

Fuerzas Magnéticas

Fuerza de Lorentz

Como ya se mencionó en la tabla comparativa: **Los campos magnéticos solo pueden actuar sobre partículas cargadas en movimiento o corrientes eléctricas.** La fuerza con la que se manifiesta esta interacción entre las partículas cargadas en **movimiento** y el campo magnético donde tiene lugar el movimiento de la partícula, se le denomina **fuerza de Lorentz**.

Así por ejemplo, si tenemos un protón (carga positiva) que se mueve con cierta velocidad $\vec{v}$, a través de un campo magnético (supongamos uniforme) $\vec{B}$, experimentará una fuerza de Lorentz $\vec{F}_L$ aplicada en él cuya intensidad estará dada por la ecuación:

$$F_L = qvB \sin(\alpha)$$

siendo q la carga de la partícula en cuestión (en este caso el protón), y α el ángulo formado entre las direcciones de los vectores $\vec{v}$ y $\vec{B}$.

Notar que $B \sin(\alpha) = B_{\perp}$, es la componente **perpendicular** del campo magnético respecto a la velocidad.

De la ecuación anterior se deduce que:

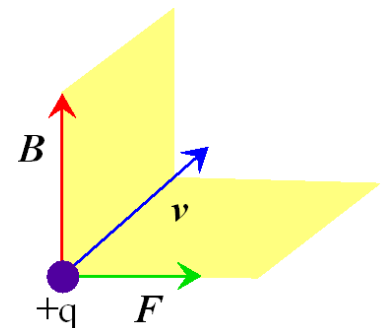
- si $\alpha = 0^\circ$ o $\alpha = 180^\circ$, es decir, la partícula se mueve a lo largo de una de las líneas del campo magnético, a favor ($\alpha = 0^\circ$) o en contra ($\alpha = 180^\circ$) de ésta, en tal caso la fuerza de Lorentz será nula, pues la función seno para ambos valores es nulo.
- si $\alpha = 90^\circ$ o $\alpha = 270^\circ$, en tal caso la fuerza de Lorentz alcanzará su máxima intensidad, ya que la función seno en valor absoluto es igual a la unidad.

Para determinar la dirección y el sentido de la fuerza de Lorentz, en caso de que la partícula sea portadora de **carga positiva**, disponemos de la regla de la **mano izquierda**, la que establece que: Si se hace coincidir la dirección y el sentido del campo magnético con el dedo índice, y la dirección y el sentido de la velocidad con el dedo medio, entonces el pulgar en abducción señala la dirección y el sentido de la fuerza de Lorentz.

Es importante siempre tener presente que, en caso de que la carga de la partícula sea **negativa**, el sentido de la fuerza de Lorentz será opuesto al señalado por el pulgar.



En la figura de la derecha se muestra una partícula con carga **positiva** que se mueve entrante a la hoja, y el campo magnético $\vec{B}$ está dirigido verticalmente hacia arriba. De acuerdo a la regla de la mano izquierda la fuerza de Lorentz estará dirigida hacia la derecha.



Para el caso particular en que el ángulo entre $\vec{v}$ y $\vec{B}$ sea igual a 90° , la trayectoria seguida por la partícula será un circunferencia, pues la fuerza de Lorentz **hará la función de fuerza centrípeta**, es decir:

$$F_L = F_c$$

o sea:

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

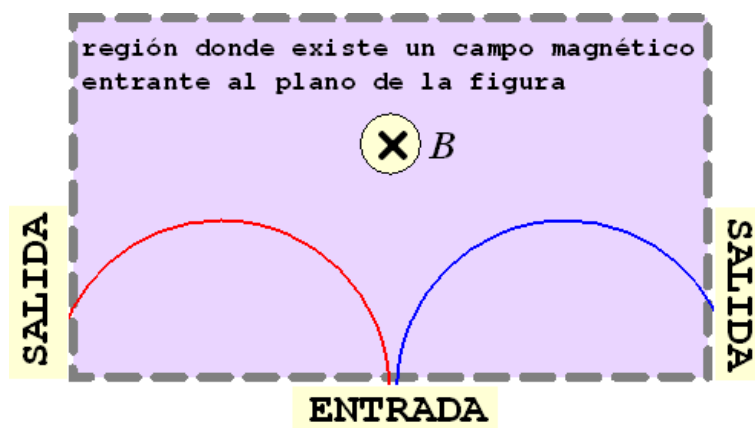
de donde se deduce que:

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

Algunas cuestiones con la fuerza de Lorentz _____

siendo R el radio de la circunferencia y m la masa de la partícula.

Cuestión 1. El **positrón** es la antimateria del electrón. Ambas partículas tienen la misma masa $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg, e igual valor de carga eléctrica pero con **signos opuestos**. Si estas partículas se disparan, primero una y luego la otra, de tal manera de que se las hace pasar por una región donde se ha instalado un campo magnético uniforme $B = 56\,804$ nT, tal como se muestra en la siguiente figura, ambas partículas describirán arcos de circunferencias.

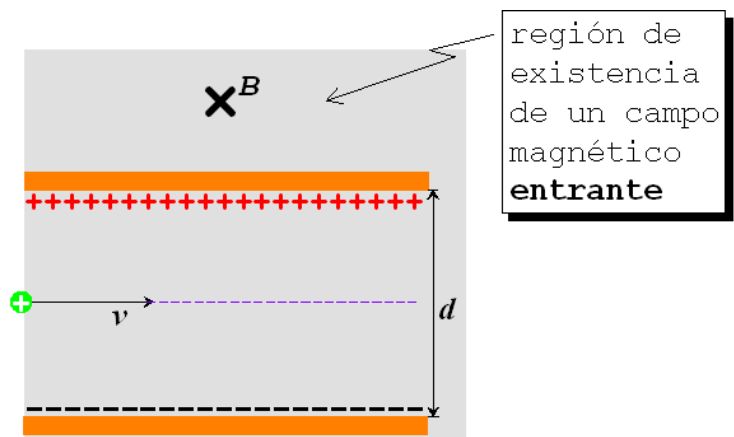


1. ¿Cuál de las dos arcos de circunferencia (rojo o azul) será seguida por el electrón? (Explicar.)
2. Si la velocidad de ambas partículas es $v = 100\,000$ m/s, calcular para cualquiera de ellas el radio de curvatura de los arcos de circunferencia seguidos por estas.

Cuestión 2. La fuerza de Lorentz permite discriminar entre las partículas ya sea por su carga eléctrica (negativa ó positiva), la velocidad a la que se mueven, o por su masa. ¿Por qué la fuerza de Lorentz permitiría discriminar entre, por ejemplo, un protón de un electrón? La masa del protón es 1836 veces mayor a la del electrón.

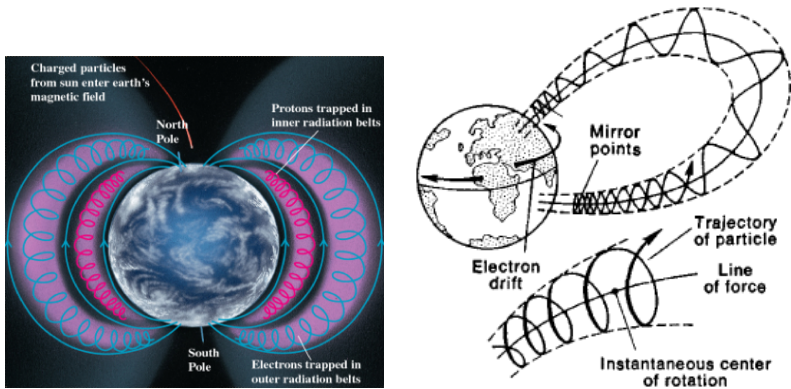
Cuestión 3. Otra particularidad de la fuerza de Lorentz es que **no** es capaz de modificar la energía cinética de la partícula (¿se acuerdan de E_c ?), ¿por qué?

Cuestión 4. Un protón es disparado horizontalmente a velocidad v entre dos chapas cargadas con signos opuestos, donde además coexiste un campo magnético uniforme entrante al plano de la figura. Las chapas están separadas por una distancia $d = 1\text{ mm}$, siendo el voltaje entre ellas $\Delta V = 1\text{ V}$. El campo magnético tiene una intensidad $B = 0,01\text{ T}$. ¿A qué velocidad v debe ser disparado el protón para seguir en trayectoria rectilínea?



Las fuerzas de Lorentz, protección de la vida, y auroras _____

Una consecuencia importantísima de la fuerza de Lorentz para asegurar la vida en el planeta tal como la conocemos, es el hecho de que el campo magnético de la Tierra proporciona protección contra el viento solar formado por partículas cargadas, oficiando así de “trampa magnética” para dichas partículas.



Cada partícula cargada que forma parte del viento solar, al ingresar al campo magnético de la Tierra, estaría sometida a una fuerza de Lorentz que la obligaría a seguir una hélice de un hemisferio al otro, “yendo y viniendo”, y teniendo por eje una línea del campo magnético.

El fenómeno de las auroras que se puede observar normalmente en zonas próximas a los polos magnéticos, guarda cierta relación con lo dicho anteriormente, y consecuentemente, con las fuerzas de Lorentz.

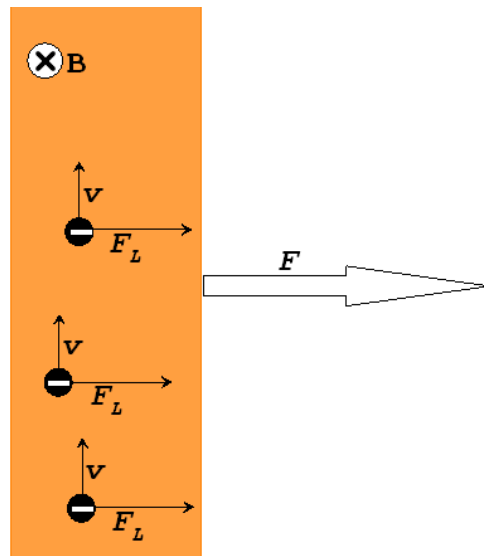


Ahora, ¿cómo se manifiesta la fuerza de Lorentz en caso de que se trate de una corriente eléctrica? En este caso no se trata de una sola partícula cargada en movimiento, sino de cientos de millones o más, y además lo hacen a través de (por ejemplo) un alambre de cobre.

Para fijar ideas supongamos que tenemos un tramo recto y vertical de alambre de cobre que atraviesa un campo magnético uniforme dirigido hacia adentro del plano de la figura. Supongamos además que por el alambre circula una corriente eléctrica continua, y que los electrones se mueven de abajo hacia arriba. Aplicando la regla de la mano izquierda y teniendo en consideración de que está “diseñada” para las cargas positivas, y que los electrones portan carga negativa, entonces la fuerza de Lorentz que experimenta cada uno estará dirigida horizontalmente hacia la derecha. El efecto combinado de cada fuerza de Lorentz dará lugar a una fuerza magnética $\vec{F}$ que actuará sobre el conductor mismo en la zona de influencia del campo magnético $\vec{B}$. La intensidad de la fuerza $\vec{F}$ se da por la ecuación:

$$F = ILB \sin(\alpha) = ILB_{\perp}$$

siendo I la intensidad de la corriente eléctrica, y L el largo del tramo del alambre de cobre que atraviesa el campo magnético, el resto del alambre (el que queda fuera del campo magnético) no experimentará ninguna fuerza, y α el ángulo definido entre el campo magnético y la dirección de circulación de la corriente eléctrica. En el caso de la figura de arriba, el ángulo α entre la dirección de la corriente (vertical), y la dirección del campo $\vec{B}$ (perpendicular al plano de la figura), es igual a 90° , por lo que la ecuación anterior para este caso se reduce a: $F = ILB$, pues: $\sin 90^\circ = 1$.



En este caso la dirección y el sentido de la fuerza se da por la regla de la **mano izquierda modificada**, la que establece que: Si se hace coincidir la dirección y el sentido del campo magnético con el dedo índice, y la dirección y el sentido CONVENCIONAL de circulación de la corriente eléctrica continua, entonces el pulgar en abducción señala la dirección y el sentido de la fuerza de Lorentz.



En la figura de arriba, el sentido convencional está dirigido hacia abajo (contrario al movimiento de los electrones), y al aplicar la regla de la mano izquierda “modificada”, se deduce que la fuerza está dirigida hacia la derecha, concordando con lo anterior.

Para fijar ideas y familiarizarse con la regla de la mano izquierda vean [esta](#) animación interactiva.

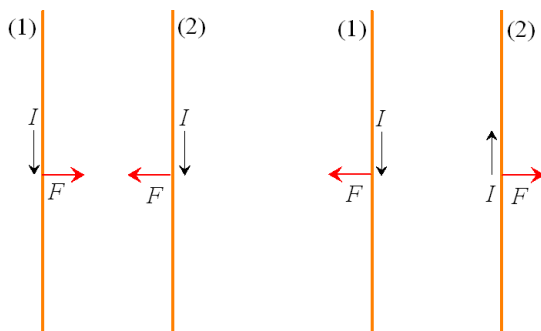
Cuestión 6. En la figura de la derecha se muestra desde arriba dos tubos de cobre fijos, largos, y paralelos entre si, conectados cada uno a un polo de una batería. Por detrás del plano de la figura se sitúa un imán lo suficientemente grande como para abarcar la totalidad del artilugio, con tal de que el campo magnético sea uniforme y con líneas perpendicularmente entrantes al plano de la figura. Sobre los dos tubos de cobre largos y fijos, se coloca un tercer tubo de cobre más corto con libertad de moverse a lo largo de los dos anteriores.



1. El tercer tubo se mueve, ¿por qué?, ¿hacia dónde se mueve? (señalar la dirección y el sentido del movimiento en la figura, y explicar como se deduce.)
2. Suponiendo que la intensidad del campo magnético es igual a $0,0008\text{ T}$, la longitud del tubo en movimiento es $L = 5,0\text{ cm}$, y la intensidad de la corriente eléctrica que circula por él es $I = 4,0\text{ A}$, hallar el valor de la fuerza que actúa sobre el tubo.

Fuerzas magnéticas entre corrientes eléctricas _____

Al principio se mencionó que entre dos conductores rectilíneos paralelos, por los que circulan corrientes continuas, surgen fuerzas recíprocas de atracción o de repulsión según sean los sentidos de las corrientes. Vean [este video](#).



Tal como se ilustra en la siguiente figura se tienen dos posibilidades. Se tienen dos alambres de cobres (1) y (2), rectos y paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de intensidad I . El sentido de circulación en cada alambre se indica con la flecha negra correspondiente.

A la izquierda por los alambres (1) y (2) las corrientes circulan en el **mismo sentido** (hacia abajo), y cada una de ellas generará un campo magnético que actuará sobre la corriente eléctrica que circula en el alambre vecino. Esta interacción entre el campo magnético y la corriente eléctrica dará lugar a una fuerza tal como se explicó en la sección anterior. En el caso presente las fuerzas serán de **atracción**.

A la derecha se muestran los mismos alambres solo que en este caso el sentido de circulación de las corrientes en uno y el otro son **opuestos** entre sí, lo que dará lugar a **fuerzas de repulsión**.