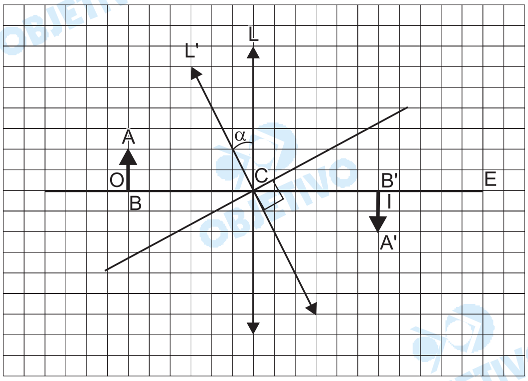
FÍSICA

1

A figura na folha de respostas representa, na linguagem da óptica geométrica, uma lente **L** de eixo **E** e centro **C**, um objeto **O** com extremidades **A** e **B**, e sua imagem **I** com extremidades **A'** e **B'**. Suponha que a lente **L** seja girada de um ângulo α em torno de um eixo perpendicular ao plano do papel e fique na posição **L*** indicada na figura. Responda às questões, na figura da folha de respostas, utilizando os procedimentos e as aproximações da óptica geométrica. Faça as construções auxiliares a lápis e apresente o resultado final utilizando caneta.

a) Indique com a letra **F** as posições dos focos da lente **L**.

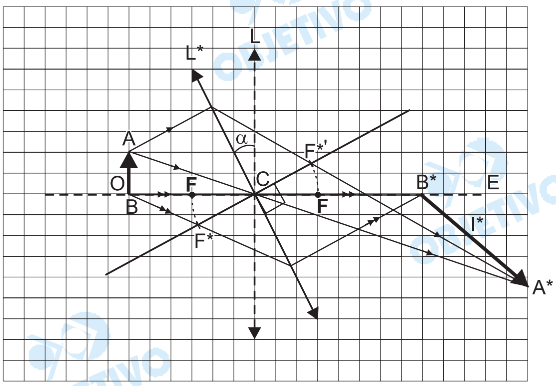
b) Represente, na mesma figura, a nova imagem **I*** do objeto **O**, gerada pela lente **L***, assinalando os extremos de **I*** por **A*** e por **B***.



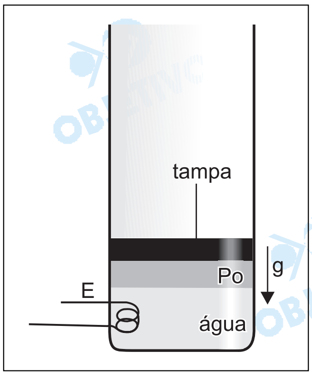
Resolução

a) *Observa-se, pela figura da folha de respostas, que imagem e objeto são simétricos em relação ao centro óptico (C) (estão situados nos pontos antiprincipais da lente), portanto o foco principal objeto (F) está localizado no ponto médio de BC e o foco principal imagem (F') no ponto médio de B'C.*

b) *Utilizando os raios notáveis para a nova posição da lente (L*), obtemos a nova imagem conjugada (I*), conforme figura a seguir.*



2



Um recipiente cilíndrico contém **1,5 L** (litro) de água à temperatura de **40°C**. Uma tampa, colocada sobre a superfície da água, veda o líquido e pode-se deslocar verticalmente sem atrito. Um aquecedor elétrico **E**, de **1800 W**, fornece calor à água. O sistema está isolado termicamente de forma que o calor fornecido à água não se transfere ao recipiente. Devido ao peso da tampa e à pressão atmosférica externa, a pressão sobre a superfície da água permanece com o valor $\mathbf{P_0 = 1,00 \times 10^5}$ **Pa**. Ligando-se o aquecedor, a água esquenta até atingir, depois de um intervalo de tempo $\mathbf{t_A}$, a temperatura de ebulição (**100°C**). A seguir a água passa a evaporar, preenchendo a região entre a superfície da água e a tampa, até que, depois de mais um intervalo de tempo $\mathbf{t_B}$, o aquecedor é desligado. Neste processo, **0,27 mol** de água passou ao estado de vapor.

> **NOTE/ADOTE 1 Pa = 1 pascal = 1N/m^2**
> Calor específico da água: **4.000 J/(°C.kg)**
> Na temperatura de **100°C** e à pressão de **1,00 x 10^{5}Pa**, 1 mol de vapor de água ocupa **30L** e o calor de vaporização da água vale **40.000J/mol**.
> Massa de 1 mol de água: **18 gramas**
> Massa específica da água: **1,0 kg/L**

Determine
a) o intervalo de tempo $\mathbf{t_A}$, em segundos, necessário para levar a água até a ebulição.
b) o intervalo de tempo $\mathbf{t_B}$, em segundos, necessário para evaporar **0,27 mol** de água.
c) o trabalho τ, em joules, realizado pelo vapor de água durante o processo de ebulição.

Resolução

a) Usando-se a Equação Fundamental da Calorimetria e a equação da potência, tem-se:

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

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = Pot\,.\,\Delta t$$

Assim:

$$Pot\,.\,\Delta t = m\,c\,\Delta\theta$$

Substituindo-se os valores fornecidos, vem:

$$1800\,.\,t_A = 1,5\,.\,4000\,.\,(100 - 40)$$

$$\boxed{t_A = 200s}$$

***Nota**: Um volume de 1,5L de água corresponde a uma massa de 1,5kg.*

b) Na vaporização da água, temos:

$$Pot\ \Delta t = n\ C_V$$

em que C_V é o calor molar de vaporização da água.

Assim:

$$1800\ .\ t_B = 0{,}27\ .\ 40\,000$$

$$\boxed{t_B = 6s}$$

c) O trabalho realizado pelo vapor, em sua expansão isobárica, é dado por:

$$\tau = p\ .\ \Delta V$$

em que: $p = 1{,}00\ .\ 10^5\ Pa = 1{,}00\ .\ 10^5\ \frac{N}{m^2}$

$\Delta V = 0{,}27\ .\ 30L = 8{,}10\ .\ 10^{-3}\ m^3$

então:

$\tau = 1{,}00\ .\ 10^5\ .\ 8{,}10\ .\ 10^{-3}\ (J)$

Donde: $\boxed{\tau = 810J}$

***Respostas:** a) 200s*
b) 6s
c) 810J

Observação: no enunciado, a expressão evaporar *é inadequada. A forma correta é* vaporizar.

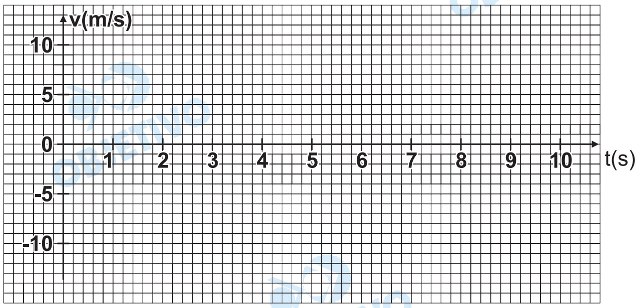
3

Considere uma bolinha, de pequeno raio, abandonada de uma certa altura, no instante **t = 0**, a partir do repouso, acima de uma pesada placa metálica horizontal. A bolinha atinge a placa, pela primeira vez, com velocidade **V = 10 m/s**, perde parte de sua energia cinética, volta a subir verticalmente e sofre sucessivos choques com a placa. O módulo da velocidade logo após cada choque vale 80% do módulo da velocidade imediatamente antes do choque (**coeficiente de restituição = 0,80**). A aceleração da gravidade no local é **g = 10m/s²**. Suponha que o movimento ocorra no vácuo.

a) Construa, na figura da folha de respostas, o gráfico da velocidade da bolinha em função do tempo, desde o instante **t = 0**, em que ela é abandonada, até o terceiro choque com a placa.
Considere positivas as velocidades com sentido para cima e negativas, as para baixo.

b) Determine o módulo $\mathbf{V_3}$ da velocidade da bolinha logo após o terceiro choque.

c) Analisando atentamente o gráfico construído, estime o instante **T**, a partir do qual a bolinha pode ser considerada em repouso sobre a placa.



Resolução

a) 1) Tempo gasto até a primeira colisão:

$$V = V_0 + \gamma\, t \quad (MUV)$$

$$-10 = 0 - 10\, t_1$$

$$\boxed{t_1 = 1{,}0s}$$

2) Após a 1ª colisão, a velocidade passa a ser V_1, dada por:

$$|V_1| = e\,|V|$$

$$|V_1| = 0{,}80 \,.\, 10\ (m/s)$$

$$|V_1| = 8{,}0m/s$$

Pela convenção adotada: $V_1 = 8{,}0m/s$

3) O tempo gasto na subida é dada por:

$$V = V_0 + \gamma\, t$$

$$0 = V_0 - g\, t_S$$

$$\text{Donde: } \boxed{t_S = \frac{V_0}{g}}$$

Como a velocidade em cada colisão fica multiplicada por 0,8, o mesmo ocorre com o tempo de subida.
Assim, o tempo total entre a 1ª e a 2ª colisão será:

$$\Delta t_{1,2} = 2\, t_S = 2 \,.\, 0{,}8 \,.\, t_1 = 1{,}6s$$

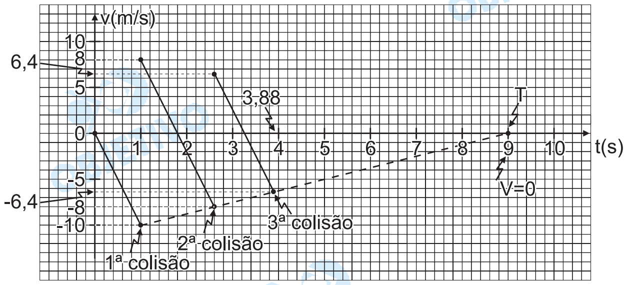
O tempo total entre a 2ª e a 3ª colisão será:

$$\Delta t_{2,3} = 1{,}6 \,.\, 0{,}8\ (s) = 1{,}28s$$

A velocidade após a 2ª colisão será:

$$|V_2| = 0{,}8\,|V_1| = 0{,}8 \,.\, 8{,}0\ (m/s) = 6{,}4m/s$$

Com os dados obtidos, construímos o gráfico



b) Nas três primeiras colisões, teremos:

1ª colisão: $|V_1| = 0,8\ |V| = 8,0m/s$

2ª colisão: $|V_2| = 0,8\ |V_1| = 6,4m/s$

3ª colisão: $|V_3| = 0,8\ |V_2|$

$$\boxed{|V_3| = 5,12m/s}$$

c) Os pontos que correspondem à velocidade imediatamente antes de cada colisão estão alinhados e, portanto, a partir do gráfico, unindo esses pontos, obtemos o instante T em que a velocidade se anula.

$$\boxed{T = 9,0s}$$

Observação*: Poderíamos obter o valor de T sem ser pelo gráfico, como segue:*

Seja $t_1 = 1,0s$ *o tempo gasto até a 1ª colisão.*

Entre a 1ª e a 2ª colisão: $\Delta t_{12} = 0,8s + 0,8s = 1,6s$

Entre a 2ª e a 3ª colisão: $\Delta t_{23} = 1,6\ .\ 0,8(s) = 1,28s$

Entre a 3ª e a 4ª colisão: $\Delta t_{34} = 1,28\ .\ 0,8(s) = 1,024s$

Portanto, após a 1ª colisão, o tempo total é a soma S dos termos de uma progressão geométrica ilimitada com primeiro termo $a_1 = 1,6s$ *e razão* $q = 0,8$.

Isto posto, temos:

$$T = t_1 + S$$

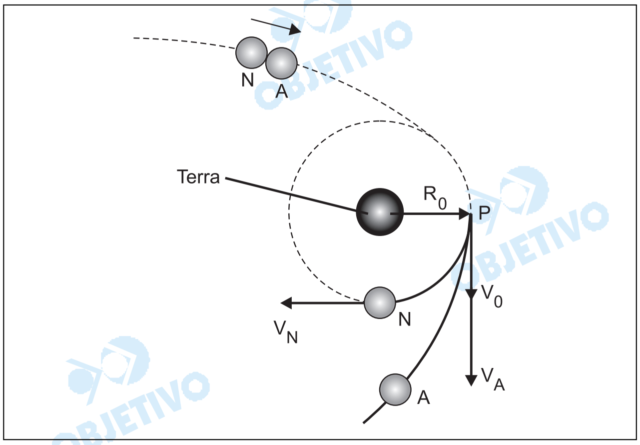
$$\text{Porém } S = \frac{a_1}{1-q} = \frac{1,6}{1-0,8}(s) = \frac{1,6}{0,2}(s) = 8,0s$$

$$T = 1,0 + 8,0(s) \Rightarrow \boxed{T = 9,0s}$$

o que confirma o valor obtido pelo gráfico.

4

Alienígenas desejam observar o nosso planeta. Para tanto, enviam à Terra uma nave **N**, inicialmente ligada a uma nave auxiliar **A**, ambas de mesma massa. Quando o conjunto de naves se encontra muito distante da Terra, sua energia cinética e sua energia potencial gravitacional são muito pequenas, de forma que a energia mecânica total do conjunto pode ser considerada nula. Enquanto o conjunto é acelerado pelo campo gravitacional da Terra, sua energia cinética aumenta e sua energia potencial fica cada vez mais negativa, conservando a energia total nula. Quando o conjunto **N-A** atinge, com velocidade $\mathbf{V_0}$ (a ser determinada), o ponto **P** de máxima aproximação da Terra, a uma distância $\mathbf{R_0}$ de seu centro, um explosivo é acionado, separando **N** de **A**. A nave **N** passa a percorrer, em torno da Terra, uma órbita circular de raio $\mathbf{R}_0$, com velocidade $\mathbf{V_N}$ (a ser determinada). A nave auxiliar **A**, adquire uma velocidade $\mathbf{V_A}$ (a ser determinada). Suponha que a Terra esteja isolada no espaço e em repouso.



NOTE/ADOTE

1) A força de atração gravitacional **F**, entre um corpo de massa **m** e o planeta Terra, de massa **M**, é dada por $\mathbf{F = \dfrac{GMm}{R^2} = mg_R}$.
2) A energia potencial gravitacional $\mathbf{E_P}$ do sistema formado pelo corpo e pelo planeta Terra, com referencial de potencial zero no infinito, é dada por: $\mathbf{E_P = \dfrac{-GMm}{R}}$.

G: constante universal da gravitação.
R: distância do corpo ao centro da Terra.
$\mathbf{g_R}$: aceleração da gravidade à distância R do centro da Terra.

Determine, em função de **M**, **G** e $\mathbf{R_0}$,

a) a velocidade $\mathbf{V_0}$ com que o conjunto atinge o ponto **P**.

b) a velocidade $\mathbf{V_N}$, de **N**, em sua órbita circular .

c) a velocidade $\mathbf{V_A}$, de **A**, logo após se separar de **N**.

Resolução

a) Usando-se a conservação de energia mecânica do sistema formado pelas duas naves, antes da explosão, entre o ponto muito afastado (infinito) e o ponto P, vem:

$$E_\infty = E_P$$

$$0 = \frac{-GM2m}{R_0} + \frac{2m}{2} V_0^2$$

*onde **m** é a massa de cada nave.*

$$\frac{V_0^2}{2} = \frac{GM}{R_0} \Rightarrow \boxed{V_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R_0}}}$$

b) Para a nave em órbita circular e movimento uniforme em torno do centro da Terra, teremos:

$$F_G = F_{cp}$$

$$\frac{GMm}{R_0^2} = \frac{mV_N^2}{R_0}$$

$$\boxed{V_N = \sqrt{\frac{GM}{R_0}}}$$

c) No ato da explosão o sistema é isolado e haverá conservação da quantidade de movimento total do sistema

$$\vec{Q}_{após} = \vec{Q}_{antes}$$

$$m\,V_N + m\,V_A = 2m\,V_0$$

$$V_N + V_A = 2V_0$$

$$V_A = 2V_0 - V_N$$

$$V_A = 2\sqrt{\frac{2GM}{R_0}} - \sqrt{\frac{GM}{R_0}}$$

$$V_A = \sqrt{\frac{8GM}{R_0}} - \sqrt{\frac{GM}{R_0}}$$

$$\boxed{V_A = (\sqrt{8} - 1)\sqrt{\frac{GM}{R_0}}}$$

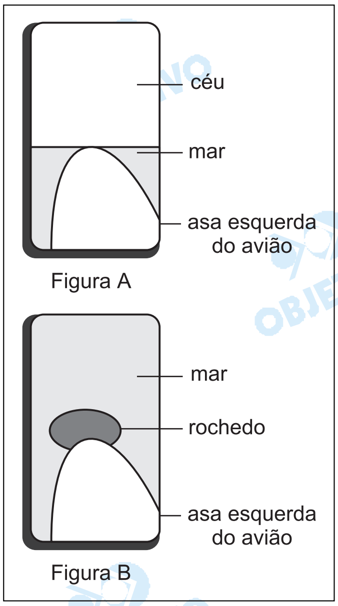
Respostas:

a) $V_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R_0}}$

b) $V_N = \sqrt{\frac{GM}{R_0}}$

c) $V_A = (\sqrt{8} - 1)\sqrt{\frac{GM}{R_0}}$

5



Um avião voa horizontalmente sobre o mar com velocidade **V** constante (a ser determinada). Um passageiro, sentado próximo ao centro de massa do avião, observa que a superfície do suco de laranja, que está em um copo sobre a bandeja fixa ao seu assento, permanece paralela ao plano da bandeja.

Estando junto à janela, e olhando numa direção perpendicular à da trajetória do avião, o passageiro nota que a ponta da asa esquerda do avião tangencia a linha do horizonte, como mostra a figura A. O piloto anuncia que, devido a um problema técnico, o avião fará uma curva de **180°** para retornar ao ponto de partida. Durante a curva, o avião se inclina para a esquerda, de um ângulo θ **= 30°**, sem que haja alterações no módulo de sua velocidade e na sua altura. O passageiro, olhando sempre na direção perpendicular à da velocidade do avião, observa que a ponta da asa esquerda permanece durante toda a curva apontando para um pequeno rochedo que aflora do mar, como representado na figura B. O passageiro também nota que a superfície do suco permaneceu paralela à bandeja, e que o avião percorreu a trajetória semi-circular de raio **R** (a ser determinado), em **90s**. Percebe, então, que com suas observações, e alguns conhecimentos de Física que adquiriu no Ensino Médio, pode estimar a altura e a velocidade do avião.

NOTE/ADOTE

π **= 3**; **sen30° = 0,5**; **cos30° = 0,86**; **tg30° = 0,6 = = 1/1,7**

Aceleração da gravidade: $\mathbf{g = 10 m.s^{-2}}$

As distâncias envolvidas no problema são grandes em relação às dimensões do avião.

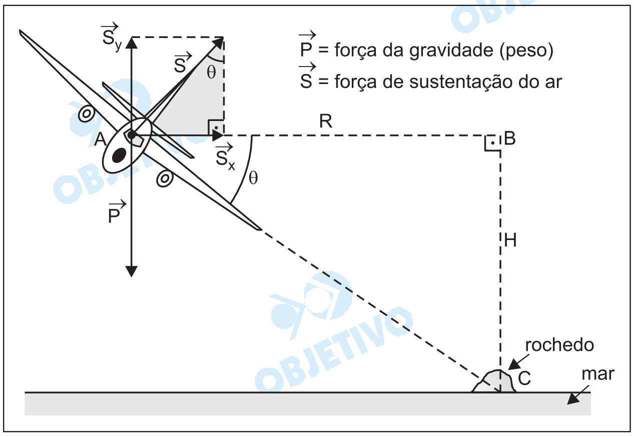
a) Encontre uma relação entre **V**, **R**, **g** e θ , para a situação descrita.

b) Estime o valor da velocidade **V** do avião, em km/h ou m/s.

c) Estime o valor da altura **H**, acima do nível do mar, em metros, em que o avião estava voando.

Resolução

a) Durante a curva, o avião pode ser representado como fazemos a seguir.



No triângulo retângulo destacado, temos:

$$tg\ \theta = \frac{S_x}{S_y} = \frac{F_{cp}}{P} \Rightarrow tg\ \theta = \frac{\frac{mV^2}{R}}{mg}$$

$$\boxed{tg\ \theta = \frac{V^2}{gR}}$$

b) A curva em forma de semicircunferência tem comprimento $\Delta s = \pi R$ e é percorrida durante $\Delta t = 90s$.

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow V = \frac{\pi R}{\Delta t}$$

$$V = \frac{3R}{90} \Rightarrow \boxed{R = 30V}\ (SI)$$

Substituindo-se o valor de R na expressão de V, vem:

$$V = \sqrt{g\ R\ tg\ \theta} \Rightarrow V = \sqrt{10 . 30V . 0,6}\ \ (SI)$$

$$V^2 = 180V$$

como $V \neq 0$, vem:

$$\boxed{V = 180m/s = 648km/h}$$

c) O valor do raio da curva fica determinado por:

$$R = 30 . 180\ (m) \Rightarrow \boxed{R = 5400m}$$

Retomando-se a figura anterior e considerando-se o triângulo retângulo ABC, calculamos a altura H do avião.

$$tg\ \theta = \frac{H}{R} \Rightarrow 0,6 = \frac{H}{5400}$$

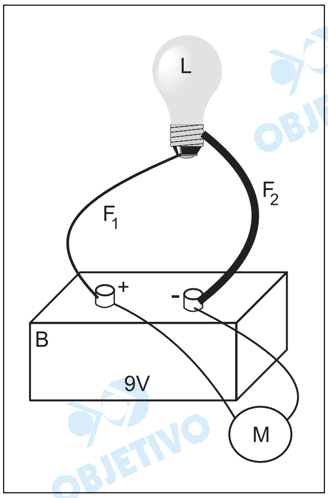
$$\boxed{H = 3240m}$$

Respostas: a) $tg\ \theta = \dfrac{V^2}{gR}$

b) 180m/s ou 648km/h

c) 3240m

6



Uma lâmpada **L** está ligada a uma bateria **B** por 2 fios, $\mathbf{F_1}$ e $\mathbf{F_2}$, de mesmo material, de comprimentos iguais e de diâmetros **d** e **3d**, respectivamente. Ligado aos terminais da bateria, há um voltímetro ideal **M** (com resistência interna muito grande), como mostra a figura. Nestas condições a lâmpada está acesa, tem resistência $\mathbf{R_L = 2{,}0\Omega}$ e dissipa uma potência igual a **8,0W**. A força eletromotriz da bateria é $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{9{,}0V}$ e a resistência do fio $\mathbf{F_1}$ é $\mathbf{R_1 = 1{,}8\Omega}$.

Determine o valor da

a) corrente **I** , em ampères, que percorre o fio $\mathbf{F_1}$.

b) potência $\mathbf{P_2}$, em watts, dissipada no fio $\mathbf{F_2}$.

c) diferença de potencial $\mathbf{V_M}$, em volts, indicada pelo voltímetro **M**.

Resolução

a) A corrente I que percorre o fio F_1 é a mesma que atravessa a lâmpada. Nestas condições, sendo $P = 8{,}0W$ e $R_L = 2{,}0\Omega$, a potência e a resistência elétrica da lâmpada, respectivamente, vem:

$$P = R_L \,.\, I^2 \Rightarrow 8{,}0 = 2{,}0 \,.\, I^2 \quad \text{Donde: } \boxed{I = 2{,}0A}$$

b) Pela 2ª Lei de Ohm, temos:

$$R_1 = \rho \,.\, \frac{\ell}{A_1} \Rightarrow R_1 = \rho \,.\, \frac{\ell}{\dfrac{\pi d^2}{4}} \quad ① \text{ e}$$

$$R_2 = \rho \,.\, \frac{\ell}{A_2} \Rightarrow R_2 = \rho \,.\, \frac{\ell}{\dfrac{\pi 9d^2}{4}} \quad ②$$

De ① e ②, vem: $R_2 = \dfrac{1}{9} \,.\, R_1$

$$R_2 = \frac{1}{9} \,.\, 1{,}8\Omega \Rightarrow R_2 = 0{,}20\Omega$$

A potência P_2 dissipada pelo fio F_2 é igual a:

$P_2 = R_2 \cdot I^2 \Rightarrow P_2 = 0{,}20 \cdot (2{,}0)^2\ (W) \Rightarrow \boxed{P_2 = 0{,}80W}$

c) *A diferença de potencial V_M, indicada pelo voltímetro, é dada por:*

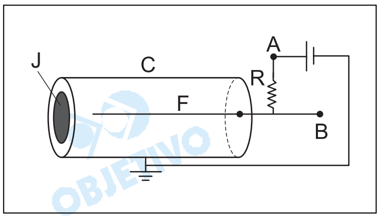
$V_M = (R_1 + R_L + R_2) \cdot I$

$V_M = (1{,}8 + 2{,}0 + 0{,}20) \cdot 2{,}0\ (V)$

Donde: $\boxed{V_M = 8{,}0V}$

Respostas: *a) 2,0A*
b) 0,80W
c) 8,0V

7



A figura representa uma câmara fechada **C**, de parede cilíndrica de material condutor, ligada à terra. Em uma de suas extremidades, há uma película **J**, de pequena espessura, que pode ser atravessada por partículas. Coincidente com o eixo da câmara, há um fio condutor **F** mantido em potencial positivo em relação à terra. O cilindro está preenchido com um gás de tal forma que partículas alfa, que penetram em **C**, através de **J**, colidem com moléculas do gás podendo arrancar elétrons das mesmas. Neste processo, são formados íons positivos e igual número de elétrons livres que se dirigem, respectivamente, para **C** e para **F**. O número de pares elétron-ion formados é proporcional à energia depositada na câmara pelas partículas alfa, sendo que para cada **30eV** de energia perdida por uma partícula alfa, um par é criado. Analise a situação em que um número **n = 2x10^4** partículas alfa, cada uma com energia cinética igual a **4,5MeV**, penetram em **C**, a cada segundo, e lá perdem toda a sua energia cinética. Considerando que apenas essas partículas criam os pares elétron-ion, determine

NOTE/ADOTE
1) A carga de um elétron é **$e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C**
2) **elétron-volt (eV)** é uma unidade de energia
3) 1 MeV = 10^6 eV

a) o número **N** de elétrons livres produzidos na câmara **C** a cada segundo.
b) a diferença de potencial **V** entre os pontos **A** e **B** da figura, sendo a resistência **R = 5 x 10^7 Ω**.

Resolução

a) *A cada segundo $2 \cdot 10^4$ partículas alfa penetram na câmara C, cada uma com energia cinética 4,5 MeV. Assim, a energia cinética total em 1s, com que as partículas alfa penetram na câmara, é de:*
$2 \cdot 10^4 \cdot 4{,}5$ MeV $= 9{,}0 \cdot 10^{10}$ eV

Para cada 30eV, é produzido um elétron livre. Logo, o número N de elétrons livres produzido na câmara C, a cada segundo, lembrando-se de que a energia cinética final das partículas α é nula, será:

$$N = \frac{9{,}0 \,.\, 10^{10}eV}{30\,eV} \Rightarrow \boxed{N = 3{,}0.10^{9} \text{ elétrons livres por segundo}}$$

b) Vamos calcular, inicialmente, a intensidade da corrente que percorre o circuito:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad i = N \,.\, e$$

$$i = 3{,}0 \,.\, 10^{9} \,.\, 1{,}6 \,.\, 10^{-19} \text{ (A)} \Rightarrow i = 4{,}8 \,.\, 10^{-10}A$$

A diferença de potencial V, entre os pontos A e B, é calculada pela 1ª Lei de Ohm:

$$V = R \,.\, i \quad \Rightarrow \quad V = 5 \,.\, 10^{7} \,.\, 4{,}8 \,.\, 10^{-10} \text{ (volt)}$$

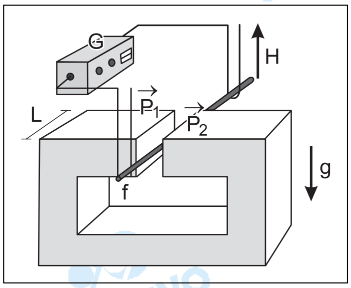
Donde: $\boxed{V = 2{,}4 \,.\, 10^{-2} \text{ volt}}$

Respostas:

a) $3{,}0 \,.\, 10^{9}$ elétrons livres por segundo

b) $2{,}4 \,.\, 10^{-2}$ V

8



O ímã representado na figura, com largura **L = 0,20 m**, cria, entre seus pólos, $\mathbf{P_1}$ e $\mathbf{P_2}$, um campo de indução magnética **B**, horizontal, de intensidade constante e igual a **1,5T**. Entre os pólos do ímã, há um fio condutor **f**, com massa $\mathbf{m = 6{,}0 \times 10^{-3}}$ **kg**, retilíneo e horizontal, em uma direção perpendicular à do campo **B**. As extremidades do fio, fora da região do ímã, estão apoiadas e podem se mover ao longo de guias condutores, verticais, ligados a um gerador de corrente **G**. A partir de um certo instante, o fio **f** passa a ser percorrido por uma corrente elétrica constante **I = 50A**.

Nessas condições, o fio sofre a ação de uma força F_0, na direção vertical, que o acelera para cima. O fio percorre uma distância vertical **d = 0,12 m**, entre os pólos do ímã e, a seguir, se desconecta dos guias, prosseguindo em movimento livre para cima, até atingir uma altura máxima **H**.

NOTE/ADOTE

1) Um fio condutor retilíneo, de comprimento **C**, percorrido por uma corrente elétrica **I**, totalmente inserido em um campo de indução magnética de módulo **B**, perpendicular à direção do fio, fica sujeito a uma força **F**, de módulo igual a **BIC**, perpendicular à direção de **B** e à direção do fio.
2) Aceleração da gravidade $\mathbf{g = 10 m.s^{-2}}$
3) Podem ser desprezados os efeitos de borda do campo **B**, o atrito entre o fio e os guias e a resistência do ar.

Determine

a) o valor da força eletromagnética $\mathbf{F_0}$, em newtons, que age sobre o fio.

b) o trabalho total τ, em joules, realizado pela força $\mathbf{F_0}$.

c) a máxima altura **H**, em metros, que o fio alcança, medida a partir de sua posição inicial.

Resolução

a) A força eletromagnética $\vec{F_0}$ que age sobre o fio tem intensidade dada por:

$$F_0 = B \,.\, I \,.\, C$$

Sendo B = 1,5T, I = 50A e C = 0,20m, vem:

$F_0 = 1{,}5 \,.\, 50 \,.\, 0{,}20$ (N)

Donde: $\boxed{F_0 = 15N}$

b) Sendo $\vec{F_0}$ constante, o seu trabalho é dado por:

$\tau_{F_0} = F_0 \,.\, d \,.\, \cos 0°$

$\tau_{F_0} = 15 \,.\, 0{,}12 \,.\, 1$ (J)

Donde: $\boxed{\tau_{F_0} = 1{,}8J}$

c) Aplicando-se o teorema da energia cinética entre a posição inicial ($V_0 = 0$) e a posição final ($V = 0$) do fio, vem:

$\tau_{total} = \Delta E_{cin}$

$\tau_{F_0} + \tau_P = 0$

$\tau_{F_0} - m\,g\,H = 0$

$\tau_{F_0} = m\,g\,H$

$$H = \frac{\tau_{F_0}}{m\,g} = \frac{1{,}8}{6{,}0 \,.\, 10^{-3} \,.\, 10} \text{ (m)}$$

$H = 0{,}30 \,.\, 10^2$ (m)

$\boxed{H = 30m}$

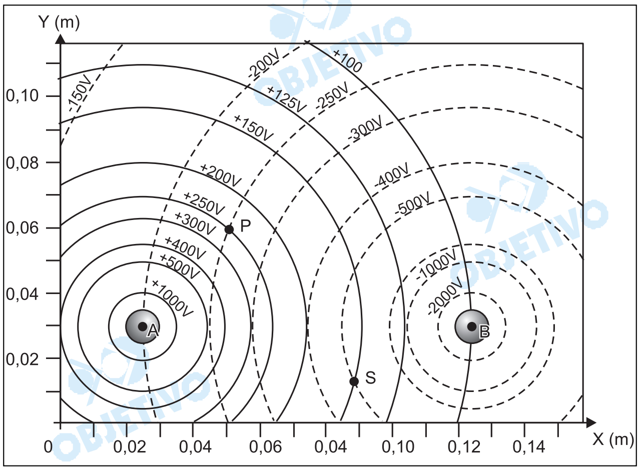
Respostas: *a)* $F_0 = 15N$
b) $\tau_{F_0} = 1{,}8J$
c) $H = 30m$

9

Duas pequenas esferas metálicas, **A** e **B**, são mantidas em potenciais eletrostáticos constantes, respectivamente, positivo e negativo. As linhas cheias do gráfico na folha de resposta representam as intersecções, com o plano do papel, das superfícies equipotenciais esféricas geradas por **A**, quando não há outros objetos nas proximidades. De forma análoga, as linhas tracejadas representam as intersecções com o plano do papel, das superfícies equipotenciais geradas por **B**. Os valores dos potenciais elétricos dessas superfícies estão indicados no gráfico. As questões se referem à situação em que **A** e **B** estão na presença uma da outra, nas posições indicadas no gráfico, com seus centros no plano do papel.

NOTE/ADOTE
Uma esfera com carga **Q** gera, fora dela, a uma distância **r** do seu centro, um potencial **V** e um campo elétrico de módulo **E**, dados pelas expressões:
$\mathbf{V = K\,(Q/r)}$ $\mathbf{E = K\,(Q/r^2) = V/r}$
K = constante; 1 volt / metro = 1 newton / coloumb

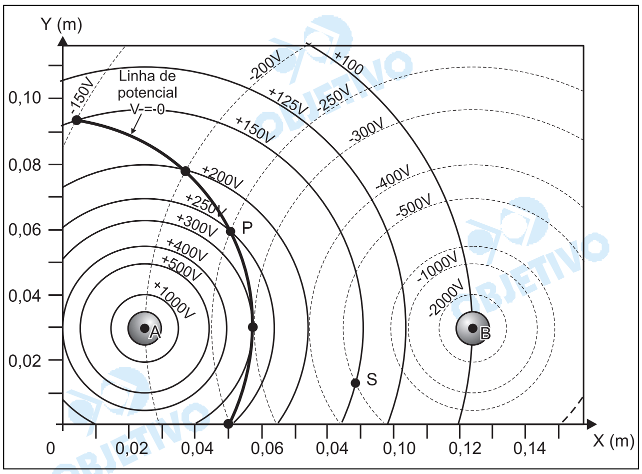
a) Trace, **com caneta**, em toda a extensão do gráfico da folha de respostas, a linha de potencial **V = 0**, quando as duas esferas estão nas posições indicadas. Identifique claramente essa linha por **V = 0**.
b) Determine, em volt / metro, utilizando dados do gráfico, os módulos dos campos elétricos E_{PA} e E_{PB} criados, no ponto **P**, respectivamente, pelas esferas **A** e **B**.
c) Represente, em uma escala conveniente, no gráfico, com origem no ponto **P**, os vetores E_{PA}, E_{PB} e o vetor campo elétrico E_P resultante em **P**. Determine, a partir desta construção gráfica, o módulo de E_P, em volt / metro.
d) Estime o módulo do valor do trabalho τ, em joules, realizado quando uma pequena carga **q = 2,0nC** é levada do ponto **P** ao ponto **S**, indicados no gráfico. **(2,0nC = 2,0 nanocoulombs = 2,0 x 10^{-9} C).**



Resolução

a) *Sendo o potencial elétrico resultante igual à soma algébrica dos potenciais gerados pelas esferas eletrizadas, para determinarmos a linha de potencial resultante V = 0, basta encontrarmos os pontos de encontro das linhas equipotenciais, cujos potenciais têm mesmo valor absoluto e sinais opostos.*

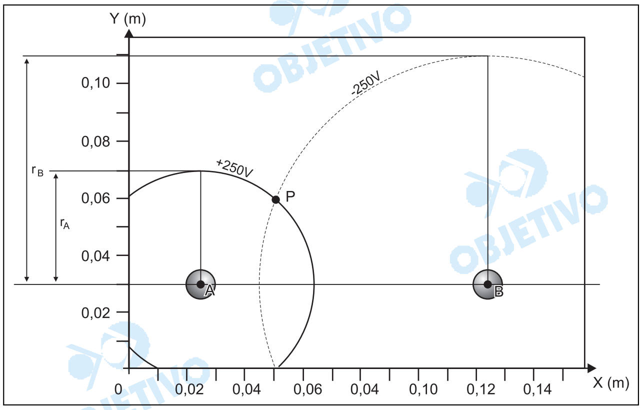
Assim, temos:



b) *Sejam:*

r_A = *distância do centro de A ao ponto P*

r_B = *distância do centro de B ao ponto P*



Do gráfico tiramos:

$r_A \cong 0,04m$

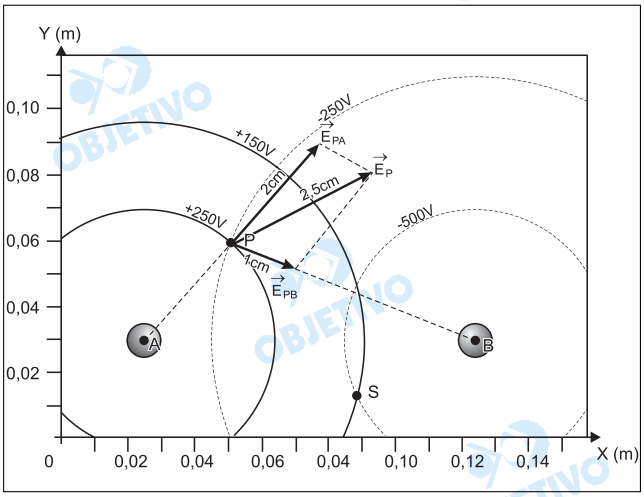
$r_B \cong 0,08m$

Sendo: $E = \dfrac{|V|}{r}$, *vem:*

$$E_{PA} \cong \frac{250V}{0,04m} \Rightarrow \boxed{E_{PA} \cong 6,25 \cdot 10^3 \frac{V}{m}}$$

$$E_{PB} \cong \frac{250V}{0,08m} \Rightarrow \boxed{E_{PB} \cong 3,125 \cdot 10^3 \frac{V}{m}}$$

c) *Representando-se o módulo do vetor campo elétrico* $\vec{E}_{PB}$ *por um segmento de 1cm e sendo* $E_{PA} = 2E_{PB}$, *o vetor campo elétrico* $\vec{E}_{PB}$ *é representado por um* *segmento de 2cm. Assim, tem-se:*



$\vec{E}_{PA}$*: campo de "afastamento"*

$\vec{E}_{PB}$*: campo de "aproximação"*

$\vec{E}_{P}$*: vetor campo resultante*

Na escala utilizada, $\vec{E}_P$ *é representado por um segmento de 2,5 cm. Assim, temos:*

$$1\ cm \ \rightarrow E_{PB}$$
$$2{,}5\ cm \rightarrow E_P$$

$$E_P = 2{,}5 \ . \ E_{PB} = 2{,}5 \ . \ 3{,}125 \ . \ 10^3 \left(\frac{V}{m}\right)$$

Donde: $\boxed{E_P \cong 7{,}81 \ . \ 10^3 \ \frac{V}{m}}$

d) De $\tau = q \ . \ (V_P - V_S)$ *e sendo* $q = 2{,}0 \ . \ 10^{-9}C$,

$V_P = +250V + (-250)V = 0$

$V_S = +150V + (-500)V = -350V$, *vem:*

$\tau = 2{,}0 \ . \ 10^{-9} \ [0 - (-350)] \ (J)$

$$\boxed{\tau = 7{,}0 \ . \ 10^{-7}J}$$

Respostas: *a) ver figura*
b) $6{,}25 \ . \ 10^3 V/m$ *e* $3{,}125 \ . \ 10^3 V/m$
c) $7{,}81 \ . \ 10^3 V/m$
d) $7{,}0 \ . \ 10^{-7} J$

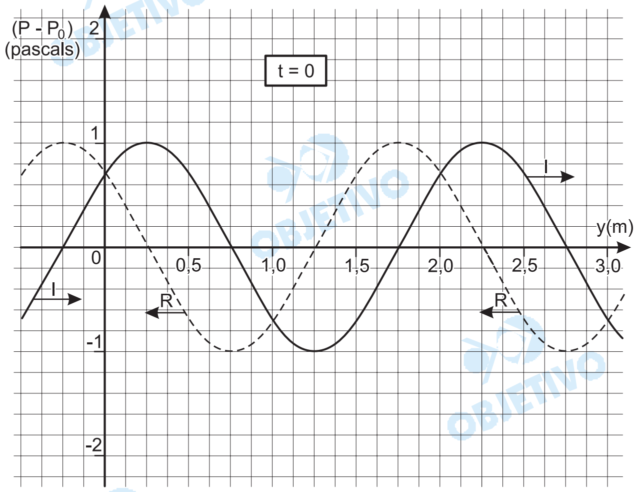
10

Uma onda sonora plana se propaga, em uma certa região do espaço, com velocidade **V = 340m/s**, na direção e sentido do eixo **y**, sendo refletida por uma parede plana perpendicular à direção de propagação e localizada à direita da região representada no gráfico da folha de respostas. As curvas **I** e **R** desse gráfico representam, respectivamente, para as ondas sonoras incidente e refletida, a diferença entre a pressão **P** e a pressão atmosférica $\mathbf{P_0}$, ($\mathbf{P - P_0}$), em função da coordenada **y**, no instante **t = 0**. As flechas indicam o sentido de propagação dessas ondas.

a) Determine a freqüência f da onda incidente.

b) Represente, com caneta, no gráfico da folha de respostas, a curva de $\mathbf{P - P_0}$, em função de **y**, no instante **t = 0**, para a onda sonora resultante da superposição, nesta região do espaço, das ondas incidente e refletida. (Represente ao menos um ciclo completo).

c) Uma pessoa caminhando lentamente ao longo da direção **y** percebe, com um de seus ouvidos (o outro está tapado), que em algumas posições o som tem intensidade máxima e em outras tem intensidade nula. Determine uma posição $\mathbf{y_0}$ e outra $\mathbf{y_m}$, do ouvido, onde o som tem intensidade nula e máxima, respectivamente. Encontre, para a onda resultante, o valor da amplitude $\mathbf{A_m}$, de $\mathbf{P - P_0}$, em pascals, na posição $\mathbf{y_m}$.



Resolução

a) Do gráfico, obtemos o comprimento de onda λ, que corresponde à distância que separa dois pontos vibrantes intercalados por um ciclo.

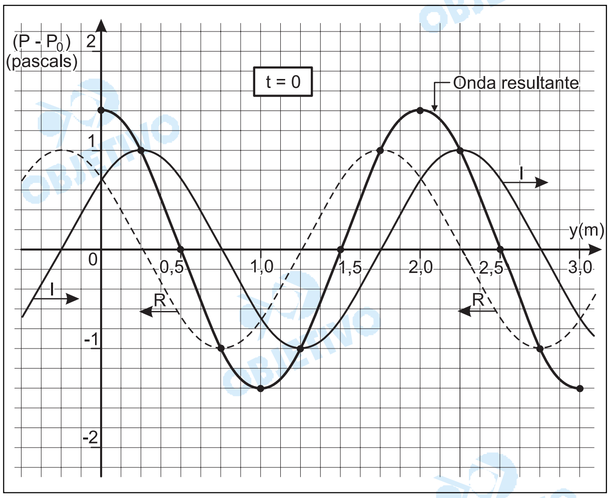
$$\lambda = 2{,}0m$$

Da Relação Fundamental da Ondulatória ($v = \lambda\, f$), determinamos a freqüência da onda incidente.

$$V = \lambda\, f \Rightarrow 340 = 2{,}0f$$

$$\boxed{f = 170\ s^{-1} = 170Hz}$$

b) A onda sonora resultante da superposição das ondas I e R é obtida somando-se algebricamente os efeitos individuais de I e R ao longo do eixo y.
Na figura a seguir, está representada a onda sonora resultante.



c) A intensidade do som percebido pela pessoa é nula nos locais onde $P - P_0 = 0$. Assim, temos:

$$y_{0_1} = 0,5m; \quad y_{0_2} = 1,5m; \quad y_{0_3} = 2,5m \ldots$$

Por outro lado, a intensidade do som percebido pela pessoa é máxima nos locais onde $| P - P_0 |$ tem valor máximo.
Assim, temos:

$$y_{m_1} = 0; \quad y_{m_2} = 1,0m; \quad y_{m_3} = 2,0m \ldots$$

O valor A_m pedido é dado por:

$$A_m = (1,0 + 1,0) \text{ pascals} \Rightarrow \boxed{A_m = 2,0 \text{ pascals}}$$

Respostas: a) 170Hz;
b) Ver gráfico;
c) $y_0 = 0,5m$; $y_m = 0$; $A_m = 2,0$ pascals