

**Caso necessário, utilize os seguintes dados abaixo:**

**Constante gravitacional =**  
 $= 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

**Aceleração da gravidade =  $9,8 \text{ m/s}^2$**

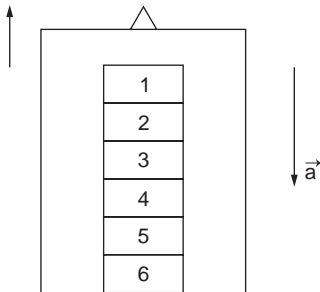
**Massa da Terra =  $6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$**

**Velocidade da luz =  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$**

As questões de **01 a 15 não devem ser resolvidas no caderno de respostas.** Para respondê-las, marque a opção escolhida para cada questão na **folha de leitura óptica** e na **folha de respostas** (que se encontra na última página do caderno de respostas).

## Questão 1

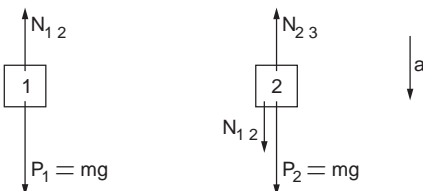
Uma pilha de seis blocos iguais, de mesma massa  $m$ , repousa sobre o piso de um elevador, como mostra a figura. O elevador está subindo em movimento uniformemente retardado com uma aceleração de módulo  $a$ . O módulo da força que o bloco 3 exerce sobre o bloco 2 é dado por



- a)  $3m(g + a)$ .      b)  $3m(g - a)$ .      c)  $2m(g + a)$ .  
 d)  $2m(g - a)$ .      e)  $m(2g - a)$ .

### alternativa D

Isolando os corpos 1 e 2 e marcando as forças, temos:



Aplicando o Princípio Fundamental da Dinâmica

( $\vec{R} = m\vec{\gamma}$ ), para os corpos 1 e 2, temos:

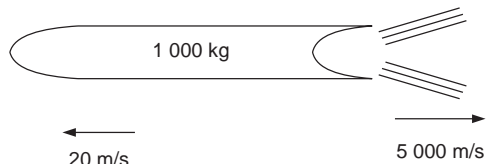
$$\begin{cases} mg - N_{12} = ma & (I) \\ mg + N_{12} - N_{23} = ma & (II) \end{cases}$$

Somando as equações I e II, obtemos o módulo  $N_{23}$  da força que o bloco 3 exerce sobre o bloco 2 como segue:

$$2mg - N_{23} = 2ma \Rightarrow N_{23} = 2m(g - a)$$

## Questão 2

Uma sonda espacial de 1000 kg, vista de um sistema de referência inercial, encontra-se em repouso no espaço. Num determinado instante, seu propulsor é ligado e, durante o intervalo de tempo de 5 segundos, os gases são ejetados a uma velocidade constante, em relação à sonda, de 5000 m/s. No final desse processo, com a sonda movendo-se a 20 m/s, a massa aproximada de gases ejetados é



- a) 0,8 kg.      b) 4 kg.      c) 5 kg.  
 d) 20 kg.      e) 25 kg.

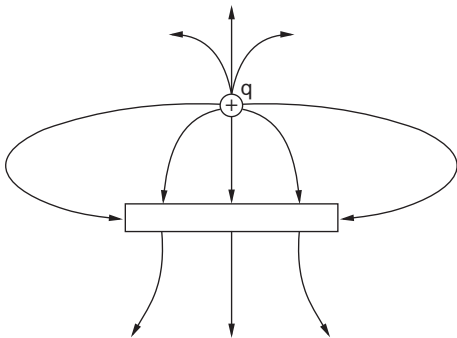
### alternativa B

Sendo o sistema sonda-gases isolado, do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, temos:

$$\begin{aligned} \vec{Q}_i &= \vec{Q}_f \Rightarrow \vec{0} = \vec{Q}_{\text{sonda}} + \vec{Q}_{\text{gases}} \Rightarrow \\ \Rightarrow m_{\text{gases}} v_{\text{gases}} &= m_{\text{sonda}} v_{\text{sonda}} \Rightarrow \\ \Rightarrow m_{\text{gases}} 5000 &= (1000 - m_{\text{gases}}) 20 \Rightarrow \\ \Rightarrow m_{\text{gases}} &= 4 \text{ kg} \end{aligned}$$

### Questão 3

A figura mostra uma carga positiva  $q$  puntiforme próxima de uma barra de metal. O campo elétrico nas vizinhanças da carga puntiforme e da barra está representado pelas linhas de campo mostradas na figura. Sobre o módulo da carga da barra  $|Q_{bar}|$ , comparativamente ao módulo da carga puntiforme positiva  $|q|$ , e sobre a carga líquida da barra  $Q_{bar}$ , respectivamente, pode-se concluir que



- a)  $|Q_{bar}| > |q|$  e  $Q_{bar} > 0$ .  
 b)  $|Q_{bar}| < |q|$  e  $Q_{bar} < 0$ .  
 c)  $|Q_{bar}| = |q|$  e  $Q_{bar} = 0$ .  
 d)  $|Q_{bar}| > |q|$  e  $Q_{bar} < 0$ .  
 e)  $|Q_{bar}| < |q|$  e  $Q_{bar} > 0$ .

### alternativa B

O fluxo do campo elétrico, através de uma superfície fechada imaginária qualquer, é diretamente proporcional à carga elétrica total contida em seu interior. Podemos, então, imaginar uma superfície envolvendo somente a carga positiva e outra, somente a barra. Da figura, temos da carga positiva um valor de 8 linhas saindo ( $q > 0$ ), e da barra um valor líquido de 2 linhas chegando ( $Q_{bar} < 0$ ).

Como  $2 < 8$ , concluímos que  $|Q_{bar}| < |q|$ .

### Questão 4

Uma certa resistência de fio, utilizada para aquecimento, normalmente dissipa uma potência de 100 W quando funciona a uma temperatura de  $100^\circ\text{C}$ . Sendo de  $2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  o coeficiente de dilatação térmica do fio, conclui-se que a potência instantânea dissipada pela resistência, quando operada a uma temperatura inicial de  $20^\circ\text{C}$ , é

a) 32 W.                      b) 84 W.                      c) 100 W.  
 d) 116 W.                    e) 132 W.

### alternativa D

A relação entre os comprimentos final ( $L$ ) a  $100^\circ\text{C}$  e o inicial ( $L_0$ ) a  $20^\circ\text{C}$  é dada por:

$$\begin{cases} L = L_0(1 + \alpha\Delta\theta) \\ \alpha = 2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \end{cases}$$

$$\Rightarrow L = L_0(1 + 2 \cdot 10^{-3}(100 - 20)) \Rightarrow L = 1,16 L_0$$

Assumindo que a variação da resistência ( $R$ ) é diretamente proporcional à variação do comprimento ( $L$ ), temos  $R = 1,16R_0$ .

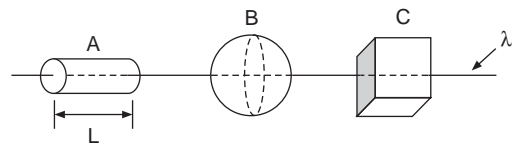
Admitindo-se a mesma tensão  $U$  no fio e sendo  $P = \frac{U^2}{R}$ , a relação entre as potências  $P_0$

(a  $20^\circ\text{C}$ ) e  $P$  (a  $100^\circ\text{C}$ ) é dada por:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{R_0}{R} \Rightarrow \frac{100}{P_0} = \frac{R_0}{1,16R_0} \Rightarrow \boxed{P_0 = 116 \text{ W}}$$

### Questão 5

Um fio de densidade linear de carga positiva  $\lambda$  atravessa três superfícies fechadas  $A$ ,  $B$  e  $C$ , de formas respectivamente cilíndrica, esférica e cúbica, como mostra a figura. Sabe-se que  $A$  tem comprimento  $L =$  diâmetro de  $B =$  comprimento de um lado de  $C$ , e que o raio da base de  $A$  é a metade do raio da esfera  $B$ . Sobre o fluxo do campo elétrico,  $\phi$ , através de cada superfície fechada, pode-se concluir que



- a)  $\phi_A = \phi_B = \phi_C$ .                      b)  $\phi_A > \phi_B > \phi_C$ .  
 c)  $\phi_A < \phi_B < \phi_C$ .                      d)  $\phi_A/2 = \phi_B = \phi_C$ .  
 e)  $\phi_A = 2 \phi_B = \phi_C$ .

## alternativa A

Pela Lei de Gauss, o fluxo do campo elétrico ( $\Phi$ ) através de uma superfície fechada depende das cargas internas ( $q_i$ ) e da permissividade elétrica

do meio ( $\epsilon$ ). Sendo o valor da carga interna  $q_i$  calculado por  $\lambda \cdot L$ , e sendo  $\lambda$  e  $L$  iguais nas três superfícies, para um mesmo meio, temos  $\Phi_A = \Phi_B = \Phi_C$ .

## Questão 6

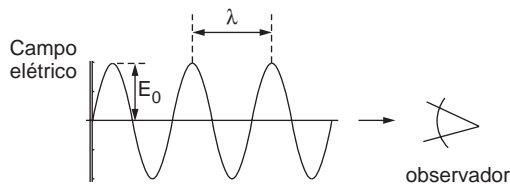
Uma onda eletromagnética com um campo elétrico de amplitude  $E_0$ , frequência  $f$  e comprimento de onda  $\lambda = 550$  nm é vista por um observador, como mostra a figura. Considere as seguintes proposições:

I – Se a amplitude do campo elétrico  $E_0$  for dobrada, o observador perceberá um aumento do brilho da onda eletromagnética.

II – Se a frequência da onda for quadruplicada, o observador não distinguirá qualquer variação do brilho da onda eletromagnética.

III – Se a amplitude do campo elétrico for dobrada e a frequência da onda quadruplicada, então o observador deixará de visualizar a onda eletromagnética.

Lembrando que a faixa de comprimentos de ondas em que a onda eletromagnética é perceptível ao olho humano, compreende valores de 400 nm a 700 nm, pode-se afirmar que



- apenas II é correta.
- somente I e II são corretas.
- todas são corretas.
- somente II e III são corretas.
- somente I e III são corretas.

## alternativa C/E

I. Correta. Sendo a intensidade luminosa da onda eletromagnética proporcional a  $E_0^2$ , então, dobrando-se o valor do campo elétrico, teremos a intensidade luminosa quadruplicada.

II. Sendo a frequência da onda quadruplicada ( $f' = 4f$ ), sabendo-se que a velocidade da onda eletromagnética é constante, para o mesmo meio, pela Equação Fundamental da Ondulatória e do enunciado, temos:

$$\begin{aligned} v &= \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda' \cdot 4 \cdot f = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda' = \frac{\lambda}{4} = \frac{550}{4} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \lambda' = 137,5 \text{ nm} \end{aligned}$$

Como o novo valor do comprimento de onda está abaixo do perceptível ao olho humano, a partir deste instante, o observador não mais visualizará a onda eletromagnética. Assim, quadruplicando a frequência da onda, ela sai da faixa visível.

Com base na afirmação II temos duas interpretações legítimas, pois o condicional "se" pode levar a duas avaliações temporais distintas:

- Uma, (A), considerando a afirmação como relativa à situação após a mudança da frequência.
- Outra, (B), considerando a afirmação como relativa à situação na exata mudança da frequência.

(A) Interpretação que leva II a ser considerada correta:

Após a mudança da frequência, a onda não é visível e nesta onda não mais será possível percepção de qualquer variação de brilho (ou de intensidade).

(B) Interpretação que leva II a ser considerada incorreta:

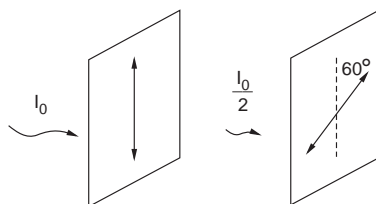
Ao ocorrer a mudança da frequência, a onda passa de visível a invisível, portanto o brilho muda de algum para nenhum. O deixar de perceber o brilho é considerado aqui uma forma de distinguir variação de brilho (de algum brilho para nenhum brilho).

III. Correta. De acordo com o item II, o observador deixará de visualizar a onda eletromagnética.

Comentário: conforme a interpretação adotada, a resposta fica C ou E.

## Questão 7

Uma luz não-polarizada de intensidade  $I_0$  ao passar por um primeiro polaróide tem sua intensidade reduzida pela metade, como mostra a figura. A luz caminha em direção a um segundo polaróide que tem seu eixo inclinado em um ângulo de  $60^\circ$  em relação ao primeiro. A intensidade de luz que emerge do segundo polaróide é



- a)  $I_0$ .      b)  $0,25 I_0$ .      c)  $0,375 I_0$ .  
 d)  $0,5 I_0$ .      e)  $0,125 I_0$ .

### alternativa E

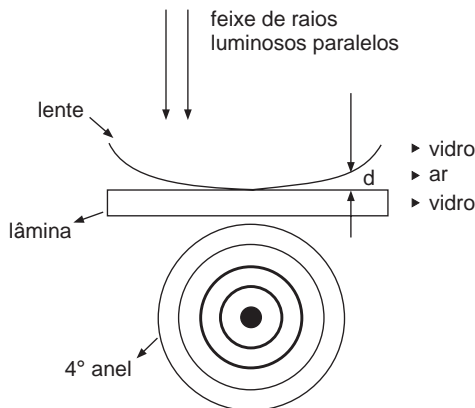
Sendo a intensidade de luz transmitida para o  $2^\circ$  polaróide  $\frac{I_0}{2}$  e o ângulo de inclinação  $60^\circ$ , pela Lei de Malus, temos:

$$I' = I \cos^2 \theta \Rightarrow I' = \frac{I_0}{2} \cos^2 60^\circ \Rightarrow I' = 0,125 I_0$$

### Questão 8

No experimento denominado “anéis de Newton”, um feixe de raios luminosos incide sobre uma lente plano convexa que se encontra apoiada sobre uma lâmina de vidro, como mostra a figura. O aparecimento de franjas circulares de interferência, conhecidas como anéis de Newton, está associado à camada de ar, de espessura  $d$  variável, existente entre a lente e a lâmina.

Qual deve ser a distância  $d$  entre a lente e a lâmina de vidro correspondente à circunferência do quarto anel escuro ao redor do ponto escuro central? (Considere  $\lambda$  o comprimento de onda da luz utilizada).



- a)  $4 \lambda$ .      b)  $8 \lambda$ .      c)  $9 \lambda$ .      d)  $8,5 \lambda$ .      e)  $2 \lambda$ .

### alternativa E

Para o experimento “anéis de Newton”, as franjas escuras resultam de interferências destrutivas e ocorrem quando  $d = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, 2\lambda, \dots$ ; valores estes obtidos a partir do ponto central de contato entre a lente e a lâmina. Assim, no  $4^\circ$  anel temos  $d = 2\lambda$ .

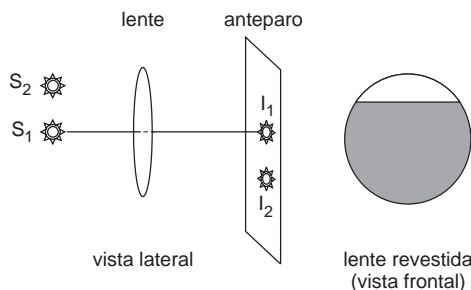
### Questão 9

Duas fontes de luz,  $S_1$  e  $S_2$ , têm suas imagens formadas sobre um anteparo por uma lente convergente, como mostra a figura. Considere as seguintes proposições:

I – Se a lente for parcialmente revestida até  $\frac{3}{4}$  da sua altura com uma película opaca (conforme a figura), as imagens ( $I_1$  de  $S_1$ ,  $I_2$  de  $S_2$ ) sobre o anteparo permanecem, mas tornam-se menos luminosas.

II – Se a lente for parcialmente revestida até  $\frac{3}{4}$  de sua altura e as fontes forem distanciadas da lente, a imagem  $I_1$  desaparece.

III – Se as fontes  $S_1$  e  $S_2$  forem distanciadas da lente, então, para que as imagens não se alterem, o anteparo deve ser deslocado em direção à lente.



Então, pode-se afirmar que

- a) apenas III é correta.  
 b) somente I e III são corretas.  
 c) todas são corretas.  
 d) somente II e III são corretas.  
 e) somente I e II são corretas.

### alternativa C

I. Correta. Mesmo com a lente parcialmente revestida, teremos a passagem de raios de luz em menor quantidade pela parte não revestida da lente, tornando as imagens menos luminosas.

II. Correta. Afastando-se as fontes da lente, a imagem  $I_1$  deve se aproximar dela, não formando imagem nítida no anteparo. Portanto, considerando como imagem uma figura nítida (não difusa), a imagem  $I_1$  desaparece.

III. Correta. Como, nesse caso, objeto e imagem se deslocam no mesmo sentido, o anteparo deve se aproximar da lente, para que as imagens nele continuem sendo projetadas.

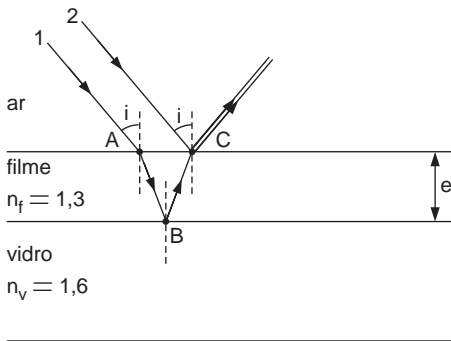
**Questão 10**

Uma lente de vidro de índice de refração  $n = 1,6$  é recoberta com um filme fino, de índice de refração  $n = 1,3$ , para minimizar a reflexão de uma certa luz incidente. Sendo o comprimento de onda da luz incidente no ar  $\lambda_{\text{ar}} = 500 \text{ nm}$ , então a espessura mínima do filme é:

- a) 78 nm.                      b) 96 nm.  
c) 162 nm.                    d) 200 nm.  
e) 250 nm.

**alternativa B**

Do enunciado, podemos montar o esquema a seguir:



Para minimizar a reflexão da luz incidente no vidro, temos, do esquema, que o raio 1, após sofrer refração no ponto A e reflexão parcial no ponto B, terá que sofrer interferência destrutiva com o raio 2 refletido parcialmente no ponto C.

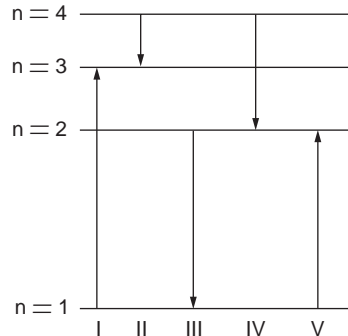
Sabendo-se que tanto o raio 1 quanto o 2 sofrem inversão de fase ao refletirem-se parcialmente, supondo o ângulo de incidência  $i \cong 0^\circ$ , a diferença de caminho óptico é próxima a  $2e$ . Assim, para a interferência destrutiva, temos:

$$\begin{cases} 2e = \frac{1}{2} \cdot \lambda_f \\ \lambda_f = \frac{\lambda_{\text{ar}}}{n_f} \end{cases} \Rightarrow e = \frac{\lambda_{\text{ar}}}{4 \cdot n_f} \Rightarrow e = \frac{500 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{e = 96 \text{ nm}}$$

**Questão 11**

O diagrama mostra os níveis de energia ( $n$ ) de um elétron em um certo átomo. Qual das transições mostradas na figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?



- a) I.      b) II.      c) III.      d) IV.      e) V.

**alternativa C**

A emissão de um fóton só é possível quando um elétron passa de um estado de maior energia para outro estado de menor energia, ou seja, quando um átomo emite luz, sua energia deve diminuir (transições II, III e IV).

O comprimento de onda de um fóton emitido é dado por:

$$\begin{cases} \Delta E = hf \\ c = \lambda f \end{cases} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

Assim, o menor comprimento de onda do fóton emitido está associado a uma maior diferença de energia ( $\Delta E$ ) entre os níveis, o que é mostrado na figura pela transição III.

Obs.: também pode ocorrer o processo inverso, onde um elétron passa de um estado de menor energia para outro estado de maior energia, por absorção de um fóton (transições I e V).

**Questão 12**

Dobrando-se a energia cinética de um elétron não-relativístico, o comprimento de onda original de sua função de onda fica multiplicado por

- a)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .      b)  $\frac{1}{2}$ .      c)  $\frac{1}{4}$ .      d)  $\sqrt{2}$ .      e) 2.

**alternativa A**

Para um elétron não-relativístico de momento  $p = mv$ , o comprimento de onda ( $\lambda$ ) original é:

$$\begin{cases} E = \frac{p^2}{2m} \\ p = \frac{h}{\lambda} \end{cases} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

Dobrando-se a energia cinética do elétron, temos:

$$\lambda' = \frac{h}{\sqrt{2m2E}} \Rightarrow \lambda' = \frac{h}{\sqrt{2} \sqrt{2mE}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda' = \lambda \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

**Questão 13**

O ar dentro de um automóvel fechado tem massa de 2,6 kg e calor específico de 720 J/kg °C. Considere que o motorista perde calor a uma taxa constante de 120 joules por segundo e que o aquecimento do ar confinado se deva exclusivamente ao calor emanado pelo motorista. Quanto tempo levará para a temperatura variar de 2,4 °C a 37 °C?

- a) 540 s.      b) 480 s.      c) 420 s.  
d) 360 s.      e) 300 s.

**alternativa A**

Utilizando a definição do fluxo de calor ( $\phi$ ) e a Equação Fundamental da Calorimetria, temos:

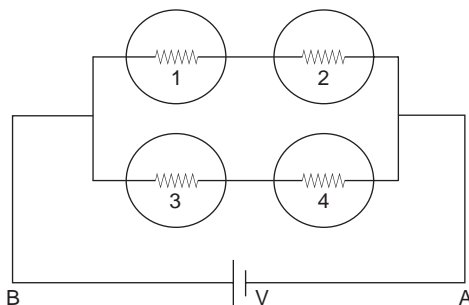
$$\begin{cases} \phi = \frac{Q}{\Delta t} \\ Q = mc\Delta\theta \end{cases} \Rightarrow \phi = \frac{mc\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{mc\Delta\theta}{\phi} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{2,6 \cdot 720 \cdot (37 - 2,4)}{120} \Rightarrow \Delta t = 540 \text{ s}$$

Obs.: a unidade correta do calor específico é J/(kg °C).

**Questão 14**

Quatro lâmpadas idênticas 1, 2, 3 e 4, de mesma resistência  $R$ , são conectadas a uma bateria com tensão constante  $V$ , como mostra a figura. Se a lâmpada 1 for queimada, então



- a) a corrente entre **A** e **B** cai pela metade e o brilho da lâmpada 3 diminui.  
b) a corrente entre **A** e **B** dobra, mas o brilho da lâmpada 3 permanece constante.  
c) o brilho da lâmpada 3 diminui, pois a potência drenada da bateria cai pela metade.  
d) a corrente entre **A** e **B** permanece constante, pois a potência drenada da bateria permanece constante.  
e) a corrente entre **A** e **B** e a potência drenada da bateria caem pela metade, mas o brilho da lâmpada 3 permanece constante.

**alternativa E**

Com todas as lâmpadas funcionando, a resistência equivalente do circuito é  $R_{eq} = R$ .

Se a lâmpada 1 for queimada, a resistência equivalente passa a ser  $R_{eq} = 2R$ .

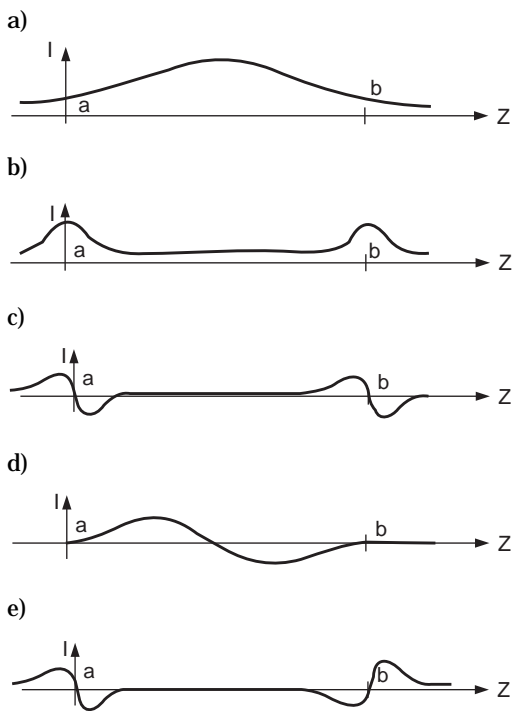
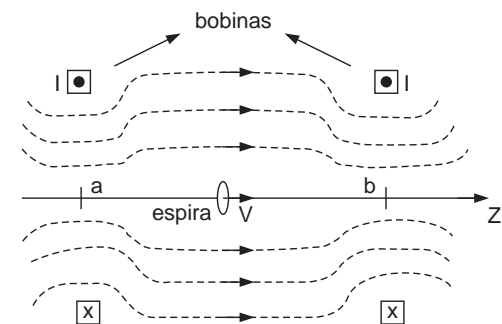
Assim, como a resistência dobra e a tensão ( $V$ ) é constante, a corrente ( $i$ ) entre **A** e **B** e a potência ( $P = V \cdot i$ ) drenada da bateria caem pela metade. Como a tensão entre **A** e **B** não muda, o brilho da lâmpada 3 permanece constante.

**Questão 15**

A figura mostra a distribuição de linhas de campo magnético produzidas por duas bobinas idênticas percorridas por correntes de mesma intensidade  $I$  e separadas por uma distância  $ab$ . Uma espira circular, de raio muito pequeno comparativamente ao raio da bobina, é deslocada com velocidade constante,

$\vec{V}$ , ao longo do eixo de simetria,  $Z$ , permanecendo o plano da espira perpendicular à direção  $Z$ .

Qual dos gráficos a seguir representa a variação da corrente na espira ao longo do eixo  $Z$ ?



### alternativa C

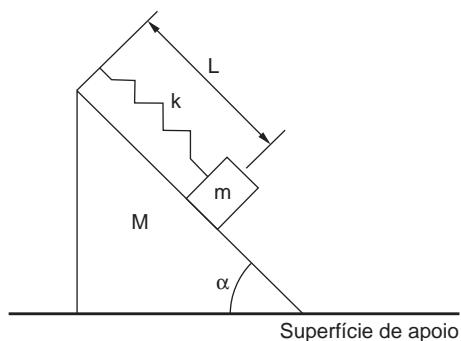
Da figura, concluímos que a densidade de linhas de indução magnética é maior nas proximidades dos pontos a e b. Assim, quando a espira se aproxima de a (à esquerda de a), teremos um aumento do fluxo de indução, produzindo, de acordo com a Lei de Lenz, uma corrente induzida de sentido contrário a que obtemos quando a espira se afasta de a (à direita de a), uma vez que, nessa situação, o fluxo de indução diminui.

É importante notar que, entre a e b, o campo é praticamente uniforme, ou seja, não haverá variação de fluxo e nem corrente induzida. Quando a espira passa por b, o processo é semelhante ao que ocorre em a.

As questões de **16 a 25** devem ser resolvidas no caderno de respostas. Marque também as opções escolhidas para essas questões na **folha de leitura óptica** e na **folha de respostas** (que se encontra na última página do caderno de respostas).

### Questão 16

Um corpo de massa  $m$  desliza sem atrito sobre a superfície plana (e inclinada de um ângulo  $\alpha$  em relação à horizontal) de um bloco de massa  $M$  sob a ação da mola, mostrada na figura. Esta mola, de constante elástica  $k$  e comprimento natural  $C$ , tem suas extremidades respectivamente fixadas ao corpo de massa  $m$  e ao bloco. Por sua vez, o bloco pode deslizar sem atrito sobre a superfície plana e horizontal em que se apóia. O corpo é puxado até uma posição em que a mola seja distendida elasticamente a um comprimento  $L$  ( $L > C$ ), tal que, ao ser liberado, o corpo passa pela posição em que a força elástica é nula. Nessa posição o módulo da velocidade do bloco é



- a)  $\sqrt{\frac{2m \left[ \frac{1}{2}k(L-C)^2 - mg(L-C) \operatorname{sen}(\alpha) \right]}{M^2[1 + \operatorname{sen}^2(\alpha)]}}$
- b)  $\sqrt{\frac{2m \left[ \frac{1}{2}k(L-C)^2 - mg(L-C) \operatorname{sen}(\alpha) \right]}{M^2[1 + \operatorname{tg}^2(\alpha)]}}$
- c)  $\sqrt{\frac{2m \left[ \frac{1}{2}k(L-C)^2 - mg(L-C) \operatorname{sen}(\alpha) \right]}{(m+M)[(m+M) \operatorname{tg}^2(\alpha) + M]}}$

$$d) \sqrt{\frac{2m \left[ \frac{k}{2}(L-C)^2 \right]}{M^2[1 + tg^2(\alpha)]}}$$

e) 0.

**alternativa C**

Sendo o sistema isolado na horizontal, em relação à Terra, temos:

$$\vec{Q}_{x_i} = \vec{Q}_{x_f} \Rightarrow \vec{0} = \vec{Q}_{x_{corpo}} + \vec{Q}_{x_{bloco}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m \cdot v_{x/T} = MV$$

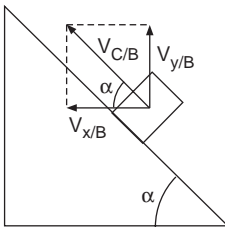
Assim, a componente horizontal ( $v_{x/T}$ ) da velocidade do corpo em relação à Terra é dada por  $v_{x/T} = \frac{MV}{m}$ , onde  $V$  é a velocidade do bloco em relação à Terra.

Em relação ao bloco, temos:

$$\vec{v}_{x/T} = \vec{v}_{x/B} + \vec{v}_{B/T} \Rightarrow \frac{MV}{m} = v_{x/B} - V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{x/B} = \left( \frac{M+m}{m} \right) V$$

A velocidade do corpo em relação ao bloco ( $V_{C/B}$ ) é representada pela figura a seguir:

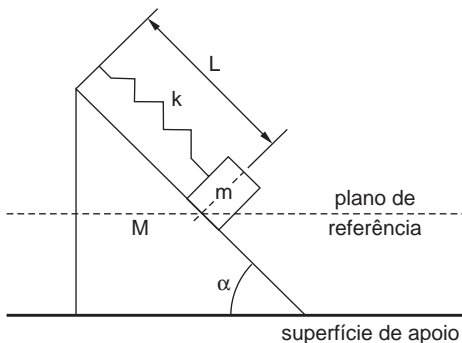


Assim, a componente vertical ( $v_{y/T}$ ) da velocidade do corpo em relação à Terra é dada por:

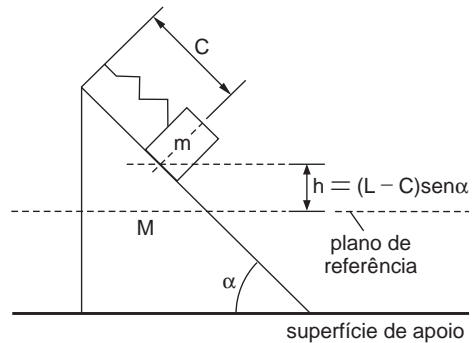
$$v_{y/T} = v_{y/B} = v_{x/B} \operatorname{tg} \alpha = \left( \frac{M+m}{m} \right) V \operatorname{tg} \alpha$$

Do enunciado obtemos as figuras a seguir:

Situação Inicial



Situação Final (Equilíbrio)



Sendo o sistema conservativo, em relação à Terra, temos:

$$E_m^i = E_m^f \Rightarrow E_e = E_c + E_g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2} + mgh \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} = \frac{m(v_{x/T}^2 + v_{y/T}^2)}{2} + \frac{MV^2}{2} +$$

$$+ mg(L-C) \operatorname{sen} \alpha \Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} =$$

$$= \frac{m}{2} \left[ \left( \frac{MV}{m} \right)^2 + \left( \frac{M+m}{m} \right)^2 v^2 \operatorname{tg}^2 \alpha \right] +$$

$$+ \frac{MV^2}{2} + mg(L-C) \operatorname{sen} \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} - mg(L-C) \operatorname{sen} \alpha =$$

$$= \frac{v^2}{2} \left[ \frac{M^2}{m} + \frac{(M+m)^2}{m} \operatorname{tg}^2 \alpha + M \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} - mg(L-C) \operatorname{sen} \alpha =$$

$$= \frac{v^2}{2m} \left[ (M+m)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + M(M+m) \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{k(L-C)^2}{2} - mg(L-C) \operatorname{sen} \alpha =$$

$$= \frac{v^2}{2m} (m+M) \left[ (m+M) \operatorname{tg}^2 \alpha + M \right] \Rightarrow$$

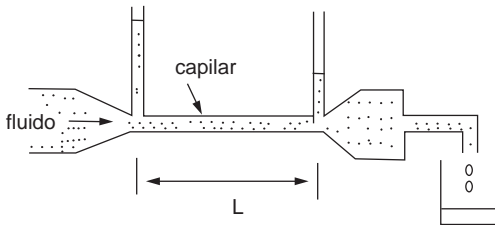
$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2m \left[ \frac{1}{2}k(L-C)^2 - mg(L-C) \operatorname{sen}(\alpha) \right]}{(m+M)[(m+M) \operatorname{tg}^2(\alpha) + M]}}$$



### Questão 17

A figura abaixo representa um sistema experimental utilizado para determinar o volume de um líquido por unidade de tempo que escoa através de um tubo capilar de comprimento  $L$  e seção transversal de área  $A$ . Os resultados mostram que a quantidade desse fluxo depende da variação da pressão ao longo do comprimento  $L$  do tubo por unidade de comprimento ( $\Delta P/L$ ), do raio do tubo ( $a$ ) e da viscosidade do fluido ( $\eta$ ) na temperatura do experimento. Sabe-se que o coeficiente de viscosidade ( $\eta$ ) de um fluido tem a mesma dimensão do produto de uma tensão (força por unidade de área) por um comprimento dividido por uma velocidade.

Recorrendo à análise dimensional, podemos concluir que o volume de fluido coletado por unidade de tempo é proporcional a



- a)  $\frac{A \Delta P}{\eta L}$       b)  $\frac{\Delta P a^4}{L \eta}$       c)  $\frac{L \eta}{\Delta P a^4}$   
 d)  $\frac{\Delta P \eta}{L A}$       e)  $\frac{L}{\Delta P} a^4 \eta$

#### alternativa B

Utilizando MLT como dimensões fundamentais, temos:

$$\begin{aligned} [\Phi] &= \frac{[V]}{[\Delta t]} = \frac{L^3}{T} = L^3 T^{-1} \\ \frac{[\Delta p]}{[L]} &= \frac{[F]}{[A][L]} = \frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-2} T^{-2} \\ [a] &= L \\ [\eta] &= [\Delta p] \cdot \frac{[L]}{[v]} = ML^{-1} T^{-2} \cdot \frac{L}{LT^{-1}} = ML^{-1} T^{-1} \end{aligned}$$

Sendo  $[\Phi] = \left( \frac{[p]}{[L]} \right)^\alpha \cdot [a]^\beta \cdot [\eta]^\gamma$ , temos:

$$\begin{aligned} M^0 L^3 T^{-1} &= M^\alpha L^{-2\alpha} T^{-2\alpha} L^\beta M^\gamma L^{-\gamma} T^{-\gamma} \\ \Rightarrow M^0 L^3 T^{-1} &= M^{\alpha+\gamma} L^{-2\alpha+\beta-\gamma} T^{-2\alpha-\gamma} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha + \gamma = 0 \\ -2\alpha - \gamma = -1 \\ -2\alpha + \beta - \gamma = 3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha + \gamma = 0 \\ -2\alpha - \gamma = -1 \end{cases} \Rightarrow \alpha = 1$$

$$\alpha + \gamma = 0 \Rightarrow 1 + \gamma = 0 \Rightarrow \gamma = -1$$

$$-2\alpha + \beta - \gamma = 3 \Rightarrow -2(1) + \beta - (-1) = 3 \Rightarrow \beta = 4$$

$$\text{Portanto } [\Phi] = \left( \frac{[\Delta p]}{[L]} \right)^1 \cdot [a]^4 \cdot [\eta]^{-1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\phi \propto \frac{\Delta p a^4}{L \eta}}$$

### Questão 18

Um copo de 10 cm de altura está totalmente cheio de cerveja e apoiado sobre uma mesa. Uma bolha de gás se desprende do fundo do copo e alcança a superfície, onde a pressão atmosférica é de  $1,01 \times 10^5$  Pa. Considere que a densidade da cerveja seja igual à da água pura e que a temperatura e o número de mols do gás dentro da bolha permaneçam constantes enquanto esta sobe. Qual a razão entre o volume final (quando atinge a superfície) e inicial da bolha?

- a) 1,03.      b) 1,04.      c) 1,05.  
 d) 0,99.      e) 1,01.

#### alternativa E

Pela lei de Stevin, a pressão ( $p_i$ ) no fundo do copo é dada por:

$$\begin{cases} p_i = p_0 + \mu gh \\ \mu = 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ h = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_i = 1,01 \cdot 10^5 + 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,10 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_i = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Sendo a pressão final do gás na bolha igual à pressão atmosférica ( $p_f = p_0$ ), da lei de Boyle Mariotte, temos:

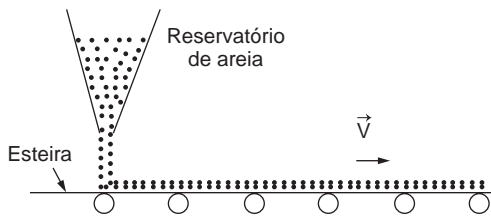
$$p_i V_i = p_f V_f \Rightarrow \frac{V_f}{V_i} = \frac{p_i}{p_0} \Rightarrow \frac{V_f}{V_i} = \frac{1,02 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_f}{V_i} = 1,01}$$

Obs.: a grafia correta do plural de mol é mols.

### Questão 19

Deixa-se cair continuamente areia de um reservatório a uma taxa de  $3,0 \text{ kg/s}$  diretamente sobre uma esteira que se move na direção horizontal com velocidade  $\vec{V}$ . Considere que a camada de areia depositada sobre a esteira se locomove com a mesma velocidade  $\vec{V}$ , devido ao atrito. Desprezando a existência de quaisquer outros atritos, conclui-se que a potência, em watts, requerida para manter a esteira movendo-se a  $4,0 \text{ m/s}$ , é



- a) 0.    b) 3.    c) 12.    d) 24.    e) 48.

#### alternativa D

Sendo  $m/\Delta t = 3 \text{ kg/s}$  o fluxo de areia e  $E_c$  a energia cinética adquirida pela areia, da Definição de Potência, temos:

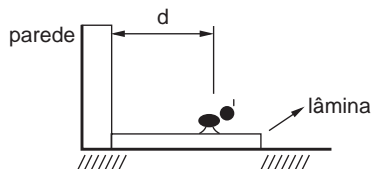
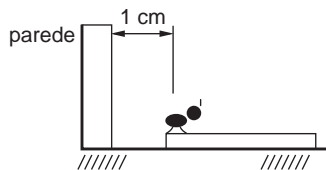
$$P = \frac{E_c}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{3 \cdot 4,0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{P = 24 \text{ W}}$$

### Questão 20

Uma lâmina de material muito leve de massa  $m$  está em repouso sobre uma superfície sem atrito. A extremidade esquerda da lâmina está a  $1 \text{ cm}$  de uma parede. Uma formiga considerada como um ponto, de massa  $\frac{m}{5}$ , está inicialmente em repouso sobre essa extremidade, como mostra a figura. A seguir, a formiga caminha para frente muito lentamente, sobre a lâmina. A que distância  $d$  da parede estará a formiga no momento em que a lâmina tocar a parede?

- a)  $2 \text{ cm}$ .  
b)  $3 \text{ cm}$ .  
c)  $4 \text{ cm}$ .  
d)  $5 \text{ cm}$ .  
e)  $6 \text{ cm}$ .



#### alternativa E

Sendo o sistema formiga-lâmina isolado, do Princípio de Conservação da Quantidade de Movimento do sistema em relação à superfície, temos:

$$\vec{Q}_i = \vec{Q}_f \Rightarrow \vec{0} = \vec{Q}_F + \vec{Q}_L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{m}{5} \cdot |v_F| = m \cdot |v_L| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |v_L| = \frac{|v_F|}{5}.$$

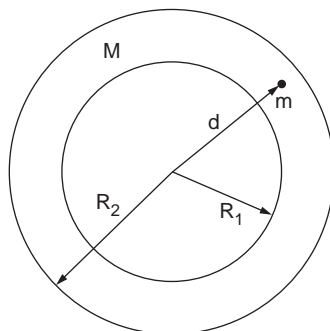
Como a formiga caminha muito lentamente, teremos movimentos uniformes para ambos os corpos. Assim, temos:

$$|v_L| = \frac{|v_F|}{5} \Rightarrow \frac{|\Delta S_L|}{\Delta t} = \frac{|\Delta S_F|}{5 \cdot \Delta t} \Rightarrow 1 = \frac{d-1}{5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{d = 6 \text{ cm}}$$

### Questão 21

Uma casca esférica tem raio interno  $R_1$ , raio externo  $R_2$  e massa  $M$  distribuída uniformemente. Uma massa puntiforme  $m$  está localizada no interior dessa casca, a uma distância  $d$  de seu centro ( $R_1 < d < R_2$ ). O módulo da força gravitacional entre as massas é



- a) 0.  
 b)  $GMm/d^2$ .  
 c)  $GMm/(R_2^3 - d^3)$ .  
 d)  $GMm/(d^3 - R_1^3)$ .  
 e)  $GMm(d^3 - R_1^3)/d^2(R_2^3 - R_1^3)$ .

### alternativa E

A força de atração gravitacional ocorre entre a massa puntiforme  $m$  e a massa  $M'$  da casca esférica de raio interno  $R_1$  e raio externo  $d$ .

Como a massa é proporcional ao volume, temos:

$$\frac{M'}{M} = \frac{V'}{V} \Rightarrow \frac{M'}{M} = \frac{\frac{4}{3}\pi(d^3 - R_1^3)}{\frac{4}{3}\pi(R_2^3 - R_1^3)} \Rightarrow$$

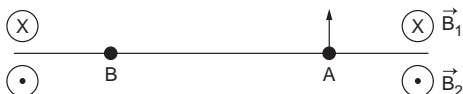
$$\Rightarrow M' = \frac{M(d^3 - R_1^3)}{(R_2^3 - R_1^3)}$$

Sendo  $d$  a distância entre  $m$  e o centro de massa de  $M'$ , da Lei da Gravitação Universal para  $m$  e  $M'$ , temos:

$$F = G \frac{M' \cdot m}{d^2} \Rightarrow F = GMm (d^3 - R_1^3)/d^2(R_2^3 - R_1^3)$$

### Questão 22

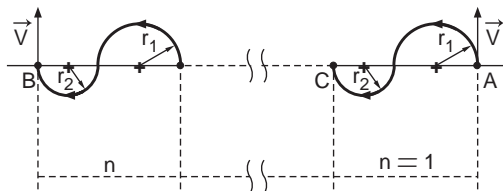
A figura mostra duas regiões nas quais atuam campos magnéticos orientados em sentidos opostos e de magnitudes  $B_1$  e  $B_2$ , respectivamente. Um próton de carga  $q$  e massa  $m$  é lançado do ponto  $A$  com uma velocidade  $\vec{V}$  perpendicular às linhas de campo magnético. Após um certo tempo  $t$ , o próton passa por um ponto  $B$  com a mesma velocidade inicial  $\vec{V}$  (em módulo, direção e sentido). Qual é o menor valor desse tempo?



- a)  $\frac{m\pi}{q} \left( \frac{B_1 + B_2}{B_1 B_2} \right)$ .  
 b)  $\frac{2m\pi}{qB_1}$ .  
 c)  $\frac{2m\pi}{qB_2}$ .  
 d)  $\frac{4m\pi}{q(B_1 + B_2)}$ .  
 e)  $\frac{m\pi}{qB_1}$ .

### alternativa A

Para que as velocidades nos pontos  $A$  e  $B$  sejam iguais a  $\vec{V}$ , um esquema genérico do movimento do próton está indicado na figura a seguir, onde  $n$  é a quantidade de trajetórias idênticas à compreendida entre os pontos  $A$  e  $C$ .



Sendo os raios dos movimentos circulares dados por  $r_1 = \frac{mV}{qB_1}$  e  $r_2 = \frac{mV}{qB_2}$ , a distância total percorrida pelo próton  $d = n\pi(r_1 + r_2)$ , o intervalo de tempo total gasto por ele é calculado por:

$$\Delta t = \frac{d}{V} \Rightarrow \Delta t = \frac{n\pi(r_1 + r_2)}{V}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{n\pi \left( \frac{mV}{qB_1} + \frac{mV}{qB_2} \right)}{V}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{m\pi n\pi}{q} \left( \frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} \right)$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{m\pi}{q} \left( \frac{B_1 + B_2}{B_1 B_2} \right)$$

Obtemos o menor valor desse tempo fazendo-se  $n = 1$ , como segue:

$$\Delta t = \frac{m\pi}{q} \left( \frac{B_1 + B_2}{B_1 B_2} \right)$$

### Questão 23

O raio do horizonte de eventos de um buraco negro corresponde à esfera dentro da qual nada, nem mesmo a luz, escapa da atração gravitacional por ele exercida. Por coincidência, esse raio pode ser calculado não-relativisticamente como o raio para o qual a velocidade de escape é igual à velocidade da luz. Qual deve ser o raio do horizonte de eventos de um buraco negro com uma massa igual à massa da Terra?

- a) 9  $\mu\text{m}$ .                      b) 9 mm.                      c) 30 cm.  
d) 90 cm.                      e) 3 km.

#### alternativa B

Da expressão que calcula a velocidade de escape ( $v_{\text{esc}}$ ) e do enunciado, temos:

$$\begin{cases} v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \\ v_{\text{esc}} = c \end{cases} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{2GM}{c^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,0 \cdot 10^{24}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} \Rightarrow$$

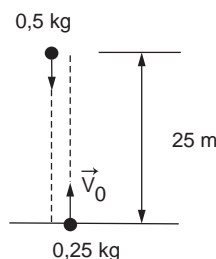
$$\Rightarrow r = 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Assim, o raio do horizonte de eventos é aproximadamente 9 mm.

### Questão 24

Uma bola de 0,50 kg é abandonada a partir do repouso a uma altura de 25 m acima do chão. No mesmo instante, uma segunda bola, com massa de 0,25 kg, é lançada verticalmente para cima, a partir do chão, com uma velocidade inicial de 15 m/s. As duas bolas movem-se ao longo de linhas muito próximas, mas que não se tocam. Após 2,0 segundos, a velocidade do centro de massa do sistema constituído pelas duas bolas é de

- a) 11 m/s, para baixo.  
b) 11 m/s, para cima.  
c) 15 m/s, para baixo.  
d) 15 m/s, para cima.  
e) 20 m/s, para baixo.



#### alternativa C

Adotando como referencial um eixo  $y$  vertical, com origem a 25 m do solo e orientado para baixo, a velocidade inicial ( $v_0$ ) do centro de massa (CM) do sistema é dada por:

$$v_0 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{0,50 \cdot 0 + 0,25 \cdot (-15)}{0,50 + 0,25} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = -5,0 \text{ m/s}$$

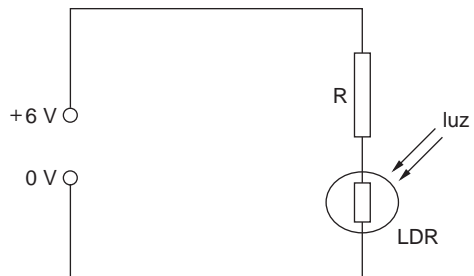
Como a resultante das forças externas ao sistema é o próprio peso total dos corpos, o centro de massa do sistema está em queda livre. Assim, a velocidade ( $v$ ) do CM em  $t = 2,0$  s é dada por:

$$v = v_0 + g \cdot t \Rightarrow v = -5,0 + 9,8 \cdot 2,0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = 15 \text{ m/s} \quad (\text{para baixo})$$

### Questão 25

Certos resistores quando expostos à luz variam sua resistência. Tais resistores são chamados LDR (do Inglês: "Light Dependent Resistor"). Considere um típico resistor LDR feito de sulfeto de cádmio, o qual adquire uma resistência de aproximadamente 100  $\Omega$  quando exposto à luz intensa, e de 1 M $\Omega$  quando na mais completa escuridão. Utilizando este LDR e um resistor de resistência fixa  $R$  para construir um divisor de tensão, como mostrado na figura, é possível converter a variação da resistência em variação de tensão sobre o LDR, com o objetivo de operar o circuito como um interruptor de corrente (circuito de chaveamento). Para esse fim, deseja-se que a tensão através do LDR, quando iluminado, seja muito pequena comparativamente à tensão máxima fornecida, e que seja de valor muito próximo ao desta, no caso do LDR não iluminado. Qual dos valores de  $R$  abaixo é o mais conveniente para que isso ocorra?



- a)  $100 \Omega$ .      b)  $1 \text{ M} \Omega$ .      c)  $10 \text{ K} \Omega$ .  
 d)  $10 \text{ M} \Omega$ .      e)  $10 \Omega$ .

**alternativa C**

Seja  $U_{LDR}$  a tensão no LDR e  $U_R$  a tensão no resistor, da Definição de Resistência Elétrica, temos:

$$\begin{cases} U_{LDR} = R_{LDR} \cdot i \\ U_R = R \cdot i \end{cases} \Rightarrow U_R = U_{LDR} \cdot \frac{R}{R_{LDR}}$$

Seja  $U$  a tensão máxima fornecida, para uma associação em série, temos:

$$U = U_{LDR} + U_R \Rightarrow U = U_{LDR} + U_{LDR} \cdot \frac{R}{R_{LDR}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_{LDR} = \frac{U}{1 + \frac{R}{R_{LDR}}}$$

Com o LDR iluminado ( $R_{LDR} = 100 \Omega$ ), temos

$$U_{LDR} = \frac{U}{1 + \frac{R}{100}} \text{ e, para termos } U_{LDR} \ll U, \text{ deve-}$$

mos ter  $100 \Omega \ll R$ .

Porém com o LDR não iluminado ( $R_{LDR} = 1 \text{ M} \Omega = 10^6 \Omega$ ), temos  $U_{LDR} = \frac{U}{1 + \frac{R}{10^6}}$  e, para termos

$U_{LDR} \cong U$ , devemos ter  $R \ll 10^6 \Omega$ . Assim, o único valor que satisfaz  $100 \Omega \ll R \ll 10^6 \Omega$  é  $10 \text{ k}\Omega$ .

Obs.: o prefixo quilo é representado por k minúsculo.