Questão 1

Quando camadas adjacentes de um fluido viscoso deslizam regularmente umas sobre as outras, o escoamento resultante é dito laminar. Sob certas condições, o aumento da velocidade provoca o regime de escoamento turbulento, que é caracterizado pelos movimentos irregulares (aleatórios) das partículas do fluido. Observa-se, experimentalmente, que o regime de escoamento (laminar ou turbulento) depende de um parâmetro adimensional (Número de Reynolds) dado por $R = \rho^{\alpha} v^{\beta} d^{\gamma} \eta^{\tau}$, em que ρ é a densidade do fluido, v, sua velocidade, η, seu coeficiente de viscosidade, e d, uma distância característica associada à geometria do meio que circunda o fluido. Por outro lado, num outro tipo de experimento, sabe-se que uma esfera, de diâmetro D, que se movimenta num meio fluido, sofre a ação de uma força de arrasto viscoso dada por $F = 3\pi D \eta v$.

Assim sendo, com relação aos respectivos valores de α, β, γ e τ, uma das soluções é

a) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1, \tau = -1$.
b) $\alpha = 1, \beta = -1, \gamma = 1, \tau = 1$.
c) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = -1, \tau = 1$.
d) $\alpha = -1, \beta = 1, \gamma = 1, \tau = 1$.
e) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0, \tau = 1$.

alternativa A

Utilizando as dimensões fundamentais M, L e T e sendo $F = 3\pi D\eta\nu$, temos:

$$[\eta] = \frac{[F]}{[D][\nu]} = \frac{MLT^{-2}}{LLT^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}$$

Assim, da expressão do número de Reynolds, vem:

$$\left|\begin{array}{l} [R] = [\rho]^{\alpha}[\nu]^{\beta}[d]^{\gamma}[\eta]^{\tau} \\ [\rho] = ML^{-3} \\ [\nu] = LT^{-1} \\ [d] = L \\ [\eta] = ML^{-1}T^{-1} \end{array}\right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M^0L^0T^0 = M^{\alpha}L^{-3\alpha}L^{\beta}T^{-\beta}L^{\gamma}M^{\tau}L^{-\tau}T^{-\tau} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M^0L^0T^0 = M^{\alpha+\tau}L^{-3\alpha+\beta+\gamma-\tau}T^{-\beta-\tau}$$

Comparando os expoentes, temos:

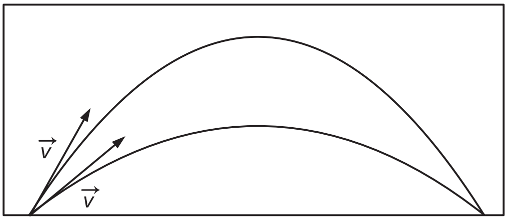
$$\left|\begin{array}{l} \alpha + \tau = 0 \\ -\beta - \tau = 0 \\ -3\alpha + \beta + \gamma - \tau = 0 \end{array}\right. \Rightarrow \left|\begin{array}{l} \alpha = \beta = -\tau \\ -3\alpha + \alpha + \gamma + \alpha = 0 \end{array}\right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = \beta = \gamma = -\tau$$

Assim, com relação aos respectivos valores de α, β, γ e τ, uma das soluções é $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $\gamma = 1$ e $\tau = -1$.

Questão 2

Um projétil de densidade ρ_p é lançado com um ângulo α em relação à horizontal no interior de um recipiente vazio. A seguir, o recipiente é preenchido com um superfluido de densidade ρ_s, e o mesmo projétil é novamente lançado dentro dele, só que sob um ângulo β em relação à horizontal. Observa-se, então, que, para uma velocidade inicial $\vec{v}$ do projétil, de mesmo módulo que a do experimento anterior, não se altera a distância alcançada pelo projétil (veja figura). Sabendo que são nulas as forças de atrito num superfluido, podemos então afirmar, com relação ao ângulo β de lançamento do projétil, que



a) $\cos\beta = (1 - \rho_s / \rho_p)\cos\alpha$.
b) $\text{sen}\, 2\beta = (1 - \rho_s / \rho_p)\,\text{sen}\, 2\alpha$.
c) $\text{sen}\, 2\beta = (1 + \rho_s / \rho_p)\,\text{sen}\, 2\alpha$.
d) $\text{sen}\, 2\beta = \text{sen}\, 2\alpha/(1 + \rho_s / \rho_p)$.
e) $\cos 2\beta = \cos\alpha/(1 + \rho_s / \rho_p)$.

alternativa B

Da 1ª situação, vem:

$$\Delta x = \frac{v^2 \cdot \text{sen}\, 2\alpha}{g} \qquad (1)$$

Para a 2ª situação, temos:

$P - E = m.a \Rightarrow$

$\Rightarrow \rho_p \cdot \cancel{V} \cdot g - \rho_s \cdot \cancel{V} \cdot g = \rho_p \cdot \cancel{V} \cdot a \Rightarrow$

$$\Rightarrow a = \frac{(\rho_p - \rho_s)}{\rho_p} g \Rightarrow a = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) g$$

O alcance horizontal Δx é dado por:

$$\Delta x = \frac{v^2 \cdot \text{sen}\, 2\beta}{\left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) g} \qquad (2)$$

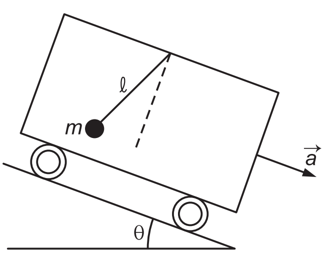
Igualando-se as equações (2) e (1), vem:

$$\frac{\cancel{v^2} \cdot \text{sen}\, 2\beta}{\left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \cancel{g}} = \frac{\cancel{v^2} \cdot \text{sen}\, 2\alpha}{\cancel{g}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{sen}\, 2\beta = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \cdot \text{sen}\, 2\alpha}$$

Questão 3

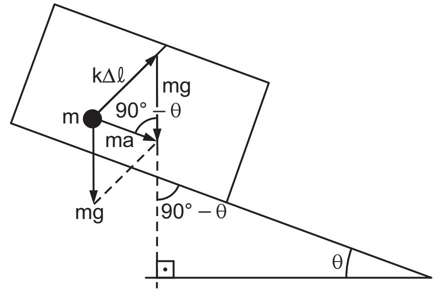
Considere uma rampa de ângulo θ com a horizontal sobre a qual desce um vagão, com aceleração $\vec{a}$, em cujo teto está dependurada uma mola de comprimento l, de massa desprezível e constante de mola k, tendo uma massa m fixada na sua extremidade. Considerando que l_0 é o comprimento natural da mola e que o sistema está em repouso com relação ao vagão, pode-se dizer que a mola sofreu uma variação de comprimento $\Delta l = l - l_0$ dada por



a) $\Delta l = mg\ \text{sen}\ \theta / k$.
b) $\Delta l = mg \cos \theta / k$.
c) $\Delta l = mg / k$.
d) $\Delta l = m\sqrt{a^2 - 2ag \cos \theta + g^2} / k$.
e) $\Delta l = m\sqrt{a^2 - 2ag\ \text{sen}\ \theta + g^2} / k$.

alternativa E

Sendo ma a resultante das forças que atuam na massa m, temos o seguinte esquema:



Aplicando o teorema dos co-senos para o triângulo de forças anteriormente apresentado e sendo $\cos(90^o - \theta) = \text{sen}\theta$, vem:

$(k\Delta\ell)^2 = (ma)^2 + (mg)^2 - 2(ma)(mg) \cdot$

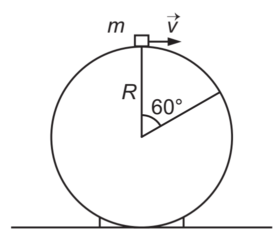
$\cdot \cos(90^o - \theta) \Rightarrow k^2 \Delta\ell^2 = m^2a^2 +$

$+ m^2g^2 - 2m^2ag\ \text{sen}\theta \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta\ell = m\sqrt{a^2 - 2ag\ \text{sen}\theta + g^2} / k}$$

Questão 4

Um objeto pontual de massa m desliza com velocidade inicial $\vec{v}$, horizontal, do topo de uma esfera em repouso, de raio R. Ao escorregar pela superfície, o objeto sofre uma força de atrito de módulo constante dado por $f = 7mg/4\pi$. Para que o objeto se desprenda da superfície esférica após percorrer um arco de 60^o (veja figura), sua velocidade inicial deve ter o módulo de



a) $\sqrt{2gR/3}$.
b) $\sqrt{3gR}/2$.
c) $\sqrt{6gR}/2$.
d) $3\sqrt{gR/2}$.
e) $3\sqrt{gR}$.

alternativa A

Quando o objeto estiver na iminência de se desprender da superfície (N = 0), a resultante centrípeta sobre ele será dada por:

$$R_{cp} = \frac{mv'^2}{R} \Rightarrow mg\cos 60^o = \frac{mv'^2}{R} \Rightarrow v'^2 = \frac{Rg}{2}$$

Aplicando o Teorema da Energia Cinética para o objeto, do topo até a posição onde ele se desprende, vem:

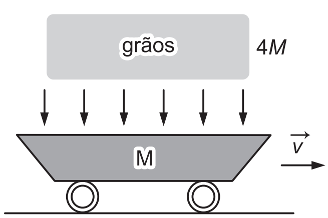
$$\tau_{\vec{R}} = \Delta E_C \Rightarrow \tau_{\vec{P}} + \tau_{\vec{f}_{at.}} + \overset{0}{\cancel{\tau_{\vec{N}}}} = \frac{mv'^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cancel{m}g\frac{R}{2} - \frac{7\cancel{m}g}{4\cancel{\pi}}\cdot\frac{2\cancel{\pi}R}{6} = \frac{\cancel{m}Rg}{4} - \frac{\cancel{m}v^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{v = \sqrt{\frac{2}{3}gR}}$$

Questão 5

Um vagão-caçamba de massa M se desprende da locomotiva e corre sobre trilhos horizontais com velocidade constante v = 72, 0 km/h (portanto, sem resistência de qualquer espécie ao movimento). Em dado instante, a caçamba é preenchida com uma carga de grãos de massa igual a 4 M, despejada verticalmente a partir do repouso de uma altura de 6,00 m (veja figura). Supondo que toda a energia liberada no processo seja integralmente convertida em calor para o aquecimento exclusivo dos grãos, então, a quantidade de calor por unidade de massa recebido pelos grãos é



a) 15 J/kg.
b) 80 J/kg.
c) 100 J/kg.
d) 463 J/kg.
e) 578 J/kg.

alternativa C

Na horizontal o sistema é isolado. Assim, temos:

$$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{depois} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4M \cdot 0 + M \cdot 20 = (4M + M) \cdot v' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 20 \cdot \cancel{M} = 5\cancel{M}v' \Rightarrow v' = 4{,}0\ m/s$$

Admitindo g = 10 m/s² e desprezando o diâmetro das rodas do vagão (h = 6 m para um plano horizontal de referência no fundo do vagão), a energia mecânica inicial do sistema é dada por:

$$E_M = E_P + E_C = 4Mgh + \frac{Mv^2}{2} =$$

$$= 4M \cdot 10 \cdot 6 + \frac{M \cdot 20^2}{2} = 440M$$

A energia mecânica final do sistema é dada por:

$$E'_M = E'_C = \frac{(4M + M)v'^2}{2} = \frac{5M \cdot 4^2}{2} = 40M$$

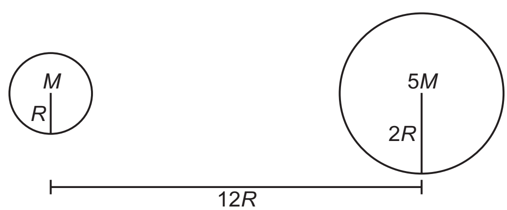
Assim, a quantidade de calor por unidade de massa dos grãos (Q) é obtida de:

$$Q = \frac{440M - 40M}{4M} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = 100\frac{J}{kg}}$$

Questão 6

Dois corpos esféricos de massa M e $5M$ e raios R e $2R$, respectivamente, são liberados no espaço livre. Considerando que a única força interveniente seja a da atração gravitacional mútua, e que seja de $12R$ a distância de separação inicial entre os centros dos corpos, então, o espaço percorrido pelo corpo menor até a colisão será de



a) 1,5R.
b) 2,5R.
c) 4,5R.
d) 7,5R.
e) 10,0R.

alternativa D

Admitindo que as duas esferas são homogêneas e adotando o referencial no centro do corpo menor, o centro de massa $\bar{x}$ do sistema, o qual permanece constante no espaço já que o sistema está isolado, é dado por:

$$\bar{x} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \bar{x} = \frac{M \cdot 0 + 5M \cdot 12R}{M + 5M} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{60\cancel{M}R}{6\cancel{M}} \Rightarrow \bar{x} = 10R$$

No instante da colisão, adotando o referencial no centro do corpo menor, a posição do centro de massa desses dois corpos é:

$$\bar{x}' = \frac{m_1 x_1' + m_2 x_2'}{m_1 + m_2} \Rightarrow \bar{x}' = \frac{M \cdot 0 + 5M \cdot 3R}{M + 5M} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{x}' = \frac{15\cancel{M}R}{6\cancel{M}} \Rightarrow \bar{x}' = 2{,}5R$$

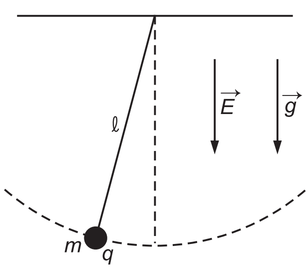
Assim, o espaço percorrido d *pelo corpo menor até a colisão é:*

$$d = \bar{x} - \bar{x}' \Rightarrow d = 10R - 2{,}5R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{d = 7{,}5R}$$

Questão 7

Considere um pêndulo de comprimento l, tendo na sua extremidade uma esfera de massa m com uma carga elétrica positiva q. A seguir, esse pêndulo é colocado num campo elétrico uniforme $\vec{E}$ que atua na mesma direção e sentido da aceleração da gravidade $\vec{g}$. Deslocando-se essa carga ligeiramente de sua posição de equilíbrio e soltando-a, ela executa um movimento harmônico simples, cujo período é



a) $T = 2\pi\sqrt{l/g}$.

b) $T = 2\pi\sqrt{l/(g+q)}$.

c) $T = 2\pi\sqrt{ml/(qE)}$.

d) $T = 2\pi\sqrt{ml/(mg-qE)}$.

e) $T = 2\pi\sqrt{ml/(mg+qE)}$.

alternativa E

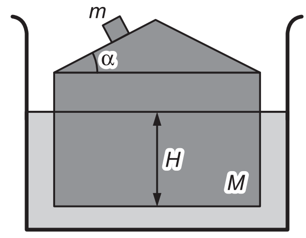
Sabendo que, nessas condições, a aceleração aparente g' é dada por $g' = g + \frac{qE}{m}$, *temos que:*

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g'}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g + \frac{qE}{m}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{m\ell}{(mg + qE)}}}$$

Questão 8

Um pequeno objeto de massa m desliza sem atrito sobre um bloco de massa M com o formato de uma casa (veja figura). A área da base do bloco é S e o ângulo que o plano superior do bloco forma com a horizontal é α. O bloco flutua em um líquido de densidade ρ, permanecendo, por hipótese, na vertical durante todo o experimento. Após o objeto deixar o plano e o bloco voltar à posição de equilíbrio, o decréscimo da altura submersa do bloco é igual a



a) m sen $\alpha/S\rho$.

b) $m \cos^2 \alpha/S\rho$.

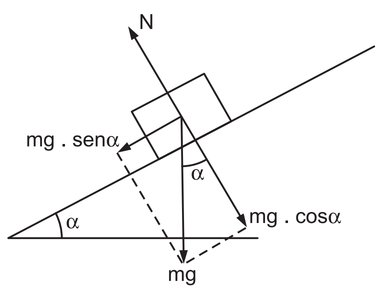
c) $m \cos \alpha/S\rho$.

d) $m/S\rho$.

e) $(m + M)/S\rho$.

alternativa B

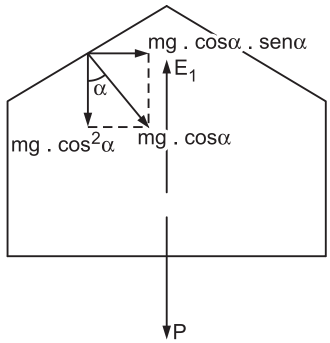
Isolando-se o pequeno objeto de massa m, *vem:*



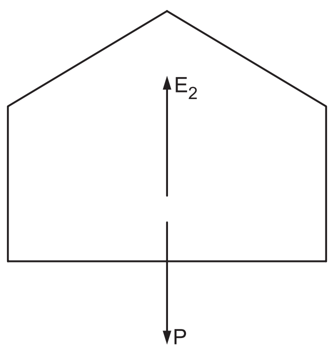
Assim, temos $N = mg \cos\alpha$.

Isolando-se o bloco de massa M antes e depois de o pequeno objeto deixar o plano, vem:

Antes



Depois



Para o equilíbrio do bloco na vertical, devemos ter:

$E_1 = P + mg\cos^2\alpha$ *e* $E_2 = P$

Assim, vem:

$\Delta E = E_1 - E_2 = \cancel{P} + mg\cos^2\alpha - \cancel{P} \Rightarrow$

$\Rightarrow \rho \cdot \cancel{g} \cdot S \cdot \Delta H = m\cancel{g}\cos^2\alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{\Delta H = \dfrac{m \cdot \cos^2\alpha}{S \cdot \rho}}$

Questão 9

Situa-se um objeto a uma distância p diante de uma lente convergente de distância focal f, de modo a obter uma imagem real a uma distância p' da lente. Considerando a condição de mínima distância entre imagem e objeto, então é correto afirmar que

a) $p^3 + fpp' + p'^3 = 5f^3$.

b) $p^3 + fpp' + p'^3 = 10f^3$.

c) $p^3 + fpp' + p'^3 = 20f^3$.

d) $p^3 + fpp' + p'^3 = 25f^3$.

e) $p^3 + fpp' + p'^3 = 30f^3$.

alternativa C

A partir da equação dos pontos conjugados e considerando as condições de mínima distância, temos:

$$\left|\begin{array}{l}\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{p} + \dfrac{1}{p'} \\ p = p' = x\end{array}\right. \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{x} \Rightarrow x = 2f$$

Então é correto afirmar que:

$p^3 + fpp' + p'^3 = x^3 + fx^2 + x^3 \Rightarrow$

$\Rightarrow p^3 + fpp' + p'^3 = 2x^3 + fx^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow p^3 + fpp' + p'^3 = 2(2f)^3 + f(2f)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{p^3 + fpp' + p'^3 = 20f^3}$

Questão 10

Uma banda de rock irradia uma certa potência em um nível de intensidade sonora igual a 70 decibéis. Para elevar esse nível a 120 decibéis, a potência irradiada deverá ser elevada de

a) 71%.

b) 171%.

c) 7 100%.

d) 9 999 900%.

e) 10 000 000%.

alternativa D

Da Equação de Weber-Fechner, temos:

$$\beta = 10\log\frac{I}{I_0} \Rightarrow \left|\begin{array}{l}70 = 10\log\dfrac{I_1}{I_0} \\ 120 = 10\log\dfrac{I_2}{I_0}\end{array}\right. \Rightarrow \left|\begin{array}{l}I_1 = 10^7 I_0 \\ I_2 = 10^{12} I_0\end{array}\right.$$

Portanto, a potência irradiada deverá ser elevada de:

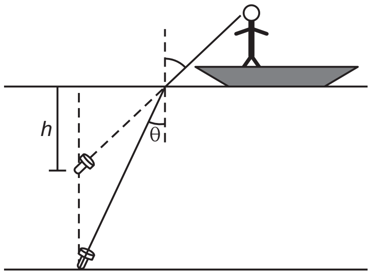
$$\Delta I = \left(\frac{I_2}{I_1} - 1\right) \cdot 100\% = \left(\frac{10^{12} I_0}{10^7 I_0} - 1\right) \cdot 100\% \Rightarrow$$

$\Rightarrow \boxed{\Delta I = 9\,999\,900\%}$

Obs.: a grafia correta da unidade de intensidade sonora, no plural, é decibels.

Questão 11

Um pescador deixa cair uma lanterna acesa em um lago a 10,0 m de profundidade. No fundo do lago, a lanterna emite um feixe luminoso formando um pequeno ângulo θ com a vertical (veja figura). Considere: $\tan\theta \simeq \text{sen}\theta \simeq \theta$ e o índice de refração da água $n = 1{,}33$. Então, a profundidade aparente h vista pelo pescador é igual a



a) 2,5 m. b) 5,0 m. c) 7,5 m.
d) 8,0 m. e) 9,0 m.

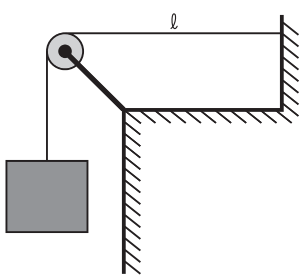
alternativa C

Da expressão do dioptro plano, temos:

$$\frac{p'}{p} = \frac{n_{passa}}{n_{provém}} \Rightarrow \frac{h}{10{,}0} = \frac{1}{1{,}33} \Rightarrow \boxed{h = 7{,}5\ m}$$

Questão 12

São de 100 Hz e 125 Hz, respectivamente, as freqüências de duas harmônicas adjacentes de uma onda estacionária no trecho horizontal de um cabo esticado, de comprimento $\ell = 2$ m e densidade linear de massa igual a 10 g/m (veja figura). Considerando a aceleração da gravidade $g = 10$ m/s^2, a massa do bloco suspenso deve ser de



a) 10 kg. b) 16 kg. c) 60 kg.
d) 10^2 kg. e) 10^4 kg.

alternativa A

Das expressões de freqüência e velocidade, aplicadas a uma corda, temos:

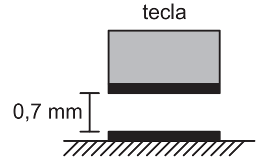
$$\left| \begin{array}{l} f = \dfrac{nv}{2\ell} \\ v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} \end{array} \right. \Rightarrow f = \frac{n}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Para as freqüências dadas, temos:

$$\left| \begin{array}{l} 100 = \dfrac{n}{2 \cdot 2}\sqrt{\dfrac{10\ m}{10 \cdot 10^{-3}}} \\ 125 = \dfrac{n+1}{2 \cdot 2}\sqrt{\dfrac{10\ m}{10 \cdot 10^{-3}}} \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{m = 10\ kg}$$

Questão 13

Considere o vão existente entre cada tecla de um computador e a base do seu teclado. Em cada vão existem duas placas metálicas, uma delas presa na base do teclado e a outra, na tecla. Em conjunto, elas funcionam como um capacitor de placas planas paralelas imersas no ar. Quando se aciona a tecla, diminui a distância entre as placas e a capacitância aumenta. Um circuito elétrico detecta a variação da capacitância, indicativa do movimento da tecla. Considere então um dado teclado, cujas placas metálicas têm 40 mm^2 de área e 0,7 mm de distância inicial entre si. Considere ainda que a permissividade do ar seja $\epsilon_0 = 9 \times 10^{-12}$ F/m. Se o circuito eletrônico é capaz de detectar uma variação da capacitância a partir de 0,2 pF, então, qualquer tecla deve ser deslocada de pelo menos



a) 0,1 mm. b) 0,2 mm.
c) 0,3 mm. d) 0,4 mm.
e) 0,5 mm.

alternativa B

O valor inicial de capacitância (C_0) entre as placas é dado por:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d_0} = \frac{9 \cdot 10^{-12} \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{0{,}7 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_0 = 5{,}1 \cdot 10^{-13}\ F$$

Como a capacitância aumenta quando aproximamos as placas, para o acionamento, devemos ter:

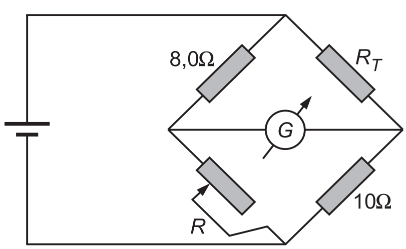
$$C_0 + \Delta C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} \Rightarrow 5{,}1 \cdot 10^{-13} + 0{,}2 \cdot 10^{-12} = \frac{9 \cdot 10^{-12} \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{d} \Rightarrow d = 5 \cdot 10^{-4}\ m = 0{,}5\ mm$$

Então, qualquer tecla deve sofrer um deslocamento (D) de:

$$D = d_0 - d = 0{,}7 - 0{,}5 \Rightarrow \boxed{D = 0{,}2\ mm}$$

Questão 14

O circuito da figura abaixo, conhecido como ponte de Wheatstone, está sendo utilizado para determinar a temperatura de óleo em um reservatório, no qual está inserido um resistor de fio de tungstênio R_T. O resistor variável R é ajustado automaticamente de modo a manter a ponte sempre em equilíbrio, passando de 4,00 Ω para 2,00 Ω. Sabendo que a resistência varia linearmente com a temperatura e que o coeficiente linear de temperatura para o tungstênio vale $\alpha = 4{,}00 \times 10^{-3}\ {}^oC^{-1}$, a variação da temperatura do óleo deve ser de



a) –125 °C. b) –35,7 °C. c) 25,0 °C.
d) 41,7 °C. e) 250 °C.

alternativa E

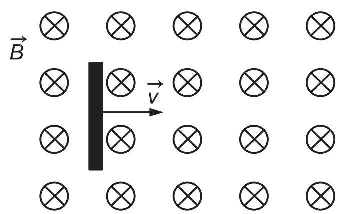
Como a condição de equilíbrio da ponte é mantida, temos:

$$\left| \begin{array}{l} R_T \cdot 4{,}00 = R_T' \cdot 2{,}00 \\ \dfrac{R_T'}{R_T} = 1 + \alpha\Delta\theta \end{array} \right. \Rightarrow 2 = 1 + \alpha\Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2 = 1 + 4{,}00 \cdot 10^{-3}\Delta\theta \Rightarrow \boxed{\Delta\theta = 250\ {}^oC}$$

Questão 15

Quando uma barra metálica se desloca num campo magnético, sabe-se que seus elétrons se movem para uma das extremidades, provocando entre elas uma polarização elétrica. Desse modo, é criado um campo elétrico constante no interior do metal, gerando uma diferença de potencial entre as extremidades da barra. Considere uma barra metálica descarregada, de 2,0 m de comprimento, que se desloca com velocidade constante de módulo v = 216 km/h num plano horizontal (veja figura), próximo à superfície da Terra. Sendo criada uma diferença de potencial (ddp) de $3{,}0 \times 10^{-3}$ V entre as extremidades da barra, o valor do componente vertical do campo de indução magnética terrestre nesse local é de



a) $6{,}9 \times 10^{-6}$ T. b) $1{,}4 \times 10^{-5}$ T.
c) $2{,}5 \times 10^{-5}$ T. d) $4{,}2 \times 10^{-5}$ T.
e) $5{,}0 \times 10^{-5}$ T.

alternativa C

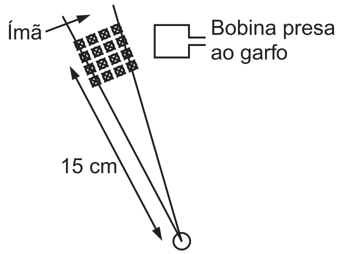
Sendo v = 216 km/h = 60 m/s, temos:

$$\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell \Rightarrow 3 \cdot 10^{-3} = B \cdot 60 \cdot 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{B = 2{,}5 \cdot 10^{-5}\ T}$$

Questão 16

Uma bicicleta, com rodas de 60 cm de diâmetro externo, tem seu velocímetro composto de um ímã preso em raios, a 15 cm do eixo da roda, e de uma bobina quadrada de 25 mm^2 de área, com 20 espiras de fio metálico, presa no garfo da bicicleta. O ímã é capaz de produzir um campo de indução magnética de 0,2 T em toda a área da bobina (veja a figura). Com a bicicleta a 36 km/h, a força eletromotriz máxima gerada pela bobina é de



a) 2×10^{-5} V.
b) 5×10^{-3} V.
c) 1×10^{-2} V.
d) 1×10^{-1} V.
e) 2×10^{-1} V.

alternativa D

A velocidade da bobina é dada por:

$$\frac{v}{r} = \frac{V}{R} \Rightarrow \frac{v}{15} = \frac{10}{30} \Rightarrow v = 5\ m/s$$

Sendo o lado da bobina $\ell = \sqrt{A} = \sqrt{25} = 5\ mm = 5 \cdot 10^{-3}$ *m, a força eletromotriz máxima é dada por:*

$$\varepsilon = 20 \cdot B \cdot v \cdot \ell = 20 \cdot 0{,}2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\varepsilon = 1 \cdot 10^{-1}\ V}$$

Questão 17

Um automóvel pára quase que instantaneamente ao bater frontalmente numa árvore. A proteção oferecida pelo air-bag, comparativamente ao carro que dele não dispõe, advém do fato de que a transferência para o carro de parte do momentum do motorista se dá em condição de

a) menor força em maior período de tempo.
b) menor velocidade, com mesma aceleração.
c) menor energia, numa distância menor.
d) menor velocidade e maior desaceleração.
e) mesmo tempo, com força menor.

alternativa A

A variação total do momentum do motorista é a mesma, tanto com o uso do air-bag *como sem o seu uso. Porém, o uso do* air-bag *aumenta o intervalo de tempo de atuação da força. Pelo Teorema do Impulso* ($\vec{I}_R = \Delta\vec{Q} \Rightarrow R \cdot \Delta t = \Delta Q$) *temos que para uma mesma variação de momentum, quanto maior o intervalo de tempo, menor a resultante das forças que atuam sobre o corpo.*

Assim, a transferência para o carro de parte do momentum do motorista, com o uso do air-bag*, se dá em condição de menor força em maior período de tempo.*

Questão 18

Um avião de vigilância aérea está voando a uma altura de 5,0 km, com velocidade de $50\sqrt{10}$ m/s no rumo norte, e capta no radiogoniômetro um sinal de socorro vindo da direção noroeste, de um ponto fixo no solo. O piloto então liga o sistema de pós-combustão da turbina, imprimindo uma aceleração constante de 6,0 m/s^2. Após $40\sqrt{10}/3$ s, mantendo a mesma direção, ele agora constata que o sinal está chegando da direção oeste. Neste instante, em relação ao avião, o transmissor do sinal se encontra a uma distância de

a) 5,2 km.
b) 6,7 km.
c) 12 km.
d) 13 km.
e) 28 km.

alternativa D

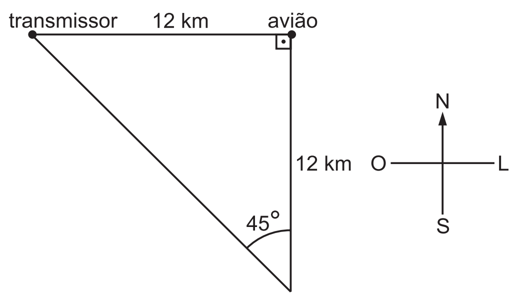
O deslocamento do avião para o norte é dado por:

$$\Delta S = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} t^2 \Rightarrow$$

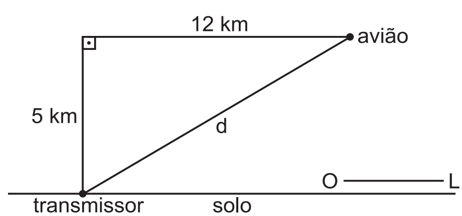
$$\Rightarrow \Delta S = 50\sqrt{10} \cdot \frac{40\sqrt{10}}{3} + \frac{6}{2} \cdot \left(\frac{40\sqrt{10}}{3}\right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta S = 12\ 000\ m = 12\ km$$

Em uma vista superior, temos:



No plano vertical que contém o avião e o transmissor do sinal, temos:

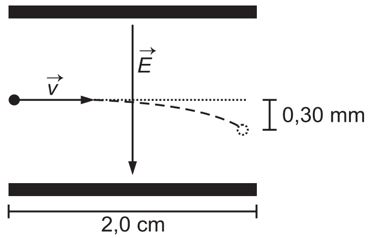


Assim, vem:

$$d^2 = 5^2 + 12^2 \Rightarrow \boxed{d = 13\ km}$$

Questão 19

Em uma impressora a jato de tinta, gotas de certo tamanho são ejetadas de um pulverizador em movimento, passam por uma unidade eletrostática onde perdem alguns elétrons, adquirindo uma carga q, e, a seguir, se deslocam no espaço entre placas planas paralelas eletricamente carregadas, pouco antes da impressão. Considere gotas de raio igual a 10 μm lançadas com velocidade de módulo v = 20 m/s entre placas de comprimento igual a 2,0 cm, no interior das quais existe um campo elétrico vertical uniforme, cujo módulo é $E = 8{,}0 \times 10^4$ N/C (veja figura). Considerando que a densidade da gota seja de 1000 kg/m^3 e sabendo-se que a mesma sofre um desvio de 0,30 mm ao atingir o final do percurso, o módulo da sua carga elétrica é de



a) $2{,}0 \times 10^{-14}$ C.
b) $3{,}1 \times 10^{-14}$ C.
c) $6{,}3 \times 10^{-14}$ C.
d) $3{,}1 \times 10^{-11}$ C.
e) $1{,}1 \times 10^{-10}$ C.

alternativa B

Na direção horizontal temos um MU. Assim, o intervalo de tempo (Δt) do movimento das gotas até o final do percurso é dado por:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow 20 = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-2}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\,s$$

Na direção vertical temos um MUV cuja aceleração (γ) é dada por:

$$\Delta y = \frac{\gamma t^2}{2} \Rightarrow 0{,}30 \cdot 10^{-3} = \frac{\gamma (1{,}0 \cdot 10^{-3})^2}{2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \gamma = 6{,}0 \cdot 10^2\,m/s^2$$

Do Princípio Fundamental da Dinâmica, sendo $m = dV$, temos:

$$R = m\gamma \Rightarrow F + P = m\gamma \Rightarrow q \cdot E + mg = m\gamma \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q \cdot E = m(\gamma - g) \Rightarrow q \cdot E = dV(\gamma - g) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow q \cdot 8{,}0 \cdot 10^4 = 1000 \cdot \frac{4}{3}\pi (10^{-5})^3 (6{,}0 \cdot 10^2 - 10) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \boxed{q = 3{,}1 \cdot 10^{-14} C}$$

Questão 20

A pressão exercida pela água no fundo de um recipiente aberto que a contém é igual a $P_{atm} + 10 \times 10^3$ Pa. Colocado o recipiente num elevador hipotético em movimento, verifica-se que a pressão no seu fundo passa a ser de $P_{atm} + 4{,}0 \times 10^3$ Pa. Considerando que P_{atm} é a pressão atmosférica, que a massa específica da água é de 1,0 g/cm^3 e que o sistema de referência tem seu eixo vertical apontado para cima, conclui-se que a aceleração do elevador é de

a) -14 m/s^2.
b) -10 m/s^2.
c) -6 m/s^2.
d) 6 m/s^2.
e) 14 m/s^2.

alternativa C

Supondo a situação inicial como um referencial inercial, temos:

$$p = p_{atm} + \mu g H \Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_{atm} + 10 \cdot 10^3 = p_{atm} + 10^3 \cdot 10 \cdot H \Rightarrow$$
$$\Rightarrow H = 1\,m$$

No referencial do elevador, temos:

$$p = p_{atm} + \mu \cdot g' \cdot H \Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_{atm} + 4 \cdot 10^3 = p_{atm} + 10^3 \cdot g' \cdot 1 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow g' = 4\,m/s^2$$

Como o elevador tem uma aceleração a em relação ao referencial inercial, vem:

$$g' = g + a \Rightarrow 4 = 10 + a \Rightarrow \boxed{a = -6\,m/s^2}$$

As questões dissertativas, numeradas de 21 a 30, devem ser respondidas no caderno de soluções

Questão 21

Um átomo de hidrogênio inicialmente em repouso emite um fóton numa transição do estado de energia n para o estado fundamental. Em seguida, o átomo atinge um elétron em repouso que com ele se liga, assim permanecendo após a colisão. Determine literalmente a velocidade do sistema átomo + elétron após a colisão. Dados: a energia do átomo de hidrogênio no estado n é $E_n = E_0/n^2$; o momentum do fóton é $h\nu/c$; e a energia deste é $h\nu$, em que h é a constante de Plank, ν a freqüência do fóton e c a velocidade da luz.

Resposta

A energia do fóton emitido é dada por:

$$E_{fóton} = E_0 - E_n \Rightarrow h\nu = E_0 - \frac{E_0}{n^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h\nu = \frac{E_0(n^2 - 1)}{n^2} \quad (1)$$

Do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento na emissão do fóton, temos:

$$\vec{Q_i} = \vec{Q_f} \Rightarrow \vec{O} = \vec{Q_H} + \vec{Q}_{fóton} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_H = Q_{fóton} = \frac{h\nu}{c} \quad (2)$$

Das equações (1) e (2), obtemos:

$$Q_H = \frac{E_0(n^2 - 1)}{n^2 c} \quad (3)$$

Como a seguir, o átomo de hidrogênio atinge um elétron numa colisão perfeitamente inelástica, a velocidade v do sistema resultante é determinada através do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

$$\vec{Q_i} = \vec{Q_f} \Rightarrow \vec{Q_H} = \vec{Q}_{(H+e)} \quad (4)$$

Das equações (3) e (4), obtemos:

$$\frac{E_0(n^2 - 1)}{n^2 c} = (m_H + m_e) \cdot v \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \frac{E_0(n^2 - 1)}{n^2 c(m_H + m_e)}$$

Sendo a massa do próton m_p muito maior que a do elétron, temos $m_H \cong m_p >> m_e$. Assim, a velocidade v é dada por:

$$\boxed{v = \frac{E_0(n^2 - 1)}{n^2 c\ m_p}}$$

Observação: considerando o modelo do átomo de hidrogênio de Bohr temos $E_0 = \frac{m_p Z^2 \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$, com $Z = 1$. Assim, a velocidade v é dada por:

$$v = \frac{\frac{\cancel{m_p} \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}(n^2 - 1)}{n^2 c\ \cancel{m_p}} \Rightarrow \boxed{v = \frac{e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 c} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2}}$$

Questão 22

Inicialmente 48 g de gelo a 0 °C são colocados num calorímetro de alumínio de 2,0 g, também a 0 °C. Em seguida, 75 g de água a 80 °C são despejados dentro desse recipiente. Calcule a temperatura final do conjunto. Dados: calor latente do gelo L_g = 80 cal/g, calor específico da água c_{H_2O} = 1,0 cal g^{-1} $^oC^{-1}$, calor específico do alumínio c_{Al} = = 0,22 cal g^{-1} $^oC^{-1}$.

Resposta

A quantidade de calor máxima $|Q_a|$ que pode ser cedida pela água é dada por:

$$|Q_a| = m_A c_{H_2O} |\Delta\theta_A| = 75 \cdot 1{,}0 \cdot |0 - 80| =$$

$$= 6{,}0 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

A quantidade de calor Q_g necessária para a fusão total do gelo é dada por:

$$Q_g = m_g L_g = 48 \cdot 80 = 3{,}84 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Sendo $|Q_a|$ maior que Q_g conclui-se que todo gelo derreterá e o equilíbrio ocorrerá a uma temperatura θ maior que 0^oC. Assim, temos:

$$|Q_a| - Q_g = m_{H_2O} c_{H_2O} \Delta\theta_{H_2O} + m_{A\ell} c_{A\ell} \Delta\theta_{A\ell} \Rightarrow$$

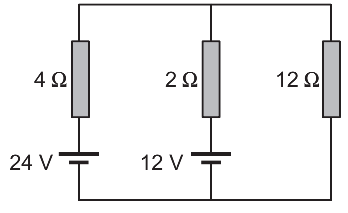
$$\Rightarrow 6{,}0 \cdot 10^3 - 3{,}84 \cdot 10^3 =$$

$$= (75 + 48) \cdot 1{,}0 \cdot (\theta - 0) + 2{,}0 \cdot 0{,}22 \cdot (\theta - 0) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\theta = 17{,}5^oC}$$

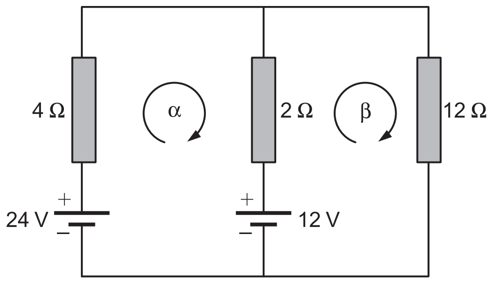
Questão 23

Um técnico em eletrônica deseja medir a corrente que passa pelo resistor de 12 Ω no circuito da figura. Para tanto, ele dispõe apenas de um galvanômetro e uma caixa de resistores. O galvanômetro possui resistência interna R_g = 5 kΩ e suporta, no máximo, uma corrente de 0,1 mA. Determine o valor máximo do resistor R a ser colocado em paralelo com o galvanômetro para que o técnico consiga medir a corrente.



Resposta

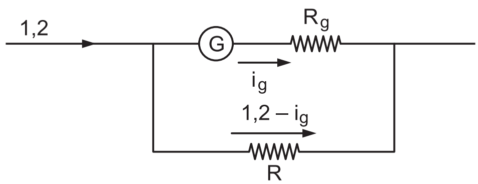
Aplicando-se o Método das Correntes Fictícias de Maxwell, temos:



$$\left|\begin{array}{l} -24 + 4\alpha + 2(\alpha - \beta) + 12 = 0 \\ -12 + 2(\beta - \alpha) + 12\beta = 0 \end{array}\right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left|\begin{array}{l} 3\alpha - \beta = 6 \\ \alpha - 7\beta = -6 \end{array}\right. \Rightarrow \left|\begin{array}{l} \alpha = 2{,}4\ A \\ \beta = 1{,}2\ A \end{array}\right.$$

Portanto, a corrente no resistor de 12 Ω tem valor 1,2 A e mesmo sentido de β.
Para correntes em ampères, devemos ter:



Da associação em paralelo, temos:

$$R_g \cdot i_g = R(1{,}2 - i_g) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5 \cdot 10^3 \cdot i_g = R(1{,}2 - i_g) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_g = \frac{1{,}2R}{5 \cdot 10^3 + R} \le 0{,}1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R \le \frac{0{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3}{1{,}2 - 0{,}1 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R \le 0{,}42\ \Omega$$

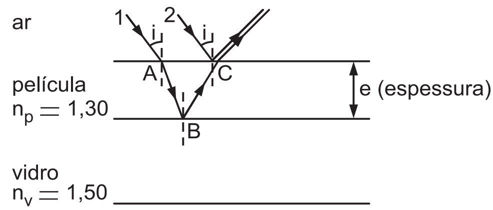
Portanto, o valor máximo de R é 0,42 Ω.

Questão 24

Uma fina película de fluoreto de magnésio recobre o espelho retrovisor de um carro a fim de reduzir a reflexão luminosa. Determine a menor espessura da película para que produza a reflexão mínima no centro do espectro visível. Considere o comprimento de onda $\lambda = 5500$ Å, o índice de refração do vidro $n_v = 1{,}50$ e, o da película, $n_p = 1{,}30$. Admita a incidência luminosa como quase perpendicular ao espelho.

Resposta

Do enunciado, podemos montar o esquema a seguir:



Para reduzir a reflexão luminosa, o raio 1, após sofrer refração em A e reflexão parcial em B, terá de sofrer interferência destrutiva com o raio 2 refletido parcialmente em C.
Sabendo-se que tanto o raio 1 quanto o 2 sofrem inversão de fase ao refletirem-se parcialmente, para o ângulo de incidência $i \cong 0^o$, a diferença de caminho óptico é próxima a 2e. Assim, para a interferência destrutiva, temos:

$$\left|\begin{array}{l} 2e = \frac{1}{2}\lambda_p \\ \lambda_p = \frac{\lambda_{ar}}{n_p} \end{array}\right. \Rightarrow e = \frac{\lambda_{ar}}{4 \cdot n_p} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow e = \frac{5\,500 \cdot 10^{-10}}{4 \cdot 1{,}30} \Rightarrow \boxed{e = 1\,058\ \text{Å}}$$

Questão 25

Num experimento, foi de $5{,}0 \times 10^3$ m/s a velocidade de um elétron, medida com a precisão de 0,003%. Calcule a incerteza na determinação da posição do elétron, sendo conhecidos: massa do elétron $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg e constante de Plank reduzida $\hbar = 1{,}1 \times 10^{-34}$ J s.

Resposta

Determinamos a incerteza Δx na determinação da posição do elétron através do Princípio da Incerteza de Heisenberg, como segue:

$$\Delta Q \cdot \Delta x \ge \frac{\hbar}{2} \Rightarrow m_e \cdot \Delta v_e \cdot \Delta x \ge \frac{\hbar}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot \Delta x \ge \frac{1{,}1 \cdot 10^{-34}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x \ge 4 \cdot 10^{-4}\ m \Rightarrow \boxed{\Delta x \ge 0{,}4\ mm}$$

Questão 26

Suponha que na Lua, cujo raio é R, exista uma cratera de profundidade $R/100$, do fundo da qual um projétil é lançado verticalmente para cima com velocidade inicial v igual à de escape. Determine literalmente a altura máxima alcançada pelo projétil, caso ele fosse lançado da superfície da Lua com aquela mesma velocidade inicial v.

Resposta

No deslocamento vertical do fundo do buraco até a superfície da Lua, a força gravitacional é oposta ao deslocamento (trabalho negativo); logo a velocidade v de escape "do fundo do buraco" é maior que a velocidade de escape v' necessária a partir da superfície.
Se lançarmos o projétil com uma velocidade v da superfície, como v > v', haverá escape e a altura atingida será infinita.

Questão 27

Estime a massa de ar contida numa sala de aula. Indique claramente quais as hipóteses utilizadas e os quantitativos estimados das variáveis empregadas.

Resposta

Considerando a sala de aula com 3 m de pé direito, 10 m de largura e 10 m de comprimento, temos:

$V = 10 \cdot 10 \cdot 3 = 300\ m^3 = 3 \cdot 10^5\ \ell$

Considerando o ar uma mistura de 70% de nitrogênio e 30% de oxigênio, calculamos a massa molar como segue:

$$M = \frac{70 \cdot 28 + 30 \cdot 32}{100} = 29{,}2\ g/mol$$

Considerando a pressão 1 atm e a temperatura 27°C, pela equação de estado, temos:

$$pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot 3 \cdot 10^5 = \frac{m}{29{,}2} \cdot 0{,}082 \cdot 300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 356 \cdot 10^3\ g \Rightarrow \boxed{m = 356\ kg}$$

Questão 28

Uma cesta portando uma pessoa deve ser suspensa por meio de balões, sendo cada qual inflado com 1 m^3 de hélio na temperatura local (27 °C). Cada balão vazio com seus apetrechos pesa 1,0 N. São dadas a massa atômica do oxigênio $A_O = 16$, a do nitrogênio $A_N = 14$, a do hélio $A_{He} = 4$ e a constante dos gases $R = 0{,}082$ atm ℓ mol^{-1} K^{-1}. Considerando que o conjunto pessoa e cesta pesa 1000 N e que a atmosfera é composta de 30% de O_2 e 70% de N_2, determine o número mínimo de balões necessários.

Resposta

Sendo a densidade de um gás dada por $d = \frac{pA}{RT}$, *as densidades do He e do ar são dadas por:*

$$d_{He} = \frac{1 \cdot 4}{0{,}082 \cdot 300} \Rightarrow d_{He} = 0{,}16\ g/\ell = 0{,}16\ kg/m^3$$

$$d_{ar} = 0{,}3d_{O_2} + 0{,}7d_{N_2} = \frac{p(0{,}3A_{O_2} + 0{,}7A_{N_2})}{RT} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_{ar} = \frac{2p(0{,}3A_O + 0{,}7A_N)}{RT} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1 \cdot (0{,}3 \cdot 16 + 0{,}7 \cdot 14)}{0{,}082 \cdot 300} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_{ar} = 1{,}19\ g/\ell = 1{,}19\ kg/m^3$$

Sendo n o número de balões, no equilíbrio, temos:

$$n \cdot E_{balão} = n(P_{balão} + P_{He}) + P_{cesta/pessoa} \Rightarrow$$

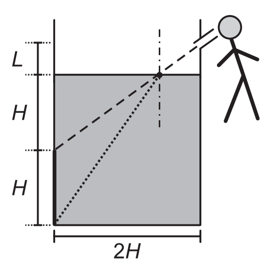
$$\Rightarrow n \cdot d_{ar} \cdot V \cdot g = n(P_{balão} + d_{He} \cdot V \cdot g) +$$

$$+ P_{cesta/pessoa} \Rightarrow n \cdot 1{,}19 \cdot 1 \cdot 10 =$$

$$= n(1 + 0{,}16 \cdot 1 \cdot 10) + 1\,000 \Rightarrow \boxed{n = 108 \text{ balões}}$$

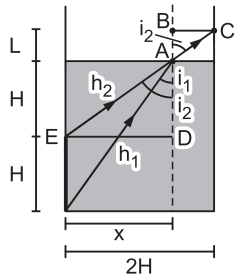
Questão 29

Através de um tubo fino, um observador enxerga o topo de uma barra vertical de altura H apoiada no fundo de um cilindro vazio de diâmetro $2H$. O tubo encontra-se a uma altura $2H + L$ e, para efeito de cálculo, é de comprimento desprezível. Quando o cilindro é preenchido com um líquido até uma altura $2H$ (veja figura), mantido o tubo na mesma posição, o observador passa a ver a extremidade inferior da barra. Determine literalmente o índice de refração desse líquido.



Resposta

Podemos montar o seguinte esquema:



Da Lei de Snell-Descartes, considerando que o tubo se encontra no ar, vem:

$$n \cdot \text{sen}\, i_1 = 1 \cdot \text{sen}\, i_2 \Rightarrow n \cdot \frac{x}{h_1} = \frac{x}{h_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n \cdot \frac{x}{\sqrt{(2H)^2 + x^2}} = \frac{x}{\sqrt{H^2 + x^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = \sqrt{\frac{(2H)^2 + x^2}{H^2 + x^2}} \qquad (1)$$

Da figura, da semelhança dos triângulos ABC e ADE, temos:

$$\frac{x}{2H - x} = \frac{H}{L} \Rightarrow x = \frac{2H^2}{L + H}$$

Portanto, substituindo na equação (1), vem:

$$n = \sqrt{\frac{(2H)^2 + \left(\frac{2H^2}{L+H}\right)^2}{H^2 + \left(\frac{2H^2}{L+H}\right)^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{n = 2\sqrt{\frac{(L+H)^2 + H^2}{(L+H)^2 + 4H^2}}}$$

Questão 30

Satélite síncrono é aquele que tem sua órbita no plano do equador de um planeta, mantendo-se estacionário em relação a este. Considere um satélite síncrono em órbita de Júpiter cuja massa é $M_J = 1{,}9 \times 10^{27}$ kg e cujo raio é $R_J = 7{,}0 \times 10^7$ m. Sendo a constante da gravitação universal $G = 6{,}7 \times 10^{-11}\ \text{m}^3\ \text{kg}^{-1}\ \text{s}^{-2}$ e considerando que o dia de Júpiter é de aproximadamente 10 h, determine a altitude do satélite em relação à superfície desse planeta.

Resposta

Da Terceira Lei de Kepler, temos:

$$\left| \begin{array}{l} T^2 = kr^3 \\ k = \dfrac{4\pi^2}{GM_J} \end{array} \right. \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_J} \cdot r^3 \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_J}{4\pi^2}}$$

Como a distância (r) do satélite ao centro de Júpiter é $r = R_J + h$ *e seu período é* $T = 10\ h = 3{,}6 \cdot 10^4$ *s, a altitude (h) do satélite é dada por:*

$$R_J + h = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_J}{4\pi^2}} \Rightarrow 7{,}0 \cdot 10^7 + h =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{(3{,}6 \cdot 10^4)^2 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}9 \cdot 10^{27}}{4\pi^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{h = 9{,}1 \cdot 10^7\ m}$$