

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).

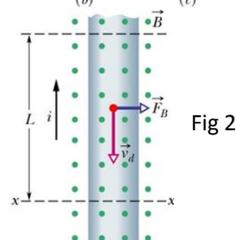
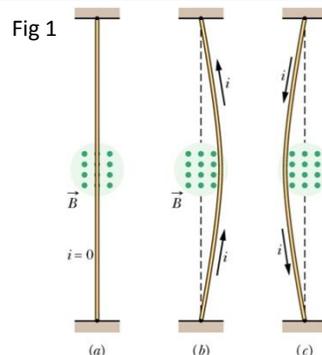
Elétrons livres se movem com velocidade \vec{v}_d oposta a corrente (Fig 2).

A força sobre o elétron vale $F_B = |q|vB$ 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 .



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: $F_B = |q|vB\text{sen}\phi$

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

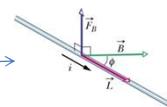
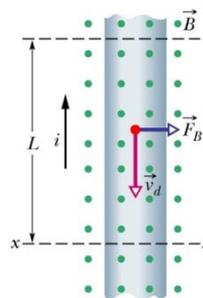
$$F_B = iLB$$

Força num fio de comprimento L . (B perp. a L)

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

Força sobre uma corrente. (B NÃO perp. a L)

L é um vetor apontando no sentido da corrente.



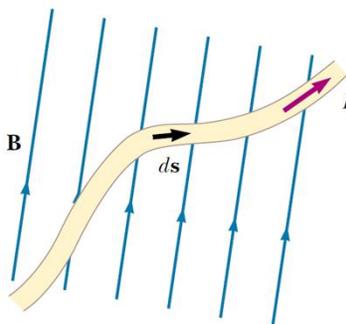
Força magnética sobre um fio transportando corrente

Para fios com forma arbitrária:

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

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

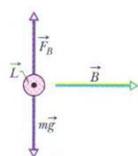
$$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B}$$



Exercício

Um fio horizontal retilíneo, feito de cobre, é percorrido por uma corrente $i = 28 \text{ A}$. 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 $46,6 \text{ g/m}$.

Resposta:



$$P = F_B$$

$$mg = LiB$$

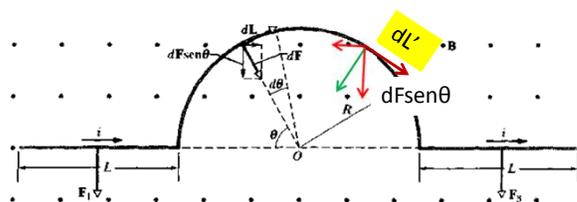
$$B = 1,6 \times 10^{-2} \text{ T}$$

Exercício

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

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

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:

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

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

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

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

$$F_2 = 2iBR$$

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

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

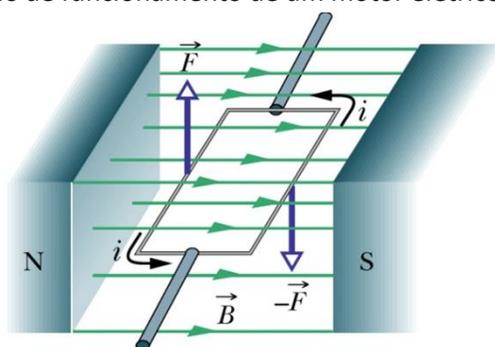
$$dF_2 = i dL B \sin\theta$$

Torque sobre uma bobina de corrente

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

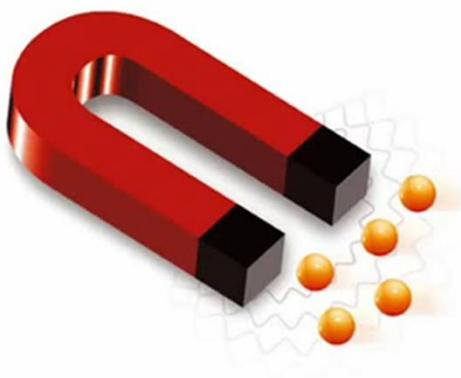
As forças magnéticas \vec{F} e $-\vec{F}$ produzem um torque.

Este é o princípio de funcionamento de um motor elétrico!



Torque sobre uma bobina de corrente

Como fazer um motor elétrico?



Torque sobre uma bobina de corrente

Fig a): uma espira de lados a e b , percorrida por uma corrente I , é submetida a \mathbf{B} .

Os lados 1 e 3 estão sempre perpendiculares à direção de \mathbf{B} .

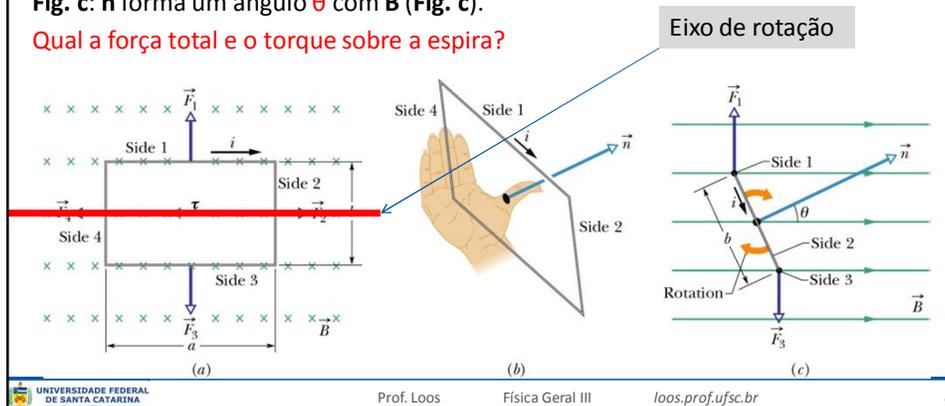
Os lados 2 e 4 podem se tornar paralelos a \mathbf{B} .

Definimos a orientação da espira através do vetor normal \mathbf{n} .

Direção de \mathbf{n} : dedos apontam para i e polegar para \mathbf{n} (**Fig. b**)

Fig. c: \mathbf{n} forma um ângulo θ com \mathbf{B} (**Fig. c**).

Qual a força total e o torque sobre a espira?



Torque sobre uma bobina de corrente

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

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

$$F_B = iL B \sin \phi$$

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

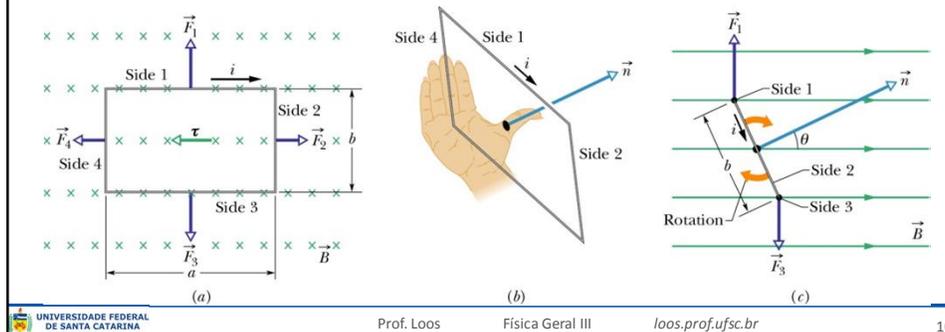
$$F_1 = F_3 = ia B$$

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 \mathbf{n} .

Em motores, i é invertida quando \mathbf{n} está prestes a se alinhar com \mathbf{B} .



Torque sobre uma bobina de corrente

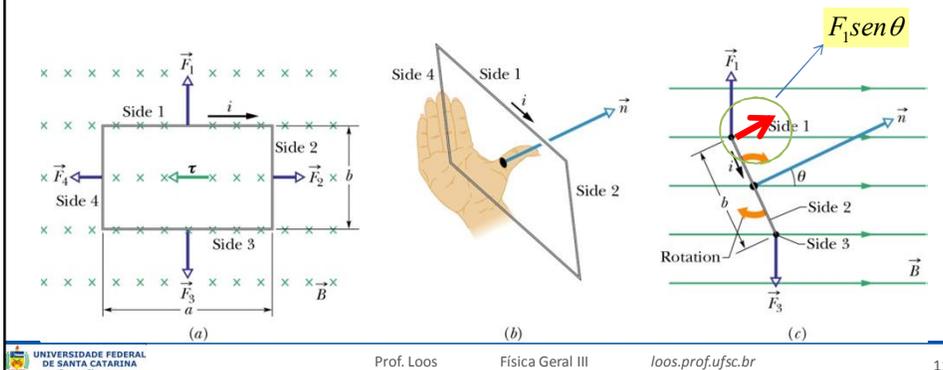
Qual a força total e o **torque** sobre a espira?

Em relação ao eixo da espira, o torque tem um braço de alavanca: $(b/2)\text{sen}\theta$

O torque produzido por F_1 e F_3 vale

$$\tau' = F_1 \text{sen}\theta \frac{b}{2} + F_3 \text{sen}\theta \frac{b}{2} \quad \tau' = iaB\left(\frac{b}{2}\text{sen}\theta\right) + iaB\left(\frac{b}{2}\text{sen}\theta\right)$$

$$\tau' = iabB\text{sen}\theta \quad \tau' = iAB\text{sen}\theta$$



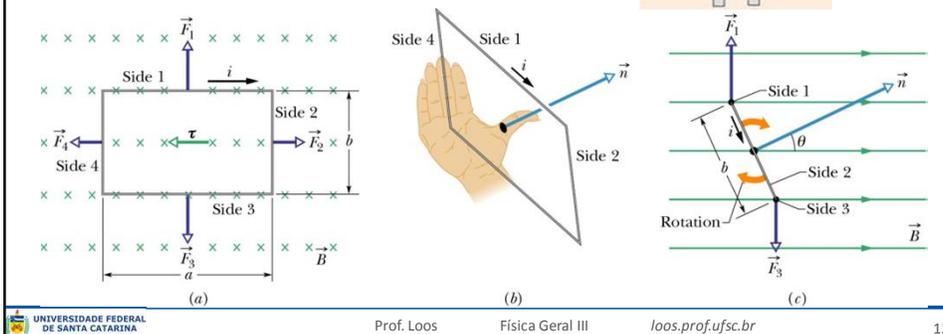
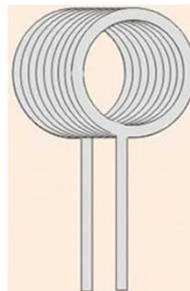
Torque sobre uma bobina de corrente

$$\tau' = iAB\text{sen}\theta$$

Para uma BOBINA contendo N espiras o torque valerá:

$$\tau = N\tau'$$

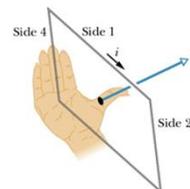
$$\tau = (NiA)B\text{sen}\theta$$



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** μ à bobina.
- “ Usaremos μ para descrever o torque exercido por B sobre a bobina.

- “ O vetor μ aponta na direção de n (regra da mão direita)



- “ O módulo de μ é dado por:

$$\vec{\mu} = NiA \quad \text{Momento magnético} \quad [\mu] = [A \cdot m^2]$$

- “ A eq. para torque pode ser reescrita como:

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

O Dipolo Magnético

- “ Na presença de B , um **dipolo magnético** possui uma **energia potencial magnética**.

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Eq. obtida em analogia com o caso de dipolos elétricos

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

- “ $\theta=0^\circ$ $\rightarrow \mu$ e B tem mesmo sentido $\rightarrow U_{\min} = -\mu B$
- “ $\theta=180^\circ$ $\rightarrow \mu$ 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:

$$W_a = U_f - U_i$$

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 μ inicialmente alinhado com \mathbf{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 μ perpendicular a \mathbf{B} com a bobina novamente em repouso?

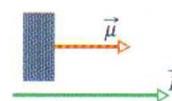
Resposta:

a) De cima para baixo.

b)

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

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



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