



Universidade Federal do ABC

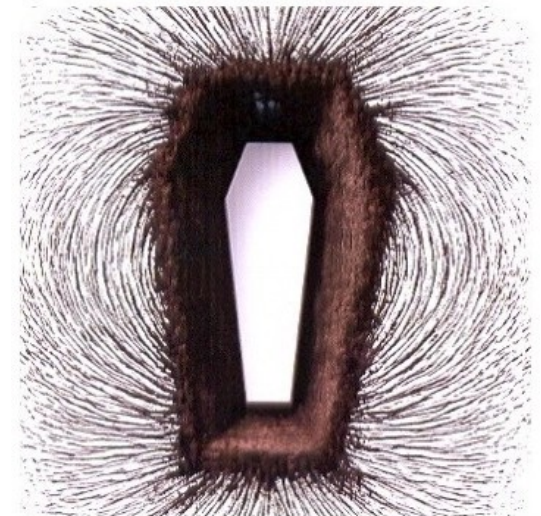
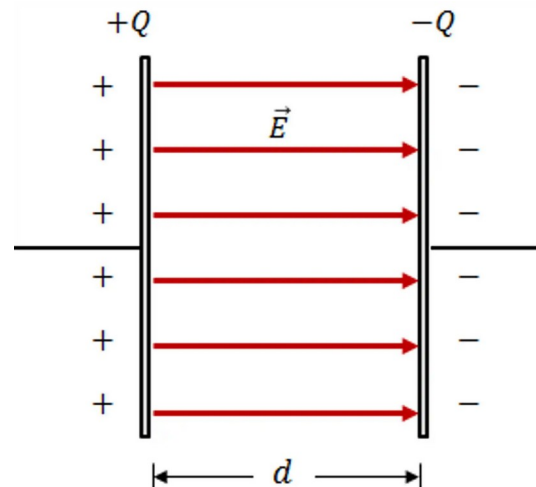
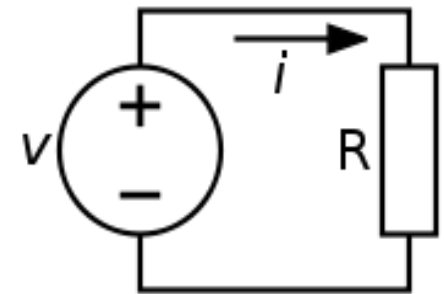
Fenômenos Eletromagnéticos

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

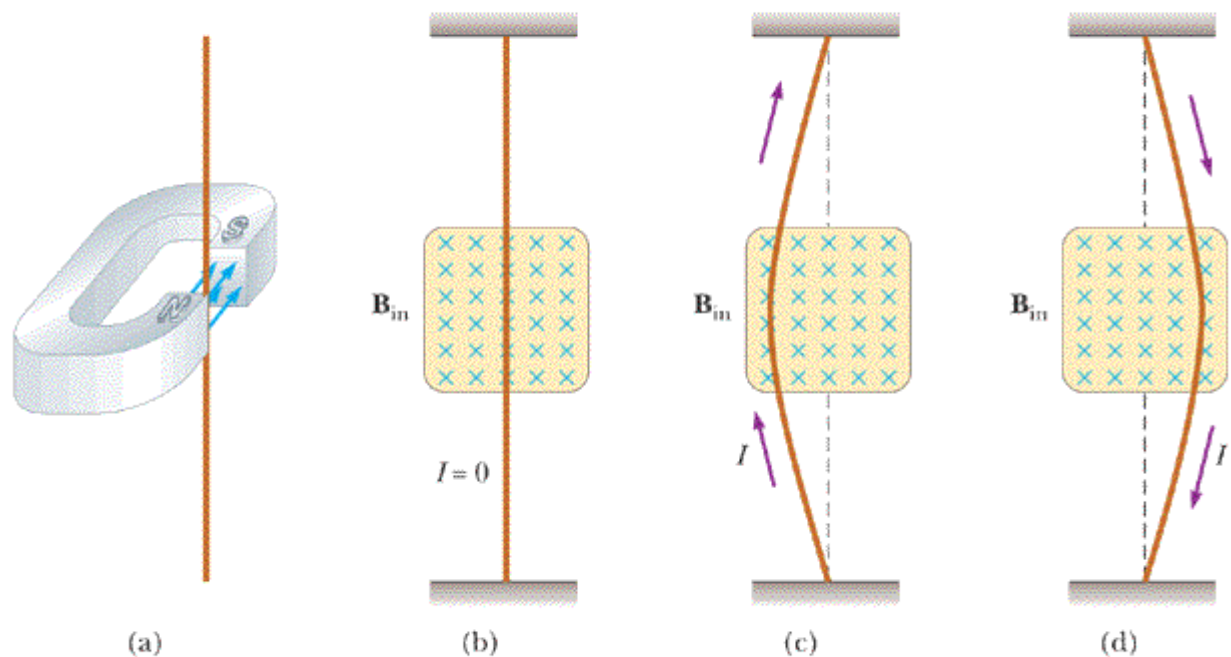
<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/EM.html>



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

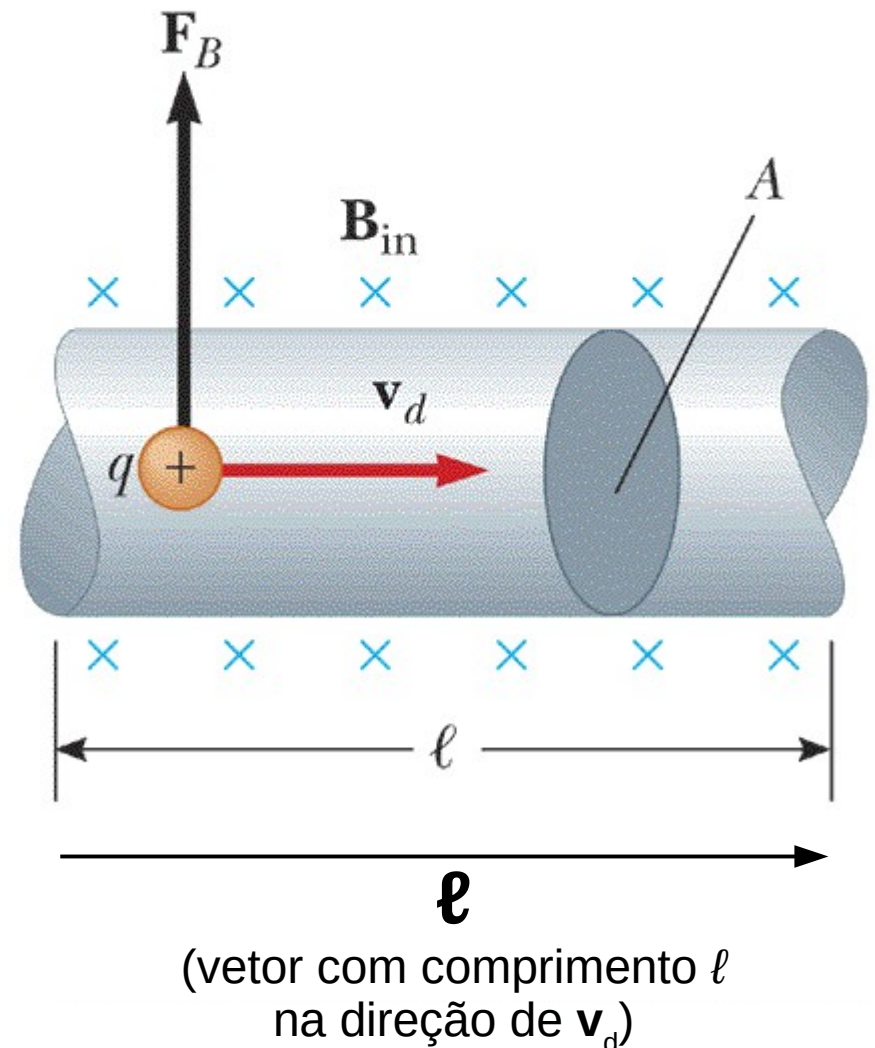
Quantificando a força magnética sobre um fio conduzindo corrente

Considerando um **fio reto** de **comprimento** ℓ (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

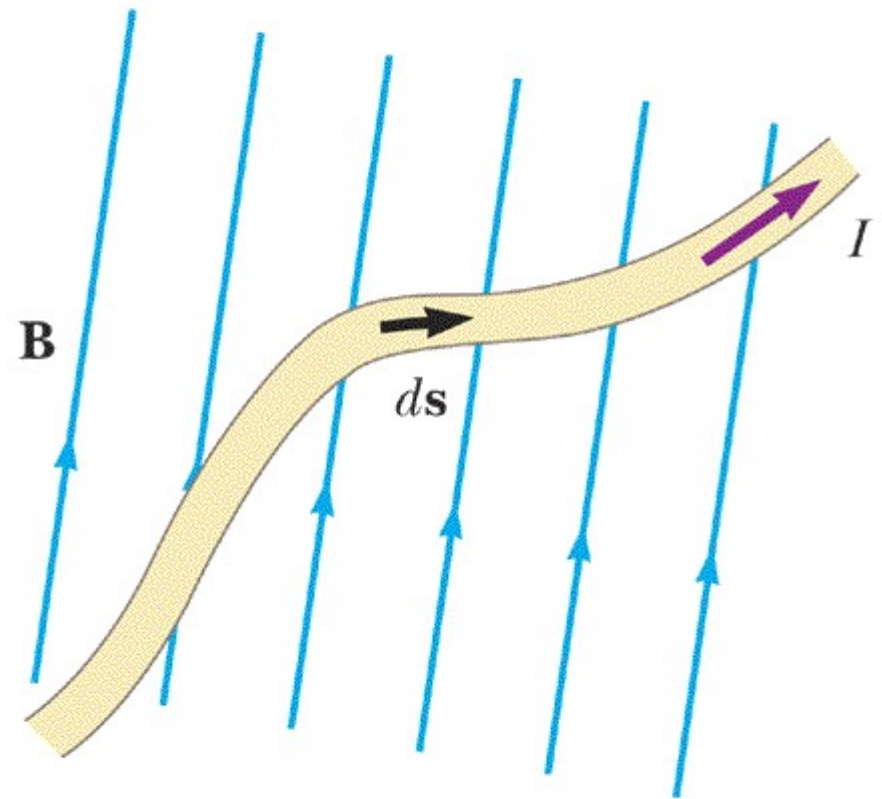
Se o **fio não** for **reto** e/ou o **campo não** for **uniforme**, temos que **dividir** o fio em **pedacinhos** ds :

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

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** (=> 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

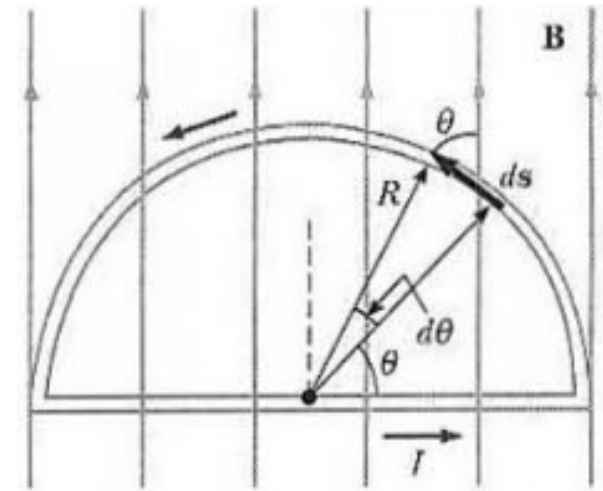
Força Magnética sobre um Condutor com Corrente

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 θ como na imagem:

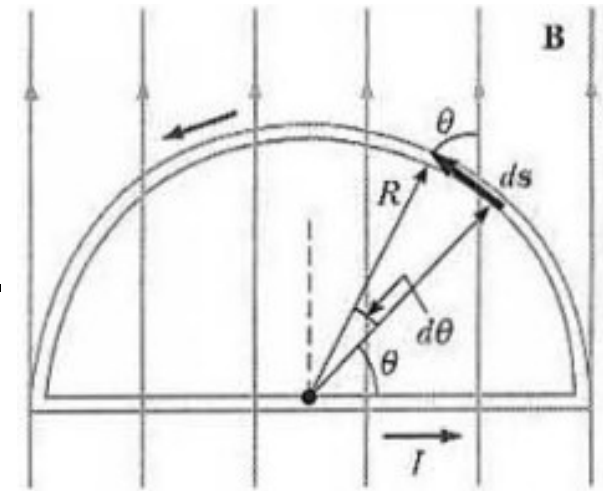
$$d\mathbf{s} = ds(-\sin \theta, \cos \theta) = d\theta R(-\sin \theta, \cos \theta)$$

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

$$\Rightarrow \mathbf{F}_2 = \int_0^\pi IBR \sin \theta d\theta = IBR \int_0^\pi \sin \theta d\theta$$

$$= IBR [-\cos \theta]_0^\pi = IBR [1 - (-1)] = 2IBR$$

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:

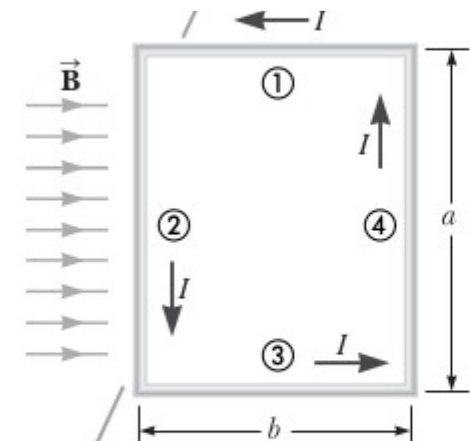
Calcule a magnitude da **força magnética** por **unidade** de **comprimento** exercida sobre um **condutor** conduzindo uma **corrente** de 22.0 A em uma região onde um **campo magnético uniforme** tem uma **magnitude** de 0.770 T e está direcionado **perpendicularmente** em relação ao **condutor**.

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.

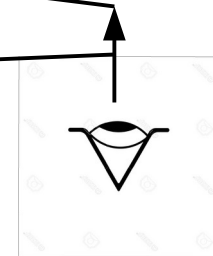
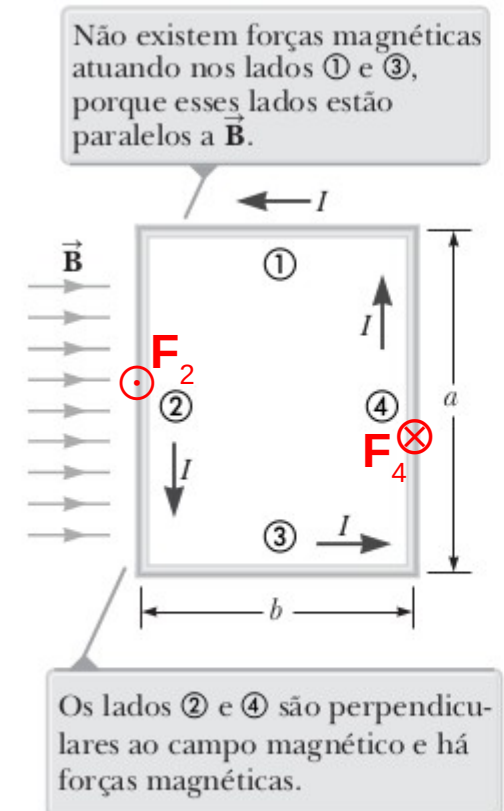
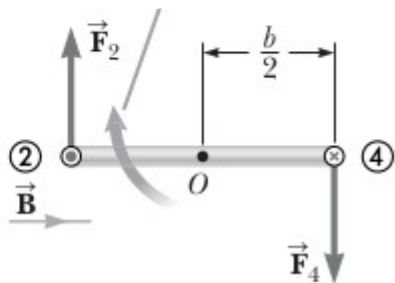


Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

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.

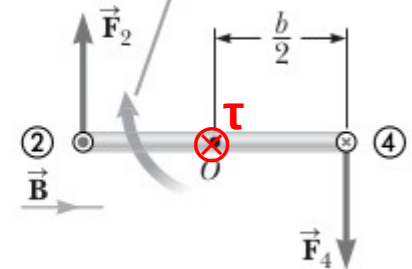
Visto “de baixo para cima”:



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.

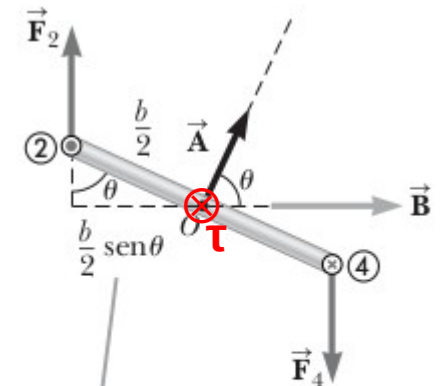
Mas ab é a área da espira, A : $\tau = IAB$ no sentido horário.

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** θ 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 θ 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.

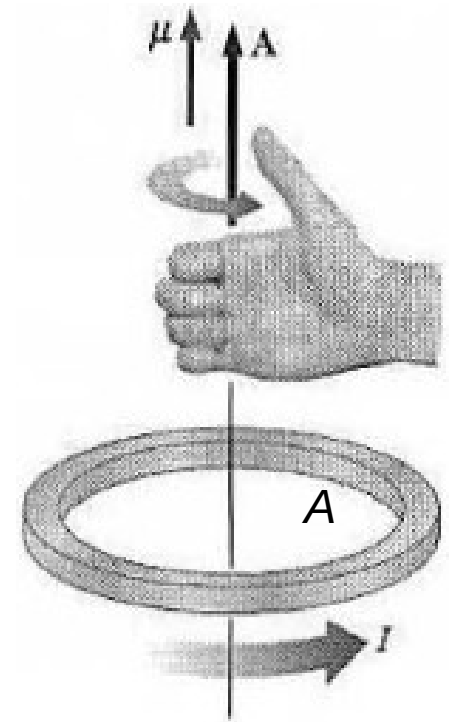
Representando a área pelo vetor \mathbf{A} , o sentido definido pelo sentido da corrente, este torque pode ser escrito como:

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

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 \mathbf{A} e $\boldsymbol{\mu}$ 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 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?

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**, Am^2T , se **reduzem** a Nm .

Torque sobre uma Espira de Corrente em um Campo Magnético Uniforme

Exercício

Demonstre que as **unidades** de **torque**, Am^2T , se **reduzem** a 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° e

(b) 0°

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

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° e

(b) 0°

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

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

