

Mecânica e Campo Electromagnético

- Força magnética entre correntes.
- Lei de Biot-Savart. Linhas de campo.
- Força de Lorentz.
- Circulação do campo magnético ao longo de uma curva fechada: lei de Ampère.
- Discussão das condições em que um campo magnético pode ser considerado conservativo.
- Rotacional do campo magnético.

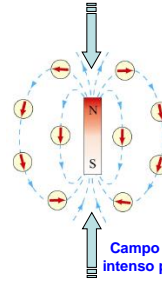
Maria Rute André
rferreira@ua.pt

1

Campo Magnético

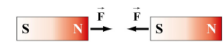
Assim como estudámos na electrostática, cargas em repouso geram campo eléctrico, agora **correntes estacionárias geram campos magnéticos**.

Uma barra magnética é formada por dois pólos, designados por Norte (N) e Sul (S)



Campo magnético é mais intenso próximo dos pólos.

Pólos opostos atraem-se



Pólos idênticos repelem-se

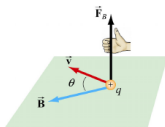


2

Campo Magnético: definição

Consideremos uma partícula de carga q que se move com uma velocidade v .

- A magnitude da força magnética, F_b , exercida na carga é proporcional a q e do vetor v ;
- A magnitude e direção da força magnética, F_b , depende dos vetores v e B ;
- A força magnética, F_b , desaparece se o vetor v é paralelo ao vetor B . Quando o vetor v faz um ângulo θ com o vetor B , a direção da força magnética é perpendicular ao plano formado pelos vetores v e B e o módulo de F_b é proporcional ao $\sin\theta$.
- Quando o sinal da carga é alterado (+ para -, ou vice-versa) a direção de F_b também, é invertida.



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

$$F_B = |q| v B \sin \theta \quad \text{Em módulo}$$

3

Campo Magnético

Unidades SI: Tesla (T)

$$1 \text{ Tesla} = 1T = 1 \frac{\text{Newton}}{(\text{Coulomb})(\text{metro} / \text{segundo})} = 1 \frac{N}{C(m/s)} = 1 \frac{N}{Am}$$

Unidades não SI: Gauss (G)

$$1 \text{ Tesla} = 1T = 10^4 G$$

Nota: O vetor F_b é sempre perpendicular aos vetores v e B e não altera a velocidade (energia cinética) da partícula; consequentemente, F_b não realiza trabalho sobre a partícula

$$dW = \vec{F}_B \cdot d\vec{s} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt = q(\vec{v} \times \vec{v}) \cdot \vec{B} dt = 0$$

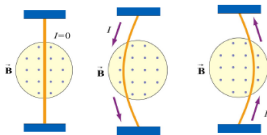
A direção do vector velocidade pode, no entanto, ser alterada pela força magnética

4

Força Magnética

Sabemos que uma partícula carregada que se move num campo magnético \vec{B} , está sujeita a uma \vec{F}_B . Como a corrente elétrica é formada por várias cargas em movimento, um fio atravessado por uma corrente, também, sofrerá os efeitos de uma \vec{F}_B .

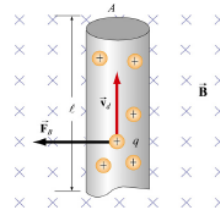
Campo Magnético perpendicular à folha e "aponta para fora".



5

Força Magnética

1. exercida num fio de comprimento ℓ e secção A .



Consideremos que a velocidade das partícula é v_d e que a carga total é dada por:

$$Q_{\text{tot}} = q(nA\ell)$$

Número de cargas por unidade de volume

$$\vec{F}_B = Q_{\text{tot}} \vec{v}_d \times \vec{B} = qnA\ell(\vec{v}_d \times \vec{B}) = I(\vec{\ell} \times \vec{B})$$

$\vec{\ell} = nq\vec{v}_d A$ e o vetor $\vec{\ell}$ tem módulo I e direção ao longo da corrente elétrica.

6

Força Magnética

2. exercida num fio com forma arbitrária, há que somar as várias contribuições:

$$d\vec{F}_B = I d\vec{s} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_B = I \left(\int_a^b d\vec{s} \right) \times \vec{B} = I \vec{\ell} \times \vec{B}$$

3. exercida num fio que encerra uma superfície fechada

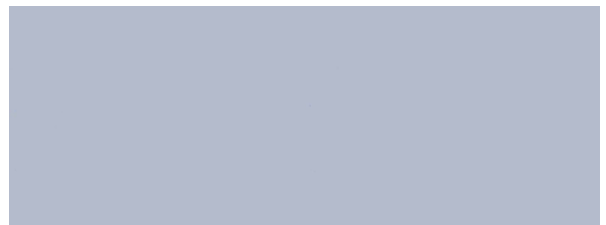
$$\vec{F}_B = I \left(\oint d\vec{s} \right) \times \vec{B}$$

$$\oint d\vec{s} = 0 \Rightarrow \vec{F}_B = \vec{0}$$

7

Campo Magnético

Devido a uma carga em movimento



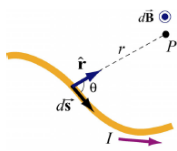
CARGA POSITIVA

CARGA NEGATIVA

8

Campo Magnético

Lei de Biot-Savart



Cargas em movimento num fio produzem uma corrente I , tal que o campo B em qualquer ponto P pode ser estimado através da soma das várias contribuições $d\vec{B}$ dos vários segmentos $d\vec{S}$.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

Distância entre o ponto P e o elemento $d\vec{S}$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

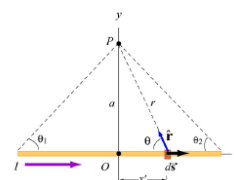
$$\vec{B} = \int_{\text{wire}} d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{wire}} \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

A lei de Biot-Savart dá-nos o campo B devido a um elemento $I d\vec{l}$ a uma distância r .

9

Campo Magnético:

devido a um fio rectilíneo



Lei de Bio-Savat

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \sin \theta}{r^2} \hat{k}$$

$$\begin{cases} r = a / \sin \theta = a \csc \theta \\ x = a \cot \theta \Rightarrow dx = -a \csc^2 \theta d\theta \end{cases} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{(-a \csc^2 \theta d\theta) \sin \theta}{(a \csc \theta)^2} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sin \theta d\theta$$

$$B = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{-\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \theta_2 + \cos \theta_1)$$

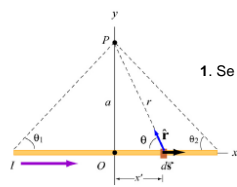
Contribuição da porção $+x$

Contribuição da porção $-x$

10

Campo Magnético:

devido a um fio rectilíneo

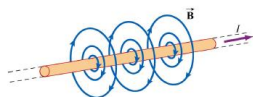


$$\cos \theta_1 = L / \sqrt{L^2 + a^2}$$

1. Se $\theta_2 = -\theta_1 \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \cos \theta_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \frac{L}{\sqrt{L^2 + a^2}}$

2. Se o fio é infinito, então $(\theta_1, \theta_2) = (0, 0)$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$



Simetria cilíndrica:
linhas de campo circulares

VER RESOLUÇÃO NA Aula

11

12