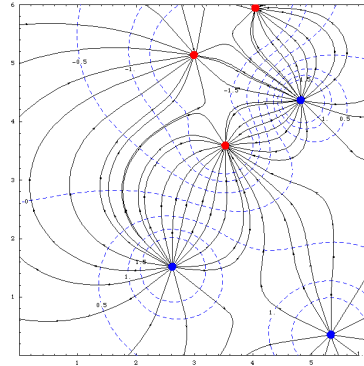


Cargas Pontuais:

- Campo elétrico
- Força elétrica
- Potencial elétrico
- Energia eletrostática



Campo Eléctrico

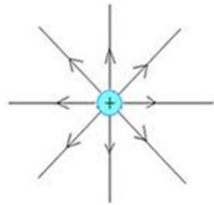
- ▶ O campo eléctrico é um **campo vectorial**:

$$\vec{E}(x, y, z) = E_x(x, y, z) \hat{x} + E_y(x, y, z) \hat{y} + E_z(x, y, z) \hat{z}$$

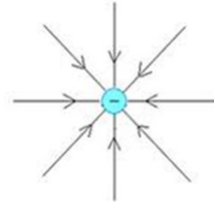
Linhas de campo

- ▶ A tangente da linha de campo num ponto dá a direcção do campo nesse ponto.
- ▶ A densidade de linhas de campo numa região do espaço dá informação sobre a intensidade do campo nessa região.

Campo eléctrico criado por uma carga pontual



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



Permitividade eléctrica do vazio: $\epsilon_0 \approx 8,854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$

Constante de Coulomb: $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8,988 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\text{C}^{-2}$

Campo eléctrico criado por uma carga pontual

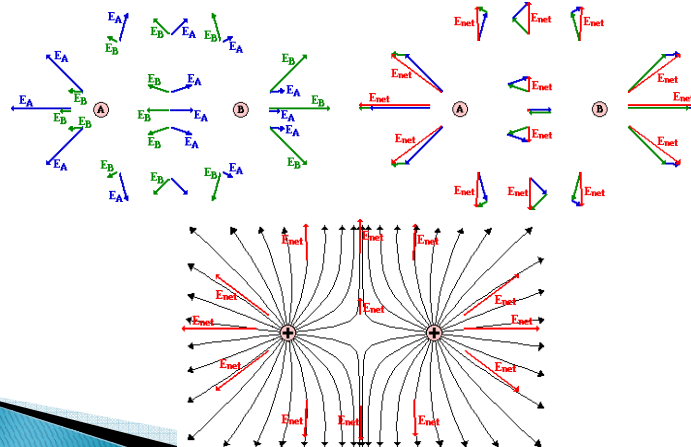
Questões:

- ▶ 1. Calcule a intensidade do campo eléctrico criado por uma carga de 5 nC num ponto a 2 cm de distância e noutro ponto a 4 cm de distância. Compare os resultados obtidos.
- ▶ 2. Uma carga encontra-se sobre o eixo dos XX na posição 3 cm.
 - ▶ a) Calcule o campo eléctrico na posição 4 cm sobre o eixo dos XX.
 - ▶ b) Calcule o campo eléctrico na posição -2 cm sobre o eixo dos XX.
 - ▶ c) Calcule o campo eléctrico na posição 4 cm sobre o eixo dos YY.
 - ▶ d) Calcule o campo eléctrico na posição - 2 cm sobre o eixo dos YY.

Campo eléctrico criado por n cargas pontuais

Princípio da sobreposição: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$

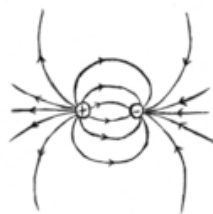
Campo criado por duas cargas positivas iguais:



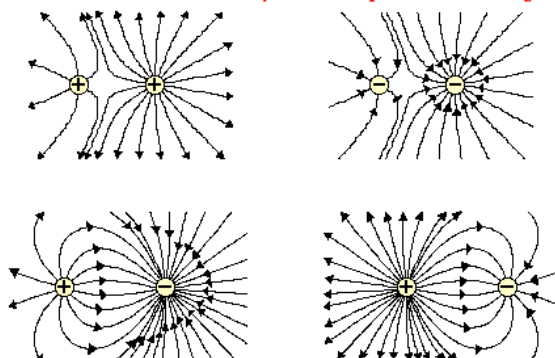
Campo eléctrico criado por n cargas pontuais

Princípio da sobreposição: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$

Campo criado por duas cargas simétricas (dipolo):

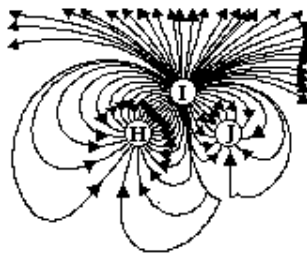
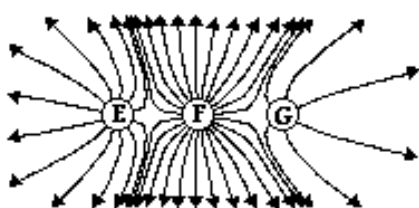


Electric Field Line Patterns for Objects with Unequal Amounts of Charge



Campo eléctrico criado por n cargas pontuais

Princípio da sobreposição: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$



Campo eléctrico criado por n cargas pontuais

Questões:

- Considere num sistema de eixos ortonormado $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ a presença de uma carga pontual de valor $q_1 = 12 \text{ nC}$ no ponto $\vec{P}_1 = (0\hat{x} + 0\hat{y} - 5\hat{z}) \text{ cm}$ e de outra carga pontual de valor $q_2 = -q_1 = -12 \text{ nC}$ no ponto $\vec{P}_2 = (0\hat{x} + 0\hat{y} + 5\hat{z}) \text{ cm}$. Chama-se a este sistema de duas cargas de valor simétrico um dipolo eléctrico.
 - Calcule o campo eléctrico no ponto $\vec{P}_3 = (0\hat{x} + 0\hat{y} + 2\hat{z}) \text{ cm}$.
 - Calcule o campo eléctrico no ponto $\vec{P}_4 = (0\hat{x} + 0\hat{y} - 9\hat{z}) \text{ cm}$.
 - Calcule o campo eléctrico no ponto $\vec{P}_5 = (0\hat{x} + 12\hat{y} + 0\hat{z}) \text{ cm}$.
- Uma carga $q_1 = 2 \text{ nC}$ encontra-se na posição $\vec{r}_1 = 0\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k} \text{ (cm)}$ e uma carga $q_2 = 8 \text{ nC}$ encontra-se na posição $\vec{r}_2 = 3\hat{i} + 0\hat{j} + 0\hat{k} \text{ (cm)}$.
 - Calcule o vector campo eléctrico criado pelas cargas na posição $\vec{r}_3 = 0\hat{i} + 4\hat{j} + 0\hat{k} \text{ (cm)}$.
 - Qual o ponto em que o campo eléctrico é nulo?
- Uma carga $q_1 = 10 \text{ nC}$ encontra-se na origem e uma carga $q_2 = 8 \text{ nC}$ encontra-se na posição 3 cm sobre o eixo dos XX.
 - Calcule o vector campo eléctrico criado pelas cargas na posição 2 cm sobre o eixo dos XX.
 - Qual o ponto onde o campo eléctrico é nulo?

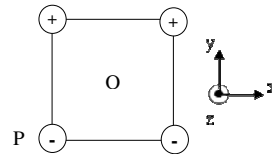
Campo eléctrico criado por n cargas pontuais

Questões:

4. Uma carga $q_1 = 2 \text{ nC}$ encontra-se na origem e uma carga $q_2 = -8 \text{ nC}$ encontra-se na posição $\vec{r}_2 = 1,00 \hat{x} \text{ (m)}$.

- a) Calcule o vector campo eléctrico gerado pelas duas cargas no ponto P, que se encontra na posição $\vec{r}_p = -2,00 \hat{y} \text{ (m)}$.
- b) O campo eléctrico é nulo em que posição(ões)?

5. Quatro cargas, duas positivas e duas negativas, estão dispostas no vértice de um quadrado com 3 cm de lado como indica a figura. O módulo de cada carga é igual a 2 nC. Calcule o vector campo eléctrico gerado pelas quatro cargas no centro do quadrado (ponto O).



Lei de Coulomb



(1736 – 1806)

Lei de Coulomb (1785)

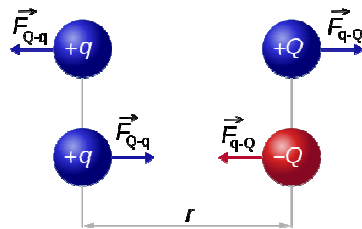
Balança de torção de Coulomb

<http://www.youtube.com/watch?v=w-24elwtSbk>



Lei de Coulomb

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



$$|\vec{F}_{Q-q}| = |\vec{F}_{q-Q}| = k \frac{|q \times Q|}{r^2}$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}^2} \hat{r}_{21}$$

3ª Lei de Newton

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Cargas do mesmo sinal repelem-se.

Cargas de sinal oposto atraem-se.

Lei de Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}^2} \hat{r}_{21}$$

Relação com o campo eléctrico:

$$\vec{F}_{12} = q_2 \vec{E}_1$$

$$\vec{F}_{21} = q_1 \vec{E}_2$$

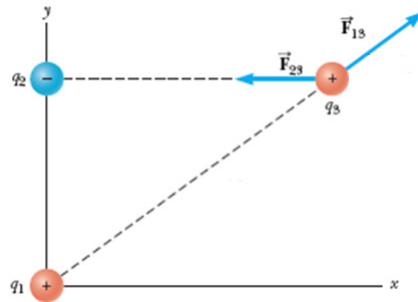
Lei de Coulomb

Princípio da sobreposição:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

ou

$$\vec{F}_3 = q_3 \vec{E}_t = q_3 (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)$$



Potencial eléctrico

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Para uma carga pontual:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + C \quad C = V_\infty$$

Para n cargas pontuais (Princípio da sobreposição):

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Energia electrostática

$$U = -\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Para duas cargas pontuais:

$$U_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + C \quad C = U_\infty$$

$$U_{12} = V_1 q_2 + C = V_2 q_1 + C$$

Para 3 cargas pontuais (Princípio da sobreposição):

$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23}$$

Para 4 cargas pontuais (Princípio da sobreposição):

$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23} + U_{14} + U_{24} + U_{34}$$