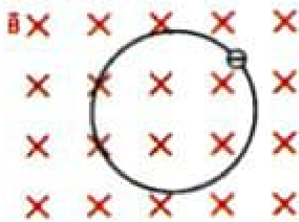
Problema muestra: *movimiento de partículas cargadas en un campo magnético uniforme.*

Un electrón realiza una trayectoria circular de 10 cm de radio en un campo magnético uniforme, cuyo módulo es de 5,0 x 10^{-4} T.

a) Indique el sentido en el que gira el electrón.

b) Determine el módulo de la velocidad del electrón y el tiempo que tarda en completar una vuelta.

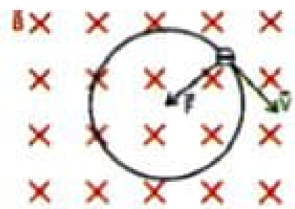
c) Determine el módulo de la velocidad con la que debe ingresar al campo magnético una partícula α para que realice una trayectoria del mismo radio que la del electrón.



Resolución:

a) Podemos predecir el sentido de giro utilizando la regla de la mano izquierda aplicada a un electrón en un punto de la trayectoria, teniendo en cuenta que la fuerza magnética sobre el electrón apunta hacia el centro de la trayectoria.

Invirtiendo el sentido de la velocidad que nos indica el dedo mayor de la mano izquierda dado que los electrones son partículas con carga negativa. Vemos entonces que el electrón se mueve en sentido horario.



b) A partir de la expresión del radio de giro $R=mv/qB$ obtenemos el módulo de la velocidad:

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

Sustituyendo en la expresión anterior:

$$v=\frac{0{,}10.1{,}6\times10^{-19}.5{,}0\times10^{-4}}{9{,}11\times10^{-31}}=8{,}8\times10^{6}\ m/s$$

El tiempo que demora el electrón en dar una vuelta completa lo determinaremos a partir de la expresión:

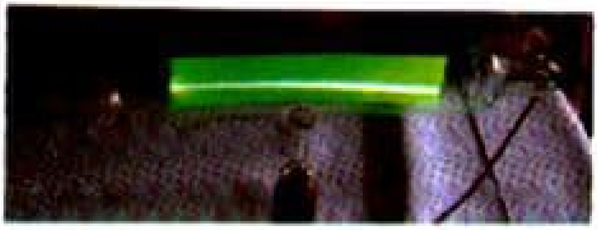
$$T=\frac{2\pi m}{qB}$$

$$T=\frac{2\pi.9{,}11\times10^{-31}}{1{,}6\times10^{-19}.5{,}0\times10^{-4}}=7{,}1\times10^{-8}\ s$$

c) Las partículas α son núcleos del átomo de helio, por lo que poseen dos protones y dos neutrones, por lo tanto tienen una carga de $2q_p$, y una masa de 6,68 x 10^{-27} kg.
Sustituyendo en la expresión utilizada en la parte (b):

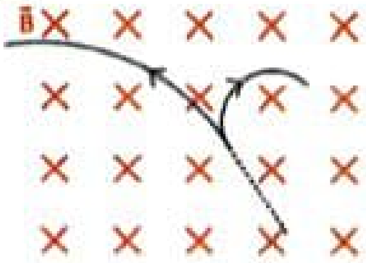
$$v=\frac{0{,}10.3{,}2\times10^{-19}.5{,}0\times10^{-4}}{6{,}68\times10^{-27}}=2{,}4\times10^{3}\ m/s$$

trones en movimiento desviándolos de su trayectoria.



Problema muestra: *fuerza magnética sobre cargas en movimiento.*

Un neutrón choca con un átomo de hidrógeno que se encuentra en un campo magnético uniforme cuyo módulo es de 4,0 mT. Por efecto del choque, el átomo de hidrógeno se ioniza, saliendo el electrón con una velocidad de $2{,}0\times10^{6}$ m/s y el protón con una velocidad de $2{,}0\times10^{3}$ m/s. La trayectoria de la partícula neutra está indicada por la línea punteada y las trayectorias de las partículas cargadas están indicadas por las líneas continuas.



electromagnetismo

a) ¿Cuál de las trayectorias corresponde al protón y cuál al electrón?

b) Determine la fuerza magnética sobre el electrón y el protón.

Resolución:

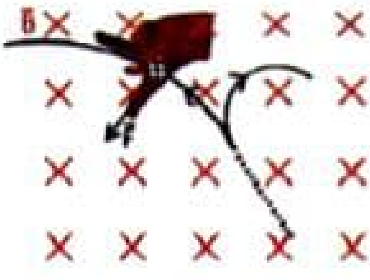
a) De acuerdo a la regla de la mano izquierda, y tomando en cuenta el sentido de la velocidad de la partícula y el campo magnético, podemos determinar que la trayectoria de la izquierda es la descrita por el protón.

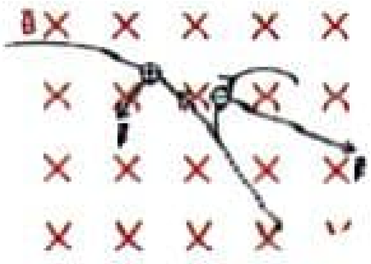
b) Determinamos la fuerza magnética sobre partículas cargadas en movimiento utilizando la expresión: $F_B = |q| vB sen\theta$

Como las cargas del electrón y el protón tienen igual valor absoluto, $|q_{protón}| = |q_{electrón}| = 1{,}6\times10^{-19}\,C$, y el ángulo que forma la velocidad y el campo magnético es de 90° para ambas partículas, sustituyendo:

$$F_{protón} = 1{,}3\times10^{-18}\,N$$

$$F_{electrón} = 1{,}3\times10^{-15}\,N$$





Las fuerzas no están repr... escala.

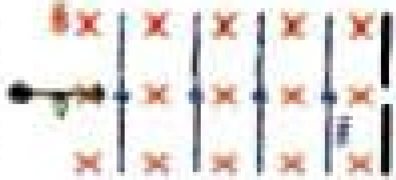
[illegible]

Algunas aplicaciones tecnológicas de la fuerza de Lorentz

Los aceleradores de partículas utilizados en la actualidad en investigación de punta basan parte de su funcionamiento en la interacción de los campos eléctricos y magnéticos con partículas cargadas. A lo largo de esta sección comentaremos algunos de estos aparatos como el selector de velocidades, el ciclotrón y el espectrómetro de masas.

I – El selector de velocidades.

Supongamos que tenemos una situación donde diversas partículas cargadas con diferente masa, velocidad y carga ingresan a una región donde existe un campo eléctrico como el representado y otro magnético perpendicular al plano de la hoja. Estas partículas sufrirán la acción de la fuerza de Lorentz que como vimos está dada por:



$$\vec{F}_L = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$$

El selector de velocidades es un dispositivo capaz de seleccionar la velocidad de las partículas cargadas que logran atravesarlo, es decir, un selector es un "filtro" de velocidad. Las partículas cargadas luego de ingresar al selector de velocidades siguen diferentes trayectorias (dependiendo de la velocidad con la que ingresan al dispositivo). Solo algunas continuarán en una trayectoria recta y lograrán salir por la abertura de la derecha. Éstas son las partículas que no se ven afectadas por la fuerza de Lorentz, o sea, aquellas para las cuales el factor $\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}$ es nulo. En estas condiciones el campo eléctrico está dado por:

$$\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$$

Por lo tanto el campo magnético debe tener un sentido tal que al realizar el producto $\vec{v} \times \vec{B}$ obtengamos como resultado un vector de sentido contrario al campo eléctrico.

8 Algunos metales como el zinc, hierro, cobalto y berilio conducen por portadores positivos.

Para que se cumpla la relación vectorial debe cumplirse que:

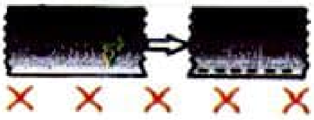
$$E = vB$$

Por lo tanto las partículas cargadas que logran pasar por el selector sin desviarse son aquellas cuya velocidad está dada por:

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

Observemos entonces que modificando el módulo del campo eléctrico o del campo magnético se puede seleccionar la velocidad permitida por el selector. Esta velocidad es independiente de la carga y de la masa de la partícula.

tencial Hall tendría signo contrario. De esta manera a partir del signo de esta diferencia de potencial, Hall determinó 18 años antes que se descubriera el electrón, que la mayoría de los conductores metálicos conducen por portadores negativos.[8]

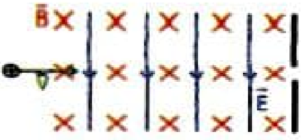


Algunas aplicaciones tecnológicas de la fuerza de Lorentz

Los aceleradores de partículas utilizados en la actualidad en investigación de punta basan parte de su funcionamiento en la interacción de los campos eléctricos y magnéticos con partículas cargadas. A lo largo de esta sección comentaremos algunos de estos aparatos como el selector de velocidades, el ciclotrón y el espectrómetro de masas.

I – El selector de velocidades.

Supongamos que tenemos una situación donde diversas partículas cargadas con diferente masa, velocidad y carga ingresan a una región donde existe un campo eléctrico como el representado y otro magnético perpendicular al plano de la hoja. Estas partículas sufrirán la acción de la fuerza de Lorentz que como vimos está dada por:



$$\vec{F}_L = q\left(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}\right)$$

El selector de velocidades es un dispositivo capaz de seleccionar la velocidad de las partículas cargadas que logran atravesarlo, es decir, un selector es un "filtro" de velocidad. Las partículas cargadas luego de ingresar al selector de velocidades siguen diferentes trayectorias (dependiendo de la velocidad con la que ingresan al dispositivo). Solo algunas continuarán en una trayectoria recta y lograrán salir por la abertura de la derecha. Éstas son las partículas que no se ven afectadas por la fuerza de Lorentz, o sea, aquellas para las cuales el factor $\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}$ es nulo. En estas condiciones el campo eléctrico está dado por:

$$\vec{E} = -\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Por lo tanto el campo magnético debe tener un sentido tal que al realizar el producto $\vec{v} \wedge \vec{B}$ obtengamos como resultado un vector de sentido contrario al campo eléctrico.

8 Algunos metales como el zinc, hierro, cobalto y berilio conducen por portadores positivos.

Para que se cumpla la relación vectorial debe cumplirse que:

$$E = vB$$

Por lo tanto las partículas cargadas que logran pasar por el selector sin desviarse son aquellas cuya velocidad está dada por:

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

Observemos entonces que modificando el módulo del campo eléctrico o del campo magnético se puede seleccionar la velocidad permitida por el selector. Esta velocidad es independiente de la carga y de la masa de la partícula.

II – El espectrómetro de masas

El espectrómetro de masas es un dispositivo que permite separar partículas cargadas en movimiento según su masa.

Supongamos que un conjunto de partículas con determinado valor de carga, ingresan por el punto M a la región representada con velocidades diversas. Solamente las partículas con determinada velocidad logran atravesar el selector de velocidades y llegan al punto N donde ingresan al campo magnético representado. A partir de ese punto las partículas describen una trayectoria circular cuyo radio está dado por:

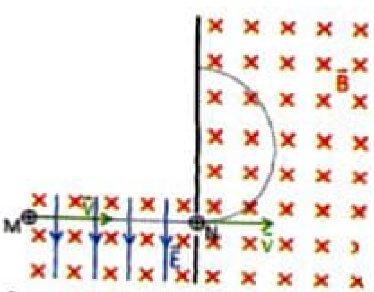


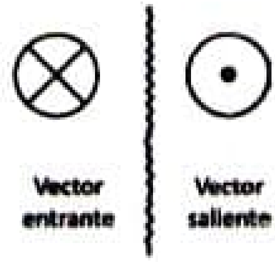
Diagrama esquemático de un espectrómetro de masas.

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

Problema muestra: *ley de Laplace.*

Un conductor recto de 6,0m de largo, se encuentra inmerso en un campo magnético uniforme cuyo módulo es de $5,0 \times 10^{-3}\ T$. La intensidad de corriente en el conductor es de 4,0 A. Determine la fuerza magnética sobre el conductor si el campo magnético:

a) Es entrante.
b) Es saliente.
c) Es horizontal hacia la derecha.



Un vector entrante al plano de la hoja se representa con una cruz.

Un vector saliente del plano de la hoja se representa con un punto.

Resolución:

Para todos los casos el módulo de la fuerza magnética la podemos obtener a partir de la expresión:

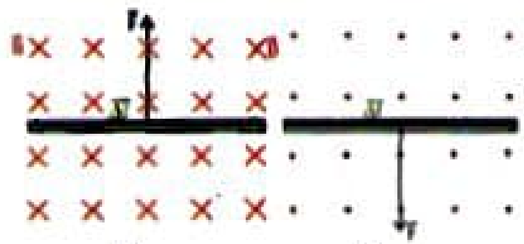
$$F_B = i \Delta l B sen\theta$$

Siendo i la intensidad de corriente que circula por el conductor, Δl el largo del conductor, B el módulo del campo magnético al que el conductor está sometido y θ el ángulo formado entre el conductor y el campo magnético.

En las situaciones a y b, el conductor se encuentra perpendicular al campo magnético, por lo que $\theta = 90^o$ y $sen 90^o = 1$

Sustituyendo y calculando:

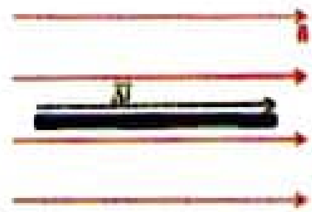
$F_B = 0,12\ N$



(a) (b)

La dirección de la fuerza magnética es perpendicular al plano definido por el conductor y el campo, mientras que el sentido está dado por la regla de la mano izquierda.

c) En esta situación el ángulo entre el conductor y el campo es cero y como $sen 0^o = 0$, el campo no realiza fuerza sobre el conductor.



(c)

Producto vectorial

En álgebra vectorial se definen dos productos entre vectores; el producto escalar y el producto vectorial, el cual definiremos a continuación.

Sean $\vec{A}$ y $\vec{B}$ dos vectores que forman un ángulo θ entre ellos. El producto vectorial entre los vectores $\vec{A}$ y $\vec{B}$ tiene como resultado un tercer vector $\vec{C}$.

Esta operación se escribe:

$$\vec{C} = \vec{A} \wedge \vec{B}$$

El vector $\vec{C}$ es perpendicular al plano formado por $\vec{A}$ y $\vec{B}$ y su módulo está dado por:

$$C = AB sen\theta$$

Problema muestra: ***ley de Ampère.***

Tres conductores a, b y c se colocan de la forma indicada en la figura. Si la intensidad de corriente en cada conductor valen $i_a = 8{,}0\ A$, $i_b = 13{,}0\ A$, $i_c = 5{,}0\ A$.

a) Determine la circulación de campo magnético a lo largo de la curvas 1, 2 y 3.

b) Encuentre una curva *C* para la cual la circulación de campo magnético sea negativa.

Resolución:

a) Calcularemos la circulación de campo magnético a lo largo de las curvas aplicando la ley de Ampère:

$$\mathcal{C}_{\underset{\text{cerrada}}{\underset{\text{curva}}{B}}} = \mu_0 i$$

Siendo *i* la suma algebraica de las intensidades de corriente asignándole signos diferentes según como atraviesen la superficie imaginaria delimitada por la curva correspondiente.

Para la curva 1, si circulamos en el sentido indicado; por la regla de la mano derecha tenemos que las intensidades de corriente en a y b son positivas y en c negativa. De este modo, aplicando la ley de Ampère tenemos que:

$$\mathcal{C}_{B_1} = \mu_0\left(8{,}0 + 13{,}0 - 5{,}0\right) = 4\pi \times 10^{-7}.\left(16{,}0\right) = 2{,}0 \times 10^{-5}\ Tm$$

Para la curva 2, si circulamos en el sentido indicado, la intensidad de corriente en a es positiva y en c negativa.

$$\mathcal{C}_{B_2} = \mu_0\left(8{,}0 - 5{,}0\right) = 4\pi \times 10^{-7}.\left(3{,}0\right) = 3{,}8 \times 10^{-6}\ Tm$$

Como la superficie imaginaria delimitada por la curva 3 no es atravesada por ningún conductor por donde circula corriente:

$$\mathcal{C}_{B_3} = 0$$

b) Existen infinitas curvas para las cuales la circulación de campo magnético es negativa. Por ejemplo, si calculamos la circulación de campo magnético a lo largo de las curvas 1 y 2 pero en el sentido contrario al indicado en el problema, la circulación será negativa.