Gabarito para a prova de 2º e 3º Anos

1. Tomando nosso sistema de referências com o sentido positivo apontando para baixo, a força total que atua no i-ésimo corpo de densidade ρ_i é:

$$F_T = P - E - F_v = \rho_i V g - \rho_a V g - b v_i$$

Onde $\rho_a =$ densidade da água, V é o volume da esfera e $P, E\ e\ F_v$ são, respectivamente os módulos da força peso, empuxo e da força de viscosidade. Note que para F_v tomamos o sinal negativo, indicando que ela atua sempre no sentido oposto ao do movimento.

Quando a velocidade se torna constante, $F_T = 0$, o que nos leva a:

$$v_i = \frac{(\rho_i - \rho_a) V g}{b} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{\rho_1 - \rho_a}{\rho_2 - \rho_a} \qquad (1)$$

Por outro lado, $L = v_i\, t_i \quad \Rightarrow \quad v_i = \frac{L}{t_i} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2}{t_1} = 2$. (2)

Assim, usando (1) e (2) obtemos

$$\frac{\rho_1 - \rho_a}{\rho_2 - \rho_a} = 2 \quad \Rightarrow \quad \rho_2 = \frac{\rho_1 + \rho_a}{2} = \frac{1{,}1\,\rho_a + \rho_a}{2}$$

$$\rho_2 = 1{,}05 \rho_a$$

---

2. Sejam m_{ob} e m_a as massas do objeto e da água contida nos recipientes. Como os volumes são o mesmo, ou seja, $V_{ob} = V_a = V$ e $m_a = 2 m_{ob}$ resulta que, sendo a densidade dada por $\rho = \frac{m}{V}$, obtemos

$$\rho_{ob} = \frac{\rho_a}{2} \qquad (1)$$

a) Utilizando o sistema de referência da questão anterior, observamos que a força sofrida pelo objeto quando está completamente submerso na água será:

$$F_T = P - E = m_{ob}\, g - E$$

Como $E = \rho_a V g$

$$F_T = \rho_{ob} V g - \rho_a V g = (\rho_{ob} - \rho_a) V g$$

Usando (1) obtemos: $F_T = -\frac{\rho_a}{2} V g$

O sinal negativo indica que o objeto sofrerá uma força para cima e, portanto, não afundará.

O objeto desloca-se em direção à superfície e no equilibro devemos ter:

$$F_T = P - E' = \rho_{ob}\, V g - \rho_a V_d\, g = 0$$

onde V_d é o volume deslocado de água (que é o mesmo do volume da parte submersa do objeto).

Da equação acima obtemos $V_d = \dfrac{\rho_{ob}}{\rho_a} V$

Usando (1) obtemos $V_d = \dfrac{V}{2}$

Isto significa que o objeto flutuará ficando com metade de seu volume submerso

b) Da equação (1) teremos $\rho_{ob} = \dfrac{\rho_a}{2} = 0{,}5\, g / cm^3$

---

3. Podemos afirmar que a energia inicial do corpo será igual a energia final mais o trabalho da força de atrito sobre o corpo em que a distância total percorrida pelo corpo no plano com atrito é 2d. Observe que, considerando-se os momentos inicial e final do experimento, a mola não acrescenta ou retira energia total do corpo. Note que se o corpo perde energia cinética durante a compressão da mola, essa mesma energia é devolvida a ele quando a mola é distendida. Então:

$$E_{inicial} = E_{final} + \Im$$

$$mgH = mgh + 2 f d$$

$$m gH = m g h + 2 \mu N d$$

$$mgH = mgh + 2 \mu m g d$$

$$h = H - 2 \mu d$$

---

4. As forças que atuam no sistema são internas (garoto-carrinho), existe conservação da quantidade de movimento:

$$\vec{q}_{antes} = \vec{q}_{depois}$$

$$\left(m_g + m_c\right) v_{antes} = m_g v_g + m_c v_c$$

$$(50 + 5{,}0) \times 3{,}0 = 50 \times 1 + 5{,}0 \times v_c$$

$$165 - 50 = 5{,}0 v_c$$

$v_c = 23 m / s$, no mesmo sentido inicial.

---

5. A mudança de direção no movimento das partículas foi conseqüência da ação de um impulso, que é igual à variação da quantidade de movimento da partícula, isto é:

$$\vec{I} = \vec{q}_{final} - \vec{q}_{inicial}$$

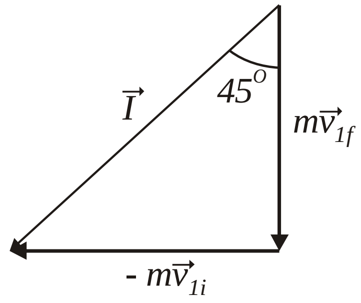
Considerando inicialmente a primeira partícula, teremos

$\vec{I} = m\, \vec{v}_{1f} - m \vec{v}_{1i}$, onde $\left|\vec{v}_{1f}\right| = \left|\vec{v}_{1i}\right| = v$

Como suas velocidades inicial e final são perpendiculares entre si, o módulo do impulso será:

$$I=(mv)^2+(mv)^2=\sqrt{2}.mv$$

Sendo os módulos das velocidades inicial e final iguais, o impulso forma um ângulo de 45° com essas quantidades, como mostra a figura.



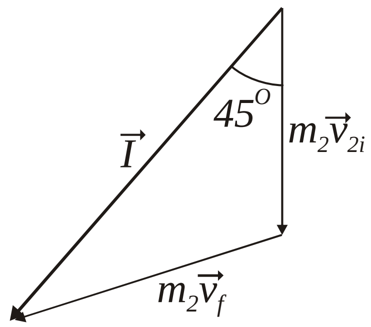
Este mesmo impulso atuará sobre a segunda partícula. A quantidade de movimento final desta partícula será a soma da quantidade de movimento inicial mais o impulso recebido, ou seja,

$$\vec{I}=m_2\,\vec{v}_f-m_2\,\vec{v}_{2i} \qquad \Rightarrow \qquad m_2\,\vec{v}_f=\vec{I}+m_2\,\vec{v}_{2i}$$

Porém, trata-se de uma soma vetorial conforme mostra o diagrama vetorial abaixo. De acordo com o teorema dos cossenos:

$$\left|m_2\vec{v}_f\right|^2=\sqrt{\left|m_2\vec{v}_{2i}\right|^2+\left|\vec{I}\right|^2+2\left|m_2\vec{v}_{2i}\right|\left|\vec{I}\right|\cos\theta}$$

Sabendo-se que $m_2=2m$ e $\left|\vec{v}_{2i}\right|=\dfrac{v}{2}$



$$2mv_f=\sqrt{(mv)^2+\left(\sqrt{2}\,mv\right)^2+2mv\sqrt{2}\;mv\cos 45^o}$$

$$2mv_f=\sqrt{m^2v^2+2m^2v^2+2m^2v^2}$$

$$4m^2v_f^2=5m^2v^2$$

$$v_f=\frac{\sqrt{5}}{2}v$$

---

6. O desnível entre a base da plataforma e sua parte superior é: $h=10\,sen30^o=5m$.

O trabalho realizado pela força de atrito será a diferença entre a energia mecânica final e a energia mecânica inicial:

$$\Im=E_f-E_i$$

O trabalho da força de atrito é: $\Im=f\,d$. Então:

$$f\,d=\frac{mv^2}{2}-m\,g\,h$$

$$f.10=\frac{2{,}0\times 6{,}0^2}{2}-2{,}0\times 10\times 5$$

$$\left|f\right|=6{,}4\,N$$

7. No momento da explosão a quantidade de movimento se conserva:

$$Q_{antes} = Q_{depois}$$

A quantidade de movimento antes é a da massa do projétil inteiro com velocidade v_o. Observe que no ponto mais alto da trajetória a componente vertical da velocidade é nula, de modo que sua velocidade é a sua componente horizontal v_o. Desta forma:

$$Q_{antes} = m v_o$$

A quantidade de movimento depois é a soma das quantidades de movimentos dos dois fragmentos iguais. Considerando positivo o sentido do projétil que se afasta do canhão, temos:

$$Q_{depois} = \frac{m}{2} v - \frac{m}{2} v_o$$

Igualando as duas equações:

$$m v_o = \frac{m}{2} v - \frac{m}{2} v_o$$

$$v = 3 v_o$$

O projétil percorreu 100 m até atingir a altura máxima. Ele levou um tempo:

$$t = \frac{100}{v_o}$$

Este será o mesmo tempo para os fragmentos dos projéteis caírem no solo. Mas como os pedaços dos projéteis estão a 100 m deles, o projétil que se afasta:

$$d_{afasta} = 100 + v.t$$

Substituindo os valores:

$$d_{afasta} = 100 + 3 v_o \frac{100}{v_o}$$

$$d_{afasta} = 100 + 300 = 400\, m$$

O outro fragmento cairá sobre o canhão, porque ele possui a mesma velocidade que o projétil possuía antes da explosão (o tempo de queda não é alterado pela massa!).

Os fragmentos caem a uma distância horizontal de 400 m.

---

8. Como a velocidade da luz é extremamente alta, sob o ponto de vista prático a correção será insignificante se considerar sua propagação como instantânea. Assim, podemos considerar que o som percorre a distância de 2040 m em 6 segundos. A velocidade do som será então igual a $v_s = \frac{2040}{6} = 340\ m/s$ e a velocidade do projétil será $v_p = \frac{2040}{10} = 204\ m/s$.

a) Ao ser disparado do avião, cuja velocidade em relação ao solo é $v_a = 306\ m/s$, o projétil adquire a velocidade $v = v_a + v_p = 510\ m/s$. Assim, o projétil atinge o alvo, a 5100 m de distância, em 10 segundos. A velocidade do som independe da velocidade da fonte (depende do meio, no caso o ar), de modo que ela permanece constante em $v_s = 340\ m/s$. Assim o som chega ao alvo em $\Delta t = \frac{5100}{340} = 15\ s$, ou seja, 5 segundos *depois* do projétil atingir o alvo.

b) Sejam respectivamente t_i e s_i o instante e a distância do avião ao alvo quando é efetuado o i-ésimo disparo. Como $\frac{s_i}{v_s}$ é o tempo necessário para o som percorrer a distância s_i , logo o instante de sua chegada ao alvo será: $t'_i = t_i + \frac{s_i}{v_s}$.

No instante $t_{i+1} = t_i + T$, onde $T = 1\ s$ é o intervalo de tempo entre disparos sucessivos, é efetuado o disparo seguinte. Neste instante a distância do avião ao alvo não é a mesma, sendo dada por $s_{i+1} = s_i - v_a T$

O som chega, portanto, ao alvo no instante: $t'_{i+1} = t_i + T + \frac{s_i - v_a T}{v_s}$.

Assim o intervalo de tempo entre dois disparos sucessivos em que o som é recebido no detector é:

$$\Delta t = t'_{i+1} - t_i = \left(1 - \frac{v_a}{v_s}\right) T = 0{,}1\ s\ .$$

Logo o som chega ao alvo em intervalos de 0,1 s.

Obs: este é um exemplo de efeito Doppler, onde a fonte se move e o detector fica em repouso. Quando a fonte e o detector estão em posições fixas, os pulsos sonoros de cada disparo serão recebidos a intervalos de tempo iguais a $T = 1\, s$, ou seja, com freqüência $\nu = 1 s^{-1}$*. Para uma fonte móvel e detector em repouso, a freqüência observada será:* $\nu' = \nu \frac{v_s}{v_s - v_a} = 10\, \nu$ *. Assim*

$$\Delta t = \frac{1}{\nu'} = 0{,}1\ s$$

---

9. **Bloco 1**: Em um MHS o ponto onde a energia cinética é máxima é justamente o ponto de equilíbrio x = 0. Neste instante a mola não está deformada e deste modo, a partir deste ponto ela não exerce nenhuma força sobre o bloco 1 e este passa a se mover com MRU.

A velocidade em um MHS é dada por: $v_1 = \omega_1 A_1 \cos(\omega_1\, t + \varphi)$, de modo que a velocidade máxima (pois a energia cinética é máxima) será: $v_1 = \omega_1 A_1$

Como $\omega_1 = \sqrt{\dfrac{k}{m_1}} = \sqrt{\dfrac{100}{0{,}04}} = 50\ rad/s$, o bloco irá se mover, a partir de t = 0 com velocidade constante $v_1 = 250\, cm/s$ e a equação de movimento será:

$x_1(t) = v_1 t = 250t$, onde x está em centímetros e t em segundos.

Bloco 2: Em t = 0 o bloco se encontra no ponto O_2 onde a energia potencial E_p é máxima, o que implica que ele se encontra numa das extremidades de oscilação. Ao atingir x_0 sua energia cinética E_c é máxima, a partir do qual passa a se movimentar em MRU com velocidade constante v_2.
Pela conservação de energia $(E_c)_{\max} = (E_p)_{\max} = 0{,}5\, J$

Como $(E_c)_{\max} = \dfrac{m_2 v_2^2}{2}$, obtemos

$v_2 = 2\, m/s = 200\, cm/s$.

Contudo, a velocidade do bloco entre os pontos O_2 e x_0 não é constante, pois o bloco ainda está preso à mola. Contudo o tempo de percurso entre esses pontos é de um quarto do período de oscilação, ou seja: $\Delta t_2 = \dfrac{T_2}{4}$

Como $T_2 = \dfrac{2\pi}{\omega_2}$ e $\omega_2 = \sqrt{\dfrac{k}{m_2}} = \sqrt{\dfrac{100}{0{,}25}} = 20\ rad/s$.

Obtemos $\Delta t_2 = 0{,}08\ s$

A equação de movimento do bloco 2, para $t \geq \Delta t_2$ *****, será dada por:

$$x_2(t) = x_0 - v_2\left(t - \Delta t_2\right) = 100 - 200\left(t - 0{,}08\right)$$

Os dois blocos irão se encontrar no instante t_e, isto é, quando $x_1(t_e) = x_2(t_e)$:

$$250 t_e = 100 - 200\left(t_e - 0{,}08\right)$$

Logo, o instante do encontro será:

$$t_e = \frac{116}{450} = 0{,}258\ s$$

Usando $x_1(t_e) = v_1 t_e = 250 t_e$, teremos que o ponto de encontro será em:

$$x_e = 64{,}4\ cm$$

***** *Obs: Não é necessário escrever a equação para $t \leq \Delta t_2$, pois o bloco 1 levaria pelo menos $\dfrac{x_0}{v_1} = 0{,}4\, s \geq \Delta t_2$ para chegar ao ponto x_0.*

10. Da equação $Q = mc(T - T_0)$, tem-se que $T - T_0 = \frac{1}{mc}Q$.

A temperatura do corpo, portanto, varia linearmente com a quantidade de calor nele injetado.

Do coeficiente angular da reta mostrada na figura 6 da prova obtemos:

$$\frac{1}{mc} = \frac{\Delta T}{\Delta Q} = \frac{100-20}{(200-40)\times 10^3} = 5\times 10^{-4}\ {}^0C/J$$

Como $c = 1000\ \mathrm{J/kg}^0\mathrm{C}$ $\Rightarrow$ $m = 2\ kg$

Sendo a densidade igual a $\rho = \frac{m}{V}$, o volume à 20^0C será:

$$V(20) = \frac{m}{\rho} = 8\times 10^{-4} m^3 = 800\ cm^3$$

Sendo a equação que expressa a dilatação volumétrica dada por

$$V(T) = V(T_0)\left[1 + 3\alpha(T - T_0)\right]$$

Teremos à 120^0C

$$V(120) = V(20)\left[1 + 3\times 10^{-5}(120-20)\right]$$

$$V(120) = 802{,}4\ cm^3$$

---

11. Seja ΔW o trabalho realizado pela máquina durante o intervalo de tempo Δt. A potência da máquina será: $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ $\Rightarrow$ $\Delta W = P\,\Delta t$

Se ΔQ_H é a quantidade de calor introduzida na máquina, sua eficiência será: $e = \frac{\Delta W}{\Delta Q_H}$.

Logo $\Delta Q_H = \frac{P\,\Delta t}{e}$.

Como L_c é o calor de combustão, logo: $\Delta Q_H = mL_c$ $\Rightarrow$ $m = \frac{P\,\Delta t}{e\,L_c}$.

A densidade da gasolina é dada por $\rho = \frac{m}{V}$

Assim, o volume de gasolina queimada durante o tempo Δt será:

$$V = \frac{P\,\Delta t}{e\,L_c\,\rho}$$

Usando $e = 0{,}25 = \frac{1}{4}$, $\rho = 0{,}75\ kg/\ell = \frac{3}{4}\ kg/\ell$, $P = 100\times 10^3\ W$ e $\Delta t = 1\,h = 3600\ s$, obtém-se:

$$V = \frac{4\times 4\times 100\times 10^3\times 3600}{3\times 5\times 10^7}$$

$$V = 38{,}4\ \ell$$

12. De acordo com o enunciado a imagem é projetada na tela e isto só é possível se a imagem é real. Como a lente é colocada entre o objeto e a tela, teremos então p e q positivos.

Sabemos que: $\frac{H_i}{H_o} = -\frac{q}{p}$ (logo a imagem é real e invertida)

Então para a primeira lente: $\frac{-9H_o}{H_o} = -\frac{q_1}{p_1} \quad \Rightarrow \quad q_1 = 9p_1$

Para a segunda lente: $\frac{-3H_o}{H_o} = -\frac{q_2}{p_2} \quad \Rightarrow \quad q_2 = 3p_2$

Por outro lado, como as distâncias da lente ao objeto e da lente à tela permanecem fixas, teremos:

$$p_1 + q_1 = p_2 + q_2$$

Resulta em:

$$p_1 + 9p_1 = p_2 + 3p_2 \quad \Rightarrow \quad p_2 = 2{,}5\,p_1$$

Usando a equação das lentes:

Para a primeira lente: $\frac{1}{12} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{12} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{9p_1}$

Obtemos: $p_1 = \frac{40}{3} cm$

Mas $p_2 = 2{,}5\,p_1 = 2{,}5\frac{40}{3} = \frac{100}{3} cm$

E $q_2 = 3p_2 = 3\frac{100}{3} = 100\,cm$

Para a segunda lente:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{\frac{100}{3}} + \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{3}{100} + \frac{1}{100} = \frac{4}{100}$$

$$f_2 = 25\,cm$$

---

13. O índice de refração da lente é $n = 1{,}5$ e, como a lente é biconvexa, seus raios de curvatura serão positivos, com $R_1 = R_2 = R$.

De acordo com a equação dos fabricantes de lentes

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = (1{,}5-1)\left(\frac{2}{R}\right)$$

obtemos $f = R = 40 + vt$

Assim, no instante $t = 0$ a distância focal da lente será $f = 40\,cm$. Como, neste instante, $p > f$ (pois $p = 50\,cm$), a imagem será real e invertida*****.

De acordo com o enunciado, o sentido da imagem é invertido a partir de t = 20 s. Isto implica que nesse instante $f = p$, ou seja,

$$50 = 40 + 20v.$$

Obtemos então: $v = 0{,}5\ cm/s$

***Obs:** *Esta afirmação pode ser comprovada a partir da seguinte análise:*

Da equação das lentes: $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{p\,f}{p - f} \qquad (1)$

Observe que se $p > f$ *teremos* $q > 0$ *o que indica que a imagem é real*

Por outro lado o aumento é dado por $M = -\frac{q}{p}$.

Usando (1), obtemos $M = \frac{f}{f - p}$

Se $p > f$ $\quad M < 0$ *a imagem é invertida*

Se $p < f$ $\quad M > 0$ *a imagem é direita*

---

14. Cada "ramo" é constituído por N_s resistores associados em série, de modo que a resistência equivalente do i-ésimo ramo é igual a: $R_i^s = \sum_{j=1}^{N_s} R_j$.

Se este ramo é submetido a uma tensão V, a potência nele dissipada será: $P_i^s = \frac{V^2}{R_i^s}$ (1)

Para uma associação em paralelo com N_p ramos submetidos à tensão V, a potência dissipada será: $P^p = \frac{V^2}{R_p}$, onde R_p é a resistência equivalente desta associação.

Como $\frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^{N_p} \frac{1}{R_i^s}$,

a potência total P_T dissipada no circuito será $P_T = P^p = V^2 \left(\sum_{i=1}^{N_p} \frac{1}{R_i^s} \right) = \sum_{i=1}^{N_p} \frac{V^2}{R_i^s}$

Usando (1), obtemos: $P_T = \sum_{i=1}^{N_p} P_i^s$ (2)

Na situação inicial, onde todas as lâmpadas são iguais com mesma resistência R_0, cada "ramo" terá resistência equivalente $R_i^s = 10\,R_0$. A potência dissipada em cada ramo será $P_i^s = \frac{V^2}{10\,R_0}$

De (2) obtemos a potência total para as $N_p = 10$ associações em paralelo:

$$P_T = \frac{V^2}{R_0} = P_0 \qquad (3)$$

As novas lâmpadas tem potência 4 vezes maior que as originais. Isto implica que

$$\frac{V^2}{R_{nova}} = 4\frac{V^2}{R_0} \qquad \Rightarrow \qquad R_{nova} = \frac{R_0}{4}$$

a) A resistência de cada ramo, quando é substituída uma lâmpada apenas, será:

$$R_i^s = 9R_0 + \frac{R_0}{4} = \frac{37}{4}R_0$$

de maneira que a potência nele dissipada será: $P_i^s = \dfrac{4}{37}\dfrac{V^2}{R_0}$

Como essa troca é feita igualmente em todos os ramos, então, usando (2) a potência total dissipada será:

$$P_T = 10P_i^s = \frac{40}{37}\frac{V^2}{R_0} \qquad \Rightarrow \qquad P_T = \frac{40}{37}P_0$$

b) Substituindo todas as lâmpadas de um único ramo pelas novas, sua resistência equivalente será:

$$R_1^s = 10\frac{R_0}{4}$$

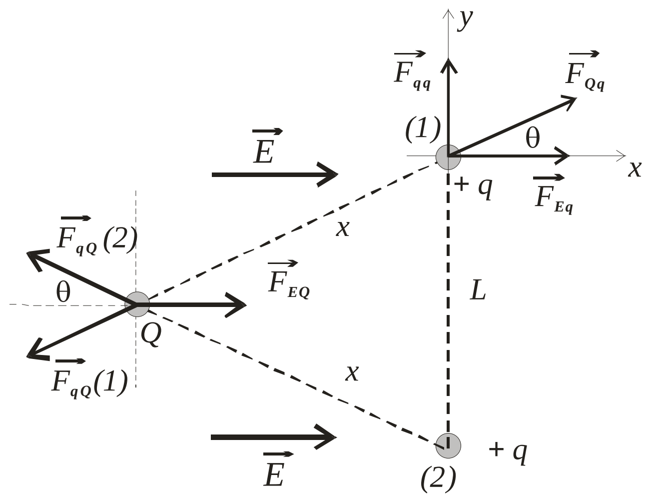
e a potência nele dissipada será

$$P_1^s = \frac{4}{10}\frac{V^2}{R_0}$$

Assim a potência total será:

$$P_T = \frac{9}{10}\frac{V^2}{R_0} + \frac{4}{10}\frac{V^2}{R_0} = \frac{13}{10}\frac{V^2}{R_0} \qquad \Rightarrow \qquad P_T = \frac{13}{10}P_0$$

15.



a) Analisando as forças na carga +*q* superior da figura (carga 1), teremos que a força total sobre ela será:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{qq} + \vec{F}_{Qq} + \vec{F}_{Eq}$$

Se $\left|\vec{F}_{Qq}\right| = F_{Qq} = \dfrac{KQq}{x^2}$ e $\left|\vec{F}_{qq}\right| = F_{qq} = \dfrac{Kq^2}{L^2}$, então

Se esta carga está em equilíbrio, então $\vec{F}_T = 0$. Logo

$$\vec{F}_T = \left(qE + F_{Qq}\cos\theta\right)\vec{i} + \left(F_{qq} + F_{Qq}sen\theta\right)\vec{j} = 0$$

Obtemos então:

$F_{Qq}\cos\theta = -qE$ **(1)** e $F_{Qq}sen\theta = -F_{qq}$ **(2)**

Dividindo (2) por (1): $\tan\theta = \dfrac{Kq^2}{L^2qE} = \dfrac{Kq}{L^2E}$ **(3)**

Analisando as forças na carga Q:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{qQ}(1) + \vec{F}_{qQ}(2) + \vec{F}_{EQ}$$

$F_{qQ}(1) = F_{qQ}(2) = \dfrac{KqQ}{x^2}$ e $F_{EQ} = QE$ (4)

Como esta carga se encontra em equilíbrio, então:

$$\vec{F}_T = \left(F_{EQ} - 2F_{qQ}\cos\theta\right)\vec{i} = 0$$

$$F_{EQ} = 2F_{qQ}\cos\theta$$

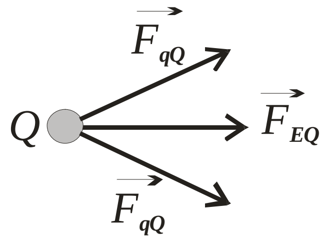
Usando (1) e (4) obtém-se $Q = -2q$

b) De (3) $\tan\theta = \dfrac{Kq}{L^2E} = \dfrac{9\times10^9\times\sqrt{3}\times10^{-7}}{3^2\times100} = \sqrt{3} \Rightarrow \theta = 30^0$

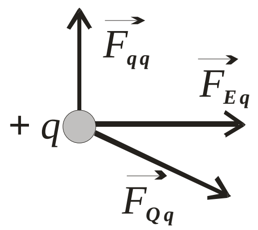
$$sen\theta = \frac{L}{2x} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{L}{2sen\theta} \quad \Rightarrow \quad x = L = 3\,m$$

c) O sistema fica em equilíbrio se a resultante das forças sobre *todas* as cargas se anula. O sistema da figura 7b do enunciado não pode ficar em equilíbrio:

- Se $Q > 0$ não há possibilidade da soma das forças sobre ela se anular. Observe que as forças de cada carga $+q$ sobre Q ($\vec{F}_{qQ}$) seriam repulsivas e a soma vetorial de ambas as forças apontaria para a direita (veja figura abaixo). Por outro lado a força de $\vec{E}$ sobre Q ($\vec{F}_{EQ}$) também apontaria para a direita e desta forma a força resultante total não se anula (*note que a soma de dois vetores pode ser nula somente se eles são colineares e aponta em sentidos opostos*). Podemos mostrar, de maneira análoga, que a força resultante sobre cada carga $+q$ também não pode se anular.



- Se $Q < 0$ não há possibilidade da soma das forças se anular em qualquer uma das cargas. Tomemos, por exemplo, a carga $+q$ superior. A força de devido à carga Q *(*$\vec{F}_{Qq}$*)* é atrativa e, portanto aponta para esta carga (veja figura abaixo). A força devido a outra carga $+q$ ($\vec{F}_{qq}$) é repulsiva e aponta para cima, enquanto que a força de $\vec{E}$ sobre $+q$ *(*$\vec{F}_{Eq}$*)* tem a mesma direção e sentido do campo. Uma rápida inspeção da figura abaixo mostra que não há possibilidade da soma vetorial das forças se anular.



---

16. A energia potencial eletrostática do sistema é a soma das energias potenciais, considerando os possíveis pares de cargas formados com as quatro cargas dispostas no quadrado de aresta d. São identificáveis 4 pares de cargas separadas por uma distância d e 2 pares cuja distância é a diagonal do quadrado. Portanto:

$$E_p = 4\frac{Kq^2}{d} + 2\frac{Kq^2}{\sqrt{d^2 + d^2}} = \left(4 + \sqrt{2}\right)\frac{Kq^2}{d}$$