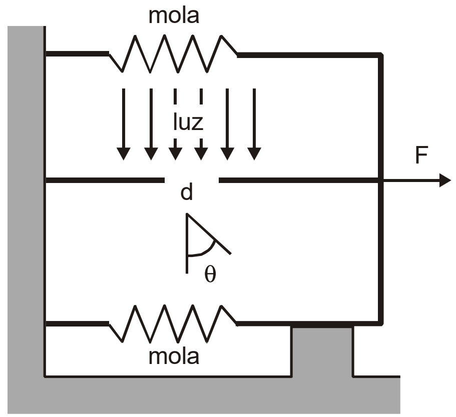
01. (IME 2004) A figura abaixo mostra uma fenda iluminada por uma luz de comprimento de onda λ. Com as molas não deformadas, o ângulo correspondente ao primeiro mínimo de difração é θ. Determine:

1. a largura d da fenda com as molas não deformadas;
2. o valor da força F que deverá ser aplicada para que o ângulo correspondente ao primeiro mínimo de difração passe a ser $\theta/2$.

   Dado: constante elástica de cada mola: k.

   OBS: despreze todas as forças de atrito.



RESOLUÇÃO QUESTÃO 1 :

1.

A condição de interferência destrutiva para fenda única é:

$$d \cdot \operatorname{sen}\theta = m\lambda$$

O primeiro mínimo corresponde 'a $m = 1$, portanto:

$$\boxed{d = \frac{\lambda}{\operatorname{sen}\theta}} \quad (1)$$

2.

Utilizando a equação (1) para θ/2, obtém-se a nova abertura da fenda:

$$d' = \frac{\lambda}{\operatorname{sen}\left(\theta/2\right)}$$

Aplicando-se a Lei de Hooke para as duas molas da figura:

$$F = k_{eq}.(d' - d)$$

$$\Leftrightarrow \quad F = 2k\left(\frac{\lambda}{\operatorname{sen}\left(\theta/2\right)} - \frac{\lambda}{\operatorname{sen}\theta}\right) \Leftrightarrow \boxed{F = 2k.\lambda\left(\frac{1}{\operatorname{sen}\left(\theta/2\right)} - \frac{1}{\operatorname{sen}\theta}\right)}$$

02. (IME 2004) Uma partícula carregada está sujeita a um campo magnético $\vec{B}$ paralelo ao eixo k, porém com sentido contrário. Sabendo que sua velocidade inicial é dada pelo vetor $\vec{v}_0$, paralelo ao eixo i, desenhe a trajetória da imagem da partícula refletida no espelho, não deixando de indicar a posição inicial e o vetor velocidade inicial da imagem (módulo e direção). Justifique sua resposta.

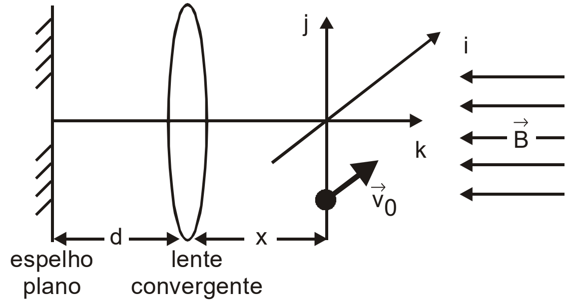
Dados: os eixos i, j e k são ortogonais entre si;

Distância focal da lente = f (f < x);

Massa da partícula = m;

Carga da partícula = q.

OBS: o espelho e a lente estão paralelos ao plano i – j.



RESOLUÇÃO QUESTÃO 2 :

• Como a velocidade da partícula é perpendicar ao campo magnético o movimento descrito é um MCU. Cujo raio é dado por: $R = \frac{mV_0}{|q|B}$ ... (I) ,

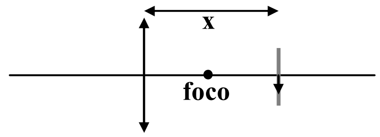
m = massa da partícula.

V_0 = velocidade da partícula

B = intensidade da indução magnética.

q = carga da partícula

• A trajetória será estacionária, com isto pode-se determinar as imagens formadas considerando que se trata de uma circunferência estática – como se fosse um anel - diante do sistema.



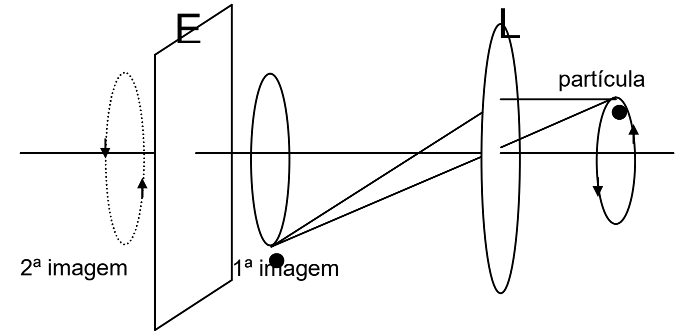
Vista de perfil

Para a lente:

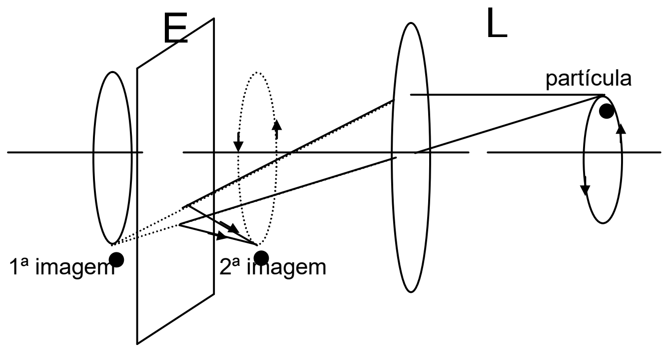
Pela lei de Gauss: $\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{p'} \Leftrightarrow p' = \frac{x.f}{x - f}$ ... (II)

Como x > f a imagem será real, formando-se, portanto, após a lente.

1º Caso: d > p' (espelho depois da imagem gerada pela lente)



2º caso: d < p (espelho antes da imagem formada pela lente)



Usando o aumento linear transversal:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Leftrightarrow \frac{R'}{R} = \frac{p'}{x} \Leftrightarrow R' = \frac{R.p'}{x} \ldots \text{(III)}$$

Substituindo as equações (I) e (II) em (III), obtém-se:

$$\boxed{R' = \frac{f}{x-f} \cdot \frac{m.v_0}{q.B}}$$

$$\omega_{objeto} = \omega_{imagem} \Leftrightarrow \frac{v_0}{R} = \frac{v_i}{R'}$$

$\Leftrightarrow v_i = v_0 \cdot \dfrac{f}{x-f}$ e vetorialmente fica: $\boxed{\vec{v}_i = -v_0 \cdot \dfrac{f}{x-f} \cdot \vec{i}}$

03. (IME 2004) A figura 1 ilustra um sistema de aquecimento de água em um reservatório industrial. Duas bombas hidráulicas idênticas são utilizadas, sendo uma delas responsável pela captação de água da represa, enquanto a outra realiza o fornecimento da água aquecida para o processo industrial. As bombas são alimentadas por uma única fonte e suas características de vazão versus tensão encontram-se na figura 2. O circuito de aquecimento está inicialmente desligado, de maneira que a temperatura da água no tanque é igual a da represa. Supondo que a água proveniente da represa seja instantaneamente misturada pelo agitador no tanque, que não haja dissipação térmica no tanque e que o sistema de aquecimento tenha sido acionado, determine:

1. a vazão das bombas, caso a tensão das bombas seja ajustada para 50 V;
2. a energia em joules fornecida pela resistência de aquecimento em 1 minuto ao acionar a chave S;
3. a temperatura final da água aquecida, após a estabilização da temperatura da água no tanque.

Dados: temperatura da água na represa: 20 ºC;
calor específico da água: $c_{água}$ = 1 cal/g ºC;
densidade da água: $d_{água}$ = 1;
$R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 8\Omega$ e $1\,\text{cal} = 4{,}18$ J.

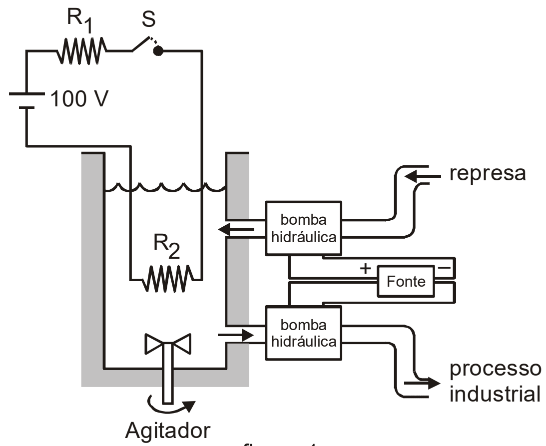


figura 1

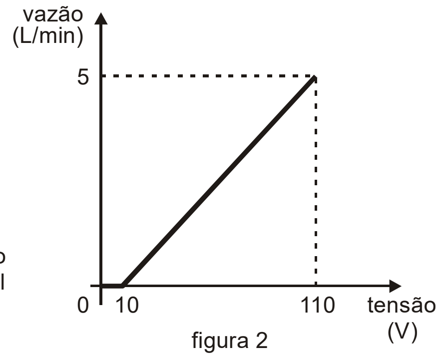


figura 2

RESOLUÇÃO QUESTÃO 3 :

1. Usando semelhança de triângulos no gráfico dado:

$$\frac{v_Z - 0}{50-10} = \frac{5-0}{110-10}$$

Obtém-se: $\boxed{v_Z = 2\frac{L}{min}}$

2. Pela lei de Pouillet a corrente no circuito é

$$i = \frac{\Sigma E - \Sigma E'}{\Sigma R} \Leftrightarrow i = \frac{100}{2+8} \Leftrightarrow i = 10A$$

A potência no resistor R_2 fica:

$P_{R_2} = R_2 \, . \, i^2 \Leftrightarrow P_{R_2} = 8 \, . \, 10^2 = 800 \text{ W}$

$\therefore \; Q = P_{R_2} \, . \, \Delta t$; Δt = 1 min = 60s

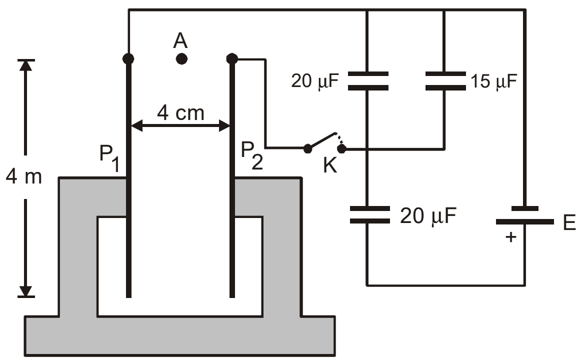
Q = 800 . 60 $\Leftrightarrow$ $\boxed{Q = 48000 \text{ J}}$

3. Para Δt = 1 min o volume de água que passa pelo sistema de aquecimento é 2L (veja item 1), que corresponde à massa: m = 2000 g.
Q = 48000 J / 4,18 J/cal $\cong$ 11483 cal
Q = m c ΔT
11483 = 2000 . (θ_F - 20) $\Rightarrow$ $\boxed{\theta_F \cong 25{,}7 \text{ °C}}$

04. (IME 2004) A figura abaixo mostra duas placas metálicas retangulares e paralelas, com 4m de altura e afastadas de 4cm, constituindo um capacitor de $5 \, \mu F$. No ponto A, eqüidistante das bordas superiores das placas, encontra-se um corpo puntiforme com 2g de massa e carregado com $+4 \, \mu C$.
O corpo cai livremente e após 0,6s de queda livre a chave K é fechada, ficando as placas ligadas ao circuito capacitativo em que a fonte E tem 60 V de tensão. Determine:

1. com qual das placas o corpo irá se chocar (justifique sua resposta);
2. a que distância da borda inferior da placa se dará o choque.

Dado: aceleração da gravidade: $g = 10 \, m/s^2$.



RESOLUÇÃO QUESTÃO 4 :
1. Como a partícula tem carga positiva, ela irá se deslocar atraída por cargas negativas. Analisando o circuito, nota-se que o terminal negativo da fonte motor está ligado à placa P_1 do capacitor.
Portanto, **a partícula de carga +*4.10⁶ C* irá se chocar com a placa P_1.**

2. Antes do fechamento da chave K, a partícula cai em queda livre por 0,6s (intervalo 1):

$$v_{2y} = v_{oy} + gt_1 = 0 + 10.0{,}6 \Rightarrow v_{2y} = 6m/s$$

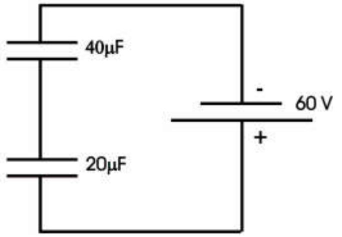
$$v_{2y}^2 = v_{0y}^2 + 2.g.\Delta y_1 \Rightarrow \Delta y_1 = \frac{6^2}{2.10} \therefore \Delta y_1 = 1{,}80m$$

Após o fechamento da chave K, surge uma força entre as placas dada por

$$F_x = q.E = \frac{q.U}{d} \qquad \text{(I)},$$

onde U é a tensão entre as placas, e d = 4 cm.

Analisando-se os capacitores em paralelo, após o fechamento da chave K, conclui-se que o circuito é equivalente a:



$$Q = C_{eq} V = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2} . V = \frac{40\mu F . 20\mu F}{60\mu F} \cdot 60V = 800\mu C$$

Logo, a tensão U vale:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{800\mu C}{40\mu F} \Rightarrow U = 20V \qquad \text{(II)}$$

Substituindo (II) em (I):

$$F_x = \frac{4\mu C.20V}{4.10^{-2} m} \Rightarrow F_x = 2.10^{-3} N$$

Portanto, a partícula passará a sofrer uma aceleração (a_x):

$$a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{2.10^{-3}}{2.10^{-3}} = 1m/s^2$$

O tempo gasto do fechamento de K até a colisão pode ser obtido pela equação cinemática:

$$\Delta x_2 = \frac{a_x . t_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2.\Delta x_2}{a}} = \sqrt{\frac{2.2.10^{-2}}{1}} = 0{,}20s$$

Então: $\Delta y_2 = v_{2y}.t_2 + \frac{g.t_2^2}{2} = 6.0,20 + \frac{10.0,20^2}{2} \Rightarrow \Delta y_2 = 1,40m$

Logo, a distância da borda inferior ao ponto de colisão é:

$$\Delta y = 4 - \Delta y_1 - \Delta y_2 \Rightarrow \Delta y = 0,8m$$

05. (IME 2004) Um tanque de guerra de massa M se desloca com velocidade constante v_0. Um atirador dispara um foguete frontalmente contra o veículo quando a distância entre eles é D. O foguete de massa m e velocidade constante v_f colide com o tanque, alojando-se em seu interior. Neste instante o motorista freia com uma aceleração de módulo a. Determine:

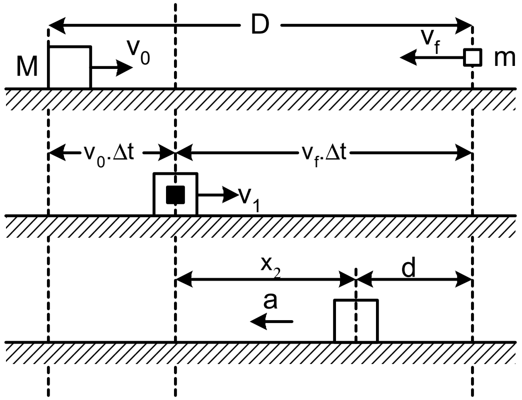
1. o tempo t transcorrido entre o instante em que o motorista pisa no freio e o instante em que o veículo pára;
2. a distância a que, ao parar, o veículo estará do local de onde o foguete foi disparado.

RESOLUÇÃO QUESTÃO 5 :

O tempo gasto pela bala até o contato com o tanque é dado por $t_1 = D/(v_f+v_o)$.

Durante este tempo o tanque percorre uma distância $x_1 = v_0.t_1 = \frac{Dv_0}{(v_f + v_0)}$

Sobre o sistema tanque + bala não há impulso externo resultante durante o choque, logo a quantidade de movimento do sistema se conserva. Assim:



$M.v_0 + m.(-v_f) = (M+m).v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{Mv_0 - mv_f}{(M+m)}$, onde v_1 é o módulo da velocidade do tanque após o impacto.

Se, após a colisão, o motorista freia com aceleração constante de módulo **a** até parar temos:

$0 = v_1 - at \Rightarrow t = \frac{v_1}{a} \Rightarrow t = \frac{Mv_0 - mv_f}{a(M+m)}$ (resposta do item 1)

Durante o tempo em que freia o tanque percorre uma distância x_2:

$x_2 = \frac{v_1^2}{2a} = \left(\frac{Mv_0 - mv_f}{(M+m)}\right)^2 \frac{1}{2a}$

Assim, a distância **d** a que, ao parar, o veículo estará do local de onde o foguete foi disparado, é dada por:

$d = D - x_1 - x_2 = D - \frac{Dv_0}{(v_f + v_0)} - \left(\frac{Mv_0 - mv_f}{(M+m)}\right)^2 \frac{1}{2a} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{d = \frac{Dv_f}{(v_f + v_0)} - \left(\frac{Mv_0 - mv_f}{(M+m)}\right)^2 \cdot \frac{1}{2a}}$ (resposta do item 2)

06. (IME 2004) Um tanque contém 2 litros imiscíveis, L_1 e L_2, com massas específicas ρ_1 e ρ_2, respectivamente, estando o líquido L_2 em contato com o fundo do tanque. Um cubo totalmente imerso no líquido L_1 é solto e, após 2 segundo sua face inferior toca a interface dos líquidos. Sabendo que a distância percorrida pelo cubo desde o instante em que é solto até tocar o fundo do tanque é de 31m, pede-se:

1. esboce o gráfico da velocidade v do cubo em função da distância percorrida pelo mesmo, para todo percurso;
2. mostre, no gráfico, as coordenadas dos pontos correspondentes às seguintes situações: (a) a face inferior do cubo toca a interface dos líquidos; (b) a face superior do cubo toca a interface dos líquidos e (c) o cubo toca o fundo do tanque.

Dados: $\rho_1 = 2000\ kg/m^3$ e $\rho_2 = 3000 kg/m^3$;

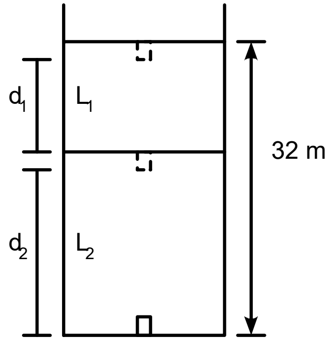
Massa específica do cubo: $\rho_{cubo} = 4000 kg/m^3$;

Volume do cubo: $V_{cubo} = 1 m^3$;

Aceleração da gravidade: $g = 10 m/s^2$.

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO 6 :

Temos:



$\rightarrow$trecho em L_1: $P - E_1 = m\,a_1$

$40.000 - 20.000 = 4000\,a_1$

$a_1 = 5\ m/s^2$.

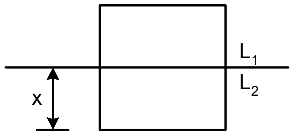
sabendo que:

$d_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2$ temos $d_1 = \frac{1}{2} 5 . 4 = 10\ m$

$V_1 = V_{01} + a_1 t \Rightarrow V_1 = 0 + 5 . 2 \Rightarrow V_1 = 10$ m/s

Graficamente: $d_1 = \frac{V_1^2}{10}$ (parábola com eixo disposto horizontalmente)

$\rightarrow$ Trecho da interface:

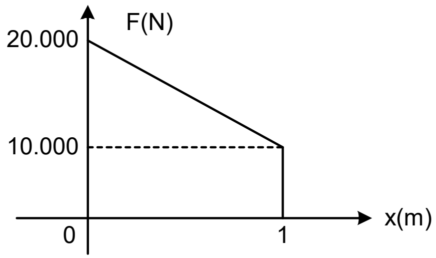


$\rho Vg - \rho_1(1 - x)g - \rho_2\, x\, g = \rho Va$.

$40.000 - 2.000.(1 - x) . 10 - 3.000 . x . 10 = 4000 . a.$

$a = 5 - 2{,}5\,x$

$F = m.a \therefore F = 4.000 .(5 - 2{,}5\,x) = 20.000 - 10.000x$



Calculando a área sob a curva determinamos o trabalho realizado pela resultante.

$$\left.\begin{aligned}\tau_F &= -\frac{(20.000+10.000)}{2}.1 = -15.000J\\ \tau_P &= 4.000 . 10.1 = 40.000J\end{aligned}\right\}$$

$$\tau_R = 40.000 - 15.000 = 25.000J$$

pelo teorema da energia cinética (T.E.C.).

$\tau_R = \Delta E_c$

$25.000 = \frac{1}{2}\, 4.000\, V^2 - \frac{1}{2}\, 4.000 . (10)^2$

$50 = 4\,V^2 - 400$

$450 = 4\,V^2 \Leftrightarrow V^2 = \frac{450}{4} \Leftrightarrow V \cong 10{,}6$ m/s

Graficamente:

$40.000 - (20.000 - 10.000\,x) = \frac{1}{2}\, 4000\, V^2 - \frac{1}{2}\, 4000 . 10^2$.

$20.000 + 10.000x = 2000\,(V^2 - 100)$

$x = \frac{V^2 - 110}{5}$ (parábola com eixo disposto horizontalmente)

$\rightarrow$Trecho 3: $P - E_2 = ma_2$

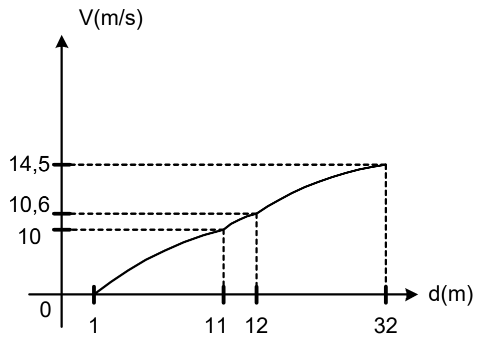
$40.000 - 30.000 = 4000a_2$

$$\left.\begin{aligned}a &= 2{,}5 m/s^2\\ d &= 20m\end{aligned}\right\} V_2^2 = V_{02}^2 + 2a\,\Delta S$$

$$V = \sqrt{\frac{450}{4} + 2\ x\ 2{,}5\ x\ 20} \cong 14{,}5\ m/s\ .$$

Graficamente: $d_1 = \frac{V_2^2}{5}$ (parábola com eixo disposto horizontalmente)

Gráfico:



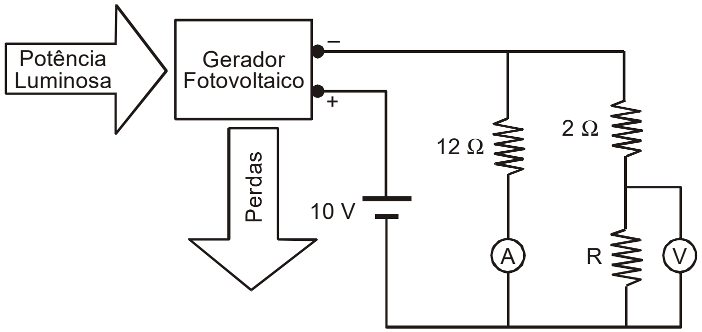
Corrente no resistor R (i_R): $8 - V_R = 2 \cdot i_R \Rightarrow i_R = \frac{10}{3} A$

$$I_{total} = i_A + i_R = 4A$$

$$\eta_{gerador} = \frac{P_{saída}}{P_{ent}} = \frac{V_{saida} \cdot I_{total}}{P_{luminosa}} = \frac{18V \cdot 4A}{100W}$$

Logo o rendimento é : $\boxed{\eta_{gerador} = \frac{72}{100} = 72\%}$

07. (IME 2004) A figura abaixo mostra o esquema de um gerador de um gerador fotovoltaico alimentando um circuito elétrico com 18 V. Sabendo que a potência solicitada na entrada do gerador (potência luminosa) é de 100 W, determine o rendimento do gerador na situação em que a razão dos valores numérico da tensão e da corrente medidos, respectivamente, pelo voltímetro V (em volts) e pelo amperímetro A (em ampéres) seja igual a 2 (dois).



RESOLUÇÃO DA QUESTÃO 7 :

Corrente no amperímetro (i_A): $i_A = \frac{8V}{12\Omega} = \frac{2}{3} A$

Temos: $\frac{|V_R|}{|i_A|} = 2$

Tensão no voltímetro (V_R): $V_R = \frac{4V}{3}$

08. (IME 2004) Uma certa usina termoelétrica tem por objetivo produzir eletricidade para consumo residencial a partir da queima de carvão. São consumidas 7,2 toneladas de carvão por ora e a combustão de cada quilo gera $2x10^7$ J de energia. A temperatura de queima é de 907ºC e existe uma rejeição de energia para um riacho cuja temperatura é de 22ºC. Estimativas indicam que o rendimento da termoelétrica é de 75% do máximo admissível teoricamente. No discurso de inauguração desta usina, o palestrante afirmou que ela poderia atender, no mínimo, à demanda de 100.000 residências. Admitindo que cada unidade habitacional consome mensalmente 400 kWh e que a termoelétrica opera durante 29,63 dias em cada mês, o que equivale a aproximadamente 2,56 x 10^6 segundos, determine a veracidade daquela afirmação e justifique sua conclusão através de uma análise termodinâmica do problema.

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO 8:
1ª SOLUÇÃO:

Seja $M_C \rightarrow$ Massa Consumida por hora: $M_C = \frac{7{,}2 \cdot 10^3 \text{ kg}}{3{,}6 \cdot 10^3 \text{ s}} = 2{,}0 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$E_K \rightarrow$ Energia gerada por cada quilograma de carvão: $E_K = 2{,}0 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

$E_S \rightarrow$ Energia gerada em cada segundo: $E_S = 2{,}0 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 2{,}0 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \Rightarrow E_S = 4{,}0 \cdot 10^7$ J

$\eta_m \rightarrow$ rendimento máximo admissíveis. $\eta_m = 1 - \frac{T_F}{T_q} \Rightarrow \eta_m = 1 - \frac{295}{1180} = \frac{3}{4} \Rightarrow \eta_m = \frac{3}{4}$

$\eta_T \rightarrow$ rendimento da termoelétrica. $\eta_T = \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4} \Rightarrow \eta_T = \frac{9}{16}$

$E_r \rightarrow$ Energia de cada residência $\rightarrow E_r = 400$ kwh $= 4 \cdot 3{,}6 \cdot 10^8$ J $\Leftrightarrow E_r = 14{,}4 \cdot 10^8$ J

$E_T \rightarrow$ Energia total necessária $\rightarrow E_T = E_r \cdot 10^5 \Rightarrow E_T = 14{,}4 \cdot 10^{13}$ J

$E_M \rightarrow$ Energia gerada no mês $\quad E_M = 4\,.\,10^7\,.\,2{,}56\,.\,10^6 \Rightarrow E_M = 10{,}24\,.\,10^{13}$ J

A energia útil: $E_u = \eta_T\,.\,E_M = \frac{9}{16}\,.\,10{,}24\,.\,10^{13}$ J $\Leftrightarrow E_u = 5{,}73\,.\,10^{13}$ J

Tal afirmação é falsa pois a usina produz $\frac{5{,}73\,.\,10^{13}}{14{,}4\,.\,10^{13}} = 0{,}4 = 40$ % da energia total necessária.

2ª SOLUÇÃO:

Vamos calcular o número de casas que serão alimentadas pela usina.

Rendimento teórico: $\eta_m = 1 - \frac{T_F}{T_q} \Rightarrow \eta_m = 1 - \frac{295}{1180} = \frac{3}{4} \Rightarrow \eta_m = \frac{3}{4}$

Rendimento da termoelétrica: $\eta_{real} = \frac{3}{4}\,.\,\frac{3}{4} \Rightarrow \eta_{real} = \frac{9}{16}$

Δt = 29,63 dias que é igual a $\Delta t = \frac{2{,}56.10^6}{3600}\,horas$

Potência gerada pelo carvão: $Pot = \frac{Q}{\Delta t_{1hora}} = \frac{7{,}2.10^3.2.10^7}{3600} = 4.10^4\,kW$

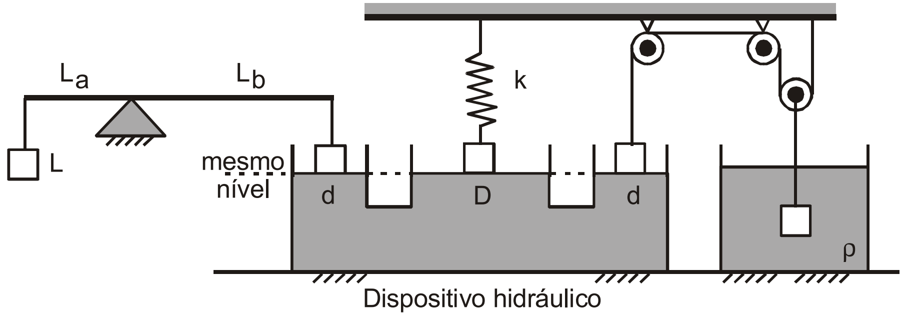
Consumo total: $C_{TOTAL} = \eta_{real}.Pot.\Delta t$, Consumo de cada casa é de 400 kWh,

Logo, o número de casas é: $n_{casa} = \frac{C_{TOTAL}}{C_{1CASA}} = \frac{\eta_{real}.Pot.\Delta t}{400}$

$\Leftrightarrow n_{casa} = \frac{9}{16}.\frac{4.10^4}{400}.\frac{2{,}56.10^6}{3600} \Leftrightarrow \boxed{n_{casas} = 40000 \text{ casas}}$ $\therefore$AFIRMAÇÃO É FALSA.

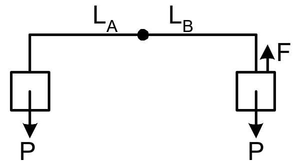
09. (IME 2004) Cinco cubos idênticos, de aresta L e massa específica μ, estão dispostos em um sistema em equilíbrio, como mostra a figura. Uma mola de constante elástica k é comprimida e ligada ao centro do cubo, que se encontra sobre o pistão do cilindro maior de diâmetro D de um dispositivo hidráulico. Os demais cilindros deste dispositivo são idênticos e possuem diâmetro d. Em uma das extremidades do dispositivo hidráulico existe um cubo suspenso por um braço de alavanca. Na outra extremidade existe outro cubo ligado a fios ideais e a um conjunto de roldanas. Este conjunto mantém suspenso um cubo totalmente imerso em um líquido de massa específica ρ. Sendo g a aceleração da gravidade e desprezando as massas da alavanca, pistões, fios e roldanas, determine:

1. a relação L_a/L_b dos comprimentos do braço de alavanca no equilíbrio em função de ρ e μ;
2. o comprimento Δx de compressão da mola para o equilíbrio;

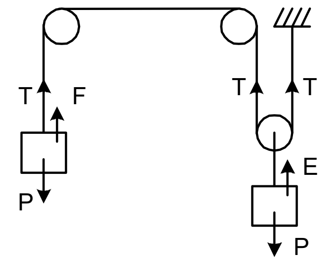


RESOLUÇÃO DA QUESTÃO 9 :

.Comparando os êmbolos menores



$L_A\,.\,P = L_B(P - F) \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{(P-F)}{P} \quad (I)$



P = T + F $\qquad$ 2T + E = P

$\Rightarrow F = \frac{P+E}{2}$ ....(II)

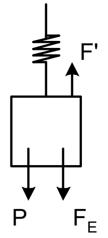
Substituindo (II) em (I):

$\frac{L_A}{L_B} = 1 - \frac{1}{P}\frac{(P+E)}{2} \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{E}{P}\right)$

$\Leftrightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\rho\,L^3\,.\,g}{\mu\,L^3\,.\,g}\right)$

$$\Leftrightarrow \boxed{\frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\rho}{\mu}\right)}$$

2 . No embolo maior
F' = P + F_E
F' – P = k Δx … (III)



$\frac{F'}{D^2} = \frac{F}{d^2}$ (principio de Pascal)

$$\Rightarrow F' = F \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \text{ ... (IV)}$$

Substituindo (II) em (IV): $F' = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \frac{P+E}{2}$ ... (V)

Substituindo: (V) em (III): $\frac{D^2}{d^2}\frac{(P+E)}{2} - P = k\ \Delta x$

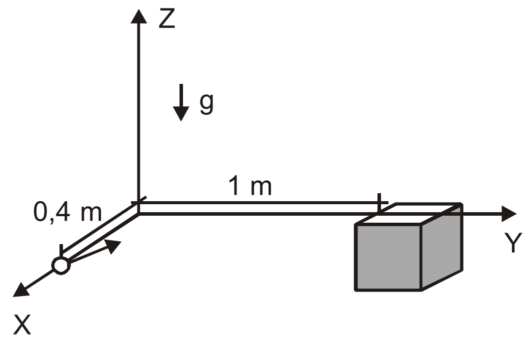
$$\Rightarrow \Delta x = \frac{1}{k}\left[\frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{(P+E)}{2} - P\right]$$

$$\Rightarrow \Delta x = \frac{1}{k}\left[\left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \frac{(\mu \cdot L^3 \cdot g + \rho \cdot L^3 \cdot \rho)}{2} - \mu \cdot L^3 \cdot g\right]$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\Delta x = \frac{L^3 g}{k}\left[\left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu + \rho}{2}\right) - \mu\right]}$$

10. (IME 2004) Um pequeno corpo é lançado com velocidade inicial, tendo componentes
v_x = - 2 m/s; v_y = 3 m/s e v_z = 2 m/s
em relação ao referencial XYZ representado na figura. A partícula sai do chão na posição (0,4 ; 0 ; 0) e atinge o plano YZ quando sua altura é máxima. Neste instante, é emitido deste ponto um raio de luz branca que incide no cubo de vidro encaixado no chão com uma única face aparente no plano XY e cujo centro se encontra no eixo Y. O cubo tem aresta L e sua face mais próxima ao plano XZ está à distância de 1 m. Determine:
a posição em que o corpo atinge o plano YZ;
qual das componentes da luz branca, devido à refração, atinge a posição mais próxima do centro da face que está oposta à aparente, considerando que o raio incidente no cubo é o que percorre a menor distância desde a emissão da luz branca até a incidência no cubo.
Dados: aceleração da gravidade: g = 10 m/s^2;
Índice de refração do ar: n_{ar} = 1,00.
Tabela com índices de refração do vidro para diversas cores:

Cor	Índice de refração
Vermelho	1,41
Laranja	1,52
Amarelo	1,59
Verde	1,60
Azul	1,68
Anil	1,70
Violeta	1,73



RESOLUÇÃO DA QUESTÃO 10 :

Determinação do ponto de encontro da partícula com o plano YZ:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x}t \\ y = y_0 + v_{0y}t \\ z = z_0 + v_{0z}t + \frac{at^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 0{,}4 - 2t & (1) \\ y = 0 + 3t & (2) \\ z = 0 + 2t - \frac{10t^2}{2} & (3) \end{cases}$$

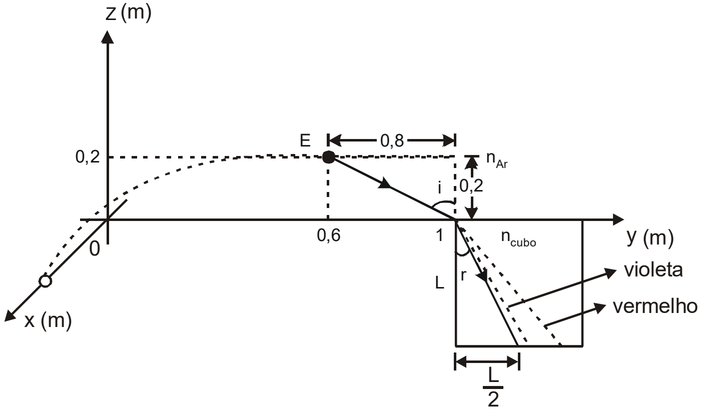
O encontro com o plano YZ ocorre quando $x = 0$, portanto, de (1) tem-se:

$$0 = 0{,}4 - 2t_s$$

$$t_s = 0{,}2\,s$$

Posição do encontro E: $\begin{cases} x = 0 \\ y = 3 \cdot 0{,}2 = 0{,}6\,\text{m} \\ z = 2 \cdot 0{,}2 - 5 \cdot 0{,}2^2 = 0{,}2\,\text{m} \end{cases}$

Logo a posição será E=(0;0,6;0,2)



Usando a Lei de Snell-Descartes

$$n_{ar} \operatorname{sen} i = n_{cubo} \operatorname{sen} r$$

$$1 \cdot \frac{0{,}4}{\sqrt{0{,}4^2 + 0{,}2^2}} = n_{cubo} \cdot \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + L^2}}$$

$$\Rightarrow \; n_{cubo} = 2$$

<u>Para que o raio de luz refratado no cubo chegue no centro da face oposta, o índice de refração deve ser 2, portanto o VIOLETA é a cor que mais se aproxima do centro.</u>