



Aula 1: A carga elétrica e a lei de Coulomb

Curso de Física Geral III
Eletricidade Básica

O eletromagnetismo

Eletricidade (eletrostática)

Fenômeno já conhecido na Grécia antiga. Ao serem atritados, determinados materiais (*âmbar*, em particular), adquiriam a propriedade de atrair pequenos objetos (ação de uma *força elétrica*).

Magnetismo (magnetostática)

Os gregos também sabiam que determinadas pedras (chamadas de *magnetita*) atraíam limalhas de ferro (ação de uma *força magnética*).

Eletromagnetismo

No século XIX, após os trabalhos de Oersted e Faraday, Maxwell escreveu as equações que unificaram a eletricidade e o magnetismo, mostrando assim que ambos eram manifestações de um mesmo fenômeno, o *eletromagnetismo*.

A carga elétrica

A carga elétrica é **uma propriedade intrínseca das partículas que constituem a matéria** e está presente em todos os objetos.

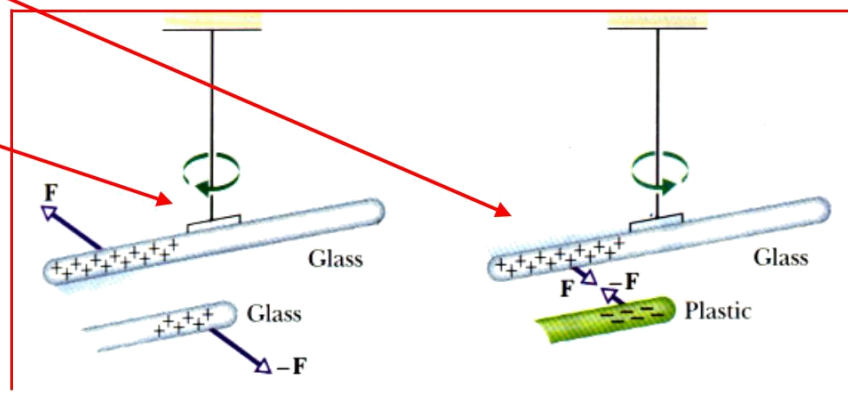
Objetos em geral contêm quantidades iguais de dois tipos de carga: **positiva** e **negativa**. Tais objetos são eletricamente **neutros**.

Contudo, se por exemplo atritarmos um pente num tecido qualquer, há **transferência de carga** de um para o outro e o pente fica carregado com um dos tipos de carga em excesso. Ele então passa a atrair pequenos objetos.



Vidro atritado com seda ou plástico atritado com lã apresentam efeitos distintos.

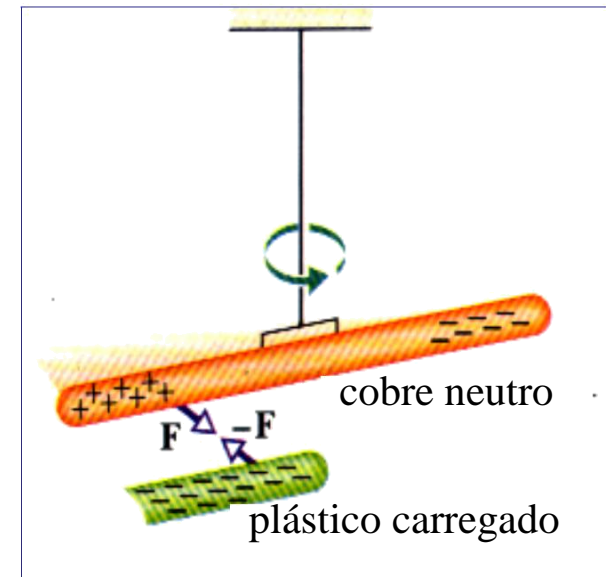
A escolha dos nomes e dos sinais das cargas é mera convenção.



Condutores e isolantes

A estrutura e a natureza elétrica dos átomos são responsáveis pelas propriedades dos condutores e isolantes.

Repetindo a experiência anterior com um bastão de metal neutro, ao invés de vidro, observa-se que há cargas com grande mobilidade: *elétrons*, “fluido” (assim se pensava) de *carga negativa*. →

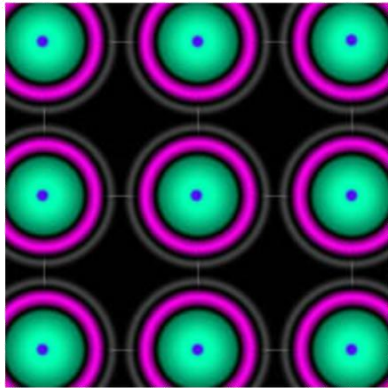


Materiais como o cobre (metais) são chamados *condutores*, onde o excesso de carga concentra-se apenas numa determinada região, ao contrário dos *isolantes*, onde as cargas têm baixa mobilidade. *Metais, soluções e corpo humano* são exemplos de *condutores*. *Vidro, papel, borracha, plásticos e água destilada* são exemplos de *isolantes*.

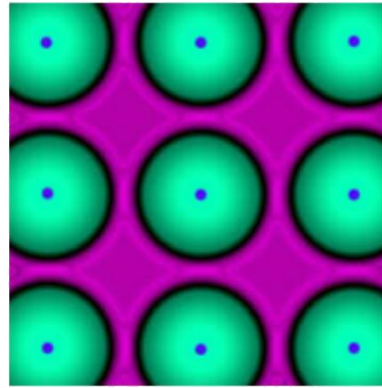
<http://www.youtube.com/watch?v=r63e5y3Z3R8>

Condutores e isolantes

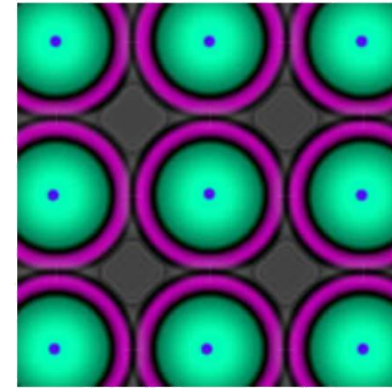
Antecipando a visão moderna da estrutura desses materiais



↑
isolantes



↑
condutores



↑
semicondutores

Há ainda os chamados *supercondutores*, onde o fluido eletrônico ocorre sem resistência elétrica.

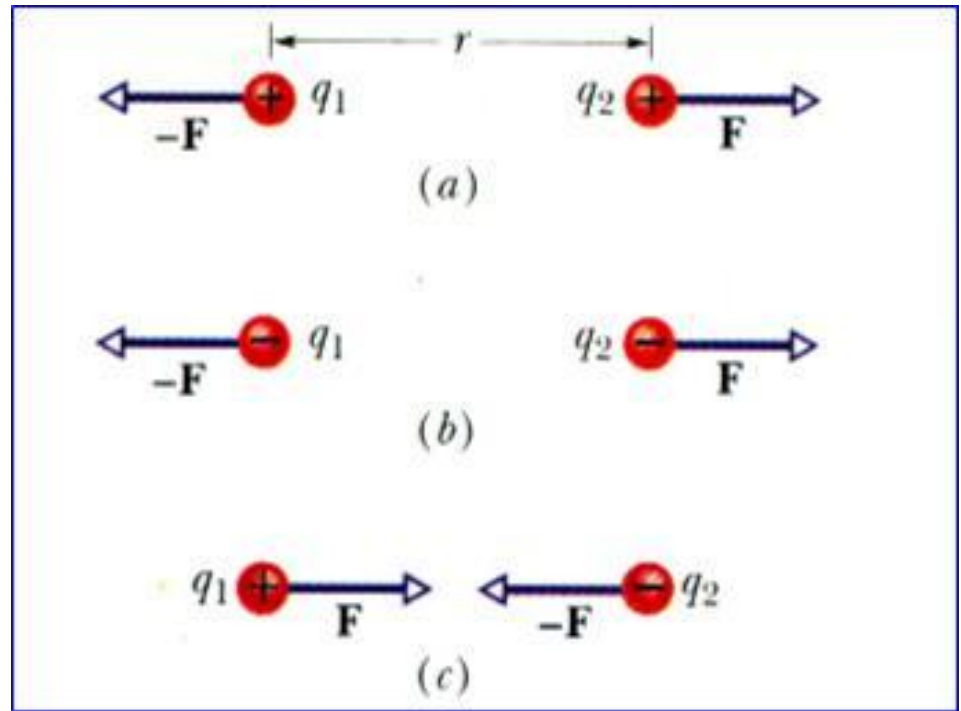
A lei de Coulomb - 1785

Observa-se que *cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem*. As forças formam um par de *ação e reação* ao longo da *linha que une as cargas*.

Se a distância entre duas cargas q_1 e q_2 for r , o módulo da força eletrostática entre elas será dado por:

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

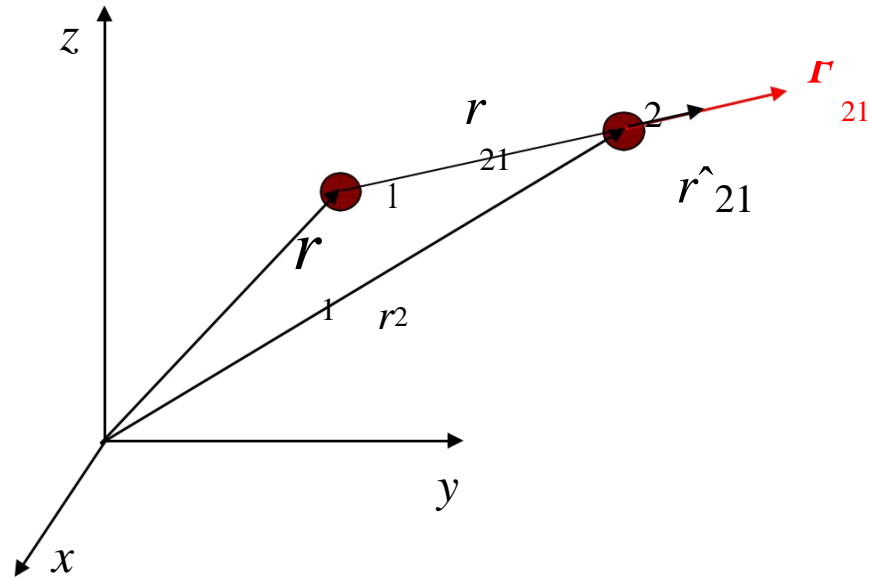
(Lei de Coulomb)



A lei de Coulomb



balança de torção



Vetorialmente:

$$r_{21} = r_2 - r_1 \Rightarrow \hat{r}_{21} = \frac{r_2 - r_1}{|r_2 - r_1|}$$

$$F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad (\text{forma geral da Lei de Coulomb})$$

A lei de Coulomb

Antecipando o conceito de corrente elétrica, a unidade de carga é o *Coulomb*, que não é uma unidade fundamental. O *Coulomb* é definido no SI como sendo a carga transportada por uma corrente de 1 A que atravessa a seção reta de um fio durante 1 segundo.

$$dq = i dt$$

No SI a constante eletrostática k é dada por

$$k \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 8,99 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$

A permissividade do vácuo, ϵ_0 , é dada por

$$\epsilon_0 \cong 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2}$$

Força Eletrostática vs. Gravitacional

Lei de Coulomb:
$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| |q_2|}{r_{12}^2}$$

Lei da Gravitação:
$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$$

Átomo de Hidrogênio:

$$|q_e| = |q_p| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C};$$

$$r_{12} = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m (distância média entre o próton e o elétron);}$$

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg e}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \text{ (constante universal gravitacional)}$$

Substituindo estes valores nas equações acima:

$$F_e = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N} \quad ; \quad F_g = 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

Relação entre $F_e / F_g \cong 2 \times 10^{39}$ 9

Exemplo

Imaginemos 2 prótons dentro de um núcleo atômico, separados por uma distância $d \cong 10^{-12}$ cm . Qual é a aceleração que um próton adquire sob a ação da força elétrica entre eles?

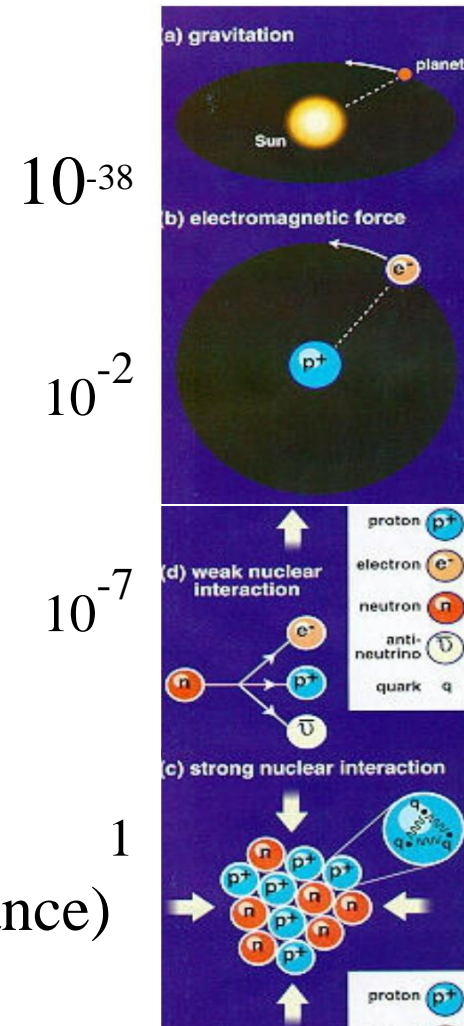
$$F = k \frac{e^2}{d^2} \cong 9,0 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(10^{-14})^2} \cong 23 \times 10^{-1} \text{ N}$$
$$a = \frac{F_{el}}{m_p} = \frac{23 \times 10^{-1}}{1,67 \times 10^{-27}} = 13 \times 10^{26} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10^{26} \text{ g} !$$

Se esta fosse a única força agindo sobre os prótons, o núcleo não poderia ser estável. **Quem mantém o núcleo estável são as forças nucleares fortes.**

Estabilidade dos Materiais: interação entre cargas (forças nucleares).

As forças fundamentais da natureza

- **Gravitacional** ($1/r^2$)
 - Matéria
- **Eletromagnética** ($1/r^2$)
 - Cargas elétricas, átomos, sólidos
- **Nuclear Fraca**
 - Decaimento radioativo beta
- **Nuclear forte**
 - Mantém o núcleo ligado (curto alcance)



Princípio da superposição

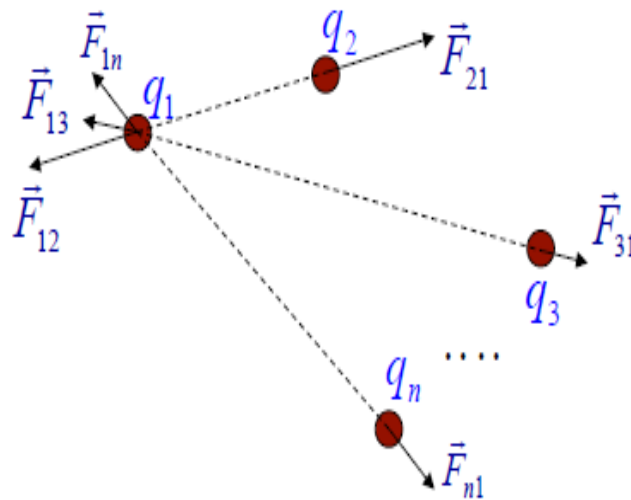
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}$$

Lei de Coulomb:

Num sistema de n cargas: vale o princípio da superposição:

A força F_1 sobre a carga q_1 devida às outras $(n-1)$ cargas é:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1n} \quad (\text{soma vetorial})$$



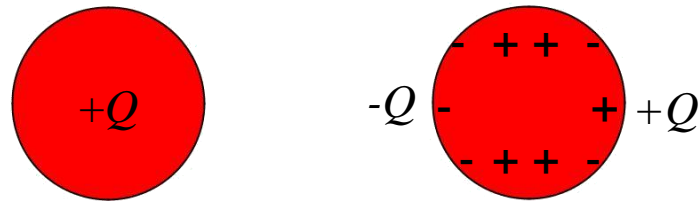
Observa-se que:

$$\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$$

$$\vec{F}_1 = q_1 \left(\sum_{j=2}^n k \frac{q_j}{|\vec{r}_{ij}|^2} \hat{r}_{ij} \right)$$

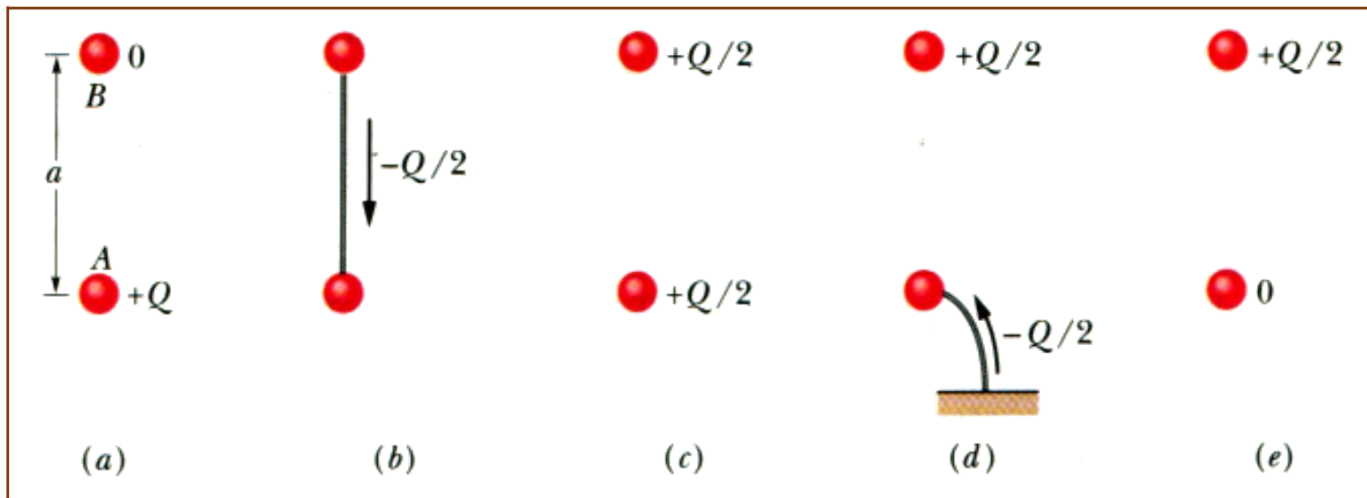
A lei de Coulomb

Movimento de cargas em um sistema de condutores: **Indução**



Exemplo (indução de cargas)

Duas esferas condutoras idênticas, eletricamente isoladas e muito afastadas. Qual é a força entre as esferas nas situações c) e d)?



Propriedades das carga elétricas

A quantização da carga

Millikan determinou a *carga elementar* (eletrônica) como sendo $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C e portanto $q = ne$, onde $n = \pm 1, \pm 2, \dots$

Mas a teoria do *Modelo Padrão* das partículas elementares prevê a existência dos *quarks*, que são partículas constituintes de prótons e nêutrons, de carga $\pm 2e/3$ ou $\pm e/3$, porém de difícil detecção individual. O “*quantum*” de carga é muito pequeno.

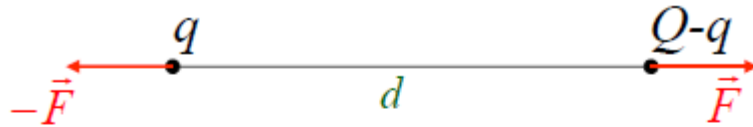
A conservação da carga

Em todos os processos que ocorrem na natureza, desde a transferência de carga por atrito até as reações entre partículas elementares, **a carga total (soma das cargas positivas e negativas) de um sistema isolado sempre se conserva**. Ex: decaimento radioativo, aniquilação, produção de pares, etc.



Exercício

Da carga Q que uma pequena esfera contém inicialmente, uma parte q é transferida para uma segunda esfera situada nas proximidades. As duas esferas podem ser consideradas como cargas puntiformes. Para que valor de q a força eletrostática entre as duas esferas é máxima?



$$F = k \frac{q(Q-q)}{d^2}$$

$$F_{\max} \Rightarrow \frac{dF}{dq} = 0 \Rightarrow \frac{k}{d^2}(Q-2q) = 0 \therefore q = \frac{Q}{2}$$