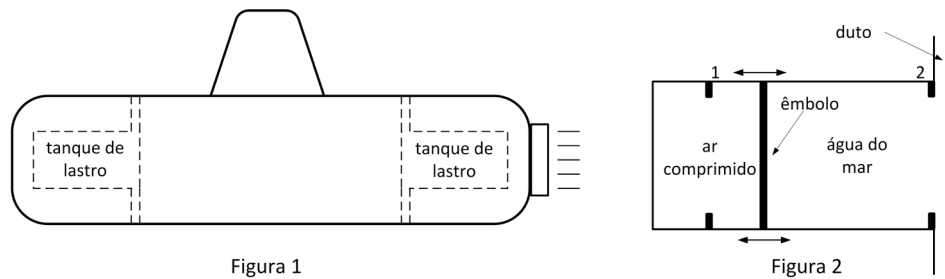


01.



O submarino, mostrado na Figura 1, está com os tanques de lastro vazios de água e, nestas condições, possui massa específica $\mu_s = 0,92 \text{ g/cm}^3$, quando está sem tripulação e suprimentos.

Na Figura 2, ilustra-se um dos dois tanques cilíndricos de lastro idênticos, que podem ser preenchidos com água do mar. Os êmbolos são acionados por motores elétricos, sendo movimentados entre os batentes, de modo a regular o volume de água do mar nesses tanques. Considere que o tanque de lastro esteja sem água com o êmbolo na posição 2 e com $59,5 \text{ m}^3$ de água do mar com o êmbolo na posição 1, quando estiver cheio.

Dados:

- massa específica da água do mar: $\mu_a = 1,03 \text{ g/cm}^3$;
- volume do submarino: $V_s = 840 \text{ m}^3$; e
- aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Observação:

- os fluxos de água nos dutos dos tanques de lastro não interferem no movimento do submarino.

Admitindo que, em determinada missão, embarcaram tripulantes e suprimentos, perfazendo uma massa de 5880 kg, determine:

- a) a porcentagem do volume do submarino que ficará submersa após o embarque, supondo os tanques de lastro com os êmbolos na posição 2;
- b) a massa total de água do mar, em kg, que deverá ser introduzida nos tanques de lastro para que ocorra a completa submersão do submarino;
- c) os máximos módulos das acelerações verticais, em m/s^2 , para emergir e para submergir o submarino, desconsiderando a força de resistência da água do mar e estando o submarino estabilizado em determinada profundidade.

Solução:

a) Equilíbrio inicial do submarino:

$$E = P_s + P_{trip} \rightarrow \mu_{ag} g V_{sub} = \mu_s g V_s + m_{trip} g \rightarrow V_{sub} = \frac{\mu_s}{\mu_{ag}} V_s + \frac{m_{trip}}{\mu_{ag}} \rightarrow f_{sub} = \frac{V_{sub}}{V_s} = \frac{\mu_s}{\mu_{ag}} + \frac{m_{trip}}{\mu_{ag} V_s} = \frac{0,92}{1,03} + \frac{5880}{1030 \cdot 840}$$

$$f_{sub} = \frac{927}{1030} = 0,9 \rightarrow f_{sub} = 90\%$$

b) Equilíbrio do submarino quando completamente submerso:

$$E' = P_s + P_{trip} + P_{las} \rightarrow \mu_{ag} g V_s = \mu_s g V_s + m_{trip} g + m_{ag} g \rightarrow m_{ag} = (\mu_{ag} - \mu_s) V_s - m_{trip} = (1,03 - 0,92) 8,4 \cdot 10^5 - 5880$$

$$m_{ag} = 92400 - 5880 \rightarrow m_{ag} = 86520 \text{ kg}$$

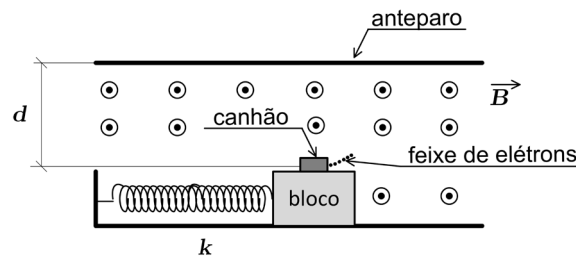
c) Aceleração máxima emergindo:

$$E' - P = m a_1 \rightarrow \frac{m g}{f_{sub}} - m g = m a_1 \rightarrow a_1 = g \frac{(1 - f_{sub})}{f_{sub}} = 10 \frac{0,1}{0,9} = \frac{10}{9} \rightarrow a_1 \cong 1,11 \text{ m/s}^2$$

Aceleração máxima submergindo:

$$P - E = m a_2 \rightarrow 2 \mu_{ag} V_{tanq} g - m_{ag} g = (\mu_{ag} V_s + 2 \mu_{ag} V_{tanq} - m_{ag}) a_2 \rightarrow a_2 = \frac{360500}{901250} \rightarrow a_2 = 0,4 \text{ m/s}^2$$

02.



Na figura, encontra-se ilustrado um experimento, em que o canhão preso ao bloco efetua um movimento harmônico simples (MHS) na região sujeita ao campo magnético constante, disparando horizontalmente e continuamente um feixe de elétrons. Nele, observou-se que, nos momentos em que o bloco está com a maior energia cinética, ora os elétrons colidem ortogonalmente contra o anteparo, ora colidem frontalmente contra a traseira do canhão, após tangenciarem o anteparo.

Dados:

- velocidade relativa de disparo do feixe de elétrons em relação ao canhão: v ;
- constante elástica da mola: k ;
- massa do conjunto bloco + canhão: M ;
- carga do elétron: $-e$;
- massa do elétron: m_e ;
- distância entre o canhão e o anteparo: d .

Determine:

- a) a amplitude de oscilação do bloco para que o experimento seja viável, em função de v , M e k ;
- b) o ângulo de impacto entre o anteparo e os elétrons disparados quando o bloco estiver com velocidade nula;
- c) a densidade de fluxo magnético do campo \vec{B} , para que o experimento seja viável, em função de e , m_e , v e d ;
- d) os possíveis valores de d em relação a v , M e k impostos pelo tempo de viagem dos elétrons até o choque frontal com a traseira do canhão.

Solução:

a)

Colisão ortogonal contra o anteparo:

$$F_{mag} = F_{cpt1} \rightarrow ev_1 B \sin 90^\circ = \frac{m_e v_1^2}{R_1} \rightarrow R_1 = \frac{m_e v_1}{eB} = d \rightarrow v_1 = v + \omega A = \frac{eBd}{m_e}$$

Colisão frontal contra a traseira do canhão:

$$F_{mag} = F_{cpt2} \rightarrow ev_2 B \sin 90^\circ = \frac{m_e v_2^2}{R_2} \rightarrow R_2 = \frac{m_e v_2}{eB} = \frac{d}{2} \rightarrow v_2 = v - \omega A = \frac{eBd}{2m_e}$$

$$2v = \frac{3eBd}{2m_e} \rightarrow v = \frac{3eBd}{4m_e} \rightarrow \omega A = \frac{eBd}{m_e} - v = \frac{eBd}{4m_e} = \frac{v}{3} \rightarrow \sqrt{\frac{k}{M}} A = \frac{v}{3} \rightarrow A = \frac{v}{3} \sqrt{\frac{M}{k}}$$

b)

$$F_{mag} = F_{cpt} \rightarrow evB \sin 90^\circ = \frac{m_e v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m_e v}{eB} = \frac{m_e}{eB} \frac{3eBd}{4m_e} = \frac{3d}{4} \rightarrow d = \frac{4R}{3} \rightarrow \cos \alpha = \frac{d - R}{R} = \frac{R/3}{R} = \frac{1}{3}$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{1}{3}\right) \quad (\alpha \text{ medido em relação à direção } x)$$

c) Do item **a)** temos:

$$v = \frac{3eBd}{4m_e} \rightarrow B = \frac{4m_e v}{3ed}$$

d)

$$T_{MCU} = NT_{MHS} \rightarrow 2\pi \frac{m_e}{eB} = N \sqrt{\frac{k}{M}} \rightarrow 2\pi \frac{3d}{4v} = N \sqrt{\frac{k}{M}} \rightarrow d = \frac{2Nv}{3\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}, \text{ com } N \in \mathbb{N}^*$$

03.

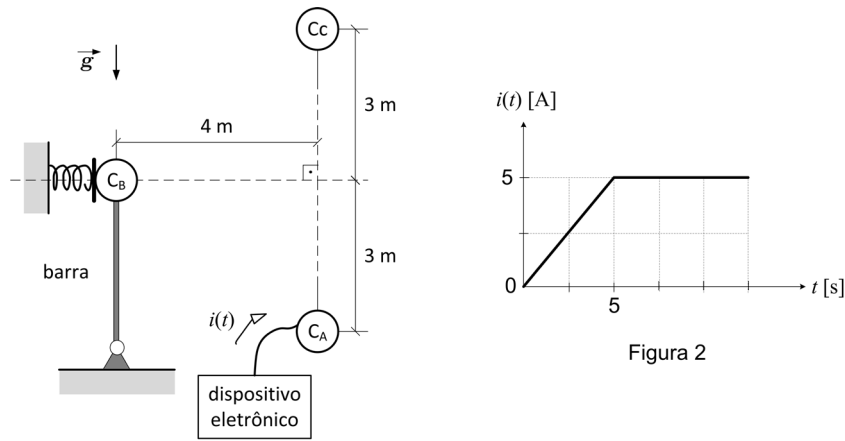


Figura 1

Figura 2

Considere um meio hipotético onde os corpos C_A , C_B e C_C , todos de massa m , estão fixados no espaço conforme mostra a Figura 1 e, inicialmente, carregados eletricamente com cargas $Q_A = +5 \text{ C}$; $Q_B = -5 \text{ C}$; e $Q_C = +30 \text{ C}$, respectivamente. O corpo C_B está na extremidade de uma barra feita com material isolante. Um dispositivo eletrônico controla a quantidade de cargas elétricas positivas em C_A , por meio de injeção de corrente no corpo.

Dados:

- aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m/s}^2$; e
- massa dos corpos: $m = 0,2 \text{ kg}$.

Considerações:

- o fluxo positivo de corrente do gráfico da Figura 2 indica que cargas positivas são injetadas em C_A ; e
- a mola tem por objetivo manter a barra sempre na posição vertical.

Diante do exposto, determine:

- a) a constante eletrostática do meio, sabendo que nas condições iniciais, a força de compressão na barra é 4 N .

Considere agora que o dispositivo eletrônico comece a operar, injetando corrente no corpo C_A (conforme gráfico da Figura 2) até que a tração na barra seja 0 (zero). Para as novas condições de funcionamento, determine:

- b) o novo valor da carga Q_A ; e
c) o tempo necessário para o sistema chegar a este novo ponto de operação.

Solução:

- a) Supondo que a força original na barra seja de tração (e não de compressão), temos:

$$F_{CB_y} - F_{AB_y} - P_B - T = 0 \rightarrow (F_{CB} - F_{AB})\text{sen}\theta = mg + T \rightarrow \frac{k|Q_B|(|Q_C| - |Q_A|)}{d^2}\text{sen}\theta = mg + T$$

$$\frac{k \cdot 5(30 - 5) \cdot 3}{5^2} \cdot \frac{3}{5} = 2 + 4 \rightarrow 3k = 6 \rightarrow k = 2 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Obs.: Caso a força na barra fosse realmente de compressão, o valor da constante eletrostática seria negativo.

b)

$$F_{CB_y} - F'_{AB_y} - P_B = 0 \rightarrow (F_{CB} - F'_{AB})\text{sen}\theta = mg \rightarrow \frac{k|Q_B|(|Q_C| - |Q'_A|)}{d^2}\text{sen}\theta = mg$$

$$\frac{2 \cdot 5(30 - |Q'_A|) \cdot 3}{5^2} \cdot \frac{3}{5} = 2 \rightarrow 30 - |Q'_A| = \frac{25}{3} \rightarrow |Q'_A| = \frac{65}{3} \rightarrow Q'_A = \frac{65}{3} \text{ C}$$

c)

$$\Delta Q_A = Q'_A - Q_A = \frac{65}{3} - 5 = \frac{50}{3} = \frac{(B + b)h}{2} \rightarrow \frac{50}{3} = \frac{(t + t - 5)5}{2} \rightarrow 20 = 6t - 15 \rightarrow t = \frac{35}{6} \text{ s}$$

04. O interior de um refrigerador hospitalar para armazenagem de medicamentos deve ser continuamente mantido a uma temperatura de 2°C . Este equipamento possui três portas envidraçadas para acesso aos fármacos, sendo por isso afetado pelo calor ambiente. Além disso, estima-se que os outros ganhos térmicos pelas demais superfícies são equivalentes a 20% daquele associado ao total das três portas.

A superintendência do hospital contratou uma empresa para elaborar o projeto de um sistema alternativo de fornecimento de energia elétrica, em caso de interrupção do serviço pela concessionária local. Após estudo, o técnico responsável pelo projeto afirmou que:

“A potência de acionamento do refrigerador hospitalar é suprida com folga por um motor térmico operando em um ciclo termodinâmico que possui as seguintes características: o motor recebe energia de uma fonte, cuja temperatura é 327°C , e rejeita energia para outras duas fontes. Uma dessas fontes se encontra à temperatura externa ao refrigerador e recebe 450 W , enquanto a outra deve estar a uma temperatura de 127°C , recebendo 300 W .”

Dados:

- condutividade térmica do vidro: $0,85\text{ W}\cdot(\text{m}\cdot^\circ\text{C})^{-1}$;
- espessura do vidro: 25 mm ;
- temperatura do ambiente externo ao refrigerador: 27°C ;
- coeficiente de desempenho do refrigerador: $3/11$ do máximo admissível do ciclo de Carnot associado; e
- dimensões de cada porta de vidro: 2 m (altura) x 50 cm (largura).

A partir de uma análise termodinâmica da situação, explique, de forma justificada, se a afirmação do técnico é correta.

Solução:

Fluxo de calor entrando através das 3 portas e fluxo total de calor:

$$\phi_p = \frac{kA\Delta T}{e} = \frac{0,85 \cdot 3 \cdot 25}{25 \cdot 10^{-3}} = 2550\text{ W} \rightarrow \phi_t = \phi_p + \frac{\phi_p}{5} = \frac{6}{5}\phi_p \rightarrow \phi_t = 3060\text{ W}$$

Potência requerida para manter o equilíbrio térmico no interior do refrigerador:

$$COP = \frac{|Q_c|}{|\tau|} = \frac{3}{11} COP_{max} \rightarrow \frac{\phi_t}{P_{ot}} = \frac{3}{11} \left(\frac{T_c}{T_h - T_c} \right) \rightarrow P_{ot} = \frac{11(T_h - T_c)\phi_t}{3T_c} = \frac{11 \cdot 25 \cdot 3060}{3 \cdot 275} \rightarrow P_{ot} = 1020\text{ W}$$

Potência máxima possível de ser fornecida pelo motor térmico:

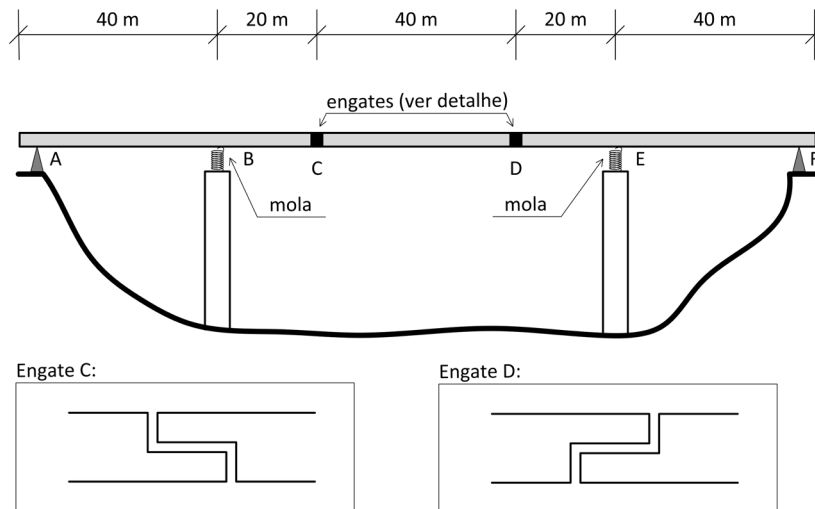
$$\eta_{max1} = 1 - \frac{T_{c1}}{T_{h1}} = 1 - \frac{300}{600} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{|\tau_1|}{|Q_{h1}|} = \frac{1}{2} \rightarrow |Q_{c1}| + |\tau_1| = 2|\tau_1| \rightarrow |\tau_1| = |Q_{c1}| \rightarrow P_{ot1max} = 450\text{ W}$$

$$\eta_{max2} = 1 - \frac{T_{c2}}{T_{h2}} = 1 - \frac{400}{600} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{|\tau_2|}{|Q_{h2}|} = \frac{1}{3} \rightarrow |Q_{c2}| + |\tau_2| = 3|\tau_2| \rightarrow |\tau_2| = \frac{|Q_{c2}|}{2} \rightarrow P_{ot2max} = 150\text{ W}$$

$$P_{otmax} = P_{ot1max} + P_{ot2max} = 450 + 150 \rightarrow P_{otmax} = 600\text{ W}$$

Dado que a potência máxima ($P_{otmax} = 600\text{ W}$) que pode ser fornecida pelo motor térmico é inferior à potência requerida ($P_{ot} = 1020\text{ W}$) para o funcionamento do refrigerador, a afirmação do técnico não é correta.

05.



A ponte acima é escorada por quatro apoios verticais (A, B, E e F) e por dois engates (C e D), que permitem a transmissão de esforços verticais e horizontais. Um veículo de 100 kN atravessa essa ponte de peso linear constante de 10 kN/m. Se nos apoios B e E são instaladas molas elásticas com $k = 9000$ kN/m, calcule a máxima contração que surge nas molas, enquanto o veículo atravessa o trecho central CD da ponte.

Observações:

- o veículo é um objeto pontual;
- desconsidere eventuais forças horizontais que surjam na ponte; e
- considere que as deformações das molas sejam muito menores do que o comprimento da ponte.

Solução:

Equilíbrio de momentos no ponto D (para o trecho CD: $0 \leq x \leq 40$ m):

$$P_{aut}(40 - x) + P_{CD} \cdot 20 - N_C \cdot 40 = 0 \rightarrow 100(40 - x) + 400 \cdot 20 = 40N_C \rightarrow N_C = 300 - \frac{5}{2}x \rightarrow N_{Cmax} = 300 \text{ kN}$$

Equilíbrio de momentos no ponto A (para o trecho AC: $0 \leq x \leq 60$ m):

$$P_{AC} \cdot 30 + N_{Cmax} \cdot 60 - N_{Bmax} \cdot 40 = 0 \rightarrow 600 \cdot 30 + 300 \cdot 60 = 40N_{Bmax} \rightarrow N_{Bmax} = 900 \text{ kN}$$

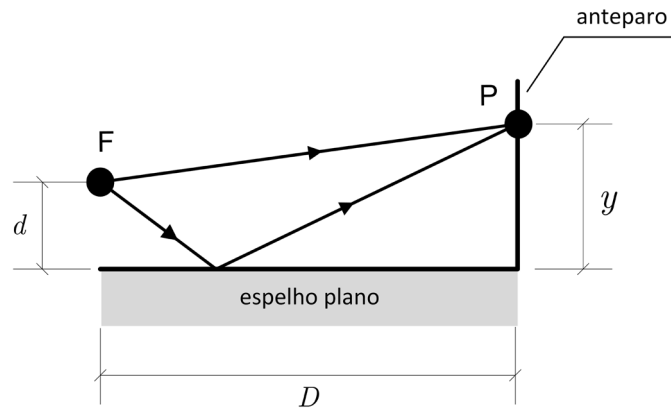
Logo, a deformação máxima da mola B é dada por:

$$x_{Bmax} = \frac{F_{elasmx}}{k} = \frac{N_{Bmax}}{k} = \frac{900}{9000} \rightarrow x_{Bmax} = 0,1 \text{ m}$$

Analogamente, por simetria, a deformação máxima da mola E é dada por:

$$x_{Emax} = 0,1 \text{ m}$$

06.



No espelho de Lloyd, observa-se em um anteparo a interferência entre a luz que vai da fonte puntiforme F a um ponto P do anteparo e a luz que vai de F a P, após ser refletida num espelho plano.

A distância de F ao espelho é d e de F ao anteparo é D .

Dados:

- comprimento de onda da luz: λ ; e
- $D \gg d$.

Consideração:

- $(1 + u)^{\alpha} \approx 1 + \alpha u$, se $|u| \ll 1$ (se necessário).

Diante do exposto, determine o menor valor de y , indicado na figura, para que no ponto P haja um máximo de interferência construtiva.

Solução:

$$\frac{a}{d} = \frac{b}{y} \rightarrow b = a \frac{y}{d} \rightarrow a + a \frac{y}{d} = D \rightarrow a = \frac{dD}{y+d} \rightarrow b = \frac{yD}{y+d}$$

$$\Delta = r_1 - r_2 = \sqrt{d^2 + a^2} + \sqrt{y^2 + b^2} - \sqrt{D^2 + (y-d)^2} = \frac{d}{y+d} \sqrt{(y+d)^2 + D^2} + \frac{y}{y+d} \sqrt{(y+d)^2 + D^2} - \sqrt{D^2 + (y-d)^2}$$

$$\Delta = \sqrt{(y+d)^2 + D^2} - \sqrt{D^2 + (y-d)^2} = D \left(1 + \left(\frac{y+d}{D} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - D \left(1 + \left(\frac{y-d}{D} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cong D \left(1 + \frac{(y+d)^2}{2D^2} - 1 - \frac{(y-d)^2}{2D^2} \right)$$

$$\Delta \cong \frac{4yd}{2D} = \frac{2yd}{D}$$

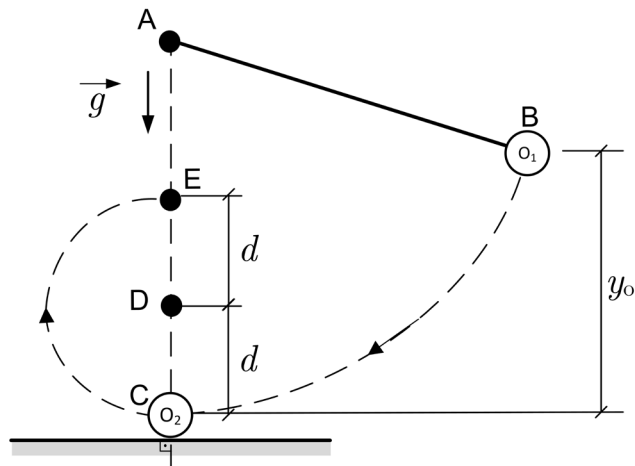
Para haver interferência construtiva, dado que o raio r_1 refletido no espelho sofre inversão de fase, é necessário que a diferença de caminho seja dada por:

$$\Delta = \frac{(2k-1)\lambda}{2} \rightarrow \frac{2yd}{D} \cong \frac{(2k-1)\lambda}{2} \rightarrow y \cong \frac{(2k-1)\lambda D}{4d}, \quad \text{com } k \in \mathbb{N}^*$$

O menor valor de y é obtido para $k = 1$. Logo:

$$y_{\min} \cong \frac{\lambda D}{4d}$$

07.



Um objeto O_1 , preso por um fio ideal, é solto do ponto B. Ao atingir o ponto C, ele se choca de forma totalmente inelástica, colando no objeto O_2 , conforme ilustrado na figura.

Após o choque, o fio encontra o ponto D, que passa a ser o novo centro do movimento pendular do conjunto $O_1 + O_2$.

Dados:

- aceleração da gravidade: g ;
- massa de $O_1 = m_1$; e
- massa de $O_2 = m_2$.

Observações:

- considere que os objetos são partículas; e
- desprezar os atritos e a resistência do ar.

Diante do exposto, determine:

- a distância y_0 mínima indicada na figura, em função de d , m_1 , m_2 e g , de modo que o conjunto consiga atingir o ponto E;
- a velocidade do conjunto $O_1 + O_2$ no ponto E, nas condições do item a; e
- a tração do fio no ponto C, imediatamente após o choque, nas condições do item a.

Solução:

b) A velocidade mínima no ponto E corresponde à tração nula no fio. Logo:

$$P_{1+2} = F_{cptE} \rightarrow (m_1 + m_2)g = \frac{(m_1 + m_2)}{d} v_E^2 \rightarrow v_E^2 = gd \rightarrow v_E = \sqrt{gd}$$

a) Da conservação de energia mecânica após a colisão, temos:

$$E_{cinC} = E_{cinE} + E_{potE} \rightarrow \frac{(m_1 + m_2)}{2} v_C^2 = (m_1 + m_2)g \cdot 2d + \frac{(m_1 + m_2)}{2} v_E^2 \rightarrow v_C^2 = 4gd + v_E^2 = 4gd + gd \rightarrow v_C = \sqrt{5gd}$$

Da conservação de quantidade de movimento do sistema durante a colisão, temos:

$$Q_o = Q_C \rightarrow m_1 v_o = (m_1 + m_2) v_C \rightarrow v_o = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \sqrt{5gd}$$

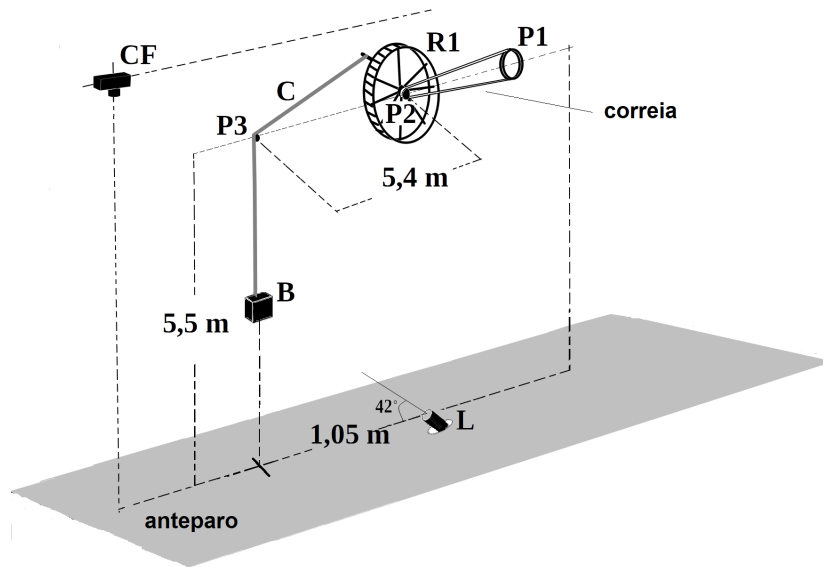
Da conservação de energia mecânica antes da colisão, temos:

$$E_{potB} = E_{cino} \rightarrow m_1 g y_o = \frac{m_1}{2} v_o^2 \rightarrow y_o = \frac{5d}{2} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1} \right)^2$$

c) Da resultante centrípeta no ponto C logo após a colisão, temos:

$$T_C - P_{1+2} = F_{cptC} \rightarrow T_C = (m_1 + m_2)g + \frac{(m_1 + m_2)}{d} v_C^2 = (m_1 + m_2) \left(g + \frac{5gd}{d} \right) \rightarrow T_C = 6(m_1 + m_2)g$$

08.



Seja o sistema composto por polias P1, P2 e P3, uma roda R1, uma corda inextensível C, um cubo B, um laser L e uma câmera fotográfica CF, dispostos conforme a figura acima. Nesse sistema, a face inferior do cubo B é reflexiva e pode ser considerada um espelho plano ideal. Tanto as polias quanto a roda estão fixadas em suas posições, de tal modo que podem girar livremente no plano que contém seus centros e a corda C. As polias P1 e P2 estão ligadas por uma correia, que corre sem deslizar, e a polia P2 e a roda R1 são concêntricas. A câmera fotográfica CF registra fotos do anteparo, a uma taxa de cinco fotos por segundo. Sabe-se que a velocidade angular da polia P1 só pode assumir valores inteiros de 1 até 10 rad/s, e que a primeira foto mostra um ponto luminoso.

Dados:

- raio de P1: 40 cm;
- raio de P2: 3,14 cm;
- raio de P3: desprezível;
- raio de R1: 90 cm;
- comprimento de C: 9 m;
- aresta do cubo B: 10 cm;
- $\text{tg}(42^\circ) = 0,90$;
- $\pi = 3,14$; e
- $\pi^2 = 10$.

Determine quais valores de velocidade angular da polia P1, em rad/s, farão com que todas as fotos tiradas pela câmera sejam iguais.

Solução:

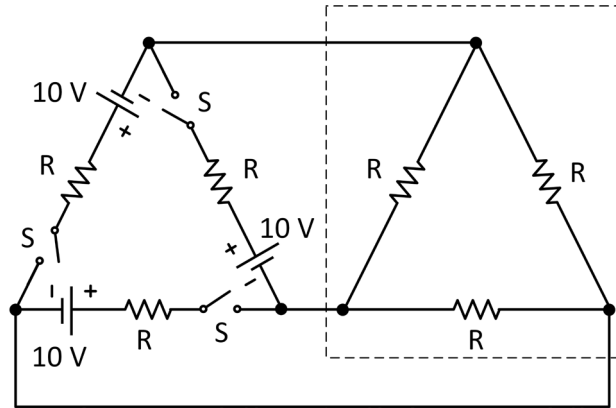
Assumindo que “fotos idênticas” se refiram a uma mesma posição do ponto luminoso refletido e a uma mesma altura do espelho, temos:

$$f_2 = k f_{maq} \rightarrow \frac{\omega_2}{2\pi} = k f_{maq} \rightarrow \omega_2 = \omega_1 \frac{R_{P1}}{R_{P2}} = 2\pi k f_{maq} \rightarrow \omega_1 \frac{40}{\pi} = 2\pi \cdot k \cdot 5 \rightarrow \omega_1 = k \frac{\pi^2}{4} = 2,5k$$

Dado que $k \in \mathbb{N}^*$ e $\omega_1 \in \mathbb{N}^*$, sendo $1 \leq \omega_1 \leq 10 \text{ rad/s}$, temos:

$$\begin{cases} k = 2 \rightarrow \omega_1 = 5 \text{ rad/s} \\ k = 4 \rightarrow \omega_1 = 10 \text{ rad/s} \end{cases}$$

09.

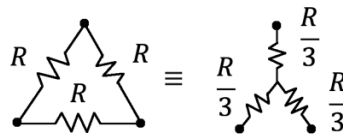


A figura acima apresenta um circuito composto por três baterias de 10 V, seis resistores idênticos R e três chaves S . Ao fechar as três chaves simultaneamente, após 20 segundos, o circuito consome 20 kJ de energia. Considerando sempre a topologia do circuito original para cada pedido, determine:

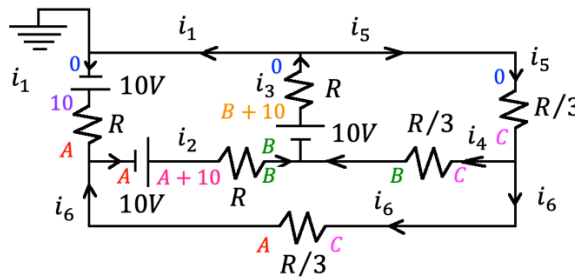
- o valor da resistência de cada resistor R , em Ω ;
- a potência dissipada no circuito, em W, se 01 (uma) das baterias tiver seus terminais curto-circuitados; e
- a potência dissipada no circuito, em W, se os três resistores da região tracejada do circuito tiverem seus terminais abertos.

Solução:

Aplicando a transformação delta-estrela nos 3 resistores à direita do circuito, temos:



Fazendo uma análise nodal do circuito, temos:



$$\begin{cases} i_1 + i_6 = i_2 \\ i_2 + i_4 = i_3 \\ i_5 = i_4 + i_6 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{10 - A}{R} + \frac{3(C - A)}{R} = \frac{A + 10 - B}{R} \\ \frac{A + 10 - B}{R} + \frac{3(C - B)}{R} = \frac{B + 10}{R} \\ \frac{-3C}{R} = \frac{3(C - B)}{R} + \frac{3(C - A)}{R} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 3C + B = 5A \\ A + 3C = 5B \\ A + B = 3C \end{cases} \rightarrow A = B = C = 0 \rightarrow \begin{cases} i_1 = i_2 = i_3 = \frac{10}{R} = i \\ i_4 = i_5 = i_6 = 0 \end{cases}$$

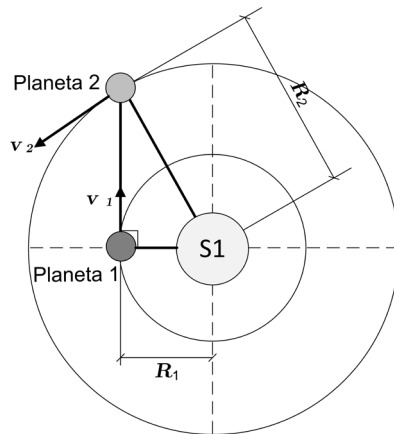
a)

$$P_{ot} = 3Ri^2 = \frac{300}{R} = \frac{E_{dis}}{\Delta t} = \frac{20000}{20} = 1000 \rightarrow R = \frac{300}{1000} \rightarrow R = 0,3\Omega$$

b) Não há mudança de potência dissipada no circuito, pois o ramo de cada gerador já se encontra em curto-circuito no arranjo original. Logo: $P_{ot} = 1000 W$

c) Não há mudança de potência dissipada no circuito, pois as correntes para os resistores da região tracejada já são nulas no arranjo original. Logo: $P_{ot} = 1000 W$

10.



Cor	Comprimento de Onda [nm]
violeta	~ 380 - 450
azul	~ 450 - 485
ciano	~ 485 - 500
verde	~ 500 - 565
amarelo	~ 565 - 590
laranja	~ 590 - 625
vermelho	~ 625 - 740

Tabela

Figura

Um sistema planetário hipotético é composto por uma estrela (S1) e dois planetas com órbitas elípticas de excentricidade tão pequenas que são aproximadas por circunferências no mesmo plano. Seus sentidos de translação são opostos, tal que o Planeta 1 (P1) orbita no sentido horário, enquanto o Planeta 2 (P2) no sentido anti-horário.

P2 possui partículas de óxido de ferro em suspensão na sua atmosfera. Essas partículas absorvem a luz de S1 e irradiam uma luz colorida, cujos fótons possuem energia E . O povo de P1 é bastante desenvolvido tecnologicamente e decide lançar uma espaçonave, tangencialmente à sua própria órbita, para visitar P2. Para isso, de forma que chegue ao ponto futuro de P2, mantém uma trajetória retilínea, conforme mostra a figura.

Dados:

- Planeta 1: distância orbital R_1 ; velocidade orbital escalar $v_1 = 60\sqrt{2} \text{ km/s}$;
- Planeta 2: distância orbital $R_2 = 2 \times R_1$;
- energia dos fótons: $E = 3,125 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- espaçonave: gera uma aceleração, a partir de P_1 , de $a_e = 180\sqrt{2} \text{ m/s}^2$, durante 6,4 horas. Depois disso, mantém velocidade constante até se aproximar de P2;
- velocidade da luz no vácuo: $c = 3 \times 10^5 \text{ km/s}$; e
- constante de Planck: $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

Diante do exposto, determine:

- a velocidade orbital escalar de P2 (v_2), em km/s;
- a cor da luz emitida por P2, observada de P1, quando ambos os planetas estiverem alinhados com S1 (use a tabela e desconsidere a possibilidade de eclipse); e
- a cor da luz de P2, observada da espaçonave, quando estiver próxima de P2.

Solução:

a) Velocidade de órbita circular dos planetas P_1 e P_2 :

$$F_{G1} = F_{cpt1} \rightarrow \frac{GMm_1}{R_1^2} = \frac{m_1 v_1^2}{R_1} \rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_1}} \rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{GM}{R_2}} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow v_2 = 60 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

b) Fator β do efeito Doppler relativístico transversal da luz quando os dois planetas estão alinhados com a estrela:

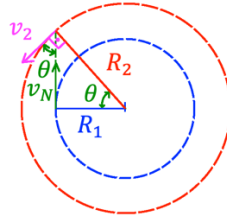
$$\beta = \frac{v_{12}}{c} = \frac{v_1 - (-v_2)}{c} = \frac{v_1 + v_2}{c} = \frac{60(\sqrt{2} + 1)}{300000} = \frac{\sqrt{2} + 1}{5000} \rightarrow \beta^2 = \frac{3 + 2\sqrt{2}}{25 \cdot 10^6} = (12 + 8\sqrt{2})10^{-8} \ll 1$$

$$f' = f \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = f(1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} \cong f \left(1 + \frac{\beta^2}{2}\right) \cong f$$

A velocidade entre os planetas é muito pequena para gerar um efeito Doppler relativístico transversal entre os planetas, portanto, não há alteração na frequência emitida por P_2 :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,125 \cdot 10^{-19}} \rightarrow \lambda = 6,36 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow \lambda = 636 \text{ nm (vermelho)}$$

c) Ângulo da velocidade do planeta P_2 em relação à radial que liga P_2 à direção da velocidade da nave:



$$\cos\theta = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$$

Velocidade radial de aproximação entre a nave e o planeta P_2 :

$$v_{N2R} = v_N + v_{2R} = v_1 + a\Delta t + v_2 \cos\theta = 60\sqrt{2} + 180\sqrt{2} \cdot 6,4 \cdot 3,6 + 60 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow v_{N2R} \cong 5980 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Fator β do efeito Doppler relativístico longitudinal da luz:

$$\beta = \frac{v_{N2R}}{c} = \frac{5980}{300000} \cong \frac{6}{300} = 0,02$$

Efeito Doppler relativístico longitudinal de aproximação:

$$f' = f \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} = f(1+\beta)^{\frac{1}{2}}(1-\beta)^{-\frac{1}{2}} \cong f \left(1 + \frac{\beta}{2}\right)^2 \cong f(1+\beta) \rightarrow \frac{c}{\lambda'} \cong \frac{c}{\lambda}(1+\beta) \rightarrow \lambda' \cong \frac{\lambda}{(1+\beta)}$$

$$\lambda' \cong \lambda(1+\beta)^{-1} \rightarrow \lambda' \cong \lambda(1-\beta) = 636(1-0,02) \rightarrow \lambda' \cong 623 \text{ nm (laranja)}$$