**P.44** Dados: $q = 5 \cdot 10^{-6}$ C; $\mathcal{T}_{AB} = -10^4$ J

Da expressão do trabalho da força elétrica:

$$\mathcal{T}_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow -10^4 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_A - V_B = \frac{-10^4}{5 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = -20\ \text{V}}$$

Esse resultado indica que $V_A < V_B$.

**P.45** Se os potenciais de $A$ e $B$ valem, respectivamente, 150 V e 100 V, em relação a um certo ponto de referência, a ddp entre $A$ e $B$ é igual a 50 V e não depende do ponto de referência. Adotando $B$ como referencial ($V_B = 0$), temos:

$$V_A - V_B = 50\ \text{V} \Rightarrow V_A - 0 = 50\ \text{V} \Rightarrow \boxed{V_A = 50\ \text{V}}$$

**P.46** Dados: $Q = 3\ \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6}$ C; $d_A = 0{,}3$ m $= 3 \cdot 10^{-1}$ m; $d_B = 0{,}9$ m $= 9 \cdot 10^{-1}$ m; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

a) $V_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{V_A = 9 \cdot 10^4\ \text{V}}$

$V_B = k_0 \cdot \frac{Q}{d_B} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{V_B = 3 \cdot 10^4\ \text{V}}$

b) Sendo $q = 5\ \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6}$ C de $A$ para $B$, temos:

$V_A - V_B = 9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4 \Rightarrow V_A - V_B = 6 \cdot 10^4$ V

$\mathcal{T} = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow \mathcal{T} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (6 \cdot 10^4) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 3 \cdot 10^{-1}\ \text{J}}$

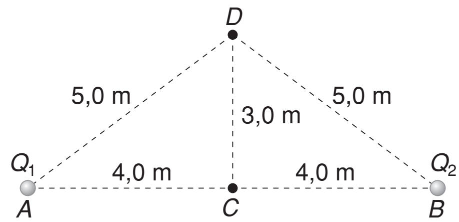
c) Sendo $q = 5\ \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6}$ C de $B$ para $A$, temos:

$V_B - V_A = 3 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4 \Rightarrow V_B - V_A = -6 \cdot 10^4$ V

$\mathcal{T} = q \cdot (V_B - V_A) \Rightarrow \mathcal{T} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (-6 \cdot 10^4) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = -3 \cdot 10^{-1}\ \text{J}}$

**P.47** Dados: $Q_1 = 2{,}0\ \mu C = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ C$; $Q_2 = 4{,}0\ \mu C = 4{,}0 \cdot 10^{-6}\ C$; $d = 8{,}0\ m$;

$k_0 = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$




a) No ponto $C$:

$$V_1 = k_0 \cdot \frac{Q_1}{d_1} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6}}{4{,}0} \Rightarrow V_1 = 4{,}5 \cdot 10^3\ V$$

$$V_2 = k_0 \cdot \frac{Q_2}{d_2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}0 \cdot 10^{-6}}{4{,}0} \Rightarrow V_2 = 9{,}0 \cdot 10^3\ V$$

$$V_C = V_1 + V_2 = 4{,}5 \cdot 10^3 + 9{,}0 \cdot 10^3 \Rightarrow V_C = 13{,}5 \cdot 10^3\ V \Rightarrow \boxed{V_C = 1{,}35 \cdot 10^4\ V}$$

No ponto $D$:

$$V_1 = k_0 \cdot \frac{Q_1}{d_1} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6}}{5{,}0} \Rightarrow V_1 = 3{,}6 \cdot 10^3\ V$$

$$V_2 = k_0 \cdot \frac{Q_2}{d_2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}0 \cdot 10^{-6}}{5{,}0} \Rightarrow V_2 = 7{,}2 \cdot 10^3\ V$$

$$V_D = V_1 + V_2 = 3{,}6 \cdot 10^3 + 7{,}2 \cdot 10^3 \Rightarrow V_D = 10{,}8 \cdot 10^3\ V \Rightarrow \boxed{V_D = 1{,}08 \cdot 10^4\ V}$$

b) Sendo $q = 2{,}0 \cdot 10^{-7}\ C$, temos:

$$V_C - V_D = 1{,}35 \cdot 10^4 - 1{,}08 \cdot 10^4 \Rightarrow V_C - V_D = 0{,}27 \cdot 10^4\ V$$

$$\mathcal{T}_{CD} = q \cdot (V_C - V_D) \Rightarrow \mathcal{T}_{CD} = 2{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}27 \cdot 10^4 \Rightarrow$$

$$\mathcal{T}_{CD} = 0{,}54 \cdot 10^{-3}\ J \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{CD} = 5{,}4 \cdot 10^{-4}\ J}$$

**P.48**

a) $V_0 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1}{d} + k_0 \cdot \dfrac{Q_2}{d} + k_0 \cdot \dfrac{Q_3}{d} \Rightarrow V_0 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{d} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_0 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\dfrac{L\sqrt{2}}{2}} \Rightarrow V_0 = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{(-3 - 2 + 1) \cdot 10^{-6}}{\dfrac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}}{2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{V_0 = -3{,}6 \cdot 10^4 \text{ V}}$

b) Seja $Q_4$ a carga elétrica fixada no quarto vértice. Devemos ter:

$V_0 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{d} = 0 \Rightarrow Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow Q_4 = -(Q_1 + Q_2 + Q_3) \Rightarrow Q_4 = -(-3 - 2 + 1) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q_4 = 4 \text{ } \mu\text{C} \Rightarrow \boxed{Q_4 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}$

**P.49**

Sendo $V_P = -1.000$ V; $q = 3 \cdot 10^{-6}$ C, temos:

$E_P = qV_P \Rightarrow E_P = 3 \cdot 10^{-6} \cdot (-10^3) \Rightarrow \boxed{E_P = -3 \cdot 10^{-3} \text{ J}}$

**P.50**

Dados: $Q_1 = -2 \text{ } \mu\text{C} = -2 \cdot 10^{-6}$ C; $Q_2 = 5 \text{ } \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6}$ C

a) Sendo $d_1 = 0{,}20 \text{ m} = 2 \cdot 10^{-1}$ m; $d_2 = 0{,}50 \text{ m} = 5 \cdot 10^{-1}$ m, temos:

$V_1 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1}{d_1} \Rightarrow V_1 = k_0 \cdot \dfrac{(-2 \cdot 10^{-6})}{2 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow V_1 = -k_0 \cdot 10^{-5}$

$V_2 = k_0 \cdot \dfrac{Q_2}{d_2} \Rightarrow V_2 = k_0 \cdot \dfrac{5 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow V_2 = k_0 \cdot 10^{-5}$

$V_P = V_1 + V_2 \Rightarrow V_P = -k_0 \cdot 10^{-5} + k_0 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \boxed{V_P = 0}$

b) Sendo $q = 6 \cdot 10^{-8}$ C, temos:

$E_P = qV_P \Rightarrow \boxed{E_P = 0}$

**P.51** Dado: $E = 10^5$ V/m

a) $V_A - V_D = 100 - 90 \Rightarrow V_A - V_D = 10$ V

$$Ed = V_A - V_D \Rightarrow d = \frac{V_A - V_D}{E} \Rightarrow d = \frac{10}{10^5} \Rightarrow \boxed{d = 10^{-4}\text{ m}}$$

b) $V_A - V_F = 100 - 80 \Rightarrow \boxed{V_A - V_F = 20\text{ V}}$

c) Sendo $q = 1\ \mu\text{C} = 10^{-6}$ C, temos:

$$\mathcal{T}_{AC} = q \cdot (V_A - V_C) \Rightarrow \mathcal{T}_{AC} = 10^{-6} \cdot (100 - 90) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{AC} = 10^{-5}\text{ J}}$$

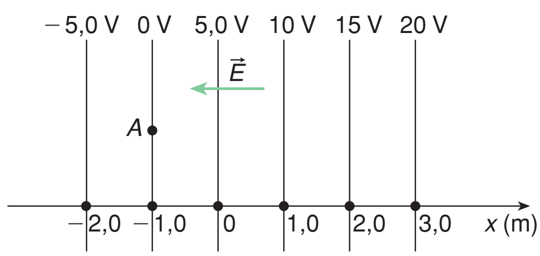
O trabalho $\mathcal{T}_{AC}$ não depende da trajetória da carga entre os pontos $A$ e $C$.

d) Sendo $q = 1\ \mu\text{C} = 10^{-6}$ C, temos:

$$E_{p(B)} = qV_B \Rightarrow E_{p(B)} = 10^{-6} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{E_{p(B)} = 10^{-4}\text{ J}}$$

**P.52** Dados: $m = 4{,}0 \cdot 10^{-7}$ kg; $q = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ C

a) O vetor campo elétrico tem direção perpendicular aos planos equipotenciais e sentido dos potenciais decrescentes. Portanto, $\vec{E}$ tem a direção do eixo $x$ e sentido oposto ao do eixo.




Entre dois planos equipotenciais consecutivos, na figura, temos $d = 1{,}0$ m e $U = 5{,}0$ V. Assim:

$$Ed = U \Rightarrow E = \frac{U}{d} \Rightarrow E = \frac{5{,}0}{1{,}0} \Rightarrow \boxed{E = 5{,}0\text{ V/m}}$$

b) Em $A$: $x = -1{,}0$ m e $v_0 = 0$

$F_e = |q| \cdot E = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 5{,}0 \Rightarrow F_e = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$ N

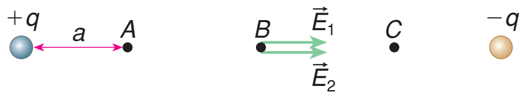
Pelo princípio fundamental da Dinâmica:

$F_e = ma \Rightarrow 1{,}0 \cdot 10^{-5} = 4{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot a \Rightarrow a = 25\text{ m/s}^2$

Para um deslocamento $\Delta s = 2{,}0$ m:

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta s \Rightarrow v^2 = 2 \cdot 25 \cdot 2{,}0 \Rightarrow v^2 = 100 \Rightarrow \boxed{v = 10\text{ m/s}}$$

**P.53** a)




$$V_B = V_1 + V_2 \Rightarrow V_B = k_0 \cdot \frac{q}{2a} + k_0 \cdot \frac{(-q)}{2a} \Rightarrow \boxed{V_B = 0}$$

$$E_1 = E_2 = k_0 \cdot \frac{q}{(2a)^2} = k_0 \cdot \frac{q}{4a^2}$$

$$E_B = E_1 + E_2 \Rightarrow E_B = k_0 \cdot \frac{q}{4a^2} + k_0 \cdot \frac{q}{4a^2} \Rightarrow \boxed{E_B = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a^2}}$$

b) $$V_A = k_0 \cdot \frac{q}{a} + k_0 \cdot \frac{(-q)}{3a} \Rightarrow V_A = \frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a}$$

$$V_B = k_0 \cdot \frac{q}{2a} + k_0 \cdot \frac{(-q)}{2a} \Rightarrow V_B = 0$$

$$V_B - V_A = 0 - \frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a} \Rightarrow \boxed{V_B - V_A = -\frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a}}$$

$$V_C = k_0 \cdot \frac{q}{3a} + k_0 \cdot \frac{(-q)}{a} \Rightarrow V_C = -\frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a}$$

$$V_C - V_B = -\frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a} - 0 \Rightarrow \boxed{V_C - V_B = -\frac{2}{3} \cdot k_0 \cdot \frac{q}{a}}$$

**P.54** a) O potencial produzido em $A$ pelas cargas $-Q$ é dado por:

$$V_A = 2 \cdot k_0 \cdot \frac{-Q}{a} \Rightarrow V_A = -2 \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{a}$$

A carga $+Q$, para anular o potencial em $A$, deve determinar nesse ponto um potencial:

$$V'_A = +2 \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{a} \quad (1)$$

Mas: $V'_A = k_0 \cdot \dfrac{Q}{x} \quad (2)$

Igualando (1) e (2): $2 \cdot k_0 \cdot \dfrac{Q}{a} = k_0 \cdot \dfrac{Q}{x} \Rightarrow \boxed{x = \dfrac{a}{2}}$

b) Não, pois no plano da figura a carga $+Q$ anula o potencial em $A$ quando colocada em qualquer ponto da circunferência de centro $A$ e raio $\dfrac{a}{2}$.

**P.55** Dados: $V_A = 5{,}0$ V; $q = 1{,}0$ nC $= 1{,}0 \cdot 10^{-9}$ C

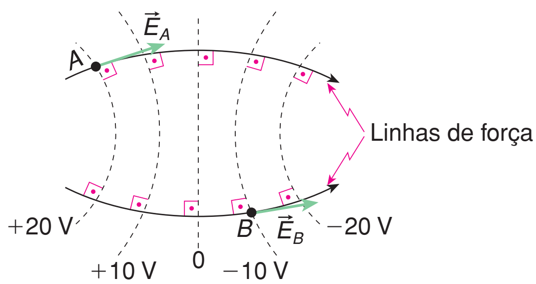
a) O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar a carga $q = 1{,}0$ nC do infinito ($V_\infty = 0$) até $A$ ($V_A = 5{,}0$ V) é dado por:

$$\tau_{\infty A} = q \cdot (V_\infty - V_A) = 1{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot (0 - 5{,}0) \Rightarrow \boxed{\tau_{\infty A} = -5{,}0 \cdot 10^{-9}\ \text{J}}$$

b) O potencial em $O$ é nulo, pois se encontra a iguais distâncias de cargas de mesmo módulo e sinais opostos ($V_O = 0$)

$$\tau_{AO} = q \cdot (V_A - V_O) = 1{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot (5{,}0 - 0) \Rightarrow \boxed{\tau_{AO} = 5{,}0 \cdot 10^{-9}\ \text{J}}$$

**P.56** a)




b) Dados: $q = 2 \cdot 10^{-6}$ C; $V_A = +20$ V; $V_B = -10$ V

$V_A - V_B = 20 - (-10) \Rightarrow V_A - V_B = 30$ V

$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow \tau_{AB} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \Rightarrow \boxed{\tau_{AB} = 6 \cdot 10^{-5}\ \text{J}}$$

**P.57** Dados: $q = 3 \cdot 10^{-9}$ C; $V_A = 900$ V; $V_B = 2.100$ V

a) A carga **ganhou** energia potencial, pois se deslocou de um ponto de menor potencial ($V_A$) para outro de maior potencial ($V_B$).

$E_{p(A)} = qV_A = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 900 \Rightarrow E_{p(A)} = 2{,}7 \cdot 10^{-6}$ J

$E_{p(B)} = qV_B = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 2.100 \Rightarrow E_{p(B)} = 6{,}3 \cdot 10^{-6}$ J

$$\Delta E_p = E_{p(B)} - E_{p(A)} \Rightarrow \Delta E_p = 6{,}3 \cdot 10^{-6} - 2{,}7 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \boxed{\Delta E_p = 3{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{J}}$$

b) $V_A - V_B = 900 - 2.100 \Rightarrow V_A - V_B = -1.200$ V

$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) = 3 \cdot 10^{-9} \cdot (-1.200) \Rightarrow \boxed{\tau_{AB} = -3{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{J}}$$

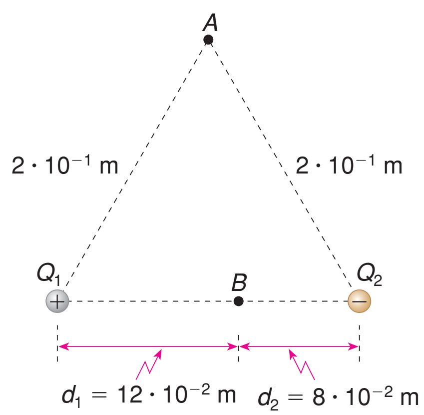
c) A força elétrica realiza um trabalho resistente, que corresponde ao aumento da energia potencial elétrica.

**P.58** Se a carga elétrica ganhou 20 μJ de energia potencial elétrica ao ser deslocada de $A$ para $B$, significa que o trabalho da força elétrica nesse deslocamento é resistente e vale:

$\mathcal{T}_{AB} = -20\ \mu J \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = -20 \cdot 10^{-6}\ J \Rightarrow q \cdot (V_A - V_B) = -20 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$

$\Rightarrow 10^{-6} \cdot (40 - V_B) = -20 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \boxed{V_B = 60\ V}$

**P.59** Dados: $Q_1 = 6 \cdot 10^{-9}\ C$; $Q_2 = -6 \cdot 10^{-9}\ C$; $q = 2 \cdot 10^{-9}\ C$; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$




Cálculo do potencial em $B$:

$V_1 = k_0 \cdot \dfrac{Q_1}{d_1} \Rightarrow V_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{6 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_1 = 4{,}5 \cdot 10^2\ V$

$V_2 = k_0 \cdot \dfrac{Q_2}{d_2} \Rightarrow V_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{(-6 \cdot 10^{-9})}{8 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_2 = -6{,}75 \cdot 10^2\ V$

$V_B = V_1 + V_2 = 4{,}5 \cdot 10^2 - 6{,}75 \cdot 10^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow V_B = -2{,}25 \cdot 10^2\ V$

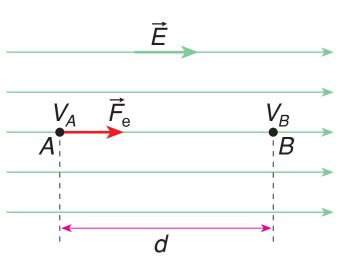
O potencial em $A$ é nulo, pois é dado pela soma dos potenciais produzidos pelas cargas $Q_1$ e $Q_2$, que são iguais em módulo e de sinais opostos e estão à mesma distância de $A$: $V_A = 0$

Para as energias potenciais de $q$, teremos:

$E_{p(A)} = qV_A \Rightarrow \boxed{E_{p(A)} = 0}$

$E_{p(B)} = qV_B \Rightarrow E_{p(B)} = 2 \cdot 10^{-9} \cdot (-2{,}25 \cdot 10^2) \Rightarrow \boxed{E_{p(B)} = -4{,}5 \cdot 10^{-7}\ J}$

**P.60** Dados: $q = 10^{-6}\ C$; $E = 10^5\ N/C$; $v_0 = 0$




a) Como a carga é positiva, a força elétrica $\vec{F}_e$ tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor campo elétrico $\vec{E}$. Sua intensidade é dada por:

$F_e = qE = 10^{-6} \cdot 10^5$

$\boxed{F_e = 10^{-1}\ N}$ ou $\boxed{F_e = 0{,}1\ N}$

b) $d = 0{,}1$ m; $E_{p(B)} = 10^{-3}$ J

$E_{p(B)} = qV_B \Rightarrow 10^{-3} = 10^{-6} \cdot V_B \Rightarrow \boxed{V_B = 10^3\ V}$

c) $U = Ed \Rightarrow V_A - V_B = Ed \Rightarrow V_A - V_B = 10^5 \cdot 0{,}1 \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = 10^4\ \text{V}}$

d) $V_A - V_B = 10^4 \Rightarrow V_A - 10^3 = 10^4 \Rightarrow V_A = 0{,}1 \cdot 10^4 + 10^4 \Rightarrow V_A = 1{,}1 \cdot 10^4\ \text{V}$

A energia potencial da carga $q$ em $A$ vale:

$E_{p(A)} = q \cdot V_A = 10^{-6} \cdot 1{,}1 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{E_{p(A)} = 1{,}1 \cdot 10^{-2}\ \text{J}}$

**P.61** Dado: $E = 5 \cdot 10^2$ V/m

a) Da figura:

$V_A - V_B = 100 - 50 \Rightarrow V_A - V_B = 50\ \text{V}$

$Ed = V_A - V_B \Rightarrow 5 \cdot 10^2 \cdot d = 50 \Rightarrow \boxed{d = 0{,}1\ \text{m} = 10\ \text{cm}}$

b) Sendo $q = 2 \cdot 10^{-6}$ C, temos:

$\mathcal{T}_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{AB} = 10^{-4}\ \text{J}}$

**P.62** a) $F_e = |q| \cdot E \Rightarrow F_e = 3 \cdot 10^{-15} \cdot 2 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{F_e = 6 \cdot 10^{-12}\ \text{N}}$

b) $E_{p(B)} - E_{p(A)} = qV_B - qV_A = q \cdot (V_B - V_A) = qEd$

$E_{p(B)} - E_{p(A)} = 3 \cdot 10^{-15} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-2}$

$\boxed{E_{p(B)} - E_{p(A)} = 2{,}4 \cdot 10^{-13}\ \text{J}}$

**P.63** a) Sendo uniforme o campo entre a placa e a grade, vem:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{15 \cdot 10^3}{12{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E = 1{,}25 \cdot 10^5\ \text{V/m}}$$

b) O trabalho da força elétrica no deslocamento de cada elétron é:

$\mathcal{T} = e \cdot U = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 15 \cdot 10^3 \Rightarrow \mathcal{T} = 2{,}4 \cdot 10^{-15}\ \text{J}$

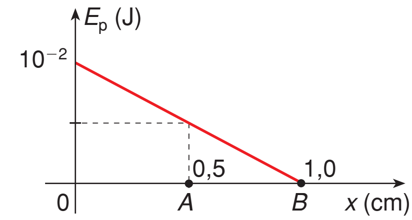
Pelo teorema da energia cinética $\mathcal{T} = E_c - E_{c(0)}$, e sendo $E_{c(0)} = 0$ (a velocidade inicial dos elétrons é nula), vem:

$E_c = \mathcal{T} \Rightarrow \boxed{E_c = 2{,}4 \cdot 10^{-15}\ \text{J}}$

**P.64** a) $E_{c(O)} + E_{p(O)} = E_{c(A)} + E_{p(A)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 + 10^{-2} = E_{c(A)} + \dfrac{10^{-2}}{2} \Rightarrow$

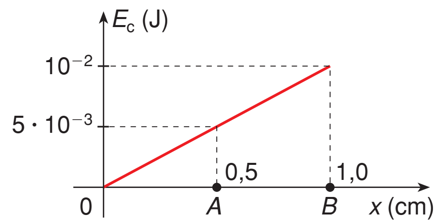
$\Rightarrow \boxed{E_{c(A)} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{J}}$

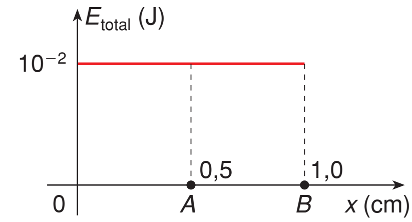



$E_{c(O)} + E_{p(O)} = E_{c(B)} + E_{p(B)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 10^{-2} = E_{c(B)} + 0 \Rightarrow \boxed{E_{c(B)} = 10^{-2}\ \text{J}}$

b)



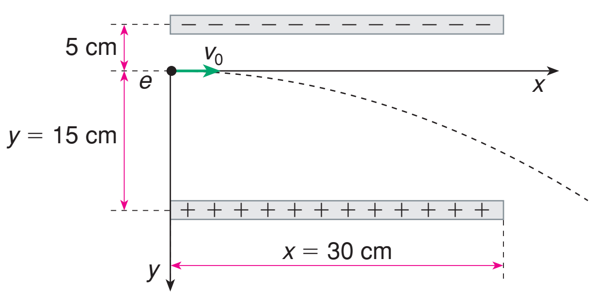




**P.65** Dados: $U = 40$ V; $d = 20$ cm $= 2 \cdot 10^{-1}$ m; $v_0 = 4 \cdot 10^6$ m/s; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

a) $Ed = U \Rightarrow E = \dfrac{U}{d} \Rightarrow E = \dfrac{40}{2 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow E = 2 \cdot 10^2$ V/m

$F_e = |q| \cdot E = eE \Rightarrow F_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^2 \Rightarrow \boxed{F_e = 3,2 \cdot 10^{-17}\ \text{N}}$

b)




Temos:

$y = 15$ cm $= 15 \cdot 10^{-2}$ m

$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg

Aceleração vertical: $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{3,2 \cdot 10^{-17}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \Rightarrow a \simeq 3,5 \cdot 10^{13}$ m/s²

- Movimento vertical (uniformemente variado):

$y = \dfrac{at^2}{2} \Rightarrow t^2 = \dfrac{2y}{a} \Rightarrow t^2 = \dfrac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-2}}{3,5 \cdot 10^{13}}$

$t^2 \simeq 85,7 \cdot 10^{-16} \Rightarrow t \simeq 9,3 \cdot 10^{-8}$ s

- Movimento horizontal (uniforme):

$x' = v_0 \cdot t \Rightarrow x' = 4 \cdot 10^6 \cdot 9,3 \cdot 10^{-8} \Rightarrow x' = 37,2 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \Rightarrow \boxed{x' = 37,2\ \text{cm}}$

Sendo $x' > x = 30$ cm, o elétron **consegue escapar**.

**P.66** a) As gotículas maiores têm diâmetro $D = 1\ \mu m = 10^{-6}$ m e raio $R = 0,5 \cdot 10^{-6}$ m.

Seu volume é dado por $V = \frac{4}{3}\pi R^3$. Assim:

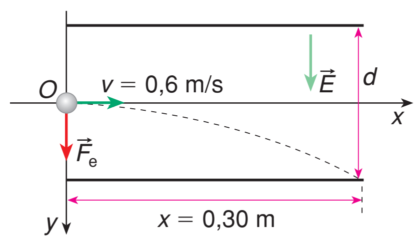
$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-6})^3 \Rightarrow V = \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot 0,125 \cdot 10^{-18} \Rightarrow V = 0,5 \cdot 10^{-18}\ m^3$$

Como a densidade do óleo é de $\rho_{óleo} = 9,0 \cdot 10^2$ kg/m³, temos:

$$m = \rho_{óleo} \cdot V \Rightarrow m = 9,0 \cdot 10^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-18} \Rightarrow \boxed{m = 4,5 \cdot 10^{-16}\ kg}$$

b) O movimento na direção horizontal é uniforme. Considerando que a gotícula atravesse o coletor sem se encontrar com a placa negativa, temos:

$$x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} = \frac{0,30}{0,6} \Rightarrow \boxed{t = 0,5\ s}$$




c) O campo elétrico entre as placas do coletor tem intensidade dada por: $E = \frac{U}{d}$

Sendo $U = 50$ V e $d = 1$ cm $= 10^{-2}$ m, temos:

$$E = \frac{50}{10^{-2}} \Rightarrow E = 50 \cdot 10^2\ V/m$$

Tendo a gotícula carga $q = 8 \cdot 10^{-19}$ C, a força que atua sobre ela tem intensidade:

$$F_e = |q| \cdot E \Rightarrow F_e = 8 \cdot 10^{-19} \cdot 50 \cdot 10^2 \Rightarrow F_e = 4 \cdot 10^{-15}\ N$$

Sendo a massa da gotícula $m = 4,5 \cdot 10^{-16}$ kg, sua aceleração vale:

$$a = \frac{F_e}{m} = \frac{4 \cdot 10^{-15}}{4,5 \cdot 10^{-16}} \Rightarrow a \simeq 8,9\ m/s^2$$

Como a gotícula considerada na figura está a meia distância entre as placas, ela percorre na direção vertical $y = \frac{d}{2} = 0,5 \cdot 10^{-2}$ m.

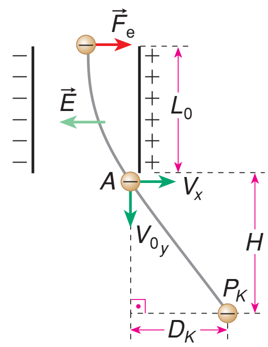
O tempo $t'$ gasto nesse percurso é:

$$y = \frac{a \cdot (t')^2}{2} \Rightarrow (t')^2 = \frac{2y}{a} \Rightarrow (t')^2 = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}}{8,9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (t')^2 = 0,11 \cdot 10^{-2} \Rightarrow t' \simeq 0,03\ s$$

Como esse tempo é menor que o tempo necessário para atravessar o coletor ($t' < t$), a gotícula atinge a placa negativa do coletor numa posição $x'$ menor que 30 cm, ficando retida.

**P.67** a)




Entre as placas, as gotículas de massa $M$, eletrizadas com carga $-Q$, ficam sujeitas ao campo elétrico $E$, agindo sobre elas a força elétrica $F$ cuja intensidade é dada por: $F = QE$

A aceleração $A_x$ de cada gotícula na direção horizontal vale:

$$A_x = \frac{F_e}{M} \Rightarrow \boxed{A_x = \frac{QE}{M}}$$

b) Na direção vertical cada gotícula percorre a distância $L_0$ com velocidade constante $V_{0_y}$, gastando o tempo $t$:

$$L_0 = V_{0_y} \cdot t \Rightarrow t = \frac{L_0}{V_{0_y}}$$

Nesse tempo, a velocidade horizontal da gotícula varia de zero para um valor $V_x$, sob a ação da aceleração $A_x$. Teremos:

$$V_x = A_x \cdot t \Rightarrow \boxed{V_x = \frac{QE}{M} \cdot \frac{L_0}{V_{0_y}}}$$

c) Uma vez fora das placas, cada gotícula percorre a distância vertical $H$ com velocidade constante $V_{0_y}$, gastando o tempo $t'$:

$$H = V_{0_y} \cdot t' \Rightarrow t' = \frac{H}{V_{0_y}}$$

Nesse tempo, a gotícula percorre a distância horizontal $D_K$ com a velocidade $V_x$, que se mantém constante, pois não há mais ação mais do campo elétrico.

Então: $D_K = V_x \cdot t'$

Substituindo $V_x$ e $t'$, vem:

$$D_K = \frac{QE}{M} \cdot \frac{L_0}{V_{0_y}} \cdot \frac{H}{V_{0_y}} \Rightarrow \boxed{D_K = \frac{Q \cdot E \cdot L_0 \cdot H}{M \cdot V_{0_y}^2}}$$

**P.68** São dados: $m = 1{,}0 \cdot 10^{-10}$ kg; $q = -2{,}0 \cdot 10^{-13}$ C; $v_x = 6{,}0$ m/s; $L = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ m; $E = 1{,}5 \cdot 10^{6}$ N/C; $g = 10$ m/s$^2$

a) Peso: $F_P = mg \Rightarrow F_P = 1{,}0 \cdot 10^{-10} \cdot 10 \Rightarrow F_P = 1{,}0 \cdot 10^{-9}$ N

Força elétrica: $F_e = |q| \cdot E \Rightarrow F_e = 2{,}0 \cdot 10^{-13} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{6} \Rightarrow F_e = 3{,}0 \cdot 10^{-7}$ N

Logo: $\dfrac{F_e}{F_P} = \dfrac{3{,}0 \cdot 10^{-7}}{1{,}0 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow \boxed{\dfrac{F_e}{F_P} = 300}$

b) Como a força elétrica é 300 vezes maior que a força peso, a ação gravitacional pode ser desprezada.

Então a aceleração da gota na direção vertical vale:

$$a = \frac{F_e}{m} \Rightarrow a = \frac{3{,}0 \cdot 10^{-7}}{1{,}0 \cdot 10^{-10}} \Rightarrow a = 3{,}0 \cdot 10^{3}\ \text{m/s}^2$$

O tempo para a gota percorrer a distância horizontal $L = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ m, com velocidade constante $v_x = 6{,}0$ m/s, é dado por:

$$L = v_x \cdot t \Rightarrow t = \frac{L}{v_x} = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-3}}{6{,}0} \Rightarrow t = \frac{4{,}0}{3{,}0} \cdot 10^{-3}\ \text{s}$$

Nesse tempo, a velocidade na direção vertical varia do valor inicial $v_{0_y} = 0$ para o valor $v_y$:

$$v_y = v_{0_y} + at \Rightarrow v_y = 3{,}0 \cdot 10^{3} \cdot \frac{4{,}0}{3{,}0} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{v_y = 4{,}0\ \text{m/s}}$$

**P.69** a) A ddp $U$ ao longo do diâmetro da célula é dada pela soma $U = \Delta V_m + \Delta V_m$. Como $\Delta V_m = 1$ V, vem:

$U = 1 + 1 \Rightarrow U = 2$ V

Sendo a medida do diâmetro da célula $d = 1$ µm $= 1 \cdot 10^{-6}$ m, temos:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{E = 2 \cdot 10^{6}\ \text{V/m}}$$

b) O ganho de energia do elétron é dado pelo trabalho realizado pela força elétrica: $\tau = q \cdot U$

Sendo $q = e$ e $U = 2$ V, vem: $\boxed{\tau = 2\ \text{eV}}$

**P.70** Dados: $Q = 2 \cdot 10^{-6}$ C; $k_0 = 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$


$d_A = 0{,}1$ m; $d_B = 0{,}2$ m

a) $V_A = k_0 \cdot \dfrac{Q}{d_A} \Rightarrow V_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{2 \cdot 10^{-6}}{0{,}1} \Rightarrow \boxed{V_A = 1{,}8 \cdot 10^5 \text{ V}}$

$V_B = k_0 \cdot \dfrac{Q}{d_B} \Rightarrow V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{2 \cdot 10^{-6}}{0{,}2} \Rightarrow \boxed{V_B = 9 \cdot 10^4 \text{ V}}$

b) Sendo:

$q = 10^{-4}$ C

$U = V_A - V_B = 18 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4 \Rightarrow U = 9 \cdot 10^4$ V

temos:

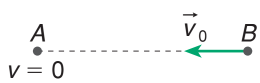
$\mathcal{T}_{AB} = qU \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{AB} = 9 \text{ J}}$

c) De $A$ ao infinito:

$U' = V_A - V_\infty = V_A \Rightarrow U' = 18 \cdot 10^4$ V

$\mathcal{T}_{A\infty} = qU' \Rightarrow \mathcal{T}_{A\infty} = 10^{-4} \cdot 18 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{A\infty} = 18 \text{ J}}$

d) $q = 10^{-4}$ C; $m = 2 \cdot 10^{-2}$ kg




Pelo teorema de energia cinética: $\mathcal{T}_{AB} = E_{c(B)} - E_{c(A)}$

Como $E_{c(A)} = 0$, vem $E_{c(B)} = \mathcal{T}_{AB}$. Assim:

$E_{c(B)} = 9 \text{ J} \Rightarrow \dfrac{mv_0^2}{2} = 9 \Rightarrow v_0^2 = \dfrac{2 \cdot 9}{m} \Rightarrow v_0^2 = \dfrac{2 \cdot 9}{2 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow v_0^2 = 9 \cdot 10^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{v_0 = 30 \text{ m/s}}$

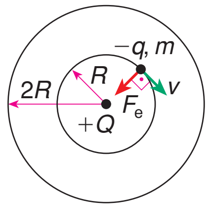
e) Abandonada do repouso ($v_0 = 0$) em $A$, a maior velocidade é atingida pela partícula no infinito. Assim:

$\mathcal{T}_{A\infty} = E_{c(\infty)} - E_{c(A)}$ em que $E_{c(A)} = 0$ e $E_{c(\infty)} = \dfrac{mv^2}{2}$

Logo:

$\mathcal{T}_{A\infty} = \dfrac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = \dfrac{2\mathcal{T}_{A\infty}}{m} = \dfrac{2 \cdot 18}{2 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow v^2 = 18 \cdot 10^2 \Rightarrow \boxed{v = 30\sqrt{2} \text{ m/s}}$

**P.71**




a) $F_e = k_0 \cdot \frac{Qq}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{\frac{k_0Qq}{mR}}}$

b) $E_P = -qV$, em que $V$ é o potencial elétrico do campo da carga $+Q$ nos pontos situados à distância $R$ de $+Q$:

$$V = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \Rightarrow E_p = -q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{R} \Rightarrow \boxed{E_p = -k_0 \cdot \frac{Qq}{R}}$$

c) $E_c = \frac{mv^2}{2}$; substituindo $v^2$, resulta: $\boxed{E_c = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{Qq}{R}}$

d) $E_{total} = E_p + E_c \Rightarrow \boxed{E_{total} = -\frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{Qq}{R}}$

e) $\boxed{E_{total} = -E_c}$

f) A energia $E$ a ser fornecida é dada pela diferença entre a energia total na órbita de raio $2R$ e a energia total na órbita de raio $R$:

$$E = E_{total(2)} - E_{total(1)} \Rightarrow E = -\frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{Qq}{2R} - \left(-\frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{Qq}{R}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{4} \cdot k_0 \cdot \frac{Qq}{R}}$$