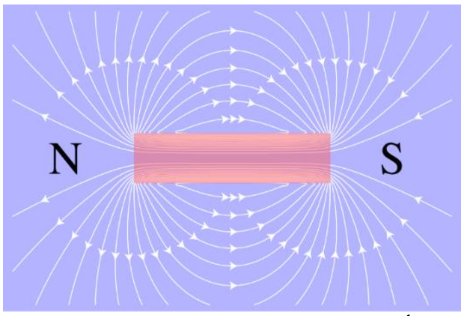


LÍNEAS IMAGINARIAS DE CAMPO MAGNÉTICO DE UN IMÁN PERMANENTE

OBSERVACIÓN REAL EN 3D

PARA QUE SE PRESENTE EL FENÓMENO MAGNÉTICO, ES INDISPENSABLE QUE LAS CARGAS ESTÉN EN MOVIMIENTO: electrones o protones a cierta velocidad, cargas en movimiento formando corrientes eléctricas en alambres conductores, inclusive en los imanes, la cargas libres se están moviendo formando microcorrientes. Reflexione ¿cuál es la fuente del campo magnético terrestre?

SI LAS CARGAS ESTÁN ESTÁTICAS SÓLO TENEMOS FENÓMENO ELÉCTRICO

9.2 Fuerza magnética sobre partículas puntuales moviéndose en regiones con campo magnéticos.

Ejemplo resuelto

a) Un electrón en un cinescopio de una televisión se mueve hacia el frente del cinescopio con una rapidez de 8.0×10^6 m/s a lo largo del eje x. Rodeando el cuello del tubo hay bobinas de alambre que crean un campo magnético de 0.025 T de magnitud, dirigidas en un ángulo de 60° con el eje x y se encuentran en el plano x-y.

Determine

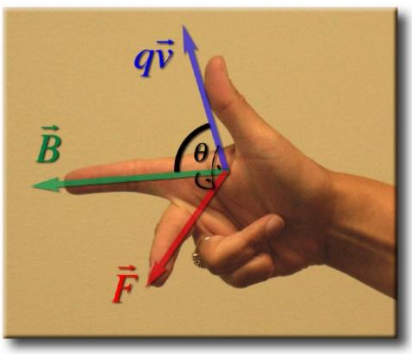
i) la magnitud de la fuerza magnética sobre electrón,

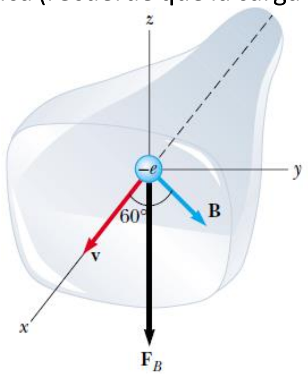
ii) el vector fuerza magnética sobre el electrón.

$$\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{B}} = q\, \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \qquad \text{vector}$$

$$|\overrightarrow{\mathrm{F_B}}| = q\, |\vec{v}|\, |\vec{B}|\, sen\, \theta \qquad \text{tamaño del vector}$$

Regla de la mano derecha para conocer la dirección de la fuerza magnética (recuerde que la carga q es negativa)





$$\begin{aligned} F_B &= |q| vB \sin\theta \\ &= (1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})(8.0 \times 10^{6}\ \mathrm{m/s})(0.025\ \mathrm{T})(\sin 60°) \\ &= \boxed{2.8 \times 10^{-14}\ \mathrm{N}} \end{aligned}$$

Para conocer el vector campo magnético, se hará uso del producto cruz o producto vectorial.

Primero veamos los vectores involucrados:

$$\mathbf{v} = (8.0 \times 10^6\, \hat{\mathbf{i}})\ \mathrm{m/s}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{B} &= (0.025 \cos 60^\circ\, \hat{\mathbf{i}} + 0.025 \sin 60^\circ\, \hat{\mathbf{j}})\mathrm{T} \\ &= (0.013\, \hat{\mathbf{i}} + 0.022\, \hat{\mathbf{j}})\mathrm{T}\end{aligned}$$

Empleando el producto cruz o vectorial:

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_B &= q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \\ &= (-e)[(8.0 \times 10^6\, \hat{\mathbf{i}})\ \mathrm{m/s}] \times [(0.013\, \hat{\mathbf{i}} + 0.022\, \hat{\mathbf{j}})\mathrm{T}] \\ &= (-e)[(8.0 \times 10^6\, \hat{\mathbf{i}})\ \mathrm{m/s}] \times [(0.013\, \hat{\mathbf{i}})\mathrm{T}] \\ &\quad + (-e)[(8.0 \times 10^6\, \hat{\mathbf{i}})\ \mathrm{m/s}] \times [(0.022\, \hat{\mathbf{j}})\mathrm{T}] \\ &= (-e)(8.0 \times 10^6\ \mathrm{m/s})(0.013\ \mathrm{T})(\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{i}}) \\ &\quad + (-e)(8.0 \times 10^6\ \mathrm{m/s})(0.022\ \mathrm{T})(\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{j}}) \\ &= (-1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})(8.0 \times 10^6\ \mathrm{m/s})(0.022\ \mathrm{T})\, \hat{\mathbf{k}}\end{aligned}$$

Recuerde el producto cruz de vectores unitarios

$$\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{i}} = 0$$

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

Con lo que el vector resultante es:

$$\mathbf{F}_B = \boxed{(-2.8 \times 10^{-14}\, \mathrm{N})\hat{\mathbf{k}}}$$

Corrobore la dirección del vector con la Regla de mano derecha, recordando que "q" es un escalar negativo.

En ocasiones, el movimiento de la partícula con carga es formando círculos, como en el caso del ciclotrón (ver video en el AMYD), debido a un campo magnético externo.

Si recuerda, hay una cantidad física llamada ímpetu = cantidad de movimiento = momento, que se obtiene al multiplicar la masa y la velocidad . Vea el siguiente ejercicio resuelto:

EJERCICIO RESUELTO: Se lanza un electrón con ímpetu $\vec{p} = 8 \text{ x } 10^{-17}\,\hat{\imath} - 6 \text{ x } 10^{-17}\,\hat{\jmath}\left[\frac{\text{kg m}}{\text{s}}\right]$ en una región de campo magnético $\vec{B} = 8 \text{ x } 10^{-9}\,\hat{\imath} + 6 \text{ x } 10^{-9}\,\hat{\jmath}\,[T]$. **Determine en metro, el radio de curvatura de la trayectoria que sigue dicho electrón.**

$$|\vec{F}_{centrípeta}| = m\frac{v^2}{r}$$

$$|\vec{F}_{magnética}| = |q||v||B|sen\ \theta$$

Se empleará la siguiente ecuación, que se detalla abajo la forma en que se obtiene

$$r = \frac{mv}{|q|\ B}$$ radio de giro de la partícula con carga

$$F_c = F_B$$

$$m\frac{v^2}{r} = |q|\,\cancel{v}\,B$$

$$r = \frac{m\vec{v}}{|q|\,\vec{B}} = \frac{|\vec{p}\,|}{|q|\,B}$$

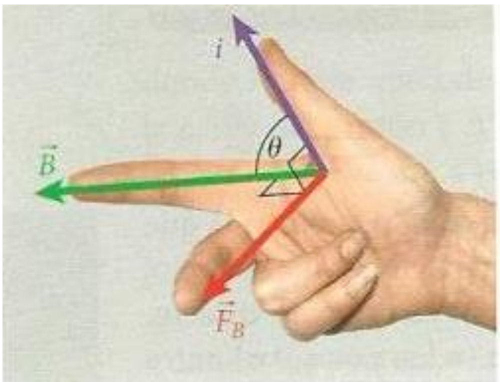
$$r = \frac{(8\times10^{-17}\,\hat{\imath} - 6\times10^{-17}\,\hat{\jmath})\,\frac{m\,kg}{s}}{(1.6\times10^{-19}\,C)[8\times10^{-9}\,\hat{\imath} + 6\times10^{-9}\,\hat{\jmath}]\,T} = \frac{(8\times10^{-17}\,\hat{\imath} - 6\times10^{-17}\,\hat{\jmath})\,\frac{kg\,m}{s}}{(1.28\times10^{-27} + 9.6\times10^{-28})\,CT}$$

$$r = 6.25X10^{\,10}m$$

9.3 FUERZA MAGNÉTICA SOBRE CORRIENTES ELÉCTRICAS

$$\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{B}} = \mathrm{I}\,\vec{\mathbf{L}}\,\mathbf{x}\,\vec{\mathbf{B}} \qquad \text{vector}$$

$$\left|\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{B}}\right| = \mathrm{I}\,\left|\vec{\mathrm{L}}\right|\,\left|\vec{\mathrm{B}}\right|\,sen\,\theta \qquad \text{tamaño del vector}$$



Regla de la mano derecho para conocer la dirección de la fuerza magnética que experimenta un alambre con corriente, con motivo de la presencia del campo magnético producido por otra fuente (que puede ser otro alambre con corriente).

Vea el siguiente **EJEMPLO RESUELTO**

NOTE: La direccion de la fuerza es perpendicular tanto a la dirección de la corriente como a la dirección del campo $\vec{F} \perp \vec{B}$ $\quad \vec{F} \perp i$

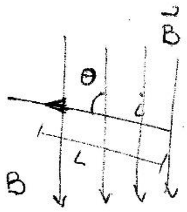
$F = i\,L\,B\,sen\,\Theta$

$$\boxed{\vec{F} = \underbrace{i\,L}_{\text{corriente en una longitud del alambre.}} \times \vec{B}}$$

Note que es un replanteamiento de $\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}}$ para el caso de cargas en movimiento que fluyen en un alambre.

Ejemplo: Un segmento aislado de alambre de longitud $L = 4.50$ m lleva una corriente de magnitud $i = 35.0$ A, con un ángulo de $\Theta = 50.3°$ respecto al campo magnético constante con magnitud $B = 6.70 \times 10^{-2}$ T.

I) ¿cuál es la magnitud de la fuerza magnetica sobre el alambre?



a) 2.66 N
b) 3.86 N
c) 5.60 N
d) $\boxed{8.12\text{ N}}$
e) 11.8 N

II) ¿En qué dirección apunta la fuerza?

Hacia afuera de la página

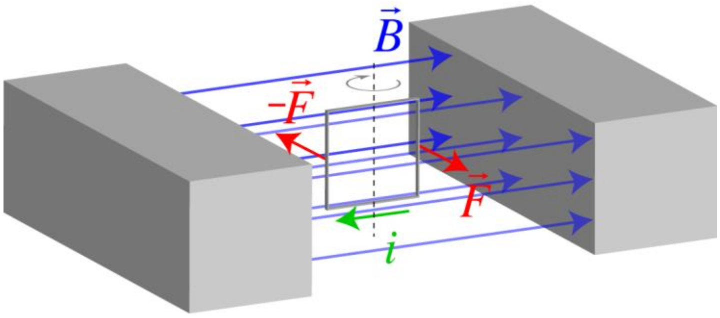
(use regla mano derecha)

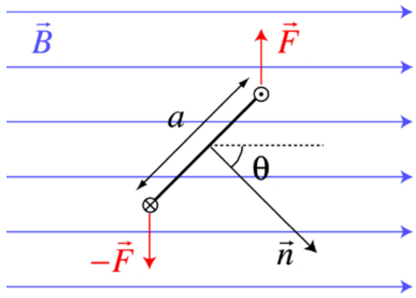
$$F = i\,L\,B\,sen\,\Theta$$
$$= \left(35\,\frac{C}{s}\right)(4.50\text{m})\left(\frac{6.70 \times 10^{-2}\text{ N}}{C\,\frac{m}{s}}\right) sen\,50.3$$

$$\boxed{F = 8.12\text{ N}}$$

9.4 TORCA MAGNÉTICA SOBRE UNA ESPIRA DE CORRIENTE. MOMENTO DIPOLAR MAGNÉTICO

Se observa un bucle, malla o espira que conduce corriente eléctrica, inmersa en un campo magnético uniforme, cuya fuente son dos imanes potentes. Aunque hay equilibrio de fuerzas magnéticas, por simetría, como se ve en la ilustración de la derecha, como dichas fuerzas no están aplicadas sobre la misma línea de acción, se produce un **momento de torsión, torca o giro** sobre la espira.





Para estudiar este movimiento ampliamente utilizado en motores eléctricos y generadores eléctricos, se define un **vector momento dipolar μ espira**, cuyo tamaño es:

$$| \mu_{\text{espira}} | = N\ I\ A$$

donde

μ_{espira} = momento dipolo magnético o momento magnético;
N: número de vueltas de alambre en la espira;
I: corriente en ampere (C/s)
A: área del bucle o espira

Entonces la torca se obtiene de un producto cruz o producto vectorial entre dicho vector dipolo magnético y el campo magnético externo al que está sometida la espira

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu}_{\text{espira}} \times \mathbf{B} \qquad \text{vector}$$

$$|\boldsymbol{\tau}| = |\boldsymbol{\mu}_{\text{espira}}|\ |\mathbf{B}|\ \text{sen}\ \theta \qquad \text{tamaño del vector}$$

EJERCICIO RESUELTO Una bobina consta de un bucle circular de radio r = 5.13 cm y tiene 47 vueltas. Una corriente I = 1.27 A fluye por la bobina, que está dentro de un campo magnético homogéneo de intensidad 0.911 T.

¿Cuál es el momento de torsión máximo sobre la bobina debido al campo magnético?

Momento de torsión o torque máximo: θ = 90°, sen 90° = 1

$$\tau = N\ I\ A\ sen\ \theta$$

$$\tau = 47\ \left(1.27\frac{C}{s}\right)(\pi\ )(5.13x10(5.13x10^{-2}\ cm)^2\ \left(0.911\frac{Ns}{Cm}\right) sen\ 90° = 0.450\ Nm$$

Ecuación de Lorentz

Es una ecuación útil para conocer la fuerza debido a los fenómenos magnético y eléctrico simultáneos:

$$\vec{F} = \mathrm{q}\,\vec{\mathrm{E}} + \mathrm{q}\,\vec{\mathrm{v}}\,\mathrm{x}\,\vec{\mathrm{B}}$$

Veamos ahora una situación donde es posible aplicar dicha ecuación.

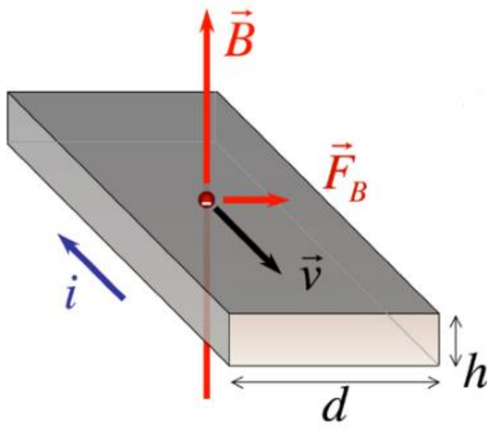
9.5. EFECTO HALL

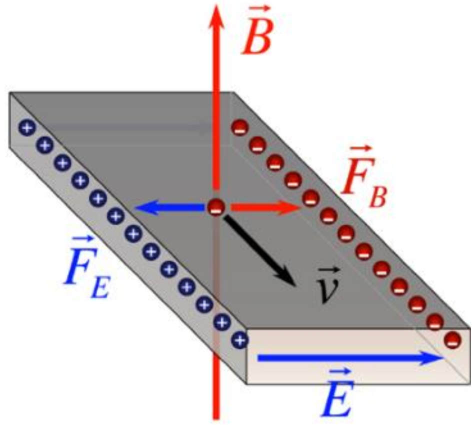
En 1879, Edwin Herbert Hall, un brillante estudiante de posgrado, realizó un experimento muy bien planeado que permitió la medición directa del signo y el número de portadores de carga en los materiales conductores. En ese tiempo se desconocía qué cargas se movían en los sólidos conductores ¿las positivas? ¿las negativas? ¿ambas?

Para ello diseñó un dispositivo donde combinó la presencia de los campos magnético y eléctrico.
Vea las siguientes bonitas ilustraciones que le permitirán tener una idea de dicho dispositivo.

Se tiene una cinta (gris) de un material conductor, de ancho *d* y espesor *h*. **Un campo magnético B externo tiene dirección perpendicular a la cinta**, que por cierto conduce una corriente *i*, que como recordará es opuesta a la velocidad de arrastre de los electrones ***v***. Debido a la fuerza $\mathbf{F_B}$ que ejerce el campo magnético externo **B**, los electrones se desvían hacia la derecha, dejando el lado izquierdo con un déficit de electrones y por lo tanto cargado positivamente. Esta separación de cargas genera un campo eléctrico **E**, motivo por el cual se establece una fuerza eléctrica $\mathbf{F_E}$ opuesta al campo **E**, que es la fuerza que experimenta un electrón.

¿Qué le parece este bonito experimento? Interesante ¿no?





Se dice que se presenta el efecto Hall cuando las fuerza magnética y eléctrica se igualan, entonces

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\vec{F}_{eléctrica} = \vec{F}_{magnética}$$

$$\mathrm{q}\,\vec{\mathrm{E}} = \mathrm{q}\,\vec{\mathrm{v}}\,\mathrm{x}\,\vec{\mathrm{B}}$$

Se hace notar que mientras la fuerza eléctrica y el campo eléctrico son vectores paralelos, la fuerza magnética y el campo magnético son perpendiculares. Ésta es una característica de la fuerza magnética: el ser perpendicular al campo magnético.

EJERCICIOS DE LA SERIE 2

(para entregar en fecha posterior)

Ejercicio 4. Un haz de protones ($q = 1.6x10^{-19}$ C) se desplaza a 3.0×10^{5} m/s a través de un campo magnético uniforme con magnitud 2.0 T, dirigido a lo largo del eje *z* positivo. La velocidad de cada protón yace en el plano *x-z* formando un ángulo de 30° respecto al eje *z*.

Halle el vector fuerza magnética que se ejerce sobre el protón.

- No olvide hacer su diagrama de la situación, incluyendo ejes coordenados y vectores.
- Resuélvalo empleando el producto cruz o vectorial.
- Corrobore la dirección del vector empleando la Regla de la Mano derecha

$$R = -4.8\ \mathrm{X}10^{-14}\ \mathrm{N}\ \hat{j}$$

Ejercicio 5. Un segmento recto y horizontal de alambre de cobre transporta una corriente I = 28 A.
¿Qué magnitud y dirección debe tener el vector campo magnético para hacer "flotar" el alambre, es decir, para equilibrar su peso?
La densidad lineal de masa del alambre es de 46.6 g/m.

- No olvide hacer su diagrama de vectores
- TIP: Use su balance de leyes de Newton

$$\overrightarrow{F_B} = \mathrm{I}\,\vec{L} \times \vec{B}$$

R = 16 militesla = 16 mT

Ejercicio 6. Una espira cuya área es 5.40 cm x 8.50 cm, consta de 25 vueltas de alambre de cobre y conduce una corriente de 15.0 mA. Se aplica un campo magnético uniforme de 0.350 T, de modo que μ_{espira} es vector perpendicular a dicho campo **B**.

a) Calcule la magnitud del momento dipolar magnético μ_{espira}

b) ¿Cuál es la magnitud de torque τ que actúa sobre la espira?

Ra = $1.72\ \mathrm{X}10^{-3}\ \mathrm{Am}^2$

Rb = $6.02\ \mathrm{X}10^{-4}$ Nm