IME - 2004

2º DIA

FÍSICA

Física — Questão 01

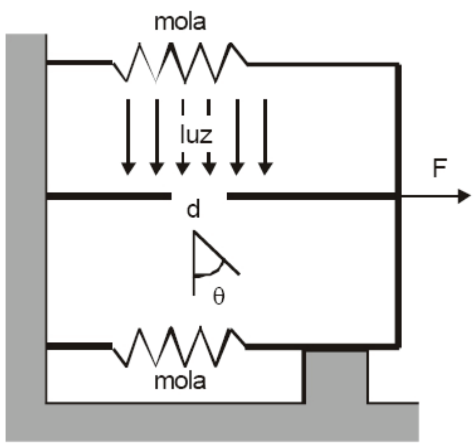
A figura abaixo mostra uma fenda iluminada por uma luz de comprimento de onda λ. Com as molas não deformadas, o ângulo correspondente ao primeiro mínimo de difração é θ. **DETERMINE**:

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:

1. $d \text{ sen } \theta = m\lambda$

   Como θ é o ângulo correspondente ao primeiro mínimo de difração, temos: $m = 1$.

$$d\,\text{sen}\theta = \lambda \Rightarrow d = \frac{\lambda}{\text{sen}\theta} \quad (\text{I})$$

2. Utilizando a equação (I) para $\theta/2$, obtém-se:

$$d' = d + x = \frac{\lambda}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - \frac{\lambda}{\text{sen}\theta}$$

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

$$F = k_{eq}.x \Rightarrow F = 2k\left(\frac{\lambda}{\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)} - \frac{\lambda}{\text{sen}\theta}\right)$$

Uma partícula carregada está sujeita a um campo magnético 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.

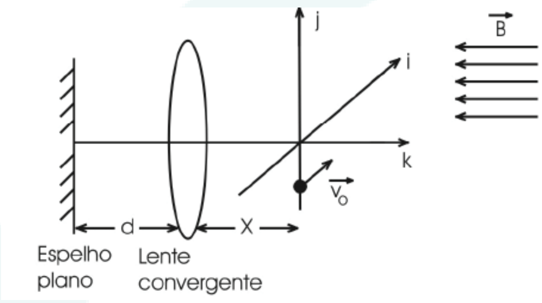
Dados: os eixos i, j e k são ortogonais entre si.

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.



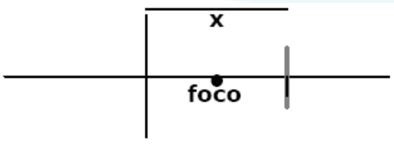
RESOLUÇÃO:

Desprezando-se a ação da gravidade, conclui-se que a força magnética provoca na partícula um movimento circular uniforme de raio R, sendo a força magnética a resultante centrípeta que age sobre a partícula:

$$\begin{cases} F_M = |q|\,v_0 B \\ F_{cp} = \dfrac{mv_0^2}{R} \end{cases} \Rightarrow |q|\,v_0 B = \dfrac{mv_0^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{mv_0}{|q|B}$$, onde

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

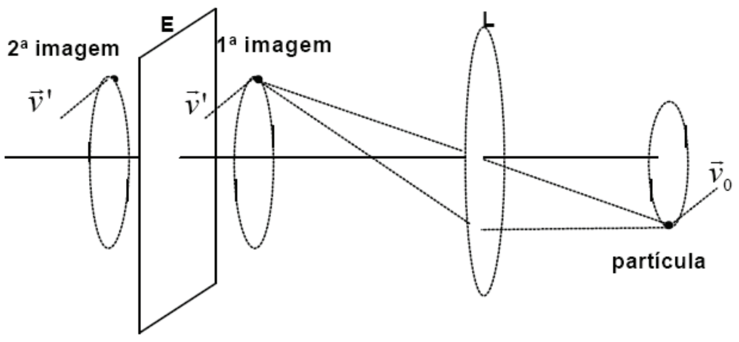
Para a lente:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{x'}$, onde x’ é a distância entre o plano da lente e a imagem, portanto:

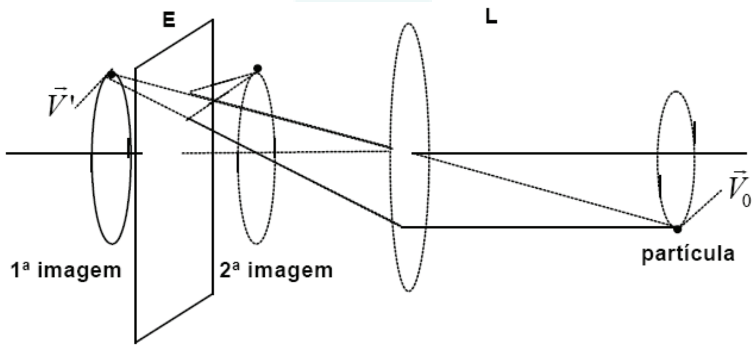
$$x' = \frac{xf}{x - f}$$

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

1º Caso: d > x’ (espelho depois da imagem gerada pela lente)



2º Caso: d < x’ (espelho antes da imagem formada pela lente)



Em ambos os casos, pela equação do aumento linear, temos:

$\frac{R'}{R} = \frac{x'}{x}$, onde R’ é o raio da trajetória descrita pela imagem.

Obviamente, o tempo para percorrer uma volta completa é o mesmo para o objeto e para sua imagem, logo:

$\frac{v'}{v_0} = \frac{2\pi R'}{2\pi R} = -\frac{x'}{x}$, assim o módulo da velocidade da imagem será:

$$v' = -\frac{v_0 xf}{x(x - f)}$$

Física — Questão 03

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 g/mL.

$R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 8\Omega$ e cal = 4,18 J.

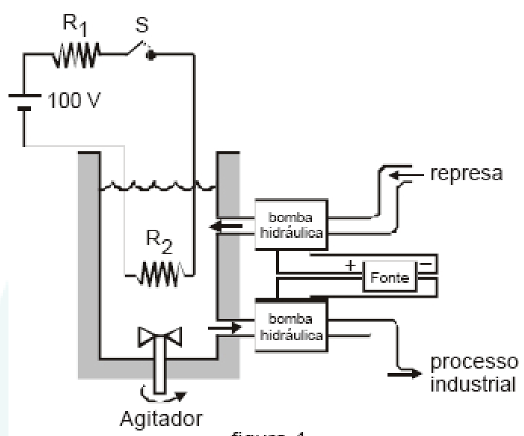


figura 1

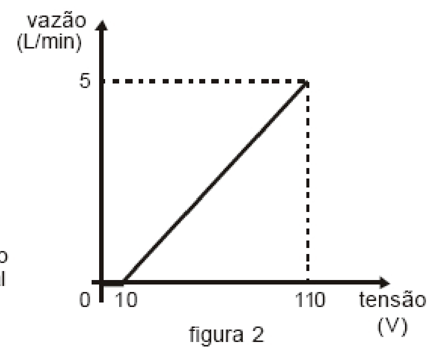


figura 2

RESOLUÇÃO:

01) Usando semelhança de triângulos no gráfico dado:

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

Obtém-se: $v_z = 2\frac{L}{min}$

02) Pela lei de Pouillet a corrente no circuito é

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

A potência no resistor R_2 fica:

$P_{R_2} = R_2 \cdot i^2 \Leftrightarrow P_{R_2} = 8 \cdot 10^2 = 800$ W

$\therefore Q = P_{R_2} \cdot \Delta t; \qquad \Delta t = 1$ min = 60s

Q = 800 . 60

Q = 48 000 J

03) Para Δt = 1 min o volume de água que passa pelo sistema de aquecimento é 2L (veja item 01), que corresponde à massa: m = 2 000g.

Q = 48 000 J / 4,18 J/cal $\cong$ 11 483 cal

$Q = m\, c\, \Delta T$

11 483 = 2 000 . (θ_F – 20)

$\Rightarrow \theta_F \cong 25{,}7$ ºC

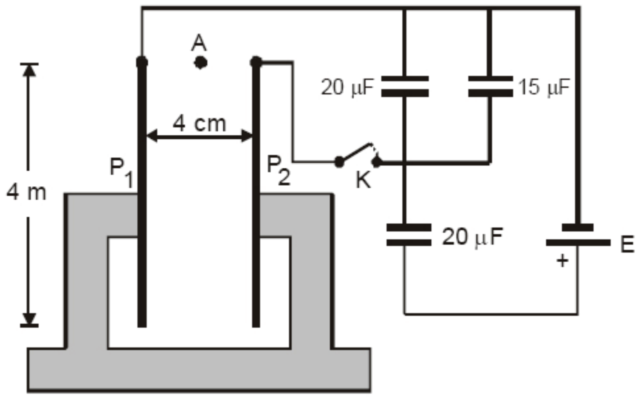
Física — Questão 04

A figura abaixo mostra duas placas metálicas retangulares e paralelas, com 4m de altura e afastadas de 4 cm, constituindo um capacitor de 5μF. No ponto A, equidistante das bordas superiores das placas, encontra-se um corpo puntiforme com 2 g de massa e carregado com +4μC.

O corpo cai livremente e após 0,6 s 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:

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 $+4.10^{6}$ C irá se chocar com a placa P_1.

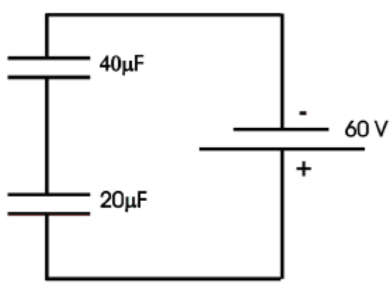
2. Antes do fechamento da chave K, a partícula cai em queda livre por 0,6s (intervalo 1):

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

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

Após o fechamento da chave K, surge uma força entre as placas dada por $F_x = q.E = \frac{q.U}{d}$ (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:



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

Logo, a tensão U vale:

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

Substituindo (II) em (I):

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

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

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

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

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

Então:

$$\Delta y = v_{2y}t_2 + \frac{gt_2^2}{2} = 6.0,20 + \frac{10.0,20^2}{2} \Rightarrow \Delta y_2 = 1,40\,m$$

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

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

Física — Questão 05

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 para.
2. a distância a que, ao parar, o veículo estará do local de onde o foguete foi disparado.

RESOLUÇÃO:

1. O tempo gasto pela bala até o contato com o tanque é dado por:

$$t_1 = D / (v_f + v_0)$$

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:

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

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

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

2. 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:

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

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

Um tanque contém 2 líquidos 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 segundos 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 31 m, 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.

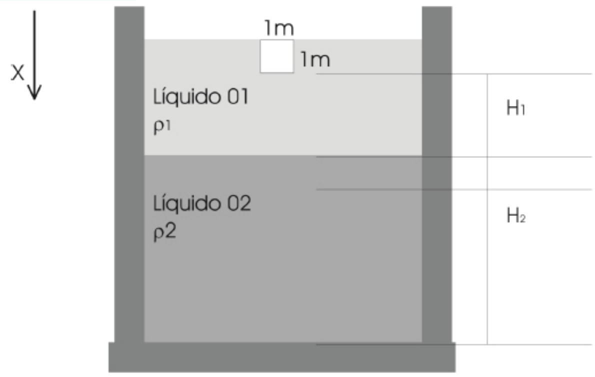
Dados: ρ_1 = 2 000 kg/m³ e ρ_2 = 3 000 kg/m³.

Massa específica do cubo: ρ_{cubo} = 4 000 kg/m³.

Volume do cubo: V_{cubo} = 1 m³.

Aceleração da gravidade: g = 10 m/s².

RESOLUÇÃO:



No líquido 1

Fr = P – E

$m \cdot a = mg - \rho_1 V_{cubo} \cdot g = \rho_{cubo} \cdot V_{cubo} \cdot g - \rho_1 V_{cubo} \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow 4 \cdot 10^3 \cdot a = 40 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3 \Rightarrow a = 5\ m/s^2$

$h_1 = V_0 t + \frac{1}{2} a_1 t^2 = 0 + \frac{1}{2} 5 \cdot 2^2 \Rightarrow h_1 = 10\ m$

$V_1 = V_0 + a_1 t \Rightarrow V_1 = 10\ m/s$

Na interface dos líquidos:

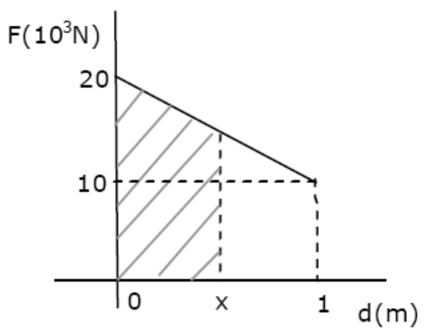
$F = m \cdot a = P - E \Rightarrow 40 \cdot 10^2 \cdot a = 40 \cdot 10^3 - (20 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3 \cdot x)$ (I)

(onde x representa a altura da parcela do cubo imersa no líquido 2)

De (I), segue que a = 5 – 2,5 x,

Portanto: $F = 40 \cdot 10^2 (5 - 2{,}5\ x)$

Do teorema da energia cinética: $\Delta\varepsilon_c = \tau_R$ = Area(Fxd) (II)



De (II) e da área hachurada na figura:

$$\frac{1}{2}mV_x^2 - \frac{1}{2}mV_1^2 = \frac{(20 - 10x + 20)^x}{2}.10^3$$

$$\frac{1}{2}40.10^2V_x^2 - \frac{1}{2}40.10^2.10^2 = (20 - 5x)x.10^3$$

$$V_x = \sqrt{10^2 + (10 + 2,5x)}$$

Portanto, fazendo x = 1, obtém-se: V_2 = 10,4 m/s

No líquido 2:

$F_r = P - E$

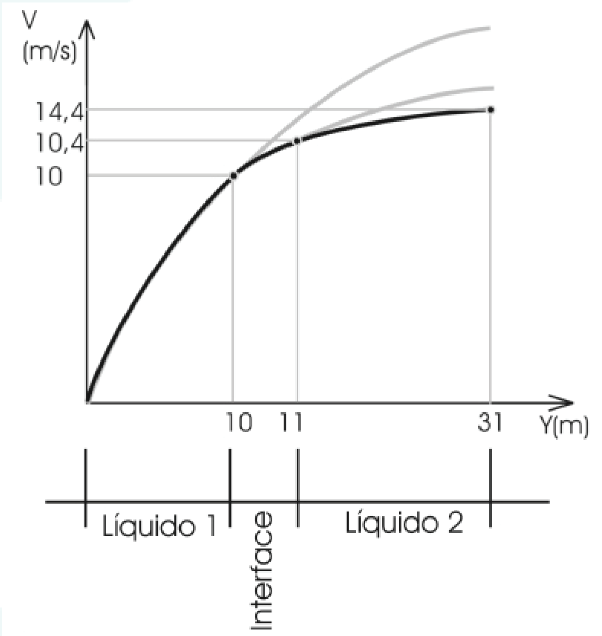
$m \,.\, a = mg - \rho_2 V_{cubo} \,.\, g = \rho_{cubo} \,.\, V_{cubo} \,.\, g - \rho_2 V_{cubo} \,.\, g \Rightarrow$

$\Rightarrow 4 \,.\, 10^3 \,.\, a = 40 \,.\, 10^3 - 30 \,.\, 10^3 \Rightarrow a_2 = 2,5 \text{ m/s}^2$

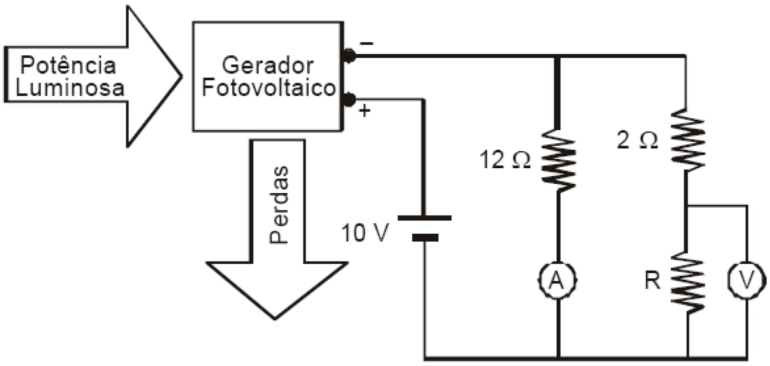
$V_3^2 = V_2^2 + 2a_2h_2 \Rightarrow V_3^2 = 107,5 + 2 \,.\, 2,5 \,.\, 20 \therefore$

V_3 = 14,4 m/s

Assim, o gráfico solicitado é:



A figura abaixo mostra o esquema 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 ampères) seja igual a 2 (dois).



RESOLUÇÃO:

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

É dado que $\frac{|V_R|}{|i_A|} = 2$, portanto, a tensão no voltímetro é $V_R = \frac{4}{3}V$

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

portanto $I_{total} = i_A + i_R = 4A$ e o rendimento do gerador é:

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

$$n_{gerador} = \frac{72}{100} = 72\%$$

Física — Questão 08

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 hora e a combustão de cada quilo gera 2 x 10^7 J de energia. A temperatura de queima é de 907 ºC e existe uma rejeição de energia para um riacho cuja temperatura é de 22 ºC. 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:

Sejam:

- $M_C \to$ Massa Consumida por segundo:

$$M_C = \frac{7,2.10^3\,kg}{3,6.10^3\,s} = 2,0\frac{kg}{s}$$

- $E_K \to$ Energia gerada por cada quilograma de carvão:

$$E_K = 2,0.10^7\frac{J}{kg}$$

- $E_S \to$ Energia gerada em cada segundo:

$$E_S = 2,0\frac{kg}{s}.2,0.10^7\frac{J}{kg} \Rightarrow E_S = 4,0.10^7 J$$

- $\eta_m \to$ rendimento máximo admissível:

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

- $\eta_T \to$ rendimento da termoelétrica:

$$\eta_T = 75\%.\frac{3}{4} \Rightarrow \eta_T = \frac{9}{16}$$

- $E_M \to$ Energia gerada no mês

$$E_M = 4.10^7.2,56.10^6 \Rightarrow E_M = 10,24.10^{13} J$$

A energia útil: $E_u = \eta_T.E_M = \frac{9}{16}.10,24.10^{13} J$

$E_u = 5,73 \,.\, 10^{13}$ J

Portanto **a energia útil fornecida** é 5,73 . 10^{13} J

- $E_r \to$ Energia consumida por cada residência:

  E_r = 400 kwh = 4 . 3,6 . 10^8 J

  E_r = 14,4 . 10^8 J

  $E_T \to$ Energia total necessária:

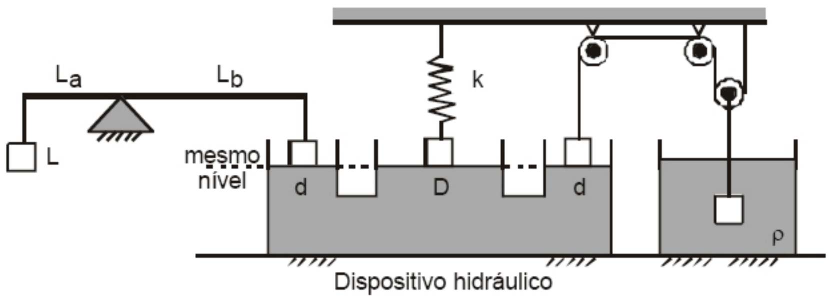
  $E_T = E_r \,.\, 10^5 \Rightarrow E_T = 14,4 \,.\, 10^{13}$ J

Assim, a afirmação do palestrante é falsa, pois a usina produz $\frac{5,73.10^{13}}{14,4.10^{13}} = 0,4$ da energia total necessária para 100 000 residências.

Física — Questão 09

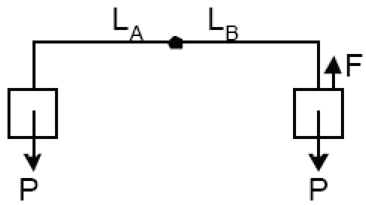
Cinco cubos idênticos, de aresta L e massa específica μ, estão dispostos em um sistema em equilíbrio, como mostra a figura. Uma mola de constante elástica k é comprimida e ligada ao cubo do centro, que se encontra sobre o pistão do cilindro maior de diâmetro D de um dispositivo hidráulico. Os demais 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.



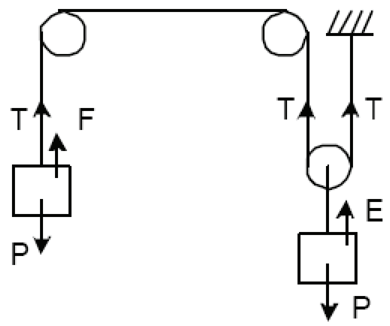
RESOLUÇÃO:

1. Comparando os êmbolos menores



$$L_A \cdot P = L_B(P - F) \Rightarrow$$

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



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

Portanto $F = \dfrac{P+E}{2}$ $\quad$ (II)

Substituindo (II) em (I):

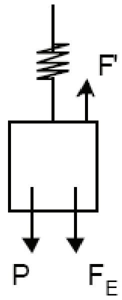
$$\frac{L_A}{L_B} = 1 - \frac{1}{P}\frac{(P+E)}{2} \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{E}{P}\right) \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\rho L^3 \cdot g}{\mu L^3 \cdot g}\right)$$

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

2. No embolo maior:

$F' = P + F_E$

$F' - P = k\,\Delta x$ (III)



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

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

Substituindo (II) em (IV):

$$F' = \left(\frac{D}{d}\right)^2 . \frac{P+E}{2} \qquad \text{(V)}$$

Substituindo (V) em (III):

$$\frac{D^2}{d^2}\frac{(P+E)}{2} - P = k\,\Delta x$$

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

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

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

Um pequeno corpo é lançado com velocidade inicial, cujas componentes são $\mathbf{v_x = -2\ m/s}$; $\mathbf{v_y = 3\ m/s}$ **e** $\mathbf{v_z = 2\ m/s}$ 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**:

1. a posição em que o corpo atinge o plano YZ;

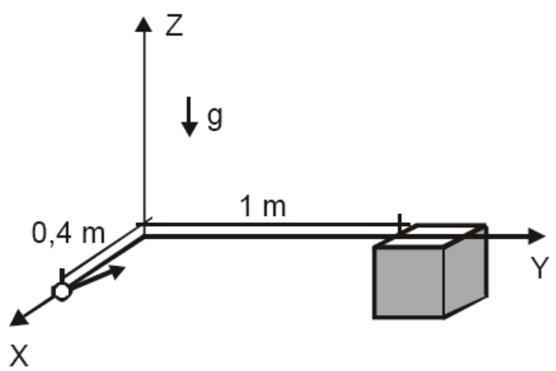
2. qual das componentes da luz branca, devido à refração, atinge a posição mais próxima do centro da face que está oposta à aparente, considerando que o raio incidente no cubo é o que percorre a menor distância desde a emissão da luz branca até a incidência no cubo.

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:

Determinação do ponto de encontro da partícula com o planoYZ:

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

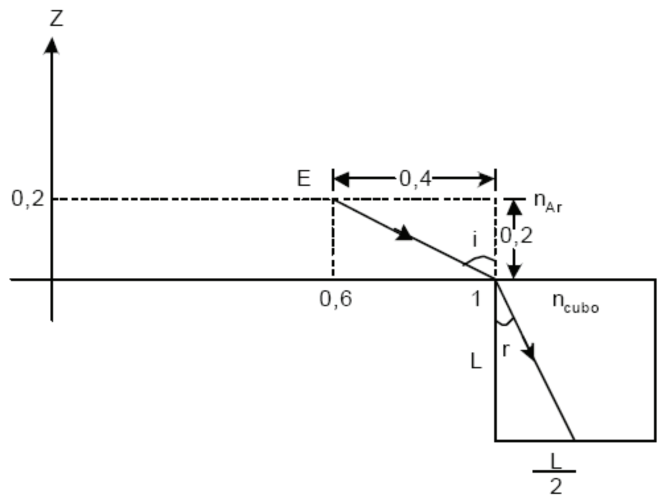
O encontro com o plano YZ ocorre quando x = 0, portanto, de (1) tem-se:

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

$t_s = 0{,}2\ s$

Posição do encontro E: $\begin{cases} x = 0 \\ y = 3.0,2 = 0,6\,m \\ z = 2.0,2 - 5.0,2^2 = 0,2\,m \end{cases}$

Logo a posição será E = (0; 0,6; 0,2)



Usando a Lei de Snell-Descartes

$n_{ar} seni = n_{cubo} senr$

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

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

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.