

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) $\rightarrow Q_i = (M_A + M_B + Barra) v = 4 \times 3$

- depois da colisão (em módulo) $\rightarrow Q_f = (M_A + M_B + Barra + M_C) v_1 = 6v_1$

Então:

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

Colisão entre C e D perfeitamente elástica

(ii) Pela conservação da quantidade de movimento:

- antes da colisão (em módulo) $\rightarrow Q_i = (M_A + M_B + Barra + M_C) v_1 = 6 \times 2$

- depois da colisão (em módulo) $\rightarrow Q_f = Mv_2 + M_D v_3 = 6v_2 + 2v_3$

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

Então:

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

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 $\rightarrow E_i = \frac{1}{2} M v_1^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 4 = 12$

- depois da colisão $\rightarrow E_f = \frac{1}{2} M v_2^2 + \frac{1}{2} M_D v_3^2 = \frac{1}{2} \times 6 v_2^2 + \frac{1}{2} \times 2 v_3^2 = 3v_2^2 + v_3^2$

Assim:

$$E_i = E_f \Rightarrow 12 = 3v_2^2 + v_3^2 \quad (2)$$

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

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

$$v_2^2 - 3v_2 + 2 = 0 \quad (4)$$

Resolvendo a equação (4), segue que:

$$v_{2+} = 2 \text{ m/s} \text{ e } v_{2-} = 1 \text{ m/s} . \quad (5)$$

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

$$v_{3+} = 0 \quad (6)$$

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

$$v_{3-} = 3 \text{ m/s} . \quad (7)$$

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

Então:

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

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

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 $M = (M_A + M_B + \text{Barra} + M_C) = 6 \text{ kg}$, 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) $\rightarrow Q_i = M v_1 = 6 \times 2$
- depois da colisão (em módulo) $\rightarrow Q_f = (M + M_D) v_f = (6 + 2)v_f = 8v_f$

Então:

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

Resposta: A velocidade final do sistema é $v = 1,5 \text{ m/s}$, 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 frequência de oscilação da onda, tem-se:

$$\lambda f = v \text{ e } \omega = 2\pi f \quad (1)$$

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

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

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 $\lambda = \frac{\pi}{2} m = 1,57 m$.

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

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

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

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

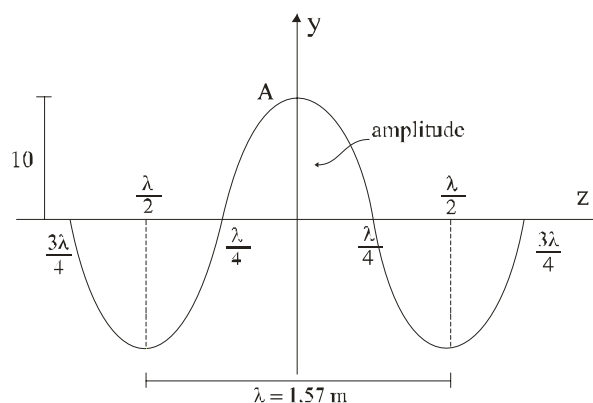


Fig. 1

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

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

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

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

Solução alternativa:

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

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

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:

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

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

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

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 $t = \lambda/3 \times 10^{-6} \text{ s}$, 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* :

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

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

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

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

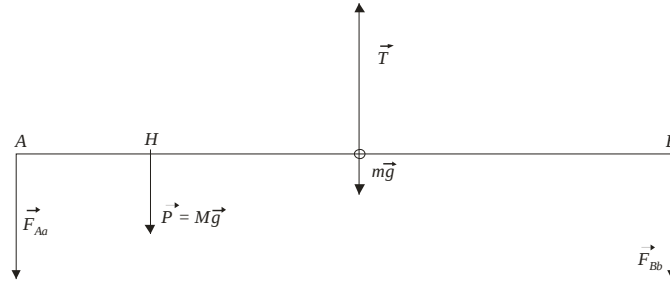


Fig. 2

(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:

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

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:

$$\begin{aligned} \frac{5kQ^2}{D^2} \cdot \frac{L}{2} + Mg \cdot \frac{L}{3} &= \frac{6kQ^2}{D^2} \cdot \frac{L}{2} \\ Mg \cdot \frac{L}{3} &= \frac{kQ^2}{D^2} \cdot \frac{L}{2} \\ M &= \frac{3}{2g} \frac{kQ^2}{D^2} \end{aligned} \quad (4)$$

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:

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

4.

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

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

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

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

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

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

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 termo $\left[(\ell - z)^2 + R^2\right]^{3/2}$ 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 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$)

(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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

A quantidade de calor necessária para elevar uma massa m de gelo de $T_0 = -20^\circ\text{C}$ até 0°C e em seguida derrete-la, é:

$$\Delta Q_f = m c_g (T - T_0) + m L,$$

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

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

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

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 $P_B = P_A = 32 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. O volume do gás em B, de acordo com o enunciado é $V_B = 2 \text{ m}^3$.

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

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

O diagrama PV será então:

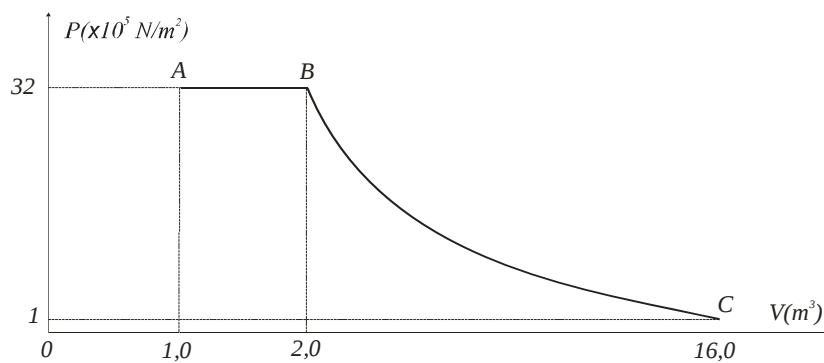


Fig. 03

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

$$\Delta \tau_{AB} = P_A (V_B - V_A) \quad \Delta \tau_{AB} = 32 \times 10^5 \text{ J}$$

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

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

$$\Delta \tau_{BC} = \frac{1}{1-5/3} (1 \times 16 - 32 \times 2) \times 10^5 = 72 \times 10^5 \text{ J}$$

- O trabalho total será, portanto:

$$\Delta \tau = 104 \times 10^5 \text{ J}$$

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

Da primeira lei da termodinâmica, teremos:

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

- 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: $\Delta T = \frac{P \Delta V}{nR}$, de forma que:

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

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

$$\text{Como } C_v = \frac{3}{2} R, \text{ então}$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} \tau_{AB} = 48 \times 10^5 \text{ J}$$

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

$$\Delta U_{BC} = -\Delta \tau_{BC} = -72 \times 10^5 \text{ J}$$

- A variação da energia interna em todo processo será:

$$\Delta U_{AC} = -24 \times 10^5 \text{ J}$$

7.

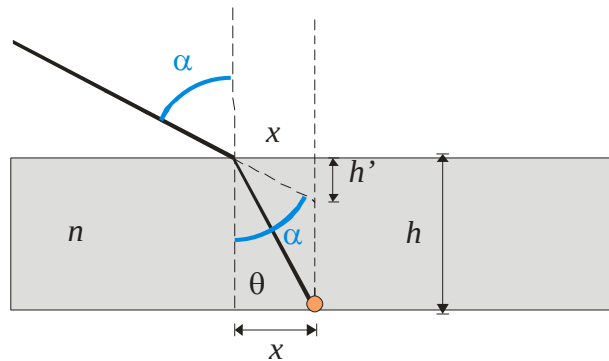


Fig. 04

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

$$\text{Temos também que } \operatorname{tg} \theta = \frac{x}{h} \Rightarrow x = h \operatorname{tg} \theta$$

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

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

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

$$h = h' n \frac{\cos \theta}{\cos \alpha} = h' n \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \theta}}{\cos \alpha} \Rightarrow h = h' \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha} \quad (1)$$

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

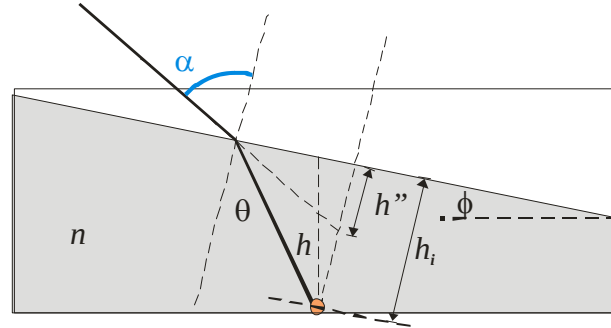


Fig. 05

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:

$$h_i = h'' \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha} \quad (2)$$

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

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

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

$$\text{obtemos } \cos \phi = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \phi = 30^\circ$$

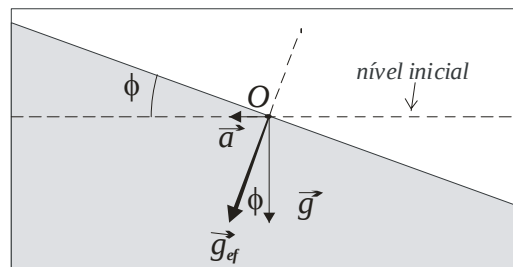


Fig. 06

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 distância até o ponto O não é alterada.

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

Assim $a = g \operatorname{tg} 30^\circ$

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

8.

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

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

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

Daí tem-se para a energia dos fótons:

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

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

$$E_i = 1,80 \text{ eV}$$

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

$$E_s = 3,1 \text{ eV}.$$

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

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

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

e o fóton terá energia:

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

e, fazendo a mudança de unidade:

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

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

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

$$\lambda = \frac{hc}{hf} = \frac{6,62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{E_f} J \times s \times m/s$$

$$\lambda = \frac{1,99 \times 10^{-25}}{E_f} J.m \quad (1)$$

Como $1 eV = 1,6 \times 10^{-19} J$, segue que $1 J = 6,25 \times 10^{18} eV$ e, sabendo que $1 m = 10^{10} \text{ \AA}$, tem-se

$$\lambda = \frac{1,99 \times 10^{-25} \times 6,25 \times 10^{18} \times 10^{10}}{E_f} eV.\text{\AA} = \frac{1,24 \times 10^4}{E_f} eV.\text{\AA}$$

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

$$\lambda = \frac{1,24 \times 10^4}{E} .$$