



Universidade Federal do ABC

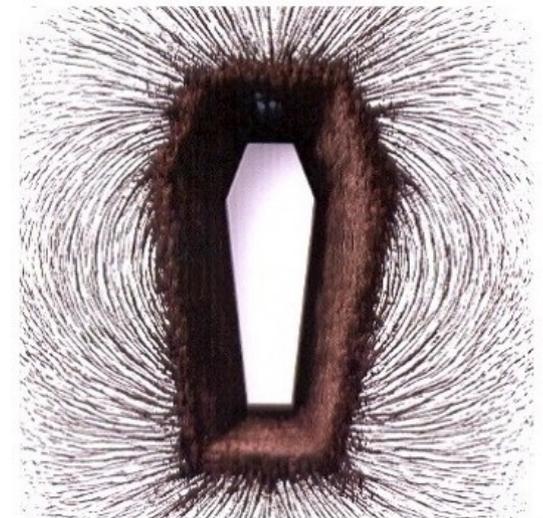
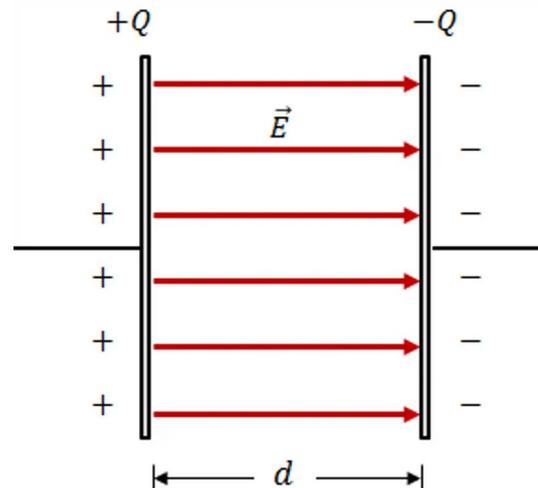
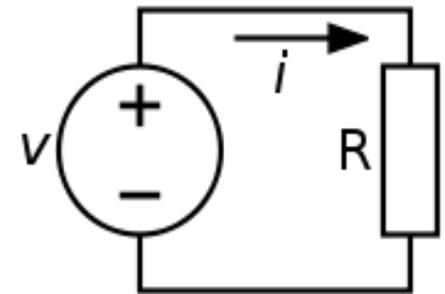
# Fenômenos Eletromagnéticos

12. Força magnética em um condutor transportando corrente, Torque em uma espira percorrida por corrente em um campo magnético uniforme

Prof. Pieter Westera

[pieter.westera@ufabc.edu.br](mailto:pieter.westera@ufabc.edu.br)

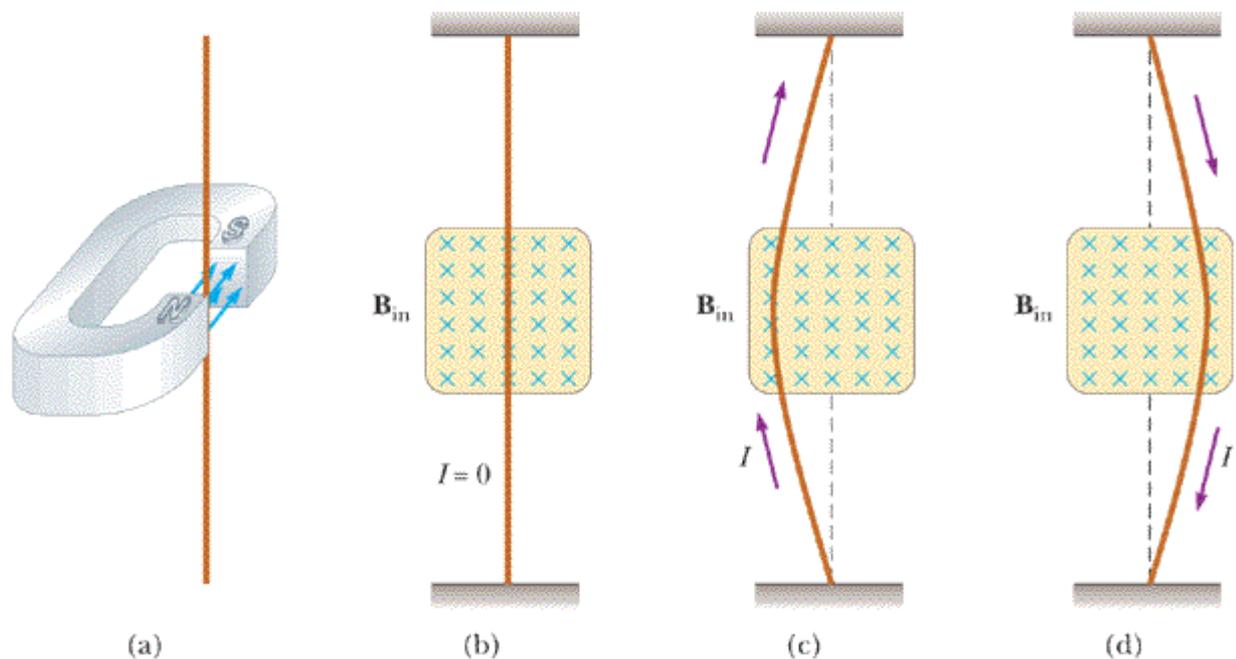
<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/EM.html>



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

Já que uma **corrente** é nada outro que **carga em movimento**, uma (condutor com) corrente deve **sofrer** uma **força** em um **campo magnético**.

Isto pode ser visto pendurando um **fio** entre as **faces** de um **ímã** e passando **corrente** por ele.



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

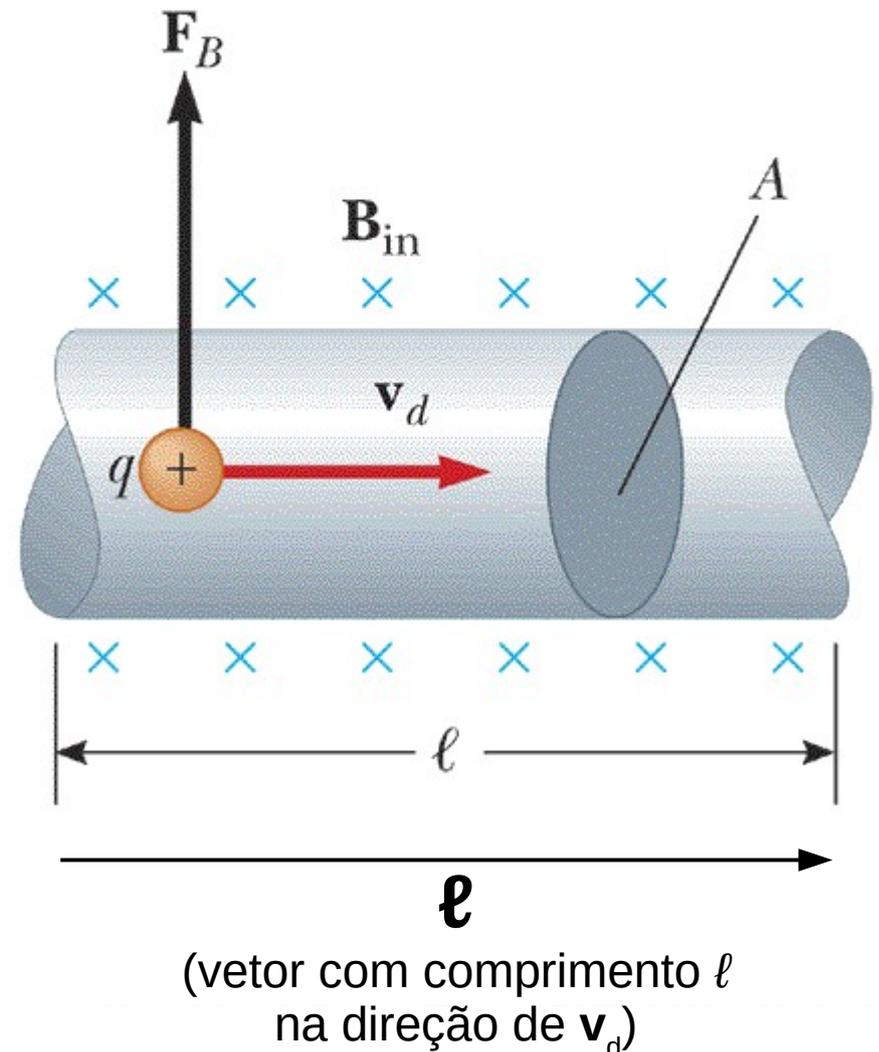
Quantificando a força magnética sobre um fio conduzindo corrente

Considerando um **fio reto** de **comprimento**  $\ell$  (a parte dentro do campo), **área transversal**  $A$  e **densidade**  $n$  de **portadores de carga**  $q$  percorrido por uma **corrente**  $I$  em um **campo magnético externo uniforme**  $\mathbf{B}$ .

A **força magnética** sobre um **portador de carga** é  $q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$

$$\Rightarrow \mathbf{F}_B = (q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B})nA\ell$$

$$\text{Mas } nqv_d A = I \Rightarrow \mathbf{F}_B = I\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B}$$



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

Quantificando a força magnética sobre um fio conduzindo corrente

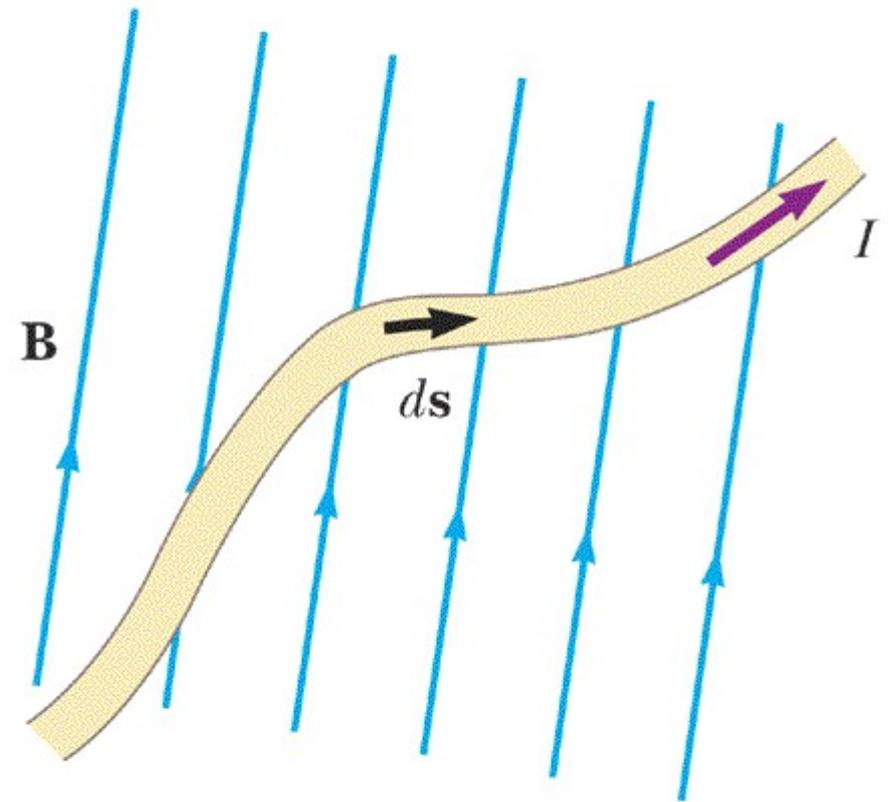
Se o **fio não** for **reto** e/ou o **campo não** for **uniforme**, temos que **dividir** o fio em **pedacinhos**  $ds$ :

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

Chamamos  $I d\mathbf{s}$  de **elemento de corrente**.

A **força** sobre a **parte** do **fio** entre dois pontos  $a$  e  $b$ :

$$\mathbf{F}_B = I \int_a^b d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$$



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Enigma Rápido 22.5

Qual é a **força magnética** sobre uma **espira fechada** de **corrente** em um **campo magnético uniforme**?

# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Enigma Rápido 22.5

Qual é a **força magnética** sobre uma **espira fechada** de **corrente** em um **campo magnético uniforme**?

**Resposta:**

**Zero**, já que qualquer **componente** em **uma direção** é **compensado** por **componentes opostos** em outro lugar da espira.

!!! A **força** total é **nula**, mas **pode** haver um **torque** ( $\Rightarrow$  vide mais pra frente nesta aula)

# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Pensando a Física 22.3

Na queda de um raio, a carga negativa desloca-se rapidamente de uma nuvem para o solo.

Em qual direção um raio é desviado pelo campo magnético da Terra?

# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Pensando a Física 22.3

Na queda de um raio, a carga negativa desloca-se rapidamente de uma nuvem para o solo.

Em qual direção um raio é desviado pelo campo magnético da Terra?

Resposta:

Raio negativo para baixo => corrente para cima

Campo terrestre para norte

=>  $I \mathbf{ds} \times \mathbf{B}$  é para oeste

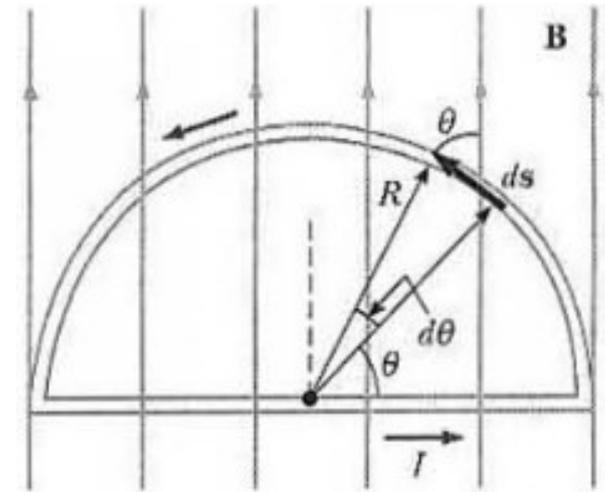
# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Exemplo 22.4 Força sobre um Condutor Semicircular

Um **fio curvado** no formato de um **semicírculo** de **raio  $R$**  forma um **circuito fechado** e conduz uma **corrente  $I$** .

O **circuito** está no **plano  $xy$**  e um **campo magnético uniforme** está presente ao longo do **eixo  $y$  positivo**, como nesta figura.

Encontre a **força magnética** sobre a **porção reta** do **fio** e sobre a **porção curva**.



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

## Exemplo 22.4 Força sobre um Condutor Semicircular

Solução:

Porção reta:

$$\mathbf{F}_1 = I\boldsymbol{\ell} \times \mathbf{B} = I\ell B = 2IRB \text{ saindo da tela.}$$

Porção curva:

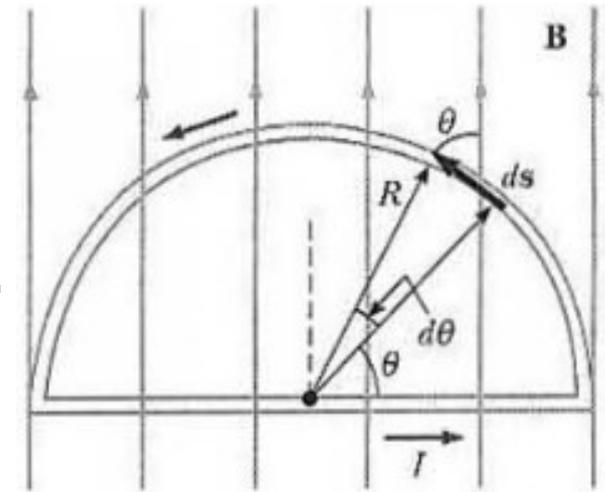
Definindo o ângulo  $\theta$  como na imagem:

$$d\mathbf{s} = ds(-\sin \theta, \cos \theta) = d\theta R(-\sin \theta, \cos \theta)$$

$$\Rightarrow d\mathbf{F}_2 = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B} = IBR \sin \theta d\theta \text{ entrando na tela}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \mathbf{F}_2 &= \int_0^\pi IBR \sin \theta d\theta = IBR \int_0^\pi \sin \theta d\theta \\ &= IBR [-\cos \theta]_0^\pi = IBR [1 - (-1)] = 2IBR \end{aligned}$$

na direção **entrando** na **tela**



# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

Exercício:

Calcule a magnitude da **força magnética** por **unidade** de **comprimento** exercida sobre um **condutor** conduzindo uma **corrente** de 22.0 A em uma região onde um **campo magnético uniforme** tem uma **magnitude** de 0.770 T e está direcionado **perpendicularmente** em relação ao **condutor**.

# Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

Exercício:

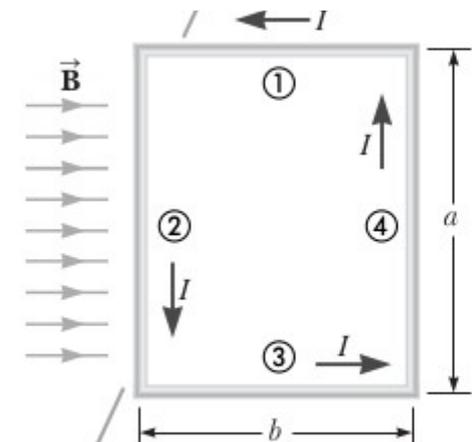
Calcule a magnitude da **força magnética** por **unidade** de **comprimento** exercida sobre um **condutor** conduzindo uma **corrente** de 22.0 A em uma região onde um **campo magnético uniforme** tem uma **magnitude** de 0.770 T e está direcionado **perpendicularmente** em relação ao **condutor**.

Resposta:

$$F_B/\ell = |\mathbf{I}\ell \times \mathbf{B}|/\ell = I\ell B/\ell = IB = 16.9 \text{ N/m}$$

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Considerando esta **espira retangular** com os lados  $a$  e  $b$ , **imerso** em um **campo magnético  $\mathbf{B}$** , tal que  $\mathbf{a} \perp \mathbf{B}$  e  $\mathbf{b} \parallel \mathbf{B}$ , e **conduzindo a corrente  $I$**  como na figura.

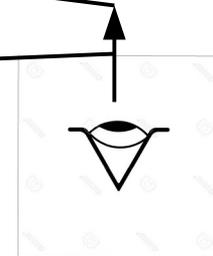
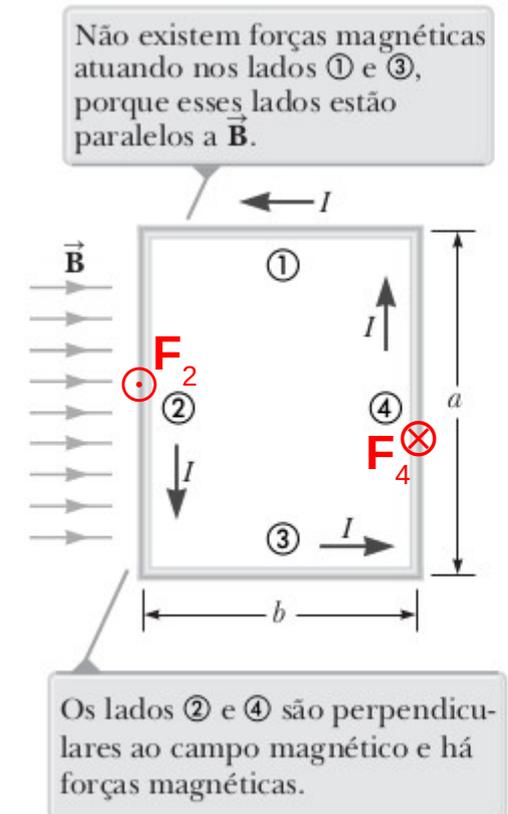
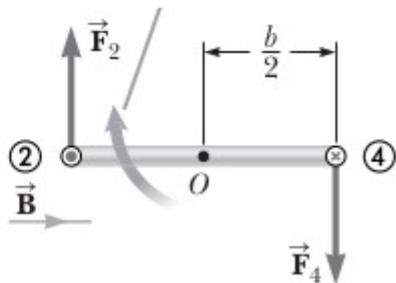


# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Já que os **lados  $b$**  são **paralelos** ao **campo**, este **não** aplica **força** nestes lados,  $F_1 = F_3 = 0$ .

Nos **lados  $a$** , o **campo aplica** as **forças  $F_2$  e  $F_4$**  com módulo  $IaB$  nas direções mostrados no desenho.

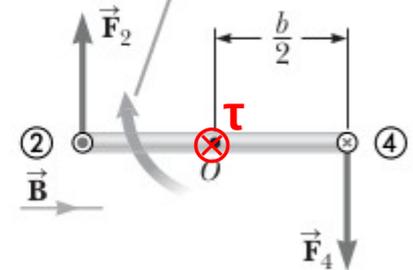
Visto “de baixo para cima”:



# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

As forças  $F_2$  e  $F_4$  se cancelam, mas têm linhas de ação diferentes.  
=> Os torques devidos a elas não se cancelam, o campo aplica um torque na espira.

As forças magnéticas  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_4$  exercidas em lados ② e ④ criam um torque que tende a girar a espira no sentido horário.



## Calculando o Torque

Escolhendo o eixo  $\parallel$  aos lados  $a$  e passando por  $O$ :

$\tau = \tau_2 + \tau_4 = -F_2 b/2 + -F_4 b/2 = -(IaB)b/2 - (IaB)b/2 = -IabB$ , isto é,  $IabB$  no sentido horário.

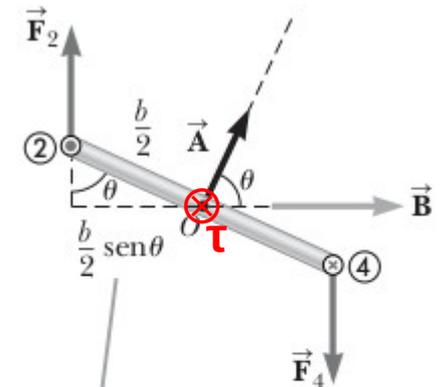
Mas  $ab$  é a área da espira,  $A$ :  $\tau = IAB$  no sentido horário.

Isto vale para espiras de forma não-retangular também.

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

E após um tempo, quando a **espira** faz um **ângulo**  $\theta$  com o **campo**?

Agora as **forças**  $F_1$  e  $F_3$  **não** são **nulas**, mas se **cancelam** e têm a **mesma linha de ação** (o eixo), então **não** aplicam **torque**.  $F_2$  e  $F_4$  são **iguais** como **antes**, mas as **linhas de ação mudaram**.



Quando a normal à espira forma um ângulo  $\theta$  com o campo magnético, o braço do momento para o torque é  $(b/2) \sin \theta$ .

$$\begin{aligned} \Rightarrow \tau &= \tau_2 + \tau_4 = -F_2 b \sin \theta / 2 + -F_4 b \sin \theta / 2 \\ &= -(IaB) b \sin \theta / 2 - (IaB) b \sin \theta / 2 = -IAB \sin \theta, \end{aligned}$$

isto é,  $IAB \sin \theta$  no sentido horário.

Assim, a orientação do slide anterior ( $\theta = 90^\circ$ , **plano** da espira **|| B**) resulta no **torque máximo**:  $\tau_{\text{máx}} = IAB$

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

$\tau = IAB\sin\theta$  no sentido horário.

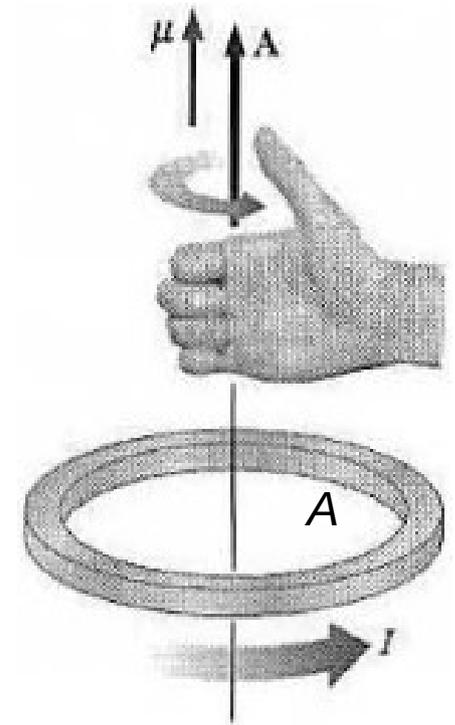
Representando a área pelo vetor **A**, o sentido definido pelo sentido da corrente, este torque pode ser escrito como:

$$\boldsymbol{\tau} = I\mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

A grandeza  $I\mathbf{A}$  definimos como momento de dipolo magnético da espira:

$$\boldsymbol{\mu} \equiv I\mathbf{A} \quad [\mu] = \text{Am}^2$$

$$\text{Assim, } \boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$$



Regra da mão direita para determinar a direção de **A** e **μ** para uma espira conduzindo corrente

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Em uma bobina de  $N$  voltas, o momento de dipolo magnético é aquele somada sobre todas as voltas, ou seja,  $N$  vezes maior:

$$\mu = NIA,$$

$$\tau = \mu \times \mathbf{B} = NIA \times \mathbf{B}$$



Este torque é importante em eletromotores e geradores.



# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Exemplo 22.5 O Momento Magnético de uma Bobina e o Torque sobre Ela

Uma bobina retangular de dimensões  $5.40 \text{ cm} \times 8.50 \text{ cm}$  consiste em 25 espiras. A bobina conduz uma corrente de  $15.0 \text{ mA}$ .

(a) Calcule o módulo de seu momento magnético.

(b) Suponha que um campo magnético uniforme de magnitude  $0.350 \text{ T}$  é aplicado paralelamente ao plano da espira.

Qual é o módulo do torque atuando sobre a espira?

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Exemplo 22.5 O Momento Magnético de uma Bobina e o Torque sobre Ela

Uma bobina retangular de dimensões 5.40 cm × 8.50 cm consiste em 25 espiras. A bobina conduz uma corrente de 15.0 mA.

- (a) Calcule o módulo de seu momento magnético.
- (b) Suponha que um campo magnético uniforme de magnitude 0.350 T é aplicado paralelamente ao plano da espira.

Qual é o módulo do torque atuando sobre a espira?

**Solução:**

(a)  $\mu = NIA = 1.72 \cdot 10^{-3} \text{ Am}^2$

(b)  $\tau = \tau_{\text{máx}} = \mu B = NIAB = 6.02 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

## Exercício

Demonstre que as **unidades** de **torque**,  $\text{Am}^2\text{T}$ , se **reduzem** a  $\text{Nm}$ .

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

## Exercício

Demonstre que as **unidades** de **torque**,  $\text{Am}^2\text{T}$ , se **reduzem** a  $\text{Nm}$ .

**Solução:**

$$\text{Am}^2\text{T} = \text{C/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Ns/Cm} = \text{Nm}$$

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

## Exercício

Calcule a **magnitude** do **torque** sobre a **bobina** quando o **campo magnético** de 0.350 T faz um **ângulo** de

(a)  $60.0^\circ$  e

(b)  $0^\circ$

com  $\mu$  ( $\mu = 1.72 \cdot 10^{-3} \text{ Am}^2$ ).

# Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

## Exercício

Calcule a **magnitude** do **torque** sobre a **bobina** quando o **campo magnético** de 0.350 T faz um **ângulo** de

(a)  $60.0^\circ$  e

(b)  $0^\circ$

com  $\mu$  ( $\mu = 1.72 \cdot 10^{-3} \text{ Am}^2$ ).

## Resposta:

(a)  $\tau = \mu B \sin 60,0^\circ = 5.21 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$

(b)  $\tau = \mu B \sin 0^\circ = \text{zero}$



Universidade Federal do ABC

# Fenômenos Eletromagnéticos

## FIM PRA HOJE

