

FÍSICA BÁSICA III

Aula 2: Campo Elétrico

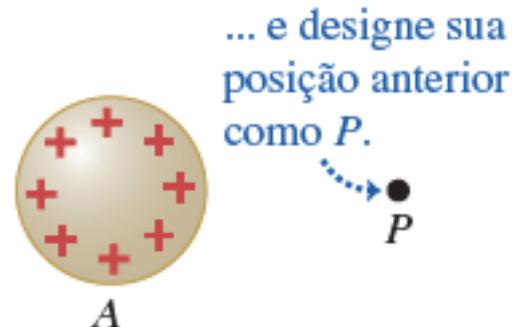
Campo Elétrico

- Como duas partículas carregadas podem interagir mesmo estando no vácuo?
- Dizemos que uma partícula carregada produz um campo elétrico ao seu redor.
- A determinação do campo elétrico pode ser feita através da utilização de uma carga de teste.
- A carga de teste é definida positiva.

(a) *A e B exercem forças elétricas entre si*



(b) *Remova o corpo B...*



Campo Elétrico

- A força elétrica sobre um corpo carregado é exercida pelo campo elétrico produzido por outros corpos carregados.

Campo elétrico = força elétrica por unidade de carga

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

Força elétrica sobre uma carga de teste q_0 em função de outras cargas

Valor da carga de teste

Esta expressão somente é válida para q_0 puntiforme

Campo elétrico de uma carga puntiforme

- Podemos obter o campo elétrico devido a uma carga puntiforme utilizando:

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|qq_0|}{r^2}$$

- Da relação entre F_0 e E podemos obter a expressão para o módulo do campo elétrico de uma carga puntiforme:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2} \quad (\text{módulo de campo elétrico de uma carga puntiforme})$$

Vetor campo elétrico

- Mas o campo elétrico é um vetor. Então podemos escrever o vetor campo elétrico da seguinte forma:

Campo elétrico em função de uma carga puntiforme

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (21.7)$$

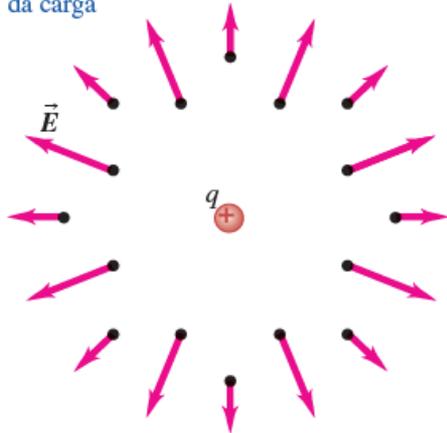
Valor da carga puntiforme

Vetor unitário da carga puntiforme para onde o campo é medido

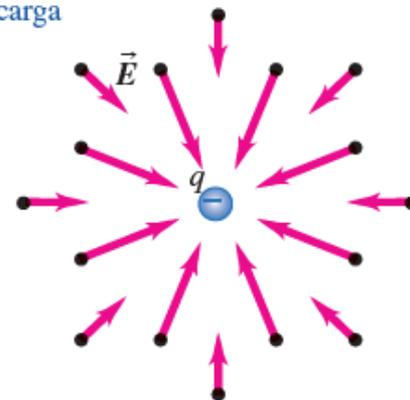
Constante elétrica

Distância da carga puntiforme até onde o campo é medido

(a) O campo produzido por uma carga puntiforme positiva aponta para *fora* da carga



(b) O campo produzido por uma carga puntiforme negativa aponta para *dentro* da carga



Exemplo:

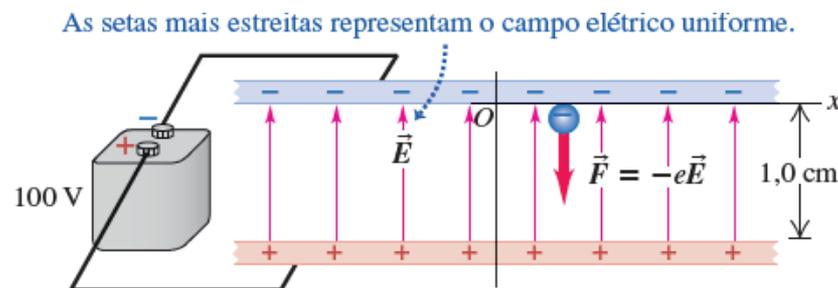
- Calcule o módulo do campo elétrico \mathbf{E} de uma carga puntiforme $q = 4,0 \text{ nC}$ em um ponto do campo situado a uma distância de $2,0 \text{ m}$ da carga.

Exemplo:

- Uma carga puntiforme $q = - 8,0 \text{ nC}$ está localizada na origem. Determine o vetor do campo elétrico para o ponto do campo $x = 1,2 \text{ m}$, $y = -1,6 \text{ m}$.

Exemplo:

- Quando os terminais de uma bateria são conectados a duas placas condutoras paralelas separadas por um vão pequeno, as cargas resultantes sobre as placas produzem um campo elétrico aproximadamente uniforme na região entre as placas. Se as placas estão separadas por uma distância de 1,0 cm conectadas a uma bateria de 100 V, como indica a Figura, o campo está orientado verticalmente de baixo para cima e seu módulo é dado por $E = 1,0 \times 10^4 \text{ N/C}$. (a) Calcule a aceleração de um elétron (carga $-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, massa $m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$) liberado do repouso na placa superior. (b) Calcule o módulo da velocidade e a energia cinética do elétron adquiridos ao longo do trecho de 1 cm até a placa inferior. (c) Quanto tempo ele leva para percorrer essa distância?

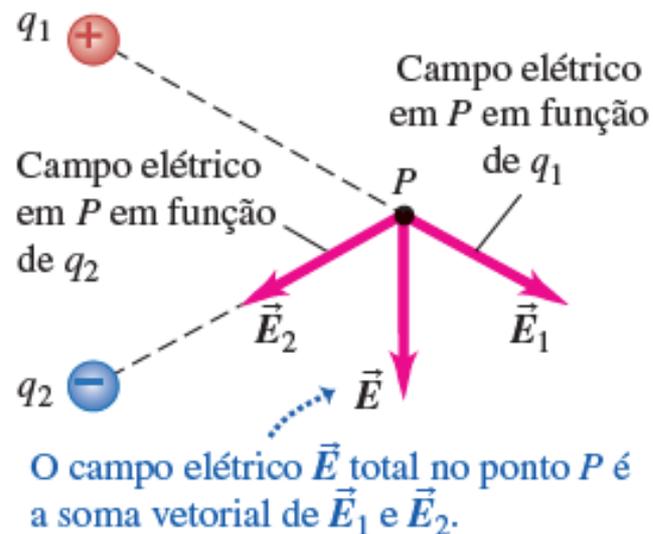


Superposição de campos elétricos

- Da mesma forma que na força elétrica, podemos fazer a superposição de campos elétricos.

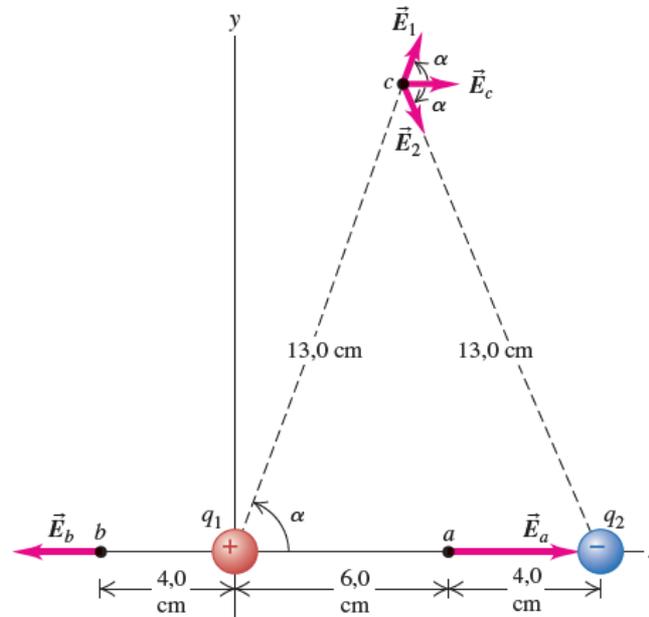
$$\vec{F}_0 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = q_0 \vec{E}_1 + q_0 \vec{E}_2 + q_0 \vec{E}_3 + \dots$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$



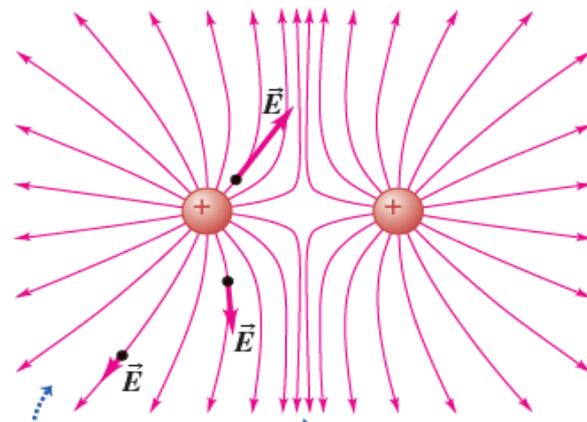
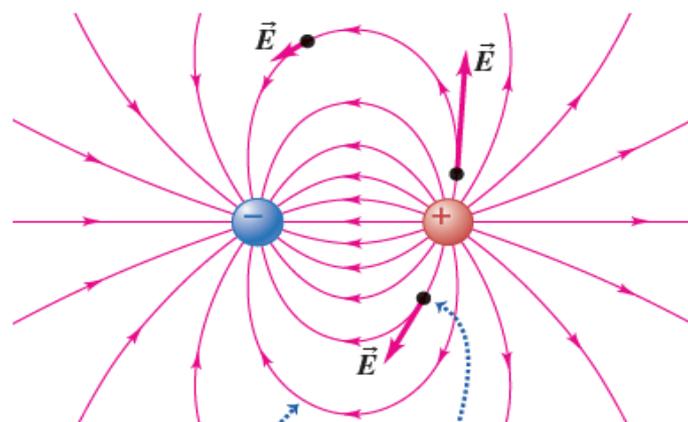
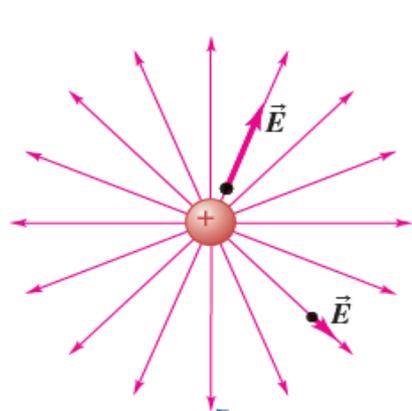
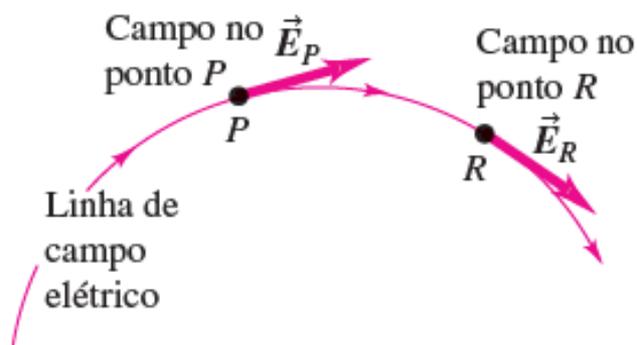
Exemplo:

- A distância entre duas cargas puntiformes $q_1 = + 12 \text{ nC}$ e $q_2 = - 12 \text{ nC}$ é igual a $0,100 \text{ m}$. (Denomina-se dipolo elétrico um conjunto de duas cargas iguais, porém de sinais opostos.) Determine o campo elétrico produzido por q_1 , o campo elétrico produzido por q_2 e o campo elétrico resultante (a) no ponto a; (b) no ponto b; e (c) no ponto c.



Linhas de campo elétrico

- Uma linha de campo elétrico é uma linha imaginária em que sua tangente fornece a direção do campo elétrico em qualquer ponto.



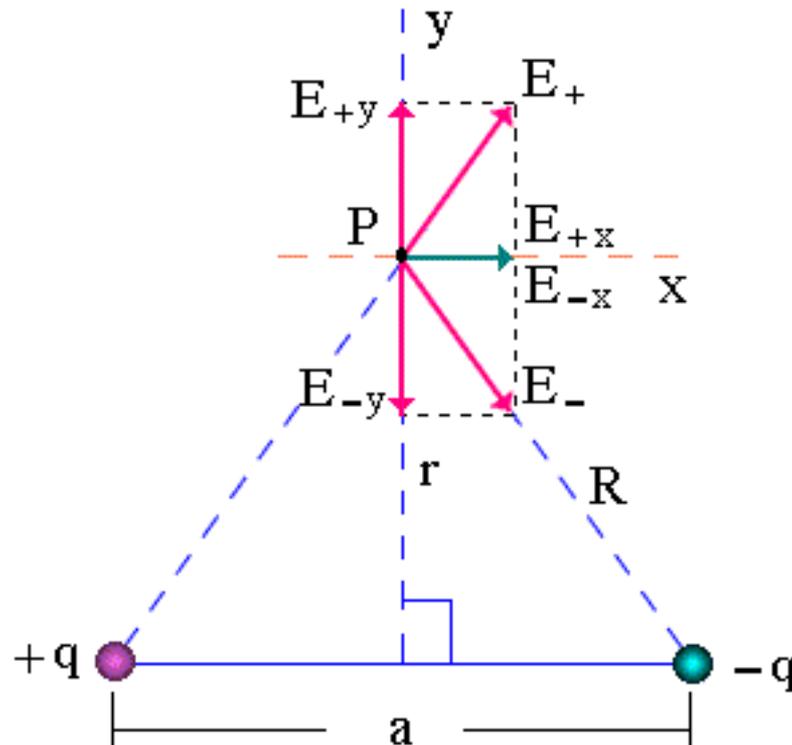
Linhas de campo sempre apontam *para fora* de cargas (+) e *para dentro* de cargas (-).

A cada ponto no espaço, o vetor do campo elétrico é *tangente* à linha de campo que passa pelo ponto considerado.

As linhas de campo ficam próximas quando o campo é forte e distantes quando o campo é mais fraco.

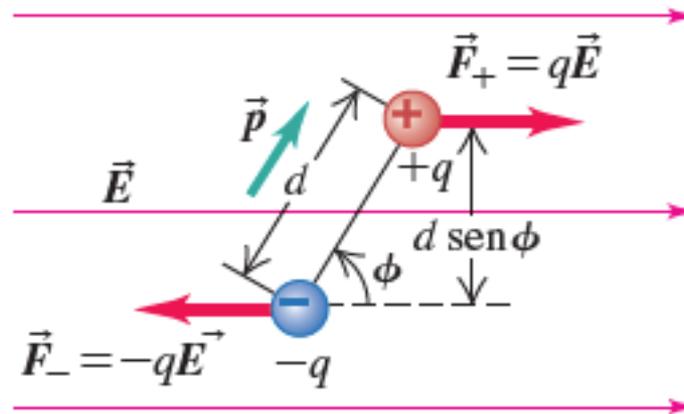
Dipolo elétrico

- Um dipolo elétrico é formado por duas cargas de mesmo módulo e sinais opostos separadas por uma distância d .



Força e torque sobre um dipolo

- Se considerarmos um dipolo elétrico em uma região onde há um campo elétrico uniforme, podemos ver que as cargas do dipolo sofrem a ação de uma força.



- Neste caso podemos ver que a força resultante sobre o dipolo é nula.
- No entanto, o torque sobre este dipolo não será nulo.

Torque sobre um dipolo

- O torque devido a força F_+ será dado por:

$$(qE)(d/2)\text{sen } \phi$$

- O torque devido a força F_- será dado por:

$$(qE)(d/2)\text{sen } \phi$$

- Desta forma,

$$\tau = (qE)(d \text{sen}\phi)$$

Torque sobre um dipolo

- O torque pode ser escrito em termos do momento de dipolo elétrico:

$$p = qd$$

- Então

Módulo do torque sobre um dipolo elétrico

$$\tau = pE \sin \phi$$

Módulo de um campo elétrico \vec{E}

Ângulo entre \vec{p} e \vec{E}

Módulo do momento de dipolo elétrico \vec{p}

- Ou na forma vetorial

O vetor torque sobre um dipolo elétrico

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Momento de dipolo elétrico

Campo elétrico

Energia potencial de um dipolo elétrico

- Podemos calcular o trabalho realizado pelo torque:

$$dW = \tau d\phi = -pE \sin\phi d\phi$$

- Em um deslocamento finito entre ϕ_1 e ϕ_2 .

$$\begin{aligned} W &= \int_{\phi_1}^{\phi_2} (-pE \sin \phi) d\phi \\ &= pE \cos \phi_2 - pE \cos \phi_1 \end{aligned}$$

Energia potencial de um dipolo elétrico

- Se lembrarmos que o trabalho é menos a variação na energia potencial, podemos escrever:

$$U(\phi) = -pE \cos \phi$$

- Ou em forma de vetores:

Energia potencial para um dipolo em um campo elétrico

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Campo elétrico

Momento de dipolo elétrico

The diagram features a light blue rectangular background. On the left, the text 'Energia potencial para um dipolo em um campo elétrico' is written in blue. On the right, the text 'Campo elétrico' is written in blue. In the center, the equation $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ is displayed in black. Below the equation, the text 'Momento de dipolo elétrico' is written in blue. Dotted blue arrows point from the text on the left to the U term in the equation, from the text on the right to the \vec{E} term, and from the text at the bottom to the \vec{p} term.

Exemplo:

- A Figura a seguir indica um dipolo elétrico no interior de um campo elétrico uniforme com módulo igual a 5×10^5 N/C orientado paralelamente ao plano da figura. As cargas são $1,6 \times 10^{-19}$ C e ambas as cargas estão sobre o plano da figura, e a distância entre elas é igual a 0,125 nm. Calcule (a) a força resultante exercida pelo campo sobre o dipolo; (b) o módulo, a direção e o sentido do momento de dipolo elétrico; (c) o módulo, a direção e o sentido do torque; (d) a energia potencial do sistema na posição indicada.

