

# Carga elétrica

**600 A.C.** Tales de Mileto

Eletrização por atrito  
Ex. pedaço de  
âmbar esfregado  
com peles de  
animais



**1660** Von Guericke  
Globo de enxôfre  
(Máquina eletrostática)



**1747** Benjamin Franklin

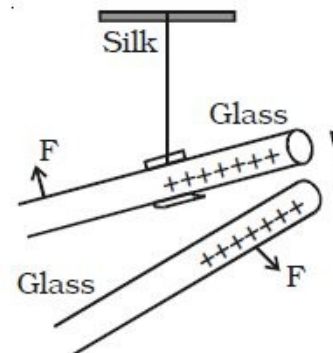


Fig. 1.1 Two charged rods of same sign

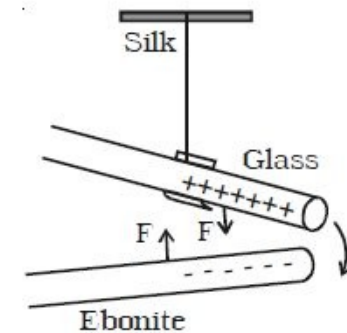
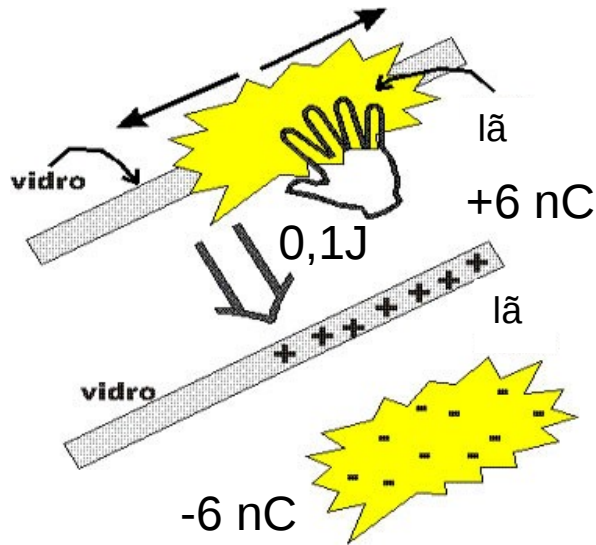


Fig 1.2 Two charged rods of opposite sign

# Tabela Triboelétrica



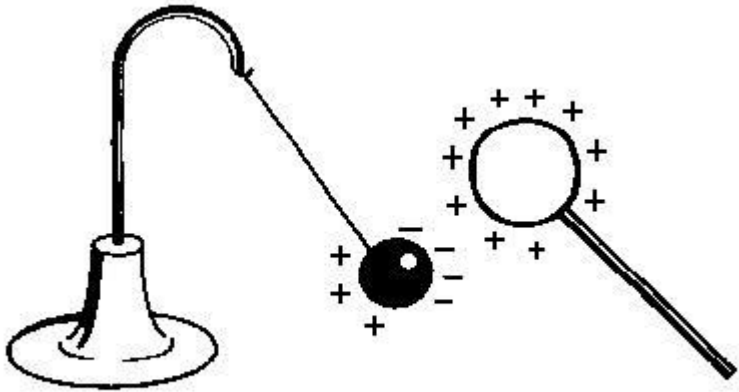
Material (isolante)	Afinidade (nC/J)*
Espuma de poliuretano	+60
Cabelo	+45
Nylon	+30
Vidro	+25
Papel	+10
Algodão	+5
Lã	0
Acrílico	-10
Epoxi	-32
PET	-40
Polistireno	-70
PVC	-100
Latex	-105
Teflon	-190

\* Longe da “saturação”

Ref.: <https://www.trifield.com/content/tribo-electric-series/>

# Eletroscópio, eletrômetro

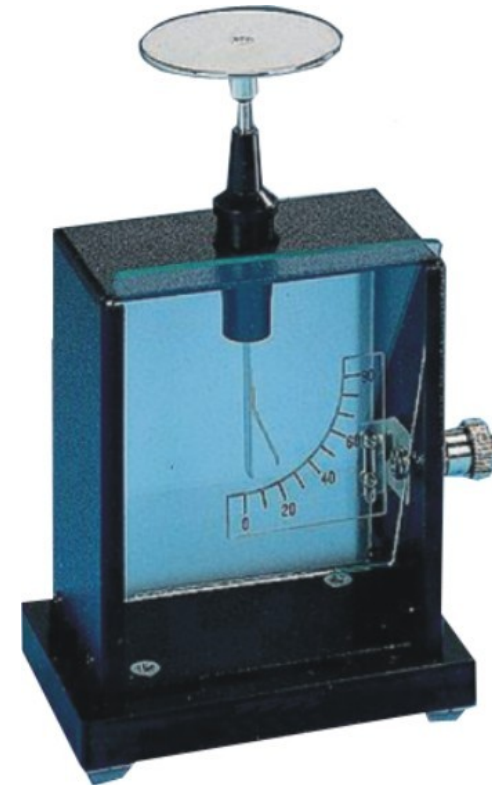
1754 John Canton



1781 – A. Beneth -  
Eletroscópio de  
folhas de ouro

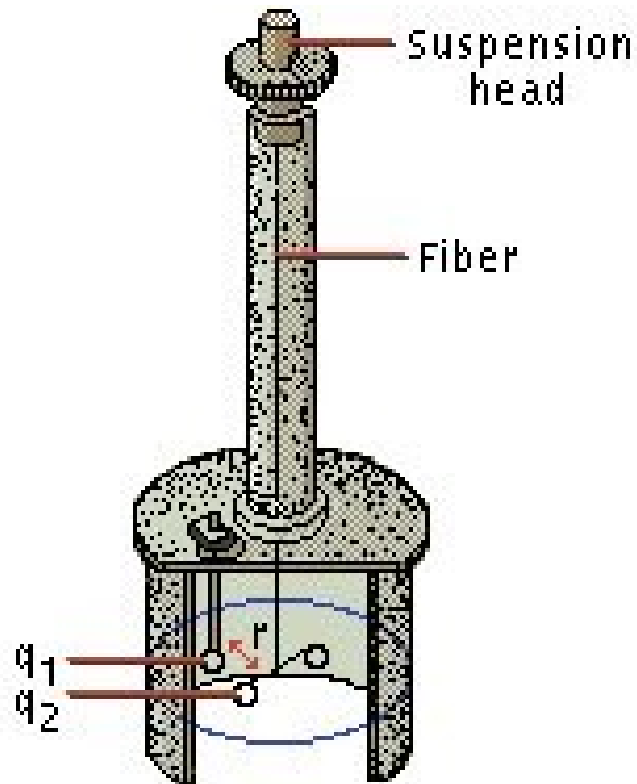


Eletrômetro  
(tem escala)



# Balança de Coulomb

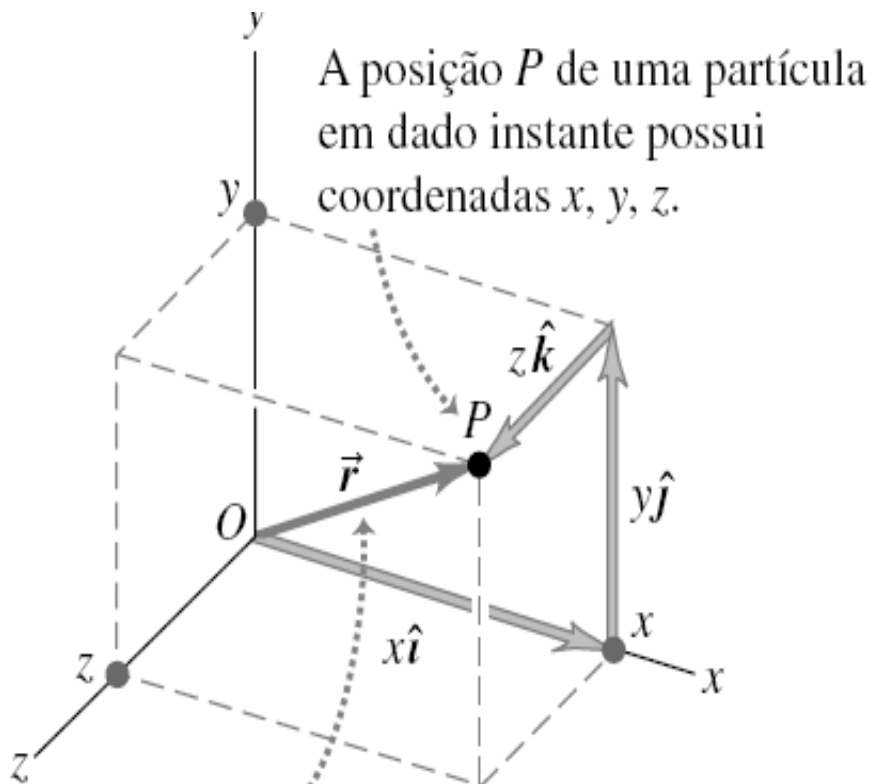
1785 Charles Coulomb



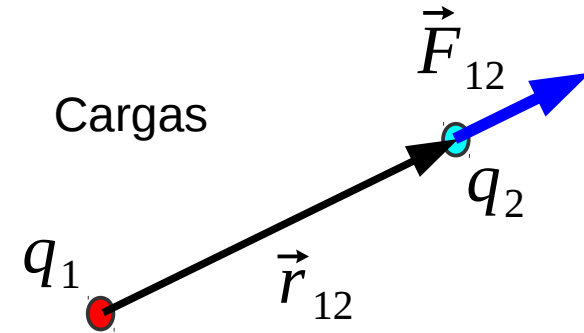
$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

# Lei de Coulomb na forma vetorial

## Vetores e versores



O vetor posição do ponto  $P$  possui componentes  $x, y, z$ :  
 $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$ .



L. C.:

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

SI

Vetor posição relativa

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

Módulo

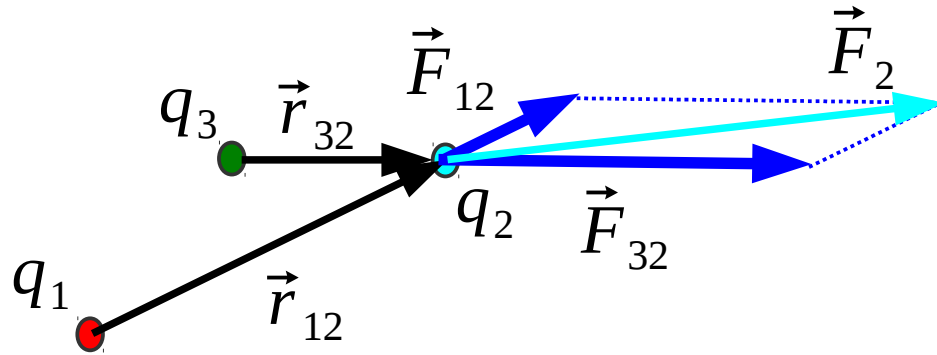
$$r_{12} = |\vec{r}_{12}| = \sqrt{x_{12}^2 + y_{12}^2 + z_{12}^2}$$

Versor

$$\hat{r}_{21} = \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

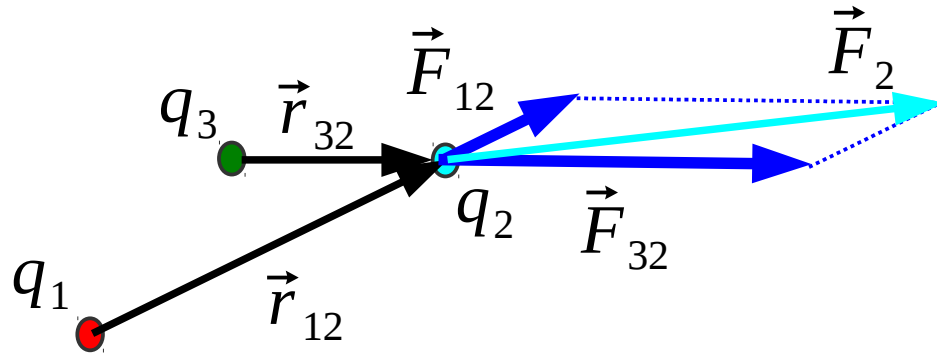
Permissividade elétrica do vácuo:  $\epsilon_0 = 8.85... \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N m}^2)$

# Princípio de superposição



$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = \frac{q_1 q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_{12}^2} \hat{r}_{12} + \frac{q_3 q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_{32}^2} \hat{r}_{32}$$

# Princípio de superposição



$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = \frac{q_1 q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_{12}^2} \hat{r}_{12} + \frac{q_3 q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_{32}^2} \hat{r}_{32}$$

Generalização para N cargas:

$$\vec{F}_j = \sum_{i=1}^N \vec{F}_{ij} = \sum_{i=1}^N \frac{q_i q_j}{4 \pi \epsilon_0 r_{ij}^2} \hat{r}_{ij}$$

(Ex. 2.14)

# Sistema Internacional de unidades SI

## 1. Sete unidades de base do SI

- INMETRO: <http://www.inmetro.gov.br>

Grandeza	Nome da unidade singular (plural)	Símbolo da unidade	Observações
comprimento	metro (metros)	m	O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo. 17ª CGPM, 1983. Essa definição tem o efeito de fixar a velocidade da luz no vácuo em $299\,792\,458$ metros por segundo exatamente, $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.
massa	kilograma ou quilograma (quilogramas ou quilogramas)	kg	O quilograma ou quilograma é a unidade de massa; ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma ou quilograma 3ª CGPM, 1901.
tempo	segundo (segundos)	s	O segundo é a duração de $9\,192\,631\,770$ períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. 13ª CGPM, 1967/68.
corrente elétrica	ampere (amperes)	A	O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, se mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a $2 \times 10^{-7}$ newton por metro de comprimento. 9ª CGPM, 1948.
temperatura termodinâmica	kelvin (kelvins)	K	O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. 13ª CGPM, 1967/68.
quantidade de substância	mol (mols)	mol	1) O mol é a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12. 2) Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados de tais partículas. 14ª CGPM, 1971.
intensidade luminosa	candela (candelas)	cd	A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de $1/683$ watt por esferorradiano. 16ª CGPM, 1979.



# Unidades do SI

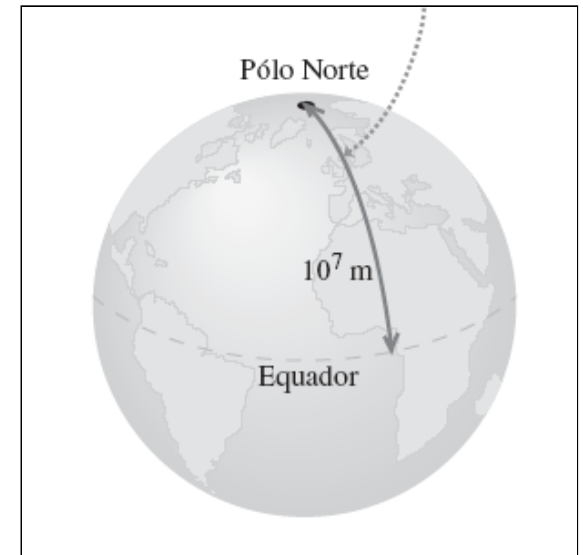
- O metro (m):

**1º CGPM (1889):** liga de platina-irídio – baseado na distância do polo ao equador ( $10^7$  m).

**11º CGPM (1960)** baseado no comprimento de onda da raia vermelho-laranja do  $^{86}\text{Kr}$ .

**17º CGPM (1983, Resolução 1):** Distância percorrida pela luz no vácuo no intervalo de  $1/299\,792\,458$  de um segundo.

$1/10.000.000$



# Sistema internacional de unidades, SI

- Unidades básicas: m, kg, s, A, K, mol, cd

- INMETRO: <http://www.inmetro.gov.br>

## O segundo (s):

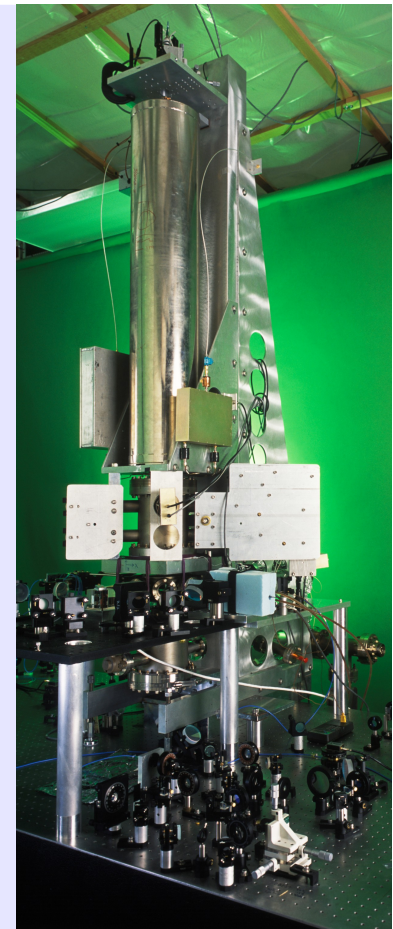
1/86 400 do dia solar médio

13º CGPM (1967/68): Duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de  $^{133}\text{Cs}$ .

- Relógio atômico.

1997 CIPM (Conferência):

- A definição se refere à temperatura do zero absoluto: 0 K.
- O segundo é baseado num átomo de Cs livre da radiação de corpo negro ambiente.
- As frequências devem ser corrigidas considerando a mudança devida à radiação ambiental (Comitê consultivo de tempo e frequência - 1999).



<http://physics.nist.gov/cuu/index.html>

# Unidades do SI

- O quilograma (kg):

Definido (ainda!) por um artefato material



Cilindo de 90% Platina e 10% Irídio.  
Original (~1880) e cópias mantidas em  
um cofre no BIPM



# Unidades do SI - Ampère

- O ampère é a corrente que, se mantida em dois condutores retilíneos paralelos e de comprimento infinito, de secção circular desprezível a um metro de distância em vácuo, produzirá entre estes condutores uma força igual a  $2 \times 10^{-7}$  newtons por metro de comprimento.



OBS.: 1 C = 1 A/s