

Física 3 (EMB5043): Campo elétrico

MATERIAL DE APOIO PARA CURSO PRESENCIAL

Prof. Diego Alexandre Duarte
Universidade Federal de Santa Catarina | Centro Tecnológico de Joinville



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

Sumário

- Material para estudos
- Movimento de carga pontual dentro de um campo elétrico uniforme
- Resolução de problemas da Lista 2
- Movimento de um dipolo elétrico dentro de um campo elétrico uniforme
- Resolução de problemas da Lista 2

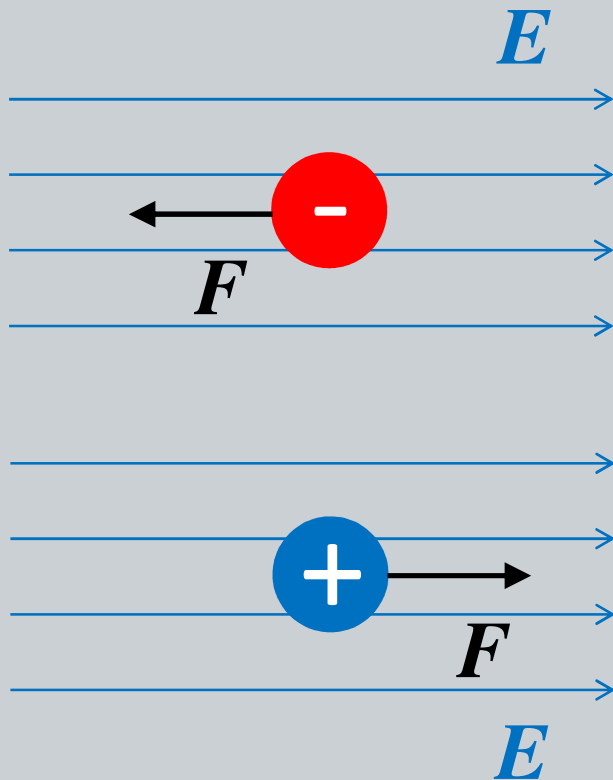
Material para estudos

- Capítulo 22 do Halliday volume 3 e capítulo 3 do Moysés volume 3
- Estudar os problemas da Lista 2 que está disponível em diegoduarte.paginas.ufsc.br.

Movimento de carga pontual

DENTRO DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Abaixo são apresentadas duas situações em que uma carga está imersa num campo elétrico externo e uniforme.



A partir da definição de campo elétrico:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

definimos a força exercida sobre uma carga teste:

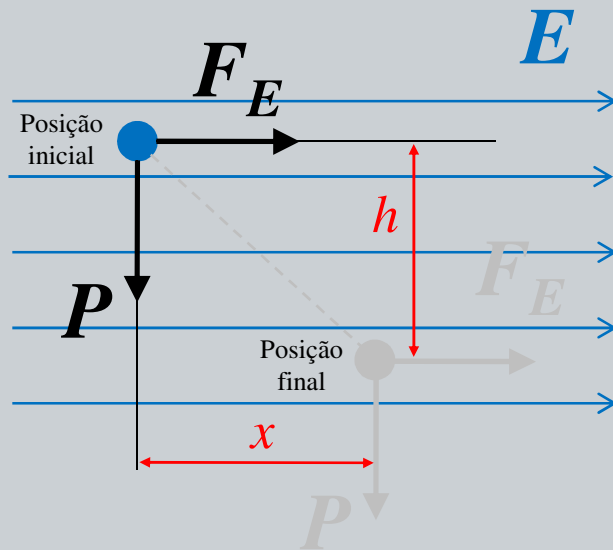
$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1)$$

Com a equação (1) é possível concluir:

- A força aplicada sobre **cargas positivas** tem o mesmo sentido do campo elétrico externo ($F = +qE$).
- A força aplicada sobre **cargas negativas** tem o sentido oposto do campo elétrico externo ($F = -qE$).

Resolução de problemas

LISTA 2, PROBLEMA 10



A figura acima mostra a posição final da partícula após cair uma altura h e percorrer uma distância horizontal x . Existem duas forças sobre a carga: peso P e a força elétrica F_E .

Note que a força elétrica tem o mesmo sentido do campo elétrico.

Como as forças são uniformes, a aceleração também é:

$$F_E = ma_x = qE \quad (1)$$

$$P = mg$$

A distância x é descrita pelo MRUV:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

em que $x_0 = 0$ e $v_0 = 0$:

$$x = \frac{1}{2} a_x t^2 \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), temos:

$$x = \frac{1}{2} \left(\frac{qE}{m} \right) t^2$$

O tempo t^2 é dado pelo movimento vertical:

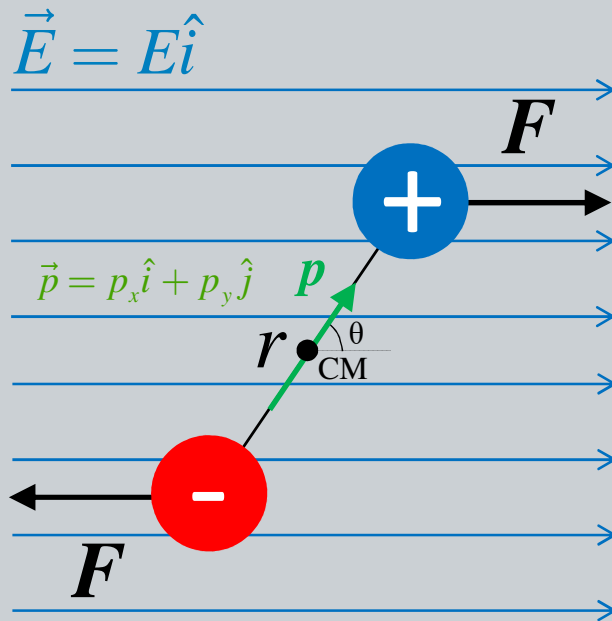
$$h = \frac{1}{2} g t^2 \quad \therefore \quad t^2 = \frac{2h}{g}$$

Logo: $x = \left(\frac{qE}{mg} \right) h$

Movimento de um dipolo

DENTRO DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Abaixo é apresentado um dipolo elétrico cujo eixo axial forma um ângulo θ com a horizontal.



O dipolo sofre um torque de binário em relação ao centro de massa.

Em relação ao centro de massa, o dipolo sofre um torque τ no sentido horário que tende alinhá-lo com o campo elétrico externo:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times (q\vec{E}) = q\vec{r} \times \vec{E}$$

O módulo do vetor $q\vec{r}$ é chamado de momento de dipolo elétrico p e ele mede a resposta do dipolo diante do campo elétrico externo; quanto maior p , mais rápido ele se move. O vetor $\vec{p}$ tem a direção de $\vec{r}$ e sentido de $-q$ para $+q$:

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

Considerando a direção e sentidos dos vetores do diagrama ao lado, temos:

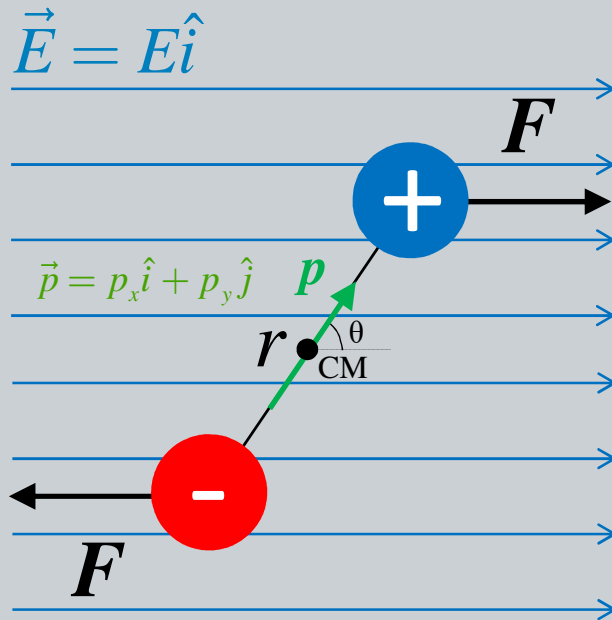
$$\vec{\tau} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ p_x & p_y & 0 \\ E & 0 & 0 \end{vmatrix} = -p_y E \hat{k} = -pE \sin \theta \hat{k}$$

em que $p_y = p \sin \theta$. O sinal negativo mostra que o torque entra no plano do papel (coordenada z negativa).

Movimento de um dipolo

DENTRO DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Abaixo é apresentado um dipolo elétrico cujo eixo axial forma um ângulo θ com a horizontal.



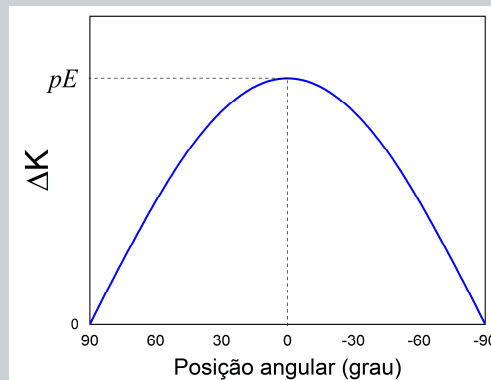
O dipolo sofre um torque de binário em relação ao centro de massa.

Considerando que o dipolo está inicialmente parado em $\theta = \pi/2$, o trabalho realizado pelo campo elétrico para colocá-lo na posição θ do diagrama é:

$$W = \int \tau d\theta = -pE \int_{\pi/2}^{\theta} \sin \theta d\theta = pE \cos \theta = \vec{p} \cdot \vec{E}$$

O resultado acima mostra que o campo realiza um trabalho positivo sobre o dipolo, aumentando sua energia cinética de rotação:

$$W = \Delta K = pE \cos \theta = \vec{p} \cdot \vec{E}$$

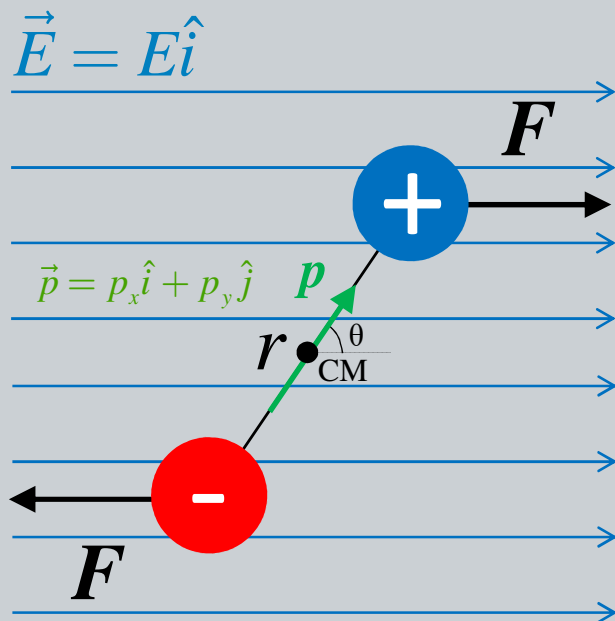


O gráfico ao lado mostra ΔK para $-\pi/2 \leq \theta \leq +\pi/2$ (oscilação com amplitude de 90° em relação à linha de campo elétrico). A curva mostra que o dipolo inicia o movimento em repouso ($K_0 = 0$) para $\theta = \pi/2$. Em seguida, atinge a velocidade máxima em $\theta = 0$, entrando novamente em repouso para $\theta = -\pi/2$. Na segunda metade do trajeto, o torque muda para o sentido positivo e desacelera o dipolo. Assim, a velocidade angular diminui até o corpo parar. Em seguida, ele inicia o movimento em sentido anti horário e o ciclo se repete como um MHS.

Movimento de um dipolo

DENTRO DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Abaixo é apresentado um dipolo elétrico cujo eixo axial forma um ângulo θ com a horizontal.



O dipolo sofre um torque de binário em relação ao centro de massa.

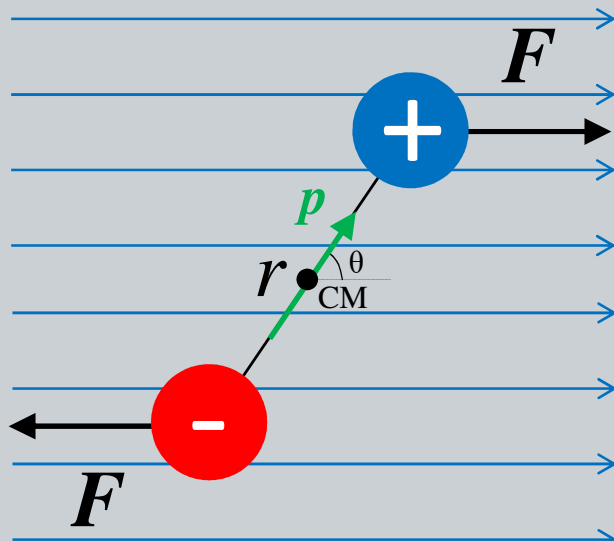
Esse ciclo mostra que o torque realizado é conservativo. Essa propriedade pode ser utilizada para calcular a variação da energia potencial elétrica acumulada pelo dipolo:

$$W = -\Delta U \quad \therefore \Delta U = -pE \cos \theta = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Essa equação mostra que ΔU diminui entre $\pi/2$ e θ enquanto ΔK aumenta. Isso acontece porque o torque, ao realizar trabalho, converte energia potencial elétrica do dipolo em energia cinética.

Resolução de problemas

LISTA 2, PROBLEMA 12



- A análise matemática deste exercício é a mesma utilizada na análise feita no Problema 2 da Lista 1.
- Note que a frequência é proporcional ao momento de dipolo elétrico, conforme discutido anteriormente.

Para obter a frequência de oscilação temos que usar o princípio fundamental da dinâmica para corpos rígidos:

$$\tau = I\alpha$$

em que τ é o torque sobre o dipolo, I seu momento de inércia e α a aceleração angular. O torque realizado sobre esse dipolo é dado por:

$$-pE \sin \theta = I\alpha$$

Reescrevendo a equação acima e considerando pequenas oscilações ($\sin \theta \approx \theta$), temos:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{pE}{I}\theta = 0 \quad (1)$$

A equação (1) representa a EDO de um MHS. Assim, a frequência de oscilação é dada por:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{pE}{I}}$$

Dúvidas?

diego.duarte@ufsc.br

Skype: diego_a_d

Encontrou algum erro nesta aula? Me informe via e-mail ;)



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA