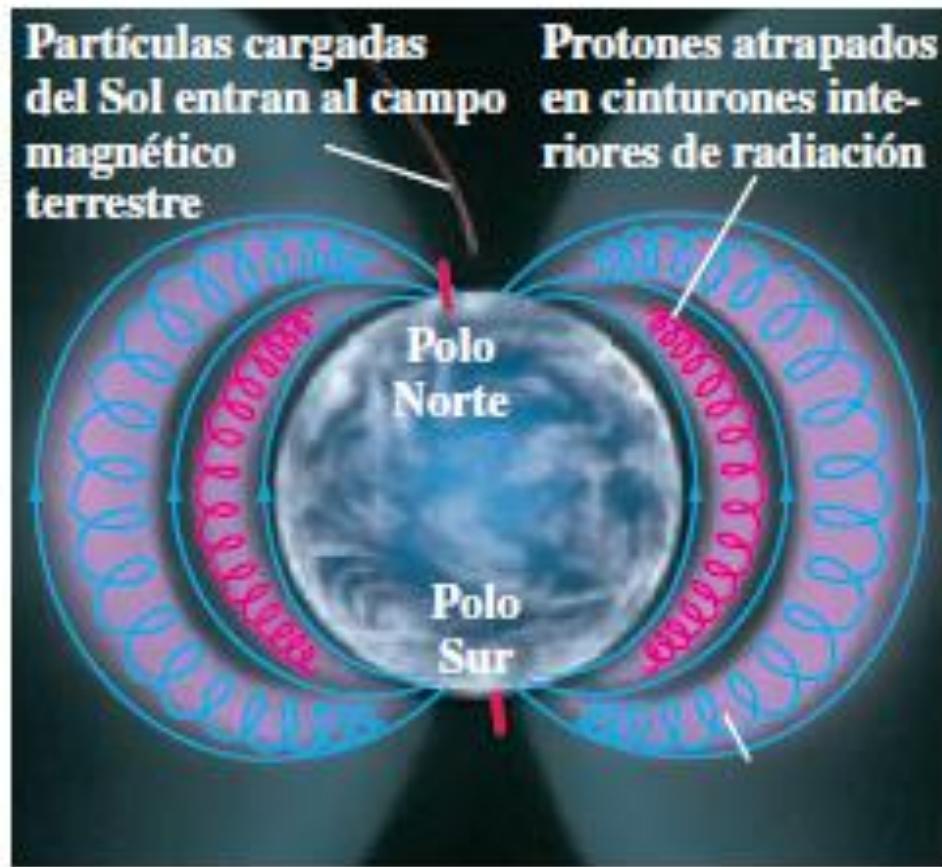
El movimiento de esta partícula tiene componentes tanto paralela ($v_{||}$) como perpendicular (v_{\perp}) al campo magnético, por lo que se mueve en una trayectoria helicoidal.



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



a)

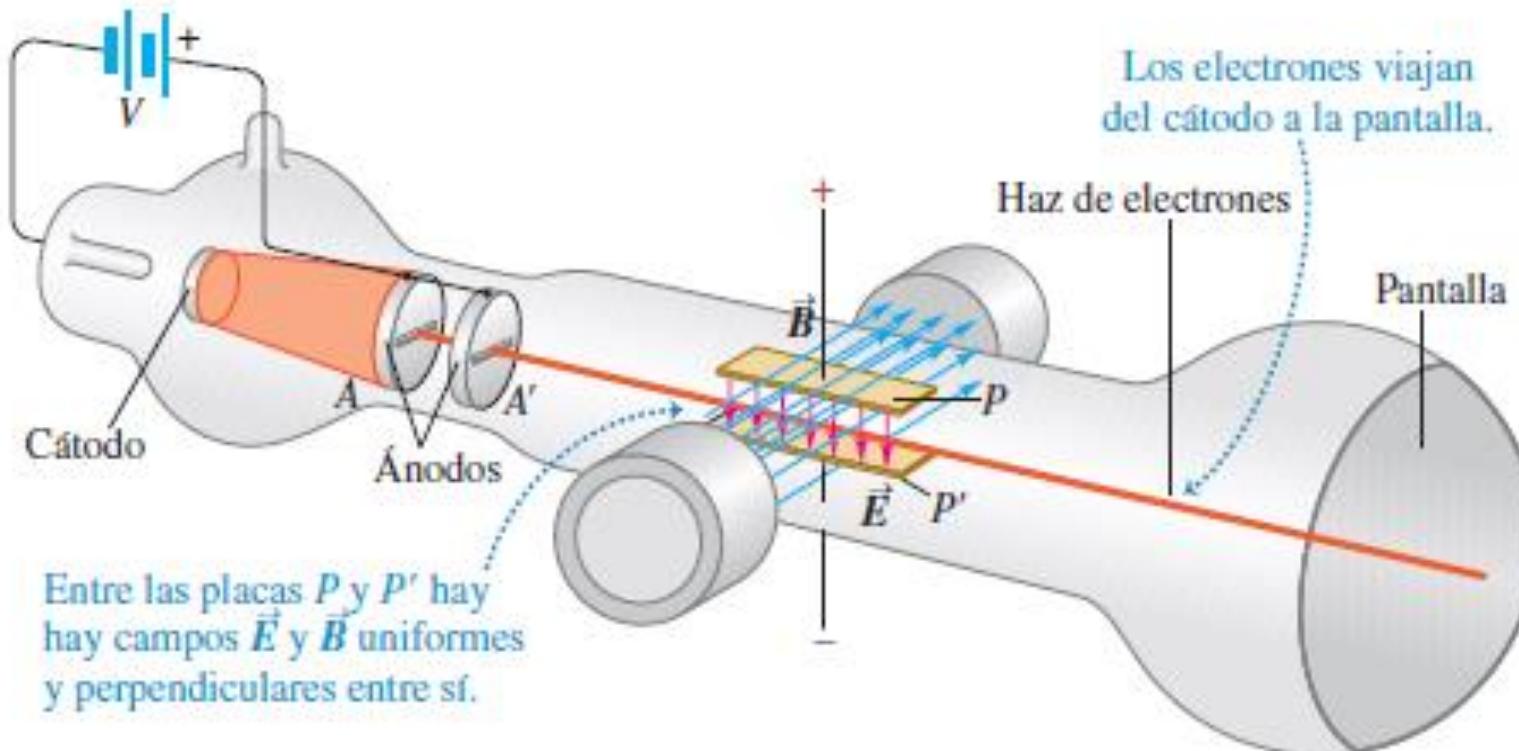


b)



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

Experimento de e/m de Thomson



$$\Delta E = 0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - eV = 0$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

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

$$\frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

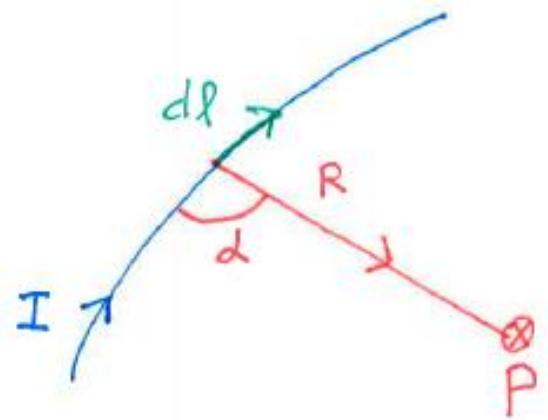
$$\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$$

- Una partícula cargada se mueve a una velocidad uniforme de 4 m/s en una región donde $E_y = 20 \text{ V/m}$ y $B_z = B_o$.
Encontrar B_o de tal forma que la velocidad de la partícula permanezca constante.

LEYES QUE GOBIERNAN LOS CAMPOS MAGNÉTICOS (MAGNETOSTÁTICOS)

- 1) BIOT-SAVART
- 2) AMPERE

LEY DE BIOT-SAVART ESTABLECE QUE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO dH QUE SE PRODUCE EN UN PUNTO P DEDICADO A UN ELEMENTO DIFERENCIAL DE CORRIENTE $I dl$ ES PROPORCIONAL AL PRODUCTO $I dl$ Y EL SENO DEL ÁNGULO α ENTRE EL ELEMENTO Y LA LÍNEA QUE une P AL ELEMENTO E INVERSAZAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA R ENTRE EL PUNTO Y EL ELEMENTO.



$$dH \propto \frac{I \, dl \, \sin \alpha}{R^2}$$

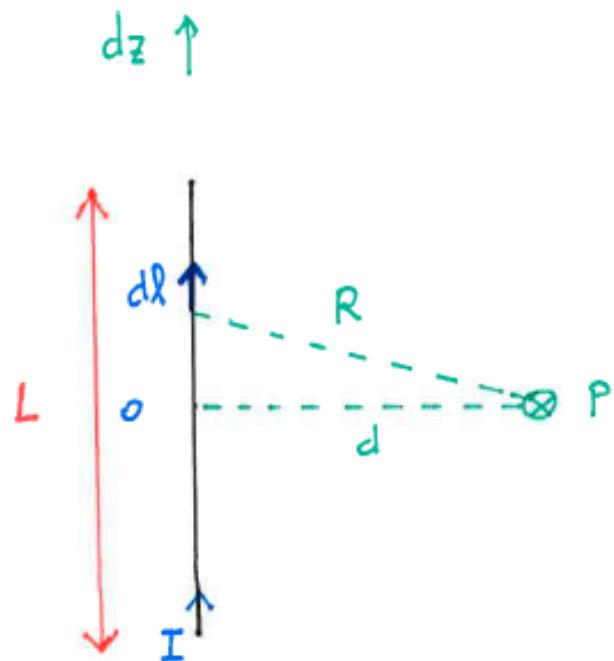
$$dH = \frac{\kappa \, I \, dl \, \sin \alpha}{R^2}$$

$$d\vec{H} = \frac{I \, \vec{dl} \times \vec{R}}{4\pi R^3}$$

$$\kappa = \frac{1}{4\pi} \quad (\text{SI})$$

$$R_L = |\vec{R}|$$

$$\sigma_R = \frac{R_L}{R}$$



$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \frac{\vec{dl} \times \vec{R}}{R^3}$$

$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \frac{cl \, dz \, \vec{\alpha}_y}{(z^2 + cl^2)^{3/2}}$$

$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{cl \, dz}{(z^2 + cl^2)^{3/2}} (\vec{\alpha}_y)$$

$\rightarrow L/2, -L/2$

¿ dónde está ubicado $d\vec{l}$?

$$\lambda = (0, 0, z)$$

$$dl = (0, 0, dz)$$

distancia de $d\vec{l}$ a P

$$\lambda = (0, 0, z)$$

$$P = (d, 0, 0)$$

$$\vec{R} = (0, 0, z) - (d, 0, 0)$$

$$\vec{R} = (-d, 0, z)$$

$$d\vec{l} \times \vec{R} = \begin{vmatrix} \vec{\alpha}_x & \vec{\alpha}_y & \vec{\alpha}_z \\ 0 & 0 & dz \\ -d & 0 & z \end{vmatrix}$$

$$d\vec{l} \times \vec{R} = cl \, dz \, \vec{\alpha}_y$$

$$R = (d^2 + 0^2 + z^2)^{1/2}$$

$$R^3 = (z^2 + cl^2)^{3/2}$$

$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \frac{cl \, dz \, \vec{\alpha}_y}{(z^2 + d^2)^{3/2}}$$

$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{cl \, dz}{(z^2 + d^2)^{3/2}} (\vec{\alpha}_y)$$

$$d\vec{H} \times \vec{R} = cl \, dz \, \vec{\alpha}_y$$

$$R = (d^2 + o^2 + z^2)^{1/2}$$

$$R^3 = (z^2 + d^2)^{3/2}$$

$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi} \left[\frac{z}{d^2 \sqrt{z^2 + d^2}} \right]_{-L/2}^{L/2} (\vec{\alpha}_y)$$

$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi d^2} \left[\frac{(L/2)}{\sqrt{L^2/4 + d^2}} - \frac{(-L/2)}{\sqrt{L^2/4 + d^2}} \right] (\vec{\alpha}_y)$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi d} \left[\frac{L}{\sqrt{L^2/4 + d^2}} \right] (\vec{\alpha}_y) \quad T \quad \text{si } L \gg d$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi d} \left[\frac{L}{\sqrt{L^2/4}} \right] (\vec{\alpha}_y)$$

$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi d} (\vec{\alpha}_y) \quad T$$

Si el Alambre FUERA "INFINITO"

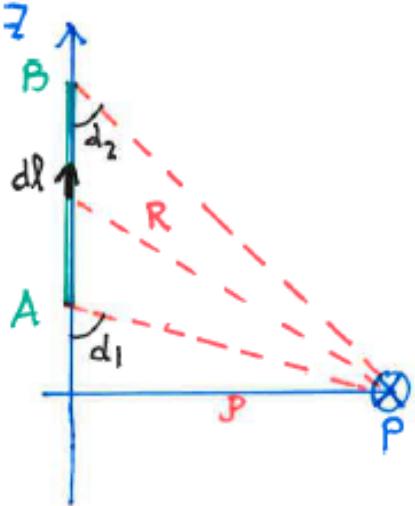
$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dz}{(z^2 + d^2)^{3/2}} = \frac{Id}{4\pi} \left[\frac{z}{d^2 \sqrt{z^2 + d^2}} \right] \Big|_{-\infty}^{+\infty}$$

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \left(\frac{z}{\sqrt{z^2 + d^2}} \right) = \lim_{z \rightarrow \infty} \left(\frac{z/2}{\sqrt{z^2/2 + d^2/2}} \right) = 1$$

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \left(\frac{z}{\sqrt{z^2 + d^2}} \right) = -1$$

$$\vec{H} = \frac{Id}{4\pi d^2} (1 - (-1)) = \frac{I}{2\pi d} (\vec{\alpha}_y) \cdot \vec{T}$$

MISMO PROBLEMA PERO CON OTRAS COORDENADAS
CILÍNDRICAS (ρ, ϕ, z)



$$d\vec{L} = (0, 0, dz) = dz \vec{a}_z$$

$$\vec{L} = (0, 0, z)$$

$$\rho = (\rho, 0, 0)$$

$$\vec{R} = (\rho, 0, -z)$$

$$d\vec{L} \times \vec{R} = \begin{vmatrix} \vec{a}_\rho & \vec{a}_\phi & \vec{a}_z \\ 0 & 0 & dz \\ \rho & 0 & -z \end{vmatrix}$$

$$d\vec{L} \times \vec{R} = \rho dz \vec{a}_\phi$$

$$\vec{H} = \frac{I d\vec{L} \times \vec{R}}{4\pi R^3}$$

$$\vec{H} = \int \frac{I \rho dz}{4\pi (z^2 + \rho^2)^{3/2}} (\vec{a}_\phi)$$

SEAN

$$z = p \cot \alpha$$
$$dz = -p \operatorname{cosec}^2 \alpha d\alpha$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \int \frac{p (-p \operatorname{cosec}^2 \alpha) dz}{(p^2 \cot^2 \alpha + p^2)^{3/2}} (\vec{\sigma}_\phi)$$

$$\vec{H} = \frac{-I}{4\pi p} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi p} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) (\vec{\sigma}_\phi) T$$

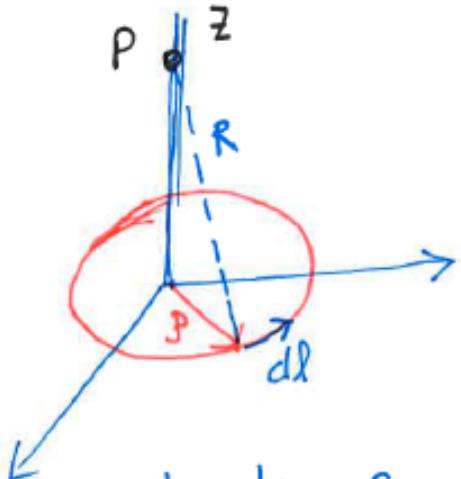
SI EL ALAMBRE ES INFINITO

$$A (0, 0, -\infty) \quad \alpha_1 = 180^\circ$$

$$B (0, 0, +\infty) \quad \alpha_2 = 0^\circ$$

$$\vec{H} = \frac{I}{4\pi p} (1 - (-1)) = \frac{I}{2\pi p} \vec{\sigma}_\phi T$$

SEA UN ALAMBRE CERRADO CIRCULAR EN
 $x^2 + y^2 = a^2$, $z = 0$ Y QUE LLEVA UNA CORRIENTE
 DE 10 A A LO LARGO DE $\vec{\alpha}_\phi$.
 HALLAR \vec{H} EN $(0, 0, 4)$ Y $(0, 0, -4)$



$$dl = p d\phi \vec{\alpha}_\phi$$

$$p = (0, 0, h)$$

$$\ell = (p, 0, 0)$$

$$\vec{R} = (-p, 0, h)$$

CILINDRICAS

$$dl = dp \vec{\alpha}_p + p d\phi \vec{\alpha}_\phi + dz \vec{\alpha}_z$$

$$dl \times \vec{R} = \begin{vmatrix} \vec{\alpha}_p & \vec{\alpha}_\phi & \vec{\alpha}_z \\ 0 & pd\phi & 0 \\ -p & 0 & h \end{vmatrix} = h p d\phi \vec{\alpha}_p + p^2 d\phi \vec{\alpha}_z$$

... +

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{l} \times \vec{R}}{4\pi R^3} = \frac{I}{4\pi} \frac{(hp d\phi \vec{\alpha}_y + p^2 d\phi \vec{\alpha}_z)}{(p^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$d\vec{H} = dH_y \vec{\alpha}_y + dH_z \vec{\alpha}_z$$

por simetria $H_y = 0$

$$\vec{H} = \frac{\pm}{4\pi} \frac{p^2}{(p^2 + h^2)^{3/2}} \phi \vec{\alpha}_z$$

ϕ varia
 $d \in 0 \text{ a } 2\pi$

$$\vec{H} = \frac{\pm}{4\pi} \frac{p^2}{(p^2 + h^2)^{3/2}} 2\pi \vec{\alpha}_z$$

$$\vec{H} = \frac{I p^2}{2(p^2 + h^2)^{3/2}} \vec{a}_z$$

En (0, 0, 4) ojo $p = 3$ (de $x^2 + y^2 = 9$
 $p^2 = 9$)

$$\vec{H} = \frac{(10)(9)}{2(9+16)^{3/2}} \vec{a}_z = \frac{90}{250} \vec{a}_z \text{ T}$$

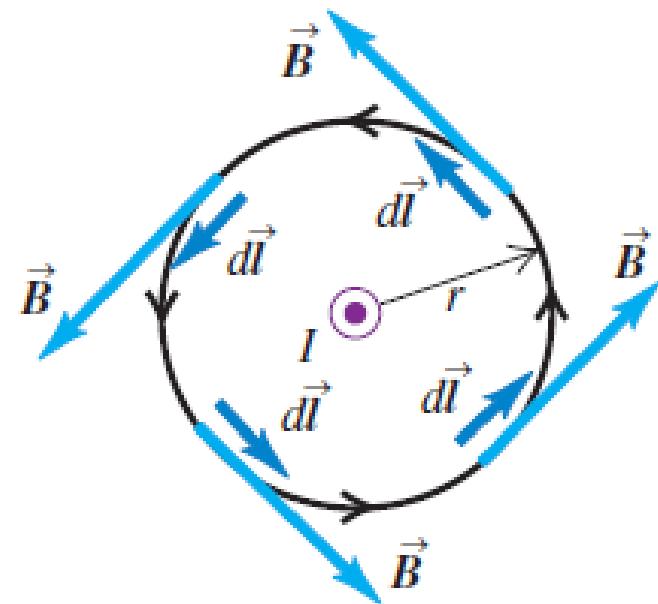
En (0, 0, -4)

$$\vec{H} = \frac{(10)(9)}{2(9+16)^{3/2}} \vec{a}_z = \frac{90}{250} \vec{a}_z \text{ T}$$

Ley de Ampère

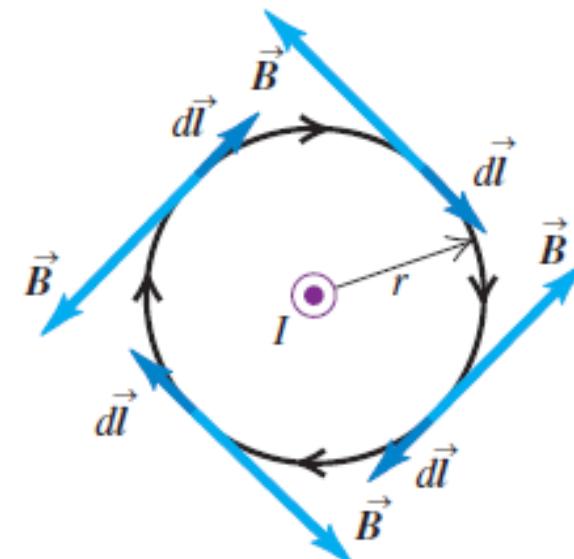
a) La trayectoria de integración es un círculo centrado en el conductor; la integración recorre el círculo en sentido antihorario.

Resultado: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$



b) Misma trayectoria de integración que en el inciso a), pero la integración recorre el círculo en sentido horario.

Resultado: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = -\mu_0 I$

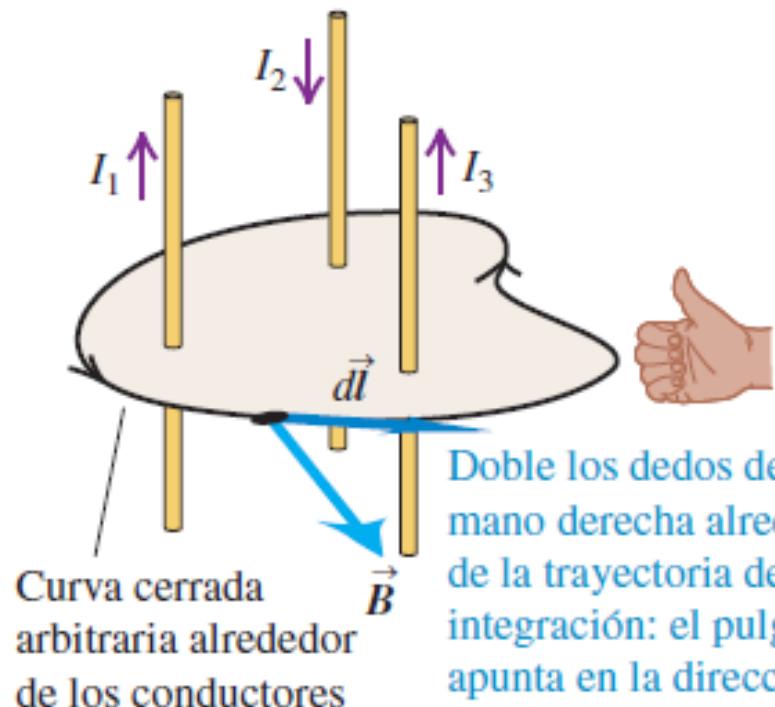


$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}}$$

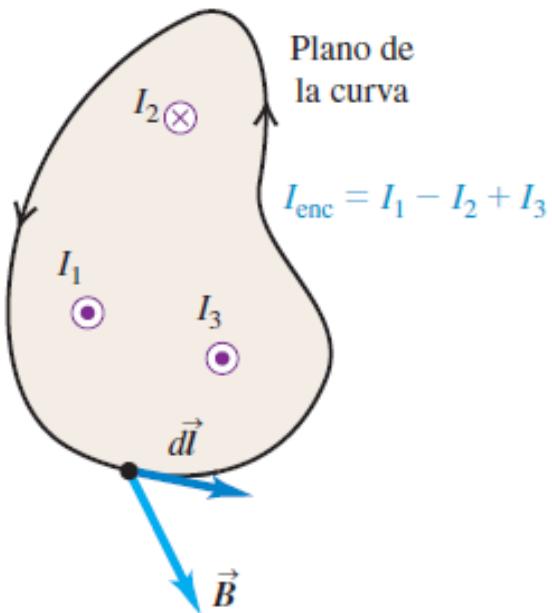
(ley de Ampère)

28.18 Ley de Ampère.

Vista en perspectiva



Vista superior

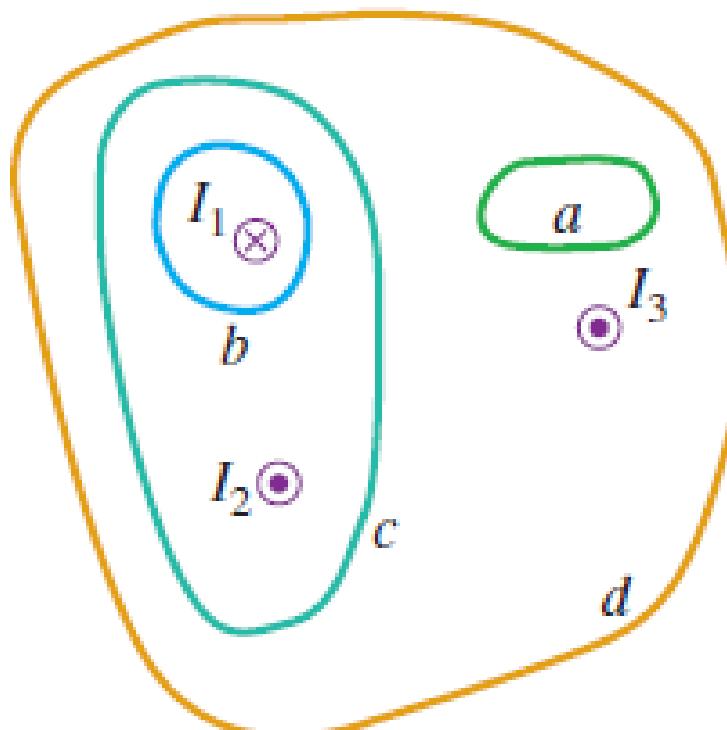


Ley de Ampère: Si se calcula la integral de línea del campo magnético alrededor de una curva cerrada, el resultado es igual a μ_0 multiplicada por la corriente total encerrada:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}}$$

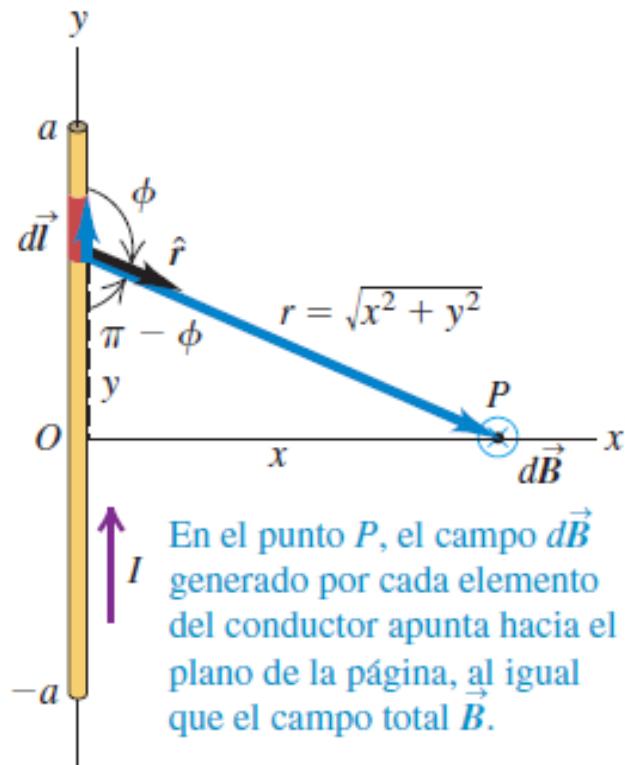
28.42 • La figura E28.42 muestra, en sección transversal, varios conductores que transportan corrientes a través del plano de la figura. Las corrientes tienen las magnitudes $I_1 = 4.0 \text{ A}$, $I_2 = 6.0 \text{ A}$, e $I_3 = 2.0 \text{ A}$, con los sentidos que se indican. Se presentan cuatro trayectorias, designadas de *a* a *d*. ¿Cuál es la integral de línea $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ para cada trayectoria? Cada integral implica ir alrededor de la trayectoria en sentido antihorario. Explique sus respuestas.

Figura **E28.42**



Aplicaciones de la ley de Ampère

Campo de un conductor largo, recto y portador de corriente

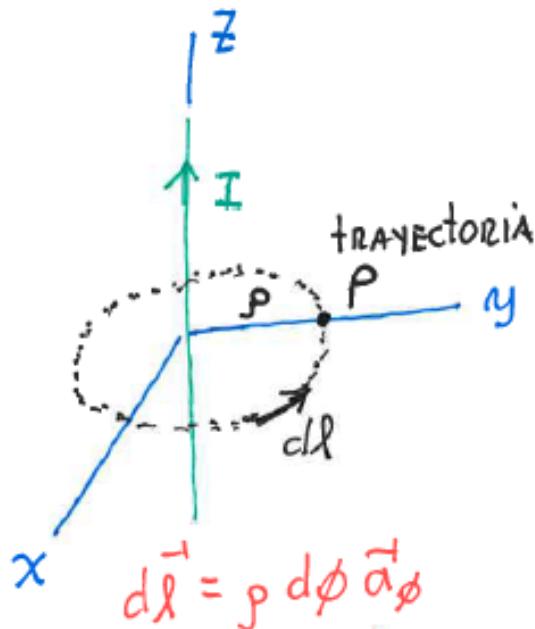


En el punto P , el campo $d\vec{B}$ generado por cada elemento del conductor apunta hacia el plano de la página, al igual que el campo total \vec{B} .

APLICACIONES de la LEY de AMPERE

ALAMBRE INFINITO CON CORRIENTE

APROXIMACIÓN



$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

" H " simétrico

$$H(2\pi r) = I_{ENC}$$

$$H(2\pi r) = I$$

$$\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \hat{\alpha}_r$$

PARA QUE EXISTA \vec{H}

DEBERÍA SER $\vec{H} = H_\phi \hat{\alpha}_\phi$

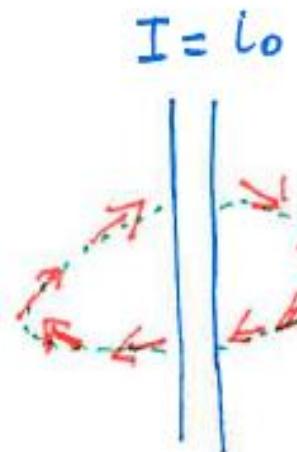
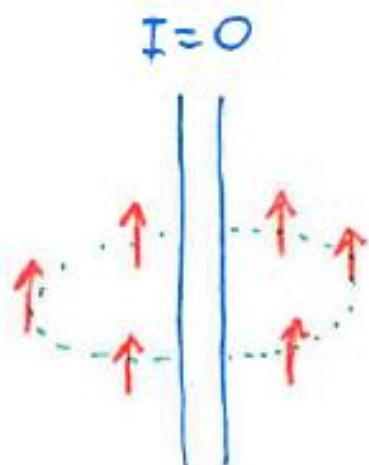
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$\oint H_\phi \hat{\alpha}_\phi \cdot p d\phi \hat{\alpha}_\phi = I_{ENC}$$

PERO

$$I_{ENC} = \oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

$$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{s} = \oint_S (\nabla \times \vec{H}) \cdot d\vec{s}$$
$$\vec{J} = \nabla \times \vec{H}$$



$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$\oint H_\phi \vec{a}_\phi \cdot p d\phi \vec{a}_\phi^\top = I_{ENC}$$

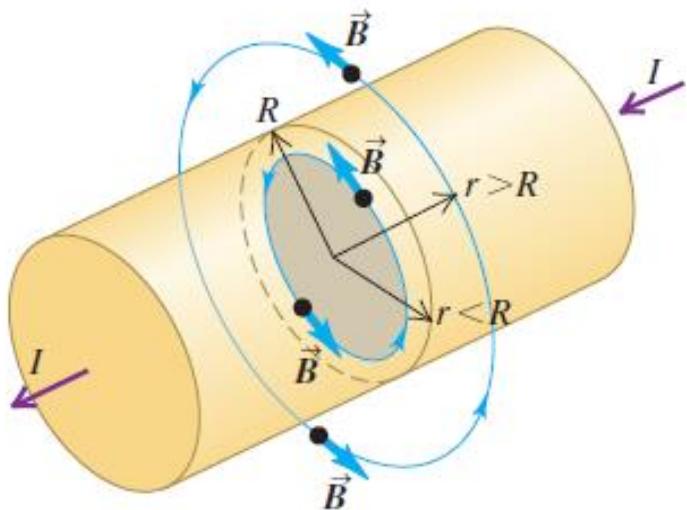
$$\oint H_\phi p d\phi = I_{ENC}$$

$$H_\phi p \oint d\phi = I_{ENC}$$

$$H_\phi p (2\pi) = I_{ENC}$$

$$H = \frac{I}{2\pi p} \vec{a}_\phi^\top$$

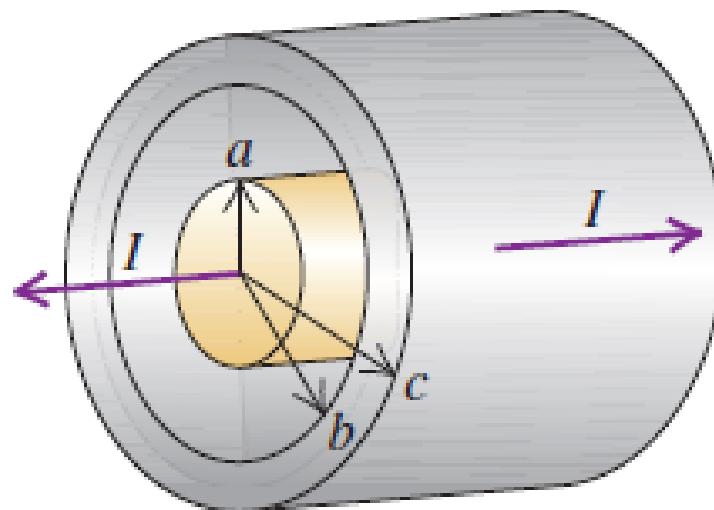
Campo en un conductor largo cilíndrico



Un conductor cilíndrico con radio R transporta una corriente I (figura 28.20). La corriente está distribuida de manera uniforme sobre la superficie de la sección transversal del conductor. Obtenga el campo magnético, como función de la distancia r desde el eje del conductor, a puntos situados tanto dentro ($r < R$) como fuera ($r > R$) del conductor.

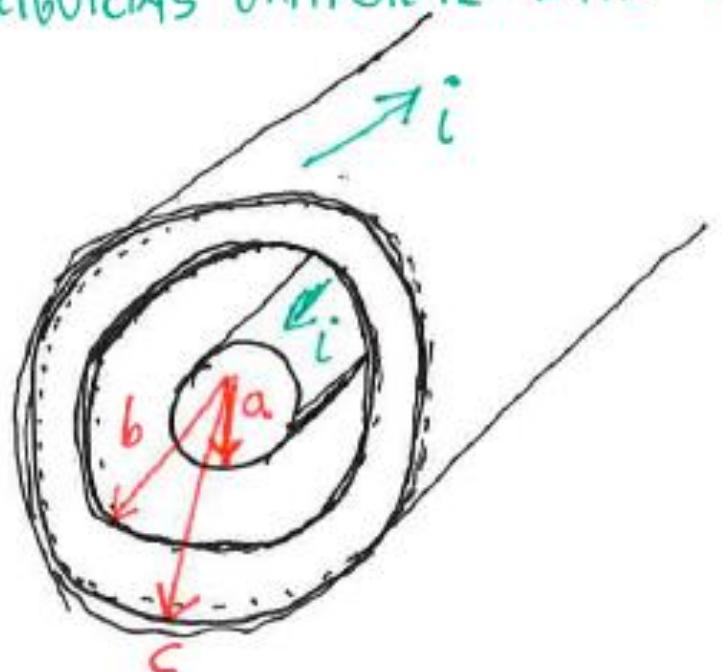
28.45 • Cable coaxial. Un conductor sólido con radio a está sostenido por discos aislantes sobre el eje de un tubo conductor con radio interior b y radio exterior c (figura E28.45). El conductor central y el tubo conducen corrientes iguales I en sentidos opuestos. Las corrientes están distribuidas de manera uniforme en las secciones transversales de cada conductor. Obtenga una expresión para la magnitud del campo magnético *a)* en puntos situados afuera del conductor central sólido pero en el interior del tubo ($a < r < b$), y *b)* en puntos situados afuera del tubo ($r > c$).

Figura E28.45



CABLE COAXIAL

SEA LA FIGURA UNA SECCIÓN DE UN CONDUCTOR LARGO DE TIPO CABLE COAXIAL, CON LOS RADIOS a , b Y c . EN LOS DOS CONDUCTORES EXISTEN CORRIENTES i DISTRIBUIDAS UNIFORMEMENTE IGUALES PERO ANTI PARALELAS.



¿QUÉ OCURRE EN LAS REGIONES?

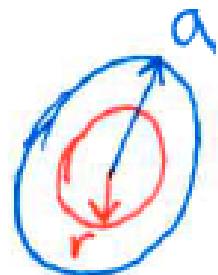
$$0 < r < a$$

$$a < r < b$$

$$b < r < c$$

$$r > c$$

- Si $0 < r < a$
- HAGAMOS UNA TRAYECTORIA Γ
 - ¿CUÁNTA CORRIENTE HEMOS ENCERRADO?
 - APLICAMOS LA LEY DE AMPERE



PARA CALCULAR LA CORRIENTE ENCERRADA

$$\text{RECORDAR QUE } I = \oint \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

SI J ES UNIFORME Y LA ASUMIMOS J_0

$$I_{ENC} = \int_r^a J_0 ds = J_0 \int_r^a ds = J_0 \int_r^a 2\pi r dr$$

$$I_{ENC} = 2\pi J_0 \int_0^a r dr = 2\pi J_0 \left[\frac{r^2}{2} \right]_0^a = \pi J_0 r^2$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$H(z\pi r) = \pi J_0 r^2$$

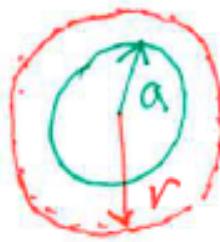
$$H = \frac{J_0}{2} r$$

EN $r=a$ ENCERRARÁ toda la CORRIENTE EN ESE conductor

$$I_{ENC} = \pi J_0 a^2$$

Si $a < r < b$

Aquí veo la CORRIENTE total que
ENCERRA dicho conductor

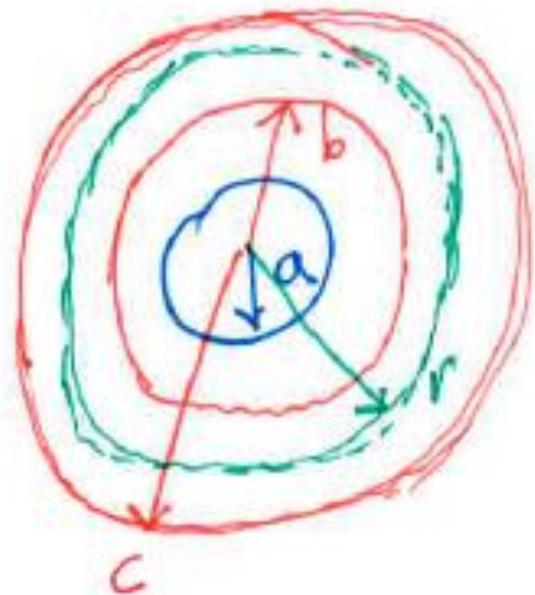


$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$H(z\pi r) = \pi J_0 a^2$$

$$H = \frac{J_0 a^2}{2r}$$

Si $b < r < c$



¿CUANTA CORRIENTE ESTÁ ENCERRADA?

toda la de conductor ($0 < r < a$)

y un pedazo del conductor
($b < r < c$)

SON ANTIPARALELAS (OPUESTAS)

$$T_{ENC} = i - I_e$$

ASÍ:

$$I_{ENC} = i - \frac{\pi J_0(r^2 - b^2)}{\pi J_0(c^2 - b^2)} i$$

$$I_{ENC} = i \left(1 - \frac{r^2 - b^2}{c^2 - b^2} \right)$$

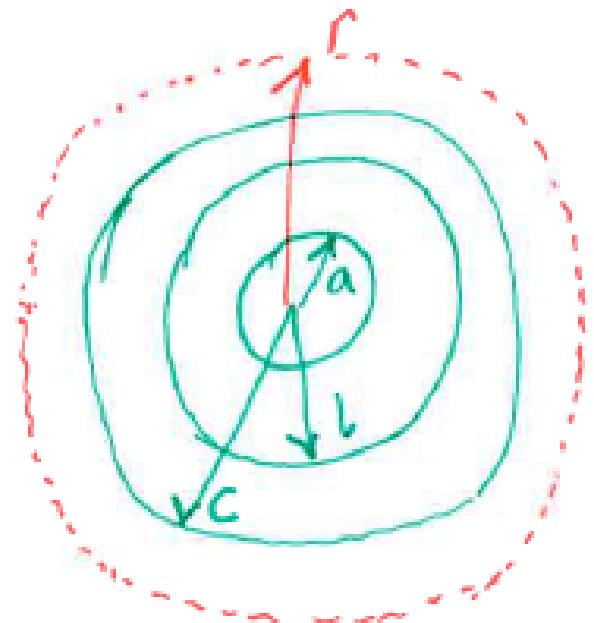
$$I_{ENC} = i \left(\frac{c^2 - b^2 - r^2 + b^2}{c^2 - b^2} \right) = i \left(\frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2} \right)$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$H(2\pi r) = i \left(\frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2} \right)$$

$$H = \frac{i}{2\pi r} \left(\frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2} \right)$$

Si $r > c$



¿cuál es la corriente encerrada?

toda la del conductor ($0 < r < a$)
y toda la del conductor ($b < r < c$)
son antiparalelas (opuestas)

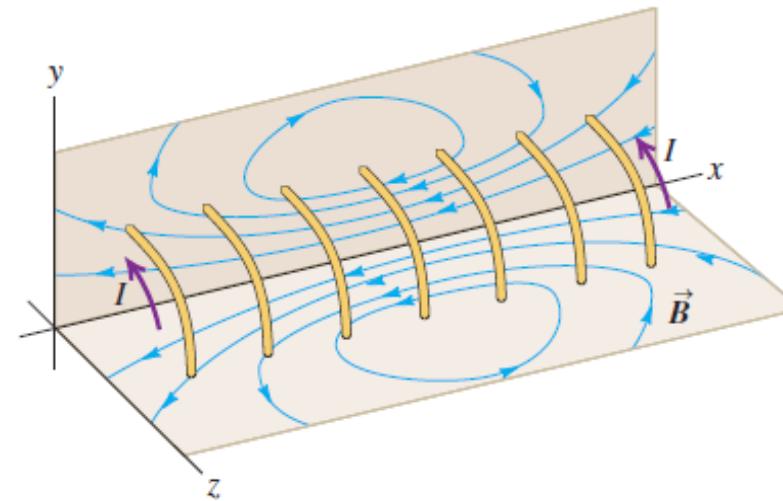
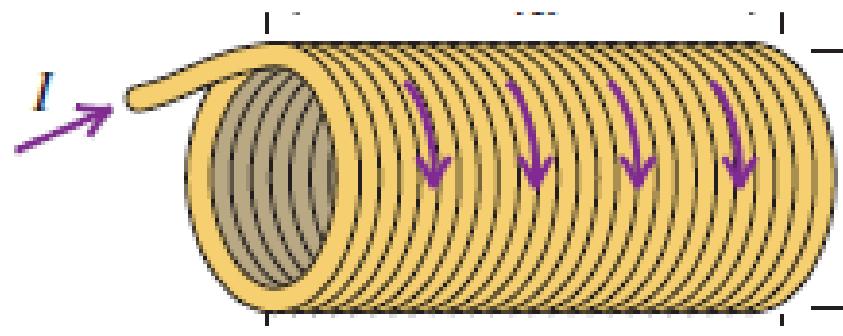
$$I_{\text{ENC}} = I - L = 0$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{ENC}}$$

$$H(2\pi r) = 0$$

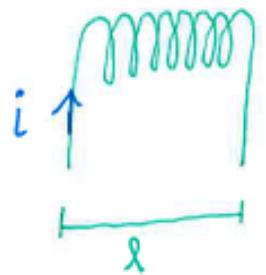
$$H = 0$$

Campo de un solenoide

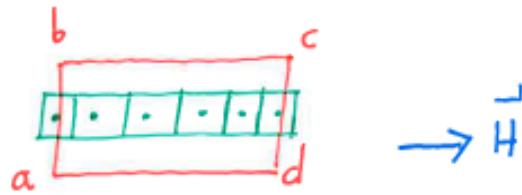


Un solenoide es un alambre enrollado de manera helicoidal sobre un cilindro, por lo general con sección transversal circular. Puede tener miles de vueltas muy apretadas (con frecuencia en varias capas), cada una de las cuales puede considerarse como una espira circular.

Solenoid



"N" vueltas



$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{a \rightarrow b} \vec{H} \cdot d\vec{l} + \sum_{b \rightarrow c} \vec{H} \cdot d\vec{l} \\ + \sum_{c \rightarrow d} \vec{H} \cdot d\vec{l} + \sum_{d \rightarrow a} \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

Así:

$$a \rightarrow b \quad \text{y} \quad c \rightarrow d$$

$$b \rightarrow c$$

$$\sum \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \text{ángulo}$$

$\sum \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0$

NO ENCIERNO I

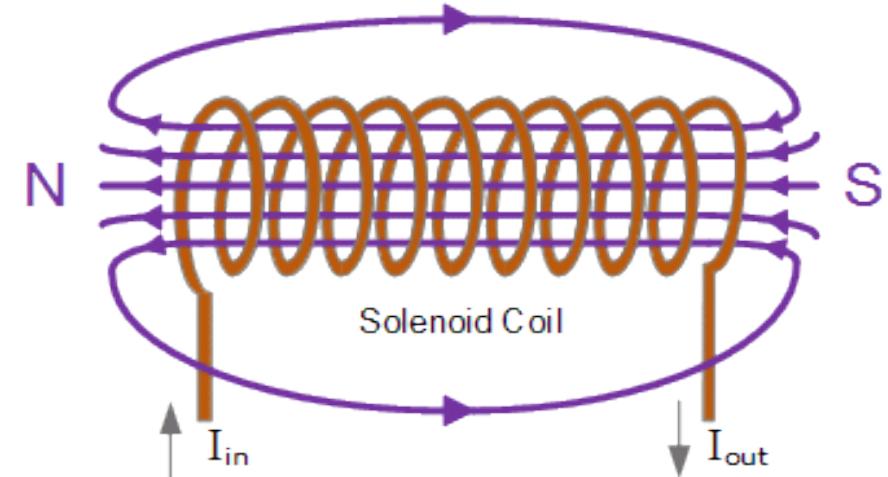
$$\sum_{d \rightarrow a} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{ENC}$$

$$H(l) = N I$$

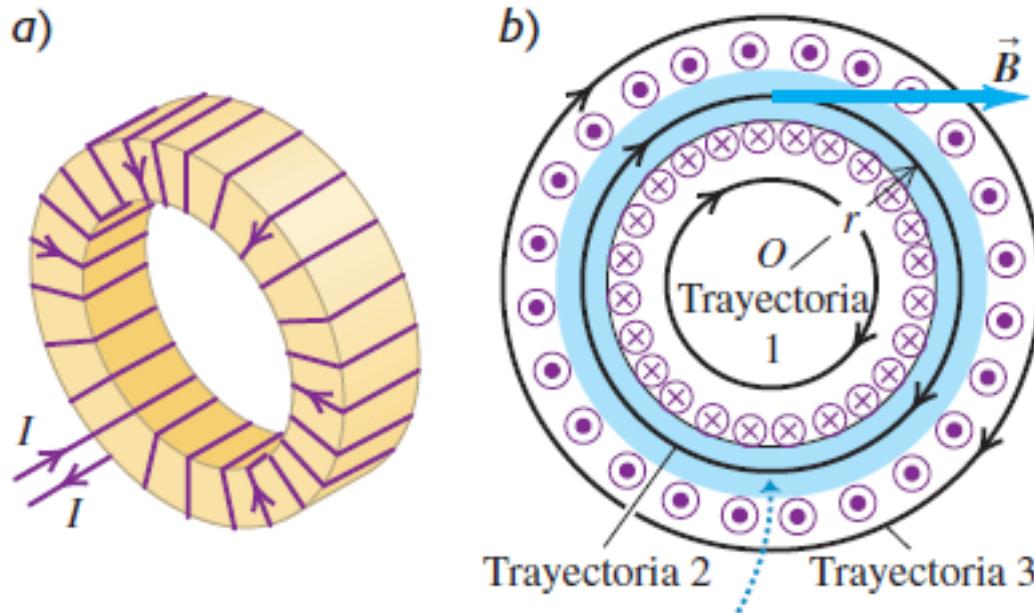
$$H = \frac{N}{l} I = n I$$

(ES UNA APROXIMACIÓN)

Electromagnetic field due to the flow of current

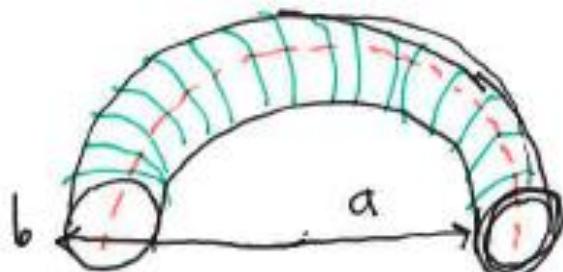
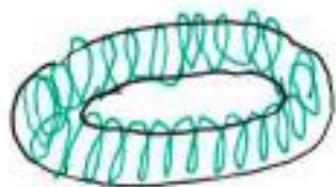


Campo de un solenoide toroidal



La figura 28.25a muestra un solenoide toroidal en forma de rosquilla, con embobinado compacto de N espiras de alambre que conduce una corriente I . (En un solenoide práctico las espiras estarían más apretadas de lo que aparecen en la figura). Obtenga el campo magnético en todos los puntos.

Toroide

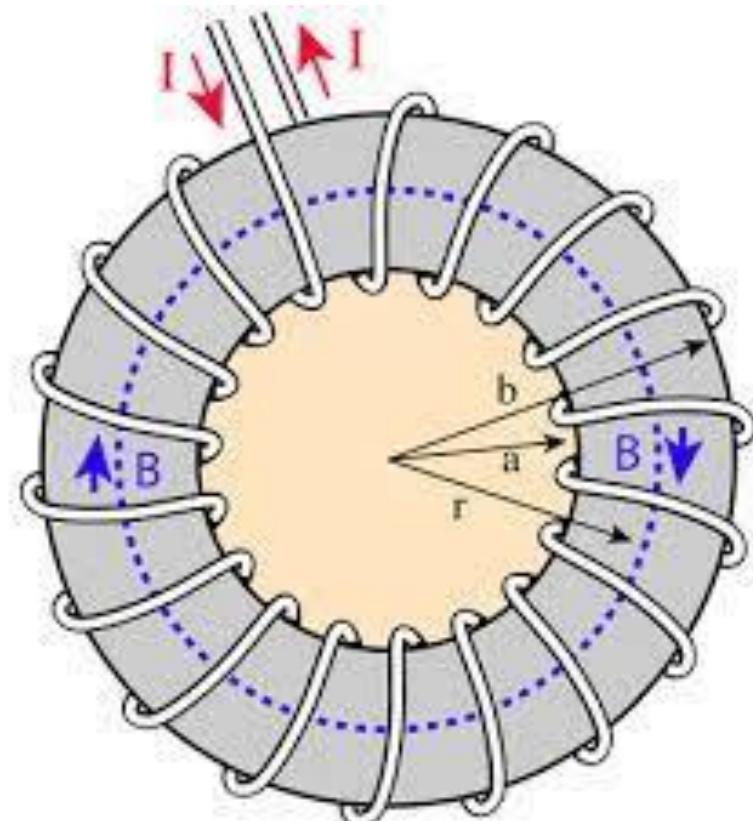


$$\oint \vec{H} \cdot d\ell = I_{ENC}$$

$$H(2\pi r) = NI$$

$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$

VARIABLE



DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO

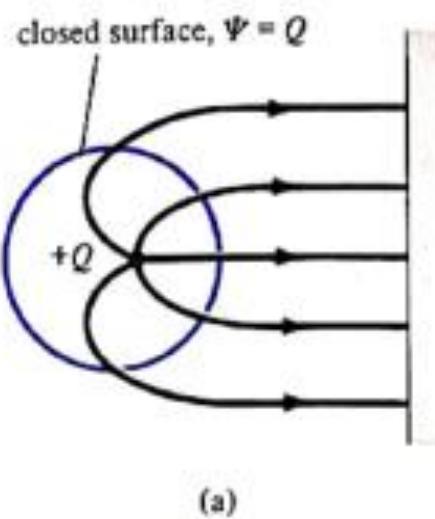
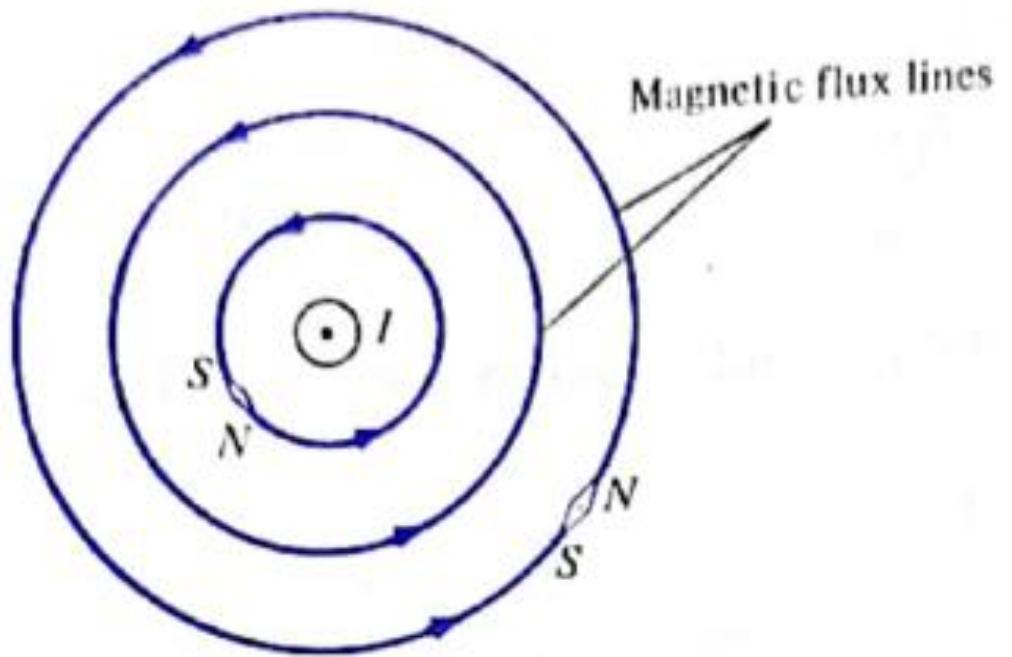
ASÍ COMO $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$ (densidad de flujo ELÉCTRICO)

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ (densidad de flujo MAGNÉTICO)

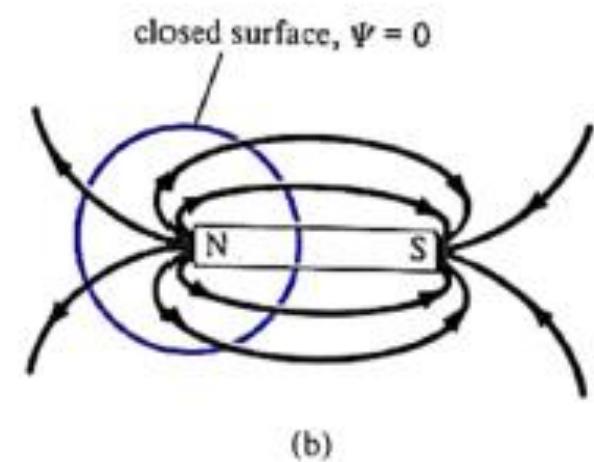
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

PERMEABILIDAD DEL
VACÍO O ESPACIO
LIBRE

(FLUJO MAGNÉTICO) $\Psi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$
UNIDAD WEBERS (Wb)



(a)



(b)

Figure 7.17 Flux leaving a closed surface due to: (a) isolated electric charge $\Psi = \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q$, (b) magnetic charge, $\Psi = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$.

UNIDAD DE DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO

$$\frac{\text{WEBERS}}{\text{m}^2} \left(\frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right) \circ \text{TESLAS (T)}$$

INTERESANTE

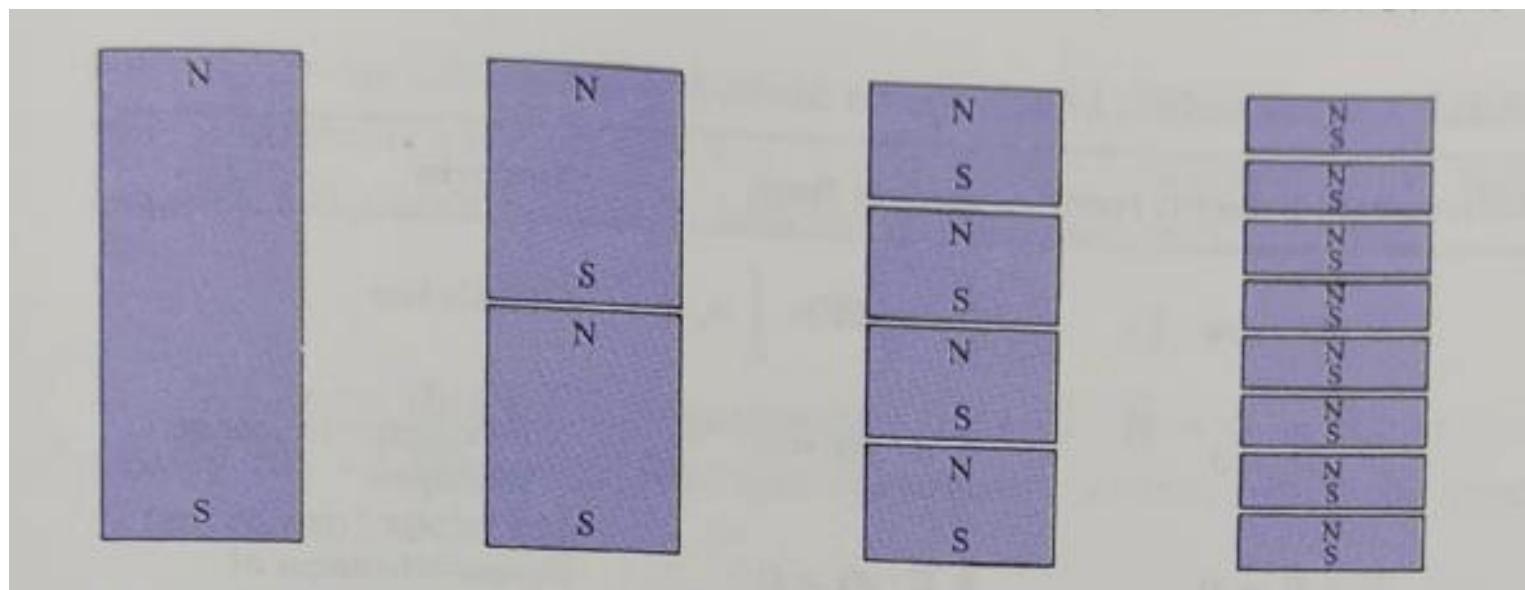
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{((8.85 \times 10^{-12})(\pi)(4 \times 10^{-7}))^{1/2}}$$

VELOCIDAD DE LA LUZ

EN CAMPO ELECTROSTÁTICO $\psi = \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q$

CAMPO MAGNÉTICO $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$

(NO MONOPOLOS MAGNÉTICOS)



LEY DE GAUSS PARA CAMPOS MAGNETOSTÁTICOS

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

APLICANDO TEOREMA DE LA DIVERGENCIA

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = \iiint_{V_{\text{vol}}} \nabla \cdot \vec{B} dV_{\text{vol}} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

ESTA ECUACIÓN ES UNA DE LAS ECUACIONES DE MAXWELL

SUGIERE QUE LAS LÍNEAS DE CAMPO MAGNÉTICO SON CONTINUAS (NO HAY FUENTES O SUMIDOS)

TABLE 7.2 Maxwell's Equations for Static EM Fields

Differential (or Point) Form	Integral Form	Remarks
$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_v \rho_v dv$	Gauss's law
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	Nonexistence of magnetic monopole
$\nabla \times \mathbf{E} = 0$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$	Conservativeness of electrostatic field
$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$	Ampere's law

FUERZA debida a CAMPOS MAGNÉTICOS

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

(Algunos libros utilizan \vec{u} en lugar de \vec{v})

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$

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

Así

$$\vec{F} = m \vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

FUERZA DEBIDA A ELEMENTOS DE CORRIENTE

RECORDAR QUE :

$$\Delta I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \rho_{vol} \frac{\Delta Vol}{\Delta t} = \rho_{vol} \frac{\Delta S \Delta l}{\Delta t} = \rho_{vol} \Delta S \vec{u}$$

$$\vec{J} = \frac{\Delta I}{\Delta S} = \rho_{vol} \vec{u}$$

PERO $\int d\vec{l} = \vec{F} dS = J dVol$

$$\int d\vec{l} = \int_{Vol} \vec{u} dVol = dq \vec{u}$$

$$\int d\vec{l} = dq \vec{u}$$

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

$$\vec{F} = \oint_L I d\vec{l} \times \vec{B}$$

Integracion de F en la definicion

$$\vec{F} = \oint_L I d\vec{l} \times \vec{B}$$

(FUERZA EN UN ELEMENTO DE CORRIENTE)

$$\vec{F} = \int_S \vec{k} dS \times \vec{B}$$

(FUERZA EN UNA SUPERFICIE DE CORRIENTE)

$$\vec{F} = \int_{Vol} \vec{J} dVol \times \vec{B}$$

(FUERZA EN UN VOLUMEN DE CORRIENTE)

FUERZA ENTRE DOS ELEMENTOS DE CORRIENTE

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

CALCULEMOS LA FUERZA EN EL ELEMENTO $I_1 d\vec{l}_1$, debido
AL CAMPO $d\vec{B}_2$ QUE ES PROducido POR EL ELEMENTO
 $I_2 d\vec{l}_2$.

$$dI(d\vec{F}_1) = I_1 d\vec{l}_1 \times d\vec{B}_2$$

por Biot-Savart

$$d\vec{B}_2 = \frac{\mu_0 I_2 d\vec{l} \times \vec{a}_{R_{21}}}{4\pi R_{21}^2}$$

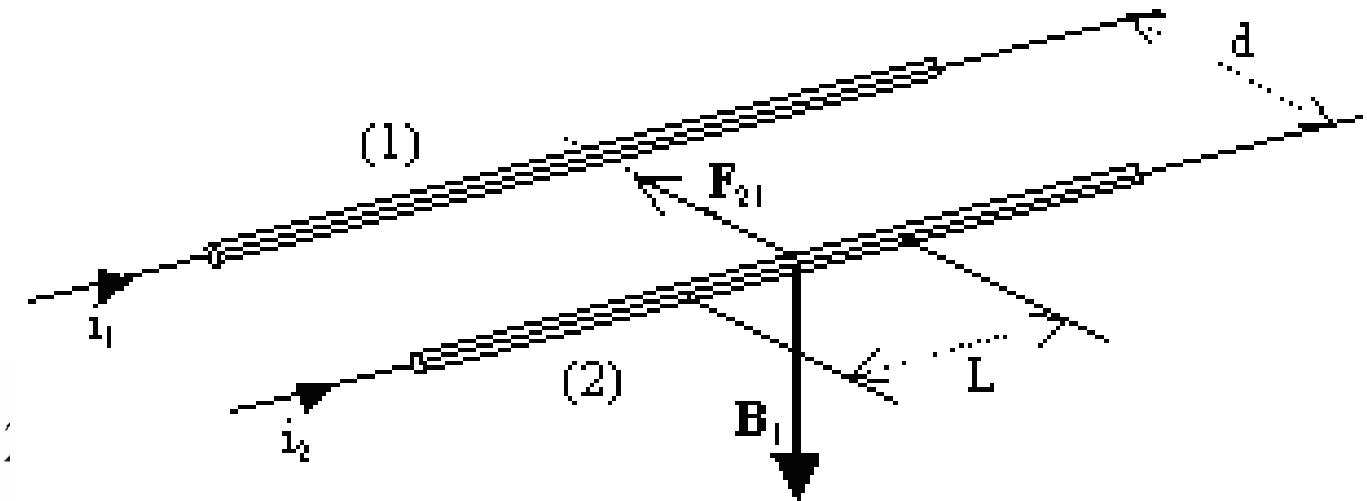
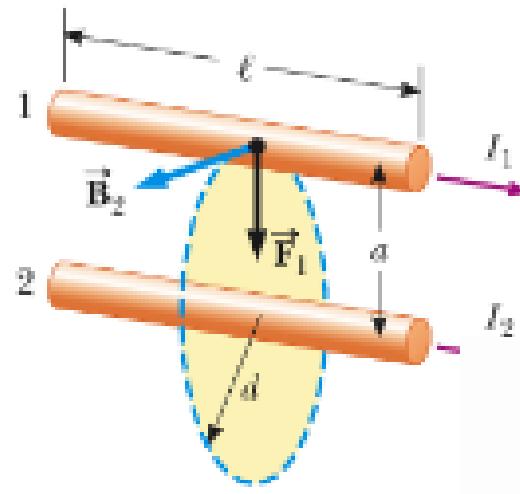
$$d(d\vec{F}_1) = \frac{\mu_0 I_1 d\vec{l}_1 \times (I_2 d\vec{l} \times \vec{a}_{R_{21}})}{4\pi R_{21}^2}$$

$$\vec{F}_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} \oint_{L_1} \oint_{L_2} \frac{d\vec{l}_1 \times (d\vec{l}_2 \times \vec{a}_{R_{21}})}{R_{21}^2}$$

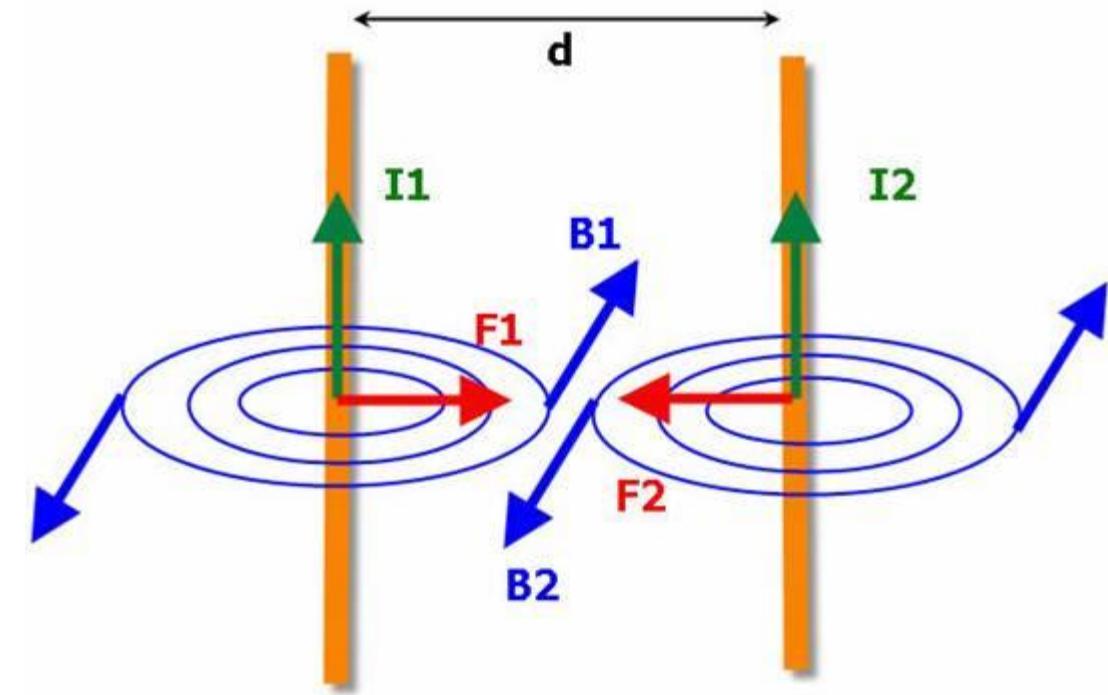
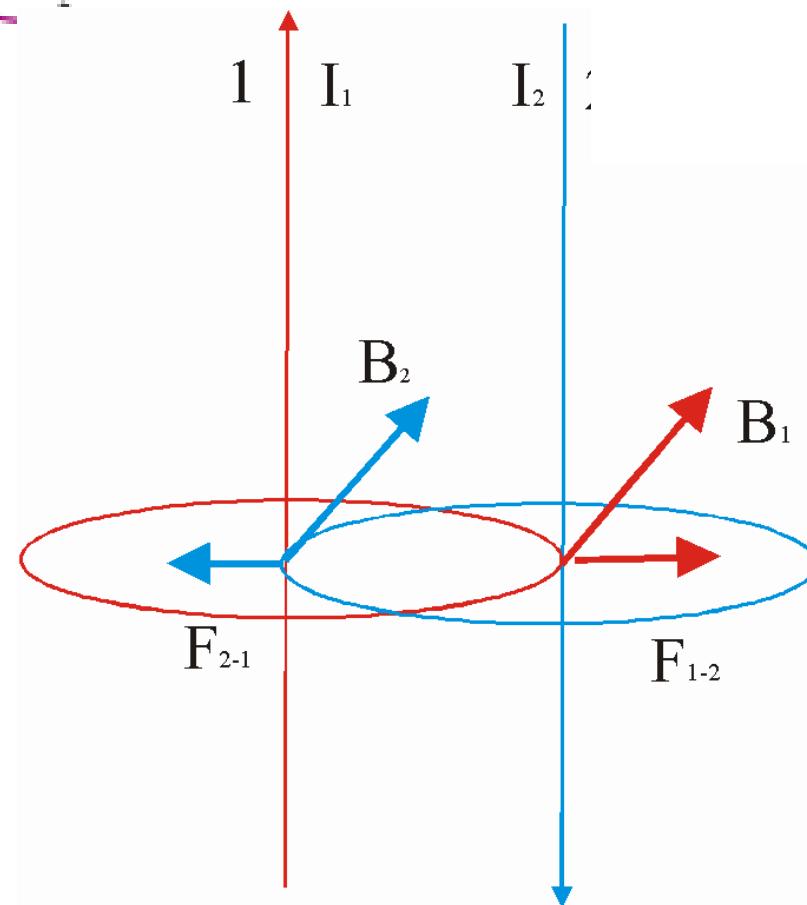
Aplicación

dos conductores filamentarios rectos, paralelos e infinitamente largos con separación d y que conducen corrientes iguales pero opuestas

LAS CORRIENTES PARALELAS SE ATRAEN
Y LAS ANTIPARALELAS SE REPELEN.



$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d}$$



ESTA FUERZA ENTRE ALAMBRES LARGOS Y PARALELOS
SIRVE PARA DEFINIR EL AMPERE

EN DOS DE ELLOS CON UNA SECCION CIRCULAR
IN SIGNIFICANTE SEPARADA EN EL VACIO POR
UNA DISTANCIA DE 1 m, EL AMPERE SE DEFINE
COMO LA CORRIENTE EN CADA UNO, QUE PRODUCIRIA
UNA FUERZA DE 2×10^{-7} NEWTONS POR METRO DE
LONGITUD

Espectrómetro de masas. La Fig. 33-25 muestra una disposición usada por Dempster para medir las masas de los iones. Un ion de masa M y carga $+q$ se produce, esencialmente en reposo, en la fuente S , que es una cámara en la que se produce una descarga gaseosa. El ion se acelera a través de una diferencia de potencial V y penetra en un campo magnético B . Dentro del campo, el ion se mueve en círculo e incide sobre una placa fotográfica colocada a una distancia x desde la rendija de entrada y se registra el impacto. Demostrar que la masa M queda expresada por

$$M = \frac{B^2 q}{8V} x^2.$$

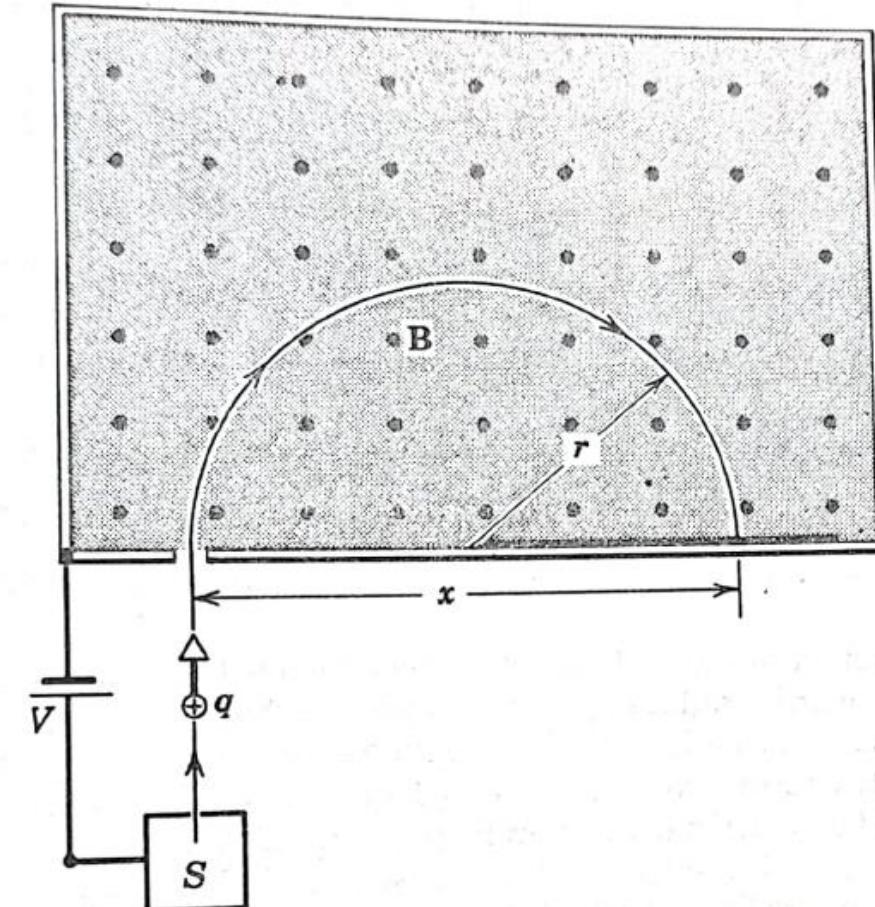


figura 33-25
Prob. 36.

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = q v B = m a = \frac{m v^2}{R}$$

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

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

$$w = k = \frac{1}{2} m v^2 = q v$$

$$\frac{1}{2} m \left(\frac{q B R}{m} \right)^2 = q v$$

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

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

$$\frac{q^2 B^2 x^2}{4m} = z m v$$

$$x^2 = \frac{8 m v}{q B^2}$$

$$m = \frac{q B^2 x^2}{8 v}$$

TORQUE MAGNÉTICO

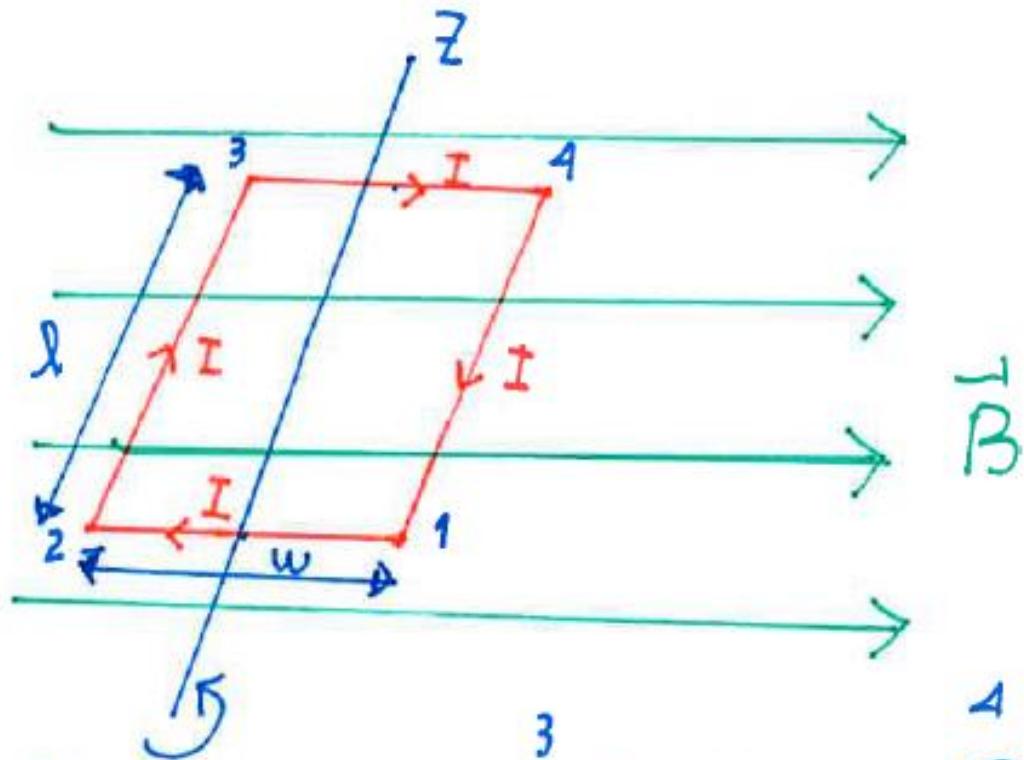
EL TORQUE, $\vec{\tau}$ ó T , (MOMENTO MECÁNICO DE UNA FUERZA) EN UNA ESPIRA ES EL PRODUCTO CRUZ DE LA FUERZA Y EL BRAZO DE MOMENTO

$$\vec{\tau} = T = \vec{r} \times \vec{F}$$

PERO

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

SEA



$$\vec{F} = I \int_1^2 d\vec{l} \times \vec{B} + I \int_2^3 d\vec{l} \times \vec{B} + I \int_3^4 d\vec{l} \times \vec{B} + I \int_4^1 d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\left. \begin{array}{c} \text{EN } 1 \text{ A } 2 \text{ Y } 3 \text{ A } 4 \\ d\vec{l} \text{ ES PARALELO A } \vec{B} \end{array} \right\} \int d\vec{l} \times \vec{B} = 0$$

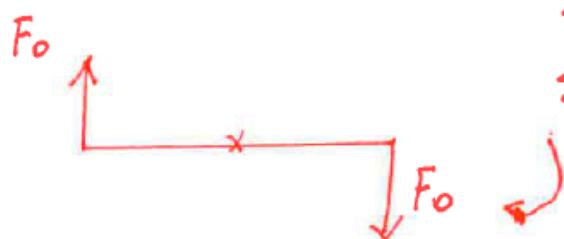
$$\vec{F} = I \int_2^3 d\vec{l} \times \vec{B} + I \int_4^1 d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \int_0^1 dz \vec{a}_z \times \vec{B} + I \int_1^0 dz \vec{a}_z \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = F_0 - F_0 = 0$$

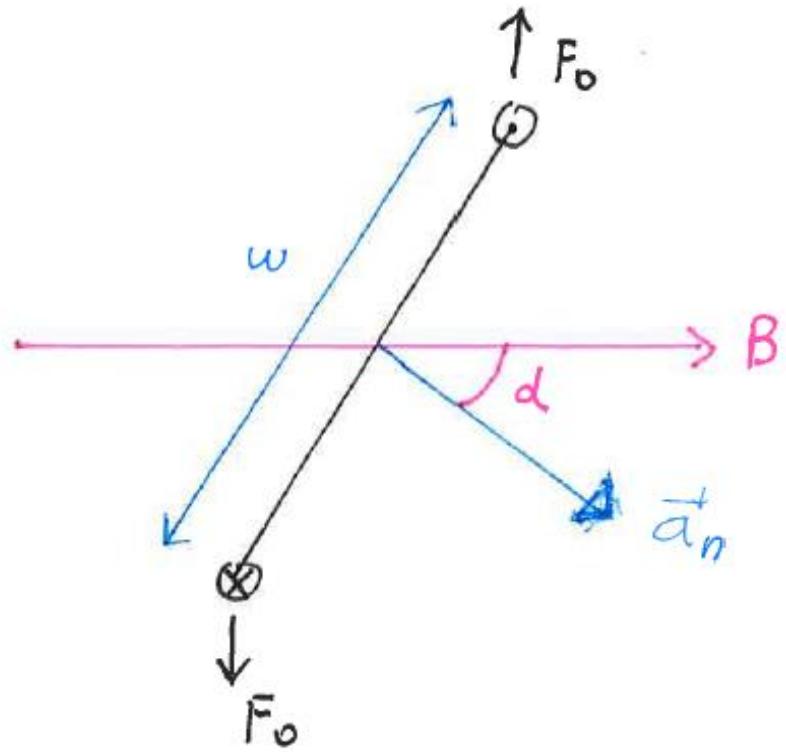
$|F_0| = ILB$
SIN EN LAZOS SI HAY TORQUE

RECORDAR QUE



$$\sum F = 0$$

$$\sum G \neq 0$$



$$G = T = |F_0| \omega \sin \theta_d$$

$$G = T = B I l \omega \sin \theta_d$$

$$G = B I A \sin \theta_d$$

SEA $M = m = IS \vec{a}_n$

$$G = T = \vec{m} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$M = m \quad \text{momento dipolar magnético} \\ (A/m^2)$$

Si hay N vueltas de alambre

$$\vec{I} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$m = m = N I S$$

$$S = A \quad (\text{Anel})$$

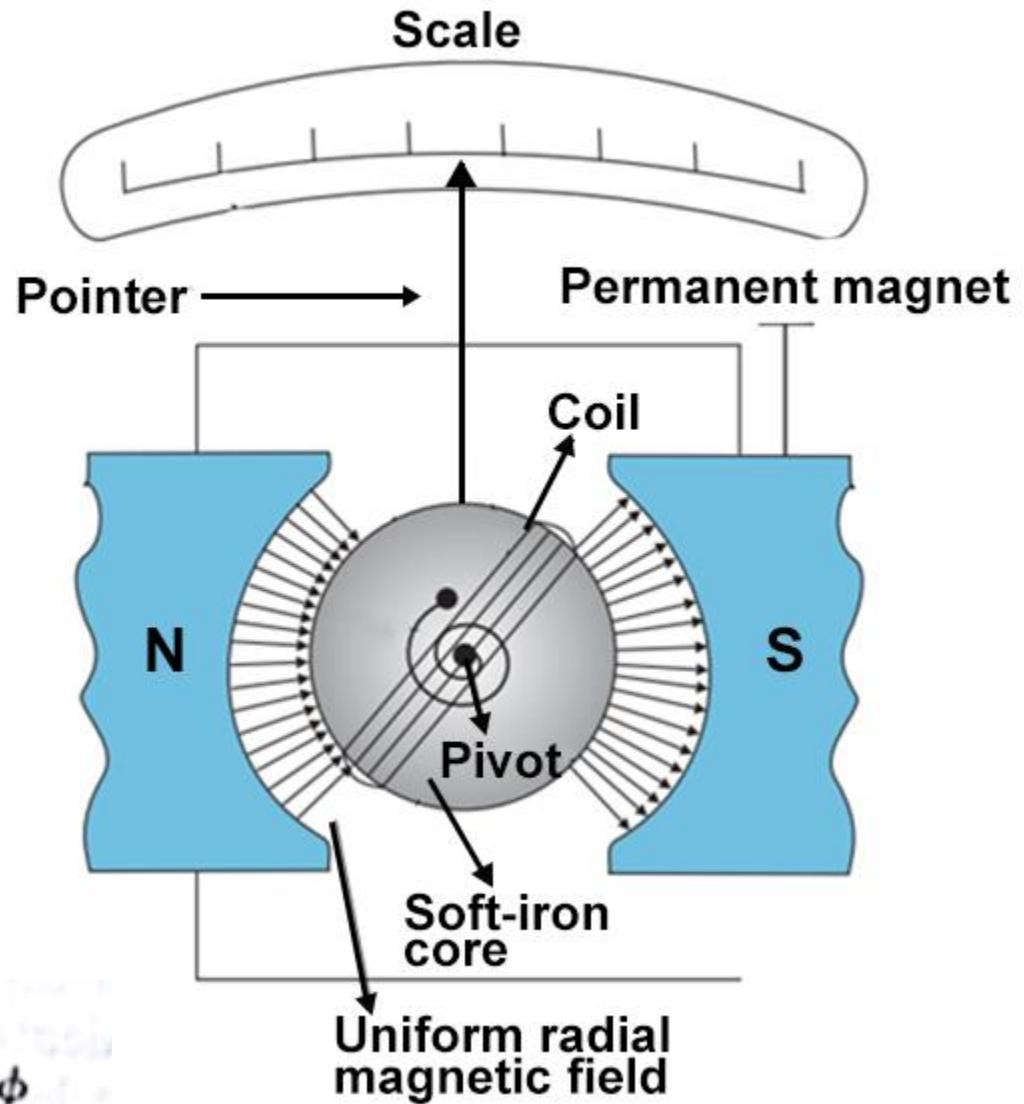
$$\vec{I} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$\vec{I} = N I A \hat{n} \times \vec{B}$$

Galvanómetro



$$\tau = NiAB \operatorname{sen} \theta = \kappa \phi$$



La Fig. 33-23 muestra una bobina rectangular, de alambre, con 20 vueltas, de 10×5.0 cm. Transporta una corriente de 0.10 A y está pivoteada por uno de sus lados. Cuál es la magnitud y la dirección de la torca que actúa en la espira si se monta de tal forma que su plano forme un ángulo de 30° respecto a la dirección de un campo magnético uniforme de 0.50 T?

Respuesta: 4.3×10^{-3} N · m. El vector de la torca es paralelo al lado mayor de la bobina y apunta hacia abajo.

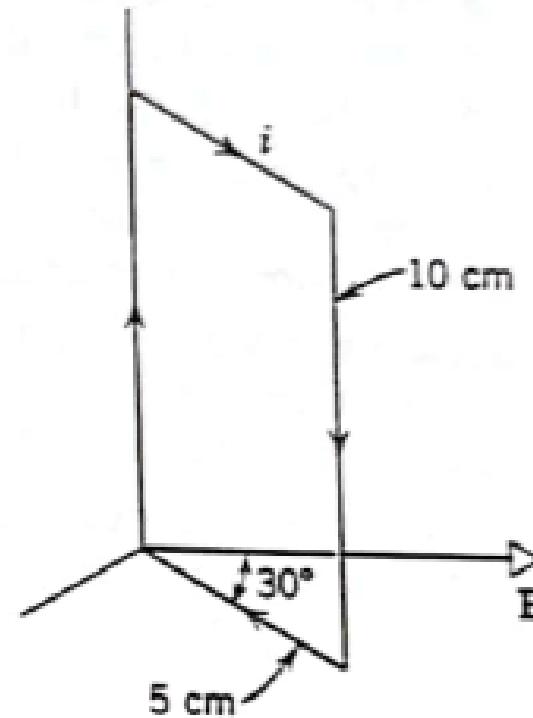
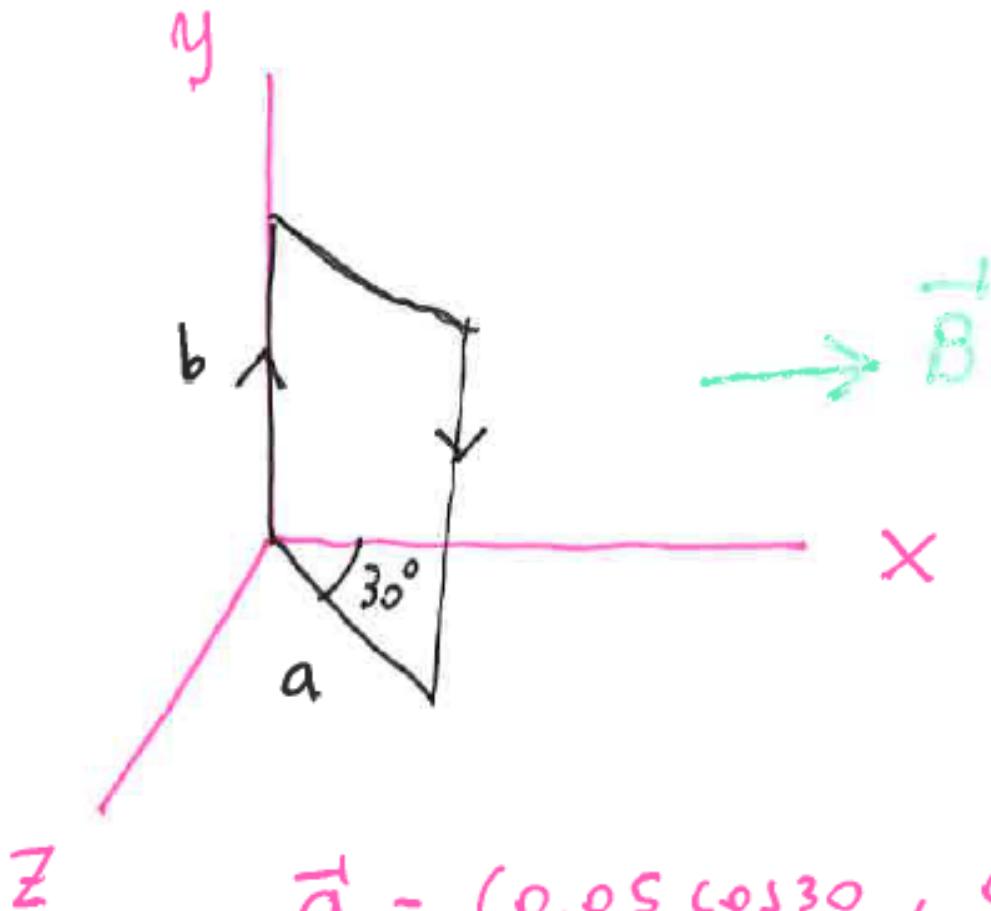


figura 33-23



$$\vec{a} = (0.05 \cos 30, 0, 0.05 \sin 30)$$

$$\vec{b} = (0, 0.10, 0)$$

$$\vec{A} = \vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ 0.05 \cos 30 & 0 & 0.05 \sin 30 \\ 0 & 0.10 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{A} = \vec{a} \times \vec{b} = - (0.10) (0.05) \sin 30 \vec{a}_x + (0.10) (0.05) \cos 30 \vec{a}_z$$

$$\vec{A} = (-0.0025, 0, 0.00433)$$

$$\vec{G} = \vec{\mu} \times \vec{B} = NiA\hat{n} \times \vec{B}$$

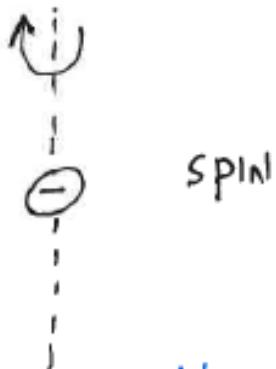
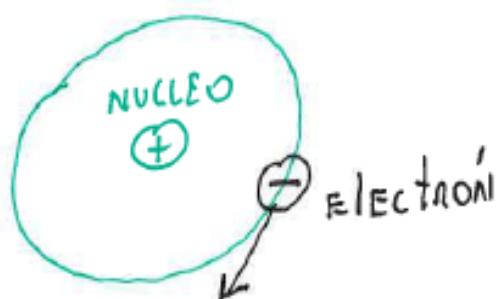
$$\vec{G} = \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ (20)(0.10)(-0.0025) & 0 & (20)(0.10)(0.00433) \\ 0.5 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{G} = (0.5)(20)(0.10)(0.00433) \vec{a}_y$$

$$\vec{G} = 0.00433 \text{ N·m} \vec{a}_y$$

MAGNETIZACIÓN EN MATERIALES

CADA ÁTOMO TIENE ELECTRÓNOS EN ÓRBITA
AL ROTAR TIENEN SU SPIN

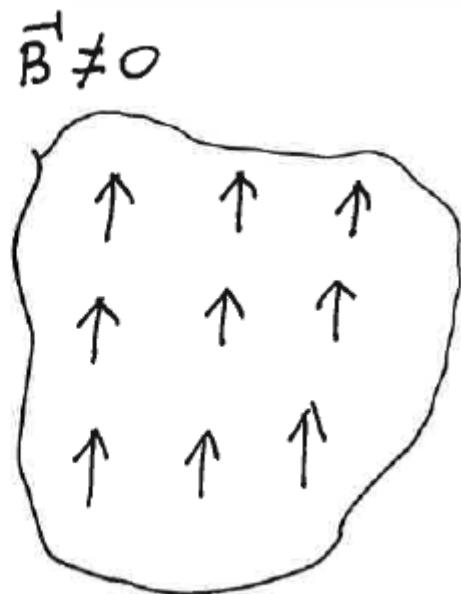
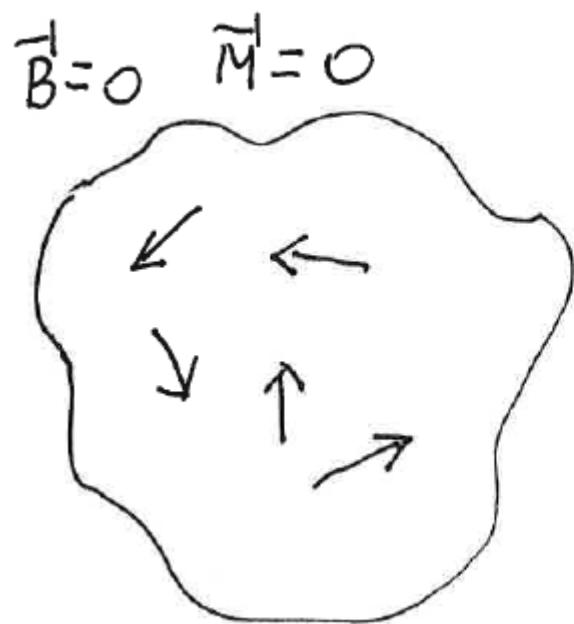


SE PRODUCEN CAMPOS MAGNÉTICOS
INTERNAOS

ESTOS SON SIMILARES A LOS QUE SE
PRODUCIRÍAN POR UNA CORRIENTE EN
UNA ESPRIMA

ESTA CORRIENTE

$$\vec{m} = I_b S \vec{a}_n$$



LA MAGNETIZACIÓN \vec{M} (EN AMPERES POR METROS) ES
 EL MOMENTO MAGNÉTICO DIPOLAR POR UNIDAD DE VOLUMEN

$$\vec{M} = \lim_{\Delta N_{ol} \rightarrow 0} \frac{\sum_{k=1}^N m_k}{\Delta N_{ol}}$$

$$\vec{J}_b = \nabla \times \vec{M}$$

DENSIDAD DE CORRIENTE
VOLÚMÉTRICA DE MAGNETIZACIÓN

$$\vec{k}_b = \vec{M} \times \vec{a}_n$$

DENSIDAD DE CORRIENTE
SUPERFICIAL LOCAL

EN EL ESPACIO LIBRE

$$\vec{M} = 0 \quad \nabla \times \vec{H} = \vec{J}_f$$

DENSIDAD VOL-
MÉTRICA DE
CORRIENTE LIBRE

SI $M \neq 0$

$$\nabla \times \left(\frac{\vec{B}}{M_0} \right) = \vec{J}_f + \vec{J}_b \doteq \vec{J}$$

$$\nabla \times \left(\frac{\vec{B}}{M_0} \right) = \nabla \times \vec{H} + \nabla \times \vec{M}$$

$$\vec{B} = M_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

VÁLIDO SI EL
MATERIAL ES LI-
NEAL O NO LINEAL

PARA UN MATERIAL LINEAL

$$\vec{M} \propto \vec{H}$$

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

↑

SUSCEPTIBILIDAD
MAGNÉTICA

(QUE TAN SENSIBLE ES EL MATERIAL
AL CAMPO MAGNÉTICO)

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H})$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = M \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu_0 M_r \vec{H}$$

↑ PERMEABILIDAD
del MATERIAL
(PERMEABILIDAD
MAGNÉTICA)

$$M_r = 1 + \chi_m = \frac{M}{\mu_0}$$

CLASIFICACIÓN de los MATERIALES MAGNÉTICOS

NO MAGNÉTICO $\chi_m = 0$ ($\mu_r = 1$)

ESPACIO LIBRE, AIRE, MATERIALES $\chi_m = 0$ ($\mu_r = 1$)
NO MAGNÉTICOS

MAGNÉTICOS
DIAMAGNÉTICOS
PARAMAGNÉTICOS
FERROMAGNÉTICOS

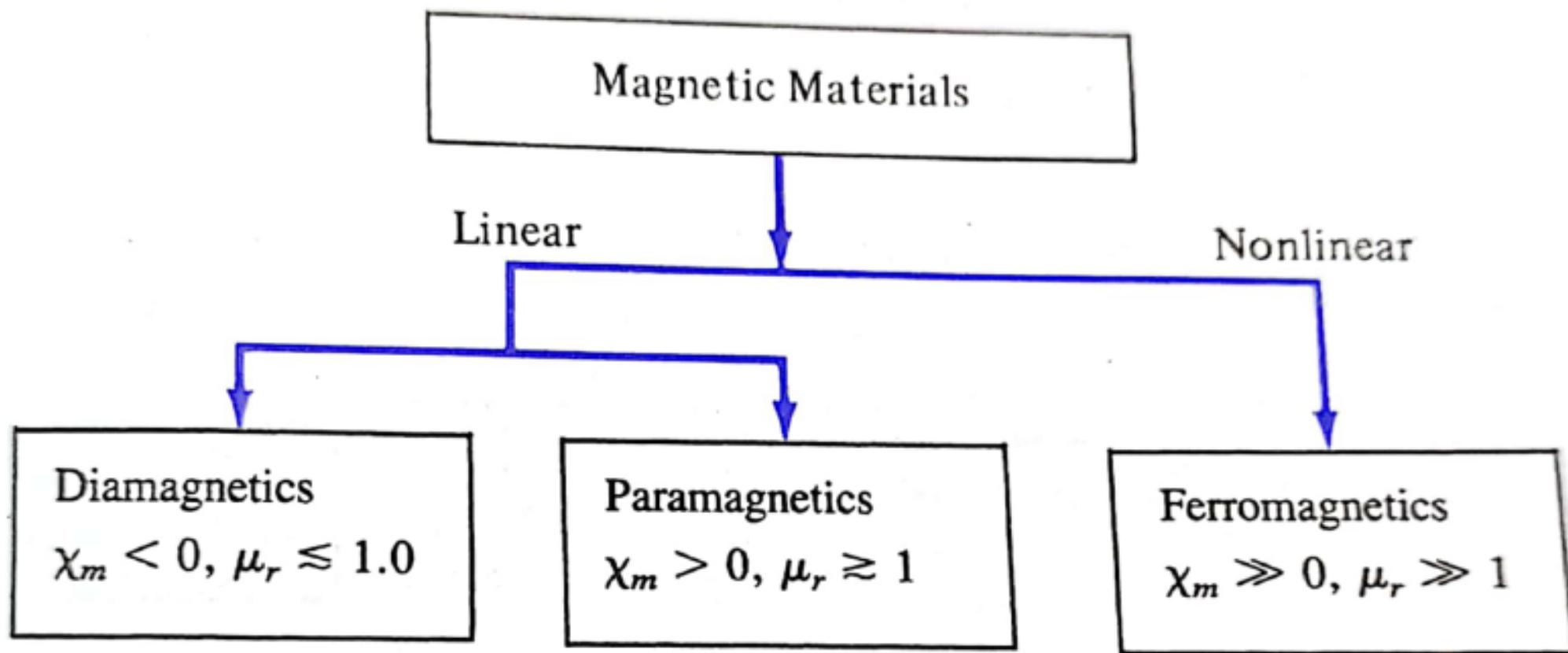


Figure 8.13 Classification of magnetic materials.

TABLE B.3 Relative
Permeability (μ_r) of
Some Materials*

Material	μ_r
<i>Diamagnetic</i>	
Bismuth	0.999833
Mercury	0.999968
Silver	0.9999736
Lead	0.9999831
Copper	0.9999906
Water	0.9999912
Hydrogen (s.t.p.)	= 1.0
<i>Paramagnetic</i>	
Oxygen (s.t.p.)	0.999998
Air	1.00000037
Aluminum	1.000021
Tungsten	1.00008
Platinum	1.0003
Manganese	1.001
<i>Ferromagnetic</i>	
Cobalt	250
Nickel	600
Soft iron	5000
Silicon-iron	7000

*The values given here are only typical;
they vary from one published source to
another due to different varieties of
most materials.

DIAMAGNETISMO

bismuto, plomo, silicon, diamante,
cloruro de sodio

$$\chi_m < 0 \quad M_r \leq 1.0$$

CAMPO MAGNÉTICO SE CANCELA

PARAMAGNETISMO

AIRE, platino, tungsteno, potasio

$$\chi_m > 0 \quad M_r \geq 1.0$$

CAMPO MAGNÉTICO NO SE
CANCELA

FERROMAGNETISMO

OCURRE EN ÁTOMOS, QUE TIENEN UN MOMENTO MAGNÉTICO PERMANENTE GRANDE

$$\chi_m \gg 0 \quad M_r \gg 1$$

hierro, cobalto, níquel

- SE PUEDEN MAGNETIZAR FUERTEMENTE POR UN CAMPO MAGNÉTICO
- RETIENEN LA MAGNETIZACIÓN AL REMOVER EL CAMPO MAGNÉTICO

- A CIERTA TEMPERATURA (LLAMADA TEMPERATURA DE CURIE) CAMBIAN DE TENER PROPIEDADES FERROMAGNÉTICAS A SER MATERIALES PARAMAGNÉTICOS (HIENNO TEMPERATURA DE CURIE ES 770°C)
- SON NO LINEALES PUES M_r DEPENDE DE B .

SE UTILIZAN PARA BLINDAJES PARA COMPONENTES QUE SON SENSIBLES A CAMPOS MAGNÉTICOS

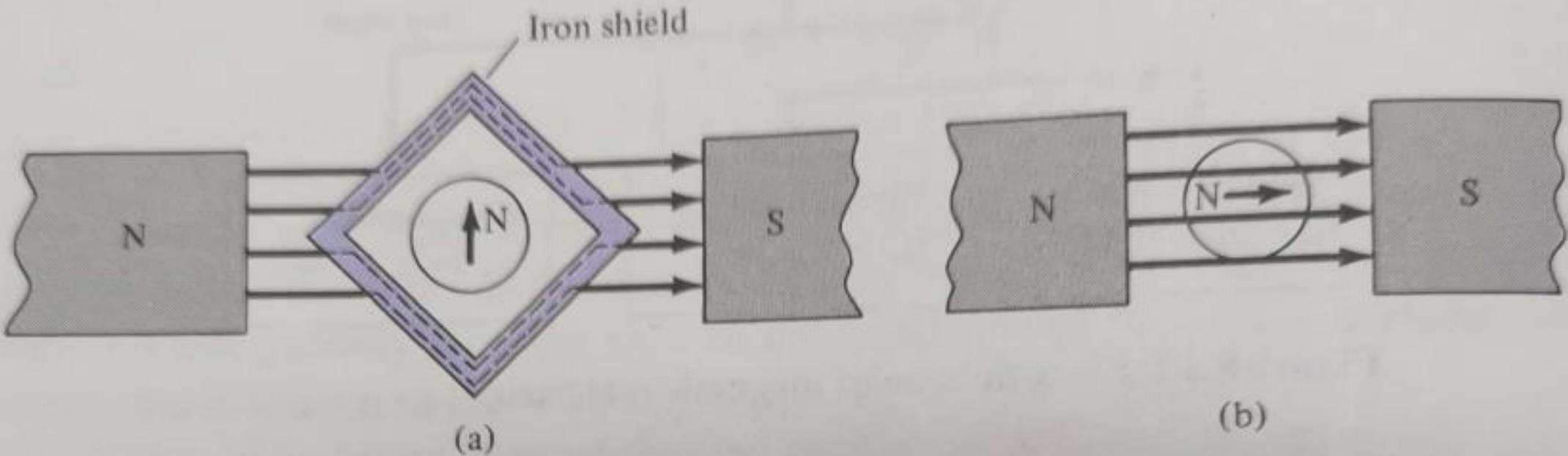


Figure 8.14 Magnetic screening: (a) iron shield protecting a small compass, (b) compass gives erroneous reading without the shield.

UNA CURVA TÍPICA B-H MUESTRA EL
COMPORTAMIENTO DEL MISMO

de O a P LLEGA A H_{MAX}
(CURVA INICIAL DE MAGNETIZACIÓN)

de P a Q DECENDEMOS \vec{B}
(CURVA DE HISTERESIS)
NO REGRESA POR LA MISMA TRAYECTORIA

HALLAMOS B_r y $-H_c$
 \downarrow \downarrow INTENSIDAD DE
DENSIDAD CAMPO COERCITIVO
DE FLUJO (H_c PEQUEÑA \rightarrow ,
PERMANENTE MATERIALS MAGNÉTICOS
duros)

de Q a P pasamos por $-B_r$ y H_c

CUNVA DE HISTERESIS DEPENDE DEL MATERIAL

EL ÁREA DE LA ENERGÍA DE PENDICIA POR UNIDAD
DE VOLUMEN DURANTE UN CICLO DE MAGNETIZACIÓN.

LA PENDICIA ES POR CALOR

PARA MINIMIZAR PENDICIAS \rightarrow AREA ESTRECHA

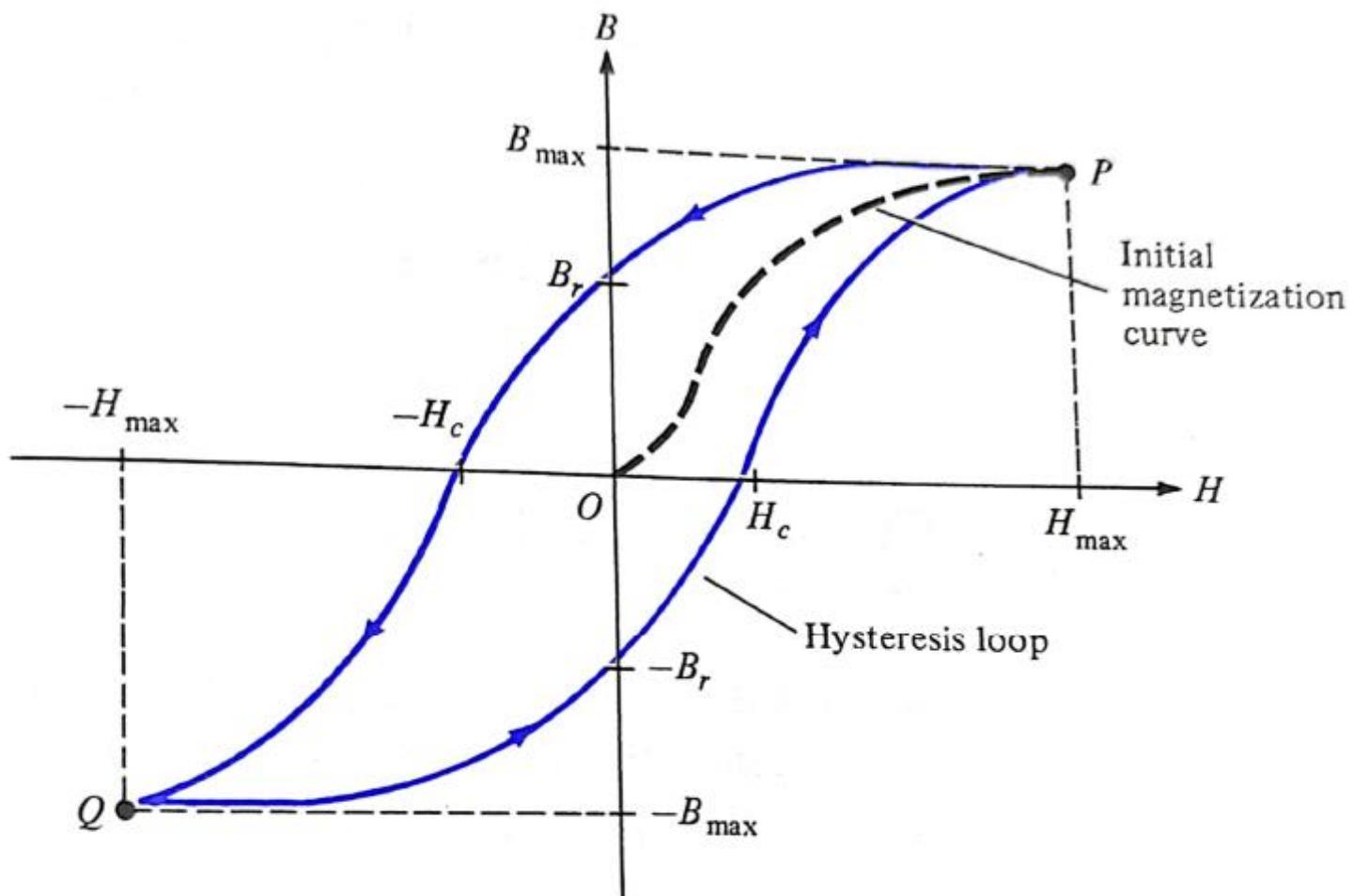


Figure 8.15 Typical magnetization (B - H) curve.