INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

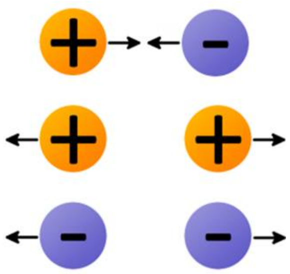
ENSINO SUPERIOR – FÍSICA

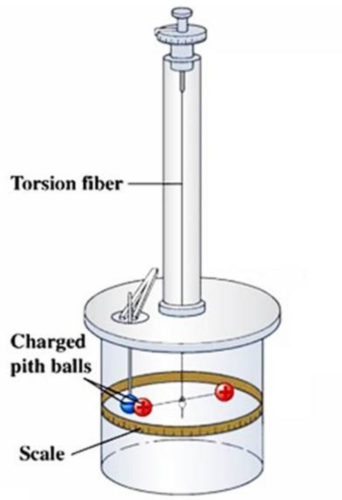
LEI DE COULOMB E ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Prof. Marcelo Girardi Schappo
FÍSICA

FORÇA ELÉTRICA

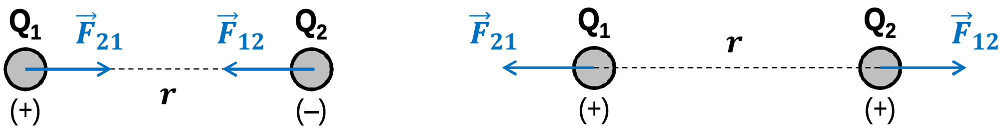
Charles Augustin de **Coulomb** – 1785





A torsion balance of the type used by Coulomb to measure the electric force

FORÇA ELÉTRICA



DIREÇÃO: a mesma que liga "os centros" das cargas

SENTIDO: avaliar através do sinal das cargas (atração/repulsão)

MÓDULO:

$$|\vec{F}| \propto |Q_1|$$

$$|\vec{F}| \propto |Q_2|$$

$$|\vec{F}| \propto \frac{1}{r^2}$$

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

$$\boxed{|\vec{F}| = \frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2}}$$

Lei de Coulomb

Q Cargas (coulomb – C)

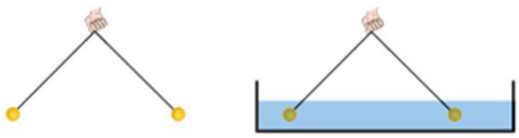
r Distância centro-centro (metros – m)

$|\vec{F}|$ Valor da força (newton – N)

Ação e Reação:
Módulos das forças são iguais
(mesmo se as cargas não são iguais)

FORÇA ELÉTRICA

As constantes que dependem do ambiente no entorno das cargas



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

$$\boxed{K = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon}}$$

K Rigidez dielétrica do meio

ε Permissividade dielétrica do meio

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon}.\frac{|Q_1|.|Q_2|}{r^2}$$

Para o vácuo:

$K_0 = 9{,}0.10^9\ N.m^2/C^2$

$\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\ C^2/N.m^2$

FORÇA ELÉTRICA

Explorando a proporcionalidade na Lei de Coulomb

$$|\vec{F}| \propto |Q_1| \qquad |\vec{F}| \propto |Q_2| \qquad |\vec{F}| \propto \frac{1}{r^2} \qquad |\vec{F}| = \frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2}$$

Dobra uma das cargas e quadruplica a distância **Força se torna 8 vezes MENOR**

$$|\vec{F}| = \frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2} \rightarrow \frac{K.2.|Q_1|.|Q_2|}{(4.r)^2} = \frac{2}{16}.\frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2} = \frac{1}{8}.\frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2}$$

Triplica uma carga e reduz a distância à metade **Força se torna 12 vezes MAIOR**

$$|\vec{F}| = \frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2} \rightarrow \frac{K.3.|Q_1|.|Q_2|}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = \frac{3}{1/4}.\frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2} = 12.\frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2}$$

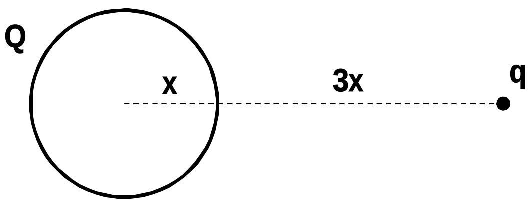
FORÇA ELÉTRICA

Teorema de Newton das Cascas Esféricas

Carga pontual interagindo com casca esférica carregada:

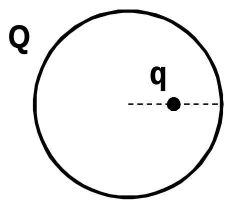
Carga pontual FORA da casca esférica: a casca irá se comportar como **carga pontual** localizada no seu centro.

Carga pontual DENTRO da casca esférica: a força elétrica de interação entre as cargas é **nula**.



$$|\vec{F}| = \frac{K.|Q_1|.|Q_2|}{r^2} = \frac{K.|Q|.|q|}{(4x)^2}$$

Lembrando: “r”, na fórmula, é a distância entre os centros das cargas!

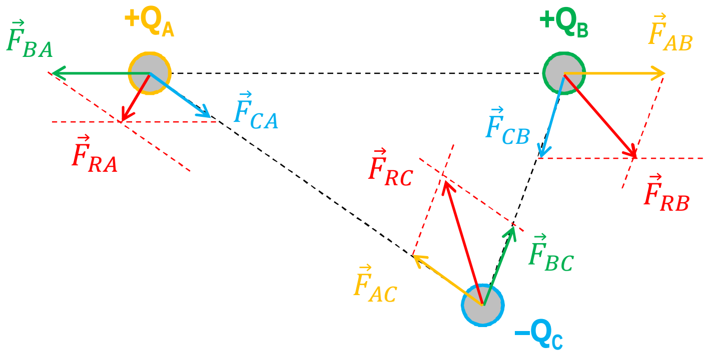


$$|\vec{F}| = 0$$

FORÇA ELÉTRICA

Princípio da Superposição (múltiplas cargas)

A força resultante sobre uma carga é a soma das forças que atuam sobre ela.



$$\boxed{\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n}$$

Soma VETORIAL não é soma de escalar!
(Lembrando Física 1: método do polígono, do paralelogramo ou método das componentes)

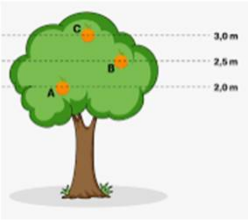
ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

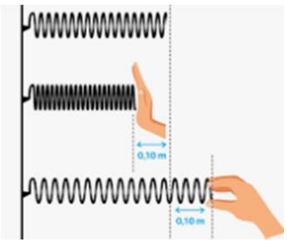
Toda força conservativa tem uma ENERGIA POTENCIAL associada!

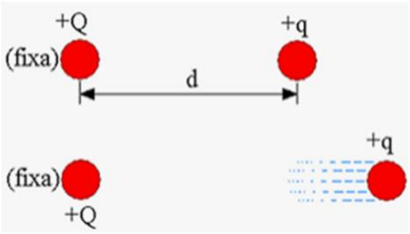
Força GRAVITACIONAL → ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Força ELÁSTICA → ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

Força ELÉTRICA → ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA







A energia potencial pode ser convertida em energia cinética, e vice-versa

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Regra geral entre a força conservativa e a sua energia potencial associada

$$\boxed{F_{cons}(r) = -\frac{dE_P(r)}{dr}}$$

Aplicando para o caso elétrico:

$$F_{cons}(r) = \frac{K.Q_1.Q_2}{r^2} \qquad dE_{PE}(r) = -\frac{K.Q_1.Q_2}{r^2}.dr$$

$$\int_{r_i}^{r_f} dE_{PE} = -\int_{r_i}^{r_f} \frac{K.Q_1.Q_2}{r^2}.dr = -K.Q_1.Q_2.\int_{r_i}^{r_f} \frac{dr}{r^2}$$

$$E_{PE}(r_f) - E_{PE}(r_i) = -K.Q_1.Q_2.\left(-\frac{1}{r_f} - \left(-\frac{1}{r_i}\right)\right)$$

$$E_{PE}(r_f) - E_{PE}(r_i) = \frac{K.Q_1.Q_2}{r_f} - \frac{K.Q_1.Q_2}{r_i}$$

$$\boxed{E_{PE} = \frac{K.Q_1.Q_2}{r}}$$

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

$$\boxed{E_{PE} = \frac{K.Q_1.Q_2}{r}}$$

$$K = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon}$$

Q Cargas (coulomb – C)

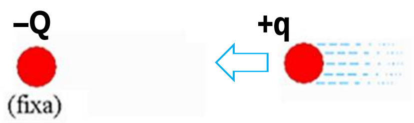
Agora, os sinais das cargas DEVEM ser levados em consideração

E_{PE} Energia potencial elétrica (joules – J)

Energia potencial elétrica negativa: sistema de cargas "ligado"

Movimento ESPONTÂNEO: **Diminuição da energia potencial elétrica do sistema**!

$\boxed{E_{PE} > 0}$ $\quad \uparrow r \rightarrow \downarrow |E_{PE}| \rightarrow \downarrow \boldsymbol{E_{PE}}$

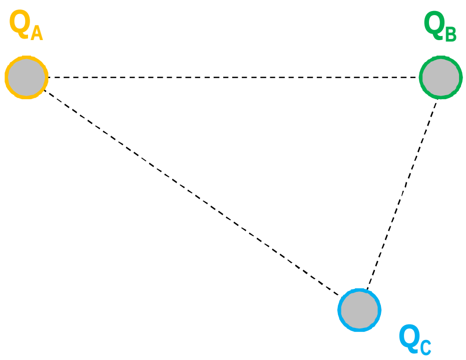


$\boxed{E_{PE} < 0}$ $\quad \downarrow r \rightarrow \uparrow |E_{PE}| \rightarrow \downarrow \boldsymbol{E_{PE}}$

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Múltiplas Cargas

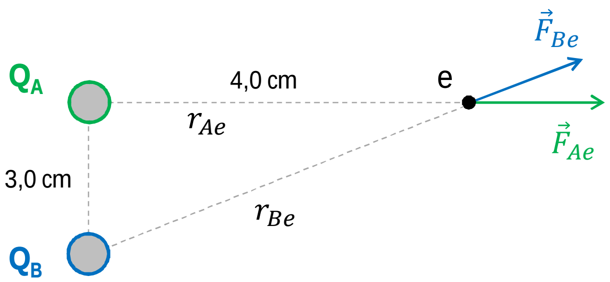
$$\boxed{(E_{PE})_{total} = (E_{PE})_{12} + (E_{PE})_{13} + \cdots + (E_{PE})_{1n} + (E_{PE})_{23} + (E_{PE})_{24} + \cdots (E_{PE})_{2n} + (E_{PE})_{34} + \cdots}$$



$$(E_{PE})_{total} = (E_{PE})_{AB} + (E_{PE})_{AC} + (E_{PE})_{BC}$$

Soma ESCALAR de energias!
(Lembre-se de levar em conta os sinais das cargas)

Exemplo: No sistema abaixo, temos duas cargas negativas (Q_A e Q_B) e um elétron. Sabe-se que as cargas A e B têm módulos iguais a, respectivamente, 3,2pC e 5,0pC. Determine:
a) A força elétrica resultante sobre o elétron, na notação ijk;
b) O módulo da força elétrica resultante sobre o elétron;
c) A energia potencial elétrica do sistema.



$${r_{Be}}^2 = {r_{AB}}^2 + {r_{Ae}}^2 = 3^2 + 4^2$$

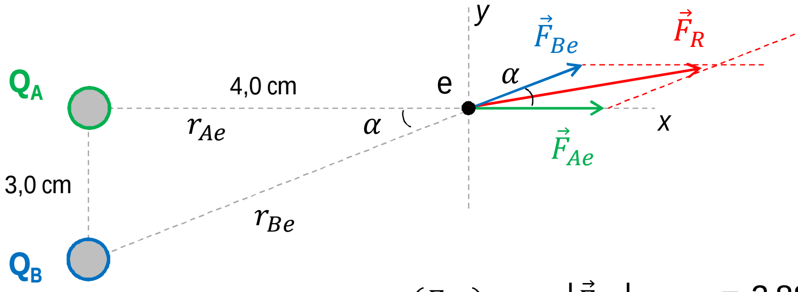
$$\boxed{r_{Be} = 5{,}0\ cm}$$

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

$$|\vec{F}_{Ae}| = \frac{K.|Q_A|.|e|}{{r_{Ae}}^2} = \frac{9.10^9.3{,}2.10^{-12}.1{,}6.10^{-19}}{(0{,}04)^2} = 2{,}88.10^{-18}\ N$$

$$|\vec{F}_{Be}| = \frac{K.|Q_B|.|e|}{{r_{Be}}^2} = \frac{9.10^9.5{,}0.10^{-12}.1{,}6.10^{-19}}{(0{,}05)^2} = 2{,}88.10^{-18}\ N$$

Exemplo: No sistema abaixo, temos duas cargas negativas (Q_A e Q_B) e um elétron. Sabe-se que as cargas A e B têm módulos iguais a, respectivamente, 3,2pC e 5,0pC. Determine:
a) A força elétrica resultante sobre o elétron, na notação ijk;
b) O módulo da força elétrica resultante sobre o elétron;
c) A energia potencial elétrica do sistema.



$$|\vec{F}_{Ae}| = 2{,}88.10^{-18}\,N$$

$$|\vec{F}_{Be}| = 2{,}88.10^{-18}\,N$$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n$$

$$\vec{F}_{Ae} = (2{,}88.10^{-18})\hat{\imath}\,N$$

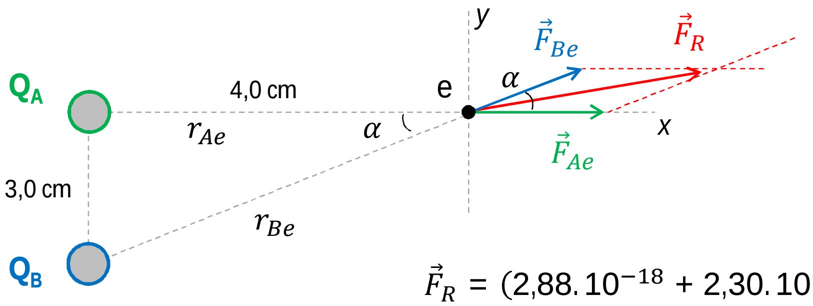
$$(F_{Be})_x = +|\vec{F}_{Be}|.\cos\alpha = 2{,}88.10^{-18}.0{,}8 = 2{,}30.10^{-18}\,N$$

$$tg\alpha = \frac{CO}{CA} = \frac{3}{4} = 0{,}75 \qquad (F_{Be})_y = +|\vec{F}_{Be}|.sen\alpha = 2{,}88.10^{-18}.0{,}6 = 1{,}73.10^{-18}\,N$$

$$\vec{F}_{Be} = (2{,}30.10^{-18})\hat{\imath} + (1{,}73.10^{-18})\hat{\jmath}\,N$$

$$\alpha \cong 37° \qquad sen37° \cong 0{,}6 \qquad cos37° \cong 0{,}8$$

Exemplo: No sistema abaixo, temos duas cargas negativas (Q_A e Q_B) e um elétron. Sabe-se que as cargas A e B têm módulos iguais a, respectivamente, 3,2pC e 5,0pC. Determine:
a) A força elétrica resultante sobre o elétron, na notação ijk;
b) O módulo da força elétrica resultante sobre o elétron;
c) A energia potencial elétrica do sistema.



$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n$$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{Ae} + \vec{F}_{Be}$$

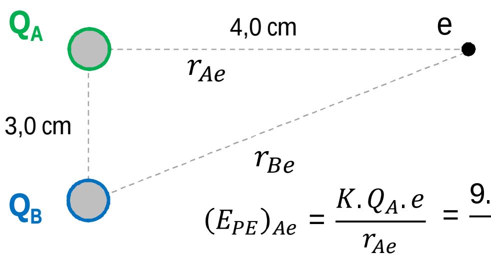
$$\vec{F}_R = (2{,}88.10^{-18} + 2{,}30.10^{-18})\hat{\imath} + (0 + 1{,}73.10^{-18})\hat{\jmath}\,N$$

$$\vec{F}_{Ae} = (2{,}88.10^{-18})\hat{\imath}\,N \qquad \boxed{\vec{F}_R = (5{,}18.10^{-18})\hat{\imath} + (1{,}73.10^{-18})\hat{\jmath}\,N}$$

$$\vec{F}_{Be} = (2{,}30.10^{-18})\hat{\imath} + (1{,}73.10^{-18})\hat{\jmath}\,N \qquad |\vec{F}_R| = \sqrt{(F_R)_x^2 + (F_R)_y^2} \; \boxed{= 5{,}46.10^{-18}\,N}$$

Exemplo: No sistema abaixo, temos duas cargas negativas (Q_A e Q_B) e um elétron. Sabe-se que as cargas A e B têm módulos iguais a, respectivamente, 3,2pC e 5,0pC. Determine:
a) A força elétrica resultante sobre o elétron, na notação ijk;
b) O módulo da força elétrica resultante sobre o elétron;
c) A energia potencial elétrica do sistema.

$$(E_{PE})_{final} = (E_{PE})_{AB} + (E_{PE})_{Ae} + (E_{PE})_{Be}$$



$$E_{PE} = \frac{K.Q_1.Q_2}{r}$$

$$\boxed{(E_{PE})_{final} \cong +4{,}8.10^{-12}\,J}$$

$$(E_{PE})_{Ae} = \frac{K.Q_A.e}{r_{Ae}} = \frac{9.10^9.(-3{,}2.10^{-12}).(-1{,}6.10^{-19})}{0{,}04} = +1{,}152.10^{-19}\,J$$

$$(E_{PE})_{Be} = \frac{K.Q_B.e}{r_{Be}} = \frac{9.10^9.(-5{,}0.10^{-12}).(-1{,}6.10^{-19})}{0{,}05} = +1{,}44.10^{-19}\,J$$

$$(E_{PE})_{AB} = \frac{K.Q_A.Q_B}{r_{AB}} = \frac{9.10^9.(-5{,}0.10^{-12}).(-3{,}2.10^{-12})}{0{,}03} = +4{,}8.10^{-12}\,J$$