

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Campus Blumenau

## Física Geral III

Aula Teórica 01 (Cap. 23):

- 1) Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo
- 2) Carga elétrica
- 3) Condutores, Isolantes, Semicondutores e Supercondutores
- 4) Lei de Coulomb
- 5) Princípio da Superposição
- 6) Teoremas para cascas esféricas
- 7) Quantização da carga

Prof. Marcio R. Loos

---

---

---

---

---

---


---

---


### Eletromagnetismo

“ Na Grécia, filósofos descobriram que um pedaço de âmbar, quando friccionado, era capaz de atrair fragmentos de palha.

**Origem da Eletricidade!**



“ **Elektron** (do grego) significa âmbar. De onde vem a palavra **elétron**.



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

---

---

---

---

---

---

---

---

### Eletromagnetismo – cont.

“ Os gregos também sabiam que magnetita atrai ferro.

**Origem do Magnetismo!**



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

---

---

---

---

---

---

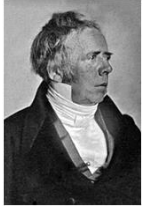
---

---

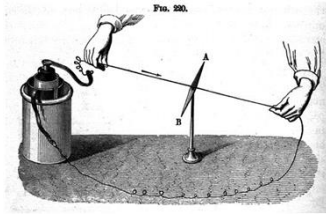
**Eletromagnetismo – cont.**

“ Em 1820, Hans Christian Oersted (Dinamarca) descobriu que uma corrente elétrica percorrendo um fio defletia a agulha de uma bússola.

**Origem do Eletromagnetismo!**



Oersted (Dinamarca)




---

---

---

---

---

---

---

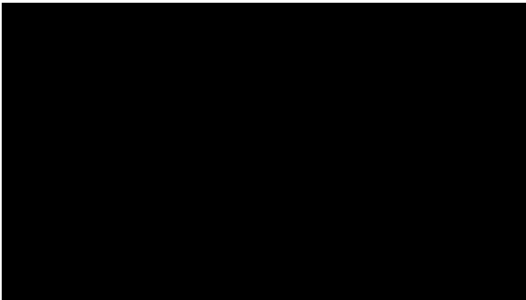
---

---

---

**Carga Elétrica**

“ Faíscas e choques são efeito da eletricidade estática\*.



**Como explicar o fenômeno acima?**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Carga Elétrica – cont.**

“ Todos objetos contém uma enorme quantidade de carga elétrica.

“ Porque não notamos isso frequentemente?

“ Geralmente, a quantidade de cargas positivas é igual à quantidade de cargas negativas (corpo eletricamente neutro).



“ Um corpo com **cargas fora do equilíbrio** possui uma carga líquida que pode interagir com outros objetos (**corpo carregado**).

“ Um objeto carregado exerce força sobre outro objeto carregado! (veja demonstração a seguir)

---

---

---

---

---

---

---

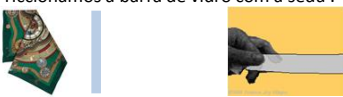
---

---

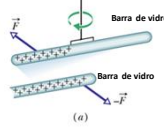
---

### Carga Elétrica – cont.

“ Considere uma **barra de vidro** e um pedaço de **seda**.  
 “ Friccionamos a barra de vidro com a seda .



“ Suspendemos a barra por um fio e aproximamos outra barra similar (Fig. a).



**Ambas as barras se repelem!**

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

---

---

---

---

---

---

---


---

---

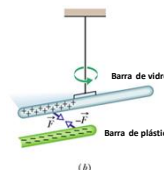
---

### Carga Elétrica – cont.

“ Agora, friccionamos uma **barra de plástico** com uma pele de gato (ou o gato mesmo).  
 “ Aproximamos a barra de plástico da barra de vidro (Fig. b).



“ Aproximamos a barra de plástico da barra de vidro (Fig. b).



**Ambas as barras se atraem!**

Como explicar os experimentos acima?

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

---

---

---

---

---

---

---


---

---


---

### Conceito de Carga Positiva e Negativa


“ A **barra de vidro perde parte de sua carga negativa** para a seda e fica positivamente carregada (excesso de carga positiva).  
 “ A **barra de plástico ganha carga negativa** da pele de gato e fica negativamente carregada (excesso de carga negativa).  
 “ Benjamin Franklin denominou como carga “+” a carga elétrica da barra de vidro e “-” a carga elétrica da barra de plástico.



**Cargas iguais (de mesmo sinal) se REPELEM**



**Cargas diferentes (de sinais opostos) se ATRAEM**



A atração/repulsão de cargas possui várias aplicações...

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Raios

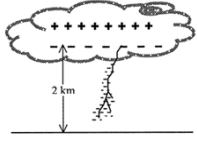
“ Para que um raio possa ocorrer, é necessário que existam cargas de sinais opostos **entre nuvens** ou **entre nuvens e o solo**.

“ Quando isso ocorre, a atração entre as cargas é tão grande que provoca a descarga elétrica.

“ Raios podem produzir cargas com parâmetros: 125 MV - 200 kA - 25 mil °C.

“ Raios podem ocorrer da nuvem para o solo, do solo para a nuvem e entre nuvens.

O Brasil é o país no qual mais se registra o acontecimento de raios em todo o mundo.  
Pense um pouco:  
Espelho atrai raios?  
É perigoso falar no telefone durante uma trovoada?  
Onde se abrigar numa tempestade em campo aberto com árvores?



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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Para-raios

“ Foi inventado por Benjamin Franklin em 1752, quando ele observou que a carga elétrica dos raios descia por um fio de pipa.

“ Oferecem um caminho com pouca resistividade para o raio chegar ao solo (não atrai o raio!)

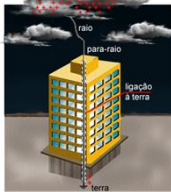

Na figura ao lado:

“ Uma nuvem eletrizada passa perto do para-raio.

“ Uma carga elétrica de sinal oposto ao da nuvem surge no para-raio por indução.

“ A carga da nuvem é atraída e dá-se o raio entre a nuvem e o para-raio.

“ A carga da nuvem é escoada para a Terra.



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

---

---

---

---

---

---

---

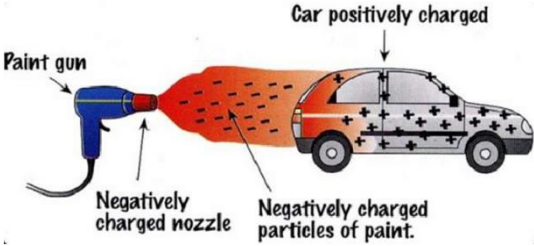
---

---

---

### Aplicações da Eletrostática

#### Pintura eletrostática



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

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

### Aplicações da Eletrostática – cont.

**Máquina copiadora**

- “ A **chapa magnética** que fica logo abaixo do vidro em que se coloca o original é carregada com **cargas positivas**.
- “ O **toner** é dotado de **carga negativa**.
- “ A **luz ultravioleta** que passa pelo original atravessa a parte do papel que **não contém imagens**.
- “ A **parte escrita** do original barra a luz e continua com carga **positiva**.



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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Condutores, Isolantes, Semicondutores e Supercondutores

- “ **Condutores:** são materiais nos quais cargas negativas podem se mover livremente.
- “ **Isolantes:** nenhuma carga pode se mover livremente.
- “ **Semicondutores:** são intermediários entre condutores e isolantes.
- “ **Supercondutores:** não apresentam nenhuma resistência a corrente elétrica.



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

---

---

---

---

---

---

---


---

---

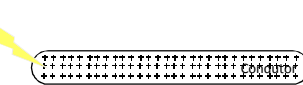
---

### Condutores e Isolantes

- “ Materiais condutores e isolantes podem ser carregados... porém:
- “ Em **isolantes** as cargas não se movem de um lugar para o outro.
- “ Se carregamos um isolante, estamos **depositando (ou retirando)** cargas apenas da superfície.
- “ As cargas permanecerão onde as colocarmos!



- “ Em **condutores**, cargas podem se mover livremente. Cargas colocadas em um condutor irão se **espalhar**.



- “ As propriedades dos condutores e isolantes são uma consequência da estrutura dos átomos.

Relembremos a seguir o que são átomos

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

---

---

---

---

---

---

---

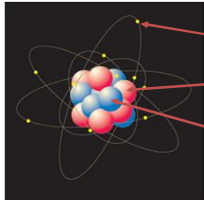
---

---

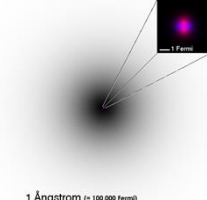
---

### Átomos

~ Átomos são constituídos por **prótons** (carga positiva), **elétrons** (carga negativa) e **nêutrons** (neutros).



Elétron  
Próton  
Nêutron



1 Ångstrom (= 100.000 Fermi)

Carga do próton +e  
Carga do elétron -e  
onde  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Ilustração de um átomo de He.  
**Rosa:** Núcleo; **Vermelho:** prótons; **Azul:** nêutrons; **Preto:** nuvem de distribuição eletrônica.

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

---

---

---

---

---

---

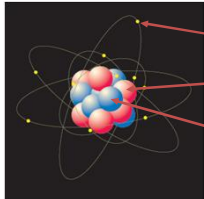
---

---

---

---

### Átomos – cont.



Elétron  
Próton  
Nêutron

Átomos são geralmente neutros (mesmo número de prótons e elétrons).

Há um balanço de cargas e o átomo não possui carga líquida.

Que tipo de carga é mais fácil de se remover de um átomo?

A. Próton  
B. Elétron

Carga do próton +e  
Carga do elétron -e  
onde  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

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

---

---

---

---

---

---

---

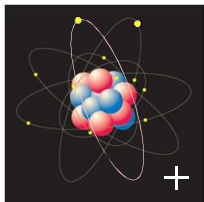
---

---

---

### Átomos – cont.

~ Prótons são imensamente mais difíceis de serem removidos e isso praticamente nunca ocorre (exceto em materiais radioativos, mas ignoraremos esse caso neste curso).



Se removermos um elétron, qual a carga líquida no átomo?

A. Positiva  
B. Negativa

Se não podemos remover um próton, como fazemos um corpo ficar carregado negativamente?  
Pela adição de um elétron.

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

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

### Condução em Metais – Um olhar em escala atômica

- Sabemos que além de bons condutores elétricos, metais também são **bons condutores de calor**, tendem a ser **brilhantes** (se polidos) e são **maleáveis**.
- Todas estas propriedades são consequência da habilidade dos elétrons se moverem facilmente. **Demonstração: clipe**

O átomo de ferro ao lado (26 prótons, 26 elétrons) possui **dois elétrons na camada externa** que podem mover-se de um átomo de ferro para o próximo.



*Caminho de elétrons em um metal*

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

---

---

---

---

---

---

---

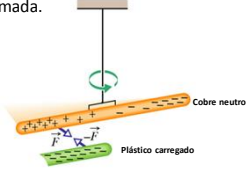
---

---

---

### Carga Induzida

- A Figura mostra uma barra de cobre neutra e isolada.
- Uma barra de plástico carregada é aproximada.
- A barra de plástico atrairá qualquer extremidade da barra de cobre.
- Os elétrons de condução serão repelidos e a extremidade mais próxima da barra ficará com um excesso de carga positiva.
- Lembre-se de que **apenas os elétrons se movem!**
- A quantidade de cargas + e - continua a mesma na barra de metal (neutra).



*Cobre neutro*  
*Plástico carregado*

A separação de cargas + e - devido a presença de cargas na vizinhança implica em uma **carga induzida** na barra de metal.

**Demonstração pedaço de papel e caneta**

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

---

---

---

---

---

---

---

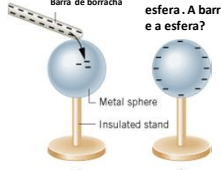
---

---

---

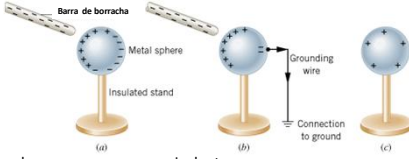
### Duas formas de carregar um corpo: contato e indução

**Por contato:**



*Barra de borracha*  
*Metal sphere*  
*Insulated stand*

**Por indução:**



*Barra de borracha*  
*Metal sphere*  
*Insulated stand*  
*Grounding wire*  
*Connection to ground*

**Elétrons se moverão para a esfera. A barra ficará neutra... e a esfera?**

**Atrito também é uma forma de carregar um corpo... isolante.**

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

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

**Outra vez...**

“ Agora que sabemos mais sobre cargas elétricas e suas propriedades, entendemos melhor o efeito abaixo:



©1999 Science Joy Wagon

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

---

---

---

---

---

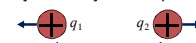
---

---

---



**Força Elétrica e a Lei de Coulomb**

“ Como calcular a força de atração ou repulsão entre cargas?



“ Ao efetuar o cálculo, encontramos que a força:

- é proporcional a cada carga;
- é inversamente proporcional à distância entre elas;
- é direcionada ao longo da linha entre elas (r).

“ Em símbolos, a magnitude da força é dada por

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

onde  $k$  é uma constante de proporcionalidade.

“ Esta lei da força foi estudada pela primeira vez por Coulomb em 1785 e é chamada de **Lei de Coulomb**.

“ A constante  $k = 8.99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$  é a constante de eletrostática (ou de Coulomb).

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

---

---

---

---

---

---

---

---

**Força Elétrica e a Lei de Coulomb – cont.**

“ Apesar de podermos escrever a força em uma forma vetorial, é mais fácil usar a equação para calcular a magnitude e usar a regra “**opostos se atraem, iguais se repelem**” para descobrir a direção da força.

“ Note que a forma da Lei de Coulomb é exatamente a mesma da força gravitacional entre duas massas:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \begin{matrix} G \Rightarrow k \\ m \Rightarrow q \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{A diferença é que massa será sempre} \\ \text{positiva e a força é sempre de atração} \end{matrix}$$

“ Massa e carga são uma propriedade intrínseca da matéria. Apenas sabemos que existem e podemos aprender suas propriedades devido à força que exercem!

“ Para facilitar o uso de outras equações (veremos), a constante eletrostática é escrita como: **Lei de Coulomb**

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$  é a constante de permissividade no vácuo.

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

---

---

---

---

---

---

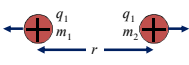
---

---




### Pense em um experimento para provar que a força varia com o inverso do quadrado

- Imagine duas cargas livres  $q_1$  e  $q_2$  com massas  $m_1$  e  $m_2$ :



- As cargas se repelirão com uma aceleração  $a$ .
- Se medirmos  $a$ , podemos calcular  $F$  ( $F=ma$ ).
- Se reduzirmos a distância  $r$  pela metade, verificamos que  $F$  será 4 vezes maior.
- Alguma outra ideia?



- Lei de Hooke

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

---

---

---

---

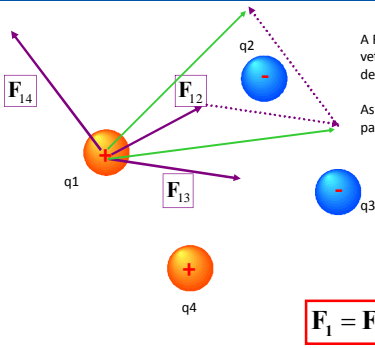
---

---

---

---

### Princípio da Superposição



A Força em  $q_1$  é uma soma vetorial das forças devido às demais cargas.

As partículas interagem aos pares e independentemente.

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14}$$

$\mathbf{F}_{12}$  é a força que atua na partícula 1 devido à presença da partícula 2.

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

---

---

---

---

---

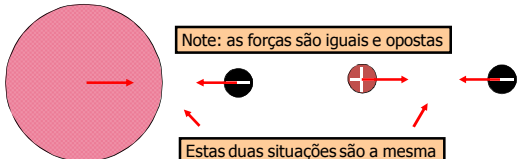
---

---

---

### Condutores Esféricos

- Por ser condutora, a carga em uma esfera metálica irá se espalhar na superfície.
- É como se uma carga “empurrasse” a outra e elas se distanciassem o máximo possível. Devido à simetria da situação, as cargas se espalham uniformemente.
- A casca atrairá ou repelirá uma carga externa como se seu excesso de cargas estivessem concentrados no centro da casca.



Note: as forças são iguais e opostas

Estas duas situações são a mesma

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

---

---

---

---

---

---

---

---

**Teoremas para cascas esféricas**

“ Uma casca esférica uniformemente carregada atrai ou repele uma partícula carregada exterior à casca como se toda a carga da casca estivesse concentrada em seu centro.”

“ Uma casca esférica uniformemente carregada não exerce nenhuma força eletrostática sobre uma partícula carregada que esteja localizada em seu interior.”

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**A carga é quantizada e conservada**

“ A carga e matéria não são contínuas, mas sim **DISCRETAS**.

“ Um corpo, por exemplo, é formado por um número inteiro de átomos/moléculas.

“ A matéria é então **QUANTIZADA**. O mesmo se aplica para cargas.

“ Qualquer carga detectável pode ser escrita como

$q = ne \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

**A carga é conservada!**

“ Cargas **não são criadas** durante a fricção de seda e uma barra de vidro. A carga é **transferida** de um corpo para o outro.

“ Lembre-se de que **energia, momento angular e linear** são conservados também.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Força Forte x Força Fraca**

“ A **força elétrica** é chamada de **força forte**.

“ A **força gravitacional** é chamada de **força fraca**.

$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \gg Gm^2$

“ Prove que a força eletrostática é  $\sim 10^{40}$  vezes maior que a força gravitacional.

“ Comece considerando um elétron e um próton!

$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$  ;  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$  ;  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 30

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dica para exercícios**

- “ Explique (de forma dissertativa) cada passo da solução.
- “ Não esqueça a unidade!
- “ O resultado deve conter a mesma quantidade de algarismos significativos que a medida mais pobre.

**FRANK & ERNEST** • Bob Thaves

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Exercício 1**

Uma carga puntiforme de  $+3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$  dista  $12 \text{ cm}$  de uma segunda carga puntiforme de  $-1.5 \times 10^{-6} \text{ C}$ . Calcular o módulo da força eletrostática que atua sobre cada carga.

$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Você já pode resolver os seguintes exercícios:**

**Capítulo 23: 5, 6, 7, 10, 13, 15, 17, 18, 19 e 21.**

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 33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---