

Aula 12

CAMPO MAGNÉTICO

PARTE 1

Magnetismo

Alguns aspectos associados ao magnetismo são bem conhecidos, tais como, metais sendo atraídos por ímãs permanentes ou o movimento da agulha de uma bússola.



Ímãs

Denominam-se ímãs os corpos que possuem a propriedade de atrair o ferro, sendo a magnetita o ímã que se encontra na natureza.



Corpo imantado é aquele que adquire as propriedades de um ímã. O ferro e certas ligas de ferro usadas na fabricação de ímãs permanentes se imantam com grande facilidade.

Imãs Permanentes

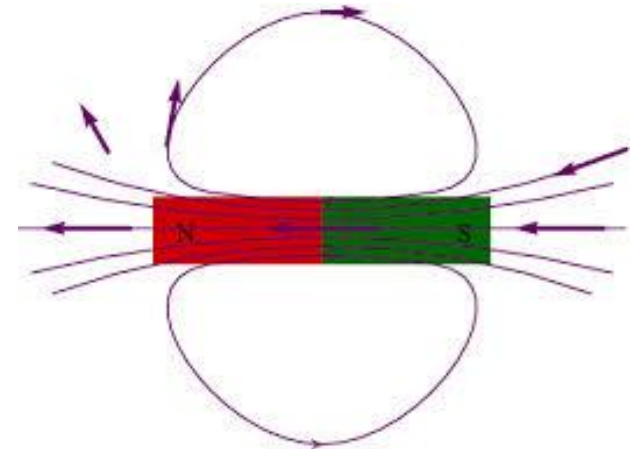
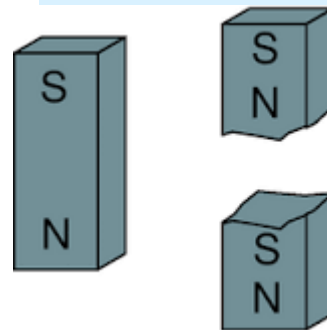
São aqueles materiais capazes de manter as propriedades magnéticas por **longos períodos**, chegando a vários anos.

Imãs Transitórios

São aqueles materiais que perdem as propriedades magnéticas assim que é interrompido o processo de imantação (Exemplo: eletroímãs)

Polos Magnéticos

Não existem evidências experimentais da existência de **cargas magnéticas** isoladas, ou seja, a menor unidade que representa de um elemento magnetizado é um **dipolo magnético**.



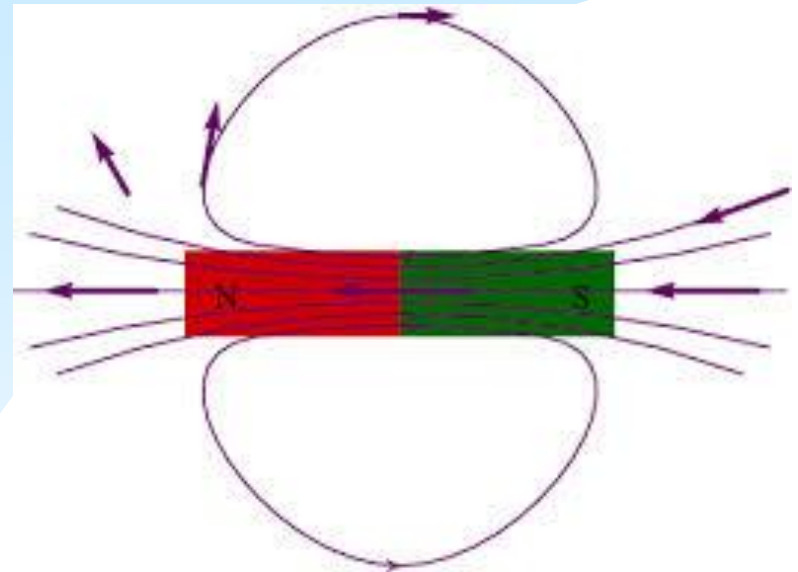
Campo Magnético

Quando uma carga elétrica está em movimento numa região onde existe um **campo magnético**, essa carga pode sofrer a ação de uma força, originária de sua interação com o campo B.

Linhas de Campo

O campo magnético \vec{B} é representado por linhas *contínuas e fechadas*. Este fato reflete a inexistência de *monopolos magnéticos*.

Convenciona-se desenhar as linhas de campo a partir do **polo norte** em direção ao **polo sul**, sendo o vetor \vec{B} tangente as linhas.



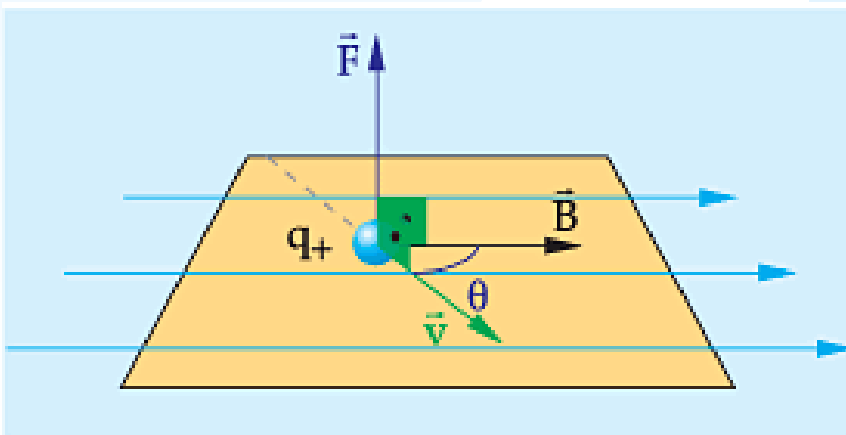
Características da Força Magnética sobre uma carga

1. Cargas em movimento na região onde existe um campo magnético \vec{B} pode sofrer a ação de uma força de natureza magnética.
2. A força observada é proporcional ao módulo da carga elétrica e a magnitude da velocidade.
3. A direção da força é perpendicular simultaneamente a direção do vetor velocidade \vec{v} e do vetor indução magnética \vec{B} .
4. A intensidade da força magnética é proporcional ao seno do ângulo definido pelas direções dos vetores velocidade \vec{v} e do vetor indução magnética \vec{B} .

Força Magnética

$$\vec{F}_M = q \vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow F_M = q \cdot |v| \cdot |B| \cdot \text{sen}(\theta)$$

Observação: A definição do sentido do campo magnético \vec{B} é obtida a partir de uma convenção (regra da mão direita), visto que se trata de um vetor axial.

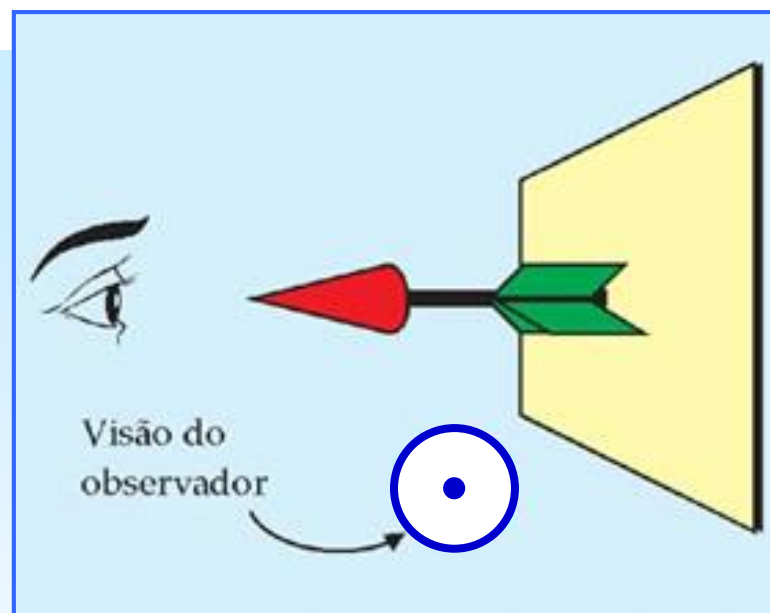
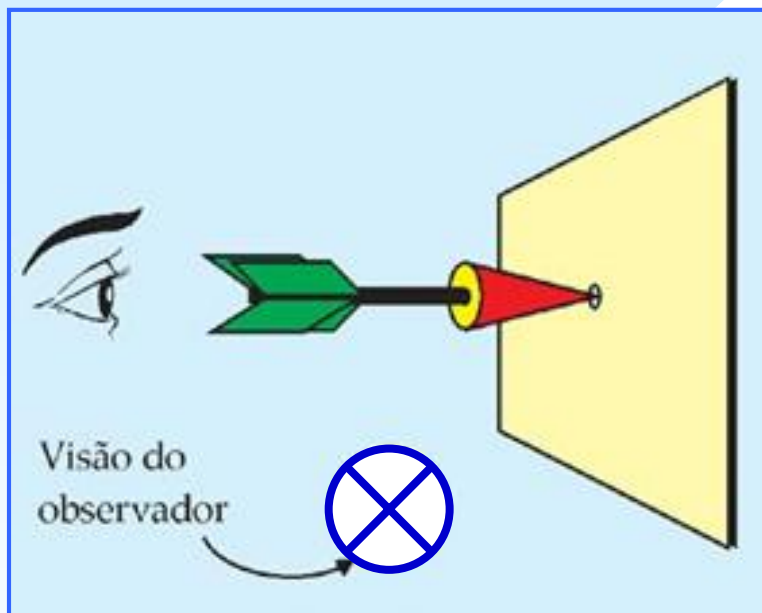


Unidade do campo magnético B no Sistema Internacional

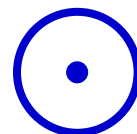
$$[B] = 1 \, T = 1 \, \frac{N/C}{m/s}$$

$$1 \, G = 10^{-4} \, T$$

Vetor Campo Magnético Perpendicular ao Plano



Vetor Entrando

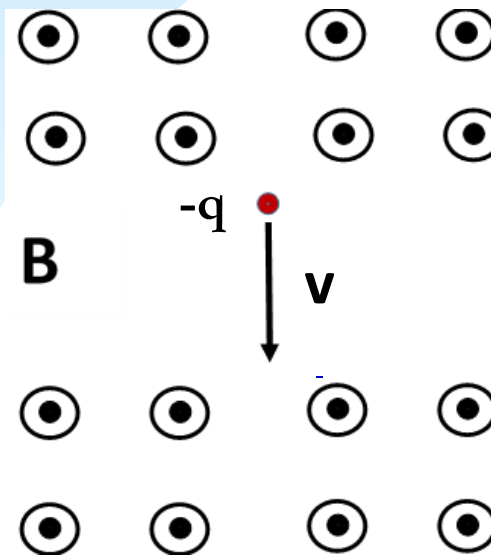


Vetor Saindo

Exemplo 1

Qual a direção da força magnética em uma carga negativa, com velocidade para baixo, numa região de campo magnético uniforme para fora do plano?

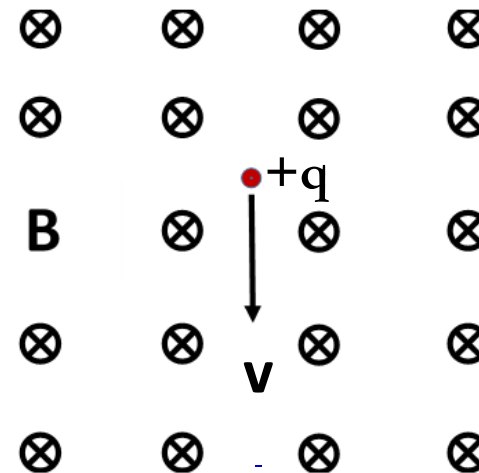
1. Para cima
2. Para baixo
3. Direita
4. Esquerda
5. Entrando no plano
6. Saindo do plano
7. Zero



Exemplo 2

Qual a direção da força magnética em uma carga positiva, com velocidade para baixo, numa região de campo magnético uniforme para dentro do plano?

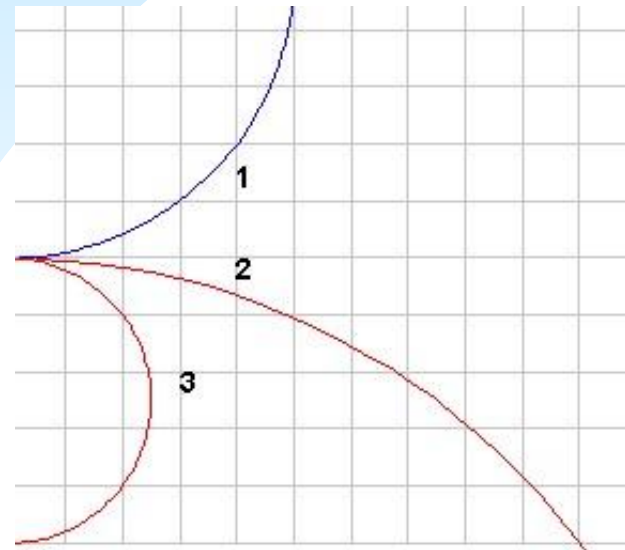
1. Para cima
2. Para baixo
3. Direita
4. Esquerda
5. Entrando no plano
6. Saindo do plano
7. Zero



Exemplo 3

Três cargas elétricas de mesma intensidade q massas iguais, são lançadas para a direita numa região onde há campo magnético uniforme, desenvolvendo cada uma delas uma determinada trajetória. Ordene as cargas conforme sua velocidade (da maior para a menor).

1. $1 > 2 > 3$
2. $2 > 1 > 3$
3. $3 > 2 > 1$
4. $3 > 1 > 2$
5. Nenhuma das anteriores



Exercício 1

Uma partícula de carga $q = 5,0 \mu\text{C}$ com velocidade de $4,0 \times 10^4 \text{ m/s}$ numa região onde existe um campo magnético B de intensidade $2,50 \text{ T}$. Determine o valor da força magnética sobre a partícula para as seguintes situações:

- a) Quando a direção da velocidade for perpendicular à direção do campo B
- b) Quando a direção da velocidade definir um ângulo de 30° com a direção do campo B .

Solução

a) A força magnética que atua sobre a partícula de carga q é dada

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

Então, para o caso no qual a direção da velocidade é perpendicular à direção do vetor campo magnético, temos que a força é nula:

$$F_M = qvB\sin(\pi/2) = 5,0 \times 10^{-6} \times 4,0 \times 10^{-4} \times 2,5 = 0,50 \text{ N}$$

b) Para o segundo caso, tem-se que a aceleração da partícula é:

$$F_M = qvB\sin(30^\circ) = 5,0 \times 10^{-6} \times 4,0 \times 10^{-4} \times 2,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ N}$$

Exercício 2

Uma partícula de carga $q > 0$ e massa m penetra numa região onde existe um campo de indução magnética \vec{B} . A velocidade \vec{v} da partícula tem direção perpendicular a direção do campo magnético. Descreva o movimento da partícula.

Solução

Considere uma partícula com velocidade paralela ao eixo y , $\vec{v} = v\vec{j}$, penetrando numa região onde existe um campo de indução magnética cuja direção é paralela ao eixo z , $\vec{B} = B\vec{k}$. A força magnética que atua sobre a partícula é:

$$\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B} = qvB(\vec{j} \times \vec{k}) = qvB\vec{i}$$

A aceleração da partícula vale:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_M}{m} = \frac{qvB}{m}\vec{i}$$

Observe que o vetor aceleração é perpendicular ao vetor velocidade, pois $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$. Portanto, concluímos que a componente da aceleração na direção da velocidade é nula, isto é, o módulo da velocidade é constante:

$$\frac{dv}{dt} = 0 \rightarrow |\vec{v}| = \text{constante}$$

Continuação

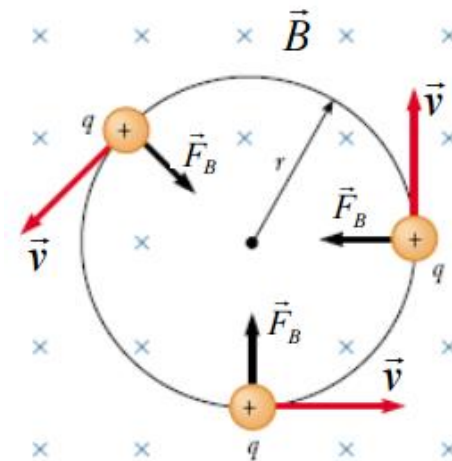
A força magnética **não realiza trabalho**, e como consequência, o valor da energia cinética não é modificado pela interação com campo magnético uniforme.

Visto que a aceleração é sempre perpendicular à velocidade, a partícula executa um movimento circular uniforme, com aceleração centrípeta igual a:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

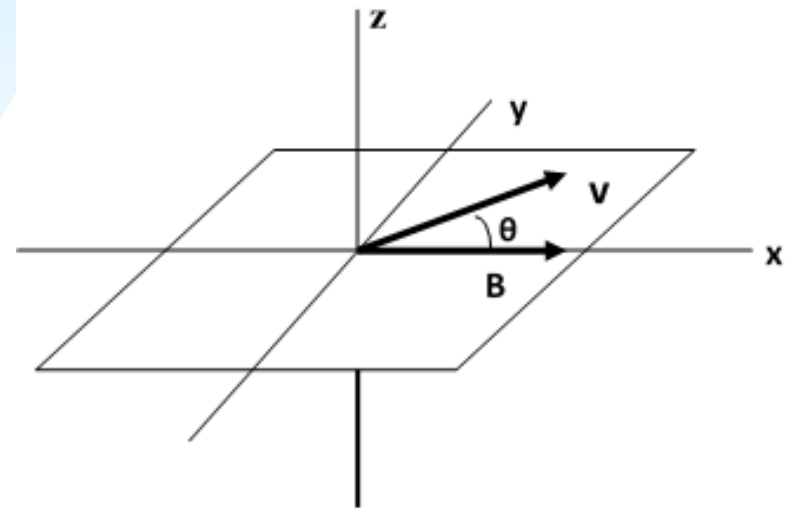
Substituindo o valor da aceleração, temos que o raio da trajetória é:

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



Exercício 3

Uma partícula de carga $q > 0$ e massa m penetra numa região onde existe um campo de indução magnética $\vec{B} = B\vec{i}$. Sua velocidade \vec{v} tem direção que forma um ângulo θ com a direção do campo magnético. Descreva o movimento da partícula.



Solução

A partícula ao penetrar na região do campo de indução magnética \vec{B} com velocidade \vec{v} :

$$\vec{v} = v \cos \theta \vec{i} + v \sin \theta \vec{j}$$

A força magnética é:

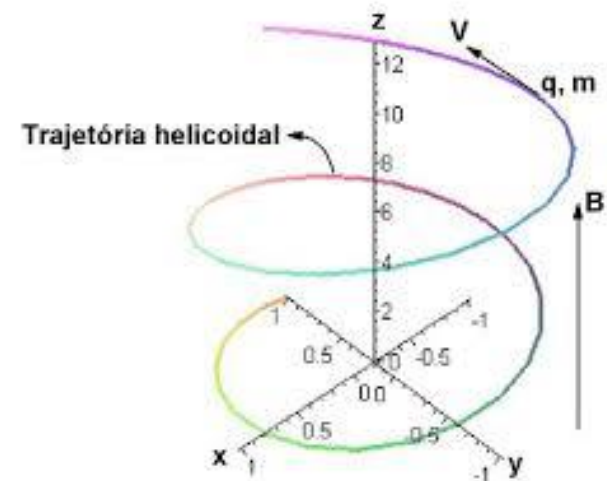
$$\vec{F}_M = q(v \cos \theta \vec{i} + v \sin \theta \vec{j}) \times B \vec{i} = -qvB \sin \theta \vec{k}$$

A aceleração da partícula é:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_M}{m} = \frac{qvB}{m} \sin \theta \vec{k}$$

Observe que a direção da aceleração é perpendicular a direção da velocidade. A trajetória da partícula, como vimos no exercício anterior, será uma circunferência descrita no plano paralelo a yz. A aceleração centrípeta nesse plano é:

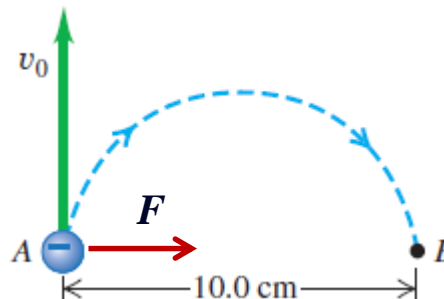
$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{qvB}{m} \sin \theta$$



Exercício 4

Um elétron no ponto A da Figura possui velocidade v_0 igual a $1,41 \times 10^6$ m/s. Determine:

- (a) o módulo, a direção e o sentido do campo magnético que obriga o elétron a descrever uma órbita circular de A até B.
- (b) o tempo necessário para que o elétron se desloque de A até B.



Rascunho



Solução a) A força magnética faz o papel de força centrípeta visto que é perpendicular ao vetor velocidade em todos os pontos da trajetória:

$$F_m = m \frac{v^2}{R} \rightarrow qvB = m \frac{v^2}{R} \rightarrow B = \frac{mv}{qR}$$

Substituindo os valores:

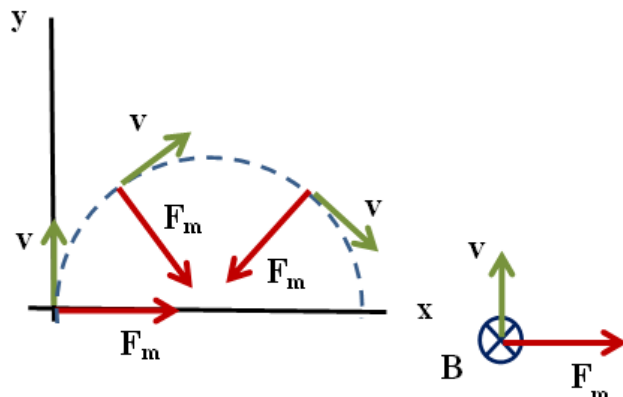
$$B = \frac{9,30 \times 10^{-31} \times 1,41 \times 10^6}{1,60 \times 10^{-19} \times 5,00 \times 10^{-2}} = 1,64 \times 10^{-4} \text{ T}$$

Continuação

A direção e sentido do campo de indução B são obtidos a partir da regra da mão direita. Assim, pela definição da força magnética:

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

e aplicando a regra da mão direita, tem-se que a única possibilidade para o campo B é um vetor perpendicular ao plano xy (direção z), apontando para o sentido $-\vec{k}$.



Formalmente:

$$\vec{F}_m = -ev \vec{j} \times B (-\vec{k}) = +evB(\vec{j} \times \vec{k})$$

ou ainda,

$$\vec{F}_m = +evB \vec{i}$$

Continuação

Sendo o módulo da velocidade constante, o tempo necessário para que o elétron se desloque de A até o ponto B é:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v}$$

sendo ΔS o valor do deslocamento, dado por:

$$\Delta S = \pi R$$

Substituindo os valores numéricos:

$$\Delta t = \frac{3,14 \times 0,05}{1,41 \times 10^6} = 1,11 \times 10^{-7} \text{ s}$$

Exercício 5

Uma partícula com carga igual a $q = -1,24 \times 10^{-8} \text{ C}$ move-se com velocidade instantânea $\vec{v} = 4,19 \times 10^4 \vec{i} - 3,85 \times 10^4 \vec{j} \left(\frac{m}{s} \right)$.

Qual a força exercida sobre essa partícula por um campo magnético:

a) $\vec{B} = 1,40 \vec{i} \text{ (T)}$

b) $\vec{B} = 1,40 \vec{k} \text{ (T)}$

Rascunho



Solução

a) $\vec{B} = 1,40 \vec{i} \text{ (T)}$

Substituindo os valores na forma magnética $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$, tem-se:

$$\vec{F}_m = (-1,24 \times 10^{-8}) \cdot (4,19 \times 10^4 \vec{i} - 3,85 \times 10^4 \vec{j}) \times (1,40 \vec{i})$$

Lembrando que $\vec{i} \times \vec{i} = 0$ e $\vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k}$, obtém-se:

$$\vec{F}_m = (-1,24 \times 10^{-8}) \cdot (-3,85 \times 10^4) \cdot 1,40 (-\vec{k})$$

ou ainda

$$\vec{F}_m = -6,68 \times 10^{-4} \vec{k} \text{ N}$$

Continuação

b) $\vec{B} = 1,40 \vec{k}$ (T)

Substituindo os valores na forma magnética $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$, tem-se:

$$\vec{F}_m = (-1,24 \times 10^{-8}) \cdot (4,19 \times 10^4 \vec{i} - 3,85 \times 10^4 \vec{j}) \times (1,40 \vec{k})$$

Lembrando que $\vec{i} \times \vec{k} = -\vec{j}$ e $\vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}$, obtém-se:

$$\vec{F}_m = (-1,24 \times 10^{-8}) \cdot (4,19 \times 10^4 \times 1,40(-\vec{j}) - 3,85 \times 10^4 \times 1,40 \vec{i})$$

ou ainda

$$\vec{F}_m = (6,68 \vec{i} + 7,27 \vec{j}) \times 10^{-4} \text{ N}$$

É importante observar que a força magnética é um vetor perpendicular ao vetor velocidade, ou seja, $\vec{F} \cdot \vec{v} = \mathbf{0}$. Lembre-se que a **força magnética não realiza trabalho**.

Aula 12

CAMPO MAGNÉTICO

PARTE 1
