



Gabarito elaborado pela equipe do projeto de extensão *Elaboração de Material de Preparação para a Olimpíada Brasileira de Física (OBF)*, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IF-UFRJ).

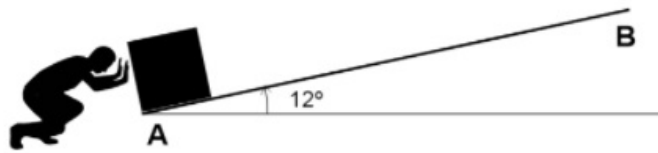
### Equipe

Hariom Nunes Choudhury	João Octavio Oliveira Cony	Lucas Bianchi Marcianesi
Maria Clara Vicente Coelho	Maria Luisa Chaves Lino	Sidney Natzuka Junior
Georgeana Arruda Limeira	Nathan Machado Vasconcelos	Lucca Teixeira Martins

### Revisão

Prof. Marcos G. Menezes Prof. Rodrigo B. Capaz

1. Uma caixa de massa 5,0 kg em repouso no ponto A de um plano inclinado sofre um impulso instantâneo de um menino. Após percorrer 4,5 m, a caixa para no ponto B. Considerando desprezível a resistência do ar e sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre as superfícies em contato é  $\mu_c = 0,20$ , determine aproximadamente a velocidade, em m/s, imprimida no caixote no ponto A. Dados:  $\sin 12^\circ = 0,20$  e  $\cos 12^\circ = 0,98$ .



- a) 9,4
- b) 8,4
- c) 6,0
- d) 4,6
- e) 5,2

### Resolução:

Escolhemos um sistema de eixos com eixo  $X$  ao longo do plano, no sentido ascendente, e eixo  $Y$  na direção perpendicular ao plano, apontando para fora. Como a caixa se desloca no sentido positivo de  $X$  em razão do impulso inicial fornecido pelo menino, a força de atrito, que é oposta a essa tendência de movimento, deve apontar no sentido negativo de  $X$ , como representado no diagrama de forças abaixo.

Considerando a decomposição da força peso ao longo das direções  $X$  e  $Y$ , também mostrada na figura, podemos aplicar a segunda lei de Newton às duas direções. Como o bloco não se movimenta ao longo de  $Y$ , a resultante das forças nessa direção deve ser nula. Portanto:

$$N - mg \cos 12^\circ = 0$$

Ao longo de  $X$ , o bloco apresenta um movimento acelerado. Assim:

$$\begin{aligned} -F_{at} - mg \sin 12^\circ &= ma \\ -\mu_c N - mg \sin 12^\circ &= ma \end{aligned} \quad (1)$$

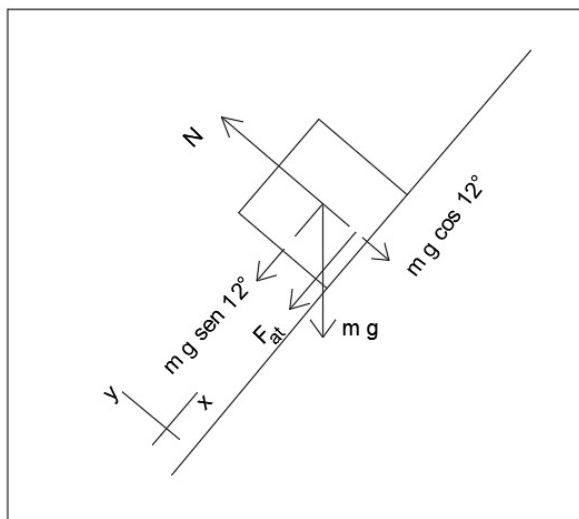


Figura 1: Diagrama de forças da caixa.

Substituindo o valor de  $N$  dado pela Eq. 1, obtemos:

$$-\mu_c mg \cos 12^\circ - mg \sin 12^\circ = ma$$

$$a = -g(\sin 12^\circ + \mu_c \cos 12^\circ) \quad (2)$$

Substituindo os valores do enunciado:

$$a = -(10 \text{ m/s}^2) \cdot (0,20 + 0,20 \cdot 0,98) = -3,96 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

O sinal negativo indica que a aceleração aponta no sentido negativo do eixo  $X$ , como esperado. Finalmente, como a aceleração é constante, podemos aplicar a equação de Torricelli para descobrir a velocidade inicial do bloco. Considerando que a velocidade do bloco no ponto B,  $v_b$ , é nula, pois a caixa para nesse ponto, e que o deslocamento da caixa entre os pontos A e B vale  $\Delta S = 4,5 \text{ m}$ , obtemos:

$$v_b^2 = v_a^2 + 2a\Delta S$$

$$0 = v_a^2 + 2 \cdot (-3,96 \text{ m/s}^2)(4,5 \text{ m}) \quad (4)$$

Resolvendo para  $v_a$ , encontramos:

$$v_a \approx 6,0 \text{ m/s} \quad (5)$$

**OBS:** Este problema também pode ser resolvido pelo método de energia. Para isso, basta utilizar que o trabalho realizado pela força de atrito deve ser igual à variação de energia mecânica entre os pontos A e B.

**Resposta: Alternativa (C)**

■

2. Uma massa gasosa, considerada ideal, numa pressão  $P_0$  e numa temperatura  $T_0$  expande de forma isobárica até ocupar o dobro do volume. Em seguida, esta massa sofre a realização de um trabalho de forma isotérmica, passando a ocupar o volume inicial. Ao final da transformação isotérmica, o gás está a uma pressão  $P$  e a uma temperatura  $T$ , tais que:

- a)  $P = P_0; T > T_0$
- b)  $P > P_0; T < T_0$
- c)  $P < P_0; T > T_0$
- d)  $P > P_0; T > T_0$
- e)  $P < P_0; T = T_0$

**Resolução:**

Para satisfazer às transformações apresentadas, temos as seguintes características de estados sucessivos do sistema, onde de I para II ocorre uma expansão isobárica e de II para III, uma transformação isotérmica:

- I)  $P_0, V_0, T_0$
- II)  $P_0, 2V_0, T$
- III)  $T, V_0, P$

onde  $V_0$  é o volume inicial do gás.

Como a massa gasosa é ideal, podemos utilizar a equação de estado:

$$PV = nRT \quad (6)$$

onde  $n$  é o número de moles e  $R$  é a constante universal dos gases. Como a massa do gás não é alterada em nenhuma das transformações, o número  $n$  de moles é preservado, de forma que  $PV/T = \text{cte}$ .

Assim, aplicando essa equação para as transformações, obtemos:

De I para II:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_0 2V_0}{T} \rightarrow T = 2T_0 \quad (7)$$

De II para III:

$$\frac{P_0 2V_0}{T} = \frac{PV_0}{T} \rightarrow P = 2P_0 \quad (8)$$

Portanto, concluímos que  $P > P_0$  e  $T > T_0$  no estado final.

**Resposta: Alternativa (D)**



3. Em um laboratório didático de física, um professor realiza algumas transformações gasosas e pede para que os estudantes as identifiquem como isotérmica, adiabática, isovolumétrica ou isobárica. As transformações foram:

I. O gás contido em um recipiente é liberado através da súbita abertura da válvula de contenção do recipiente.

II. Um botijão rígido e lacrado, contendo gás carbônico, é resfriado.

III. Uma seringa metálica, dotada de um êmbolo móvel e cheia de  $O_2$ , é lentamente levada até o fundo de uma vasilha contendo grande quantidade de água.

IV. Uma seringa de plástico, cheia de ar e provida de um êmbolo móvel, é rapidamente retirada do fundo de uma vasilha contendo água.

As transformações I, II, III e IV podem ser classificadas, respectivamente, como

- a) isotérmica, isobárica, adiabática, isotérmica.
- b) isotérmica, isobárica, isotérmica, adiabática.
- c) adiabática, isovolumétrica, isotérmica, isobárica.
- d) isobárica, isovolumétrica, isobárica, adiabática.
- e) adiabática, isovolumétrica, isotérmica, adiabática.

**Resolução:**

Vamos analisar cada transformação:

I) A liberação súbita desse gás corresponde a uma expansão adiabática ( $\sum Q = 0$ ). Isso porque quando a transformação ocorre rapidamente (a válvula é aberta subitamente), não há tempo suficiente para haver transferência de calor.

II) Como o botijão é rígido e lacrado, não ocorre variação de volume do gás, pois o gás não pode ser comprimido e nem expandido. Logo, a transformação é isovolumétrica (volume constante).

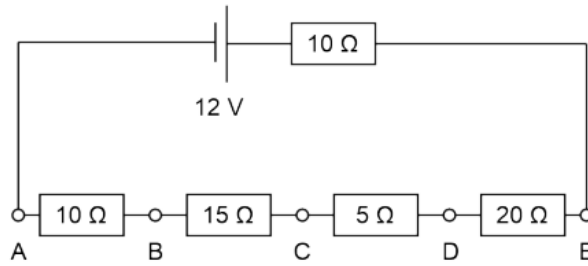
III) Como há uma grande quantidade de água na vasilha, podemos supor que não há mudança de temperatura na água da vasilha. Além disso, como a seringa é deslocada lentamente, o gás de  $O_2$  tende a ficar em equilíbrio térmico com a água a cada instante, ou seja, com uma temperatura constante. Assim, a transformação é isotérmica.

IV) Como a seringa é rapidamente retirada do fundo, não há tempo suficiente para haver troca de calor. Portanto, a transformação é adiabática.

**Resposta: Alternativa (E)**



4. Precisando de uma fonte que lhe ofereça diferentes tensões, um estudante constrói o dispositivo abaixo. As diferentes tensões são obtidas ligando os fios entre os pontos A, B, C, D e E.



Quantos valores diferentes de tensão são possíveis de serem obtidos com este dispositivo?

- a) 10
- b) 8
- c) 6
- d) 5
- e) 4

### Resolução

Vamos considerar o circuito sem nenhum fio adicionado, como mostrado na figura. Com as cinco resistências em série, a resistência equivalente do circuito é dada pela soma delas:

$$R_{eq} = 10 + 15 + 5 + 20 + 10 = 60 \Omega \quad (9)$$

Aplicando a lei de Ohm a essa resistência,  $V = R_{eq} I$ , descobrimos a corrente que atravessa cada resistor:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{60 \Omega} = 0,2 \text{ A} \quad (10)$$

Com este valor de corrente, podemos determinar todas as diferenças de potencial no circuito. Vamos começar determinando as tensões entre os terminais de cada resistor. Utilizando a lei de Ohm para cada resistor e a notação indicada na figura, obtemos:

$$\begin{aligned} V_{DE} &= 20 \times 0,2 = 4 \text{ V}, \\ V_{CD} &= 1 \text{ V}, \\ V_{BC} &= 3 \text{ V}, \\ V_{AB} &= 2 \text{ V} \end{aligned} \quad (11)$$

Agora vamos calcular as tensões entre terminais não-adjacentes. Para isso, basta utilizarmos as tensões obtidas acima:

$$\begin{aligned} V_{AC} &= V_{AB} + V_{BC} = 5 \text{ V}, \\ V_{AD} &= V_{AC} + V_{CD} = 6 \text{ V}, \\ V_{AE} &= V_{AD} + V_{DE} = 10 \text{ V}, \\ V_{BD} &= V_{BC} + V_{CD} = 4 \text{ V}, \\ V_{BE} &= V_{BD} + V_{DE} = 8 \text{ V}, \\ V_{CE} &= V_{CD} + V_{DE} = 5 \text{ V} \end{aligned} \quad (12)$$

Portanto, apesar de termos 10 possibilidades de conexões entre os terminais, encontramos apenas 8 valores diferentes para as tensões.

**RESPOSTA: Alternativa (B)**

■

5. É possível classificar as ondas em duas categorias: transversais e longitudinais. Assinale a alternativa que apresenta fenômenos comuns às ondas das duas categorias.

- a) Reflexão, refração e interferência.

- b) Reflexão, reflexão e polarização.
- c) Reflexão, polarização e interferência.
- d) Refração, polarização e difração.
- e) Polarização, difração e dispersão.

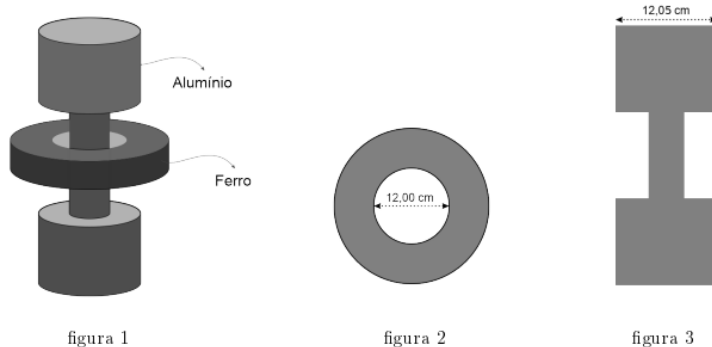
**Resolução:**

Ondas transversais são aquelas em que a direção de propagação é perpendicular à de perturbação (ex.: ondas eletromagnéticas no vácuo). Ondas longitudinais são aquelas que possuem direção de propagação coincidente com a de perturbação (ex.: ondas sonoras). Definimos polarização como a direção em que se dá a perturbação (no caso de uma onda eletromagnética, é a direção do campo elétrico). Assim, em uma onda transversal, a polarização é perpendicular à direção de propagação e em uma onda longitudinal ela coincide com esta direção. Podemos perceber portanto que todas as ondas têm uma polarização. No entanto, as polarizações de ondas transversais e longitudinais são diferentes, de forma que apenas a alternativa “a” resta como resposta. Contudo, podemos analisar também os outros fenômenos ondulatórios: interferência, difração, reflexão, refração e dispersão podem ocorrer em ondas das duas categorias.

**Resposta: Alternativa (A)**



6. Em um laboratório de física, há uma peça composta de um eixo de alumínio contendo um sulco. Neste sulco, está preso um anel de ferro que pode se mover livremente (figura 1). Quando as peças estão a  $20^{\circ}\text{C}$  (figuras 2 e 3), as peças não podem ser separadas, pois o raio interno do anel é  $12,00\text{ cm}$  e o raio externo do sulco é  $12,05\text{ cm}$ . Um estudante encontra uma maneira de separá-las através da variação de suas temperaturas, pois elas têm coeficientes de dilatação diferentes. Os coeficientes de dilatação linear do alumínio e do ferro são, respectivamente,  $2,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  e  $1,1 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .



Sejam  $T_a$  e  $T_e$ , respectivamente, as temperaturas finais do anel e do eixo, suficientes para separar as duas peças. A menor diferença absoluta entre elas (menor  $|T_a - T_e|$ ) é obtida:

- a) reduzindo igualmente as temperaturas das duas peças.
- b) elevando igualmente as temperaturas das duas peças.
- c) aquecendo apenas o anel.
- d) resfriando apenas o eixo.
- e) resfriando apenas o anel.

**Resolução:**

Primeiro devemos analisar todas as alternativas de modo a eliminar as que são fisicamente impossíveis:

**a) reduzindo igualmente as temperaturas das duas peças.** Essa opção é possível a princípio, visto que, ao diminuir igualmente as temperaturas teremos uma maior contração do eixo de alumínio, por ele ter um maior coeficiente de dilatação. Só teremos uma situação fisicamente impossível nesse caso se a variação de temperatura exigida para igualar os diâmetros, ou seja, para tornar possível a retirada do anel, nos leve a uma temperatura final menor que o zero absoluto, que é o limite mínimo de temperatura.

**b) elevando igualmente as temperaturas das duas peças.** Essa opção não resolverá o problema, visto que, ao aumentar igualmente as temperaturas teremos uma maior dilatação do eixo de alumínio, dificultando cada vez mais a retirada do anel.

**c) aquecendo apenas o anel.** É uma alternativa possível, pois o aumento da temperatura do anel causaria sua dilatação e então sua retirada seria possível. Como não temos limite máximo de temperatura, não teremos restrições para a variação de temperatura, como ocorre na alternativa (a).

**d) resfriando apenas o eixo.** Também se trata de uma alternativa possível, pois resfriar o eixo levaria à sua contração, de modo que o anel pudesse ser retirado. Aqui cabe a mesma observação sobre o limite mínimo de temperatura.

**e) resfriando apenas o anel.** Achemos outra alternativa inviável, pois resfriar o anel levaria à sua contração, de modo que ficaria cada vez mais difícil retirá-lo do eixo.

Com essa análise, já estão eliminadas as opções B e E. Como queremos a alternativa que minimize  $|T_a - T_e|$ , a alternativa A é uma boa candidata, visto que reduzir a temperatura das duas peças igualmente nos levaria a  $|T_a - T_e| = 0$ . Porém, precisamos verificar se a temperatura necessária para separar as peças é fisicamente possível. Para a dilatação linear temos a seguinte equação:

$$L = L_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (13)$$

onde  $L_0$  é o comprimento inicial,  $\alpha$  o coeficiente de dilatação linear e  $\Delta T$  a variação de temperatura. Lembrando que a cavidade de um objeto homogêneo se dilata da mesma forma que o próprio objeto, podemos descrever a dilatação do diâmetro interno do anel e do diâmetro externo do eixo pela equação:

$$D = D_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (14)$$

Precisaremos de duas equações análogas à equação acima, uma para cada peça:  $D_{Al} = D_{0Al}(1 + \alpha_{Al}\Delta T)$  e  $D_{Fe} = D_{0Fe}(1 + \alpha_{Fe}\Delta T)$  e, para que as peças se desacoplem, precisamos que os diâmetros finais sejam iguais, ou seja:

$$D_{0Al}(1 + \alpha_{Al}\Delta T) = D_{0Fe}(1 + \alpha_{Fe}\Delta T) \quad (15)$$

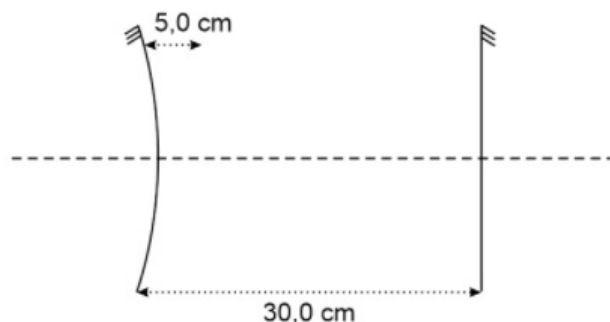
onde já exploramos que os dois corpos partem da mesma temperatura inicial e sofrem a mesma variação de temperatura  $\Delta T$ . Substituindo os valores dos diâmetros informados na figura e os coeficientes de dilatação informados no enunciado, achamos  $\Delta T \approx -374^\circ\text{C}$ , o que nos levaria a uma temperatura final menor que o zero absoluto ( $\approx -273^\circ\text{C}$ , o que é fisicamente impossível). Portanto, a letra A também está descartada.

Agora precisamos saber qual das duas alternativas restantes, C e D, nos levará ao menor  $|T_a - T_e|$ . C e D tem algo em comum, as duas alternativas sugerem a alteração da temperatura de apenas uma das peças. Portanto, a opção que dá a menor diferença de temperatura absoluta entre as peças será aquela que altera a temperatura do corpo com maior coeficiente de dilatação, uma vez que isso leva a uma menor variação de temperatura a partir da temperatura inicial comum. Portanto, como o alumínio tem um coeficiente de dilatação maior, separar as peças resfriando apenas o eixo irá requerer uma variação de temperatura absoluta menor do que se fossemos aquecer apenas o anel.

**Resposta: Alternativa (D)**

■

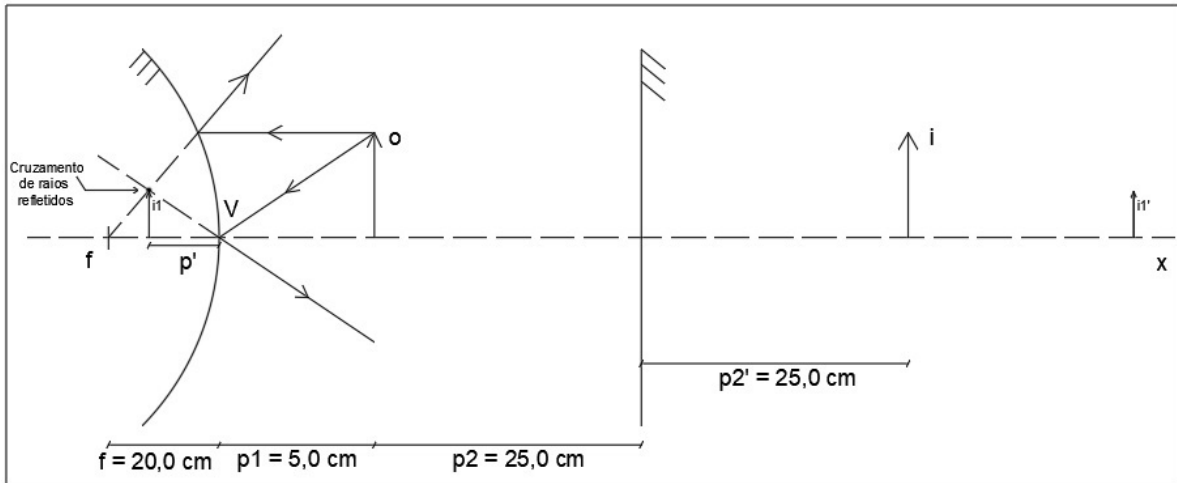
7. A figura representa um espelho convexo de distância focal igual a 20 cm e um espelho plano colocado um em frente ao outro. Um objeto é colocado entre eles a 5,0 cm do espelho convexo. A distância entre as duas primeiras imagens formadas pelo espelho plano, em cm, é:



- a) 4,0
- b) 5,0
- c) 9,0
- d) 24
- e) 49

## Resolução:

Para sabermos a localização das imagens, é necessário entender que a formação de uma imagem ocorre no ponto de cruzamento de raios refletidos, como mostra a figura abaixo. Com o objetivo de encontrar o ponto em que a imagem de O será formada no espelho convexo, traçamos os raios notáveis. Para traçá-los, utilizamos as seguintes propriedades: raios paralelos ao eixo são refletidos de forma que seu prolongamento passa pelo foco e raios que chegam no vértice são refletidos com ângulo de reflexão em relação ao eixo igual ao de incidência. Os raios refletidos irão se cruzar, com o auxílio de seus prolongamentos, na parte de trás do espelho, no ponto em que  $i_1$  é formada. Nos espelhos planos, a distância do objeto ao espelho é igual a da imagem ao espelho. Por isso, a imagem  $i$  formada por O no espelho plano dista dele  $25,0\text{ cm}$  ( $p'_2 = 25,0\text{ cm}$ ).



Representação dos raios notáveis para reflexão no espelho convexo. A posição do foco ( $f$ ) e vértice ( $V$ ) deste espelho estão indicadas.  $i_1$  é a imagem formada pelo objeto O no espelho convexo,  $i$  é a imagem formada por O no espelho plano e  $i'_1$  é a imagem formada no espelho plano por  $i_1$ , que funciona como objeto para esse espelho.

A imagem  $i_1$  formada pelo objeto no espelho convexo servirá como objeto para o espelho plano. Dessa forma, precisamos descobrir a distância entre esta imagem e o espelho convexo para determinar a distância entre o espelho plano e a imagem  $i'_1$  formada por  $i_1$ .

Para o espelho convexo, podemos aplicar a equação:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'} \quad (16)$$

onde:  $f$  é a distância focal,  $p_1$  é a distância do objeto O ao vértice e  $p'$  é a distância da imagem  $i_1$  ao vértice.

Substituindo os valores do enunciado na equação apresentada (em centímetros), obtemos:

$$\frac{1}{-20} = \frac{1}{5} + \frac{1}{p'} \quad \therefore \quad |p'| = 4,0\text{ cm} \quad (17)$$

É válido lembrar que, nessa equação, consideramos negativas distâncias medidas atrás da parte refletora e positivas as medidas em sua frente. Com isso, a distância de  $i_1$  ao espelho plano é dada por:  $d = p' + 30,0\text{ cm} = 34,0\text{ cm}$ , que é a mesma distância da imagem  $i'_1$  ao espelho plano.

Portanto, a distância entre as duas primeiras imagens vale:

$$d_{i,i'_1} = d - p'_2 = (34,0 - 25,0)\text{ cm} = 9,0\text{ cm}$$

**Resposta: Alternativa (C)**



8. Necessitava-se determinar o tipo e o número de partículas em excesso em uma pequena esfera de isopor eletrizada. Para isto, ela foi abandonada em um campo elétrico uniforme de intensidade  $2,0 \times 10^4\text{ N/C}$ , vertical para cima, suficiente para mantê-la em repouso, flutuando no ar. Sabendo que a massa da esfera era  $6,4\text{ g}$ , determinou-se que havia um excesso de

- a)  $2,0 \times 10^{16}$  elétrons
- b)  $2,0 \times 10^{13}$  elétrons
- c)  $2,0 \times 10^{13}$  prótons
- d)  $2,0 \times 10^{10}$  elétrons

e)  $2,0 \times 10^{10}$  prótons

### Resolução

Determinemos a carga da esfera de isopor. Para isso, considere um sistema de coordenadas no qual o unitário da direção vertical ( $\hat{j}$ ) aponta para cima. Assim, a força peso que atua sobre a esfera é dada por  $\vec{P} = -mg\hat{j}$  e a força elétrica é dada por  $\vec{F}_e = qE\hat{j}$ . Nessas expressões,  $m$  e  $q$  representam a massa e carga da esfera, respectivamente, e  $E$  representa a intensidade do campo elétrico. Como a esfera está em equilíbrio, a soma vetorial das forças que atuam sobre ela é nula, logo:

$$-mg\hat{j} + qE\hat{j} = 0 \Rightarrow q = \frac{mg}{E} \quad (18)$$

Da relação acima, já podemos verificar que a carga da esfera é positiva, uma vez que  $m$ ,  $g$  e  $E$  são todos positivos. Para determinar a quantidade de portadores de carga em excesso, lembre que a carga elétrica de um objeto resulta da diferença entre o número de prótons e de elétrons nele, e que os prótons e os elétrons tem cargas de mesmo módulo  $e$  e sinais opostos. Assim, podemos escrever  $q = ne$ , onde  $n$  é o número de portadores em excesso. Substituindo essa relação na equação acima, isolando  $n$  e fazendo as conversões de unidades apropriadas, encontramos:

$$n = \frac{mg}{eE} = \frac{6,4 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 2,0 \times 10^4 \text{ N/C}} = 2 \times 10^{13} \text{ prótons} \quad (19)$$

Note ainda que, como a carga da esfera é positiva, devemos ter um excesso de prótons.

### RESPOSTA: Alternativa C



9. Uma pessoa está parada entre dois espelhos planos paralelos um voltado para o outro, como representado na figura.

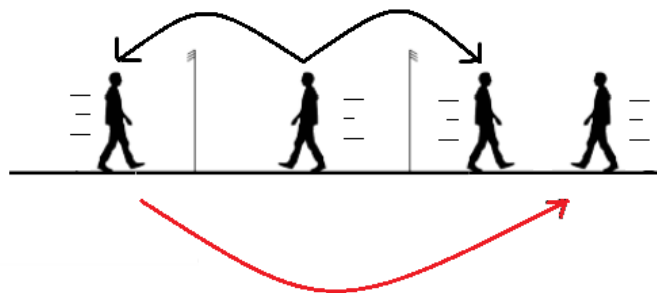


Se essa pessoa se mover no sentido do espelho da esquerda com uma velocidade de  $1,0 \text{ m/s}$ , suas duas primeiras imagens no espelho da direita:

- a) se afastam uma da outra com uma velocidade de  $2,0 \text{ m/s}$ .
- b) se aproximam uma da outra com uma velocidade de  $2,0 \text{ m/s}$ .
- c) se afastam uma da outra com uma velocidade de  $1,0 \text{ m/s}$ .
- d) se aproximam uma da outra com uma velocidade de  $1,0 \text{ m/s}$ .
- e) se deslocam juntas com a mesma velocidade.

### Resolução:

O que ocorre nessa situação é o seguinte: a imagem gerada por um espelho será objeto do outro, que gerará uma outra imagem, e assim por diante, infinitamente. Porém, só precisamos nos preocupar com as duas primeiras imagens formadas no espelho da direita, que identificamos na figura abaixo.



Entendendo melhor a figura: a pessoa serve como objeto para os dois espelhos, gerando as duas imagens indicadas pelas setas pretas. Como o objeto está se aproximando do espelho da esquerda, a imagem



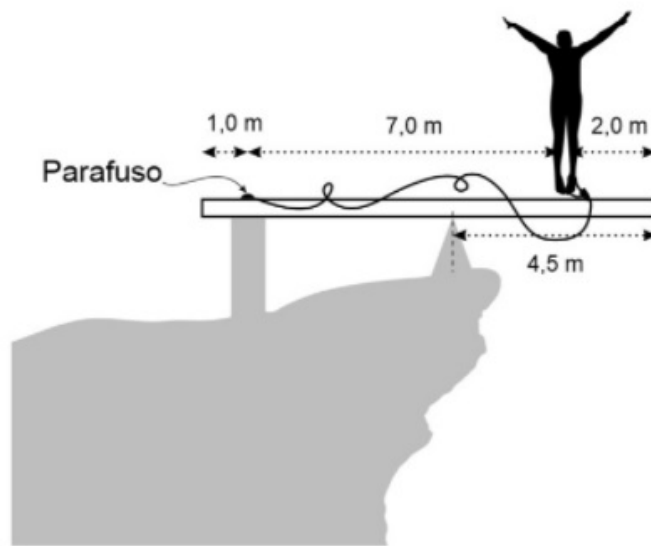
gerada por este espelho também estará, ou seja, andará para a direita. Seguindo o mesmo raciocínio, como o objeto está se afastando do espelho da direita, a primeira imagem formada neste espelho também estará, ou seja, andará para a direita. Em seguida, a imagem formada no espelho da esquerda, servirá de objeto para o espelho da direita, formando a segunda imagem no espelho da direita, indicada pela seta vermelha. Como a imagem do espelho da esquerda está se aproximando do espelho da direita, a segunda imagem do espelho da direita também estará, ou seja, andará para a esquerda. Portanto, observamos que as duas primeiras imagens se aproximam uma da outra.

Todas as imagens têm velocidades de mesmo módulo que a velocidade do objeto associado, 1m/s. Como a velocidade relativa de aproximação é dada pela diferença entre os vetores velocidade de cada imagem e os vetores velocidade das duas imagens têm sentidos opostos, o módulo da velocidade relativa de aproximação será dado pela soma dos módulos. Portanto, as imagens se aproximarão com uma velocidade relativa de 2 m/s.

**Resposta: Alternativa (B)**



10. Para saltar de um bungee jump (uma longa corda elástica), uma pessoa de massa 80 kg anda sobre uma prancha metálica, rígida e homogênea, de massa 40 kg. A prancha está presa ao piso através de um parafuso resistente, a 1,0 metro de sua extremidade esquerda, conforme mostra a figura. Qual o valor da força, em kgf, que o parafuso exerce na prancha quando a pessoa atinge a posição mostrada?



- a) 120
- b) 70,0
- c) 44,0
- d) 40,0
- e) 22,5

**Resolução:**

A figura abaixo mostra as forças que atuam sobre o sistema formado pela prancha e a pessoa. A pessoa está representada apenas por meio de sua força peso  $\vec{P}_1$  na posição em que ela se encontra. Além dessa força, temos a força peso da própria prancha,  $\vec{P}_2$  e as forças normais exercidas pelo parafuso sobre a prancha,  $\vec{F}$ , e pelo ponto de apoio em  $O$  sobre a prancha,  $\vec{N}$ . Note ainda que a prancha exerce uma força sobre a pessoa e a pessoa exerce uma força sobre a prancha, em acordo com a terceira lei de Newton. Como essas forças são internas ao sistema, elas não contribuem para a resultante e não são representadas. É importante destacar também que, como a barra é rígida e homogênea, seu peso está distribuído uniformemente ao longo de seu comprimento, de forma que o centro de massa, CM, coincide com seu centro geométrico.

Como o sistema está em equilíbrio, a força resultante sobre ele deve ser nula e a soma dos torques exercidos por cada força também deve ser nula. Vamos utilizar esta segunda condição, utilizando como referência para o cálculo dos torques o ponto  $O$ . Assim:

$$\sum \tau^O = 0$$

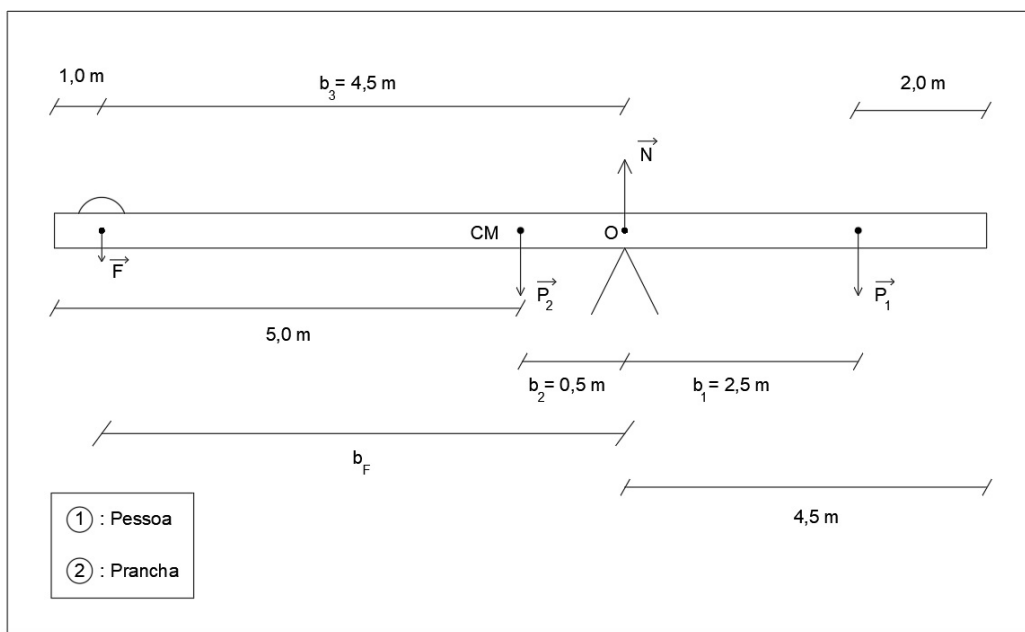


Figura 3: Diagrama de forças para o sistema tábua + pessoa.

Observe que a força  $\vec{N}$  atua sobre o ponto  $O$ , portanto o torque exercido por ela com relação a este ponto é nulo. Para as demais, devemos observar os braços de alavanca (distância entre a linha de ação da força e o ponto  $O$ ) e as tendências de rotação. Se convencionarmos como positivos os torques que produzem tendências de rotação no sentido anti-horário, vemos que  $\vec{F}$  e  $\vec{P}_2$  produzirão torques positivos, enquanto  $\vec{P}_1$  produz um torque negativo. Com isso, a condição de equilíbrio dá

$$-P_1 b_1 + P_2 b_2 + F b_F = 0 \quad (20)$$

Os braços de alavanca estão indicados na figura. Seus valores são:

$$\begin{aligned} b_1 &= 4,5 - 2,0 = 2,5 \text{ m} \\ b_2 &= 10,0 - (5,0 + 4,5) = 0,5 \text{ m} \\ b_F &= 10,0 - (1,0 + 4,5) = 4,5 \text{ m} \end{aligned} \quad (21)$$

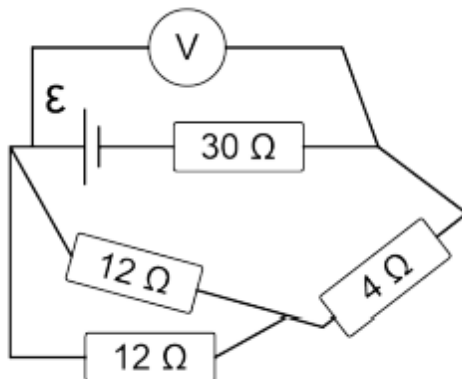
Além disso, como as massas da pessoa e da prancha valem 80 kg e 40 kg, sabemos que  $P_1 = 80 \text{ kgf}$  e  $P_2 = 40 \text{ kgf}$ . Substituindo esses valores na equação 20, encontramos o módulo de  $\vec{F}$  em kgf:

$$\begin{aligned} -80 \cdot 2,5 + 40 \cdot 0,5 + 4,5F &= 0 \\ 4,5F &= 180 \\ F &= 40 \text{ kgf} \end{aligned} \quad (22)$$

**Resposta: Alternativa (D)**

■

11. Considere o circuito abaixo que contém quatro resistências, um voltímetro  $V$  e uma fonte  $\varepsilon$ . Uma resistência de  $15 \Omega$  deve ser associada a ele para que o valor de sua resistência equivalente seja  $20 \Omega$ .



Esta resistência deve ser associada em

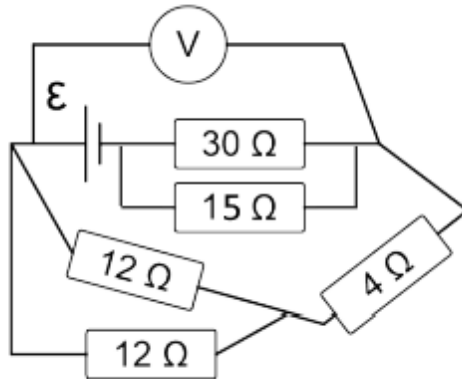
- a) Série com uma das resistências de  $12 \Omega$ .
- b) Paralelo com a resistência  $30 \Omega$ .
- c) Paralelo com a resistência de  $4 \Omega$ .
- d) Série com o voltímetro.
- e) Paralelo com a fonte.

### Resolução

Analisando o circuito original e assumindo que o voltímetro conectado é ideal, podemos considerar que a mesma corrente passa pelos resistores de  $30 \Omega$  e de  $4 \Omega$ , de forma que eles estão em série. Esta corrente se divide igualmente entre os dois resistores de  $12 \Omega$ , que estão associados em paralelo. Portanto, a resistência equivalente deste arranjo é  $R_{eq} = 30 + 4 + 12/2 = 40 \Omega$ . Devemos agora investigar cada uma das possibilidades oferecidas pelas alternativas e ver qual é aquela que dá a resistência equivalente pedida.

Na opção (a), a associação em série com uma das resistências de  $12 \Omega$  modifica a associação em paralelo original e gera uma resistência equivalente de  $R_{eq} = 30 + 4 + 12 \cdot (12 + 15)/(12 + 12 + 15) \approx 42 \Omega$ . Portanto, ela não dá o valor pedido.

Na opção (b) a associação em paralelo com a resistência de  $30 \Omega$  resulta no circuito mostrado na figura abaixo. Essa associação gera uma resistência equivalente de  $R_{eq} = 30 \cdot 15/(30 + 15) + 4 + 12/2 = 20 \Omega$ . Portanto, esta alternativa dá o valor desejado e é a resposta correta.



Na opção (c), de maneira análoga, a resistência equivalente será  $R_{eq} = 30 + 4 \cdot 15/(4 + 15) + 12/2 \approx 39 \Omega$  e não dá o valor desejado.

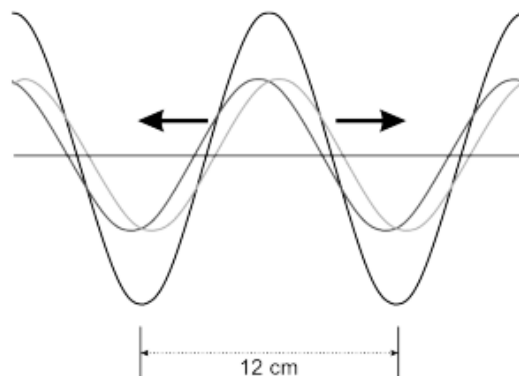
Na opção (d), ao conectarmos a resistência de  $15 \Omega$  em série com o voltímetro, nenhuma corrente passará sobre ela, uma vez que o voltímetro é ideal (tem resistência infinita). Portanto, esta conexão não exercerá qualquer influência sobre o circuito e teremos  $R_{eq} = 40 \Omega$ , como no circuito original.

Na opção (e), a associação em paralelo com a fonte resulta em uma associação em paralelo dessa resistência com a resistência equivalente original do circuito, de forma que a nova resistência equivalente é  $R_{eq} = 40 \cdot 15/(40 + 15) \approx 11 \Omega$ . Portanto, ela também não dá o valor pedido.

**RESPOSTA: Alternativa (B)**



12. O instantâneo da interferência de duas ondas que se propagam em sentidos opostos em uma corda é mostrado a seguir. Nele estão representadas as duas ondas e a onda resultante.



Sabe-se que a frequência da fonte produtora das ondas é  $5,0 \text{ Hz}$ . Considere como o instante inicial um estado no qual a corda apresenta máxima deformação (por exemplo, pouco antes do estado representado

na figura). O primeiro instante no qual a corda estará na horizontal, em s, é:

- a)  $2 \times 10^{-2}$
- b)  $5 \times 10^{-2}$
- c)  $1 \times 10^{-1}$
- d)  $2 \times 10^{-1}$
- e)  $3 \times 10^{-1}$

**Resolução:**

O estado de deformação máxima da corda ocorre quando há interferência completamente construtiva entre as duas ondas. Já o estado de deformação mínima (corda na horizontal) ocorre quando há interferência completamente destrutiva.

Para sair de um estado de interferência completamente construtiva e ir para um de interferência completamente destrutiva, as ondas devem ter um deslocamento relativo de  $\Delta s_{rel} = \lambda/2$  (meio comprimento de onda) pois, quando isso ocorre, o vale de uma passará a coincidir com a crista da outra, configurando a interferência completamente destrutiva. Pela figura, vemos que o comprimento de onda de cada onda vale  $\lambda = 0,12$  m. Para saber em quanto tempo este evento ocorrerá, precisamos saber ainda a velocidade de propagação de cada onda:

$$v = \lambda f = 0,12 \text{ m} \cdot 5 \text{ Hz} = 0,6 \text{ m/s} \tag{23}$$

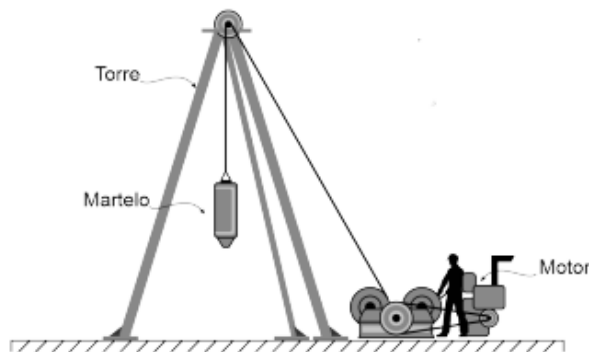
Como as ondas se propagam em sentidos opostos, a velocidade relativa de uma onda com relação a outra será, em módulo, de 1,2 m/s. Portanto, o intervalo de tempo mínimo de passagem do estado de deformação máxima para o de deformação mínima é:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{\Delta s_{rel}}{v_{rel}} = \frac{\lambda/2}{v_{rel}} \\ &= \frac{0,12 \text{ m}}{2 \cdot 1,2 \text{ m/s}} \\ &= 0,05 \text{ s} = 5 \times 10^{-2} \text{ s} \end{aligned} \tag{24}$$

**Resposta: Alternativa (B)**



13. Bate estaca é um equipamento utilizado para a execução de fundações profundas nas construções. Os bate estacas são usados para a cravação dos diversos tipos de estacas, como estaca pré-moldada de concreto, metálica e de madeira. É, em geral, composto de uma torre e um martelo que irá realizar o movimento que gerará a força necessária para a cravação da estaca no solo. O bate-estacas por gravidade é um dos tipos mais utilizados em obras. É composto por guias verticais e por um motor que tem a finalidade de erguer um peso (o martelo) até certa altura e soltá-lo. Quem faz o esforço da cravação é a gravidade. A média de golpes conseguidos é de 10 por minuto. A figura mostra um destes equipamentos.



Uma determinada obra usa um bate-estacas por gravidade cujo martelo tem massa de 200 kg. Considere que (1) inicialmente o martelo é solto de uma altura de 8,0 metros em relação à parte superior da estaca, (2) a cada batida a estaca afunda 10 cm no solo e (3) depois da batida o martelo é elevado à mesma altura em relação ao solo. Considerando que, a cada batida, 90% da energia mecânica do martelo é convertida em trabalho de perfuração do solo, o trabalho mecânico que ele realiza sobre a estaca no primeiro minuto é, em J, igual a:

- a)  $1,60 \times 10^4$
- b)  $1,44 \times 10^5$
- c)  $1,54 \times 10^5$
- d)  $1,60 \times 10^5$
- e)  $1,71 \times 10^5$

**Resolução:**

A energia mecânica transferida à estaca a cada golpe corresponde à variação de energia potencial gravitacional do martelo entre a altura de largada e a altura final da estaca após o golpe, ambos medidos com relação ao solo. Para o  $i$ -ésimo golpe, representamos essa quantidade por  $\Delta U_i = mg\Delta h_i$ , onde  $m$  é a massa do martelo e  $\Delta h_i$  é a variação de altura correspondente.

Como a cada batida a estaca afunda 10 cm no solo,  $\Delta h_i$  aumenta em passos de 10 cm, começando com  $\Delta h_1 = 8,0 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 8,1 \text{ m}$  no primeiro golpe. Portanto, a variação de energia mecânica total no intervalo de um minuto, onde ocorrem 10 golpes, é a soma das 10 variações, que correspondem a termos de uma progressão aritmética. Assim, podemos escrever:

$$\Delta U_{tot} = \sum_{i=1}^{10} \Delta U_i = \frac{mg(\Delta h_1 + \Delta h_{10}) \cdot 10}{2} = \frac{(200 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(8,1 \text{ m} + 9,0 \text{ m}) \cdot 10}{2} = 1,71 \times 10^5 \text{ J} \quad (25)$$

Porém, como o enunciado diz, apenas 90% da energia mecânica é transformada em trabalho de perfuração. Portanto, o trabalho de perfuração empregado sobre a estaca é:

$$W_p = 0,9 \times 1,71 \cdot 10^5 \text{ J} \approx 1,54 \times 10^5 \text{ J} \quad (26)$$

**Resposta: Alternativa (C)**



14. Uma bússola naturalmente aponta para o Norte Geográfico da Terra. Porém, a proximidade de sistemas específicos podem levá-la a apontar em outra direção, ou seja, defletir. Considerados isoladamente, isto é sem a ação de outros sistemas, não haverá deflexão da bússola se ela estiver muito próxima de
- a) uma placa de ferro.
  - b) uma esfera de alumínio.
  - c) um tubo de raios catódicos em funcionamento.
  - d) um solenoide percorrido por uma alta corrente elétrica.
  - e) um fio de cobre percorrido por uma corrente elétrica retificada.

**Resolução**

Bússolas são defletidas pela presença de campos magnéticos, que podem ser produzidos naturalmente por materiais ferromagnéticos ou artificialmente pela passagem de corrente elétrica em um meio condutor. A alternativa (a) mostra um exemplo de um material ferromagnético que, quando magnetizado, irá defletir a bússola. As alternativas (c), (d) e (e) são exemplos de campos magnéticos produzidos por correntes e também causarão uma deflexão na bússola. Consequentemente, a única alternativa que apresenta um sistema que não causará uma deflexão na bússola é a (b). De fato, o alumínio é um material paramagnético e se magnetiza apenas na presença de campos magnéticos externos. Assim, quando isolado, ele não terá magnetização e não será capaz de produzir uma deflexão na bússola.

**RESPOSTA: Alternativa (B)**



15. Tem-se duas peças de mesma massa  $M$ , uma de ouro e outra de alumínio, ambas a  $20^\circ\text{C}$ . O ouro possui calor específico igual a  $0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ , calor latente de fusão igual a  $15 \text{ cal/g}$  e ponto de fusão igual a  $1060^\circ\text{C}$ . O alumínio possui calor específico igual a  $0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ , calor latente de fusão igual a  $95 \text{ cal/g}$  e ponto de fusão igual a  $660^\circ\text{C}$ . O calor necessário para fundir totalmente a peça de ouro é o suficiente para:
- a) fundir completamente a peça de alumínio e elevar a temperatura do líquido a  $1064^\circ\text{C}$ .
  - b) fundir completamente a peça de alumínio sem ultrapassar a temperatura de  $660^\circ\text{C}$ .
  - c) elevar a temperatura da peça de alumínio a  $251^\circ\text{C}$ .
  - d) elevar a temperatura da peça de alumínio a  $231^\circ\text{C}$ .
  - e) fundir apenas  $1/4$  da peça de alumínio.

### Resolução:

Primeiro precisamos calcular quanto calor é necessário para fundir completamente uma peça de ouro de massa  $M$ . Para elevar a temperatura da peça de ouro de  $20^\circ\text{C}$  até  $1060^\circ\text{C}$ , sua temperatura de fusão, precisamos de uma certa quantidade de calor sensível. O calor sensível pode ser calculado pela equação:  $Q_s = mc\Delta T = mc(T_{final} - T_{inicial})$ . Utilizando o calor específico do ouro, obtemos:

$$Q_{s(\text{ouro})} = M \cdot 0,03 \cdot (1060 - 20) = M \cdot 0,03 \cdot 1040 \text{ cal} = 31,2M \text{ cal} \quad (27)$$

Note que, para manter a coerência das unidades,  $M$  deve ser expresso em gramas.

Já para fundir a mesma massa de ouro, precisaremos de uma quantidade de calor latente dada por  $Q_{l(\text{ouro})} = ML$ . Substituindo o valor do calor latente de fusão do ouro, obtemos:

$$Q_{l(\text{ouro})} = 15M \text{ cal} \quad (28)$$

Portanto, a quantidade de calor total necessária para fundir completamente a peça de ouro  $Q_{tot(\text{ouro})}$  será:

$$Q_{tot(\text{ouro})} = Q_{s(\text{ouro})} + Q_{l(\text{ouro})} = 46,2M \text{ cal} \quad (29)$$

Precisamos ter noção do que essa quantidade de calor é capaz de causar na peça de alumínio. Para isso, calculemos a quantidade de calor sensível necessária para levar a mesma massa  $M$  de alumínio de  $20^\circ\text{C}$  até  $660^\circ\text{C}$ , sua temperatura de fusão:

$$Q_{s(\text{Al})} = M \cdot 0,2 \cdot 640 = 128M \text{ cal} \quad (30)$$

Como este valor é maior que  $Q_{tot(\text{ouro})}$ , concluímos que a quantidade de calor necessária para fundir completamente a peça de ouro de massa  $M$  é capaz de provocar na peça de alumínio apenas uma elevação de temperatura, sem alcançar a temperatura de fusão. Utilizando novamente a equação do calor sensível, podemos obter a variação de temperatura correspondente:

$$\begin{aligned} Q_{tot(\text{ouro})} &= Mc_{Al}\Delta T \\ 46,2M &= M \cdot 0,2 \cdot \Delta T \\ \Delta T &= 231 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (31)$$

Como inicialmente as peças estavam a  $20^\circ\text{C}$ , a temperatura final do alumínio será de  $251^\circ\text{C}$

### Resposta: Alternativa (C)



16. Uma telha de concreto produz energia elétrica a partir de células fotovoltaicas, sem necessidade de painéis solares adicionais. Essa é a tecnologia que recebeu aval e registro do INMETRO e chegará ao Brasil por meio da Eternit. A telha BIG-F10 é a primeira no país deste tipo. A capacidade de produção média mensal de uma única telha é de 1,15 kilowatts hora por mês (kWh/mês). O consumo médio residencial de energia elétrica no Brasil é de 152,2 kWh/mês. Cada telha de concreto da Eternit Solar produz energia a uma taxa 9,16 J/s, é retangular e tem as seguintes dimensões: 365 mm 475 mm. (texto modificado a partir: <https://opetroleo.com.br/empresa-brasileira-eternit-autorizada-a-vender-telha-parageracao-de-energia-solar>)

Uma pequena empresa funciona 12 horas por dia, 30 dias por mês, utilizando continuamente 8 máquinas cujas especificações são dadas no rótulo 220V - 20A. Admitindo que elas funcionam à plena carga, e que as condições climáticas no período são ótimas para a produção de energia fotovoltaica, qual a área do telhado desta indústria, em  $\text{m}^2$ , que deve ser coberta com esse tipo telha para suprir o consumo mensal de suas máquinas?

- a) 16000
- b) 1584
- c) 1377
- d) 1910
- e) 239

### Resolução

Vamos utilizar as informações do texto para obter a energia por unidade de área fornecida pelas telhas. Fazendo as conversões de unidades apropriadas, vemos que a área de uma telha é dada por:

$$A_t = 365 \times 10^{-3} \text{ m} \times 475 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,173 \text{ m}^2 \quad (32)$$

A produção média mensal por metro quadrado de telha é obtida dividindo a energia fornecida por uma telha pela sua área:

$$E_f = \frac{1,15 \text{ kWh/mês}}{0,173 \text{ m}^2} \approx 6,65 \text{ kWh/mês m}^2 \quad (33)$$

Vamos agora calcular o gasto energético da empresa com suas máquinas. Lembremos da relação  $P = VI$  para a potência de uma máquina que opera a uma diferença de potencial  $V$  e corrente  $I$ . Com o funcionamento à plena carga, cada máquina tem uma potência  $P = 220 \text{ V} \times 20 \text{ A} = 4,4 \text{ kW}$ . Como a empresa tem 8 máquinas que ficam ligadas 12 horas por dia todos os dias, o consumo mensal será de:

$$E_c = 8 \times 4,4 \text{ kW} \times 12 \text{ h/dia} \times 30 \text{ dias/mês} = 12.672 \text{ kWh/mês}. \quad (34)$$

Sendo assim, a área total  $A$  a ser coberta pelas telhas para cobrir este consumo é:

$$A = \frac{E_c}{E_f} = \frac{12.672 \text{ kWh/mês}}{6,65 \text{ kWh/mês m}^2} \approx 1906 \text{ m}^2 \quad (35)$$

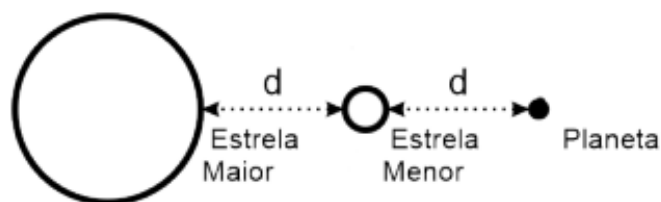
A alternativa que melhor se aproxima do cálculo acima é alternativa D.

**RESPOSTA: Alternativa (D)**

■

17. Um dos focos da astronomia é o estudo dos sistemas binários, sistemas onde uma estrela orbita em torno de outra. Um destes sistemas é o HD 142527. Para compreender melhor como tais sistemas se formam e evoluem, os astrônomos se valeram do Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) para fazer uma nova e detalhada observação do disco protoplanetário em torno do sistema HD 142527, um sistema binário a cerca de 450 anos-luz da Terra em um aglomerado estelar jovem, conhecido como Associação Escorpião-Centauro. O sistema HD 142527 consiste de uma estrela principal com um pouco mais que o dobro da massa do Sol e uma pequena companheira com apenas cerca de um terço da massa do Sol. Elas estão separadas mais ou menos pela distância entre o Sol e Saturno. (Disponível em <https://www.blogs.unicamp.br/chivononpo/2016/02/13/formacao-de-planetras-em-sistemas-estelares-binarios/>, adaptado)

Considere que um planeta com massa aproximadamente igual a massa de Saturno orbite essas estrelas.



Quando esse planeta passar pela posição representada na figura, a razão entre a força gravitacional resultante que essas estrelas nele exercem e a força gravitacional que o Sol exerce em Saturno é:

- a) 7/3
- b) 4/3
- c) 6/5
- d) 5/6
- e) 3/7

**Resolução:**

Primeiro vamos calcular o módulo da força gravitacional que o sistema binário faz sobre o planeta. Na situação da figura, as forças exercidas por cada estrela sobre o planeta têm a mesma direção e sentido (para a esquerda), de forma que a resultante terá módulo igual à soma dos módulos de cada força.

Sendo  $M_{sol}$  a massa do Sol,  $M_{sat}$  a massa de Saturno,  $G$  a constante de gravitação universal e  $d$  a distância do Sol até Saturno, podemos escrever a intensidade da força gravitacional em função dessas variáveis. Como a estrela maior tem massa  $2M_{sol}$  e dista  $2d$  do planeta e a estrela menor tem massa

$\frac{1}{3}M_{sol}$  e dista  $d$  do planeta, o módulo da força que o binário exerce no planeta (cuja massa é igual à de Saturno) é:

$$\begin{aligned} F_{bi} &= \frac{G(2M_{sol})M_{sat}}{(2d)^2} + \frac{G(M_{sol}/3)M_{sat}}{d^2} \\ &= \frac{GM_{sol}M_{sat}}{2d^2} + \frac{GM_{sol}M_{sat}}{3d^2} \\ &= \frac{5}{6} \frac{GM_{sol}M_{sat}}{d^2} \end{aligned} \quad (36)$$

Já a força gravitacional que o Sol exerce sobre saturno tem módulo:

$$F_s = \frac{GM_{sol}M_{sat}}{d^2} \quad (37)$$

Logo, a razão entre os módulos das duas forças vale  $\frac{F_{bi}}{F_s} = \frac{5}{6}$ .

**Resposta: Alternativa (D)**

■

18. Durante um debate sobre o texto são feitas três afirmações:

- I. Qualquer sonda lançada da Terra irá levar 450 anos para alcançar o HD 142527.
- II. Um evento, ocorrido no HD 142527 e observado aqui da Terra hoje, aconteceu há 450 anos atrás.
- III. As trajetórias de eventuais planetas desse sistema são elipses na qual cada estrela do binário ocupa um dos focos.

É (são) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I e II
- e) II e III

**Resolução:**

Vamos avaliar cuidadosamente cada proposição:

I. *Falso*. O sistema em questão está a 450 anos-luz da Terra. Por definição, sabemos que 1 ano-luz corresponde à distância que a luz percorre em um ano no vácuo, com velocidade  $c = 3 \times 10^8$  m/s. Assim, se uma sonda levar 450 anos para percorrer a distância entre a Terra e o sistema HD 142527, sua velocidade média de percurso foi  $c$ . Entretanto, não há sonda composta de massa que possa alcançar tal velocidade, de modo que esta alternativa está incorreta;

II. *Verdadeiro*. Um raio luminoso no vácuo leva 450 anos para realizar um deslocamento de 450 anos-luz. Assim, um evento de HD 142527 visto hoje na Terra teria ocorrido há 450 anos atrás. Logo, esta alternativa é verdadeira;

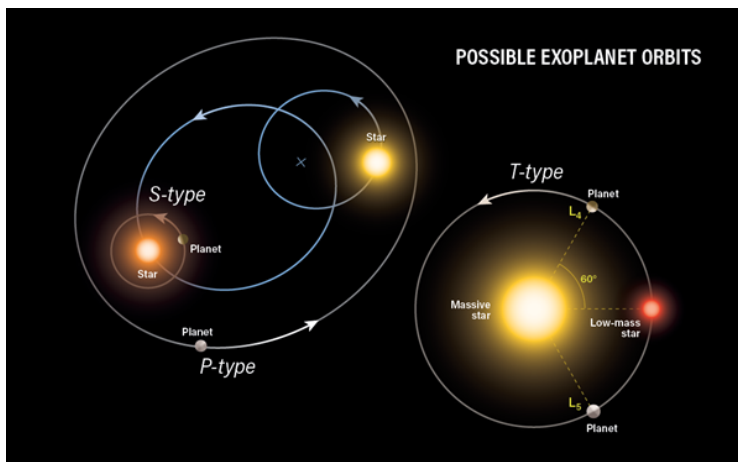
III. *Falso*. O movimento de um planeta em um sistema composto por um binário de estrelas se trata de um problema de três corpos, de forma que sua órbita não é tão trivial quanto a alternativa sugere. Na realidade, são três as possibilidades, como pode-se ver na imagem abaixo: as órbitas do tipo-p, onde o planeta orbita as duas estrelas, por fora do binário; as tipo-s, onde o planeta orbita apenas uma das duas estrelas, e, por fim, o tipo-t, que ocorre somente quando há uma grande diferença de massa entre as estrelas e a menor orbita a maior. Neste caso, o planeta compartilharia esta órbita, ocupando sempre um ponto de Lagrange em relação às estrelas.

Visto que apenas a proposição II está correta, a resposta certa é a B.

**RESPOSTA: Alternativa (B)**

■





As possíveis órbitas para um planeta em um sistema estelar binário. Disponível em: <https://astronomy.com/magazine/ask-astro/2020/01/can-solar-systems-exist-in-a-binary-star-system>.

19. Um foguete de massa igual a  $5,0 \times 10^2$  kg parte do repouso sofrendo impulso resultante de  $4,0 \times 10^6$  Ns durante um intervalo de tempo de  $2,0 \times 10^2$  s. Considerando que a massa do foguete é constante, a potência média desenvolvida pelos propulsores do foguete nesse intervalo de tempo, em W, foi de

- a)  $1,0 \times 10^2$
- b)  $2,0 \times 10^4$
- c)  $2,0 \times 10^6$
- d)  $8,0 \times 10^7$
- e)  $1,6 \times 10^8$

### Resolução

O teorema do impulso afirma que a variação total da quantidade de movimento (momento linear) de um objeto é dada pelo próprio impulso. Assim, como o foguete partiu do repouso, podemos escrever:

$$I = m\Delta v = mv_f \Rightarrow v_f = \frac{I}{m} \quad (38)$$

onde  $m$  é a massa do foguete e  $v_f$  é a sua velocidade final após a etapa de propulsão.

A potência média desenvolvida pelos propulsores do foguete é a razão entre o trabalho  $W$  realizado por eles e o tempo  $\Delta t$  gasto na etapa de propulsão. Desconsiderando a ação de outras forças nessa etapa, podemos considerar que esse trabalho é igual ao trabalho total realizado pelo foguete. Além disso, pelo teorema trabalho-energia, o trabalho total é igual à variação de energia cinética  $\Delta K$  do foguete. Com isso, podemos escrever:

$$P = \frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{mv_f^2}{2\Delta t} = \frac{I^2}{2m\Delta t} = \frac{(4,0 \times 10^6 \text{ Ns})^2}{2 \times 5,0 \times 10^2 \text{ kg} \times 2,0 \times 10^2 \text{ s}} = 8,0 \times 10^7 \text{ W} \quad (39)$$

**RESPOSTA: Alternativa (D)**



20. Para facilitar a exploração espacial, os cientistas buscam desenvolver motores que possam acelerar as naves durante um período de tempo longo e com baixo consumo de combustível. Uma alternativa é o sistema de propulsão elétrica de íons. Atualmente estão sendo desenvolvidos propulsores deste tipo que podem proporcionar até 100 kW de potência e alcançar velocidades de 15 km/s a 30 km/s. Considere um foguete de massa 6000 kg equipado com um sistema deste. Quanto tempo, em horas, o sistema de propulsão deve funcionar, a plena potência (100 kW), para alcançar a velocidade de 20 km/s partindo do repouso? (Admita em suas considerações que o jato de íons tem massa desprezível.)
- a)  $1,2 \times 10^7$
  - b)  $6,0 \times 10^4$
  - c)  $2,0 \times 10^4$
  - d)  $3,3 \times 10^3$
  - e)  $6,0 \times 10^2$

### Resolução

Sabemos que a potência expressa o trabalho realizado por unidade de tempo. Assim, para a potência total:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (40)$$

onde  $W$  é o trabalho total realizado num intervalo de tempo  $\Delta t$ .

A potência já foi informada no enunciado. Podemos determinar o trabalho total por meio do Teorema Trabalho-energia cinética:

$$W = \Delta K = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \quad (41)$$

Como o sistema parte do repouso, temos  $v_0 = 0$ . Substituindo os valores do enunciado para a massa  $m$ , a velocidade final  $v_f$  e fazendo as conversões apropriadas de unidades para o SI, obtemos:

$$W = \frac{(6000 \text{ kg}) \cdot (20 \times 10^3 \text{ m/s})^2}{2} = 12 \times 10^{11} \text{ J} \quad (42)$$

Substituindo este valor na expressão de  $P$  e utilizando que  $P = 100 \text{ kW} = 10^5 \text{ W}$ , encontramos:

$$\Delta t = \frac{12 \times 10^{11} \text{ J}}{10^5 \text{ W}} = 12 \times 10^6 \text{ s} \quad (43)$$

Convertendo este resultado para horas, encontramos:

$$\Delta t = 12 \times 10^6 \cdot \frac{1}{3600} \text{ h} = 3,3 \times 10^3 \text{ h} \quad (44)$$

**Resposta: Alternativa (D)**

