Campo Electromagnético 2007/2008

Aula 16

- **Força magnética entre fios.**
- **Lei de Ampère.**
- **Rotacional, fluxo e divergência do campo magnético.**
- **Resolução de exercícios.**

Maria Rute André

rferreira@ua.pt

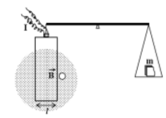
Aplicações

Efeito de Hall

Estudado nas aulas práticas: DÚVIDAS?

. Resolução de exercícios

9. Considere a balança indicada na figura, onde um dos pratos está substituído por um quadro condutor por onde passa uma corrente **I** no sentido horário. A balança está em equilíbrio quando se coloca no prato uma massa **m**.



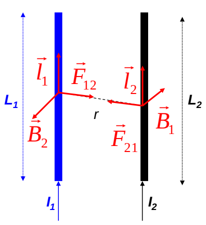
a) Suponha que se cria um campo magnético uniforme perpendicular ao plano do papel. A balança fica em equilíbrio se se adicionar ao outro prato uma massa $\mathbf{m_1}$. Determine o sentido e o módulo do campo aplicado.

b) Se tirar as massas m e m_1, determine o sentido e o módulo do campo magnético capaz de manter a balança em equilíbrio.

9. a) $B = \frac{m_1 g}{Il}$ **b)** $B = \frac{mg}{Il}$

Força magnética entre fios

Consideremos dois fios condutores, de comprimento L_1 e L_2, que transportam correntes diferentes.



A força total exercida em cada fio será:

$$\vec{F}_{21} = I_2 \vec{l}_2 \times \vec{B}_1 \quad \wedge \quad \vec{F}_{12} = I_1 \vec{l}_1 \times \vec{B}_2$$

Em módulo:

$$F_{21} = I_2 l_2 B_1 \quad \wedge \quad F_{12} = I_1 l_1 B_2$$

Pela Lei de Biot-Savat

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \quad \wedge \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$$

Considerando os fios infinitos,

$$F_{21} = \frac{\mu_0 l_2 I_1 I_2}{2\pi r} \quad \wedge \quad F_{12} = \frac{\mu_0 l_1 I_1 I_2}{2\pi r}$$

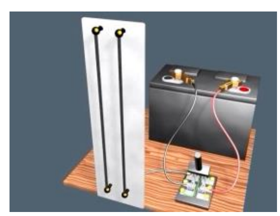
Pela "regra da mão direira", cada força tende a aproximar um fio do outro

Força magnética entre fios

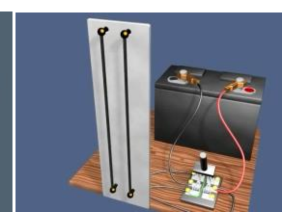
Consideremos dois fios condutores que transportam correntes diferentes. Se considerarmos que os fios têm o mesmo comprimento *L*.

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

Força por unidade de comprimento



Corrente a circular no mesmo sentido



Corrente a circular em sentidos opostos

. Resolução de exercícios

8 . Dois fios condutores rectilíneos, paralelos e infinitos, distanciado de d, estão percorridos pelas correntes **I** e **I'**. Entre eles e no mesmo plano, coloca-se um terceiro fio condutor de comprimento **L**, percorrido por **I''** e podendo deslocar-se lateralmente.

a) Como devem ser os sentidos das correntes para existir uma posição de equilíbrio do 3º condutor entre os dois primeiros?

b) Qual é a posição de equilíbrio do 3º condutor? Será que o comprimento desse tem uma influência? Discute a estabilidade do equilíbrio.

Solução: **a)** I e I' de mesmo sentido **b)** $x = \frac{I}{|I - I'|} d$

Lei de Ampère

Sabemos que, se tivermos um fio com uma corrente I, as linhas de campo são circulares e concêntricas com o fio, sendo o campo dado por:

$$B 2\pi r = \mu_0 I$$ *(pela lei de Biot-Savat)*

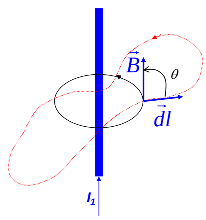
B: Componente tangencial ao caminho do campo magnético

$2\pi r$: Comprimento do caminho circular à volta do fio

I: Corrente que atravessa a área encerrada pelo caminho

A lei de Ampére generaliza este resultado para qualquer forma de caminho e de fio

Lei de Ampère



Vamos considerar um qualquer caminho

$$d\vec{l}.\vec{B} = dlB\cos\theta$$

A lei de Ampere diz que o integral de *Bdl* à volta do caminho fechado é dado por:

$$\oint \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 I \Leftrightarrow \oint \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J}d\vec{S}$$

Convenção: A circulação no caminho é feita, tal que o observador que percorre a linha vê a superfície por ela definida do seu lado esquerdo.

Nota: Se o caminho não encerra nenhuma corrente $\oint \vec{B}d\vec{l} = 0$

Lei de Ampère: exemplos de aplicação

1. **Fios infinitos atravessados por uma corrente I**
2. **Planos infinitos com espessura b e densidade de corrente J**
3. **Solenoide infinito**
4. **Toroide**

Rotacional do campo magnético

$$\oint \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 I$$

Pelo teorema de Stokes: $\oint \vec{A}d\vec{l} = \int_S rot\vec{A}d\vec{l}$

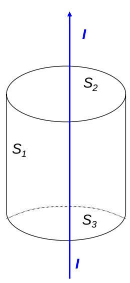
Vem:

$$\oint \vec{B}d\vec{l} = \int_S rot\vec{B}d\vec{S} = \mu_0 I \Leftrightarrow \frac{1}{dS}\int_S rot\vec{B}d\vec{S} = \mu_0 \frac{I}{dS} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \boxed{rot\vec{B} = \mu_0 \vec{J}}$$

Fluxo de campo magnético

Definimos com sendo o numero de linhas de campo que atravessam uma dada superfície.



O fluxo de B através da superfície cilíndrica é dado por:

$$\phi = \int_S \vec{B}d\vec{S} = \int_{S_1} \vec{B}d\vec{S} + \int_{S_2} \vec{B}d\vec{S} + \int_{S_3} \vec{B}d\vec{S}$$

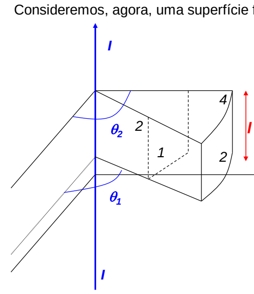
*Para S_1, S_2 e S_3: o vector **B** é perpendicular a **dS***

$$\phi = \int_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Fluxo de campo magnético

Definimos com sendo o numero de linhas de campo que atravessam uma dada superfície.

Consideremos, agora, uma superfície fechada que não é atravessada por uma corrente I



$$\phi = \int_S \vec{B}d\vec{S} = \int_{S_1} \vec{B}d\vec{S} + \int_{S_2} \vec{B}d\vec{S} + \int_{S_3} \vec{B}d\vec{S} + \int_{S4} \vec{B}d\vec{S}$$

$$\phi = \int_{S_1} B(-r)da + \int_{S_2} Brda + \int_{S_3} BdS + \int_{S4} BdS$$

$$\phi = 0,\ \vec{B} \perp d\vec{S}$$

$$\int_{S_3} \vec{B}d\vec{S} = -\int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} ldr$$

$$\int_{S_4} \vec{B}d\vec{S} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} ldr$$

$$\Rightarrow \phi = 0$$

O integral do vector campo magnético através de qualquer superfície (quer esteja ou não atravessada por uma corrente) **é sempre nulo**.

Divergência do campo magnético

Sabemos que: $\int \vec{B}d\vec{S} = 0$

Pelo teorema de Gauss que diz que: $\int_S AdS = \int_V div\vec{A}dV$

$$\Downarrow$$

$$\int_S BdS = 0 = \int_V div\vec{B}dV \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \int_V div\vec{B}dV = 0 \Leftrightarrow \boxed{div\vec{B} = 0}$$

✐. Resolução de exercícios

16. Um fio condutor está enrolado sobre um toróide de eixo vertical Δ e de raio **b**. As espiras formam círculos de raio **a** (a<b) e são juntas, de modo que se conta **N** espiras/rad. Determine o campo magnético no interior das espiras, e no exterior, quando o fio está percorrido por uma intensidade **I**.

Solução: $\vec{B}_{int} = \mu_0 \frac{NI}{r}\vec{u}_\theta$; $\vec{B}_{ext} = \vec{0}$