

### **Cuestión 1**

**Una partícula cargada se lanza con cierta velocidad en una región donde hay un campo magnético uniforme. En primer lugar, se lanza paralelamente al campo magnético y en segundo lugar perpendicularmente al mismo. Explique en cada caso sí:**

**a) Cambia su energía cinética.**

**b) La partícula está acelerada.**

**a)**

Si se lanza paralelamente al campo, según la ley fundamental que nos relaciona la fuerza magnética con la velocidad de la partícula,

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

la fuerza magnética que el campo produce sobre la partícula es nula pues así lo es el producto vectorial de dos vectores paralelos. Por lo tanto, en este caso no se producirá ni variación de energía cinética ni aceleración.

**b)**

En este caso la fuerza magnética ya no es cero (únicamente es cero si la velocidad lo es o, como en el caso anterior, es paralela al campo magnético) y, por provenir del producto vectorial, es **perpendicular a la velocidad**. Al ser perpendicular a la velocidad será perpendicular también al desplazamiento de la partícula y, por lo tanto, **su trabajo será cero** y, por ello, **no habrá variación de la energía cinética**. Pero, al ser la fuerza perpendicular a la velocidad, se produce un giro y, por ello, **sí que hay aceleración, la aceleración centrípeta**.

**Problema 1**

**Un protón que parte del reposo es acelerado en sentido positivo del eje OX mediante una diferencia de potencial de 850 voltios antes de entrar en un campo magnético uniforme perpendicular a la velocidad donde describe una trayectoria circular en sentido antihorario en el plano XY de 0.02 m de radio. Apoyándose en esquemas, calcule:**

- a) El módulo del campo magnético.**
- b) El campo eléctrico (vector) que debería aplicarse para que la trayectoria del protón sea rectilínea.**

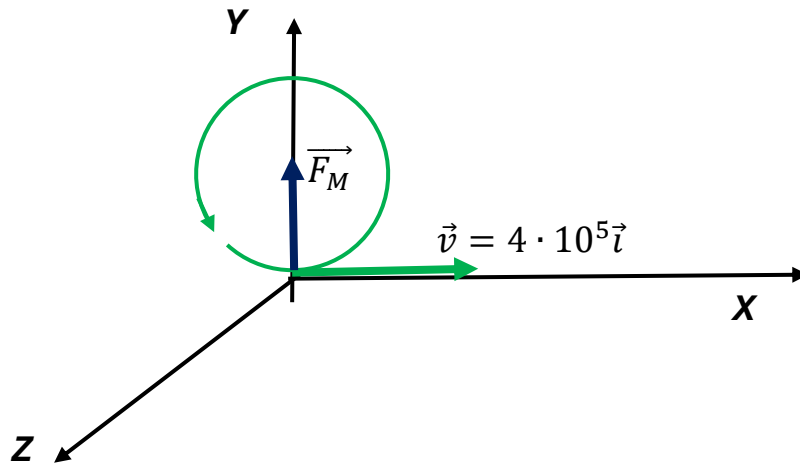
**Datos: masa del protón  $m_p = 1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ; carga del protón  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$**

**a)**

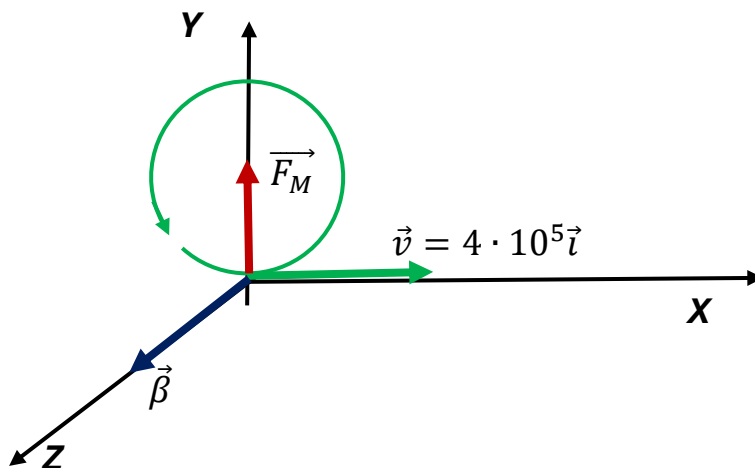
Lo primero que tenemos que saber es la velocidad con la que el protón entra en el campo magnético. En ese sentido, este problema es muy típico, nos dan la diferencia de potencial entre la que se acelera. Si aplicamos el teorema del trabajo, como ya se ha demostrado en la teoría, la ecuación que nos permite calcular esa velocidad es:

$$\Delta E_c = |q\Delta V| \rightarrow |v_i = 0| \rightarrow \frac{1}{2} m_p v_f^2 - 0 = q_p \Delta V \rightarrow$$
$$\frac{1}{2} \cdot 1.7 \cdot 10^{-27} v_f^2 = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 850 \rightarrow v_f = 4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Con la velocidad conocida, pasamos a dibujar la situación y calcular lo que nos preguntan.



Viendo la figura podemos deducir que, para que se gire en el sentido indicado, la fuerza magnética, centrípeta, ha de ir en el sentido positivo del eje Y. Dado que la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad y al campo magnético, por la ley que las relaciona, hemos de deducir que el campo magnético va en la dirección del eje Z. Para deducir el sentido podemos hacer la hipótesis de que va en uno de los dos sentidos: si acertamos, ese es el sentido, sino es el contrario. **Suponemos que el campo magnético va en el sentido positivo del eje Z:**



“Visualmente”, por la definición de producto vectorial, deberíamos ver que el producto vectorial  $\vec{v} \times \vec{\beta}$  es un vector en el sentido del eje Y negativo. Como la fuerza magnética es el producto de ese producto vectorial **por la carga, que es positiva**, la fuerza

magnética sería en el mismo sentido, el sentido negativo del eje Y, en contra de lo que queremos. Por lo tanto, el vector campo magnético tiene que ir en el sentido negativo del eje Z. Pero si no lo vemos “visualmente” no preocuparse, siempre tenemos la definición matemática.

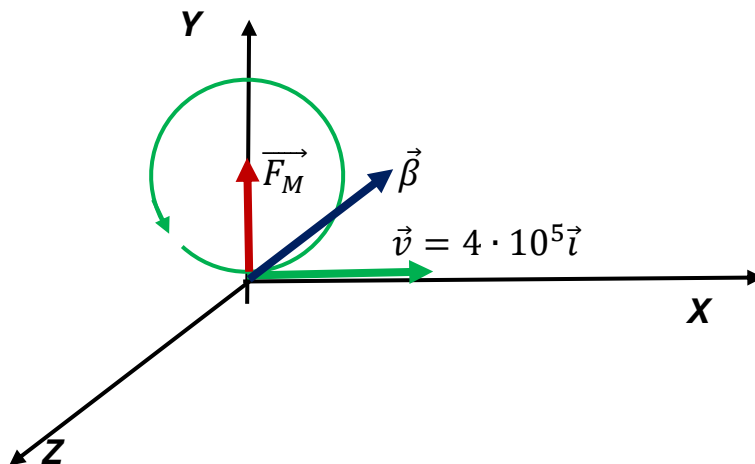
Hacemos los cálculos matemáticos suponiendo que el campo magnético va en el sentido positivo del eje Z, igualmente:

$$\begin{matrix} \vec{v} = 4 \cdot 10^5 \vec{i} \\ \vec{\beta} = \beta \vec{k} \end{matrix} \rightarrow \vec{F}_M = q \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 4 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta \end{vmatrix} = q(-4 \cdot 10^5 \beta \vec{j})$$

E, igualmente, vemos que, dado que la carga es positiva, la fuerza va en el sentido negativo del eje Y, en contra de lo que queremos. Por lo tanto, el vector campo magnético es

$$\vec{\beta} = -\beta \vec{k}$$

Donde  $\beta$  es su módulo.



Para calcular su módulo, tenemos en cuenta su relación con el radio de giro que se produce:

$$qv\beta = m \frac{v^2}{R} \rightarrow \beta = \frac{mv}{qR} = \frac{1.7 \cdot 10^{-27} \cdot 4 \cdot 10^5}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.02} = \mathbf{0.2125 \text{ T}}$$

**b)**

Para que la carga siga en línea recta, la fuerza producida sobre el protón por el campo eléctrico ha de anular a la fuerza magnética y ha de ser, por lo tanto, en el sentido negativo del eje Y. Dado que la fuerza eléctrica viene dada por:

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$

Y la carga es positiva, deducimos que el campo eléctrico debe tener la misma dirección y sentido que la fuerza que queremos que produzca, en el sentido del eje Y negativo. De todas formas, si aplicamos la ley vectorial ya nos sale su dirección y sentido:

$$\begin{aligned}\vec{F}_M &= qv\beta\vec{j} = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 0.2125\vec{j} \rightarrow \\ \vec{F}_E &= 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \vec{E}\end{aligned}$$

$$\vec{F}_M + \vec{F}_E = 0 \rightarrow 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 0.2125\vec{j} + 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \vec{E} = 0 \rightarrow$$

$$\vec{E} = -4 \cdot 10^5 \cdot 0.2125\vec{j} = -8.5 \cdot 10^4 \vec{j} \text{ N/C}$$

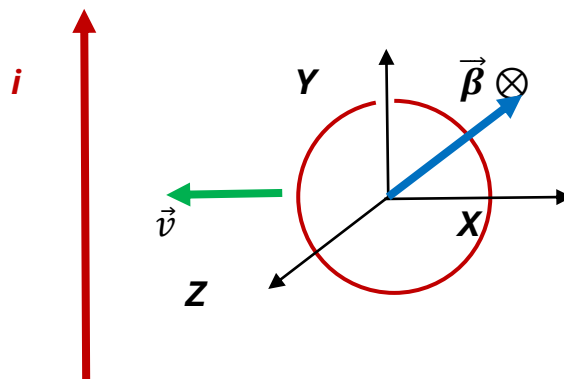
### **Cuestión 2**

**Una espira conductora circular y un conductor rectilíneo muy largo se encuentran en el mismo plano. El hilo está recorrido por una corriente eléctrica de intensidad constante. Razone, con ayuda de un esquema, qué sentido tendrá la corriente inducida sobre la espira si:**

- a) La espira se mueve perpendicularmente al hilo acercándose.**
- b) La espira se mueve paralela al hilo en el sentido de su corriente.**

**a)**

Dado que no se define en el enunciado, vamos a suponer que la intensidad que recorre el hilo es hacia arriba.



Aplicando la regla de mano derecha o los criterios dado en la teoría, hemos de ver que el campo magnético creado por el hilo es perpendicular al papel y hacia adentro, el vector que se ha dibujado en azul. Como la espira se está acercando, el flujo sobre ella está creciendo. El sentido de la corriente en la espira ha de ser tal que se oponga a este crecimiento y, por ello, el campo magnético inducido por ella debe de ir en sentido contrario al campo exterior. Para que eso ocurra, y tal como se ha estudiado en la teoría, **el sentido de la corriente ha de ser antihorario.**

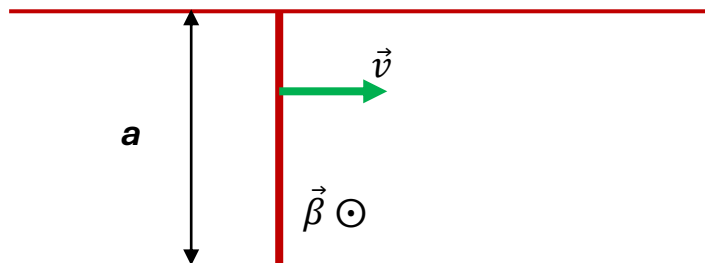
**b)**

Si la espira se mueve paralelamente al hilo, el flujo magnético sobre ella creado por el hilo va a ser constante y, por lo tanto, no se produce corriente en ella.

### **Problema 2**

**El lado móvil de la espira rectangular de la figura tiene de longitud  $a = 0.15 \text{ m}$ , y se mueve con una velocidad constante de  $0.2 \text{ m/s}$  dentro de un campo magnético uniforme de módulo igual a dos teslas. La resistencia eléctrica de la espira es igual a  $50 \text{ ohmios}$ , independientemente de su tamaño. Calcule:**

- a) La fuerza electromotriz inducida.**
- b) La intensidad de la corriente y razone, con la ayuda de un esquema, el sentido de la corriente inducida**



Según lo visto en la teoría, el módulo de la fuerza electromotriz viene dado por

$$\varepsilon = a \cdot v \cdot \beta = 0.15 \cdot 0.2 \cdot 2 = \mathbf{0.06 \text{ V}}$$

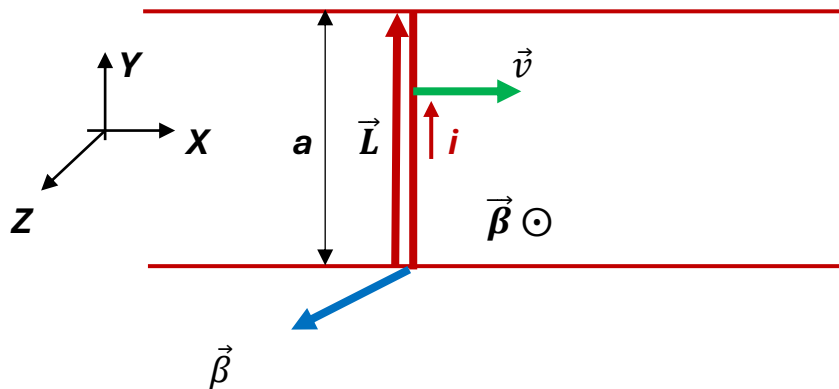
Aplicando la ley de Ohm, la intensidad será:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.06}{50} = \mathbf{1.2 \cdot 10^{-3} \text{ A}}$$

Para decidir el sentido de la intensidad, en este caso nos viene muy bien que, **dado que se ha de oponer a la causa que la produce, su sentido ha de ser tal que la fuerza que el campo magnético ejerza sobre la varilla ha de oponerse a su movimiento. Esta fuerza**

**magnética ha de ir, por lo tanto, hacia la izquierda, en sentido contrario a la velocidad.** Como ya se ha dicho en otras ocasiones, para decidir entre dos posibilidades vamos a suponer una de ellas. Si con esa elección conseguimos que se cumpla lo que queremos, habremos elegido bien, sino será la otra opción.

Vamos a suponer que va hacia arriba:



La fuerza que el campo magnético ejerce sobre la varilla viene dada por:

$$\vec{F}_M = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

Deberíamos de ver que este producto vectorial en nuestro caso es un vector paralelo a la velocidad, y del mismo sentido. Por lo tanto, el sentido de la corriente es el contrario. Sino lo vemos podemos aplicar la regla de la mano derecha donde el pulgar sería el vector  $\vec{L}$  y el índice el vector  $\vec{B}$ . Y si aún así no lo tenemos claro, siempre tenemos la definición matemática. Elegimos los ejes marcados en la figura. Entonces:

$$\begin{aligned} \vec{L} &= L\vec{j} \\ \vec{B} &= B\vec{k} \end{aligned} \rightarrow \vec{F}_M = I \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & -B \end{vmatrix} = BIL\vec{i}$$

Como decíamos.

También podíamos haber razonado de la siguiente manera. Dado que el flujo exterior está disminuyendo puesto que el área del rectángulo de la derecha por donde circula la corriente se está haciendo cada vez más pequeña, el campo debido a la corriente

inducida tiene que ir a favor del campo exterior y, para ello, según hemos dicho en la teoría, la corriente ha de ir en sentido antihorario para que eso ocurra. Por lo tanto, por la varilla que se está moviendo iría hacia abajo, como hemos deducido anteriormente