



On White II, Wassily Kandinsky 1923

MCE_IM_2024-2025

Mecânica e Campo Eletromagnético

Aula 7

Cap. 3 – Carga eléctrica. Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Diferença de potencial

- Exemplos

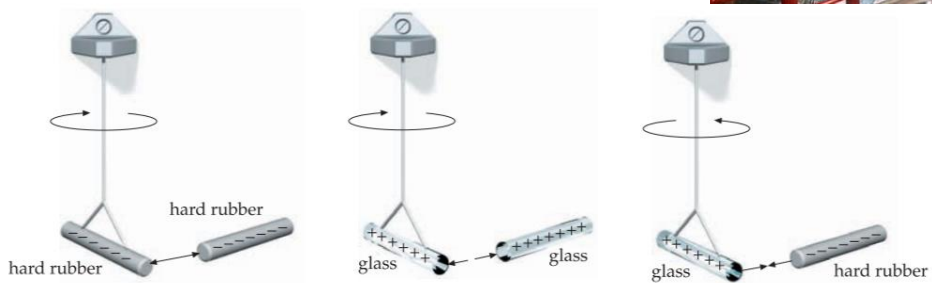
Isabel Malaquias
imalaquias@ua.pt
 Gab. 13.3.16

1



Cap. 3 – Carga eléctrica. Lei de Coulomb.
 Campo eléctrico. Diferença de potencial

Noção de carga eléctrica



MCE_IM_2024-2025

2

Cap. 3 – Carga eléctrica. Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Diferença de potencial

Propriedades importantes da carga eléctrica:

CONSERVAÇÃO DA CARGA - não é possível criar ou destruir carga eléctrica, apenas transferi-la. Num sistema isolado, a carga total permanece constante.

É possível criar ou destruir partículas em colisões com energias muito altas, mas, sempre que se cria ou destrói uma partícula com carga, também se cria ou destrói a sua antipartícula, com carga igual e oposta.

QUANTIFICAÇÃO DA CARGA – qualquer carga eléctrica é sempre um múltiplo inteiro da carga elementar e :

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (coulomb)}$$

INVARIÂNCIA DA CARGA – o valor da carga é o mesmo quer esteja em repouso quer esteja em movimento

PRINCÍPIO DA SOBREPOSIÇÃO - a acção de um conjunto de cargas é igual à soma da acção individual de cada uma das cargas

MCE_IM_2024-2025

3

Força eléctrica (\vec{F}) é:

- **inversamente** proporcional ao quadrado da distância (r^2)
- **Proporcional** ao produto das cargas q_1 e q_2
- **atractiva** se as cargas têm sinais opostos e **Repulsiva** se tiverem o mesmo sinal.
- é uma força **conservativa**

Lei de Coulomb – Pag 711

Força electrostática ou de Coulomb entre 2 cargas eléctricas estacionárias q_1 e q_2

é uma constante (constante de Coulomb)

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

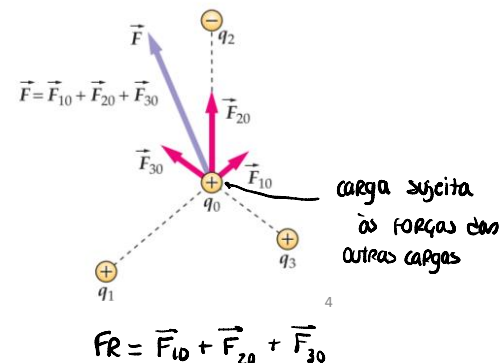
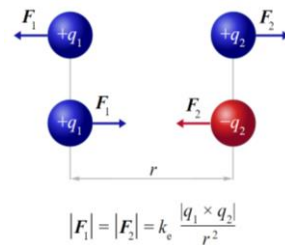
$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ farad/metro (F.m}^{-1}\text{)}$$

é a **PERMITIVIDADE** no vazio

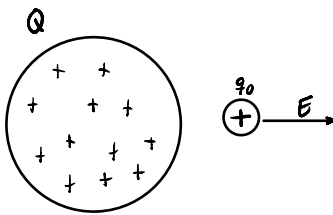
Para n cargas no espaços, a força resultante sobre a carga Q será o resultado de somar todos os valores, i. é,

$$\vec{F} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r^2} \hat{r}$$

MCE_IM_2024-2025



4



$$\vec{E} = k \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$d\vec{E} = k \cdot \frac{dq}{r^2}$$

Campo eléctrico \vec{E}

α carga que cria o campo eléctrico

Uma carga eléctrica Q modifica o espaço à sua volta, produzindo um CAMPO ELÉCTRICO \vec{E} à sua volta.

O campo eléctrico \vec{E} produzido pela carga Q no ponto P define-se como a força que actua na carga de prova q_0 dividida pelo valor da carga de prova

$$\frac{\vec{F}}{q_0} = \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

O campo eléctrico em qualquer ponto P pode ser medido por meio de uma carga de prova, q_0 (positiva) colocada nas suas imediações.

O campo eléctrico resultante de um conjunto n de cargas, num ponto do espaço, será dado por

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r^2} \hat{r}$$

Distribuição contínua de carga: significa que a carga eléctrica não está concentrada em pontos específicos, mas sim espalhada de forma uniforme ou não uniforme por uma região do espaço, como uma linha, superfície ou volume.

Para uma DISTRIBUIÇÃO CONTÍNUA DE CARGA, tem-se

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

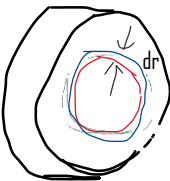
MCE_IM_2024-2025

5

$\sigma \rightarrow$ Representa quanta carga eléctrica está distribuída em uma determinada área da superfície

3. Um disco de raio R tem uma densidade de carga dada por $\sigma = 3r$. Calcule a carga total do disco.

σ densidade de carga. Quanto mais longe do centro ($+R$) maior é a carga por unidade de área



$$\sigma = \frac{dQ}{dS}$$

↳ Área da parte da superfície

dS é um elemento de superfície

perímetro círculo

$$dS = 2\pi r dr$$

$$Q = \int_0^R \sigma 2\pi r dr$$

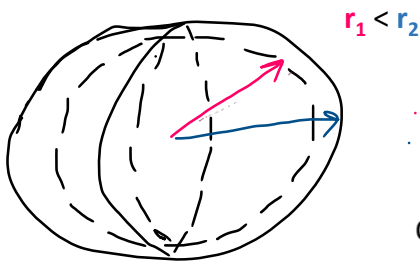
$$Q = 2\pi R^3 \text{ coulomb (C)}$$

$$Q = \int_0^R 3r 2\pi r dr$$

MCE_IM_2024-2025

6

4. Uma coroa esférica de raios r_1 e r_2 ($r_1 < r_2$) tem uma densidade de carga que é inversamente proporcional ao raio. Sabendo que a carga total da coroa é Q , obtenha uma expressão para a densidade de carga.



$$dQ = \rho dV = \rho 4 \pi r^2 dr$$

$$\rho = \text{constante} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\rho = k \frac{1}{r}$$

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} k \frac{1}{r} 4 \pi r^2 dr$$

$$Q = 2 \pi k (r_2^2 - r_1^2)$$

$$k = \frac{Q}{2 \pi (r_2^2 - r_1^2)}$$

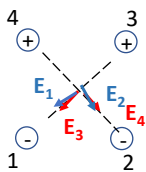
$$\rho = \frac{Q}{2 \pi (r_2^2 - r_1^2)} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{S.I.})$$

MCE_IM_2024-2025

7

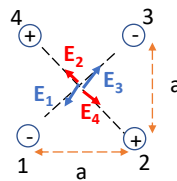
5. Quatro cargas $+q, +q, -q, -q$ estão colocadas nos vértices dum quadrado de lado a .

- a) Determine, para os dois casos de distribuição das cargas, o campo elétrico e o potencial no centro do quadrado.

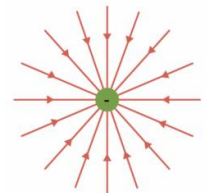
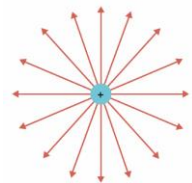


$$\vec{E}_{total} \neq 0$$

$$\vec{E}_{total} = -\frac{q \sqrt{2}}{\pi \epsilon_0 a^2} \hat{j}$$



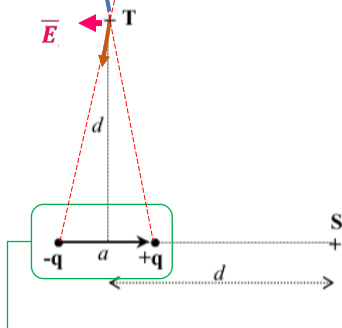
$$\vec{E}_{total} = 0$$



MCE_IM_2024-2025

8

6. Duas cargas iguais e de sinais contrários, com uma distância constante entre si constituem um dipolo (ver figura).



DIPOLLO
ELÉCTRICO

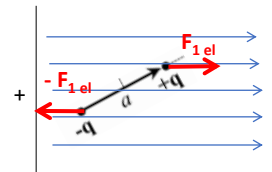
$\vec{\tau} = \text{MOMENTO DE FORÇA}$

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\vec{M} = q \vec{a} \times \left[\frac{\vec{F}}{q} \right] \vec{E}$$

MCE_IM_2024-2025

- Mostre que o campo elétrico em **S** é paralelo ao vetor \vec{a} , e em **T** tem o sentido contrário.
- Determine o campo elétrico em **T** e em **S**, fazendo aproximações adequadas ($d \gg a$). Introduza no resultado o vector momento dipolar elétrico, $\vec{P} = q\vec{a}$
- Mostre que um dipolo colocado num campo elétrico uniforme \vec{E} fica sujeito a um binário cujo momento é dado por $\vec{M} = \vec{P} \times \vec{E}$.



exemplo de **BINÁRIO
DE FORÇAS** que origina
rotação