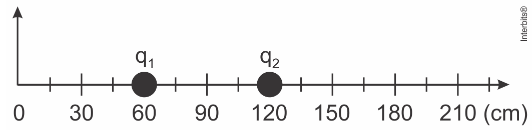
CAMPO E POTENCIAL ELÉTRICO

1. (UFJF 2017) Duas cargas elétricas, $q_1 = 1\mu C$ e $q_2 = -4\mu C$, estão no vácuo, fixas nos pontos 1 e 2, e separadas por uma distância d = 60 cm, como mostra a figura abaixo.



Como base nas informações, determine:

a. A intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico resultante no ponto médio da linha reta que une as duas cargas.
b. O ponto em que o campo elétrico resultante é nulo à esquerda de q_1.

TEXTO PARA AS PRÓXIMAS 2 QUESTÕES:

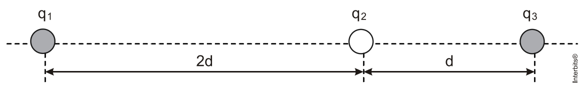
Dados:
Aceleração da gravidade: 10 m/s^2

Densidade do mercúrio: 13,6 g/cm^3

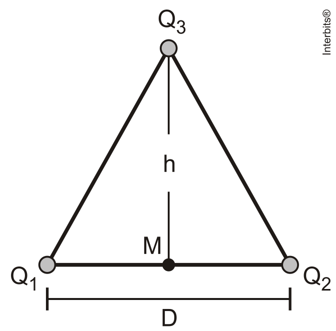
Pressão atmosférica: $1{,}0.10^5$ N/m^2

Constante eletrostática: $k_0 = 1/4\ \pi\varepsilon_0 = 9{,}0.10^9$ N.m^2/C^2

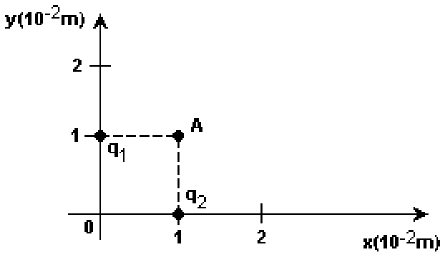
2. (UFPE 2012) Três cargas elétricas, $q_1 = -1{,}6\mu C$, $q_2 = +1{,}0\mu C$ e $q_3 = -4{,}0\mu C$, são mantidas fixas no vácuo e alinhadas, como mostrado na figura. A distância d = 1,0 cm. Calcule o módulo do campo elétrico produzido na posição da carga q_2, em V/m.



3. (UFPE 2010) Nos vértices de um triângulo isósceles são fixadas três cargas puntiformes iguais a $Q_1 = +1{,}0 \times 10^{-6}$ C; $Q_2 = -2{,}0 \times 10^{-6}$ C; e $Q_3 = +4{,}0 \times 10^{-6}$ C. O triângulo tem altura h = 3,0 mm e base D = 6,0 mm. Determine o módulo do campo elétrico no ponto médio M, da base, em unidades de 10^9 V/m.

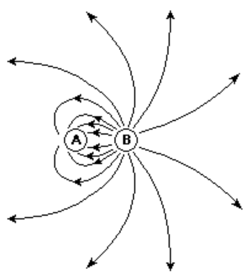


4. (UFRJ 2008) Duas cargas puntiformes $q_1 = 2{,}0 \times 10^{-6}$ C e $q_2 = 1{,}0 \times 10^{-6}$ C estão fixas num plano nas posições dadas pelas coordenadas cartesianas indicadas a seguir. Considere $K = 1/(4\pi\varepsilon_0) = 9,0 \times 10^9$ $NC^{-2}\ m^2$.



Calcule o vetor campo elétrico na posição A indicada na figura, explicitando seu módulo, sua direção e seu sentido.

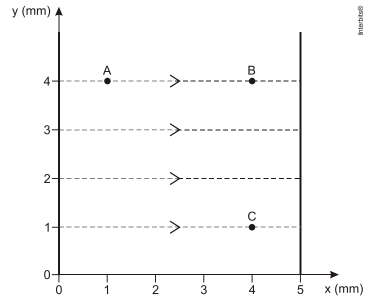
5. (UEG 2008) A figura a seguir representa as linhas de campo elétrico de duas cargas puntiformes.



Com base na análise da figura, responda aos itens a seguir.

a. Quais são os sinais das cargas A e B? Justifique.
b. Crie uma relação entre os módulos das cargas A e B. Justifique.
c. Seria possível às linhas de campo elétrico se cruzarem? Justifique.

6. (FUVEST 2015) A região entre duas placas metálicas, planas e paralelas está esquematizada na figura abaixo. As linhas tracejadas representam o campo elétrico uniforme existente entre as placas. A distância entre as placas é 5 mm e a diferença de potencial entre elas é 300 V. As coordenadas dos pontos A, B e C são mostradas na figura. Determine



a. os módulos E_A, E_B e E_C do campo elétrico nos pontos A, B e C, respectivamente;
b. as diferenças de potencial V_{AB} e V_{BC} entre os pontos A e B e entre os pontos B e C, respectivamente;
c. o trabalho τ realizado pela força elétrica sobre um elétron que se desloca do ponto C ao ponto A.

Note e adote:
O sistema está em vácuo.
Carga do elétron = $-1,6\times10^{-19}$ C.

7. (PUCRJ 2016) Duas partículas com cargas Q e -Q têm posições iniciais (x, y, z) = (0, 0, R) e (0, 0, 0), respectivamente. A carga -Q está fixa enquanto uma força (variável) leva a carga Q, em velocidade muito baixa e constante, até a nova posição (0, 0, 2R). Considere a constante eletrostática k conhecida.

Calcule a diferença de energia potencial do sistema entre a posição final e a posição inicial.

O trabalho total realizado pelas forças eletrostáticas nas cargas Q e -Q, ao longo do processo descrito no item anterior, é positivo, nulo ou negativo? Justifique.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Dados:

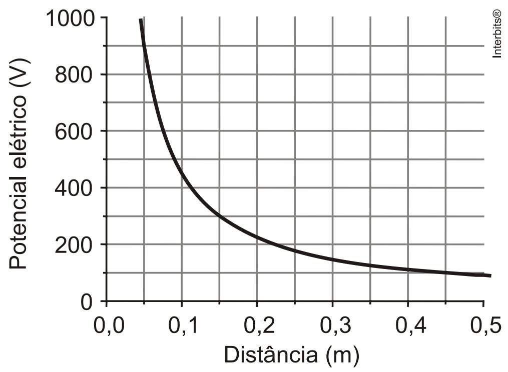
Aceleração da gravidade: 10 m/s^2

Densidade do mercúrio: 13,6 g/cm^3

Pressão atmosférica: $1{,}0.10^5$ N/m^2

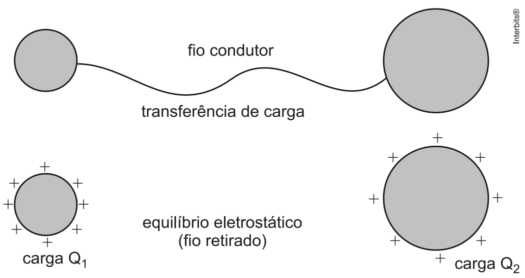
Constante eletrostática: $k_0 = 1/4\ \pi\varepsilon_0 = 9{,}0.10^9\ N.m^2/C^2$.

8. (UFPE 2012) O gráfico mostra a dependência do potencial elétrico criado por uma carga pontual, no vácuo, em função da distância à carga. Determine o valor da carga elétrica. Dê a sua resposta em unidades de 10^{-9}C.



9. (UNESP 2011) Uma esfera condutora descarregada (potencial elétrico nulo), de raio R_1 = 5,0 cm, isolada, encontra-se distante de outra esfera condutora, de raio R_2 = 10,0 cm, carregada com carga elétrica Q = 3,0μC (potencial elétrico não nulo), também isolada.

Em seguida, liga-se uma esfera à outra, por meio de um fio condutor longo, até que se estabeleça o equilíbrio eletrostático entre elas. Nesse processo, a carga elétrica total é conservada e o potencial elétrico em cada condutor esférico isolado descrito pela equação V = k.q/r, onde k é a constante de Coulomb, q é a sua carga elétrica e r o seu raio.



Supondo que nenhuma carga elétrica se acumule no fio condutor, determine a carga elétrica final em cada uma das esferas.

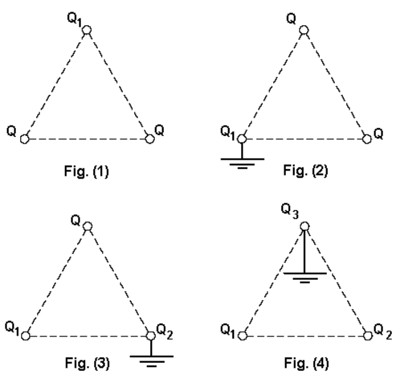
10. (UERJ 2011) Em um laboratório, um pesquisador colocou uma esfera eletricamente carregada em uma câmara na qual foi feito vácuo.

O potencial e o módulo do campo elétrico medidos a certa distância dessa esfera valem, respectivamente, 600 V e 200 V/m.

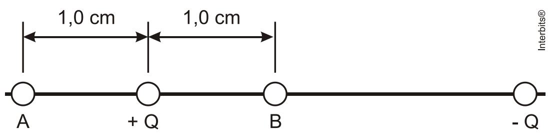
Determine o valor da carga elétrica da esfera.

11. (UFG 2010) Uma carga puntiforme Q gera uma superfície equipotencial de 2,0V a uma distância de 1,0m de sua posição. Tendo em vista o exposto, calcule a distância entre as superfícies equipotenciais que diferem dessa por 1,0V

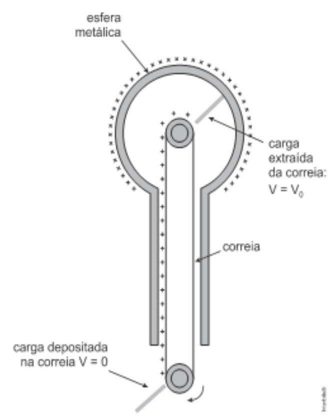
12. (ITA 2009) Três esferas condutoras, de raio a e carga Q, ocupam os vértices de um triângulo equilátero de lado b > a, conforme mostra a figura (1). Considere as figuras (2), (3) e (4), em que, respectivamente, cada uma das esferas se liga e desliga da Terra, uma de cada vez. Determine, nas situações (2), (3) e (4), a carga das esferas Q_1, Q_2 e Q_3, respectivamente, em função de a, b e Q.



13. (UFPE 2008) Duas cargas elétricas puntiformes, de mesmo módulo Q e sinais opostos, são fixadas à distância de 3,0 cm entre si. Determine o potencial elétrico no ponto A, em volts, considerando que o potencial no ponto B é 60 volts.



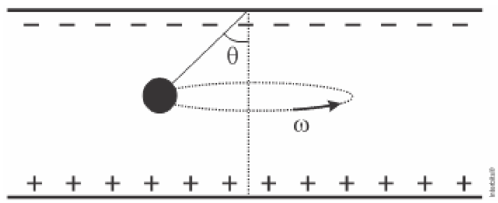
14. (UNICAMP 2018) Geradores de Van de Graaff têm a finalidade de produzir altas diferenças de potencial. Consistem em uma esfera metálica onde é acumulada a carga proveniente de uma correia em movimento. A carga é inicialmente depositada na parte inferior da correia, que está aterrada (potencial V = 0, ver figura), e é extraída da correia quando atinge a parte superior, que está no potencial V_0 fluindo para a esfera metálica. O movimento da correia é mantido por um pequeno motor.



a. Em um gerador em operação, a carga transportada por unidade de comprimento da correia é igual a $\lambda = 1{,}25 \times 10^{-7}$ C/m. Se a taxa com que essa carga é transferida para a esfera metálica é dada por
$i = 5{,}0 \times 10^{-9}$ C/s, qual é a velocidade da correia?

b. Um fenômeno muito atraente que ocorre em pequenos geradores usados em feiras de ciências é a produção de faísca, decorrente de uma descarga elétrica, quando um bastão metálico aterrado é aproximado da esfera carregada do gerador. A descarga elétrica ocorre quando o módulo do campo elétrico na região entre a esfera e o bastão torna-se maior que a rigidez dielétrica do ar, que vale $E_{rd} = 3{,}0 \times 10^6$ V/m. Para simplificar, considere que a esfera de um gerador e a extremidade do bastão equivalem a duas placas metálicas paralelas com uma diferença de potencial de $V = 7{,}5 \times 10^4$ V. Calcule a distância entre elas para que a descarga ocorra.

15. (FUVEST 2019) Duas placas metálicas planas e circulares, de raio R, separadas por uma distância d << R, estão dispostas na direção horizontal. Entre elas, é aplicada uma diferença de potencial V, de modo que a placa de cima fica com carga negativa e a de baixo, positiva. No centro da placa superior, está afixado um fio isolante de comprimento L < d com uma pequena esfera metálica presa em sua extremidade, como mostra a figura. Essa esfera tem massa m e está carregada com carga negativa -q. O fio é afastado da posição de equilíbrio de um ângulo θ, e a esfera é posta em movimento circular uniforme com o fio mantendo o ângulo θ com a vertical.



Determine

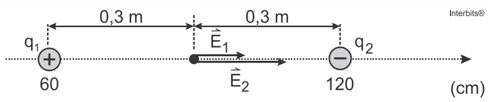
a. O módulo E do campo elétrico entre as placas;
b. Os módulos T e F respectivamente, da tração no fio e da força resultante na esfera;
c. A velocidade angular ω da esfera.

Note e adote:
A aceleração da gravidade é g.
Forças dissipativas devem ser ignoradas.

ANOTAÇÕES

GABARITO

1. a. Carga positiva gera campo de afastamento e carga negativa gera campo de aproximação. Assim os dois campos são de mesmo sentido, para a direita, como indicado na figura.

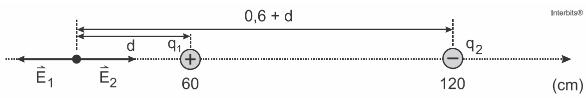


A intensidade do campo elétrico resultante é:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{k|q_1|}{d_1^2} + \frac{k|q_2|}{d_2^2} = \frac{9\times10^9\cdot10^{-6}}{(0,3)^2} + \frac{9\times10^9\cdot4\times10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$= 10^5 + 4\times10^5 \Rightarrow$$

b. No ponto onde o vetor campo elétrico é nulo, os campos dessas duas cargas devem ter mesma intensidade e sentidos opostos, como indicado.



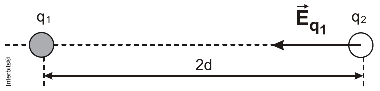
$$E_1 = E_2 = \frac{k|q_1|}{d^2} = \frac{k|q_2|}{(0,6+d)^2} \Rightarrow \frac{10^{-6}}{d^2} = \frac{4\times10^{-6}}{(0,6+d)^2} \Rightarrow \frac{1}{d^2} = \frac{4}{(0,6+d)^2} \Rightarrow$$

$$\sqrt{\frac{1}{d^2}} = \sqrt{\frac{4}{(0,6+d)^2}} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{2}{0,6+d} \Rightarrow 2\,d = 0,6 + d \Rightarrow d = 0,6\ \text{m} = 60\ \text{cm}.$$

Como esse ponto está a esquerda de q_1 a abscissa desse ponto é:

$$x = 60 - 60 \Rightarrow \boxed{x = 0.}$$

2. - Campo elétrico produzido pela carga q_1 na posição da carga q_2:



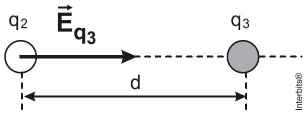
$$E_{q_1} = \frac{k_0\cdot|\,q_1\,|}{(2.d)^2} \rightarrow E_{q_1} = \frac{k_0.16\mu}{4.d^2} \rightarrow E_{q_1} = 4\mu.\frac{k_0}{d^2}$$

(horizontal para a esquerda)

- Campo elétrico produzido pela carga q_2 na posição da carga q_2:

$$E_{q_2} = \frac{k_0\cdot|\,q_2\,|}{(0)^2} \rightarrow E_{q_2} = 0$$

- Campo elétrico produzido pela carga q_3 na posição da carga q_2:



$$E_{q_3} = \frac{k_0\cdot|\,q_3\,|}{(d)^2} \rightarrow E_{q_3} = \frac{k_0.4\mu}{d^2} \rightarrow E_{q_3} = 4\mu.\frac{k_0}{d^2}$$

(horizontal para a direita)

- Campo elétrico resultante:

$$\vec{E} = \vec{E}_{q_1} + \vec{E}_{q_2} + \vec{E}_{q_3}$$

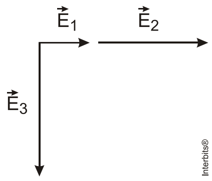
$$\text{Como}: |\vec{E}_{q_1}| = |\vec{E}_{q_3}| \therefore \vec{E} = 0$$

$$E = 0.$$

3. 05 V/m.

Dados: $r_1 = r_2 = D/2 = 3$ mm $= 3.10^{-3}$m; $r_3 = h = 6$ mm $= 6.10^{-3}$ m; $k = 9.10^9$N.m²/C².

O vetor campo elétrico no ponto M resulta da superposição dos campos produzidos por cada carga. Como carga positiva cria campo de afastamento e carga negativa cria campo de aproximação, temos os vetores apresentados na figura a seguir.



Aplicando a expressão do módulo do vetor campo elétrico em um ponto distante r de uma carga fixa Q, considerando que o meio seja o vácuo:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} E_1 = 9\times10^9\,\dfrac{1,0\times10^{-6}}{\left(3,0\times10^{-3}\right)^2} = 1,0\times10^9\ \text{V/m}; \\ E_2 = 9\times10^9\,\dfrac{2,0\times10^{-6}}{\left(3,0\times10^{-3}\right)^2} = 2,0\times10^9\ \text{V/m}; \\ E_3 = 9\times10^9\,\dfrac{4,0\times10^{-6}}{\left(3,0\times10^{-3}\right)^2} = 4,0\times10^9\ \text{V/m}. \end{cases}$$

O módulo do vetor campo elétrico resultante é dado por:

$$E = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 + E_3^2} = \sqrt{\left(1\times10^9 + 2\times10^9\right)^2 + \left(4\times10^9\right)^2} \Rightarrow$$

$$E = 5\times10^9\ \text{V/m}.$$

4. Como as distâncias do ponto A a cada uma das cargas q_1 e q_2 são iguais, e $q_1 = 2q_2$, podemos concluir que $|E_1| = 2\,|E_2|$

Utilizando a Lei de Coulomb, temos

$|E_2| = (kq_2)/d_2^{\,2} = (9{,}0 \times 10^9 \times 1{,}0 \times 10^{-6})/(1 \times 10^{-2})^2 = 9 \times 10^7$ N/C e $|E_1| = 18 \times 10^7$ N/C

Utilizando a regra do paralelogramo, obtemos:

$|E_A| = 9\sqrt{5} \times 10^7$ N/C

Direção: $tg\alpha = |E_2|/|E_1| = 1/2$, onde α é o ângulo trigonométrico que E_A faz com o eixo 0x.

Sentido: de afastamento da origem, a partir do ponto A.

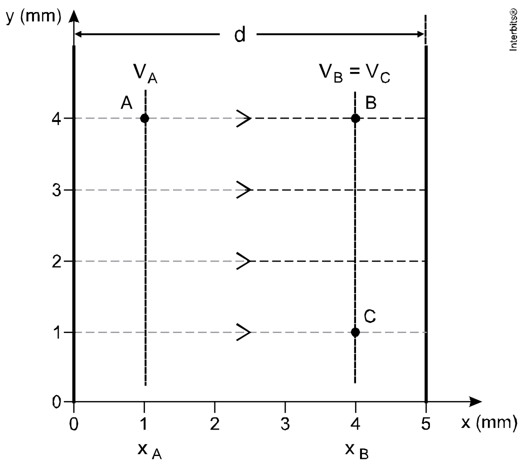
5. a. Cargas positivas são fontes de E enquanto cargas negativas são sorvedouros. Pela análise da figura, como as linhas de campo elétrico saem de B e chegam em A, conclui-se que A é negativa e B é positiva.

b. Da figura, percebemos que da carga B saem o dobro de linhas de campo que chegam na carga A, portanto: $|Q_B| = 2\,|Q_A|$

c. Não. Pois caso fosse possível, haveria diferentes vetores E em cada ponto de cruzamento das linhas de campo.

6. a. Dados: V = 300 V; d = 5mm = 5×10^{-3} m.

A figura ilustra os dados.



Como se trata de campo elétrico uniforme, $E_A = E_B = E_C = E$.

$$E\,d = V \;\Rightarrow\; E = \frac{V}{d} = \frac{300}{5\times10^{-3}} = 60\times10^3 \;\Rightarrow\; \boxed{E = 6\times10^4 \text{ V/m.}}$$

b. Da figura: $x_A = 1$ mm e $x_B = 4$ mm.

$$V_{AB} = E\,d_{AB} = E(x_B - x_A) = 6\times10^4(4-1)\times10^{-3} \;\Rightarrow\; \boxed{V_{AB} = 180 \text{ V.}}$$

Como os pontos B e C estão na mesma superfície equipotencial:

$$\boxed{V_{BC} = 0 \text{ V.}}$$

c. Dado: q = $-1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

Analisando a figura dada: $V_{CA} = V_{BA} = -V_{AB} = -180$V.

$$\tau = q\,V_{CA} = -1{,}6\times10^{-19}\times(-180) \;\Rightarrow$$

$$\boxed{\tau = 2{,}88\times10^{-17}\text{ J.}}$$

7. a. A Energia potencial é dada por:

$$E_p = \frac{k\cdot Q\cdot q}{d}$$

Em que:

E_p = energia potencial elétrica;

k = constante eletrostática no vácuo;

Q = carga geradora do campo elétrico;

q = carga de prova;

d = distância entre as cargas

Então a diferença de energia potencial é:

$$|\Delta E_p| = \frac{k\cdot Q\cdot q}{2R} - \frac{k\cdot Q\cdot q}{R} \therefore |\Delta E_p| = \frac{k\cdot Q\cdot q}{2R}$$

b. O trabalho total realizado pelas forças eletrostáticas é zero, pois as cargas se afastam pela aplicação de uma força variável externa que equilibra as forças eletrostáticas sendo a força resultante nula, pois o deslocamento se dá em velocidade constante.

8. O potencial elétrico criado por uma carga pontual é dado por: $V = k_0.Q/r$.

Do gráfico temos: V = 300 v e r = 0,15 m.

Ou seja:

$$V = \frac{k_0.Q}{r} \rightarrow 300 = \frac{9.10^9.Q}{0{,}15}$$

$$Q = 5.10^{-9}\text{C.}$$

9. Após o contato, as esferas terão o mesmo potencial elétrico.

$$(01)\quad V_1 = V_2 \rightarrow \frac{kQ_1}{R_1} = \frac{kQ_2}{R_2} \rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} \rightarrow Q_2 = 2Q_1$$

A carga total não muda, portanto:

$$Q_1 + Q_2 = 3 \quad (02)$$

Substituindo 01 em 02, vem:

$$Q_1 + 2Q_1 = 3 \rightarrow 3Q_1 = 3 \rightarrow \begin{cases} Q_1 = 1\mu C \\ Q_2 = 2\mu C \end{cases}$$

10. Dados: V = 600 V; E = 200 V/m; k = 9×10^9 N.m²/C².

Como o Potencial elétrico é positivo, a carga é positiva. Então, abandonando os módulos, temos:

$$\left.\begin{array}{l} V=\dfrac{kQ}{r} \\ E=\dfrac{kQ}{r^2} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{V}{E}=\frac{kQ}{r}\times\frac{r^2}{kQ} \Rightarrow \frac{V}{E}=r \Rightarrow r=\frac{600}{200} \Rightarrow$$

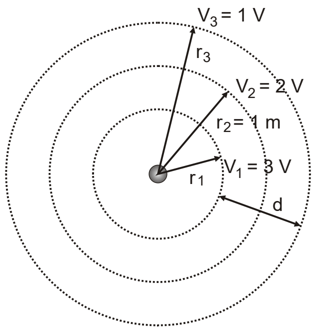
$r = 3$ m.

Substituindo na expressão do Potencial:

$$V=\frac{kQ}{r} \Rightarrow Q=\frac{r\,V}{k}=\frac{3(600)}{9\times10^9}=200\times10^{-9} \Rightarrow$$

$Q = 2\times10^{-7}$ C.

11. A figura a seguir ilustra a situação.



$V_2 = kQ/R_2$ (I)
$V_1 = kQ/R_1$ (II)
$V_3 = kQ/R_3$ (III)
Dividindo (II) por (I):

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{\cancel{k}\,\cancel{Q}}{r_1}\times\frac{r_2}{\cancel{k}\,\cancel{Q}} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2}=\frac{r_2}{r_1} \Rightarrow \frac{3}{2}=\frac{1}{r_1}$$

$$r_1=\frac{2}{3}\text{m} \quad = 0{,}67 \text{ m.}$$

Dividindo (III) por (I):

$$\frac{V_3}{V_2}=\frac{\cancel{k}\,\cancel{Q}}{r_3}\times\frac{r_2}{\cancel{k}\,\cancel{Q}} \Rightarrow \frac{V_3}{V_2}=\frac{r_2}{r_3} \Rightarrow \frac{1}{2}=\frac{1}{r_3}$$

$\Rightarrow r_3 = 2$ m.
A distância d é:
$d = r_3 - r_1 \Rightarrow d = 2 - 0{,}67 \Rightarrow d = 1{,}33$ m.

12. O ponto "aterrado" possui potencial nulo.
Na figura 2 temos então
$V_{esf1} + V_{3,1} + V_{2,1} = 0$

$$k\frac{Q_1}{a}+k\frac{Q}{b}+k\frac{Q}{b}=0$$

$$\frac{Q_1}{a}=\frac{-2Q}{b}$$

$$Q_1=\frac{-2Qa}{b}$$

Na figura 3, temos:
$V_{esf1} + V_{3,1} + V_{2,1} = 0$

$$k\frac{Q_2}{a}+k\frac{Q_1}{b}+k\frac{Q}{b}=0$$

$$\frac{Q_2}{a}+\frac{Q_1}{b}+\frac{Q}{b}=0$$

$$\frac{Q_2}{a}=\frac{Q_1}{b}-\frac{Q}{b}$$

Substituindo-se a carga Q_1:

$$\frac{Q_2}{a}=+\frac{2Qa}{b^2}-\frac{Q}{b}$$

$$Q_2=\frac{Qa}{b}\left(\frac{2a}{b}-1\right)$$

Na figura 4, temos
$V_{esf1} + V_{3,1} + V_{2,3} = 0$

$$k\frac{Q_3}{a}+k\frac{Q_1}{b}+k\frac{Q_2}{b}=0$$

$$\frac{Q_3}{a}+\frac{Q_1}{b}+\frac{Q_2}{b}=0$$

$$\frac{Q_3}{a}=-\frac{Q_1}{b}-\frac{Q_2}{b}$$

Usando-se as expressões de Q_1 e Q_2:

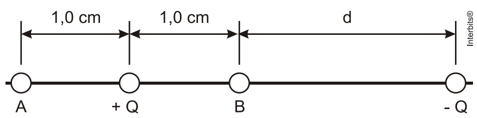
$$\frac{Q_3}{a}=\frac{2Qa}{b^2}-\frac{Qa}{b^2}\left(\frac{2a}{b}-1\right)$$

$$\frac{Q_3}{a}=\frac{Qa}{b^2}\left(2-\frac{2a}{b}+1\right)$$

$$\frac{Q_3}{a}=\frac{Qa}{b^2}\left(3-\frac{2a}{b}\right)$$

$$Q_3=\frac{Qa^2}{b^2}\left(3-\frac{2a}{b}\right)$$

13.



Denominando "d" a distância entre a carga –Q e o ponto B podemos escrever:

$$d+1=3\to d=2{,}0\text{cm}$$

Lembre-se que o potencial gerado por uma carga puntiforme a uma distância d é V = Kq/d
Calculando o potencial em B, concluímos:

$$V_B=\frac{kQ}{d_1}+\frac{kQ}{d_2}\to 60=9\times10^9\left(\frac{Q}{0{,}01}+\frac{-Q}{0{,}02}\right)=9\times10^9\times50Q$$

$$Q=\frac{60}{450\times10^9}=\frac{2}{15}\times10^{-9}\text{C}$$

Calculando o potencial em A, concluímos:

$$V_A=\frac{kQ}{d_1}+\frac{kQ}{d_2}=kQ\left(\frac{1}{d_1}-\frac{1}{d_2}\right)=9\times10^9\text{x}\frac{2}{15}\times10^{-9}\left(\frac{1}{0{,}01}-\frac{1}{0{,}04}\right)$$

$$V_A=\frac{6}{5}(100-25)=90\text{V}$$

14. a. Usando análise dimensional, nota-se que a velocidade pode ser dada pela expressão:

$$v = \frac{i}{\lambda} = \frac{5{,}0\times10^{-9}}{1{,}25\times10^{-7}}\left[\frac{C/s}{C/m}\right] = 0{,}04\left[\frac{\cancel{C}}{s}\times\frac{m}{\cancel{C}}\right] \Rightarrow$$

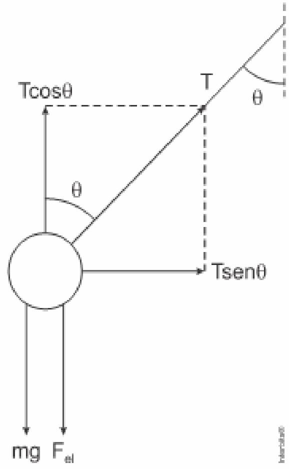
b. Adotando a simplificação sugerida, a distância máxima para ocorrer faísca pode ser calculada pela expressão:

$$E_{rd}\,d_{máx} = V \Rightarrow d_{máx} = \frac{V}{E_{rd}} = \frac{7{,}5\times10^{4}}{3\times10^{6}} \Rightarrow d_{máx} =$$

15. a. Dado que d << R podemos aproximar o campo como sendo uniforme. Portanto:

$$V = E\cdot d$$
$$\therefore E = \frac{V}{d}$$

b. Ilustrando as forças na esfera, temos:



Onde, $F_{el} = qE = \frac{qV}{d}$. Logo:

Em y: $T\cos\theta = mg + \frac{qV}{d}$

$$\therefore T = \frac{mgd + qV}{d\cos\theta}$$

Em x: $F = T\,\text{sen}\theta = \frac{mgd+qV}{d\cos\theta}\cdot\text{sen}\theta$

$$\therefore F = \frac{(mgd+qV)}{d}\text{tg}\theta$$

c. A força resultante atua como resultante centrípeta. Portanto:

$$F_{cp} = F$$
$$m\omega^2 R = \frac{(mgd+qV)}{d}\text{tg}\theta$$

Onde, R = Lsen. Sendo assim:

$$F_{cp} = F$$
$$m\omega^2 L\,\text{sen}\theta = \frac{(mgd+qV)}{d}\cdot\frac{\text{sen}\theta}{\cos\theta}$$
$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{mgd+qV}{mdL\cos\theta}}$$