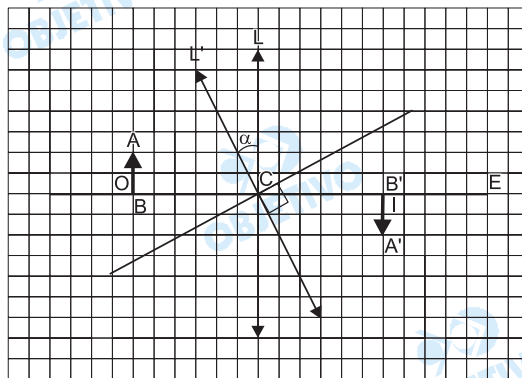


# FÍSICA

1

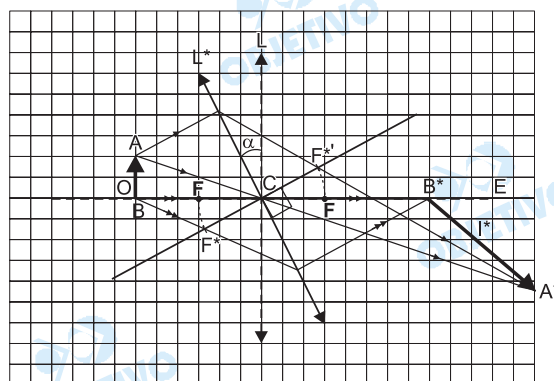
A figura na folha de respostas representa, na linguagem da óptica geométrica, uma lente **L** de eixo **E** e centro **C**, um objeto **O** com extremidades **A** e **B**, e sua imagem **I** com extremidades **A'** e **B'**. Suponha que a lente **L** seja girada de um ângulo  $\alpha$  em torno de um 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.

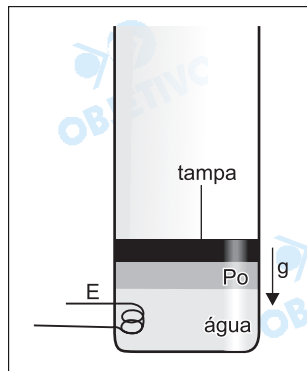
- Indique com a letra **F** as posições dos focos da lente **L**.
- Represente, na mesma figura, a nova imagem **I\*** do objeto **O**, gerada pela lente **L\***, assinalando os extremos de **I\*** por **A\*** e por **B\***.



## Resolução

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





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  **$P_0 = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$** . Ligando-se o aquecedor, a água esquentando até atingir, depois de um intervalo de tempo  **$t_A$** , 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  **$t_B$** , o aquecedor é desligado. Neste processo, **0,27 mol** de água passou ao estado de vapor.

**NOTE/ADOTE**  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$

Calor específico da água: **4.000 J/(°C.kg)**

Na temperatura de **100°C** e à pressão de  **$1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$** , 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

- o intervalo de tempo  **$t_A$** , em segundos, necessário para levar a água até a ebulição.
- o intervalo de tempo  **$t_B$** , em segundos, necessário para evaporar **0,27 mol** de água.
- o trabalho  **$\tau$** , em joules, realizado pelo vapor de água durante o processo de ebulição.

**Resolução**

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

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

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = Pot \cdot \Delta t$$

Assim:

$$Pot \cdot \Delta t = m c \Delta\theta$$

Substituindo-se os valores fornecidos, vem:

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

$$t_A = 200s$$

**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:

$$1800 \cdot t_B = 0,27 \cdot 40\,000$$

$$t_B = 6s$$

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

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

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

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

então:

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

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

**Respostas:** a) 200s

b) 6s

c) 810J

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

### 3

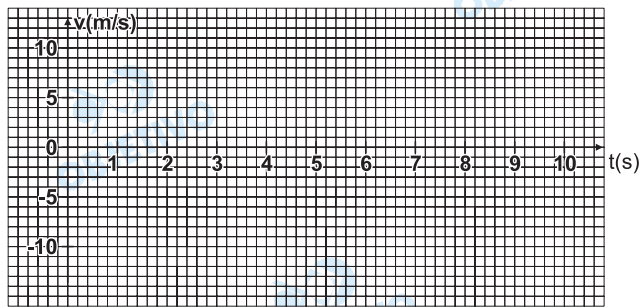
Considere uma bolinha, de pequeno raio, abandonada de uma certa altura, no instante  $t = 0$ , a partir do repouso, acima de uma pesada placa metálica horizontal. A bolinha atinge a placa, pela primeira vez, com velocidade  $V = 10 \text{ m/s}$ , perde parte de sua energia cinética, volta a subir verticalmente 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  $g = 10\text{m/s}^2$ . 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  $V_3$  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:

$$V = V_0 + \gamma t \text{ (MUV)}$$

$$-10 = 0 - 10 t_1$$

$$t_1 = 1,0s$$

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

$$|V_1| = e |V|$$

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

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

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

3) O tempo gasto na subida é dada por:

$$V = V_0 + \gamma t$$

$$0 = V_0 - g t_S$$

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

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:

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

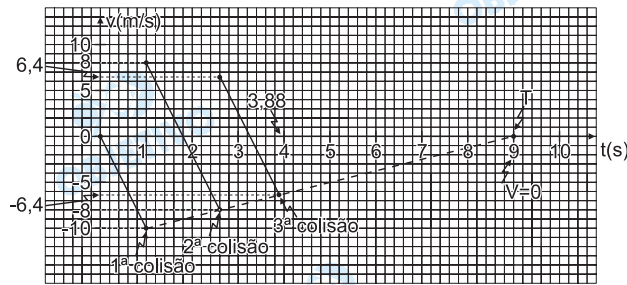
O tempo total entre a 2ª e a 3ª colisão será:

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

A velocidade após a 2ª colisão será:

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

Com os dados obtidos, construímos o gráfico



b) Nas três primeiras colisões, teremos:

$$1^{\text{a}} \text{ colisão: } |V_1| = 0,8 \quad |V| = 8,0 \text{ m/s}$$

$$2^{\text{a}} \text{ colisão: } |V_2| = 0,8 \quad |V_1| = 6,4 \text{ m/s}$$

$$3^{\text{a}} \text{ colisão: } |V_3| = 0,8 \quad |V_2|$$

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

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.

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

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

Seja  $t_1 = 1,0 \text{ s}$  o tempo gasto até a 1ª colisão.

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

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

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

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

Isto posto, temos:

$$T = t_1 + S$$

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

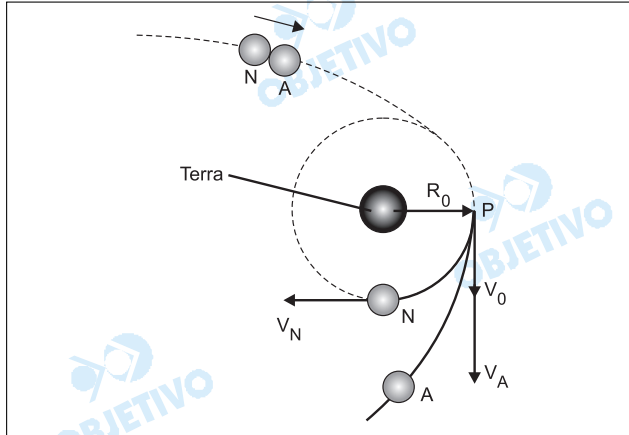
$$T = 1,0 + 8,0 \text{ (s)} \Rightarrow T = 9,0 \text{ s}$$

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  $\mathbf{P}$  de máxima aproximação da Terra, a uma distância  $\mathbf{R}_0$  de seu centro, um explosivo é acionado, separando  $\mathbf{N}$  de  $\mathbf{A}$ . A nave  $\mathbf{N}$  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  $\mathbf{A}$ , 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  $\mathbf{F}$ , entre um corpo de massa  $\mathbf{m}$  e o planeta Terra, de massa  $\mathbf{M}$ , é

$$\text{dada por } \mathbf{F} = \frac{\mathbf{GMm}}{\mathbf{R}^2} = \mathbf{mg}_R.$$

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:

$$\mathbf{E}_p = \frac{-\mathbf{GMm}}{\mathbf{R}}.$$

$\mathbf{G}$ : constante universal da gravitação.

$\mathbf{R}$ : distância do corpo ao centro da Terra.

$\mathbf{g}_R$ : aceleração da gravidade à distância  $\mathbf{R}$  do centro da Terra.

Determine, em função de  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{G}$  e  $\mathbf{R}_0$ ,

- a velocidade  $\mathbf{V}_0$  com que o conjunto atinge o ponto  $\mathbf{P}$ .
- a velocidade  $\mathbf{V}_N$ , de  $\mathbf{N}$ , em sua órbita circular.
- a velocidade  $\mathbf{V}_A$ , de  $\mathbf{A}$ , logo após se separar de  $\mathbf{N}$ .

#### 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  $\mathbf{P}$ , vem:

$$E_\infty = E_p$$

$$0 = \frac{-\mathbf{GM}2\mathbf{m}}{\mathbf{R}_0} + \frac{2\mathbf{m}}{2} \mathbf{V}_0^2$$

onde  $\mathbf{m}$  é a massa de cada nave.

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

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

$$F_G = F_{cp}$$

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

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

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

$$\vec{Q}_{após} = \vec{Q}_{antes}$$

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

$$V_N + V_A = 2V_0$$

$$V_A = 2V_0 - V_N$$

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

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

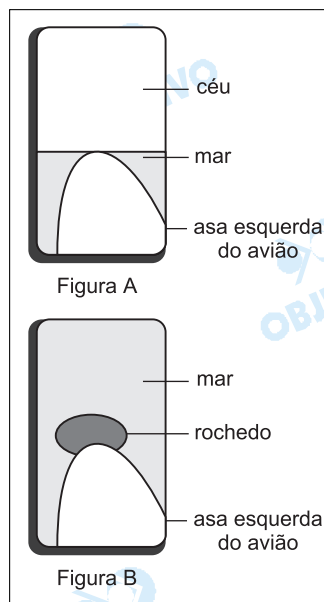
$$V_A = (\sqrt{8} - 1) \sqrt{\frac{GM}{R_0}}$$

Respostas:

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

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

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



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  $180^\circ$  para retornar ao ponto de partida. Durante a curva, o avião se inclina para a esquerda, de um ângulo  $\theta = 30^\circ$ , 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  $90\text{s}$ . 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**

$$\pi = 3; \text{sen}30^\circ = 0,5; \text{cos}30^\circ = 0,86; \text{tg}30^\circ = 0,6 = 1/1,7$$

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

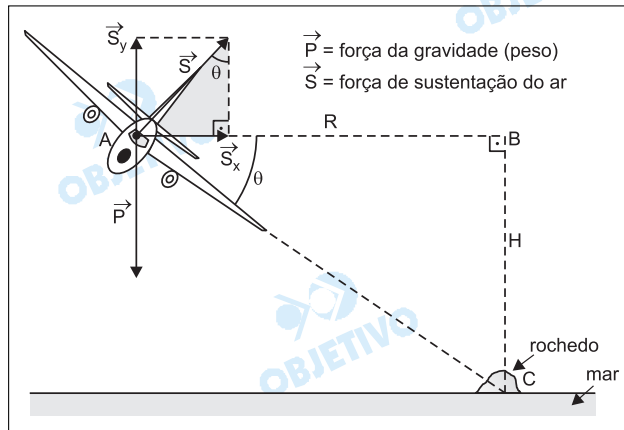
As distâncias envolvidas no problema são grandes em relação às dimensões do avião.

- Encontre uma relação entre  $V$ ,  $R$ ,  $g$  e  $\theta$ , para a situação descrita.
- Estime o valor da velocidade  $V$  do avião, em  $\text{km/h}$  ou  $\text{m/s}$ .
- Estime o valor da altura  $H$ , acima do nível do mar, em metros, em que o avião estava voando.

**Resolução**

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





No triângulo retângulo destacado, temos:

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

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

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

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

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

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

$$V = \sqrt{gR \operatorname{tg} \theta} \Rightarrow V = \sqrt{10 \cdot 30V \cdot 0,6} \text{ (SI)}$$

$$V^2 = 180V$$

como  $V \neq 0$ , vem:

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

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

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

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

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

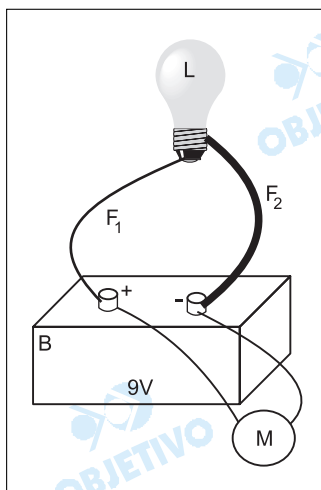
$$\boxed{H = 3240 \text{ m}}$$

**Respostas:** a)  $\text{tg } \theta = \frac{V^2}{gR}$

b) 180m/s ou 648km/h

c) 3240m

**6**



Uma lâmpada **L** está ligada a uma bateria **B** por 2 fios, **F<sub>1</sub>** e **F<sub>2</sub>**, 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 **R<sub>L</sub> = 2,0Ω** e dissipa uma potência igual a

**8,0W**. A força eletromotriz da bateria é **ε = 9,0V** e a resistência do fio **F<sub>1</sub>** é **R<sub>1</sub> = 1,8Ω**.

Determine o valor da

a) corrente **I**, em ampères, que percorre o fio **F<sub>1</sub>**.

b) potência **P<sub>2</sub>**, em watts, dissipada no fio **F<sub>2</sub>**.

c) diferença de potencial **V<sub>M</sub>**, em volts, indicada pelo voltímetro **M**.

**Resolução**

a) A corrente *I* que percorre o fio *F<sub>1</sub>* 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:

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

b) Pela 2ª Lei de Ohm, temos:

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

$$R_2 = \rho \cdot \frac{\ell}{A_2} \Rightarrow R_2 = \rho \cdot \frac{\ell}{\frac{\pi 9d^2}{4}} \quad \text{②}$$

De ① e ②, vem:  $R_2 = \frac{1}{9} \cdot R_1$

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

A potência *P<sub>2</sub>* dissipada pelo fio *F<sub>2</sub>* é igual a:

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

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

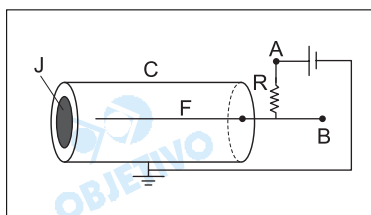
$$V_M = (R_1 + R_L + R_2) \cdot I$$

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

Donde:  $V_M = 8,0V$

**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  $n = 2 \times 10^4$  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)  $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

- 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  $R = 5 \times 10^7 \Omega$ .

**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:  
 $2 \cdot 10^4 \cdot 4,5 \text{ MeV} = 9,0 \cdot 10^{10} \text{ eV}$

Para cada  $30\text{eV}$ , 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  $\alpha$  é nula, será:

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

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

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow i = N \cdot e$$

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

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

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

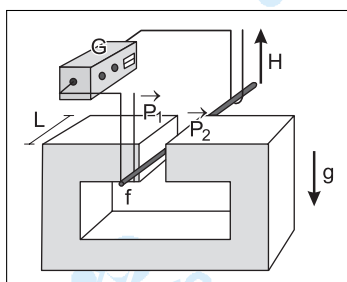
Donde:  $V = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ volt}$

**Respostas:**

a)  $3,0 \cdot 10^9$  elétrons livres por segundo

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

**8**



O ímã representado na figura, com largura  $L = 0,20 \text{ m}$ , cria, entre seus polos,  $P_1$  e  $P_2$ , um campo de indução magnética  $\mathbf{B}$ , horizontal, de intensidade constante e igual a  $1,5\text{T}$ . Entre os polos do ímã, há um fio

condutor  $f$ , com massa  $m = 6,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$ , retilíneo e horizontal, em uma direção perpendicular à do campo  $\mathbf{B}$ . 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  $\mathbf{G}$ . A partir de um certo instante, o fio  $f$  passa a ser percorrido por uma corrente elétrica constante  $I = 50\text{A}$ .

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  $d = 0,12 \text{ m}$ , entre os polos do ímã e, a seguir, se desconecta dos guias, prosseguindo em movimento livre para cima, até atingir uma altura máxima  $\mathbf{H}$ .

**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 **g = 10m.s<sup>-2</sup>**
- 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 **F<sub>0</sub>**, em newtons, que age sobre o fio.
- b) o trabalho total **τ**, em joules, realizado pela força **F<sub>0</sub>**.
- 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:

$$F_0 = B \cdot I \cdot C$$

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

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

Donde:  $F_0 = 15N$

- b) Sendo  $\vec{F}_0$  constante, o seu trabalho é dado por:

$$\tau_{F_0} = F_0 \cdot d \cdot \cos 0^\circ$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$H = 30m$

**Respostas:** a)  $F_0 = 15N$

b)  $\tau_{F_0} = 1,8J$

c)  $H = 30m$

Dois 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.

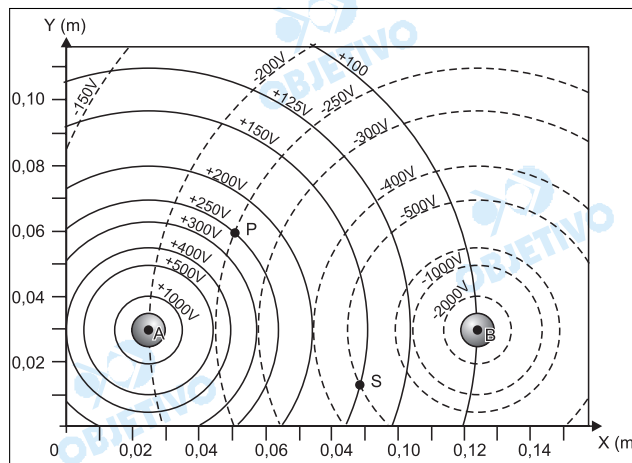
**NOTE/ADOTE**

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:

$$V = K (Q/r) \quad E = K (Q/r^2) = V/r$$

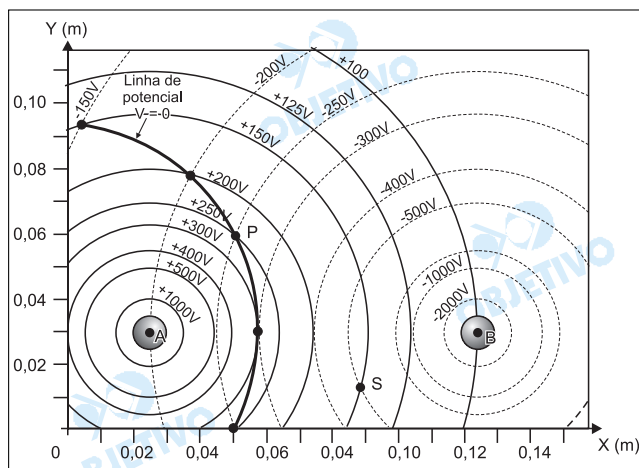
**K** = constante; 1 volt / metro = 1 newton / coulomb

- 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  $V = 0$ .
- 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**.
- 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.
- Estime o módulo do valor do trabalho  $\tau$ , em joules, realizado quando uma pequena carga  $q = 2,0nC$  é levada do ponto **P** ao ponto **S**, indicados no gráfico. ( $2,0nC = 2,0 \text{ nanocoulombs} = 2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ ).



### Resolução

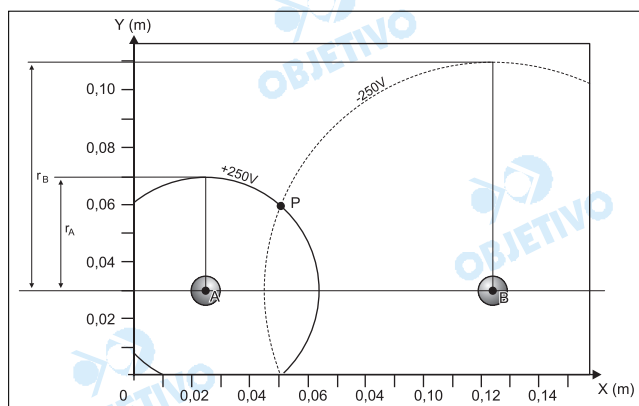
a) Sendo o potencial elétrico resultante igual à soma algébrica dos potenciais gerados pelas esferas eletrizadas, para determinarmos a linha de potencial resultante  $V = 0$ , basta encontrarmos os pontos de encontro das linhas equipotenciais, cujos potenciais têm mesmo valor absoluto e sinais opostos.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

$$r_A \cong 0,04\text{m}$$

$$r_B \cong 0,08\text{m}$$

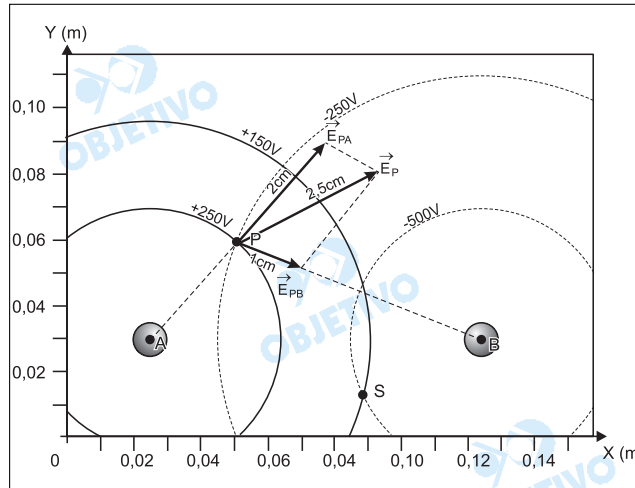
Sendo:  $E = \frac{|V|}{r}$ , vem:

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

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

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:

$$1 \text{ cm} \rightarrow E_{PB}$$

$$2,5 \text{ cm} \rightarrow E_P$$

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

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

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

$$V_P = +250\text{V} + (-250)\text{V} = 0$$

$$V_S = +150\text{V} + (-500)\text{V} = -350\text{V}, \text{ vem:}$$

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

$$\tau = 7,0 \cdot 10^{-7}\text{J}$$

**Respostas:** a) ver figura

b)  $6,25 \cdot 10^3\text{V/m}$  e  $3,125 \cdot 10^3\text{V/m}$

c)  $7,81 \cdot 10^3\text{V/m}$

d)  $7,0 \cdot 10^{-7}\text{J}$

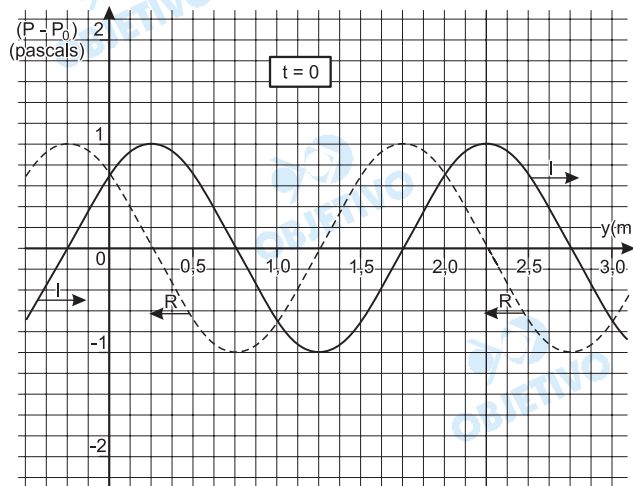
**10**

Uma onda sonora plana se propaga, em uma certa região do espaço, com velocidade  $\mathbf{V} = 340\text{m/s}$ , na direção e sentido do eixo  $\mathbf{y}$ , 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  $P_0$ ,  $(P - P_0)$ , em função da coordenada  $y$ , no instante  $t = 0$ . As flechas indicam o sentido de propagação dessas ondas.

- Determine a frequência  $f$  da onda incidente.
- Represente, com caneta, no gráfico da folha de respostas, a curva de  $P - P_0$ , 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).
- 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  $y_0$  e outra  $y_m$ , do ouvido, onde o som tem intensidade nula e máxima, respectivamente. Encontre, para a onda resultante, o valor da amplitude  $A_m$ , de  $P - P_0$ , em pascals, na posição  $y_m$ .



### Resolução

- Do gráfico, obtemos o comprimento de onda  $\lambda$ , que corresponde à distância que separa dois pontos vibrantes intercalados por um ciclo.

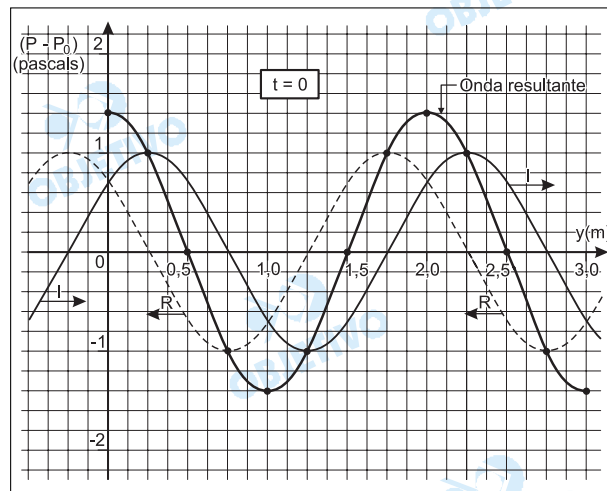
$$\lambda = 2,0\text{m}$$

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

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

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

- 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:

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

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

Assim, temos:

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

O valor  $A_m$  pedido é dado por:

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

**Respostas:** a) 170Hz;

b) Ver gráfico;

c)  $y_0 = 0,5\text{m}; y_m = 0; A_m = 2,0 \text{ pascals}$