

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Campus Blumenau

Física Geral III

Aula Teórica 15 (Cap. 30 parte 2/2):

- 1) Força magnética sobre um fio transportando corrente
- 2) Torque sobre uma bobina de corrente
- 3) O dipolo magnético

Prof. Marcio R. Loos

Força magnética sobre um fio transportando corrente

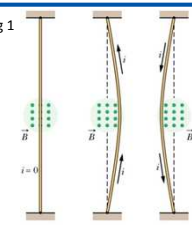
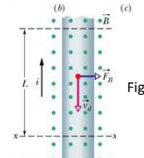
Um campo \vec{B} exerce força sobre os elétrons de condução num fio (Fig 1).

Elétrons livres se movem com velocidade \vec{v}_d oposta a corrente (Fig 2).

A força sobre o elétron vale $F_e = |q|vB$ e aponta para a direita.

O fio, como um todo, irá sofrer a ação da força.

Considere, na Fig. 2, que são os PDC que se movem. Qual o sentido de \vec{F}_B ? O mesmo, pois +q se moverá no sentido de i .

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 2

Força magnética sobre um fio transportando corrente

Considere um comprimento L de fio.

Na fig., $v_d = L/t$ e o tempo para os elétrons se deslocarem passando por xx vale $t = L/v_d$

A carga total passando por xx vale, então: $q = i \left(\frac{L}{v_d} \right)$

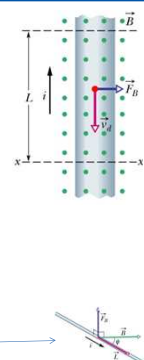
Temos então: $F_B = |q|vB \sin\phi$

$F_B = i \left(\frac{L}{v_d} \right) vB \sin 90^\circ$

$F_B = iLB$ Força num fio de comprimento L . (\vec{B} perp. a L)

$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B}$ Força sobre uma corrente. (\vec{B} NÃO perp. a L)

L é um vetor apontando no sentido da corrente.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 3

Força magnética sobre um fio transportando corrente

Para fios com forma arbitrária:

$$\vec{dF}_B = i \vec{dL} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_B = i \int_a^b \vec{dL} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 4

Exercício

Um fio horizontal retilíneo, feito de cobre, é percorrido por uma corrente $i = 28$ A. Determine o módulo e a orientação do menor campo magnético \vec{B} capaz de manter o fio suspenso, ou seja, equilibrar a força gravitacional. A massa específica linear (massa por unidade de comprimento) do fio é $46,6$ g/m.

Resposta:

$$P = F_B$$

$$mg = LiB$$

$$B = 1,6 \times 10^{-2} T$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 5

Exercício

$$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_B = i \int_a^b \vec{dL} \times \vec{B}$$

A Fig. mostra um comprimento de fio com um arco central, colocado num campo magnético uniforme \vec{B} que aponta para fora do plano da fig. Sabendo-se que o fio transporta uma corrente i , que força magnética resultante \vec{F} atua sobre ele?

Resolução:

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_1 = F_3 = \vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B} = iLB$$

$$dF_2 = i dL B \sin\phi = i dL B$$

$$dF_2 = dF_2' \sin\theta$$

$$dF_2 = i dL B \sin\theta$$

$$dF_2 = i(Rd\theta) B \sin\theta$$

$$F_2 = 2iBR$$

$$F = 2iB(R + L)$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 6

Torque sobre uma bobina de corrente

A fig. mostra uma espira retangular transportando uma corrente i submetida a um campo.

As forças magnéticas F e $-F$ produzem um torque.

Este é o princípio de funcionamento de um motor elétrico!

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 7

Torque sobre uma bobina de corrente

Como fazer um motor elétrico?

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 8

Torque sobre uma bobina de corrente

Fig a): uma espira de lados a e b , percorrida por uma corrente i , é submetida a B . Os lados 1 e 3 estão sempre perpendiculares à direção de B . Os lados 2 e 4 podem se tornar paralelos a B . Definimos a orientação da espira através do vetor normal n . **Direção de n :** dedos apontam para i e polegar para n (**Fig. b**)

Fig. c: n forma um ângulo θ com B (**Fig. c**).
Qual a força total e o torque sobre a espira?

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 9

Torque sobre uma bobina de corrente

Qual a **força total** e o torque sobre a espira?

$\vec{F}_t = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$

$F_B = iLB \sin \phi$

$F_2 = F_4 = ibB \sin(90^\circ - \theta) = ibB \cos \theta$ F_2 e F_4 se anulam (mesma linha de ação)!

$F_1 = F_3 = iaB$ Para F_1 e F_3 ; $\phi=90^\circ$
 F_1 e F_3 não atuam sobre a mesma linha de ação. Há torque!
 O torque tenderá a alinhar \vec{n} .
 Em motores, i é invertida quando \vec{n} está prestes a se alinhar com \vec{B} .

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 10

Torque sobre uma bobina de corrente

Qual a **força total** e o **torque** sobre a espira?

Em relação ao eixo da espira, o torque tem um braço de alavanca: $(b/2) \sin \theta$
 O torque produzido por F_1 e F_3 vale

$\tau' = F_1 \sin \theta \frac{b}{2} + F_3 \sin \theta \frac{b}{2}$

$\tau' = iaB(\frac{b}{2} \sin \theta) + iaB(\frac{b}{2} \sin \theta)$

$\tau' = iabB \sin \theta$

$\tau' = iAB \sin \theta$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 11

Torque sobre uma bobina de corrente $\tau' = iAB \sin \theta$

Para uma BOBINA contendo N espiras o torque valerá:

$\tau = N \tau'$

$\tau = (NiA)B \sin \theta$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 12

O Dipolo Magnético

- Vimos que uma bobina, ao ser percorrida por uma corrente e submetida a um campo B, *se comporta como um ímã em forma de barra*.
- A bobina possui um **dipolo magnético**.
- Associamos um **momento magnético dipolar** $\vec{\mu}$ à bobina.
- Usaremos $\vec{\mu}$ para descrever o torque exercido por **B** sobre a bobina.
- O vetor $\vec{\mu}$ aponta na direção de **n** (regra da mão direita)
- O módulo de $\vec{\mu}$ é dado por:

$$\vec{\mu} = NiA \quad \text{Momento magnético} \quad [\mu] = [A \cdot m^2]$$
- A eq. para torque pode ser reescrita como:

$$\tau = NiAB \sin \theta \quad \tau = \mu B \sin \theta \quad \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 13

O Dipolo Magnético

- Na presença de **B**, um **dipolo magnético** possui uma **energia potencial magnética**.
- Eq. obtida em analogia com o caso de dipolos elétricos

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$
- $\theta = 0^\circ \rightarrow \vec{\mu}$ e **B** tem mesmo sentido $\rightarrow U_{\min} = -\mu B$
- $\theta = 180^\circ \rightarrow \vec{\mu}$ e **B** tem sentidos **opostos** $\rightarrow U_{\max} = +\mu B$
- Suponha que um torque faça um dipolo girar de θ_i para θ_f .
- O torque aplicado realiza trabalho sobre o dipolo.
- Se o dipolo permanece em repouso antes e depois de girar, o trabalho vale:

$$W_a = U_f - U_i$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

Exercício

A Fig. mostra uma bobina circular de 250 espiras, com uma área A de $2,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, percorrida por uma corrente de $100 \mu\text{A}$. A bobina está em repouso em um campo magnético uniforme de módulo $B = 0,85\text{T}$, com seu momento dipolar magnético $\vec{\mu}$ inicialmente alinhado com **B**.

(a) Qual é o sentido da corrente na bobina?

(b) Que trabalho o torque aplicado por uma agente externo teria que realizar sobre a bobina para fazê-la girar 90° em relação à orientação inicial, isto é, para tornar $\vec{\mu}$ perpendicular a **B** com a bobina novamente em repouso?

Resposta:

a) De cima para baixo.

b)

$$W_a = U_f - U_i \quad W_a = U_{90^\circ} - U_{0^\circ} \quad U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad U = -\mu B \cos \theta$$

$$U = -NiAB \cos \theta \quad W_a = 5,4 \mu\text{J}$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 15

Você já pode resolver os seguintes exercícios:

Capítulo 30: 2, 5, 6, 10, 12, 23, 27, 30, 31, 34, 36, 43, 46, 47, 48, 50, 53 e 67.

Capítulo 31: 8, 9, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 53 e 56.

Capítulo 32: 1, 2, 4, 5, 6, 9, 12, 19, 23, 24, 25, 26, 29, 34, 36, 37, 41 e 43.

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.

Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):

web: loos.prof.ufsc.br e-mail: marcio.loos@ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

loos.prof.ufsc.br

16
