

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Campus Blumenau

## Física Geral III

Aula Teórica 14 (Cap. 30 parte 1/2):

- 1) O campo magnético
- 2) Definição de campo magnético
- 3) Linhas de campo magnético
- 4) Movimento de uma partícula carregada num campo magnético uniforme
- 5) Garrafa magnética
- 6) Aurora

Prof. Marcio R. Loos

---

---

---

---

---

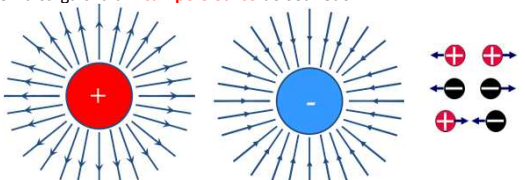
---

---

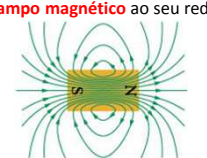
---

### O Campo Magnético

- Uma carga cria um **campo elétrico** ao seu redor:



- Um ímã produz um **campo magnético** ao seu redor:



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

---

---

---

---

---

---



---

---



### O Campo Magnético

Existem vários tipos de ímãs:

- **Ímãs permanentes:**



- **Eletroímãs:**



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

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ímã gigante**



BigBite é um Eletroímã de 50 ton com um gap de 25 cm por 100 cm

$B = 1 \text{ Tesla}$

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

---

---

---

---

---

---

---

---

**Ímã gigante**



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

---

---

---

---

---

---

---

---

**O Campo Magnético**

- De onde surge o campo elétrico?  
...de cargas elétricas!
- De onde surge o campo magnético?  
...de cargas magnéticas? Monopólos magnéticos?

**Não!**

- **O campo magnético surge de cargas elétricas em movimento.**
- Independente de sua velocidade, q cria um campo elétrico.
- q só criará um campo magnético se velocidade >0.
- É fácil imaginar cargas em movimento num fio elétrico (eletroímãs).

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

---

---

---

---

---

---

---

---

### O Campo Magnético

- E quanto ao ímã permanente? Onde estão elas?
- São os elétrons! Estão nos átomos de ferro que formam o ímã.
- Elétrons tem um campo magnético intrínseco.
- Em alguns materiais, o campo criado pelos elétrons se soma para criar um campo magnético líquido...
- ...em outros materiais os campos intrínsecos se cancelam

Cargas em movimento criam um campo magnético

➔

Um campo magnético exerce uma força magnética sobre cargas em movimento

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Definição de Campo Magnético

- Vamos relembrar a definição do campo elétrico E:

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### O Campo Elétrico

- O campo elétrico existe na região espacial ao redor do **objeto carregado**.
- Conceito de **carga-teste**:
  - Pequena e positiva
  - Não afeta a distribuição de cargas do objeto (isto afetaria E).
  - Colocamos  $q_0$  em um ponto P próximo ao objeto carregado
  - Medimos a força eletrostática que atua sobre  $q_0$
  - O campo elétrico no ponto P (onde está  $q_0$ ) é dado por:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$

Força por unidade de carga!

- A existência de um campo elétrico é uma propriedade de sua fonte.
- A presença de uma carga-teste não é necessária para a existência do campo.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Definição de Campo Magnético

- Carga-teste (q) e campo elétrico:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q}$
- Monopolo teste (p) e campo magnético ?  $\vec{B} = \frac{\vec{F}_B}{p}$

Polos magnéticos são sempre encontrados aos pares.

Define-se  $\vec{B}$  em algum ponto em termos da força magnética  $\vec{F}_B$  que  $\vec{B}$  exerce em uma partícula carregada com velocidade  $\vec{v}$ .

A magnitude de  $\vec{F}_B$  é proporcional à carga q e à velocidade v da partícula.

$\vec{F}_B = 0$  quando a partícula carregada se move paralela ao vetor campo magnético.

Quando a velocidade faz um ângulo  $\phi \neq 0$  com o campo magnético,  $\vec{F}_B$  é perpendicular a ambos,  $\vec{B}$  e  $\vec{v}$ .

$\vec{F}_B$  em uma carga positiva é oposto ao  $\vec{F}_B$  em uma carga negativa.

A magnitude  $F_B$  é proporcional ao  $\text{sen}\phi$ .

$F = qvB \sin \phi$   
 $v_{\perp} = v \sin \phi$

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

---

---

---

---

---

---

---

---

### Definição de Campo Magnético

- Força magnética  $\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$  Definição de campo magnético
- A magnitude da força magnética vale:  $F_B = |q|vB \text{sen}\phi$
- O que acontece se...?
  - q=0
  - v=0
  - v//B ( $\phi=0$  ou  $180^\circ$ )
  - v perp. B ( $\phi=90^\circ$ )
  - $\vec{v} \times \vec{B}$  fornece um vetor perpendicular a v e B.
- A regra da mão direita determina a direção da força magnética.

Regra da mão direita: O polegar da mão direita aponta na direção de  $\vec{v} \times \vec{B}$  quando os outros dedos apontam de v para B. Para -q,  $\vec{F}_B$  aponta no sentido oposto ao polegar (mão esquerda!).

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

---

---

---

---

---

---

---

---

### Definição de Campo Magnético

$\vec{F}_E = q \vec{E}$  ↔  $\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$

- A força elétrica atua ao longo da direção do campo elétrico.
- A força magnética é perpendicular ao campo magnético.
- A força elétrica age em uma partícula carregada esteja ela em movimento ou não.
- A força magnética age em uma partícula carregada apenas quando esta se move.
- A força elétrica realiza trabalho ao deslocar uma carga.
- A força magnética não realiza trabalho ao deslocar uma partícula.
- A componente de  $\vec{F}_B$  na direção de  $\vec{v}$  é sempre nula:  $\vec{F}_B$  não pode mudar o módulo de  $\vec{v}$  mas sim a direção!
- Lembre-se: se a direção de  $\vec{v}$  muda,  $\vec{v}$  muda e há aceleração!
- $\vec{F}_B$  imprime aceleração na partícula.

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

---

---

---

---

---

---

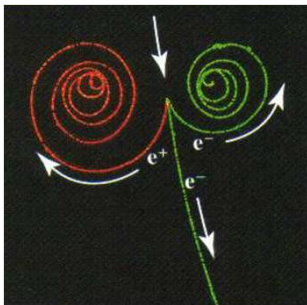
---

---

### Traços de partículas carregadas

- Câmara de bolhas: H líquido sob um forte **B** apontando para fora do slide.
- Raio gama (neutro, não deixa rastro) interage com H e se transforma num elétron (e-), pósitron (e+) e arranca um elétron do átomo de H (e-).

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



O pósitron (antielétron) é a antipartícula (antimatéria), contraparte do elétron...

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Unidade de Campo Magnético (B)

$1 \text{ tesla} = 1 T = 1 \frac{N}{C(m/s)}$

$1 \frac{C}{s} = 1 A$

$1 T = 1 \frac{N}{(C/s)m} = 1 \frac{N}{Am}$

**1 tesla = 10<sup>4</sup> gauss**      Gauss é uma unidade antiga (não SI).

Alguns campos magnéticos:

Na superfície de uma estrela de nêutrons	10 <sup>8</sup> T
Perto de um grande eletroímã	1.5 T
Perto de um ímã pequeno	10 <sup>-2</sup> T
Na Superfície da Terra	10 <sup>-4</sup> T
No espaço sideral	10 <sup>-10</sup> T
Em uma sala magneticamente blindada	10 <sup>-14</sup> T

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Exercício: Magnitude da força magnética

A força magnética atuando sobre uma partícula em um campo magnético é zero. Qual situação é impossível de acontecer?

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

- A partícula é neutra.
- A partícula está estacionária.
- O movimento da partícula é ao longo do campo magnético.
- O movimento da partícula é oposto ao campo magnético.
- Todas situações acima são possíveis.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Exercício: Direção da força magnética

As figuras mostram cinco situações nas quais uma partícula carregada com velocidade  $v$  viaja através de um campo magnético uniforme  $B$ . Em qual situação o sentido da força magnética será ao longo do eixo  $+x$ ?

A

B

C

D

E

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 16

---

---

---

---

---

---

---

---

### Linhas de Campo Magnético

- Similar ao campo elétrico, o campo magnético pode ser representado por linhas de campo, magnético.

- A direção da tangente a uma linha de campo magnético em qualquer ponto fornece a direção de  $B$  neste ponto.
- O espaçamento das linhas representa o módulo de  $B$ .

As linhas formam curvas fechadas.  
As linhas entram no polo sul e saem no polo norte.  
Dizemos que um ímã possui um dipolo magnético (tem dois polos)

Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

**CONVENÇÃO**  
● Saíndo × Entrando

Polos opostos de atraem e iguais se repelem

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 17

---

---

---

---

---

---

---

---

### Linhas de Campo Magnético

(a)

(b)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 18

---

---

---

---

---

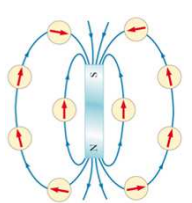
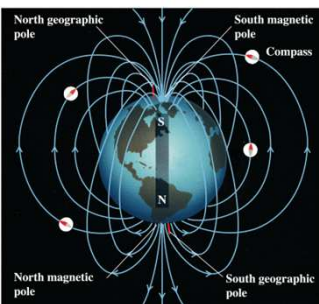
---

---

---

### Linhas de Campo Magnético

- A terra possui um campo magnético intrínseco (produzido no interior).
- Uma bússola indica a presença deste campo.
- Uma bússola aponta na direção norte-sul.

Norte atrai Sul:  
Norte geográfico = Sul magnético

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 19

---

---

---

---

---

---

---

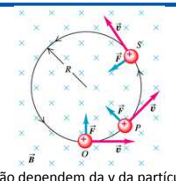
---

---

---

### Movimento de uma partícula carregada num campo magnético uniforme

- $F_b$  nunca tem uma componente paralela a  $v$  e não pode mudar a energia cinética da partícula.
- A força pode mudar apenas a direção de  $v$ .
- Partículas carregadas se movem em círculo em um plano perpendicular ao campo magnético
- Temos que:  $\sum F = F_b = ma$
- Logo:  $F_b = qvB = \frac{mv^2}{r}$
- O raio da trajetória circular é dado por  $r = \frac{mv}{qB}$
- A velocidade angular:  $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$
- O período do movimento:  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$
- A frequência do movimento:  $f = \frac{qB}{2\pi m}$



- T e  $\omega$  não dependem de  $v$  da partícula.
- Partículas rápidas se movem em círculos maiores e lentas em círculos menores.
- Todas partículas com mesma razão  $q/m$  levam o mesmo tempo  $T$  para completar uma volta.
- A direção de rotação de  $+q$  é sempre no sentido anti-horário e para  $-q$  é sempre no sentido horário.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 20

---

---

---

---

---

---

---

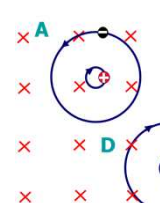
---

---

---

### Exercício: Partícula carregada circulando

As figuras mostram as trajetórias circulares de duas partículas que viajam na mesma velocidade em um campo magnético  $B$ , o qual é direcionado para o plano do slide. Uma partícula é um próton; a outra é um elétron (menos massivo). Que figura é fisicamente razoável?



$r = \frac{mv}{qB}$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Linhas de Campo Magnético

- Três partículas possuem cargas e massas idênticas. Elas entram em um campo magnético constante e seguem as trajetórias mostradas na Figura.
- Classifique a velocidade das partículas, da maior para menor.

$B$  (into paper)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 22

---

---

---

---

---

---

---

---

### Movimento de uma partícula carregada num campo magnético uniforme

- Movimento circular:**  $v$  é perpendicular a  $B$  ( $B$  uniforme).
- Trajétória helicoidal:**  $v$  tem uma componente paralela a  $B$ .

$v_{||} = v \cos \phi$   
 $v_{\perp} = v \sin \phi$

- Movimento em um **campo magnético não-uniforme**: intenso nas extremidades e fraco no meio:
  - Garrafa magnética.
  - Aurora Boreal

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 23

---

---

---

---

---

---

---

---

### Uma Partícula Carregada: Garrafa Magnética

- Campo não-uniforme: note o espaçamento entre as linhas de campo magnético.
- Se o campo for suficientemente intenso, a partícula será refletida.
- Se refletida nas duas extremidades, teremos uma "garrafa magnética".

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 24

---

---

---

---

---

---

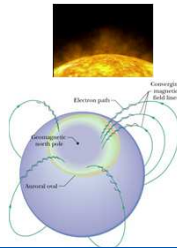
---

---



### Uma partícula carregada: Aurora

- Devido a um efeito como o de garrafa magnética, elétrons e prótons são aprisionados pelo campo magnético terrestre.
- Estas partículas aprisionadas formam os *Cinturões de Radiação de Van Allen*.
- Erupções solares **injetam elétrons e prótons** adicionais nos cinturões de radiação.
- Isso **produz um campo elétrico** na região onde os elétrons são **normalmente refletidos**.
- Esse **campo elimina a reflexão** e permite que os **elétrons penetrem** na atmosfera.
- Estes elétrons colidem com átomos e moléculas do ar fazendo-os emitir luz: **aurora**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Uma Partícula Carregada: Aurora



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Uma Partícula Carregada: Aurora



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Uma Partícula Carregada: Aurora




---

---

---

---

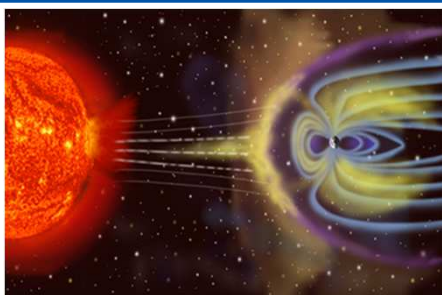
---

---

---

---

O campo magnético da Terra nos protege!



A magnetosfera protege a superfície da Terra das partículas carregadas do vento solar. É comprimida no lado diurno (Sol) devido à força das partículas que chegam, e estendida no lado noturno.

---

---

---

---

---

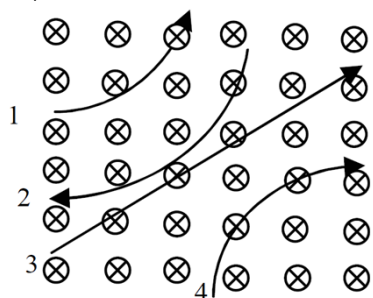
---

---

---

Exercício

Quatro partículas seguem as trajetórias mostradas na figura abaixo quando elas passam através de um campo magnético. O que se pode concluir sobre a carga de cada partícula?



Resposta:

- 1)  $+q$
- 2)  $-q$
- 3)  $q = 0$
- 4)  $-q$

---

---

---

---

---

---

---

---

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](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

[loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br)

21

---

---

---

---

---

---

---

---