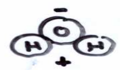
Efeito de campo elétrico externo

DIPOLO ELÉTRICO

23

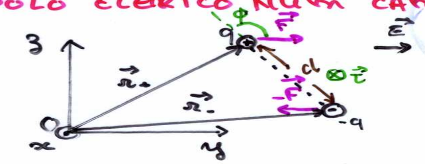
= duas cargas iguais com sinais contrários separadas por uma distância d pequena.

(modelo para certas moléculas, antenas de TV, materiais dielétricos etc.



os centros de carga + e − não coincidem)

DIPOLO ELÉTRICO NUM CAMPO EXTERNO $\vec{E}$ UNIFORME



A força resultante $\vec{F} - \vec{F} = \vec{0}$ sobre o dipolo ($\vec{F} = q\vec{E}$) mas elas não atuam ao longo da mesma reta $\Rightarrow$ torque $\neq 0$

$$\vec{\tau} = \vec{r}_+ \wedge \vec{F} + \vec{r}_- \wedge (-\vec{F}) = (\vec{r}_+ - \vec{r}_-) \wedge q\vec{E}$$

$\Rightarrow$

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{p} \wedge \vec{E} \quad \text{com} \quad \vec{p} \equiv q(\vec{r}_+ - \vec{r}_-) \quad \text{e} \quad |\vec{p}| = qd}$$

vai da carga − p/a +
≡ momento do dipolo

obs: o torque não depende de O.

O torque faz com o dipolo tende a girar e se alinhar com o campo: $\vec{p} // \vec{E}$ (neste caso $\vec{\tau} = 0$ e o dipolo está em equilíbrio estável) $\odot \xrightarrow{\vec{p}} \odot$ $\xrightarrow{\vec{E}}$

Quando o dipolo gira, o torque faz um trabalho

$$dW = \tau\, d\phi \Rightarrow W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \tau\, d\phi = \int_{\phi_1}^{\phi_2} -pE \operatorname{sen}\phi\, d\phi^{*}$$

$$= \left[+pE\cos\phi\right]_{\phi_1}^{\phi_2} = pE(\cos\phi_2 - \cos\phi_1)$$

$$= -\Delta U = U_1 - U_2$$

↑ conservação da en. K+U

* $\tau = \overset{\downarrow}{-} p \operatorname{sen}\phi\, d\phi$ pois $\phi \searrow$

somente diferença de energia potencial tem sentido físico e estamos livres para escolher nosso ponto de referência. É prático supor:

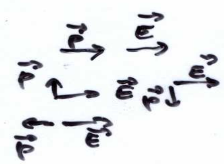
Para $\phi_1 = 90°$, $U_1 = 0$

Assim $\phi_2 = \phi$ qualquer: $\boxed{U = -pE\cos\phi = -\vec{p}\cdot\vec{E}}$

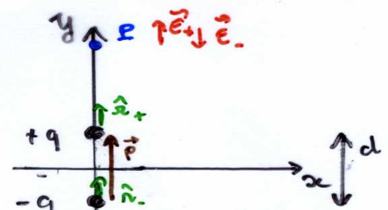
Obs: U é min. para $\phi = 0$, valendo $-pE$

0 para $\phi = \pm 90°$

max. para $\phi = 180°$, valendo pE



CAMPO ELÉTRICO PRODUZIDO POR UM DIPOLO (ao longo de $\vec{p}$)



Pergunta: valor de E num ponto P alinhado com o dipolo mas muito longe?

O campo elétrico em P só tem componente $E_y \neq 0$

$$\vec{E}_y = \frac{kq}{r_+^2}\hat{y} + \frac{k(-q)}{r_-^2}\hat{y} \qquad r_+ = y - \frac{d}{2},\ r_- = y + \frac{d}{2}$$

$$= kq\left[\frac{1}{(y-\frac{d}{2})^2} - \frac{1}{(y+\frac{d}{2})^2}\right]\hat{y} = \frac{kq}{y^2}\left[\frac{1}{(1-\frac{d}{2y})^2} - \frac{1}{(1+\frac{d}{2y})^2}\right]\hat{y}$$

pequenos

Sabemos que: $(1+x)^n \approx 1 + nx$ se $|x| < 1$

assim com $x = -d/2y$ ou $+d/2y$ e $n = -2$

$$E_y \approx \frac{kq}{y^2}\left[\left(1+\frac{d}{y}\right) - \left(1-\frac{d}{y}\right)\right] = \frac{2kqd}{y^3} = \frac{p}{2\pi\epsilon_0 y^3}$$

(decresce mais rápido do que para carga puntiforme)

— CARGA NUM CAMPO ELÉTRICO

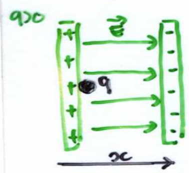
(livro p.14 e 15)

Carga q num campo elétrico $\vec{E}$

⇒ força sobre q: $\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a}$

⇒ aceleração de q: $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$
$\begin{cases} \text{se } q>0, & \vec{a} \text{ tem sentido de } \vec{E} \\ \text{se } q<0, & \vec{a} \text{ tem sentido oposto} \end{cases}$

exemplo 1:

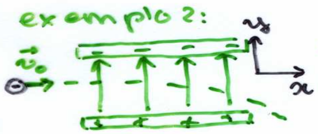


carga positiva, saindo da placa positiva com velocidade nula (inicial)
se $\vec{E}$ uniforme, a aceleração é constante e sabemos que o movimento obedece a:

$$x = \frac{at^2}{2} + v_0 t + x_0$$

Supondo $x_0 = 0$, $v_0 = 0$ em $t = 0$: $x = \frac{a}{2}t^2 = \frac{qE}{2m}t^2$
Podemos também calcular a en. cin. de q: $K = \frac{1}{2}mv^2$ com $v = at$ dá: $K = qEx$.

exemplo 2:



Carga negativa, entrando entre as placas com velocidade $\vec{v}_0 \perp \vec{E}$

$\vec{a} = -\frac{qE}{m}\hat{y}$ ⇒ $\begin{cases} v_y = at = -\frac{qE}{m}t \\ v_x = v_0 = \text{cste} \end{cases}$ ⇒ $\begin{cases} y = -\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2 \\ x = v_0 t \end{cases}$

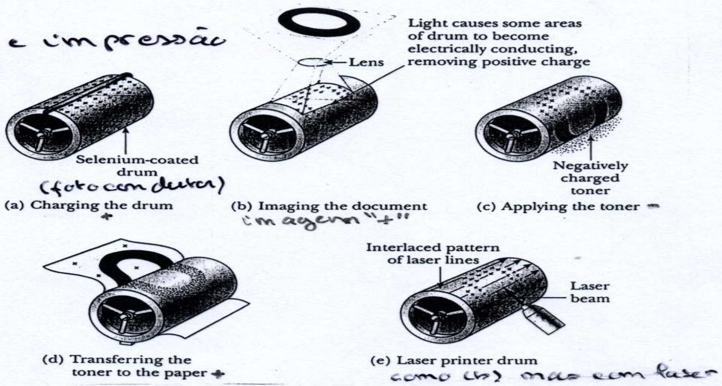
Eliminando t: $y = -\frac{1}{2}\frac{qE}{mv_0^2}x^2$ i.e. a trajetória é uma parábola.
Com o mesmo arranjo mas uma carga +q, a trajetória seria

O movimento de uma carga num campo elet. uniforme é equivalente ao de um projétil num campo gravitacional uniforme.

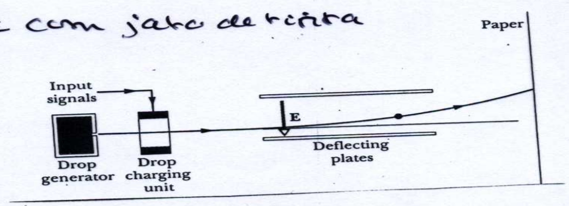
exemplos de aplicação: osciloscópio, experiência de Millikan (medida de e), impressão com jato de tinta.

Algumas aplicações do que vimos neste capítulo:

Xerox e impressão a laser



impressão com jato de tinta



P1

Física III

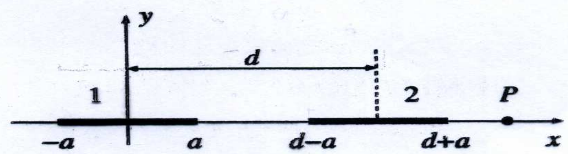
Escola Politécnica - 2008

FGE 2203 - GABARITO DA P1

10 de abril de 2008

Questão 1

Dois bastões finos 1 e 2, idênticos, de comprimento $2a$, têm densidade linear de carga λ constante. Os bastões estão sobre o eixo x, separados por uma distância $d > 2a$, conforme mostra a figura.



(a) (1,5 ponto) Calcule o campo elétrico produzido pelo bastão 1 sobre um ponto P do eixo x com abscissa $x > a$.

(b) (1.0 ponto) Calcule a força que o bastão 1 exerce sobre o bastão 2.

Exercício sobre planos

a) Calcular o campo elétrico de um disco de raio R e densidade de carga superficial $\sigma > 0$ ao longo do seu eixo.

b) Usando o a), calcular o campo de um plano infinito de densidade de carga superficial $\sigma > 0$. Fazer um esboço.

c) Calcular o campo elétrico de dois planos infinitos de densidade de carga superficial opostas como mostrado na figura.