

# Campo magnético

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

27 de Março de 2021

# Sumário

- 1 Magnetismo e campo magnético
- 2 Força magnética e corrente elétrica
- 3 Motor elétrico
- 4 Apêndice

## História do magnetismo

As primeiras observações de fenômenos magnéticos surgiram na região da Magnésia (Ásia menor), onde existia um tipo de âmbar constituída por óxido de ferro que era capaz de atrair pequenos pedaços de ferro.

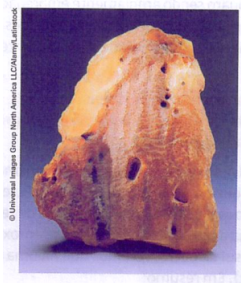


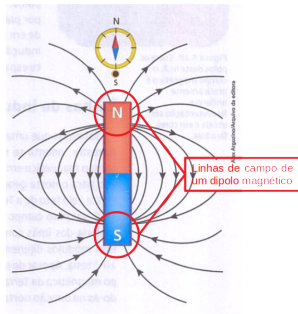
Foto de um âmbar.



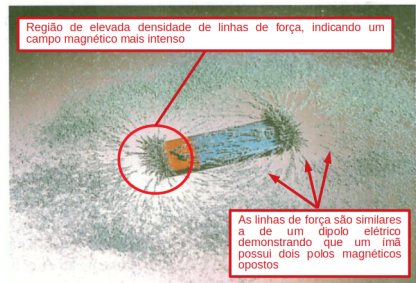
Localização da Magnésia na Grécia.

## Linhas de indução e campo magnético

De maneira semelhante ao campo elétrico, podemos também representar o campo magnético por meio de linhas de força chamadas **linhas de indução**.



Linhas de indução em um ímã.

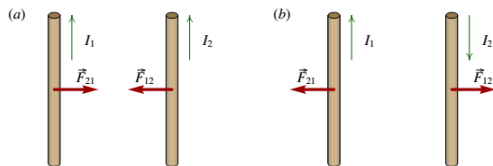


Regiões de baixa e elevada concentração de linhas de indução de campo magnético.

## A relação entre eletricidade e magnetismo

### Corollary

*Quando duas cargas elétricas estão em movimento, manifestam-se entre elas, além da força eletrostática, uma outra força, denominada força magnética.*



Força magnética entre dois fios [4].

### Corollary

*A força magnética que atua entre duas cargas possui direção perpendicular ao movimento delas.*

## A força de Lorentz

Hendrik Lorentz verificou que o módulo da força magnética  $F_B$  depende da carga elétrica  $q$  e da velocidade da carga elétrica, de modo que

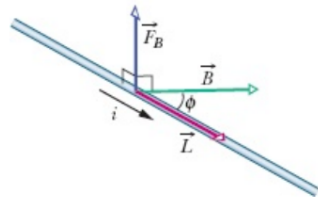
$$F_B \propto q,$$

$$F_B \propto v,$$

$$F_B \propto \sin(\theta),$$

Juntando essas características em uma equação teremos

$$F_B \propto qv \sin(\theta).$$



Orientações da força magnética, deslocamento das cargas e campo magnético.

## Representação vetorial da força de Lorentz

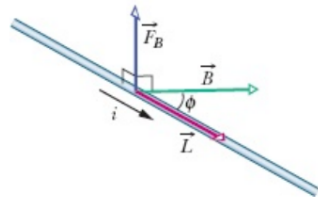
A relação anterior escrita na forma de uma equação matemática nos fornece

$$F_B = qvB\sin(\theta),$$

ou expressa na forma vetorial teremos

$$\boxed{\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}.}$$

B é a constante de proporcionalidade definida como a intensidade do campo magnético  $\vec{B}$ .



Orientações da força magnética, deslocamento das cargas e campo magnético.

## Trabalho realizado pela força de Lorentz

Caso a partícula esteja imersa em um campo elétrico (além do campo magnético), a expressão geral da força de Lorentz é a soma vetorial da força elétrica devido a ação do campo elétrico somado a força magnética atuando na **partícula em movimento** devido ao campo magnético,

$$\vec{F} = q [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}].$$

Cada trabalho infinitesimal realizado por

uma força é dado por  $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ , teremos assim

$$dW = q [\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \cdot d\vec{r},$$

$$dW = q\vec{E} \cdot d\vec{r} + \underbrace{(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{r}}_{(\vec{v} \times \vec{B}) \perp d\vec{r} = 0},$$

$$dW = q\vec{E} \cdot d\vec{r}.$$

Logo podemos concluir que a força magnética não realiza trabalho sobre a carga em movimento.



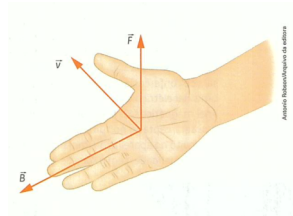
## Orientação da força magnética e a regra da mão direita

Características da força magnética (força de Lorentz):

Módulo:  $F_B = qvB\sin(\theta)$ ,

Direção:  $\vec{F}_B$  é perpendicular a  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ ,

Sentido: Dado pela regra da mão direita.



Regra da mão direita.

### Corollary

Se a carga  $q$  for **negativa**, o **sentido da força magnética** será **contrário** àquele observado pela carga positiva.

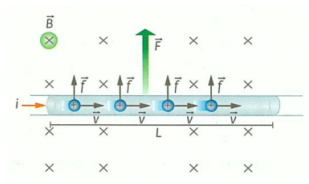
## Força magnética sobre uma corrente

Considere um trecho infinitesimal  $dL$  de um fio condutor de seção reta  $A$  percorrido por uma corrente elétrica  $i$ . A força de Lorentz  $\vec{f}_B$  atuando em cada portador de carga em movimento é dado por

$$\vec{f}_B = ne\vec{v} \times \vec{B}.$$

Como já foi demonstrado, a densidade de corrente nesse fio é dado por  $\vec{J} = ne\vec{v}$ . Podemos definir a força por unidade de volume do fio como

$$\vec{f}_B = \vec{J} \times \vec{B}.$$



Força magnética  $\vec{f}_B$  atuando em cada portador de carga em movimento no interior do fio condutor.

## Força magnética sobre uma corrente

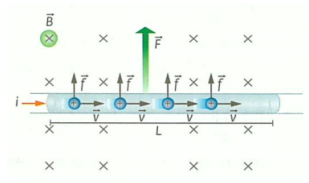
A força total  $d\vec{F}_m$  exercida sobre os elétrons contidos no volume  $AdL$  referente ao trecho  $dL$  do fio é dado por pela soma da força  $\vec{f}_m$  atuando em cada elétron, ou seja,

$$d\vec{F}_B = (AdL)\vec{f}_B,$$

$$d\vec{F}_B = (AdL)\vec{J} \times \vec{B}.$$

Mas sabemos que  $i = JA$ , portanto chegamos a

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

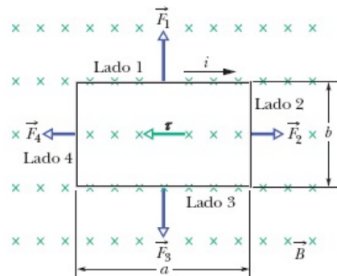


Força magnética  $\vec{f}_B$  atuando em cada portador de carga em movimento no interior do fio condutor.

## Torque em uma espira percorrida por corrente

Quando uma corrente percorre uma espira retangular como mostra a figura ao lado, podemos observar que

- ✓ Uma força magnética perpendicular ao eixo da espira irá atuar nos trechos paralelos ao seu eixo;
- ✓ Uma força magnética paralela ao eixo da espira irá atuar nos trechos perpendiculares ao seu eixo;
- ✓ Cada força perpendicular ao eixo da espira irá produzir um torque capaz de girar a espira ao redor do seu eixo.



Espira retangular fechada  
imersa em um campo  
magnético.

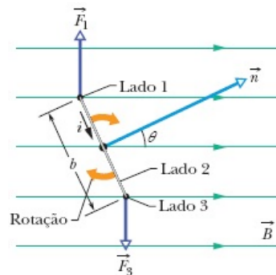
## Torque em uma espira percorrida por corrente

Pela definição de torque temos  $\tau = rF\text{sen}\theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre o raio de giro e a força responsável pelo torque. Observando a figura podemos perceber que  $r = \frac{b}{2}$  e  $\theta$  é o ângulo entre o vetor normal da espira  $\vec{n}$  e  $\vec{B}$ . Portanto, os torques atuando na espira são dados por

$$\tau_1 = \left(\frac{b}{2}\right) \overbrace{iaB}^{F_1} \text{sen}(\theta),$$

$$\tau_2 = \left(\frac{b}{2}\right) iaB \text{sen}(\theta),$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = iabB \text{sen}\theta.$$



Rotação da espira devido ao torque das forças  $F_1$  e  $F_2$ .

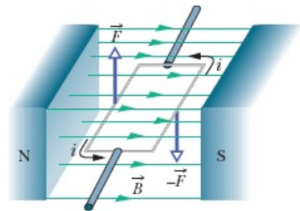
## Torque em uma espira percorrida por corrente

Caso a espira única seja constituída por uma bobina de  $N$  espiras, o torque total é a soma dos torques individuais de cada espira,

$$\tau = N(iabB\sin\theta),$$

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

A é a área da espira (**sendo de qualquer formato**). O termo entre parêntesis é chamado de momento magnético dipolar e está diretamente relacionado com as propriedades da bobina (número de espiras, corrente e área).



Corrente elétrica percorrendo uma espira em um campo magnético.

## Transformar um número em notação científica

### Corollary

*Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.*

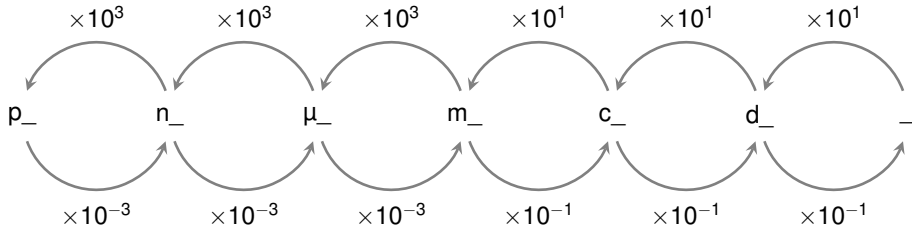
*Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.*

*Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.*

### Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

## Conversão de unidades em uma dimensão



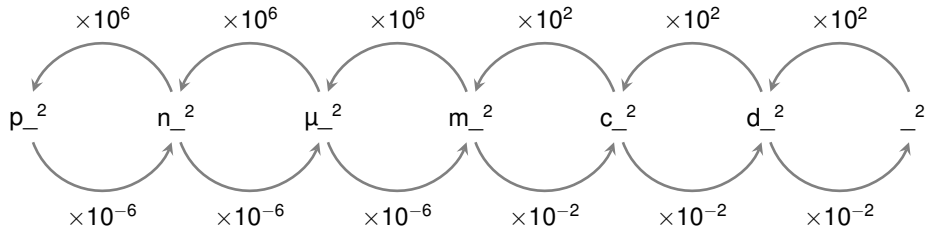
$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ g} = 2,5 \times 10^{(1) \times 3} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^3 \text{ mg}$$

$$10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{[(-3) \times 1 + (-1) \times 3]} \text{ C} \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ C}$$



## Conversão de unidades em duas dimensões

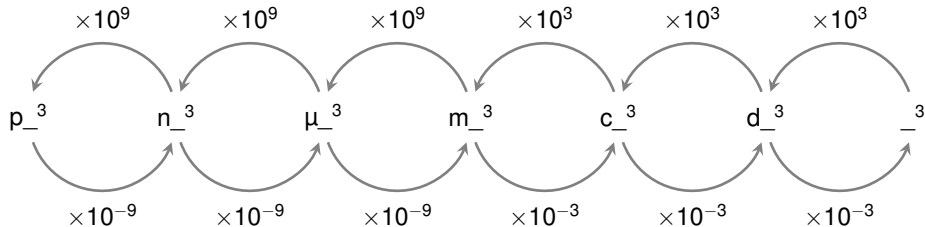


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \mu\text{m}^2 = 10 \times 10^{[(-6) \times 1 + (-2) \times 3]} \text{ m}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

## Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$





$$10 \mu\text{m}^3 = 10 \times 10^{[(-9) \times 1 + (-3) \times 3]} \text{ m}^3 \rightarrow 10 \times 10^{-18} \text{ m}^3$$

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$
Beta	$B$	$\beta$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$
Delta	$\Delta$	$\delta$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$
Zeta	$Z$	$\zeta$
Eta	$H$	$\eta$
Teta	$\Theta$	$\theta$
Iota	$I$	$\iota$
Capa	$K$	$\kappa$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$
Mi	$M$	$\mu$

Ni	$N$	$\nu$
Csi	$\Xi$	$\xi$
ômicon	$O$	$o$
Pi	$\Pi$	$\pi$
Rô	$P$	$\rho$
Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Tau	$T$	$\tau$
Ípsilon	$\Upsilon$	$\upsilon$
Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Qui	$X$	$\chi$
Psi	$\Psi$	$\psi$
Ômega	$\Omega$	$\omega$

## Referências e observações<sup>1</sup>

-  D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de física. Eletromagnetismo, v.3, 10. ed., Rio de Janeiro, LTC (2016)
-  R. D. Knight, Física: Uma abordagem estratégica, v.3, 2nd ed., Porto Alegre, Bookman (2009)
-  H. M. Nussenzveig, Curso de física básica. Eletromagnetismo, v.1, 5. ed., São Paulo, Blucher (2014)
-  <https://pt.m.wikipedia.org/wiki/>

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>

---

<sup>1</sup> Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.