OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA 2007

Gabarito

Prova de 3º Ano – 3ª Fase

1.

a) Colisão entre A e C perfeitamente inelástica

(i) Pela conservação da quantidade de movimento:

- antes da colisão (em módulo) → $Q_i = (M_A + M_B + Barra)\, v = 4 \times 3$
- depois da colisão (em módulo) → $Q_f = (M_A + M_B + Barra + M_C)\, v_1 = 6v_1$

Então:

$\vec{Q}_i = \vec{Q}_f \rightarrow 12 = 6v_1 \Rightarrow v_1 = 2\, m/s$.

Colisão entre C e D perfeitamente elástica

(ii) Pela conservação da quantidade de movimento:

- antes da colisão (em módulo) → $Q_i = (M_A + M_B + Barra + M_C)\, v_1 = 6 \times 2$
- depois da colisão (em módulo) → $Q_f = Mv_2 + M_D v_3 = 6v_2 + 2v_3$

com $M = (M_A + M_B + Barra + M_C)$

Então:

$\vec{Q}_i = \vec{Q}_f \rightarrow 12 = 6v_2 + 2v_3 \Rightarrow 6 = 3v_2 + v_3$. (1)

Como há duas velocidades (v_2 e v_3) a determinar, é preciso obter uma segunda relação entre v_2 e v_3. Essa relação é obtida usando a conservação da energia, ou seja:

- antes da colisão → $E_i = \frac{1}{2} M\, v_1^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 4 = 12$
- depois da colisão → $E_f = \frac{1}{2} M\, v_2^2 + \frac{1}{2} M_D\, v_3^2 = \frac{1}{2} \times 6\, v_2^2 + \frac{1}{2} \times 2\, v_3^2 = 3\, v_2^2 + v_3^2$

Assim:

$$E_i = E_f \Rightarrow 12 = 3v_2^2 + v_3^2 \tag{2}$$

Da relação (1) segue que $v_3 = 6 - 3v_2$ (3). Substituindo (3) em (2), teremos:

$$12 = 3v_2^2 + (6 - 3v_2)^2 \Rightarrow 12v_2^2 - 36v_2 + 24 = 0$$

$$v_2^2 - 3v_2 + 2 = 0 \tag{4}$$

Resolvendo a equação (4), segue que:

$$v_{2+} = 2\,m/s \text{ e } v_{2-} = 1\,m/s. \tag{5}$$

Usando o valor de v_{2+} em (3), obtém-se

$$v_{3+} = 0 \tag{6}$$

e, para v_{2-}, chega-se a

$$v_{3-} = 3\,m/s. \tag{7}$$

A solução fisicamente aceitável é a (7) uma vez que, após o choque, o carrinho D fica em movimento.

Colisão entre D e B perfeitamente inelástica

(iii) Pela conservação da quantidade de movimento:

- antes da colisão (em módulo) → $Q_i = M\,v_{2-} + M_D v_{3-} = 6 \times 1 + 2 \times 3 = 12$
- depois da colisão (em módulo) → $Q_f = (M + M_D)\,v_4 = (6 + 2)v_4$

Então:

$\vec{Q}_i = \vec{Q}_f \rightarrow 12 = 8v_4 \Rightarrow v_4 = 1{,}5\,m/s$.

Resposta: a velocidade final do sistema é $1{,}5\,m/s$.

b) Colisão entre A e C perfeitamente inelástica

(i) Esta situação é a mesma do item (i) da parte (a) . Assim, tem-se que v_1, a velocidade de $M = (M_A + M_B + Barra + M_C) = 6kg$, é igual a $2\,m/s$.

Colisão entre C e D também perfeitamente inelástica

(ii) Pela conservação da quantidade de movimento:

- antes da colisão (em módulo) → $Q_i = M\,v_1 = 6 \times 2$
- depois da colisão (em módulo) → $Q_f = (M + M_D)\,v_f = (6 + 2)v_f = 8v_f$

Então:

$\vec{Q}_i = \vec{Q}_f \rightarrow 12 = 8v_f \Rightarrow v_f = 1{,}5\,m/s$.

Resposta: A velocidade final do sistema é $v = 1{,}5\,m/s$, ou seja, a mesma do item (a).

Explicação: em todas as colisões que ocorrem no processo, há conservação da quantidade de movimento e o sistema final, nas duas situações analisadas, tem a mesma massa.

2.

a) (i) Sabendo que f é a freqüência de oscilação da onda, tem-se:

$$\lambda f = v \text{ e } \omega = 2\pi f \tag{1}$$

(ii) Da relação apresentada no enunciado do problema segue que

$$\beta v = \omega \quad \Rightarrow \quad \beta\lambda f = \omega \quad \Rightarrow \quad \beta\lambda f = 2\pi f$$

ou seja

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

Usando o valor de β, obtido da equação que descreve a onda, tem-se:

$$\lambda = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2} m$$

Resposta: O comprimento da onda é $\lambda = \frac{\pi}{2} m = 1{,}57m$.

b) Em $t = t_0 = 0$, tem-se

$$y = 10\,cos\,4z$$

Considerando os pontos $z = 0,\ z = \lambda/4,\ z = \lambda/2,\ 3\lambda/4,\ e\ z = \lambda$ segue que::

(i) para $z = 0$, $y = 10$;

(ii) para $z = \lambda/4$, $y = 10\cos(4\lambda/4) \quad \Rightarrow \quad y = 10\cos\lambda = 10\cos(\pi/2) = 0$;

(iii) para $z = \lambda/2$, $y = 10\cos(4\lambda/2) \quad \Rightarrow \quad y = 10\,cos\,2\lambda = 10\,cos\,\pi = -10$;

(iv) para $z = 3\lambda/4$, $y = 10\cos(4 \times 3\lambda/4) \quad \Rightarrow \quad y = 10\cos(3\lambda) = 10\cos(3\pi/2) = 0$;

(v) para $z = \lambda$, $y = 10\cos(4\lambda) \quad \Rightarrow \quad y = 10\cos(4\pi/2) = 10\cos 2\pi = 10$

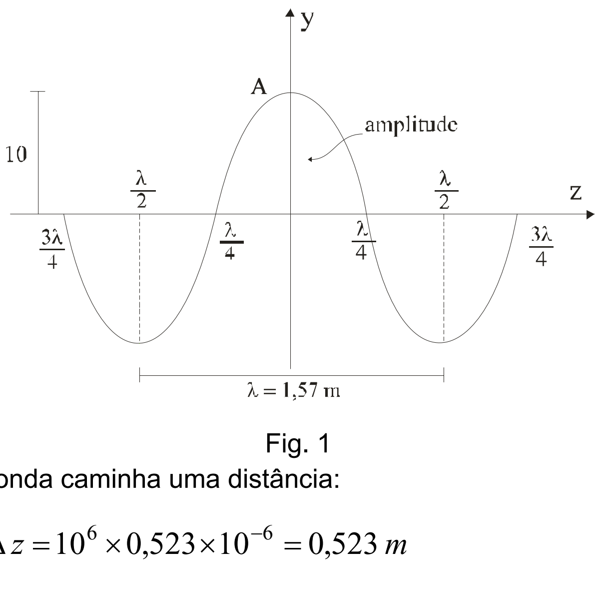

Fig. 1

c) Após um tempo Δt a onda caminha uma distância:

$$\Delta z = v\ \Delta t \qquad \Rightarrow \qquad \Delta z = 10^6 \times 0{,}523 \times 10^{-6} = 0{,}523\,m$$

Como $\lambda = \frac{\pi}{2} m \approx 1{,}5707\ m$, logo

$$\Delta z = \frac{\lambda}{3}$$

Solução alternativa:

Em $t = t_1 = 0{,}523 \times 10^{-6}\, s$*, tem-se:*

$$y = 10\, cos\left(4z - \frac{2\pi}{T} t\right) \qquad (1)$$

Como $\lambda f = v$*, segue que:*

$$\frac{\lambda}{T} = v \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{v}{\lambda} = \frac{10^6}{\pi/2} = \frac{2 \times 10^6}{\pi}$$

Então, substituindo $1/T$ *em (1), obtém-se:*

$$y = 10\, cos\left(4z - 4 \times 10^6 t\right),$$

e, usando $t = 0{,}523 \times 10^{-6} = \frac{1{,}57}{3} \times 10^{-6} = \frac{\lambda}{3} \times 10^{-6}\, s$*, chega-se a:*

$$y = 10\, cos\left(4z - \frac{4\lambda}{3}\right) \qquad (2)$$

Considerando, por exemplo, o ponto A *da figura 01(lembre-se que esse ponto corresponde ao argumento do cosseno nulo), tem-se que ele, no instante* $t = \lambda/3 \times 10^{-6}\, s$*, encontrar-se-á em:*

$$4z - \frac{4\lambda}{3} = 0 \Rightarrow z = \frac{\lambda}{3},$$

ou seja, a onda terá se deslocado de $\lambda/3$.

3.

a) Pela Lei de Coulomb tem-se, em módulo:

(i) força entre a carga em A e a carga em a:

$$F_{Aa} = \frac{5kQ^2}{D^2} \qquad (1)$$

(ii) força entre a carga em B e a carga em b:

$$F_{Bb} = \frac{6kQ^2}{D^2} \qquad (2)$$

Isolando a haste AB e indicando as forças que atuam sobre ela, tem-se (veja

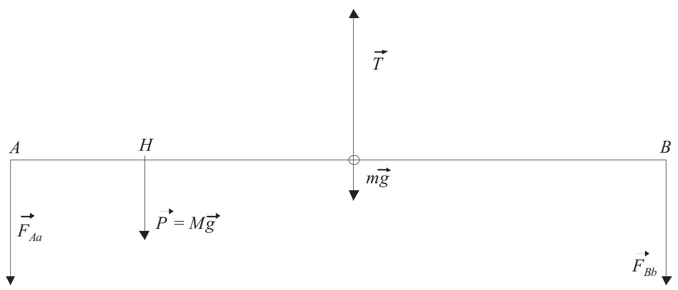

Fig. 2

(iii) Como o sistema está em equilíbrio, o momento resultante é nulo ($M_R = 0$). Calculando o momento em relação ao ponto O, obtém-se:

$$F_{Aa}.\overline{AO} + Mg.\overline{HO} = F_{Bb}.\overline{BO}\,, \qquad (3)$$

e, substituindo em (3) as expressões (1) e (2), e as distâncias $\overline{AO} = L/2$, $\overline{HO} = L/3$ e $\overline{BO} = L/2$, chega-se a:

$$\frac{5kQ^2}{D^2}.\frac{L}{2} + Mg.\frac{L}{3} = \frac{6kQ^2}{D^2}.\frac{L}{2}$$

$$Mg.\frac{L}{3} = \frac{kQ^2}{D^2}.\frac{L}{2}$$

$$M = \frac{3}{2g}\frac{kQ^2}{D^2} \qquad (4)$$

b) De (4) segue que:

$$Q^2 = \frac{2gD^2}{3k}M$$

e, substituindo as variáveis pelos valores do problema, tem-se:

$$Q^2 = \frac{0{,}3072 \times 0{,}1}{3 \times 10^9} = 0{,}1024 \times 10^{-10}\,,$$

ou seja, $Q = 3{,}2 \times 10^{-6}\,C$. Como $1e = 1{,}6 \times 10^{-19}\,C$, obtém-se:

$Q = 2 \times 10^{13}$ cargas elementares.

4.

a) O campo gerado pela espira A no ponto P, será:

$$\vec{B}_A = \frac{\mu_0 i R^2}{2}\frac{\vec{k}}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \qquad (1)$$

O campo gerado pela espira D no ponto P, será:

$$\vec{B}_D = \frac{\mu_0 i R^2}{2} \frac{\vec{k}}{\left[(\ell - z)^2 + R^2\right]^{3/2}} \tag{2}$$

Daí, o campo total no ponto P será a superposição dos dois campos, ou seja:

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_D = \frac{\mu_0 i R^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left[(\ell - z)^2 + R^2\right]^{3/2}} + \frac{1}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \right\} \vec{k} \,. \tag{3}$$

b) Se ℓ diminui, com P fixo, ou seja, se as duas espiras forem colocadas mais próximas, o valor do campo total começará a crescer porque o termo $\left[(\ell - z)^2 + R^2\right]^{3/2}$ diminui, atinge um valor máximo em $\ell = z$ e, em seguida, para $0 < \ell < z$, começa a diminuir porque o temo $\left[(\ell - z)^2 + R^2\right]^{3/2}$ aumenta. Quando ℓ tende a zero o campo total aproxima-se do campo de uma bobina com duas espiras, já que:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0\, i R^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \right\} \vec{k} = \frac{\mu_0\, i R^2}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \vec{k}$$

c) (i) Se $\ell = 0$ e $z \neq 0$, tem-se:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0\, i R^2}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \vec{k}$$

(ii) Se $\ell = 0$ e $z = 0$ tem-se, de (3):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0\, i\, R^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left(R^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(R^2\right)^{3/2}} \right\} \vec{k} = \frac{\mu_0\, i}{R} \vec{k}$$

que é duas vezes o campo no centro de uma espira circular de raio R, percorrida por uma corrente elétrica i (lembre-se que o campo no centro de uma espira de raio R, percorrida por uma corrente elétrica i, tem módulo $B = \frac{\mu_0\, i}{2R} = \frac{2\pi \times 10^{-7} \times i}{R}$, onde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$)

(iii) Se $\ell = z$ e $z \neq 0$, obtém-se:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i R^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left(R^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \right\} \vec{k} \,,$$

ou,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{2R} \vec{k} + \frac{\mu_0 i R^2}{2\left(z^2 + R^2\right)^{3/2}} \vec{k} \,,$$

isto é, tem-se como campo resultante a adição do vetor campo magnético no centro de uma espira circular de raio R, percorrida por uma corrente elétrica i (no caso a espira D) e o campo em P gerado pela espira no plano xy, percorrida pela corrente i.

---

5. O rendimento de uma máquina de Carnot é obtido por $\eta_C = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{300}{600}$, ou seja $\eta_C = 0{,}5$.

Como a máquina do problema tem rendimento 20% menor, logo $\eta = 0{,}4$.

a) De acordo com o enunciado, o fluxo de calor proveniente da fonte quente, que penetra na máquina é numericamente igual ao de uma barra submetida a uma diferença de temperatura de 500 K, ou seja:

$$\frac{\Delta Q_q}{\Delta t} = k\,A\frac{\Delta T}{l} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\Delta Q_q}{\Delta t} = 50 \times 2 \times \frac{500}{0{,}1} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\Delta Q_q}{\Delta t} = 500\,kW$$

O rendimento de uma máquina é definido como $\eta = \frac{\Delta \tau}{\Delta Q_q}$, onde $\Delta\tau$ é o trabalho realizado.

Assim, $\frac{\Delta \tau}{\Delta t} = \eta \frac{\Delta Q_q}{\Delta t}$, ou seja, a potência da máquina é:

$$P = \frac{\Delta \tau}{\Delta t} = 200\,kW$$

b) Em uma máquina térmica, o calor rejeitado para a fonte fria é:

$$\Delta Q_f = \Delta Q_q - \Delta\tau \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\Delta Q_f}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_q}{\Delta t} - \frac{\Delta \tau}{\Delta t} = (1-\eta)\frac{\Delta Q_q}{\Delta t}$$

Logo, $\frac{\Delta Q_f}{\Delta t} = 300\,kJ/s$

A quantidade de calor rejeitada em 10 minutos (= 600 s) será:

$$\Delta Q_f = 300 \times 10^3 \times 600 \qquad \Rightarrow \qquad \Delta Q_f = 1{,}8 \times 10^8\ J$$

A quantidade de calor necessária para elevar uma massa *m* de gelo de $T_0 = -20^oC$ até 0^oC e em seguida derrete-la, é:

$$\Delta Q_f = m\,c_g\,(T - T_o) + m\,L\,,$$

onde $c_g = 2100\,J/(kg\ {}^0C)$ é o calor específico do gelo e $L = 330\,kJ/kg$ é o calor de fusão do gelo. Assim,

$$1{,}8 \times 10^8 = m\left(2100 \times 20 + 330 \times 10^3\right)$$

Resulta $m = 483{,}9\,kg$

Observação: *Por engano da comissão de provas, os valores do calor específico c_g e do calor de fusão L do gelo não foram fornecidos. Desta forma, foi atribuída pontuação total ao aluno que resolveu corretamente a questão, mas não apresentou o resultado numérico final.*

6.

a) Se o processo A$\rightarrow$B é isobárico, a pressão no estado B é igual ao do estado A, isto é $P_B = P_A = 32\times10^5\ N/m^2$. O volume do gás em B, de acordo com o enunciado é $V_B = 2\ m^3$.

Como o processo B $\rightarrow$ C é adiabático, então $P_B V_B^{\gamma} = P_C V_C^{\gamma} \quad \Rightarrow \qquad V_C = \left(\dfrac{P_B}{P_C}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V_B$.

Como $\gamma = \dfrac{c_p}{c_v}$, então $\gamma = \dfrac{5}{3} \quad \Rightarrow \qquad V_C = (32)^{3/5} V_B \Rightarrow \qquad V_C = 16\ m^3$

O diagrama PV será então:

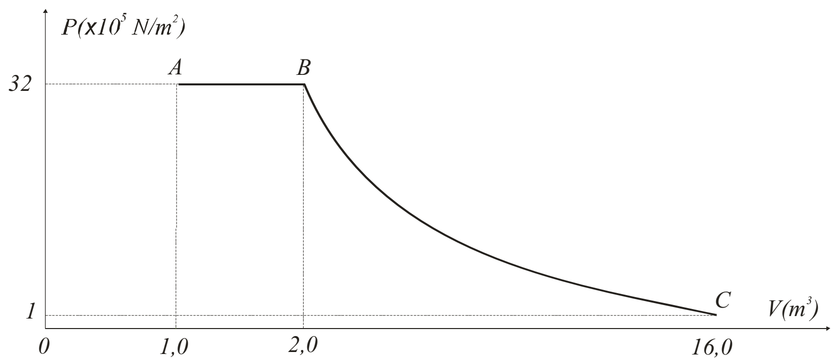

Fig. 03

b) o trabalho na expansão A$\rightarrow$C será:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{AB} + \Delta\tau_{BC}$$

- O trabalho no processo isobárico A$\rightarrow$B é

$$\Delta\tau_{AB} = P_A(V_B - V_A) \qquad\qquad \Delta\tau_{AB} = 32\times10^5\ J$$

- No processo adiabático B$\rightarrow$C o trabalho é:

$$\Delta\tau_{BC} = \frac{1}{1-\gamma}(P_C V_C - P_B V_B)$$

$$\Delta\tau_{BC} = \frac{1}{1-5/3}(1\times16 - 32\times2)\times10^5 = 72\times10^5\ J$$

- O trabalho total será, portanto:

$$\Delta\tau = 104\times10^5\ J$$

c) A variação da energia interna total será $\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$

Da primeira lei da termodinâmica, teremos:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta\tau \qquad (1)$$

- Como o processo A$\rightarrow$B é isobárico, então:

$$\Delta U_{AB} = nC_p\Delta T - P\Delta V$$

Usando a equação dos gases ideais, $PV = nRT$ e usando o fato de que a pressão se mantém constante, teremos: $\Delta T = \dfrac{P\Delta V}{nR}$, de forma que:

$$\Delta U_{AB} = \left(\frac{C_p}{R} - 1\right)P\Delta V = \frac{C_v}{R}P\Delta V$$, pois $C_p = C_v + R$

Mas $P\Delta V = P_A(V_B - V_A) = \tau_{AB}$

Como $C_v = \dfrac{3}{2}R$, então

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2}\tau_{AB} = 48\times10^5\ J$$

- O processo B$\rightarrow$C é adiabático, de forma que $\Delta Q = 0$. Assim, de (1) deve-se ter:

$$\Delta U_{BC} = -\Delta\tau_{BC} = -72\times10^5\ J$$

- A variação da energia interna em todo processo será:

$$\Delta U_{AC} = -24\times10^5\ J$$

7.

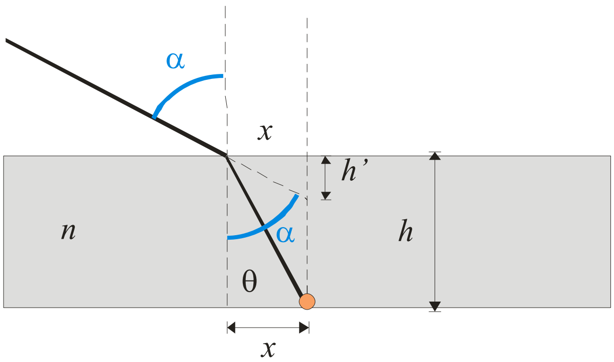

Fig. 04

Da figura observa-se que $\text{tg}\alpha = \dfrac{x}{h'} \quad \Rightarrow \quad x = h'\ \text{tg}\alpha$

Temos também que $\text{tg}\theta = \dfrac{x}{h} \quad \Rightarrow \quad x = h\ \text{tg}\theta$

onde *h* e *h'* são respectivamente a profundidade e a profundidade aparente da moeda. Assim

$$h\ \text{tg}\theta = h'\ \text{tg}\alpha \quad \Rightarrow \quad h = h'\frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\theta} = h'\frac{\text{sen}\alpha}{\cos\alpha}\frac{\cos\theta}{\text{sen}\theta}$$

Usando a lei da refração $n\ \text{sen}\theta = \text{sen}\alpha$, teremos:

$$h = h'\,n\frac{\cos\theta}{\cos\alpha} = h'\,n\frac{\sqrt{1-\mathrm{sen}^2\theta}}{\cos\alpha} \qquad \Rightarrow \qquad h = h'\frac{\sqrt{n^2-\mathrm{sen}^2\alpha}}{\cos\alpha} \qquad (1)$$

Quando o carro acelera, a superfície da água inclina de um ângulo ϕ em relação ao nível horizontal.

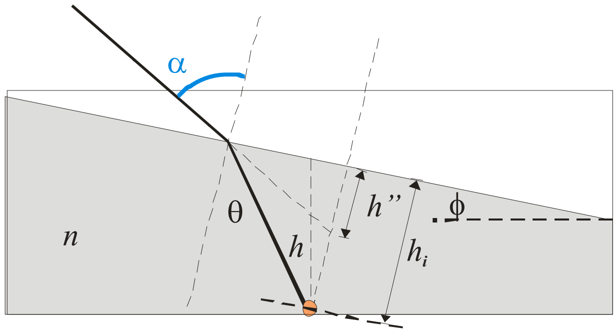

Fig. 05

A moeda estará agora a uma profundidade $h_i = h\cos\phi$ e a profundidade aparente será h''. Como o ângulo de observação é o mesmo (α), então:

$$h_i = h''\frac{\sqrt{n^2-\mathrm{sen}^2\alpha}}{\cos\alpha} \qquad (2)$$

Dividindo a equação (2) por (1), obtemos:

$$\frac{h_i}{h} = \frac{h''}{h'} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{h\cos\phi}{h} = \frac{h''}{h'}$$

Como $h'' = 25\sqrt{3}\ cm$ e $h' = 50\ cm$

obtemos $\cos\phi = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \qquad \Rightarrow \qquad \phi = 30^0$

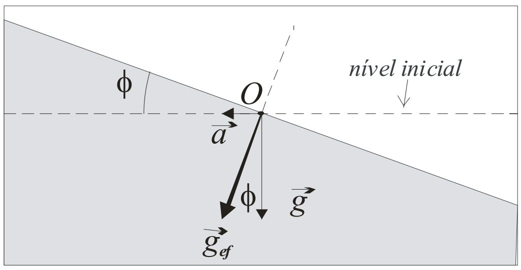

Fig. 06

Considere uma pequena porção de água. Como o caminhão acelera para a direita, então, em um referencial fixo no caminhão, devido à inércia, essa pequena porção de água sofrerá uma aceleração para a esquerda. Contudo, devido à presença do campo gravitacional, essa massa estará submetida à uma aceleração total $\vec{g}_{ef}$, que é a soma vetorial entre $\vec{a}$ e $\vec{g}$.

A superfície da água deve ser perpendicular à $\vec{g}_{ef}$, pois se isto não ocorresse, dois pontos à mesma profundidade (em relação à linha d'água) estariam com pressões diferentes e consequentemente haveria um fluxo de líquido entre eles. Realmente isto ocorre durante um curto intervalo de tempo, mas na situação estacionária o fluxo cessa, de modo que as pressões são as mesmas.

A nova linha d'água é obtida girando o nível inicial em torno de um eixo que passa pelo centro deste nível (ponto O da figura), pois a massa de água deslocada abaixo da linha d'água inicial deve ser igual à massa deslocada acima desta linha. Assim, como a moeda está na parte central do tanque, sua distancia até o ponto O não é alterada.

Por fim, da figura podemos ver que $\mathrm{tg}\ \phi = \frac{a}{g}$.

Assim $a = g\ \mathrm{tg}30^0$

Resulta $a = \frac{\sqrt{3}}{3} g$

8.

a) Na **região do visível**: de $\lambda f = c$, segue que:

(i) limite inferior (em freqüência): $0{,}7 \times 10^{-6} f = 3 \times 10^8 \Rightarrow f = 4{,}3 \times 10^{14} Hz$

(ii) limite superior (em freqüência): $0{,}4 \times 10^{-6} f = 3 \times 10^8 \Rightarrow f = 7{,}5 \times 10^{14} Hz$

Daí tem-se para a energia dos fótons:

(i) limite inferior: $E_i = hf = 6{,}62 \times 10^{-34} \times 4{,}3 \times 10^{14} = 28{,}46 \times 10^{-20} J$

Usando que $1 eV = 1{,}6 \times 10^{-19} J$, obtém-se:

$E_i = 1{,}80 eV$

(ii) limite superior: $E_s = hf = 6{,}62 \times 10^{-34} \times 7{,}5 \times 10^{14} = 49{,}65 \times 10^{-20} J$,ou seja,

$E_s = 3{,}1 eV$.

Assim, a energia dos fótons na região do visível varia da ordem de $1{,}80 eV$ a $3{,}1\ eV$.

Para uma **onda de rádio** de comprimento $\lambda = 310 m$, tem-se

$310 f = 3 \times 10^8 \Rightarrow f = 0{,}968 \times 10^6 Hz$

e o fóton terá energia:

$E = hf = 6{,}62 \times 10^{-34} \times 0{,}968 \times 10^6 = 6{,}41 \times 10^{-28} J$

e, fazendo a mudança de unidade:

$E = 4{,}0 \times 10^{-9} eV$.

b) Como a energia de um fóton de $\lambda = 310 m$ é $4{,}0 \times 10^{-9} eV$, para se ter $40 eV$ precisa-se de 10^{10} fótons.

c) De $\lambda f = c$, segue que:

$$\lambda = \frac{hc}{hf} = \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{E_f} J\times s\times m/s$$

$$\lambda = \frac{1{,}99\times10^{-25}}{E_f} J.m \qquad (1)$$

Como $1eV = 1{,}6\times10^{-19} J$, segue que $1J = 6{,}25\times10^{18} eV$ e, sabendo que $1m = 10^{10} \overset{0}{A}$, tem-se

$$\lambda = \frac{1{,}99\times10^{-25}\times6{,}25\times10^{18}\times10^{10}}{E_f} eV.\overset{o}{A} = \frac{1{,}24\times10^{4}}{E_f} eV.\overset{o}{A}$$

ou seja, a expressão que dará o comprimento de onda λ em angstroms com a energia E em elétron-volts é

$$\lambda == \frac{1{,}24\times10^{4}}{E}.$$