



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Carga elétrica

A matéria comum, que estamos acostumados a tratar, é formada por partículas. Átomos, moléculas e estruturas mais sofisticadas são conglomerados – estados ligados, de certas ‘cargas’ elementares. Na Mecânica, a propriedade mais significativa de uma partícula é sua massa, a qual determina sua aceleração quando sujeita a uma força. No Eletromagnetismo há uma outra propriedade significativa: a carga elétrica.

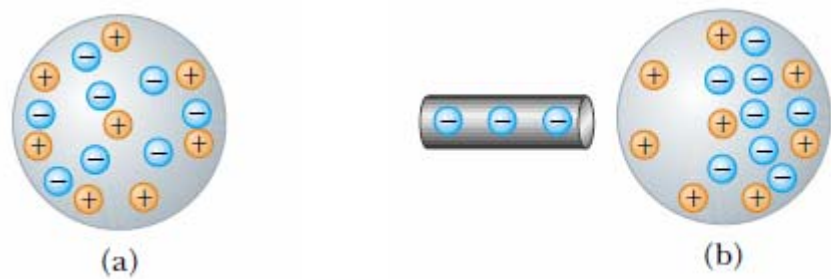
Existem dois tipos de cargas elétricas: positivas e negativas. A matéria comum é eletricamente neutra. Cada átomo contém um núcleo positivamente carregado e um número de elétrons, negativamente carregados, tal que a carga total é zero. Para estudarmos as cargas elétricas, precisamos separar as positivas das negativas. Uma forma seria, por exemplo, realizar experiências com atrito.

Em qualquer destas experiências, verificamos que a carga elétrica não é criada nem destruída, é somente transferida de um lugar para outro.

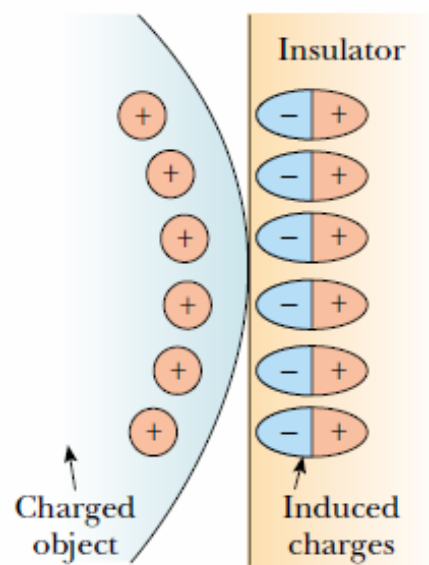
Destacamos este fato enunciando a *lei de conservação da carga elétrica*:

- ↳ A carga elétrica pode ser transportada, mas não pode ser criada ou destruída. A soma algébrica de todas as cargas elétricas de um sistema isolado sempre Permanece constante

Carga Induzida em condutores



Carga Induzida em isolantes



(a)



(b)



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Carga elétrica

A unidade SI de carga é o coulomb(C). A carga de um elétron é $-e$, onde $e = 1,602 \times 10^{-19} C$

e a carga do próton é $+e$. Desconsiderando, para efeitos práticos neste curso, que os prótons possam ser formados por partículas (quarks) com carga menor que e , concluímos que a carga é quantizada: a carga em qualquer objeto é o produto de um número inteiro N vezes e .

Exemplo

→ Uma moeda de níquel tem massa de 5,9 g. (a) Calcule a quantidade total de elétrons na moeda e a carga nele contida.

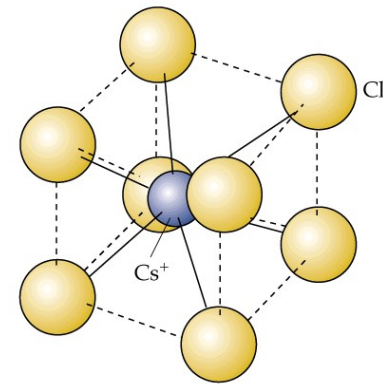
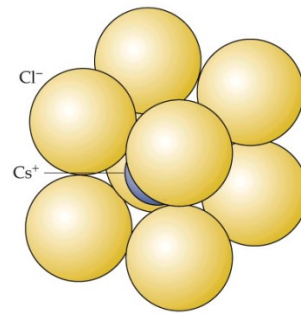
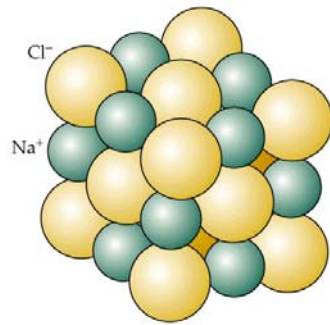
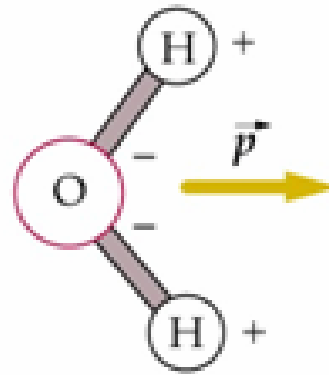
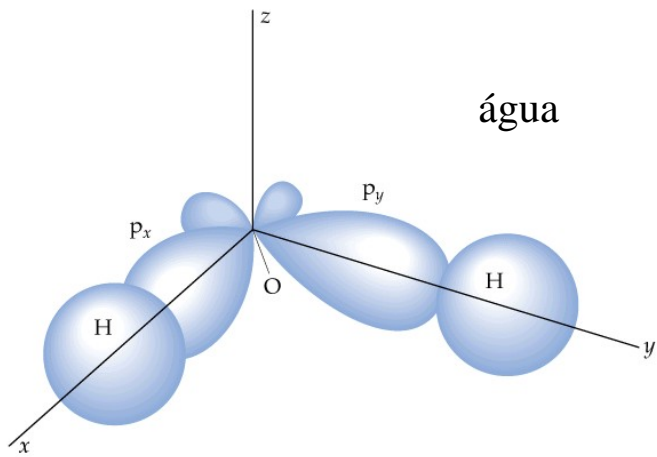
(a) Cada mol ($6,02 \times 10^{23}$) tem massa de 58,7 g.

Portanto, o número de átomos na moeda é:

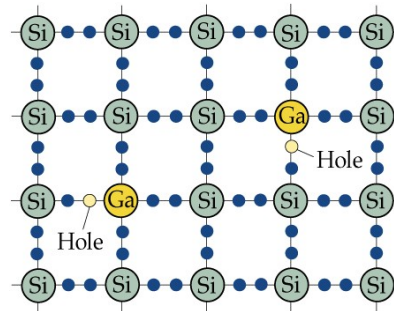
$$n_a = \frac{5,9}{58,7} \cdot (6,02 \times 10^{23}) = 6,05 \times 10^{22}$$

Cada átomo tem 28 elétrons, portanto $n_e = 28 \cdot 6,05 \times 10^{22} = 1,69 \times 10^{24}$

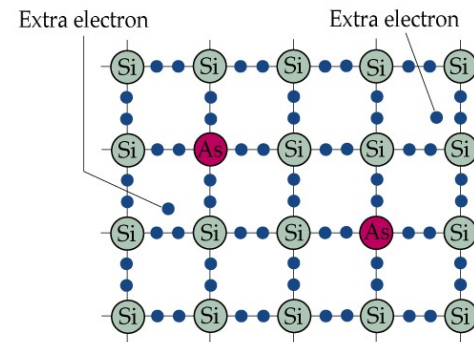
$$q = -1,60 \times 10^{-19} C \cdot 1,60 \times 10^{24} = -2,7 \times 10^5 C$$



semicondutores



(a)



(a)



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Forças entre cargas

Embora um corpo macroscópico possa conter uma quantidade enorme de carga elétrica, podemos, em certas circunstâncias, considerá-lo suficientemente pequeno para ser tratado como um corpo puntiforme. Usaremos esta aproximação muitas vezes neste curso.

A lei de Coulomb, por exemplo, aplica-se a duas cargas contidas em dois corpos puntiformes.

Lei de Coulomb

- Cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto que cargas de sinal oposto se atraem.
→ A força entre cargas puntiformes é proporcional ao produto de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

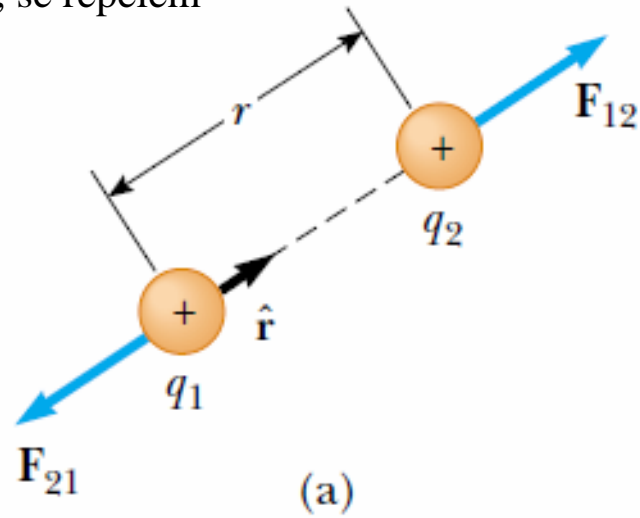
$$\vec{F}_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r} \quad (\text{Veja figura})$$

onde a constante de proporcionalidade, a constante de Coulomb é: $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

A constante k é frequentemente expressa em termos de outra quantidade:

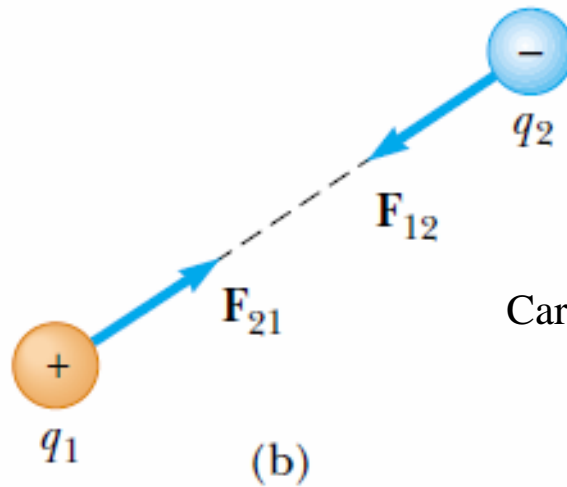
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{onde} \quad \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$$

Cargas de mesmo sinal, se repelem



$$\vec{F}_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$



Cargas de sinais opostos, se atraem



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Exemplo

→ Uma pequena esfera com carga de $5,6\text{ C}$ está separada por uma distância de $2,5\text{ m}$ de outra pequena esfera com carga $-3,5\text{ C}$. Estime a força entre elas?

A força é atrativa e, em módulo, é:

$$|\vec{F}| = k \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

$$|\vec{F}| = 9,0 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(5,6\text{C})(3,5\text{C})}{(2,5\text{m})^2} = 2,8 \times 10^{10}\text{ N}$$

Para n cargas, vale o princípio da superposição:

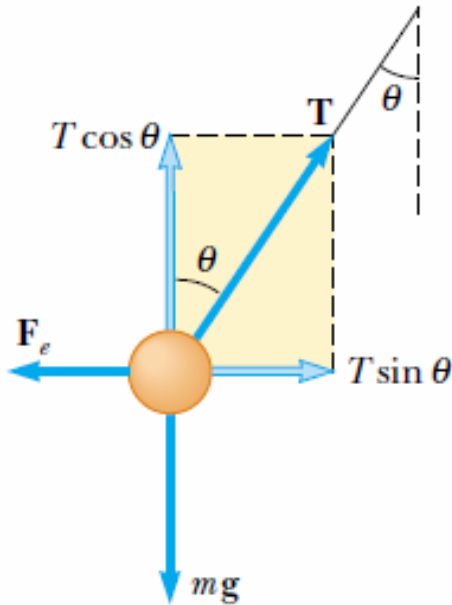
$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41}$$



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Exemplo Dois pequenos balões, cada um com massa $m = 1,0 \text{ g}$, estão suspensos por fios de comprimento $l = 21 \text{ cm}$. O ângulo entre os fios é $2\theta = 12^\circ$, e os balões possuem cargas iguais, Q . Qual o valor de Q ?

Com o eixo x na horizontal e o eixo y para cima temos



$$\sum F_x = T \sin \theta - F_E = 0$$

$$\sum F_y = T \cos \theta - mg = 0$$

Da lei de Coulomb

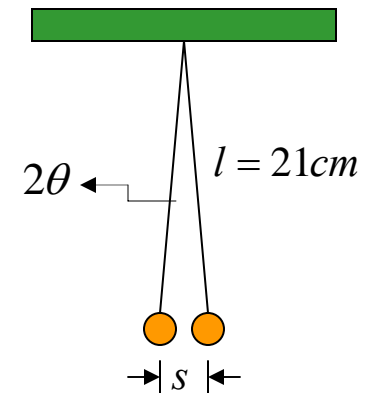
$$F_E = k \frac{Q_1 Q_2}{s^2}$$

Então

$$\tan \theta = \frac{F_E}{mg} = k \frac{Q^2}{mgs^2}$$

$$\Rightarrow Q = \pm 2l \sin \theta \sqrt{\tan \theta \frac{mg}{k}}$$

$$Q = \pm 1,5 \times 10^{-8} \text{ C} = \pm 15 \text{ nC}$$



$$\sin \theta = \frac{s}{2l}$$



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Exemplo

↳ Compare as forças elétrica e gravitacional entre um próton e um elétron.

$$\frac{F_{Elétrica}}{F_{Gravitacional}} = \frac{ke^2/r^2}{Gm_p m_e/r^2} = \frac{ke^2}{Gm_p m_e}$$

$$\frac{F_{Elétrica}}{F_{Gravitacional}} = \frac{(9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2)(1,7 \times 10^{-27} \text{ kg})(9,0 \times 10^{-31} \text{ kg})}$$

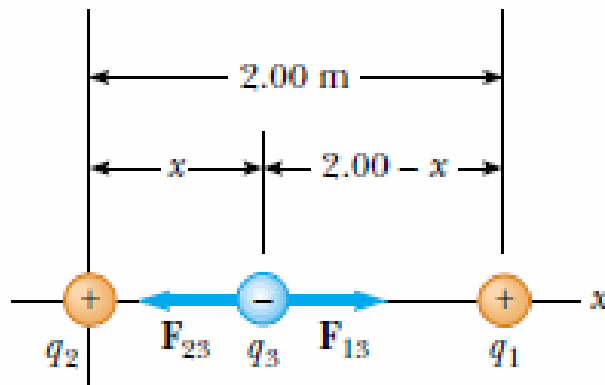
$$\frac{F_{Elétrica}}{F_{Gravitacional}} = 2 \times 10^{39}$$



IF – 430270– Eletricidade e Magnetismo I

Exemplo Três cargas pontuais estão situadas ao longo de x , como mostrado na figura abaixo.

→ A carga positiva $q_1 = 15 \mu\text{C}$ está situada em $x = 2,00 \text{ m}$ e a carga $q_2 = 6 \mu\text{C}$ está na origem e a força resultante agindo sobre q_3 é zero. Qual é a coordenada de q_3 ?



$$F_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2.00 - x)^2} \quad F_{23} = k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2}$$

$$k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2.00 - x)^2}$$

$$(2.00 - x)^2 |q_2| = x^2 |q_1|$$

$$(4.00 - 4.00x + x^2)(6.00 \times 10^{-6} \text{ C}) = x^2(15.0 \times 10^{-6} \text{ C})$$

$$3.00x^2 + 8.00x - 8.00 = 0$$

$$x = 0.775 \text{ m.}$$

~~$$x = -3.44 \text{ m}$$~~