



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

João Octavio Oliveira Cony Lucas Bianchi Marcianesi Maria Clara Vicente Coelho
Nathan Machado Vasconcelos Lucca Teixeira Martins Isabella Vannucci Salloum
Guilherme da Gavea de Souza Matheus Buckowski Lindenberg

Revisão

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

1. O risco dos caminhões perderem os freios em descidas de serras é apreciável. Por isso, em muitas delas estão sendo construídas áreas de escapes. Até o ano de 2020, a área de escape da BR-376 já evitou centenas de acidentes. A foto abaixo mostra um caminhão carregando 11 toneladas de carga utilizando a área de escape.



Considere que o caminhão durante a frenagem se comporta como um bloco de igual massa e velocidade que desliza em um plano inclinado para fazer suas estimativas. O início da área de escape é a parte de baixo de um plano inclinado de um ângulo $\theta = 30^\circ$ em relação à horizontal. Se o caminhão entra na área de escape com velocidade de 108 km/h e para depois de percorrer uma distância de 75 m, o coeficiente de atrito cinético entre o caminhão e o piso é de aproximadamente:

- a) 0,06
- b) 0,12
- c) 0,48
- d) 0,60
- e) 0,74

Resolução

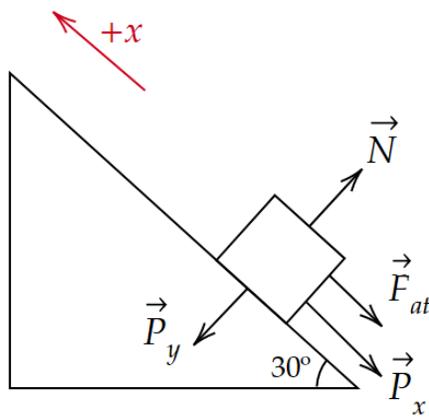
O diagrama de forças que atuam sobre o caminhão (bloco) é mostrado na figura abaixo. Escolhemos um sistema de eixos com eixo X ao longo do plano, apontando para cima, e eixo Y na direção perpendicular. Como o movimento acontece somente ao longo do eixo X , pela primeira lei de Newton, sabemos que a componente y do peso e a normal devem se anular. Assim que o caminhão sobe na área de escape, a componente x do seu peso começa a agir no sentido contrário ao do movimento, contribuindo para sua desaceleração. Já a força de atrito surge em oposição à tendência do movimento, que é continuar seguindo no sentido de X crescente, ou seja, o atrito também contribui para a desaceleração do caminhão.

Da análise feita acima e da aplicação da segunda lei de Newton ao diagrama nas direções X e Y , obtemos as seguintes equações:

$$N = P_y = mg \cos(30^\circ) \quad (1)$$

$$-mg \sin(30^\circ) - \mu_c mg \cos(30^\circ) = ma \quad (2)$$

onde m é a massa do caminhão e utilizamos que o módulo da força de atrito cinético é dado por $F_{at} = \mu_c N$.



Da equação (2), concluímos que a aceleração a do caminhão é independente de sua massa e é constante, uma vez que g e μ_c são constantes. Portanto, podemos encontrá-la usando a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S \quad (3)$$

Sabemos que $v_0 = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 108 \frac{1000\text{m}}{3600\text{s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v = 0$ e $\Delta S = 75 \text{ m}$. Substituindo esses valores em (3), obtemos:

$$0 = (30 \text{ m/s})^2 + 2 \times 75 \text{ m} \times a$$

$$a = -6 \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

Finalmente, dividindo a equação (2) pela massa e substituindo o valor de aceleração achado:

$$-10 \text{ m/s}^2 \times \sin(30^\circ) - 10 \text{ m/s}^2 \times \mu_c \times \cos(30^\circ) = -6 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_c = -\frac{\sin(30^\circ)}{\cos(30^\circ)} + \frac{6 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2 \times \cos(30^\circ)} \approx 0,12 \quad (5)$$

RESPOSTA: Alternativa B.



2. Minas Gerais é famosa por suas montanhas. Em virtude disto várias de suas cidades possuem muitas ladeiras, subidas muito íngremes. Por isso é comum encontrar ruas em zigue-zagues, como essa na cidade de Nova Lima, MG, mostrada na figura. Este arruamento foi construído em 1894 para dar acesso ao bairro recém criado na antiga Villa Nova de Lima. É um exemplo original de utilização de rampas em formato de zigue-zague para reduzir impacto de ladeira com forte inclinação. Sua concepção facilitava o tráfego de moradores e possibilitava a passagem de tropas de burro com carregamentos, meio de transporte utilizado na época. Hoje, o arruamento em zigue-zague é considerado um dos maiores atrativos turísticos urbanos do município, estando entre os símbolos que representam o cartão postal da cidade.



Observe na figura há escadas laterais, logo é possível percorrer a ladeira tanto pelas escadas quanto pelas rampas.

Considere que um atleta em treinamento consiga subir tanto pela escada quanto pelas rampas com a mesma rapidez (velocidade escalar) e faz seus exercícios carregando um lastro de massa M . Sejam W_e e P_e , respectivamente, o trabalho que o atleta realiza sobre o lastro e a energia por unidade de tempo (potência) que ele transfere para o lastro quando ele sobe a ladeira pela escada; e W_r e P_r são as grandezas análogas quando sobe pela rampa. Podemos afirmar que

- a) $W_e = W_r$ e $P_e = P_r$.
b) $W_e > W_r$ e $P_e > P_r$.

- c) $W_e = W_r$ e $P_e > P_r$.
d) $W_e < W_r$ e $P_e > P_r$.
e) $W_e < W_r$ e $P_e < P_r$.

Resolução

Vamos analisar primeiro o trabalho que o atleta realiza sobre o lastro nas duas situações. Em qualquer instante do movimento do atleta, podemos considerar que as forças que atuam sobre o lastro são a força peso, \vec{F}_p , e a força que o atleta exerce sobre o lastro, \vec{F}_a . Denotando os trabalhos realizados por essas forças como W^p e W^a , respectivamente, podemos escrever o trabalho total realizado durante a subida da ladeira por $W^{tot} = W^p + W^a$. Utilizando o teorema trabalho-energia, podemos escrever:

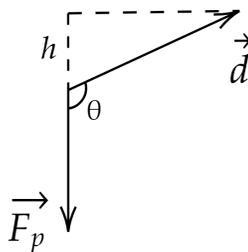
$$W^{tot} = W^p + W^a = \Delta K \quad (6)$$

onde ΔK é a variação de energia cinética do lastro entre os instantes inicial e final do deslocamento. Como o atleta se desloca com rapidez constante em ambas as situações, teremos $\Delta K = 0$ nos dois casos, de forma que $W^a = -W^p$. Portanto, basta compararmos os trabalhos realizados pela força peso nas duas situações.

Observe que a força peso do lastro é constante nas duas situações. Começamos, então, olhando para a fórmula do trabalho realizado por uma força constante:

$$\begin{aligned} W^p &= F_p d \cos(\theta) \\ &= Mgd \cos(\theta) \end{aligned}$$

Nessa expressão, d é o módulo do vetor deslocamento \vec{d} entre os pontos inicial e final do trajeto e θ é o ângulo entre os vetores \vec{d} e \vec{F}_p . Note agora que $d \cos(\theta) = -d \cos(\pi - \theta) = -h$, que é a altura da ladeira, como mostrado esquematicamente na figura abaixo.



Como h é o mesmo nas duas situações, concluímos que

$$W_e^p = W_r^p \quad (7)$$

Vamos agora analisar as potências. Como a rapidez é constante nas duas situações, podemos trabalhar com a potência média para realizar nossa análise:

$$P = \frac{W^p}{\Delta t} \quad (8)$$

onde Δt é o intervalo de tempo correspondente ao deslocamento entre a base e o topo da ladeira.

Já sabemos que os trabalhos realizados ao subir a rampa e as escadas são iguais. Como a velocidade escalar do atleta ao subir pela rampa e pela escada é a mesma, mas o trajeto percorrido para subir a rampa é maior do que pela escada, o tempo que ele demora para subir pela rampa é maior do que pela escada:

$$\Delta t_r > \Delta t_e \quad (9)$$

Dessa forma, como a potência transferida é inversamente proporcional ao tempo percorrido, concluímos que a potência transferida ao subir as escadas será maior do que ao subir pela rampa:

$$P_e > P_r \quad (10)$$

Resposta: Alternativa C.



3. No verão de 2022, a região noroeste dos Estados Unidos vem sendo castigada por ondas de calor. Em 26/07, na cidade de Seattle foi registrada a mais alta temperatura de todos os tempos, quando os termômetros acusaram 94°F . Historicamente, as temperaturas em Seattle raramente superam 88°F . As previsões para Portland, outra cidade da região, apontam que a temperatura neste verão pode atingir a marca de 102°F .

Lembrando que na escala Fahrenheit o ponto de fusão do gelo é 32°F e o ponto de ebulição da água é 180°F , o valor em graus celsius, da temperatura extrema prevista para Portland é, aproximadamente:

- a) 35
- b) 39
- c) 42
- d) 51
- e) 56

Resolução

O enunciado da questão contém uma informação incorreta. A temperatura de ebulição da água na escala Fahrenheit é 212°F , e não 180°F . Considerando então essa informação e também que o ponto de fusão do gelo é 0°C e o ponto de ebulição da água é 100°C na escala Celsius, podemos resolver a questão.

A diferença entre uma temperatura T_F dada e a temperatura de fusão do gelo na escala Fahrenheit é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura T_C (correspondente a T_F) e o ponto de fusão do gelo na escala Celsius. Da mesma maneira, as diferenças entre os pontos de ebulição da água e fusão do gelo nas duas escalas termométricas são diretamente proporcionais. Assim, podemos escrever:

$$\begin{aligned}\frac{(T_F - 32)}{(212 - 32)} &= \frac{(T_C - 0)}{(100 - 0)} \\ \frac{(T_F - 32)}{180} &= \frac{T_C}{100} \\ \frac{(T_F - 32)}{9} &= \frac{T_C}{5}\end{aligned}\tag{11}$$

A fórmula geral de conversão da escala Fahrenheit para a escala Celsius é, então:

$$T_C = \frac{(5 \times T_F - 160)}{9}\tag{12}$$

Calculando, finalmente, o valor em graus celsius da temperatura extrema prevista para Portland de 102°F , temos:

$$T_C = \frac{(5 \times 102 - 160)}{9} = \frac{350}{9} \approx 39^{\circ}\text{C}\tag{13}$$

Resposta: Alternativa B.



4. Uma ferramenta de 1 kg é levada para a Lua onde a aceleração da gravidade é $1/6$ da aceleração da gravidade na Terra. Aproximadamente, quais são, respectivamente a massa e o peso dessa ferramenta na Lua?
- a) 0,17 kg e 0 N
 - b) 0,17 kg e 1,7 N
 - c) 1,0 kg e 0 N
 - d) 1,0 kg e 0,17 N
 - e) 1,0 kg e 1,7 N

Resolução

A massa de um corpo é uma propriedade fundamental dele, portanto não depende do valor da aceleração da gravidade do corpo celeste. Assim, a ferramenta terá 1 kg de massa tanto na Terra, quanto na Lua.

Para calcular o peso dessa ferramenta na Lua, P_L , precisamos, primeiramente, calcular a aceleração da gravidade na Lua, g_L . Utilizando o valor da aceleração da gravidade na Terra g_T informado na

folha de instruções da prova e a informação do enunciado da questão relacionando essas acelerações, encontramos:

$$\begin{aligned}g_L &= \frac{1}{6} \times g_T \\ &= \frac{1}{6} \times 10,0 \text{ m/s}^2 \\ &= \frac{10,0}{6} \text{ m/s}^2 \approx 1,7 \text{ m/s}^2\end{aligned}\tag{14}$$

Por definição, o módulo da força peso que a Lua exerce sobre a ferramenta é dado pelo produto entre a massa m da ferramenta e g_L . Assim:

$$\begin{aligned}P_L &= m \times g_L \\ &\approx 1,0 \text{ kg} \times 1,7 \text{ m/s}^2 \\ &\approx 1,7 \text{ N}\end{aligned}\tag{15}$$

Resposta: Alternativa E.



5. Cientistas descobriram que a velocidade do som em Marte é muito diferente da registrada aqui da Terra. A descoberta foi anunciada pelo cientista planetário Baptiste Chide, do Laboratório Nacional de Los Alamos, na 53ª Conferência de Ciência Lunar e Planetária que ocorreu entre os dias 7 e 11 de março de 2022. Em frequências altas, acima de 240 Hz, os modos vibracionais ativados pela colisão das moléculas de dióxido de carbono não têm tempo suficiente para relaxar ou retornar ao seu estado original, resultando em um som que viaja mais de 10 metros por segundo mais rápido do que em frequências baixas. O comportamento diferente a que se refere a notícia é que na Terra, o som no intervalo de frequência considerado, tem velocidade de propagação:

- a) independente da frequência e do comprimento de onda.
- b) maior para ondas de maior comprimento de onda.
- c) maior para fontes de maior potência.
- d) maior para ondas de maior amplitude da onda.
- e) maior para fontes sonoras deslocando-se no sentido de propagação.

Resolução

Sabemos que uma onda sonora monocromática (ou seja, de frequência bem definida f e comprimento de onda λ) se desloca em um meio com velocidade de propagação de módulo:

$$v = \lambda f\tag{16}$$

Em um meio não-dispersivo, v é uma constante, de forma que λ varia de acordo com f preservando a igualdade acima. Por outro lado, em um meio dispersivo, a velocidade de fase pode variar com a frequência, de forma que a relação entre λ e f se torna não-trivial. Conforme explicado pelo enunciado, a atmosfera de Marte se comporta como um meio dispersivo para a faixa de frequências considerada, o que não é o caso da atmosfera terrestre. Portanto, a alternativa correta é a letra (a).

RESPOSTA: Alternativa A.



6. Qual a massa de gelo, a 0°C , que pode ser derretida com o calor necessário para fundir um pequeno bloco de chumbo de 50 g, inicialmente à temperatura 28°C ? Considere as seguintes propriedades (aproximadas) para o chumbo: temperatura de fusão 328°C , calor específico $0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e calor latente de fusão 6 cal/g .
- a) 3,8
 - b) 4,7
 - c) 5,6
 - d) 9,4
 - e) 9,9

Resolução

Inicialmente, devemos calcular o calor total Q_T necessário para fundir o bloco de chumbo. Sabemos a massa $m_{Pb} = 50$ g desse bloco, a temperatura inicial $T_i = 28$ °C, a final (de fusão) $T_f = 328$ °C, o calor específico e o calor latente de fusão do chumbo, respectivamente, $c_{Pb} = 0,03$ cal/g °C e $L_{Pb} = 6$ cal/g.

Para isso, devemos calcular a quantidade de calor $Q_{c(Pb)}$ necessária para elevar a temperatura do bloco de chumbo e a quantidade de calor $Q_{L(Pb)}$ responsável pela mudança de estado físico (sólido para líquido). Assim:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{c(Pb)} + Q_{L(Pb)} \\ &= m_{Pb}c_{Pb}\Delta T + m_{Pb}L_{Pb} \\ &= 50 \text{ g} \times 0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (328 - 28) \text{ }^\circ\text{C} + 50 \text{ g} \times 6 \text{ cal/g} \\ &= 450 \text{ cal} + 300 \text{ cal} = 750 \text{ cal} \end{aligned} \quad (17)$$

Agora, podemos calcular a massa de gelo m_G , a 0 °C, que pode ser derretida com o calor total Q_T necessário para fundir o bloco de chumbo. Para isso, utilizamos a fórmula da quantidade de calor $Q_{L(G)}$ e o calor latente de fusão do gelo $L_G = 80$ cal/g, dado no formulário no início da prova. Portanto:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{L(G)} = m_G L_G \\ m_G &= \frac{Q_T}{L_G} \\ &= \frac{750 \text{ cal}}{80 \text{ cal/g}} \approx 9,4 \text{ g} \end{aligned} \quad (18)$$

Resposta: Alternativa D.



7. Uma motorista planeja uma viagem por uma estrada que está dividida em dois trechos. O primeiro trecho tem comprimento de 100 km e a estrada é simples com uma faixa em cada sentido e velocidade máxima de 80 km/h. O segundo trecho, de comprimento 50 km, é uma autoestrada com três faixas e velocidade máxima permitida de 120 km/h. Caso a motorista percorra cada trecho com uma velocidade escalar média (rapidez média) igual à máxima rapidez de cada trecho, a velocidade escalar média, em km/h, de toda a viagem é aproximadamente:

- a) 90
- b) 93
- c) 96
- d) 100
- e) 106

Resolução

A velocidade escalar média v_T de toda a viagem irá depender da distância total percorrida Δx_T e do intervalo de tempo total Δt_T que se leva para percorrer essa distância:

$$v_T = \frac{\Delta x_T}{\Delta t_T} \quad (19)$$

A distância total percorrida pode ser facilmente calculada ao somarmos os comprimentos Δx_1 e Δx_2 dos trechos 1 e 2, respectivamente:

$$\begin{aligned} \Delta x_T &= \Delta x_1 + \Delta x_2 \\ &= (100 + 50) \text{ km} \\ &= 150 \text{ km} \end{aligned} \quad (20)$$

Já para calcular o intervalo de tempo total, devemos encontrar os intervalos de tempo Δt_1 e Δt_2 para percorrer os trechos 1 e 2, respectivamente e, depois, somá-los. Como os trechos são percorridos com velocidades escalares médias v_1 e v_2 , podemos utilizar uma equação análoga à 19.

Para o trecho 1, encontramos:

$$\begin{aligned}\Delta t_1 &= \frac{\Delta x_1}{v_1} \\ &= \frac{100 \text{ km}}{80 \text{ km/h}} \\ &= \frac{5}{4} \text{ h}\end{aligned}\tag{21}$$

E, para o trecho 2:

$$\begin{aligned}\Delta t_2 &= \frac{\Delta x_2}{v_2} \\ &= \frac{50 \text{ km}}{120 \text{ km/h}} \\ &= \frac{5}{12} \text{ h}\end{aligned}\tag{22}$$

Assim, o intervalo de tempo total será:

$$\begin{aligned}\Delta t_T &= \Delta t_1 + \Delta t_2 \\ &= \left(\frac{5}{4} + \frac{5}{12}\right) \text{ h} \\ &= \frac{20}{12} \text{ h} \\ &= \frac{5}{3} \text{ h}\end{aligned}\tag{23}$$

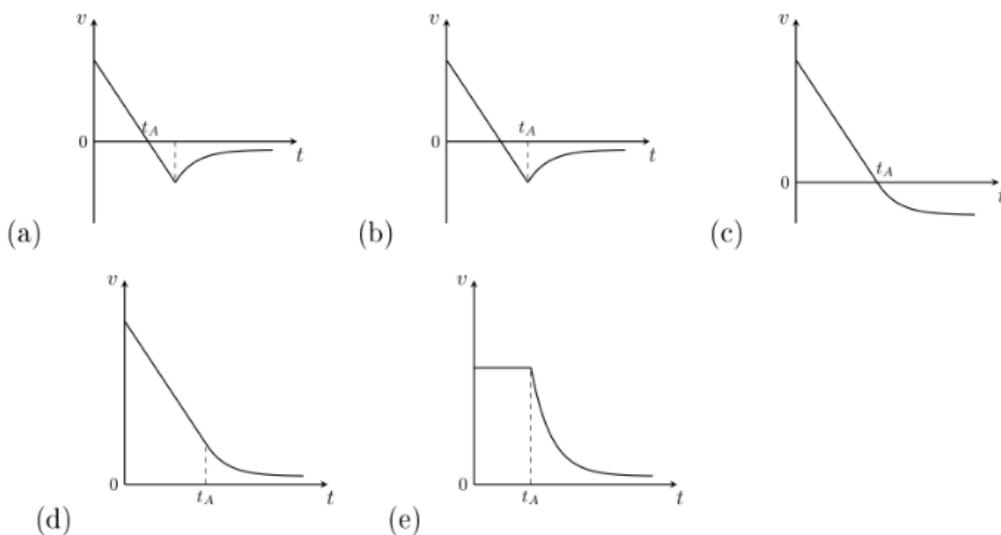
Com isso, podemos finalmente calcular a velocidade escalar média de toda a viagem, utilizando a Equação 19:

$$\begin{aligned}v_T &= \frac{150 \text{ km}}{\frac{5}{3} \text{ h}} \\ &= 30 \times 3 \text{ km/h} \\ &= 90 \text{ km/h}\end{aligned}\tag{24}$$

Resposta: Alternativa A.

■

8. No instante $t = 0$ um estudante de física lança verticalmente para cima um brinquedo que tem um pequeno paraquedas embutido. O paraquedas é ajustado para ser aberto em um instante t_A após o brinquedo já estar se movendo para baixo. O gráfico $v \times t$ que melhor representa a velocidade do brinquedo em função do tempo durante seu voo é:



Resolução

Observe primeiro que o paraquedas é aberto num instante $t = t_A$ após o brinquedo já estar se movendo para baixo, ou seja, posterior ao instante da inversão de movimento. No entanto, as opções A e C sugerem que o paraquedas é aberto no instante da inversão, onde a velocidade do brinquedo é nula. Além disso, a opção D sugere que o paraquedas é aberto antes da inversão, onde a velocidade ainda é positiva, ou seja, aponta para cima. Dessa maneira, essas alternativas são incompatíveis com a informação do enunciado.

Antes da ativação do paraquedas, supondo desprezível a resistência do ar, a única força que age sobre o brinquedo é seu peso. Assim, até $t = t_A$ temos um movimento retilíneo uniformemente variado mantido pela ação da gravidade. A função horária para a velocidade nesse caso é:

$$v(t) = v_0 - gt \quad (25)$$

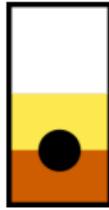
de forma que até $t = t_A$ o gráfico da velocidade deve ser uma reta decrescente. Isso elimina a alternativa E, que mostra uma reta horizontal com $v = \text{const}$ nesse intervalo. Portanto, por eliminação, concluímos que a alternativa correta é a B.

OBS: Note que, para $t > t_A$, o gráfico correto sugere uma forte frenagem a partir da abertura do paraquedas, com o módulo da velocidade diminuindo até atingir um valor constante conhecido como *velocidade terminal*.

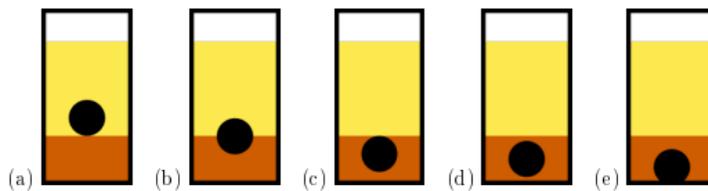
RESPOSTA: Alternativa B.

■

9. Um recipiente contém volumes iguais de dois líquidos que não se misturam e um corpo sólido esférico. Quando o sistema entra em equilíbrio hidrostático, observa-se que cada hemisfério do sólido fica em contato com um líquido, conforme ilustrado na figura.



Acrescenta-se ao recipiente uma quantidade do líquido menos denso até que a altura de sua camada dobre. Após o equilíbrio hidrostático ser reestabelecido, a situação que melhor representa o sistema é:



Resolução

No exemplo clássico do cubo de gelo em um copo de água, sabemos que o que define qual fração do cubo fica submersa são as densidades do gelo e da água e não seus volumes. Então, poderíamos intuir que neste caso, como não há mudança nas densidades dos líquidos e nem da esfera, teríamos a mesma situação após o sistema atingir novamente o equilíbrio. De fato é isso que acontece, de forma que o item B é o correto. Vamos verificar esse resultado diretamente.

Na situação de equilíbrio, a primeira lei de Newton nos diz que a soma vetorial das forças que atuam sobre a esfera é nula. Assim, a soma dos módulos das forças de empuxo produzidas pelos líquidos laranja e amarelo devem ser iguais ao módulo do peso da esfera:

$$E_a + E_l = P_e$$

onde E_a e E_l são os módulos dos empuxos exercidos pelos líquidos amarelo e laranja, respectivamente, e P_e é o peso da esfera. Levando em conta que o empuxo corresponde ao peso de fluido deslocado e utilizando a relação entre massa, densidade e volume, podemos escrever:

$$\rho_a V_a g + \rho_l V_l g = \rho_e V_e g \quad (26)$$

onde ρ_a , ρ_l e ρ_e são as densidades dos líquidos amarelo, laranja e da esfera, respectivamente. V_a e V_l representam a porção de volume da esfera que está submersa em cada um dos líquidos e $V_e = V_a + V_l$ é o volume total da esfera. Dividindo a equação acima por g , obtemos:

$$\rho_a V_a + \rho_l V_l = \rho_e V_e \quad (27)$$

Dividindo agora esta equação por V_e e definindo $f_a = V_a/V_e$ como a fração do volume da esfera que está submersa no líquido amarelo e $f_l = V_l/V_e$ como a fração análoga no líquido laranja, encontramos:

$$\rho_a f_a + \rho_l f_l = \rho_e \quad (28)$$

Da definição de f_a e f_l , sabemos ainda que:

$$f_a + f_l = 1 \quad (29)$$

uma vez que somadas elas devem representar a totalidade do volume da esfera. As equações (28) e (29) formam um sistema de duas equações e duas incógnitas (f_a e f_l). Resolvendo esse sistema encontramos:

$$f_a = \frac{\rho_e - \rho_l}{\rho_a - \rho_l} \quad (30)$$

$$f_l = \frac{\rho_a - \rho_e}{\rho_a - \rho_l} \quad (31)$$

Esse resultado mostra que as frações dependem apenas das densidades da esfera e dos próprios líquidos. Como elas não dependem do volume total de cada líquido, seus valores não devem se alterar com a adição de mais líquido menos denso, de forma que a nova situação de equilíbrio é representada corretamente pela alternativa B.

OBS: Nossas conclusões partiram da hipótese de que a esfera está em contato apenas com os dois fluidos. Porém, se por exemplo, retirássemos uma quantidade do fluido amarelo suficiente para que ele não envolvesse mais completamente a metade de cima da esfera, passaria a ser relevante considerar também o empuxo exercido pelo ar.

RESPOSTA: Alternativa B.

■

Texto para as duas próximas questões

O Japão estuda a possibilidade de criar um elevador entre a superfície da Terra e uma estação espacial. No projeto, um contêiner oval com capacidade de transportar até 30 pessoas é movido por um motor elétrico com uma rapidez de cerca de 200 km/h (relativa ao cabo que liga a base terrestre à estação espacial). Suponha que a estação espacial ficará em uma órbita geoestacionária e sua base terrestre estará ao nível do mar em algum ponto do equador. Assuma também que o raio de uma órbita geoestacionária é 42 000 km e o raio da Terra é 6 400 km.



10. A duração, em dias, de uma viagem de elevador da Terra à estação espacial será de

- a) 1,3
- b) 7,4
- c) 8,4
- d) 8,8
- e) 9,8

Resolução

Primeiramente, devemos calcular a distância Δr da base terrestre à estação espacial. Sabemos que a órbita da estação é geoestacionária, de forma que o plano da órbita coincide com o plano do Equador e a estação acompanha o movimento de rotação da Terra. Assim, um observador na superfície da Terra sempre verá a estação em uma mesma posição, o que permite a construção do elevador. Além disso, assumimos que a base terrestre estará em um ponto do Equador diretamente abaixo da estação, de forma que o cabo terá o menor comprimento possível. Como o raio de uma órbita geoestacionária vale $r_E = 42\,000$ km e, o raio da Terra, $r_T = 6\,400$ km, encontramos:

$$\begin{aligned}\Delta r &= r_T - r_E \\ &= (42\,000 - 6\,400) \text{ km} = 35\,600 \text{ km}\end{aligned}\tag{32}$$

Utilizando agora a definição de velocidade escalar média (rapidez) e o valor fornecido no enunciado, podemos calcular o tempo Δt que durará uma viagem nesse elevador:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta r}{v} \\ &= \frac{35\,600 \text{ km}}{200 \text{ km/h}} = 178 \text{ h}\end{aligned}\tag{33}$$

Para encontrar o tempo em dias, fazemos uma regra de três. Sabemos que 1 dia tem 24h, logo teremos x dias em 178 h:

$$\begin{aligned}\frac{1 \text{ dia}}{x} &= \frac{24 \text{ h}}{178 \text{ h}} \\ x &= \frac{178}{24} \approx 7,4 \text{ dias}\end{aligned}\tag{34}$$

Resposta: Alternativa B.



11. Sejam P_T e P_E , respectivamente, o peso (intensidade da força gravitacional) de uma pessoa quando está na superfície da Terra e quando está dentro de um cômodo na estação espacial. Podemos afirmar que:
- $P_T = P_E$, enquanto a estação estiver presa ao cabo que a liga à Terra.
 - $0 < P_E < P_T$ em qualquer situação.
 - $0 \leq P_E < P_T$, $P_E = 0$ se o cômodo estiver sem atmosfera.
 - $0 \leq P_E < P_T$, com $P_E = 0$ se o cabo se romper.
 - $0 < P_T < P_E$ em qualquer situação.

Resolução

Observando a expressão da intensidade da força gravitacional F_g , podemos relacionar o peso de uma pessoa na superfície da Terra, P_T e na estação espacial, P_E . De forma geral:

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}\tag{35}$$

onde M é a massa da Terra, m é a massa da pessoa e r é distância entre a pessoa e o centro da Terra. A distância entre o centro da Terra e sua superfície r_T é menor do que a distância entre o centro da Terra e a estação espacial r_E . Logo, considerando que a força gravitacional depende do inverso do quadrado da distância, a força peso na superfície da Terra P_T deve ser mais intensa que na estação espacial P_E e ambas devem ser maiores que 0, já que os raios r_T e r_E são finitos.

Resposta: Alternativa B.



12. Uma estudante de física viaja dentro de um táxi que tem um amuleto pendurado no espelho retrovisor, que funciona como um pêndulo. O táxi anda sobre um trecho plano com pavimento liso e perfeitamente conservado. Quando percorre um trecho retilíneo com rapidez constante ela observa que o fio que prende o amuleto está perfeitamente na vertical. Considere as seguintes observações feita pela estudante em dois trechos do caminho:
- No trecho I, no referencial do carro, o amuleto se deslocou levemente para trás ao longo do comprimento do carro.

- No trecho II, no referencial do carro, o amuleto se deslocou na direção transversal do carro no sentido da janela lateral esquerda (do motorista).

Sobre o movimento nos trechos podemos armar que:

- No trecho I a rapidez do táxi aumentou. No trecho II o táxi virou para a direita.
- No trecho I a rapidez do táxi diminuiu. No trecho II o táxi virou para a direita e sua rapidez diminuiu.
- No trecho I a rapidez do táxi diminuiu. No trecho II o táxi virou para a esquerda e sua rapidez diminuiu.
- No trecho I a rapidez do táxi diminuiu. No trecho II o táxi virou para a direita e manteve sua rapidez constante.
- No trecho I a rapidez do táxi diminuiu. No trecho II o táxi virou para a esquerda e manteve sua rapidez constante.

Resolução:

A primeira lei de Newton nos diz que um corpo tende a manter seu estado de movimento a menos que uma força resultante externa atue sobre ele. Quando o carro se desloca com velocidade constante, a força resultante sobre o amuleto deve ser nula, por isso o pêndulo fica na vertical com a tensão no fio sendo contrabalaneada pelo peso do amuleto. Dessa forma, se o pêndulo sai da posição vertical, podemos afirmar que a força resultante sobre o amuleto é não-nula, ou seja, há aceleração. Isso significa que o carro acelerou, freou ou fez algum tipo de curva.

No primeiro trecho, como o pêndulo se desloca para trás, a tensão que o fio exerce sobre o amuleto deixa de ser vertical e adquire uma componente ao longo do comprimento do carro. Esta componente aponta para frente (no sentido da velocidade), de forma que a aceleração terá o mesmo sentido. Concluimos então que o carro acelerou, ou seja, sua rapidez aumentou. Este resultado também pode ser entendido em termos da primeira lei: quando o carro acelera, o amuleto tende inicialmente a preservar sua velocidade original, ficando para trás em relação ao carro. Isso faz com o que o pêndulo saia da posição vertical.

Já no segundo trecho, o pêndulo se desloca para a esquerda. Seguindo um raciocínio análogo ao do caso anterior, concluimos que a aceleração deve apontar para a direita. Como a aceleração é perpendicular à direção da velocidade, concluimos que o carro fez uma curva para a direita. Da mesma forma, podemos entender este resultado usando a primeira lei: quando o carro faz a curva para a direita, o amuleto tende a preservar inicialmente seu sentido de movimento, de forma que ele se aproxima da janela lateral esquerda. Assim, novamente o pêndulo sai da posição vertical.

Resposta: Alternativa A.



- Em um laboratório didático de física há duas bancadas para estudo de dinâmica. Em uma bancada há o arranjo experimental 1 com um bloco de 2,0 kg, um dinamômetro, uma polia e dois fios, montados como mostra a figura 1. Note que uma extremidade do dinamômetro está presa em um fio que se prende a uma haste fixa na bancada e a outra está presa a um fio que, depois de passar por uma polia, suspende o bloco. Na outra bancada há o arranjo experimental 2, com dois blocos de massa 2,00 kg, duas polias e dois fios, montados como mostra a figura 2.



figura 1

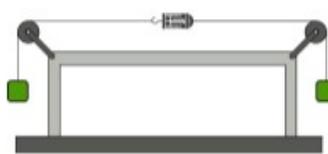


figura 2

Considerando que, os fios, a polia e o dinamômetro são ideais e ambos os sistemas estão em equilíbrio estático, a leitura T_1 e T_2 , em N, respectivamente, dos dinamômetros dos arranjos 1 e 2, valem

- 20 e 0
- 20 e 20
- 20 e 40
- 40 e 20
- 40 e 40

Resolução:

Como dito no enunciado, ambos os sistemas estão em equilíbrio estático, de forma que a soma vetorial das forças que atuam sobre cada objeto de ambos os sistemas deve ser nula.

Sendo assim, a força peso exercida pela Terra sobre o bloquinho na extremidade do primeiro sistema deve ter necessariamente o mesmo módulo da tração no fio que passa pela polia e se conecta ao dinamômetro. Como o dinamômetro também está em equilíbrio, a tração no fio que o conecta à parede terá o mesmo módulo que a tração no fio anterior. Dessa forma, a leitura T_1 do dinamômetro corresponderá a essa tensão comum.

No segundo sistema, como os blocos de ambas as extremidades possuem a mesma massa, eles possuem pesos idênticos. Assim, a tração ao longo dos dois fios terá o mesmo módulo, assim como na situação anterior. Como as massas dos blocos são iguais à massa do bloco no arranjo I, concluímos que a leitura T_2 do dinamômetro será idêntica a T_1 .

Resta-nos então calcular o módulo da força peso para obtermos o valor da medida:

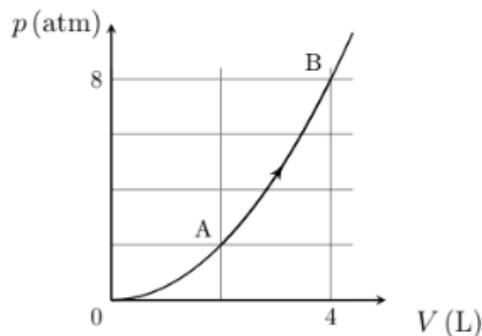
$$\begin{aligned} |\vec{P}| &= mg \\ |\vec{P}| &= 2,0 \text{ kg} \times 10,0 \text{ m/s}^2 \\ |\vec{P}| &= 20,0 \text{ N.} \end{aligned} \tag{36}$$

Portanto, teremos $T_1 = T_2 = 20,0 \text{ N}$.

Resposta: Alternativa B.

■

14. Em um laboratório de física um gás é submetido ao processo termodinâmico quase estático cujo diagrama pressão por volume, $p \times V$, está representado na figura. Note que a pressão p é dada em atmosferas e o volume V é dado em litros. Observa-se que o processo pode ser representado pela função empírica $p(V) = aV^2$, onde a é um parâmetro empírico.



A unidade de medida do parâmetro a em unidades do sistema internacional é:

- a) Pa
- b) Pa/m³
- c) Pa/m⁶
- d) atm
- e) atm/L²

Resolução

Denotando a unidade de medida de uma grandeza arbitrária C por $[C]$ e respeitando a função empírica dada, podemos escrever:

$$\begin{aligned} [p] &= [a \times V^2] \\ &= [a] \times [V^2] \\ &= [a] \times [V]^2 \end{aligned} \tag{37}$$

Substituindo as unidades de pressão e volume do SI:

$$\begin{aligned} \text{Pa} &= [a] \times (\text{m}^3)^2 \\ &= [a] \times \text{m}^6 \end{aligned} \tag{38}$$

Isolando a unidade de a :

$$[a] = \frac{\text{Pa}}{\text{m}^6} \quad (39)$$

Note que a unidade de a depende das unidades de medida usadas para medir a pressão e o volume, mas a função empírica que rege o fenômeno físico não tem e na verdade não pode ter essa dependência. Por este motivo pudemos usar as unidades de medida do SI na equação dada no enunciado.

Para dar mais um exemplo do uso de diferentes sistemas de unidades, considere a lei dos gases ideais:

$$pV = NRT \quad (40)$$

onde R é a constante universal dos gases ideais, N é o número de mols do gás e T é a temperatura absoluta do gás. Sabemos que essa equação descreve corretamente um gás ideal, porém, a constante R assume valores diferentes se usarmos as unidades de medidas usuais no estudo de gases ou as unidades do SI:

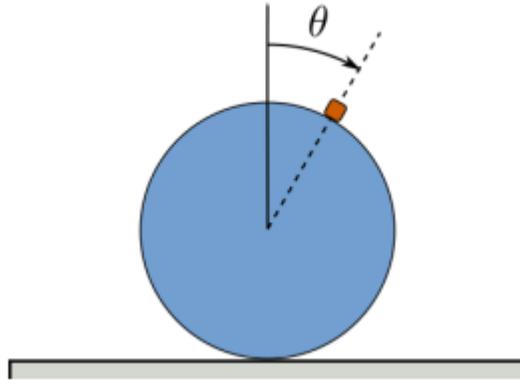
$$R \approx 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \times \text{K}} \quad (41)$$

$$R \approx 0,082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}} \quad (42)$$

RESPOSTA: Alternativa C.

■

15. Um bloco liso de massa m desliza apoiado sobre uma superfície lisa e esférica de raio R como mostra a figura. A posição do bloco em função do tempo é dada pela coordenada angular θ . No instante inicial, $t = 0$, o bloco parte de $\theta = 0$ com velocidade escalar nula.



Seja N a intensidade da força aplicada pela superfície no bloco, podemos afirmar (medidas de θ em radianos) que:

- $N = mg$ é constante no intervalo de $[0, \frac{\pi}{2}[$. $N = 0$ em $\theta = \frac{\pi}{2}$, quando o bloco abandona a superfície.
- $N = mg$ é constante no intervalo $[0, \theta_c[$, com $\theta_c < \frac{\pi}{2}$. $N = 0$ em $\theta = \theta_c$, quando o bloco abandona a superfície.
- $N = mg$ em $\theta = 0$. N decresce no intervalo $[0, \frac{\pi}{2}[$. $N = 0$ em $\theta = \frac{\pi}{2}$, quando o bloco abandona a superfície.
- $N = mg$ em $\theta = 0$. N decresce no intervalo $[0, \theta_c[$, com $\theta_c < \frac{\pi}{2}$. $N = 0$ em $\theta = \theta_c$, quando o bloco abandona a superfície.
- $N = mg$ em $\theta = 0$. N decresce no intervalo $[0, \pi[$. $N < 0$ em $\theta = \pi$, quando o bloco colide com o solo.

Resolução

Precisamos achar uma equação que nos dê o módulo N da força normal em função do ângulo θ . Para isso, vamos aplicar a segunda lei de Newton à direção radial. A resultante centrípeta tem módulo:

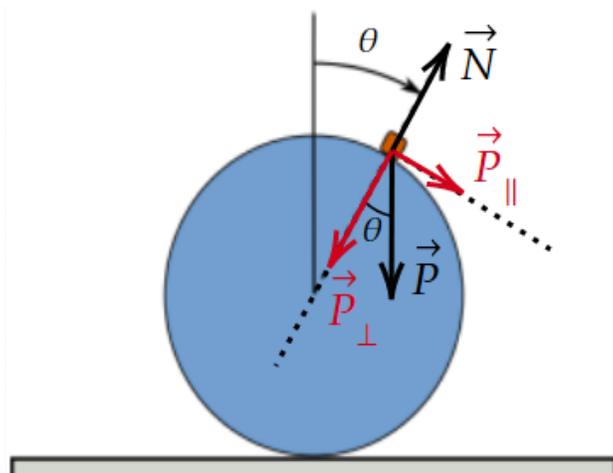
$$F_{R(cp)} = m \frac{v^2}{R} \quad (43)$$

onde v é a velocidade escalar do bloco.

Para aplicar a equação (43), desenhemos o diagrama de forças que atuam sobre o bloco:

Escolhendo a orientação positiva da direção perpendicular ao movimento (direção radial) como aquela que aponta para o centro da esfera, podemos escrever:

$$F_{R(cp)} = P_{\perp} - N = m \frac{v^2}{R} \quad (44)$$



Na equação acima, P_{\perp} representa a componente radial da força peso, cujo módulo em função em função do ângulo θ é dado por:

$$P_{\perp} = mg \cos \theta \quad (45)$$

Substituindo este resultado em (44):

$$mg \cos \theta - N = m \frac{v^2}{R} \quad (46)$$

$$N = mg \cos \theta - m \frac{v^2}{R} \quad (47)$$

Para $\theta = 0$, sabemos que $v = 0$ e conseqüentemente $N = mg > 0$.

Conforme θ aumenta, $\cos \theta$ começa a diminuir enquanto a velocidade escalar do bloco aumenta, já que o bloco está descendo e, então, deve haver transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética. Devido às contribuições desses dois efeitos, N começa a diminuir e deve chegar a 0 em algum ângulo crítico, θ_c , o que podemos interpretar como a perda de contato com a superfície da esfera.

Além disso, θ_c deve ser menor que $\frac{\pi}{2}$ uma vez que, para $\theta = \frac{\pi}{2}$, encontramos $N < 0$, o que indica uma normal apontando para dentro da superfície esférica. Tal conclusão não tem sentido físico.

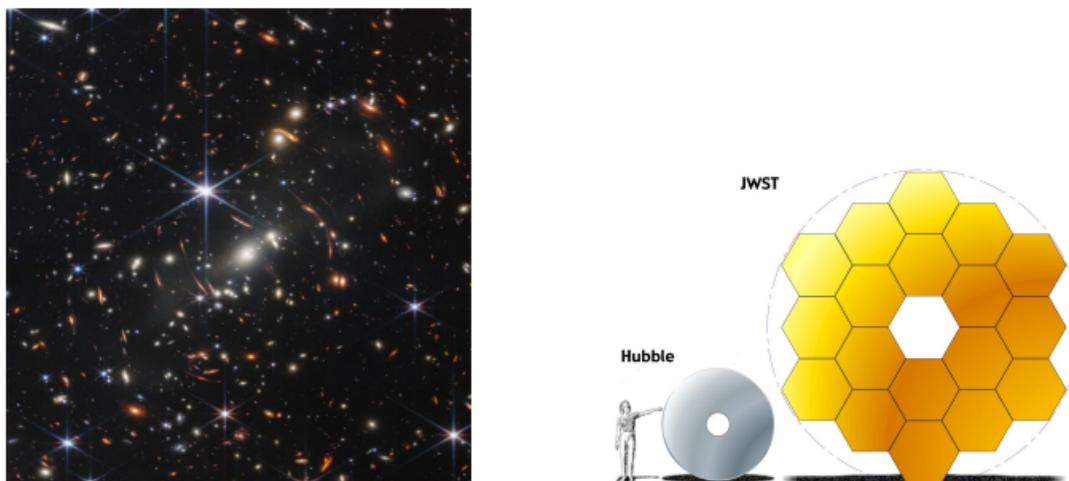
Diante dos argumentos acima, a alternativa que descreve corretamente o comportamento de N é a alternativa D.

RESPOSTA: Alternativa D.



16. O telescópio espacial James Webb (JWST, na sigla em inglês) começou a enviar suas primeiras imagens para a Terra em 12/07/2022. As imagens obtidas por ele mostram detalhes nunca antes vistos. Abaixo à esquerda, está uma imagem de um aglomerado de galáxias capturada pelo JWST, na qual cada ponto luminoso é uma galáxia formada por bilhões de estrelas.

A figura abaixo à direita compara os espelhos primários do JWST e do telescópio espacial Hubble, que entrou em operação em 1990. O espelho primário do JWST é formado por 18 espelhos hexagonais de lado $L = 66$ cm e o HST é formado por, aproximadamente, uma coroa circular de raio externo $R = 120$ cm e raio interno $r = 40$ cm.



Comparado ao Hubble, o JWST consegue observar objetos luminosos muito mais distantes, pois seu maior espelho primário:

- Coleta mais energia luminosa.
- Coleta radiações de maior comprimento de onda.

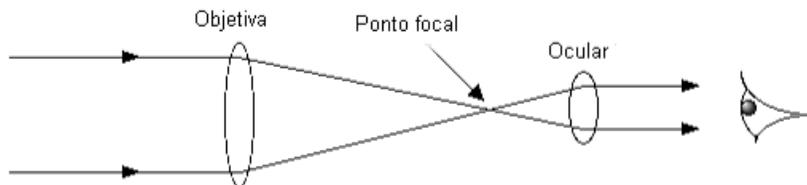
- c) Minimiza efeitos de difração.
- d) Minimiza efeitos de interferência.
- e) Tem maior distância focal.

Resolução

A quantidade de luz recebida por nossos olhos determina a definição da imagem que vemos. Quanto maior for o número de raios de luz recebidos, melhor será a definição.

Um telescópio, independente do seu modo de funcionamento, tem como objetivo captar uma grande quantidade de raios de luz (um número maior do que conseguiríamos captar somente com os olhos), concentra-los em um único ponto e então transmiti-los para o receptor.

Quanto mais distantes de um objeto, menos recebemos sua luz, logo, se torna mais difícil identificá-lo. Nesse contexto que entra o telescópio: mais luz captada gera melhor definição e então podemos enxergar nitidamente objetos distantes. Analisemos por exemplo o comportamento de um telescópio de refração:



Os raios de luz passam pela objetiva, convergindo no ponto focal, onde há a formação da imagem e logo em seguida são redirecionados para os olhos pela ocular.

Entendendo o funcionamento de um telescópio, somos capazes de concluir que o JWST é capaz de ver objetos luminosos muito mais distantes do que o Hubble devido ao maior diâmetro de seu espelho primário, que o permite captar mais energia luminosa. Vamos usar os dados do enunciado para comprovar nossas conclusões.

A intensidade da luz emitida por um objeto distante deve ser essencialmente constante sobre ambos os espelhos:

$$I_J = I_H \quad (48)$$

onde I_J e I_H são as intensidades da luz no Hubble e no JWST, respectivamente.

A intensidade é dada pela razão entre a potência P coletada pelo espelho e a sua área A . Assim, a Eq. (48) pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} \frac{P_J}{A_J} &= \frac{P_H}{A_H} \\ \frac{P_J}{P_H} &= \frac{A_J}{A_H} \end{aligned} \quad (49)$$

A razão $\frac{P_J}{P_H}$ é uma medida do quão mais poderoso o JWST é em comparação ao Hubble. Definindo esta razão como $F = \frac{P_J}{P_H}$, reescrevemos a equação acima como:

$$F = \frac{A_J}{A_H} \quad (50)$$

Agora basta calcularmos as áreas dos espelhos primários. O espelho do Hubble é aproximadamente uma coroa circular de raio externo $R = 120\text{cm} = 1,2\text{m}$ e raio interno $r = 40\text{cm} = 0,4\text{m}$, então:

$$\begin{aligned} A_H &= \pi ((1,2 \text{ m})^2 - (0,4 \text{ m})^2) \\ &= 3,1 (1,44 \text{ m}^2 - 0,16 \text{ m}^2) \\ &\approx 4 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (51)$$

O espelho do JWST é formado por 18 hexágonos de lado $L = 66 \text{ cm} = 0,66 \text{ m}$. Sabemos ainda que um hexágono regular é formado por 6 triângulos equiláteros. Assim, o espelho é formado por $18 \times 6 = 108$ triângulos equiláteros, de forma que:

$$A_J = 108 \times \frac{\sqrt{3}L^2}{4} \quad (52)$$

onde $\frac{\sqrt{3}L^2}{4}$ é a área de um triângulo equilátero. Substituindo o valor de L :

$$\begin{aligned} A_J &= 108 \times \frac{\sqrt{3} \times (0,66 \text{ m})^2}{4} \\ &= 108 \times \frac{1,7 \times (0,66 \text{ m})^2}{4} \\ &\approx 20 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (53)$$

Substituindo os resultados acima na Eq. (50), encontramos:

$$F \approx \frac{20 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2} = 5 \quad (54)$$

A interpretação do resultado acima é que o JWST é capaz de absorver uma potência luminosa aproximadamente 5 vezes maior que a do Hubble, ou seja, no mesmo intervalo de tempo, o JWST capta mais raios luminosos do que o Hubble, como concluímos anteriormente.

RESPOSTA: Alternativa A.



17. Uma pequena pedra é lançada verticalmente para cima. Quando ela está no ponto mais alto de sua trajetória podemos afirmar que:
- sua velocidade e aceleração são nulas.
 - sua velocidade é nula e sua aceleração aponta para baixo.
 - sua velocidade é nula e sua aceleração aponta para cima.
 - sua velocidade aponta para cima e sua aceleração é nula.
 - sua velocidade aponta para baixo e sua aceleração é nula.

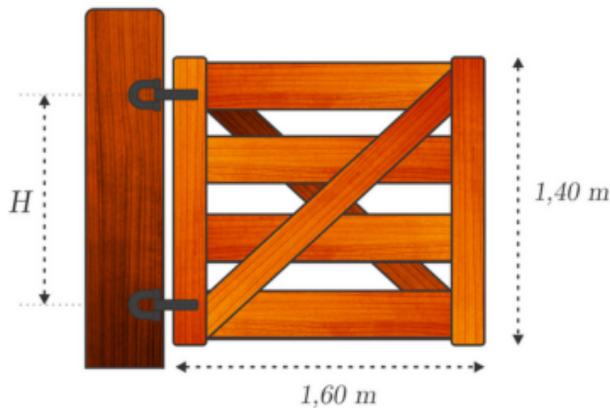
Resolução

No ponto mais alto da trajetória, a velocidade da pedra deve ser nula, pois o movimento é vertical e ocorre mudança de sentido nesse ponto. Além disso, a pedra está sob a ação do campo gravitacional \vec{g} , que aponta verticalmente para baixo, durante todo o movimento. Supondo que a única força atuando na pedra seja a força gravitacional, a aceleração no ponto mais alto da trajetória, assim como em qualquer instante do movimento, é vertical, aponta para baixo e tem módulo g . Dessa forma, concluímos que a alternativa correta é a B.

RESPOSTA: Alternativa B.



18. Um fazendeiro instala na entrada de sua propriedade uma porteira cujo peso é 50 kgf. Na instalação ele utiliza duas dobradiças igualmente distantes do centro da porteira e a uma distância H uma da outra, como representado na figura.



Sejam A_x e A_y as componentes horizontal e vertical da força aplicada na porteira pela dobradiça de cima e B_x e B_y as grandezas análogas para dobradiça de baixo.

Caso o fazendeiro instalasse a porteira com uma distância H menor, as forças aplicadas pelas dobradiças seriam tais que:

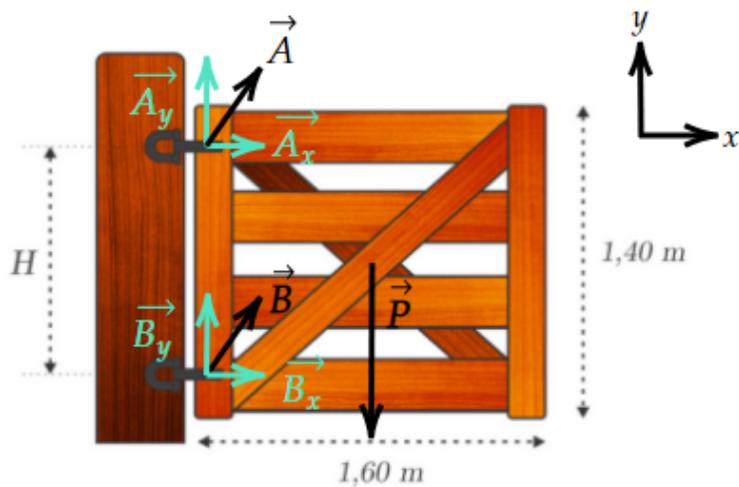
- $|A_y + B_y|$ aumentaria; $|A_x|$ e $|B_x|$ aumentariam.
- $|A_y + B_y|$ aumentaria; $|A_x|$ e $|B_x|$ permaneceriam iguais.
- $|A_y + B_y|$ permaneceria igual; $|A_x|$ e $|B_x|$ diminuiriam.
- $|A_y + B_y|$ permaneceria igual; $|A_x|$ e $|B_x|$ permaneceriam iguais.
- $|A_y + B_y|$ permaneceria igual; $|A_x|$ e $|B_x|$ aumentariam.

Resolução

Vamos começar desenhando o diagrama de forças que atuam sobre a porteira, como mostrado na figura abaixo.

Para que a porteira esteja em equilíbrio, a soma vetorial das forças que atuam sobre ela deve ser igual a zero, ou seja:

$$\vec{F}_r = \vec{A} + \vec{B} + \vec{P} = \vec{0}$$



Utilizando a decomposição de cada força em termos de suas componentes horizontal e vertical, podemos escrever:

$$\begin{aligned} A_x \hat{x} + A_y \hat{y} + B_x \hat{x} + B_y \hat{y} - P \hat{y} &= \vec{0} \\ (A_x + B_x) \hat{x} + (A_y + B_y - P) \hat{y} &= \vec{0} \end{aligned} \quad (55)$$

Portanto:

$$A_x + B_x = 0 \quad (56)$$

$$A_y + B_y = P \quad (57)$$

que representam as condições de equilíbrio ao longo das direções X e Y.

Note que a Eq. (56) nos dá $A_x = -B_x$, o que mostra que as forças \vec{A}_x e \vec{B}_x devem ter sentidos contrários, ao contrário do que sugere o diagrama.

Além disso, como o módulo P da força peso depende apenas da massa do portão e da aceleração da gravidade, concluímos a partir da Eq. 57 que, ao mudarmos H , $|A_y + B_y|$ permaneceria igual.

O equilíbrio das forças é uma condição necessária, mas não suficiente para o equilíbrio do portão, visto que ele é um corpo extenso. Devemos garantir também o equilíbrio de rotação, ou seja, a soma dos torques que atuam sobre a porteira deve ser igual a zero.

O torque τ de uma força \vec{F} com relação a um ponto de referência é dado por:

$$\tau = \pm Fd \quad (58)$$

onde d é o braço de alavanca (distância entre a linha de ação da força e o ponto de referência). O sinal positivo corresponde ao caso em que a força tende a fazer o objeto girar no sentido anti-horário e o negativo ao caso em que a força tende a fazer o objeto girar no sentido horário.

Tomando como ponto de referência o ponto B , onde está a dobradiça de baixo, vamos calcular os torques exercidos por todas as componentes de \vec{A} e \vec{B} e pelo peso \vec{P} . Note que A_x , como representada na figura, tende a fazer o portão girar no sentido horário. Assim:

$$\tau_{A_x} = -A_x H \quad (59)$$

Por outro lado, A_y , B_x e B_y tem braço de alavanca igual a zero (a distância entre suas linhas de ação e o ponto de referência B é zero) e portanto, não exercem torque com relação a B:

$$\tau_{A_y} = 0 \quad (60)$$

$$\tau_{B_x} = 0 \quad (61)$$

$$\tau_{B_y} = 0 \quad (62)$$

Por fim, a força peso tende a fazer o portão girar no sentido horário, então:

$$\tau_P = -P(L/2) \quad (63)$$

onde $L = 1,60$ m é o comprimento da porteira.

Impondo a condição de equilíbrio de rotação, encontramos:

$$\sum \tau = \tau_{A_x} + \tau_{A_y} + \tau_{B_x} + \tau_{B_y} + \tau_P = -A_x H - P(L/2) = 0 \quad (64)$$

e portanto:

$$A_x = -\frac{P(L/2)}{H} \quad (65)$$

Como P , L e H são positivos, concluímos que $A_x < 0$. Isto significa que \vec{A}_x deve de fato apontar para a esquerda, ao contrário do sentido desenhado no diagrama. Da Eq. (56), concluímos ainda que $B_x = -A_x > 0$, ou seja, \vec{B}_x realmente aponta para a direita.

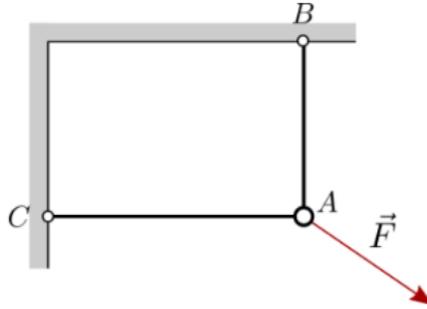
Além disso, podemos concluir do resultado acima que, se diminuirmos H , $|A_x|$ deve aumentar. O mesmo vale para $|B_x|$.

Diante dessa análise, a alternativa que explica corretamente o comportamento das componentes das forças quando H diminui é alternativa E.

RESPOSTA: Alternativa E.

■

19. Um anel A de massa desprezível está suspenso por dois fios finos ideais, um ligado a uma parede vertical outro ao teto, conforme a figura. Quando uma força externa \vec{F} é nele aplicada, observa-se que a tração no fio vertical \overline{AB} é 300 N e no fio horizontal \overline{AC} , 400 N.



Determine a intensidade da força \vec{F} , em N, sabendo que nessa situação o anel se encontra em equilíbrio estático.

- (a) 100
- (b) 350
- (c) 500
- (d) 595
- (e) 700

Resolução:

Nesta questão, o anel se encontra em equilíbrio estático, ou seja, a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre ele é nula. Escrevendo a tração sobre o fio \overline{AB} como \vec{T}_{AB} e utilizando a mesma notação para o outro fio, temos a seguinte equação vetorial:

$$\vec{T}_{AB} + \vec{T}_{AC} + \vec{F} = \vec{0}. \quad (66)$$

Para resolvê-la, vamos decompor as forças ao longo dos eixos X e Y e, assim, obter uma equação que representa o equilíbrio em cada eixo. Vamos escolher o eixo X apontando para a direita e o eixo Y apontando para cima.

Começando pelo eixo X , note que a tração \vec{T}_{AC} é puramente horizontal e aponta para a esquerda. Vamos denotar ainda a componente horizontal de \vec{F} por F_x . Assim:

$$\begin{aligned} -T_{AC} + F_x &= 0 \\ F_x &= T_{AC} \end{aligned} \quad (67)$$

Para o eixo Y , \vec{T}_{AB} é puramente vertical e aponta para cima. Denotando a componente vertical de \vec{F} por F_y , encontramos;

$$\begin{aligned} T_{AB} + F_y &= 0 \\ F_y &= -T_{AB} \end{aligned} \quad (68)$$

onde consideramos que a massa do anel é desprezível e, por isso, não há força peso. Note que o resultado acima nos dá $F_y < 0$, como sugerido na figura e em acordo com a nossa escolha de eixos.

Agora resta, com suas componentes, calcularmos a intensidade da força \vec{F} . Para isso, podemos utilizar suas componentes e o teorema de Pitágoras:

$$|\vec{F}| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}. \quad (69)$$

Substituindo em (69) as equações (67) e (68), obtemos:

$$\begin{aligned} |\vec{F}| &= \sqrt{T_{AC}^2 + (-T_{AB})^2} \\ |\vec{F}| &= \sqrt{(400 \text{ N})^2 + (300 \text{ N})^2} \\ |\vec{F}| &= \sqrt{2500 \text{ N}^2} \\ |\vec{F}| &= 500 \text{ N}. \end{aligned} \quad (70)$$

Resposta: Alternativa C.

■

20. Uma placa de metal retangular de espessura constante possui uma abertura quadrada em seu centro. A figura abaixo mostra a placa na temperatura ambiente.



Quando a placa é aquecida homogeneamente, a figura que melhor a representa dilatada é:



Resolução

O aquecimento homogêneo da placa faz com que todos os átomos se afastem por uma mesma distância uns dos outros em todas as direções. Com isso, o tamanho da abertura quadrada no centro da placa deve aumentar quando ela é dilatada e permanecer nesse formato quadrado e centralizado, uma vez que o afastamento dos átomos localizados na borda interna também é isotrópico e uniforme. Da mesma forma, as bordas externas se tornam maiores com o afastamento dos átomos. Essas características são corretamente observadas na figura mostrada na alternativa D.

Resposta: Alternativa D.

■