P.72 ① $V_0 = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$; ② $E = k_0 \cdot \frac{Q}{d^2}$ $(Q > 0)$

Dividindo ① por ②, temos:

$$\frac{V_0}{E} = \frac{d^2}{R} \Rightarrow \frac{V_0}{8 \cdot 10^{-2}} = \frac{8^2}{2} \Rightarrow \boxed{V_0 = 2{,}56\ \text{V}}$$

No ponto O, o campo elétrico é nulo, pois é um ponto interno: $\boxed{E_0 = 0}$

P.73 Dados: $R = 2$ m; $E = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ V/m; $d = 6$ m; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ e

$|Q| = Q$, pois $Q > 0$

a) $E_{ext.} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow 2{,}5 \cdot 10^{-2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{36} \Rightarrow \boxed{Q = 10^{-10}\ \text{C}}$

b) $V_{ext.} = k_0 \cdot \frac{Q}{d} \Rightarrow V_{ext.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-10}}{6} \Rightarrow \boxed{V_{ext.} = 1{,}5 \cdot 10^{-1}\ \text{V}}$

c) $V = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \Rightarrow V = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-10}}{2} \Rightarrow \boxed{V = 4{,}5 \cdot 10^{-1}\ \text{V}}$

d) $E_{sup.} = \frac{1}{2}\, k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2} \Rightarrow E_{sup.} = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-10}}{4} \Rightarrow \boxed{E_{sup.} = 1{,}125 \cdot 10^{-1}\ \text{V/m}}$

e) $E_{próx.} = 2 \cdot E_{sup.} \Rightarrow E_{próx.} = 2 \cdot 1{,}125 \cdot 10^{-1}\ \text{V/m} \Rightarrow \boxed{E_{próx.} = 2{,}25 \cdot 10^{-1}\ \text{V/m}}$

P.74 Dados: $R = 40$ cm $= 4 \cdot 10^{-1}$ m; $Q = 8\ \mu\text{C} = 8 \cdot 10^{-6}$ C; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

a) No interior de um condutor eletrizado o campo elétrico é nulo: $\boxed{E_{int.} = 0}$

b) $E_{próx.} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2} \Rightarrow E_{próx.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{16 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E_{próx.} = 4{,}5 \cdot 10^5\ \text{V/m}}$

c) $E_{sup.} = \dfrac{E_{próx.}}{2} \Rightarrow E_{sup.} = \dfrac{4,5 \cdot 10^5}{2} \Rightarrow \boxed{E_{sup.} = 2,25 \cdot 10^5 \text{ V/m}}$

d) Sendo $d = 5$ m, temos:

$$E_{ext.} = k_0 \cdot \frac{Q}{d^2} \Rightarrow E_{ext.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{25} \Rightarrow \boxed{E_{ext.} = 2,88 \cdot 10^3 \text{ V/m}}$$

P.75 a) $V = k_0 \cdot \dfrac{Q}{R} \Rightarrow V = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{8 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{V = 1,8 \cdot 10^5 \text{ V}}$

b) Sendo $d = 5$ m, temos:

$$V_{ext.} = k_0 \cdot \frac{Q}{d} \Rightarrow V_{ext.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{5} \Rightarrow \boxed{V_{ext.} = 1,44 \cdot 10^4 \text{ V}}$$

P.76 Dados: $R = 50$ cm $= 5 \cdot 10^{-1}$ m; $Q = 25\ \mu C = 25 \cdot 10^{-6}$ C; $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$

a) $V = k_0 \cdot \dfrac{Q}{R} \Rightarrow V = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{25 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{V = 4,5 \cdot 10^5 \text{ V}}$

b) Sendo:

$A = 4\pi R^2 \simeq 4 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-2} \Rightarrow A \simeq 3,14 \text{ m}^2$

temos:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \Rightarrow \sigma \simeq \frac{25 \cdot 10^{-6}}{3,14} \Rightarrow \boxed{\sigma \simeq 7,96 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2}$$

P.77 a) Se a balança mede 2,13225 g para a massa da esfera, isso significa que ela pode acusar variação de massa de $\Delta m = 0,00001$ g $= 10^{-5}$ g $= 10^{-8}$ kg. Então, sendo $m_e = 1,0 \cdot 10^{-31}$ kg a massa de um elétron, o número de elétrons n que a esfera deve receber para acusar essa variação de massa deve ser:

$$n = \frac{\Delta m}{m_e} \Rightarrow n = \frac{10^{-8}}{1,0 \cdot 10^{-31}} \Rightarrow \boxed{n = 10^{23} \text{ elétrons}}$$

b) O potencial da superfície da esfera e de todos os seus pontos interiores é dado por: $V = k_0 \cdot \dfrac{Q}{R}$

Sendo $V = 0,90$ V; $R = 1,6$ cm $= 1,6 \cdot 10^{-2}$ m e $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$, temos:

$$0,90 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{1,6 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow Q = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ C}$$

Mas $Q = ne$, em que n é o número de elétrons retirados e $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C é a carga elementar. Assim:

$$n = \frac{Q}{e} \Rightarrow n = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-12}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow \boxed{n = 10^7 \text{ elétrons}}$$

P.78 Dados: $R = 6{,}3 \cdot 10^6$ m e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \, \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

$$C = \frac{R}{k_0} \Rightarrow C = \frac{6{,}3 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow C = 7 \cdot 10^{-4} \text{ F} \Rightarrow \boxed{C = 700 \ \mu\text{F}}$$

P.79 Sendo $C = 10^{-7}$ F; $V = 10^4$ V; $k_0 = 9 \cdot 10^9 \, \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$, temos:

$$Q = CV \Rightarrow Q = 10^{-7} \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{Q = 10^{-3} \text{ C}}$$

$$C = \frac{R}{k_0} \Rightarrow R = Ck_0 \Rightarrow R = 10^{-7} \cdot 9 \cdot 10^9 \Rightarrow \boxed{R = 9 \cdot 10^2 \text{ m}}$$

P.80 Dados: $Q_1 = 2{,}0 \ \mu$C; $Q_2 = 6{,}0 \ \mu$C; $Q_3 = 10 \ \mu$C;
$V_1 = 3{,}0 \cdot 10^3$ V; $V_2 = 6{,}0 \cdot 10^3$ V e $V_3 = 6{,}0 \cdot 10^3$ V

a) Cálculo das capacitâncias:

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} \Rightarrow C_1 = \frac{2{,}0}{3{,}0 \cdot 10^3} \Rightarrow C_1 = \frac{2}{3} \cdot 10^{-3} \ \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{Q_2}{V_2} \Rightarrow C_2 = \frac{6{,}0}{6{,}0 \cdot 10^3} \Rightarrow C_2 = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \ \mu\text{F}$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{V_3} \Rightarrow C_3 = \frac{10}{6{,}0 \cdot 10^3} \Rightarrow C_3 = \frac{5}{3} \cdot 10^{-3} \ \mu\text{F}$$

Potencial comum:

$$V = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{C_1 + C_2 + C_3} \Rightarrow V = \frac{2{,}0 + 6{,}0 + 10}{\left(\frac{2}{3} + 1{,}0 + \frac{5}{3}\right) \cdot 10^{-3}} = \frac{18 \cdot 10^3}{\frac{2 + 3 + 5}{3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V = 5{,}4 \cdot 10^3 \text{ V}}$$

b) Novas cargas:

$$Q_1 = C_1 \cdot V \Rightarrow Q_1 = \frac{2}{3} \cdot 10^{-3} \cdot 5{,}4 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q_1 = 3{,}6 \ \mu\text{C}}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot V \Rightarrow Q_2 = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 5{,}4 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 5{,}4 \ \mu\text{C}}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot V \Rightarrow Q_3 = \frac{5}{3} \cdot 10^{-3} \cdot 5{,}4 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q_3 = 9{,}0 \ \mu\text{C}}$$

P.81 As novas cargas são dadas por $Q'_1 = C_1 \cdot V$, $Q'_2 = C_2 \cdot V$ e $Q'_3 = C_3 \cdot V$.

Sendo $C_1 = C_2 = C_3 = C$, resulta: $\boxed{Q'_1 = Q'_2 = Q'_3 = Q}$

Assim:

$$Q = CV \Rightarrow Q = C \cdot \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3C} \Rightarrow \boxed{Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}}$$

P.82 $$V = \frac{C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3}{C_1 + C_2 + C_3} \Rightarrow \frac{CV_1 + CV_2 + CV_3}{3C} \Rightarrow \boxed{V = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}}$$

P.83 a) Sendo $R = 0{,}1$ m; $Q = 1{,}0$ μC $= 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ C; $OC = 0{,}3$ m e

$k_0 = 9 \cdot 10^9 \; \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$, temos:

$$V_O = V_A = V_B = k_0 \cdot \frac{Q}{R} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}1} \Rightarrow \boxed{V_O = V_A = V_B = 9 \cdot 10^4 \text{ V}}$$

$$V_C = k_0 \cdot \frac{Q}{d_{OC}} \Rightarrow V_C = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}3} \Rightarrow \boxed{V_C = 3 \cdot 10^4 \text{ V}}$$

b) No interior do condutor o campo elétrico é nulo: $\boxed{E_O = E_A = 0}$

No ponto B da superfície, temos:

$$E_B = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2} \Rightarrow E_B = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E_B = 4{,}5 \cdot 10^5 \text{ V/m}}$$

Para o ponto C externo, temos:

$$E_C = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d_{OC}^2} \Rightarrow E_C = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E_C = 1{,}0 \cdot 10^5 \text{ V/m}}$$

P.84 Sendo $V_0 = 60$ V; $R = 3{,}0$ m; $k_0 = 9 \cdot 10^9 \; \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$, temos:

$$V_0 = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \Rightarrow Q = \frac{V_0R}{k_0} \Rightarrow Q = \frac{60 \cdot 3{,}0}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow Q = 20 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q = q \cdot 10^{-9} \Rightarrow 20 \cdot 10^{-9} = q \cdot 10^{-9} \Rightarrow \boxed{q = 20}$$

P.85 Sendo $R = 1{,}0$ m; $Q = 0{,}8 \cdot 10^{-7}$ C; $d = 12$ m e $k_0 = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$, temos:

$$V_{ext.} = k_0 \cdot \frac{Q}{d} \Rightarrow V_{ext.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0{,}8 \cdot 10^{-7}}{12} \Rightarrow \boxed{V_{ext.} = 60\ V}$$

P.86 a) Num ponto externo e bem próximo da superfície da esfera o campo elétrico tem intensidade máxima dada por: $E_{próx.} = k_0 \cdot \dfrac{|Q|}{R^2}$ ①

O potencial da esfera será: $V = k_0 \cdot \dfrac{Q}{R}$ ②

Comparando ① e ② e lembrando que $Q > 0$, pois $V > 0$, vem:

$$E_{próx.} = \frac{V}{R} \Rightarrow R = \frac{V}{E_{próx.}} \Rightarrow R = \frac{10^6}{3 \cdot 10^6} \Rightarrow \boxed{R = \frac{1}{3}\ m}$$

b) $$V = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \Rightarrow Q = \frac{VR}{k_0} \Rightarrow Q = \frac{10^6 \cdot \frac{1}{3}}{9 \cdot 10^9} \Rightarrow Q = \frac{10^6 \cdot 10^{-9}}{27} \Rightarrow \boxed{Q \simeq 37\ \mu C}$$

P.87 Conforme foi visto no exercício **R.37**, a esfera de raio $R_1 = 30$ cm, inicialmente com carga $Q_1 = 20\ \mu C$, após ser ligada à esfera de raio $R_2 = 10$ cm, inicialmente descarregada, adquire a carga Q'_1 dada por:

$$Q'_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot Q_1 \Rightarrow Q'_1 = \frac{30}{30 + 10} \cdot 20 \Rightarrow \boxed{Q'_1 = 15\ \mu C}$$

P.88 $$\sigma_A = \frac{Q_A}{4\pi R_A^2} \Rightarrow \sigma_A = \frac{Q_A}{4\pi R^2}$$

$$\sigma_B = \frac{Q_B}{4\pi R_B^2} = \frac{Q_B}{4\pi (2R)^2} \Rightarrow \sigma_B = \frac{Q_B}{4\pi \cdot 4R^2}$$

Como $\sigma_A = 2\sigma_B$, temos: $\dfrac{Q_A}{4\pi R^2} = 2 \cdot \dfrac{Q_B}{4\pi \cdot 4R^2} \Rightarrow Q_B = 2Q_A$ ①

Mas: $V_A = k_0 \cdot \dfrac{Q_A}{R}$ ② e $V_B = k_0 \cdot \dfrac{Q_B}{2R}$ ③

Substituindo ① em ③, vem:

$$V_B = k_0 \cdot \frac{2Q_A}{2R} \Rightarrow V_B = k_0 \cdot \frac{Q_A}{R} \quad ④$$

Comparando ② e ④, vem: $V_A = V_B$

Portanto não ocorre passagem de carga elétrica de A para B, pois o potencial elétrico de A e o de B são iguais.

P.89 Dados: $R_A = R_B = R_C = R$; $Q_A = -q$; $Q_B = +2q$ e $Q_C = 0$

a) $V_A = k_0 \cdot \dfrac{Q_A}{R_A} \Rightarrow V_A = k_0 \cdot \dfrac{(-q)}{R} \Rightarrow V_A = -\dfrac{k_0 q}{R}$

$V_B = k_0 \cdot \dfrac{Q_B}{R_B} \Rightarrow V_B = k_0 \cdot \dfrac{2q}{R} \Rightarrow V_B = 2 \cdot \dfrac{k_0 q}{R}$

$V_A - V_B = -\dfrac{k_0 \cdot q}{R} - 2 \cdot \dfrac{k_0 \cdot q}{R} \Rightarrow \boxed{V_A - V_B = -3 \cdot \dfrac{k_0 \cdot q}{R}}$

b) Como as esferas têm o mesmo raio, em cada contato a carga final é a média aritmética das cargas iniciais:

1º contato (C com A):

$Q'_C = \dfrac{Q_A + Q_C}{2} \Rightarrow Q'_C = \dfrac{-q + 0}{2} \Rightarrow Q'_C = -\dfrac{q}{2}$

2º contato (C com B):

$Q''_C = \dfrac{Q_B + Q'_C}{2} \Rightarrow Q''_C = \dfrac{2q - \dfrac{q}{2}}{2} \Rightarrow Q''_C = \dfrac{\dfrac{3q}{2}}{2} \Rightarrow \boxed{Q''_C = \dfrac{3q}{4}}$

P.90 Dados: $R = 10\ \text{cm} = 1{,}0 \cdot 10^{-1}\ \text{m}$; $Q = -8{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{C}$ e $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$

a) $Q = nq_e \Rightarrow -8{,}0 \cdot 10^{-2} = n \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19}) \Rightarrow \boxed{n = 5{,}0 \cdot 10^{17}\ \text{elétrons}}$

Esse número de elétrons é o que a esfera possui em excesso para ter a carga $Q = -8{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{C}$ e, portanto, é o quanto deve perder para tornar-se neutra.

b) $E_{sup.} = \dfrac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \dfrac{|Q|}{R^2} \Rightarrow E_{sup.} = \dfrac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{8{,}0 \cdot 10^{-2}}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{E_{sup.} = 3{,}6 \cdot 10^{10}\ \text{V/m}}$

c) $V = k_0 \cdot \dfrac{Q}{R} \Rightarrow V = 9 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{(-8{,}0 \cdot 10^{-2})}{1{,}0 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow V = -7{,}2 \cdot 10^9\ \text{V}$

Sendo $q_0 = 1{,}0\ \mu\text{C} = 1{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{C}$ e $V_\infty = 0$, temos:

$\mathcal{T} = q_0 \cdot (0 - V) \Rightarrow \mathcal{T} = 1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 7{,}2 \cdot 10^9 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 7{,}2 \cdot 10^3\ \text{J}}$

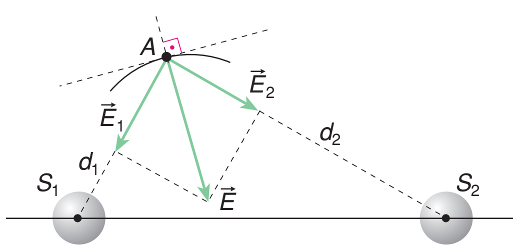
P.91 a) O potencial diminui no sentido das linhas de força. Portanto, as linhas de força estão orientadas para as esferas S_1 e S_2. Então, ambas as esferas têm carga negativa.

Como a ddp entre cada duas superfícies equipotenciais sucessivas é 1 V, concluímos que o potencial da esfera S_1 é $V_1 = -9$ V e o da esfera S_2 é $V_2 = -12$ V.

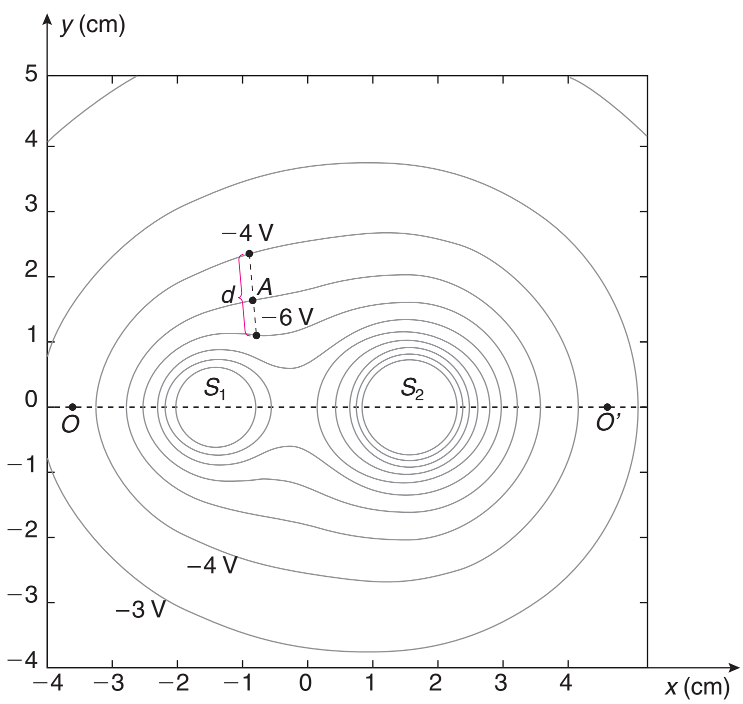
Considerando que o potencial de uma esfera é dado por $V = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$, temos $Q_1 > Q_2$. Como as cargas são negativas, para os módulos das cargas teremos:

$$\boxed{|Q_1| < |Q_2|}$$

b) O campo elétrico $\vec{E}$ resultante em A é dado pela soma vetorial dos campos $\vec{E}_1$ e $\vec{E}_2$ que as esferas S_1 e S_2 produzem nesse ponto: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Esse campo resultante $\vec{E}$ tem direção perpendicular à superfície equipotencial no ponto A e o sentido indicado na figura.



c)



Entre as linhas equipotenciais adjacentes ao ponto A a diferença de potencial U é igual a:

$U = -4 - (-6) \Rightarrow U = 2$ V

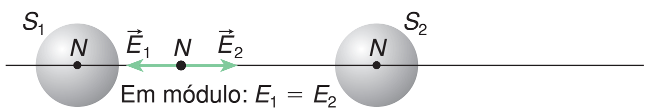
A distância entre essas linhas é estimada em $d = 1$ cm. Considerando na região em torno de A o campo elétrico como sendo uniforme, temos:

$Ed = U$

$E \cdot 10^{-2} = 2$

$\boxed{E = 2 \cdot 10^2 \text{ N/C}}$

d) O campo elétrico resultante será nulo num ponto situado entre as esferas na reta que liga seus centros, mais próximo da esfera com carga de menor módulo (S_1). Esquematicamente:



O campo elétrico será nulo também nos pontos internos de S_1 e S_2.