

Olimpíada Brasileira Online de Física

1ª Fase - 12 a 14 de setembro de 2025

Nome: _____

Série: _____

Nível MS
Ensino Médio
1ª e 2ª séries

Instruções de Prova

- I. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos dos **1ª e 2ª séries do ensino médio**. Ela contém **30** questões.
- II. Cada questão tem 5 alternativas de resposta e apenas uma delas é correta.
- III. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**. Além do tempo de prova, serão concedidos **5 minutos** correspondentes ao preenchimento online do gabarito.
- IV. Não é permitido o uso de calculadoras.
- V. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 12 a 14 de setembro de 2025**.
- VI. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use: $\pi = 3,0$; $\sqrt{2} = 1,4$; $\sqrt{3} = 1,7$; $\sqrt{5} = 2,2$; $\sin 30^\circ = 0,50$; $\cos 30^\circ = 0,85$; $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0,70$; aceleração gravitacional na superfície da terra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico da água líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidade da água líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Apoio:





Olimpíada Brasileira Online de Física



Curiosidades:

Mário Schenberg (Recife, 2 de julho de 1914 — São Paulo, 10 de novembro de 1990) foi um dos maiores físicos teóricos do Brasil. Contribuiu para áreas como astrofísica e física matemática, destacando-se pela descoberta do limite de Schenberg-Chandrasekhar e pelo processo Urca, feito com George Gamow. Foi diretor do Departamento de Física da USP e teve forte atuação política, ajudando na criação da FAPESP. O principal detector brasileiro de ondas gravitacionais, desenvolvido na USP, leva seu nome em homenagem.



Questão 1. David Iron é um estudante fascinado por física. Por causa disso, ele decide realizar um experimento curioso. Ele separou 5 L de água da sua torneira, que estava em uma temperatura de 20°C e depois juntou com 20 litros de água de uma sauna, que estava com temperatura de 60°C . Desconsiderando perdas externas de calor, qual a temperatura final esperada para o sistema?

- a) 52°C
- b) 50°C
- c) 58°C
- d) 55°C
- e) 60°C

Solução:

Por conservação de energia, temos:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

Podemos expressar o calor transferido por cada parte de água por meio da fórmula:

$$Q = mc\Delta T$$

Onde m é a massa de parte de água, c é o calor específico da água e ΔT a variação de calor. Como o enunciado nos forneceu apenas o volume da água, pode substituir $m = \rho V$, onde ρ é a densidade da água e V seu volume. Assim, temos:

$$V_1\Delta T_1 = -V_2\Delta T_2 \rightarrow V_1(T_e - T_1) = V_2(T_2 - T_e)$$

Isolando a temperatura de equilíbrio e substituindo:

$$T_e = \frac{V_2T_2 + V_1T_1}{V_1 + V_2} = 52^{\circ}\text{C}$$

Questão 2. Após roubar a Lua, Gru decidiu que buscava roubar um planeta em uma galáxia distante. Diante disso, o mesmo analisa a órbita do planeta e percebe que ela pode ser descrita por meio das seguintes funções do tempo(t):

$$x = C_1 \sin(\omega t)$$



$$y = C_2 \cos(\omega t)$$

Com C_1 maior que C_2 . Dessa forma, sabendo que a excentricidade da órbita é e , encontre C_2 como função de e e C_1 .

- a) $C_2 = C_1 e$
- b) $C_2 = \frac{C_1}{e}$
- c) $C_2 = C_1(1 - e)$
- d) $C_2 = C_1 \sqrt{1 - e}$
- e) $C_2 = C_1(1 - e^2)$

Solução:

Como C_1 é maior que C_2 , C_1 representa o semi-eixo maior da órbita e C_2 o semi-eixo menor. Essa é uma maneira de representar uma elipse por meio da projeção de dois movimentos circulares (por isso que em $C_1 = C_2$, temos uma circunferência). Então, o que precisamos é encontrar B (semi-eixo menor) em função de A (semi-eixo maior) e e (excentricidade). Fazendo as contas:

$$e = \frac{C}{A} = \frac{\sqrt{A^2 - B^2}}{A} \rightarrow (eA)^2 = A^2 - B^2 \rightarrow B^2 = A^2(1 - e^2)$$

Então, transformando $B = C_2$ e $A = C_1$, temos:

$$B = A\sqrt{1 - e^2}$$

Questão 3. Na última terça-feira, João e Alnardo Farias Barros Cevaldo Corvos Clube debateram sobre óptica geométrica e tiraram conclusões que poderiam estar corretas ou não. Mesmo sem saber sobre a produtividade de seu debate, eles resolvem fazer o mesmo para uma análise sobre estática e forças. Eles chegam nas seguintes conclusões:

- (I) Toda ação tem uma reação, e não é relevante identificar quem realiza a ação e quem realiza a reação, já que um agente pode ser a reação à sua própria ação.
- (II) Uma força normal apenas pode atuar no sentido paralelo à superfície, dando origem à força de atrito, o que pode ser percebido ao se realizar uma breve análise sobre forças de contato.
- (III) O teorema das quatro forças afirma que, se um objeto mantém-se em repouso e há exatamente 4 forças atuando nele, é porque todas as quatro tem seu eixo de direção passando por um ponto comum, necessariamente. Esse teorema permite uma solução muito mais simples para diversos outros problemas de física, por isso sendo tão conhecido.

Estão corretas as alternativas:

- a) I, II e III.
- b) Apenas I e III.
- c) Nenhuma.
- d) Apenas II e III.
- e) Apenas III.



Solução:

I - a ação e a reação não acontecem no mesmo agente, e sim em agentes diferentes. Portanto, item incorreto.
II - a força normal é, por condição, perpendicular à superfície. Item incorreto. III - não existe teorema das quatro forças, e sim o teorema das três forças. As quatro forças não necessariamente precisam passar por um ponto comum para manter estabilidade. Basta pensar em duas forças verticais para cima e duas para baixo, cuja soma de cada sentido é igual, todas paralelas entre si e não necessariamente coincidentes. Esse cenário é estável, logo o item é incorreto.

Todos os itens estão incorretos.

Questão 4. Um jovem português chamado Mercúrio Davi está andando pacientemente na rua, quando, do absoluto nada, percebe que uma esfera de ferro que pesa cinco toneladas, conectada a um fio inextensível fixado ao teto, começa a vir em sua direção.

Junto disso, uma ventania absurda e inabalável aplica uma força $F = 100,000 \text{ N}$ na direção mostrada na figura abaixo:

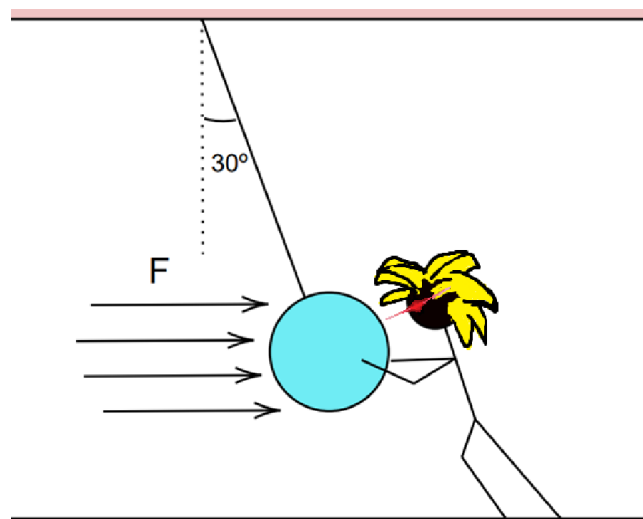


Figura 1: Mercúrio Davi usa seu Ego Inabalável e a Física para vencer a esfera

Achando (erroneamente) que é um protagonista de anime, Mercúrio Davi ativa o olhar de mil anjos perdidos e usa seu Ego de sete joias para tentar segurar a esfera, visando não ser esmagado. Pelos seus cálculos, você perceberá que, para manter a estrutura em repouso, a força que Mercúrio Davi terá que aplicar teria que ser de:

- a) 10,000 N
- b) 15,000 N
- c) 20,000 N
- d) 25,000 N
- e) 30,000 N

Solução:

Dados:

$$m = 5,000 \text{ kg}, \quad F = 100,000 \text{ N}, \quad \theta = 30^\circ$$



Desenhando o diagrama de forças sobre a esfera, supondo que Mercúrio aplica uma força horizontal P para a direita, e a corda fixa no teto faz um ângulo θ com a vertical, temos as equações de equilíbrio:

$$\begin{aligned}\sum F_x : \quad P + T \sin \theta - F &= 0 \\ \sum F_y : \quad T \cos \theta - mg &= 0 \quad \Rightarrow \quad T = \frac{mg}{\cos \theta}.\end{aligned}$$

Substituindo T na equação para $\sum F_x$ obtemos a força que Mercúrio deve aplicar:

$$\begin{aligned}P &= F - T \sin \theta \\ &= F - \frac{mg}{\cos \theta} \sin \theta \\ &= F - mg \tan \theta.\end{aligned}$$

Agora os valores numéricos:

$$\begin{aligned}mg &= 5,000 \times 10 = 50,000 \text{ N} \\ mg \tan 30^\circ &= 50,000 \times 0,57735 \approx 28,868 \text{ N} \\ P &= 100,000 - 28,868 \approx 71,132 \text{ N}\end{aligned}$$

Como não há essa alternativa, a questão está **anulada**

Questão 5. O vilanesco Glorbus pretende conquistar o mundo por meio de mensagens de WhatsApp nas mais diversas comunidades do NOIC, contudo, mesmo buscando ser discreto, uma pessoa conseguiu observar suas vilanias: Pucas L, o qual chamaremos agora apenas de L.

L descobriu onde fica exatamente o covil de Glorbus e pretende enviar um trava-zap para ele, contudo, precisa compartilhar do mesmo Wifi de Glorbus, já que ele usa VPN. Com isso, L traça um plano: invadir o covil de Glorbus e no mesmo instante enviar um vírus para o celular do vilão, que fará com que pare de fazer suas discretas vilanias nas comunidades do NOIC. Com a ajuda de seu amigo Seitor Sabo, L modela o seguinte sistema para atingir o covil de Glorbus.

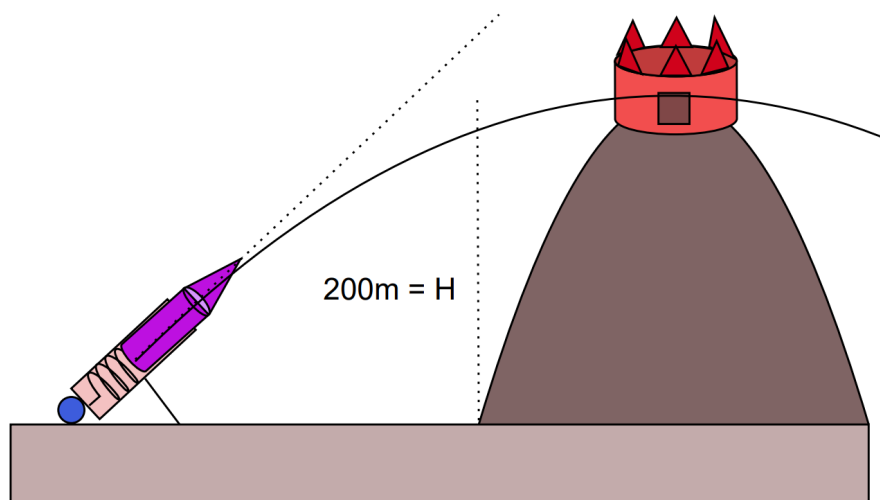


Figura 2: O mecanismo de L e Sabo

Sabendo que o coeficiente de mola é $k = 400 \text{ N/m}$ e que, durante a viagem, cerca de $\frac{1}{10}$ da energia cinética



inicial é dissipada, determine o quanto a mola deve ser comprimida (em metros) para que L consiga chegar ao covil de Glorbus. Dados: massa da nave + L = 900 kg.

- a) 120
- b) 110
- c) 100
- d) 90
- e) 85

Solução:

Durante a viagem é dissipada $\frac{1}{10}$ da energia cinética inicial, logo apenas $\frac{9}{10}$ da energia fornecida pela mola vira energia potencial gravitacional.

Se a mola é comprimida de x , sua energia é $\frac{1}{2}kx^2$. Assim

$$\frac{9}{10} \frac{1}{2} kx^2 = mgH.$$

Isolando x :

$$\frac{1}{2} kx^2 = \frac{10}{9} mgH \Rightarrow x = \sqrt{\frac{2}{k} \cdot \frac{10}{9} mgH}.$$

Usando $g \approx 10 \text{ m/s}^2$:

$$x = \sqrt{\frac{2}{400} \cdot \frac{10}{9} \cdot 900 \cdot 10 \cdot 200} = \sqrt{10,000} = 100 \text{ m}.$$

$x = 100 \text{ m}$

Questão 6. Lucas Asfury, determinado a provar sua superioridade não apenas em solo, mas também nas alturas, investe tudo o que possui (inclusive o futuro) na compra de um foguete. Com ele, coloca-se em órbita circular ao redor da Terra, a uma distância R do centro do planeta. Sua viagem começa exatamente no ponto da órbita situado acima da base de lançamento, localizada na superfície da Terra. (A órbita é no mesmo sentido em que a terra gira)

Sabendo que:

- A órbita de Lucas é circular e de raio R ;
- A Terra gira em torno de seu próprio eixo com velocidade angular constante ω_T ;
- A única força atuando sobre Lucas é a gravidade terrestre (despreze resistência do ar e outras perturbações);
- A massa da Terra é M ;
- A constante gravitacional universal é G ;

Determine, em função das variáveis fornecidas, o tempo T necessário para que Lucas veja novamente a base de lançamento passando exatamente abaixo dele.

- a) $T = \frac{2}{\frac{1}{T_o} - \frac{\omega_T}{2\pi}}$
- b) $T = \frac{1}{\frac{1}{T_o} - \frac{\omega_T}{2\pi}}$



c) $T = \frac{2\pi}{\omega_T}$

d) $T = \frac{1}{\frac{1}{T_o} + \frac{\omega_T}{2\pi}}$

e) $mT = \frac{1}{\frac{2}{T_o} - \frac{\omega_T}{\pi}}$

Solução: A situação descreve um satélite em órbita circular acima da Terra, enquanto a base de lançamento gira com velocidade angular ω_T .

A velocidade angular do foguete em órbita é determinada pela condição de equilíbrio da força centrípeta com a gravidade:

$$\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

A velocidade angular do foguete em relação ao centro da Terra é:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{\sqrt{GM/R}}{R} = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$$

Para que Lucas veja novamente a base passando abaixo dele, o foguete precisa percorrer um ângulo relativo de 2π em relação à base que gira com ω_T . O tempo T satisfaz:

$$(\omega - \omega_T)T = 2\pi$$

Logo, o tempo necessário é:

$$T = \frac{2\pi}{\omega - \omega_T} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{GM}{R^3}} - \omega_T} = \frac{1}{\frac{1}{T_o} - \frac{\omega_T}{2\pi}}$$

Letra B

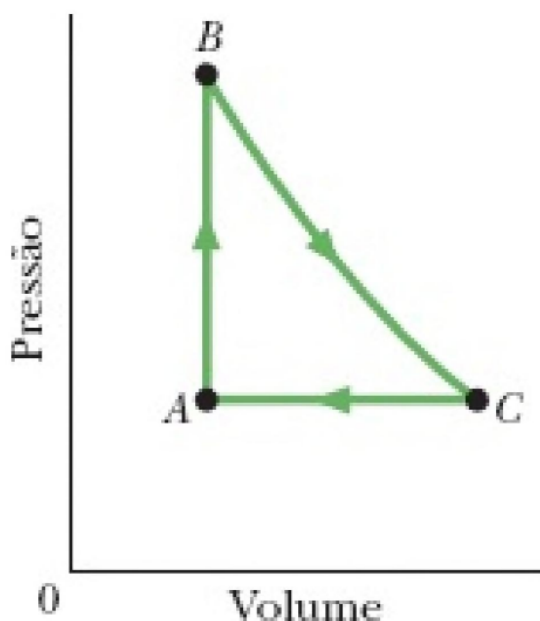
Questão 7. Um gás ideal em uma câmara fechada realiza um ciclo termodinâmico conforme mostrado no gráfico. Durante o processo AB, a energia transferida para o sistema sob a forma de calor é de 20,0 J e durante o processo BC nenhuma energia é transferida em forma de calor. Ao longo de todo o ciclo, o trabalho realizado pelo sistema é de 25,0 J. Quanto calor é transferido durante o processo CA?

- a) 10J
- b) 20J
- c) 5J
- d) -5J
- e) 15J

Solução:

O enunciado descreve um ciclo termodinâmico completo realizado por um gás ideal. Para um ciclo fechado temos $\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$. Pela primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U_{\text{ciclo}} = Q_{\text{total}} - W_{\text{total}}.$$



Como $\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$, segue que

$$Q_{\text{total}} = W_{\text{total}}.$$

No enunciado são fornecidos:

$$Q_{AB} = +20,0 \text{ J}, \quad Q_{BC} = 0, \quad W_{\text{total}} = 25,0 \text{ J}.$$

Portanto, o calor total trocado no ciclo é

$$Q_{\text{total}} = W_{\text{total}} = 25,0 \text{ J}.$$

Como $Q_{\text{total}} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}$, obtemos

$$Q_{CA} = Q_{\text{total}} - (Q_{AB} + Q_{BC}) = 25,0 - (20,0 + 0) = 5,0 \text{ J}.$$

Observação sobre o sinal: $Q_{CA} = +5,0 \text{ J}$ indica que, durante o processo CA , houve entrada líquida de calor no sistema.

$$Q_{CA} = +5,0 \text{ J}$$

Letra C

Questão 8. Em um dia comum, o renomado pesquisador Felipe Asteca estava dirigindo e viu um cone de trânsito, assim decidindo fazer um experimento. Asteca construiu um cone compacto A com altura 10 cm e o submergiu verticalmente na água, com a base voltada para dentro do líquido, de modo que a altura do cone não submerso no equilíbrio é 2,5 cm. Se um cone idêntico em dimensões, que denominaremos B , e com metade da densidade, fosse submerso da mesma maneira, o que se pode dizer sobre a altura h' do cone não submerso no equilíbrio?

a) $h' = 5 \text{ cm}$

b) $h' > 5 \text{ cm}$



- c) $h' < 5$ cm
d) $h' = 2,5$ cm
e) Não podemos tirar nenhuma informação de h'

Solução: Primeiramente, sabemos que se B possui as mesmas dimensões de A , seu volume é o mesmo. Logo, sabendo que a densidade de A é duas vezes a de B , B possui metade do peso de A . A força de empuxo em um objeto com volume submerso V_{sub} em um líquido de densidade ρ_l é:

$$E = \rho_l V_{sub} g$$

No equilíbrio, o peso do objeto deve ser igual a força de empuxo. Logo, sendo P o peso do cone A , temos que:

$$P = \rho_l V_{sub,A} g \quad \text{e} \quad P/2 = \rho_l V_{sub,B} g$$

Ou seja, $V_{sub,B} = V_{sub,A}/2$.

Considere o tronco do cone A submerso em água, com altura $10 - 2,5 = 7,5$ cm. Sabemos que se dividirmos esse tronco de cone em metade da sua altura, esse tronco se dividiria em dois outros troncos, com o de cima possuindo menor volume do que o de baixo, pois o volume não é linear com a altura do tronco (como é representado na figura abaixo).

Logo, teremos que a altura do cone B submerso na água deve ser menor que $7,5/2 = 3,75$ cm, pois o volume desse tronco de cone é metade do tronco do cone A submerso. Ou seja, temos que a altura do cone não submerso h' é maior que $10 - 3,75 = 6,25$ cm.

Portanto, a alternativa correta é **(b)**.

Questão 9. Um líquido de coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma_l = 1 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ preenche completamente um recipiente de volume $V_0 = 100 \text{ L}$ e coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma_r = 2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Se ambos são esquentados igualmente, até uma diferença de temperatura de 50°C e nenhum deles sofrem mudanças de fase, qual é a o volume, em litros, de líquido que irá transbordar?

- a) 1 L
b) 2 L
c) 5 L
d) 10 L
e) 20 L

Solução: Primeiramente, sabemos que o coeficiente de dilatação volumétrica γ_l do líquido é maior do que o coeficiente γ_r do recipiente. Portanto, utilizando que o líquido e o recipiente ocupavam o mesmo volume inicialmente, então o volume de líquido que transbordará será igual ao aumento do volume do líquido menos o aumento do volume do recipiente. Assim, utilizando os conceitos de dilatação térmica, o volume ΔV de líquido que transborda é:

$$\Delta V = V_0 \gamma_l \Delta T - V_0 \gamma_r \Delta T = V_0 \Delta T (\gamma_l - \gamma_r) \Rightarrow \Delta V = 100 \text{ L} \cdot 50^\circ\text{C} \cdot (10 - 2) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Portanto:

$$\boxed{\Delta V = 2 \text{ L}}$$



E a resposta correta é (b).

Questão 10. Considere que um recipiente isolado termicamente é dividido em dois compartimentos, um cheio de gás e o outro composto por vácuo, separados por uma placa. A placa então é retirada (mantendo o recipiente isolado) e o gás se expande. De acordo com as leis da termodinâmica, o que se pode afirmar sobre esse sistema no equilíbrio?

- a) Houve uma diminuição na temperatura do gás.
- b) Houve um aumento na temperatura do gás.
- c) Nesse processo houve diversas trocas de calor.
- d) A entropia do sistema diminuiu.
- e) A entropia do sistema aumentou.

Solução: Primeiramente, sabemos que o sistema é isolado termicamente, logo temos que **o calor trocado nesse processo é igual a 0** (ou seja, $Q = 0$).

Além disso, quando a placa é retirada, o gás se expande livremente e sem resistência, pois não há partículas no outro compartimento para colidir com o gás e dificultar sua expansão. Logo, como no vácuo não há nada que interage com o gás, nenhum trabalho é realizado na expansão (ou seja, $W = 0$).

Assim, pela primeira lei da termodinâmica, $\Delta U = Q + W = 0$, o que implica $\Delta T = 0$, isso é, **a temperatura do gás não muda**.

Por fim, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, sabemos que a entropia de um sistema isolado (como o gás no recipiente) só pode aumentar ou se manter constante. Além disso, esse processo é irreversível, pois o gás não pode retornar espontaneamente a sua configuração inicial (assim como o ar numa sala não se aglomera em pequeno espaço, deixando o resto da sala com vácuo), o que implica que **a entropia do gás aumentou**.

Portanto, a alternativa correta é (e).

Questão 11. Considere um gás monoatômico ideal com pressão inicial p' e volume inicial V' . Se ele é submetido a um processo isocórico, onde sua pressão é dobrada, e depois sofre um processo isobárico, onde seu volume é dobrado. Qual é o calor total transmitido nesse processo?

- a) $4p'V'$
- b) $5p'V'$
- c) $(13/2)p'V'$
- d) $(15/2)p'V'$
- e) $(17/2)p'V'$

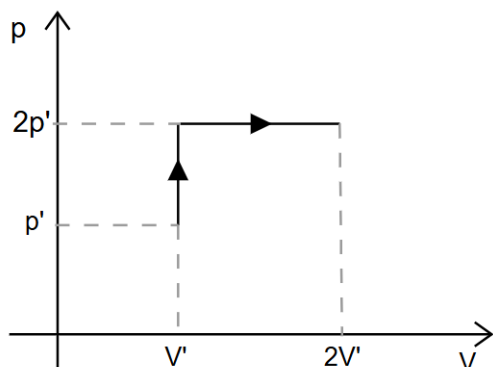
Solução:

Primeiramente, devemos calcular qual foi o trabalho realizado nesse processo. Utilizando que esse deve ser numericamente igual a área da processo representado no diagrama $p \times V$, temos que:

$$W = 2p' \cdot (2V' - V') \iff W = 2p'V'$$

Além disso, utilizando a lei dos gases ideais, temos que a variação da energia interna do gás é:

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_f - T_0) = \frac{3}{2}(nRT_f - nRT_0) = \frac{3}{2}(2p' \cdot 2V' - p' \cdot V') \iff \Delta U = \frac{9}{2}p'V'$$



Logo, de acordo com a primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W = \left(\frac{9}{2} + 2\right)p'V' \iff Q = \frac{13}{2}p'V'$$

Portanto, a alternativa correta é (c).

Questão 12. Maia e Praça estavam disputando um "racha"(corrida de carros) na Avenida Brito Farias. No início da corrida, Maia percorre a primeira metade do percurso a uma velocidade constante de 90 km/h, enquanto Praça percorre, durante toda a corrida, a 120 km/h.

Sabendo que o percurso total da corrida é de 2 km, qual deve ser a velocidade média mínima de Maia na segunda metade da corrida para que ele chegue à frente de Praça no final?

- a) 120 km/h
- b) 150 km/h
- c) 180 km/h
- d) 210 km/h
- e) 240 km/h

Solução: Sabendo que Praça percorreu os 2 km a uma velocidade constante de 120 km/h, o tempo gasto por ele foi

$$t_P = \frac{2}{120} = \frac{1}{60} \text{ h.}$$

Além disso, considerando que Maia percorreu a primeira metade do trajeto (1 km) a uma velocidade constante de 90 km/h, temos que o tempo gasto nesse trecho foi

$$t_{M_1} = \frac{1}{90} \text{ h.}$$

Para que Maia chegue antes de Praça, o tempo total de percurso de Maia deve satisfazer a inequação

$$t_{M_1} + t_{M_2} \leq t_P,$$

ou seja,



$$t_{M_2} \leq t_P - t_{M_1}.$$

Substituindo os valores:

$$t_{M_2} \leq \frac{1}{60} - \frac{1}{90},$$

$$t_{M_2} \leq \frac{1}{180} \text{ h.}$$

Logo, Maia deve gastar no máximo $\frac{1}{180}$ h na segunda metade do percurso.

Pela definição de velocidade média:

$$v_{M_2} = \frac{1}{t_{M_2}}.$$

Portanto,

$$\frac{1}{v_{M_2}} \leq \frac{1}{180} \implies v_{M_2} \geq 180 \text{ km/h.}$$

Assim, a velocidade média mínima que Maia deve atingir na segunda metade do trajeto é 180 km/h

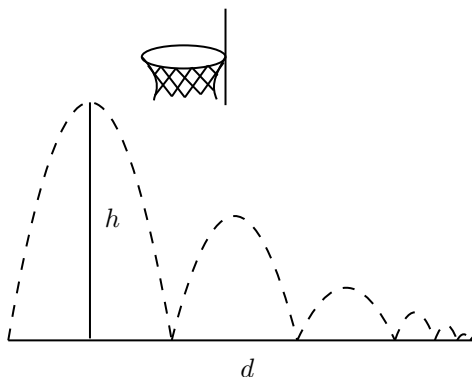
Letra c) 180 km/h

Questão 13. Biasse estava jogando basquete com Eduardo quando foi cobrar um arremesso livre. Como Biasse não é muito habilidoso, ele errou feio a cesta, como mostra a figura. No entanto, ele observou que, após o arremesso, a bola percorreu uma distância horizontal d até que sua velocidade vertical se tornasse zero ao atingir o chão.

Sabe-se que:

- a altura máxima atingida pela bola foi h ;
- o coeficiente de restituição entre a bola e o chão é 0,5;
- a componente horizontal da velocidade, v_{0x} , permanece constante após cada colisão com o chão.
- a resistência do ar é desprezível.

A distância d percorrida pela bola é dada por:





Dica: O somatório $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \dots = 2$

a) $4v_{0x}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

b) $2v_{0x}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

c) $v_{0x}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

d) $\frac{v_{0x}}{2}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

e) $\frac{v_{0x}}{4}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

Solução: Antes da primeira colisão com o chão, a posição da bola é descrita por:

$$x = v_{0x}t$$

$$y = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

Além disso, sabemos que a colisão acontece quando $y = 0$. Logo,

$$0 = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

$$t_{T1} = \frac{2v_{0y}}{g}$$

Onde t_{T1} é o tempo total que a bola fica no ar antes da primeira colisão com o chão.

Entretanto, essa equação depende de v_{0y} e as alternativas não dependem dele. Logo, devemos encontrar uma equação que relacione v_{0y} com h (altura máxima). Para isso, podemos usar que no ponto mais alto da trajetória, a velocidade vertical se anula. O instante desse ponto é: $t = \frac{t_T}{2} = \frac{v_{0y}}{g}$

Substituindo,

$$h = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

$$h = v_{0y} \frac{v_{0y}}{g} - \frac{g \left(\frac{v_{0y}}{g} \right)^2}{2}$$

$$h = \frac{v_{0y}^2}{g} - \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$h = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$



$$v_{0y} = \sqrt{2gh}$$

Logo, o tempo total que a bola percorre antes de colidir pela primeira vez é dado por:

$$t_{T_1} = \frac{2v_{0y}}{g}$$

$$t_{T_1} = \frac{2\sqrt{2gh}}{g}$$

$$t_{T_1} = 2\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Portanto, a distância percorrida entre uma colisão e outra é dada por:

$$x = v_{0x} t$$

$$d_1 = v_{0x} t_{T_1}$$

$$d_1 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Entretanto, d_1 corresponde a distância horizontal percorrida desde o arremesso de Biasse até a primeira colisão com o chão. Para encontrarmos a distância d total percorrida, devemos somar todas as distâncias horizontais entre as colisões. Isto é, a distância d_1 + a distância entre a primeira e segunda colisão + a distância entre a segunda e terceira colisão + ...

Para encontrar a distância entre a primeira e segunda colisão (d_2), podemos recorrer a fórmula de d_1 :

$$d_1 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Podemos perceber que a fórmula depende apenas de v_{0x} (não muda), g (não muda) e de h (muda).

Então, podemos reescrever a fórmula de d_1 para d_2 como sendo:

$$d_2 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2h_2}{g}}$$

Onde h_2 é a altura máxima na segunda trajetória (entre a primeira e segunda colisão).

Logo, precisamos apenas descobrir qual é a altura máxima nessa segunda trajetória para encontrar a distância percorrida nela.

Para isso, devemos recorrer ao coeficiente de restituição $e = 0,5$:

$$e = \frac{|v_{y\text{depois}}|}{|v_{y\text{antes}}|}$$



Onde $v_{y_{\text{antes}}}$ corresponde a velocidade em y logo antes da colisão com o chão, e $v_{y_{\text{depois}}}$ corresponde a velocidade em y logo após a colisão com o chão. Apenas levamos a componente da velocidade em y , pois esta está perpendicular ao chão.

Logo, devemos encontrar a velocidade logo antes da colisão com o chão para entrar a velocidade depois. Para isso, podemos utilizar a fórmula da velocidade em y :

$$v_y = v_{0_y} - gt$$

Como já tínhamos encontrado o tempo total da trajetória anteriormente

$$t_{T_1} = \frac{2v_{0_y}}{g}$$

$$v_y = v_{0_y} - gt_{T_1}$$

$$v_y = v_{0_y} - g \frac{2v_{0_y}}{g}$$

$$v_y = -v_{0_y}$$

Logo, a velocidade logo antes da colisão é a mesma da velocidade inicial. Entretanto, seus sentidos são contrários.

Temos, portanto, que $v_{y_{\text{antes}}} = -v_{0_y}$

Então,

$$e = \frac{|v_{y_{\text{depois}}}|}{|-v_{0_y}|}$$

$$e = \frac{|v_{y_{\text{depois}}}|}{v_{0_y}}$$

$$v_{y_{\text{depois}}} = ev_{0_y}$$

Fisicamente, temos que a velocidade inicial em y da bola na segunda trajetória (entre a primeira e segunda colisão) é igual a velocidade na primeira (entre o arremesso e a primeira colisão) multiplicado pelo coeficiente de restituição e .

Além disso, encontramos anteriormente que:

$$v_{0_y} = \sqrt{2gh}$$

$$v_{y_{\text{depois}}} = e\sqrt{2gh}$$

Podemos substituir $v_{y_{\text{depois}}} = \sqrt{2gh_2}$, onde h_2 é a altura máxima na segunda trajetória.



$$\sqrt{2gh_2} = e\sqrt{2gh}$$

$$2gh_2 = e^2 \cdot 2gh$$

$$h_2 = e^2 h$$

Logo, a altura máxima na segunda trajetória é igual a altura máxima na primeira vezes o coeficiente de restituição ao quadrado.

Portanto, a distância d_2 é dada por:

$$d_2 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2h_2}{g}}$$

$$d_2 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2e^2 h}{g}}$$

$$d_2 = 2v_{0x} e \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Relembrando, d_1

$$d_1 = 2v_{0x} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Logo,

$$d_2 = ed_1$$

Para as próximas distâncias, podemos afirmar, portanto, que

$$d_3 = ed_2$$

$$d_4 = ed_3$$

...

Como a distância total $d = d_1 + d_2 + d_3 + \dots$

$$d = d_1 + ed_1 + e^2 d_1 + e^3 d_1 + \dots$$

Substituindo $e = 0,5 = \frac{1}{2}$



$$d = d_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots \right)$$

Pela dica: $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2$

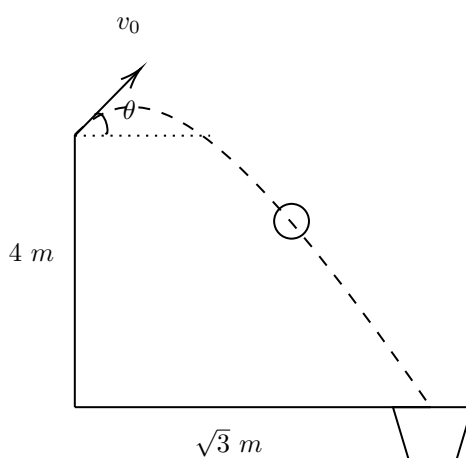
$$d = 2d_1$$

$$d = 4v_{0x} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Letra a) $4v_{0x} \sqrt{\frac{2h}{g}}$

Questão 14. Patrick (conhecido como o “Einstein Capixaba”) estava “farmando aura” no “Espírito Santo”. Para isso, ele decidiu arremessar uma bolinha de papel em uma lixeira posicionada a uma distância horizontal de $\sqrt{3}$ m. A altura do ponto de arremesso é 4 m.

Considerando apenas a ação da gravidade e desprezando efeitos como resistência do ar, qual das alternativas abaixo apresenta um ângulo (em relação à horizontal) e uma velocidade inicial adequados para que Patrick acerte o arremesso, e, assim, “ganhe aura”?



- a) $V_0 = 2,0 \text{ m/s}$; $\theta = 30^\circ$
- b) $V_0 = 4,0 \text{ m/s}$; $\theta = 30^\circ$
- c) $V_0 = 2,0 \text{ m/s}$; $\theta = 60^\circ$
- d) $V_0 = 4,0 \text{ m/s}$; $\theta = 60^\circ$
- e) $V_0 = 4,0 \text{ m/s}$; $\theta = 45^\circ$

Solução: Considerando a posição de lançamento como a origem e o eixo y como sendo vertical e positivo para cima e x como horizontal e positivo para direita.

Temos que:

$$x = v_0 \cos \theta t$$



$$y = v_0 \sin \theta t - \frac{gt^2}{2}$$

Na posição final, ($x = \sqrt{3}$ m; $y = -4$ m)

$$\sqrt{3} = v_0 \cos \theta t$$

$$-4 = v_0 \sin \theta t - \frac{10t^2}{2}$$

Substituindo uma equação na outra,

$$-4 = \frac{\sqrt{3}v_0 \sin \theta}{v_0 \cos \theta} - \frac{15}{v_0^2 \cos^2 \theta}$$

$$-4 = \sqrt{3} \tan \theta - \frac{15}{v_0^2 \cos^2 \theta}$$

Agora, basta testar as alternativas:

Letra *a*):

$$-4 = \sqrt{3} \frac{\sqrt{3}}{3} - \frac{15}{4 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2}$$

$$-4 = 1 - 5$$

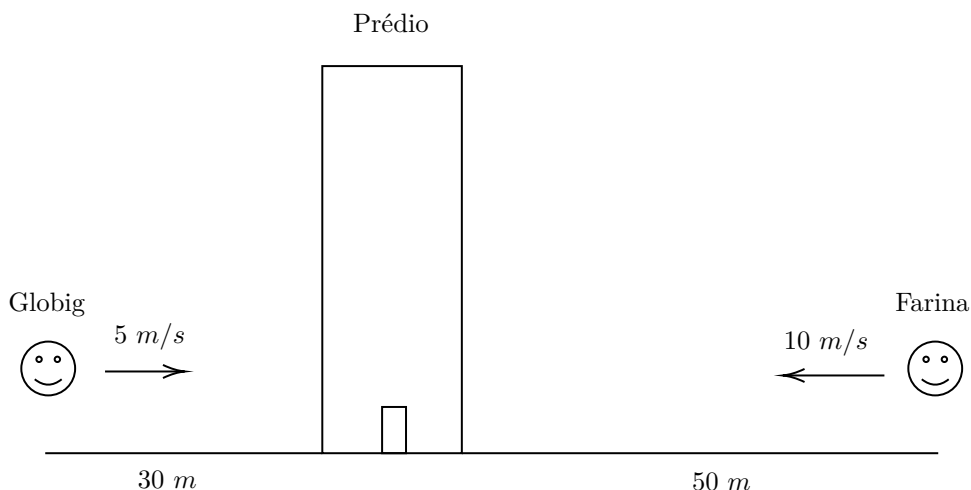
$$-4 = -4$$

Logo, a letra *a*) é correta!

Letra a) $V_0 = 2,0$ m/s; $\theta = 30^\circ$

Questão 15. Globig e Farinha apostaram uma corrida até um prédio, conforme mostra a figura. No momento da disputa, Globig está a 30 m do prédio e corre a uma velocidade constante de 5 m/s, enquanto Farinha está a 50 m, mas com uma velocidade de 10 m/s.

Quem chegará primeiro ao prédio?



- a) Globig chega primeiro com 5 segundos de vantagem.
- b) Farinha chega primeiro com 6 segundos de vantagem.
- c) Farinha e Globig chegam ao mesmo tempo.
- d) Globig chega primeiro com 1 segundo de vantagem.
- e) Farinha chega primeiro com 1 segundo de vantagem.

Solução: Utilizando a definição de velocidade:

Sabemos que a distância de Globig até o prédio é de $d_G = 30 \text{ m}$ e sua velocidade é $v_G = 5 \text{ m/s}$. Portanto, o tempo que ele leva para chegar é:

$$t_G = \frac{d_G}{v_G} = \frac{30}{5} = 6 \text{ s}$$

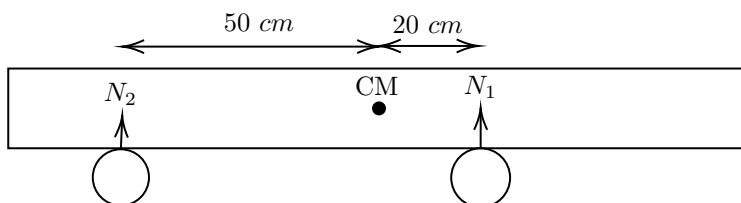
Já Farinha está a $d_F = 50 \text{ m}$ do prédio e corre a $v_F = 10 \text{ m/s}$. Assim, o tempo gasto por ele é:

$$t_F = \frac{d_F}{v_F} = \frac{50}{10} = 5 \text{ s}$$

Como $t_F < t_G$, concluímos que Farinha chegará primeiro ao prédio com $t_G - t_F = 1$ segundo de vantagem.

Letra e)

Questão 16. Elias apoia uma barra de ferro sobre dois de seus dedos, conforme ilustrado na figura. Sabendo que a barra tem massa de 700 g e está em equilíbrio, determine os valores das forças normais N_1 e N_2 exercidas por cada dedo.



- a) $N_1 = 7 \text{ N}$ e $N_2 = 0 \text{ N}$
- b) $N_1 = 2 \text{ N}$ e $N_2 = 5 \text{ N}$



c) $N_1 = 5 \text{ N}$ e $N_2 = 2 \text{ N}$

d) $N_1 = 1 \text{ N}$ e $N_2 = 6 \text{ N}$

e) $N_1 = 5 \text{ N}$ e $N_2 = 5 \text{ N}$

Solução: Sabemos que o objeto está em equilíbrio. Logo, ele está sujeito ao equilíbrio de forças e de torque.

Pelo equilíbrio de forças, temos que:

$$mg = N_1 + N_2$$

$$0,7 \cdot 10 = N_1 + N_2$$

$$7 = N_1 + N_2$$

Além disso, pelo equilíbrio de torques (momento) em torno do CM.

Pela figura, as distâncias do CM aos pontos de apoio são $d_1 = 20 \text{ cm}$ (para N_1) e $d_2 = 50 \text{ cm}$ (para N_2). Como os dois normais são para cima, seus momentos em torno do CM devem se cancelar:

$$N_1 d_1 = N_2 d_2$$

$$N_1 \cdot 20 = N_2 \cdot 50$$

$$N_1 = \frac{5N_2}{2}$$

Substituindo

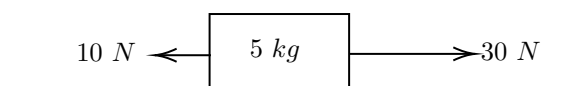
$$7 = \frac{5N_2}{2} + N_2$$

$$N_2 = 2 \text{ N}$$

$$N_1 = 7 - 2 = 5 \text{ N}$$

Letra c) $N_1 = 5 \text{ N}$ e $N_2 = 2 \text{ N}$

Questão 17. João Victor e Brandão estão puxando um bloco de massa 5 kg sobre uma superfície perfeitamente lisa, ou seja, sem atrito. Brandão aplica uma força de 30 N e João Victor, uma força de 10 N , em direções opostas. Determine a aceleração do bloco.





- a) 6 m/s^2
- b) 2 m/s^2
- c) 8 m/s^2
- d) 3 m/s^2
- e) 4 m/s^2

Solução:

Pela Segunda Lei de Newton, a força resultante sobre um corpo é dada por:

$$F_R = m \cdot a$$

Onde F_R é a força resultante, m é a massa do corpo e a é a aceleração.

Como a força resultante corresponde à soma vetorial das forças que atuam sobre o corpo, neste caso temos:

$$F_R = 30 - 10 = 20 \text{ N}$$

Substituindo os valores na Segunda Lei de Newton:

$$20 = 5 \cdot a$$

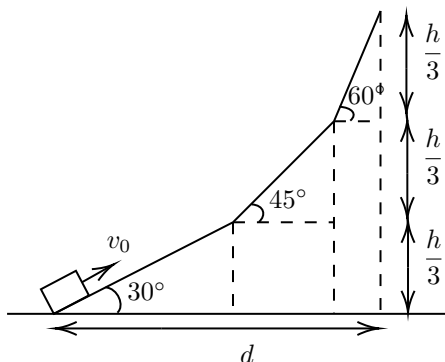
Obtemos:

$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

Letra c) 4 m/s^2

Questão 18. Um pequeno bloco é lançado com velocidade inicial de módulo v_0 e percorre três trechos inclinados, conforme ilustrado na figura. O bloco sobe ao longo dos planos inclinados até atingir uma altura máxima h , onde momentaneamente para.

Sabendo que todos os trechos possuem o mesmo coeficiente de atrito dinâmico μ e que a distância horizontal total percorrida pelo bloco é d , determine o valor de v_0 .



- a) $\sqrt{2g(h - \mu d)}$
- b) $\sqrt{2g(h + \mu d)}$



- c) $\sqrt{2g(1 + \sqrt{2} + \sqrt{3})(h + \mu d)}$
d) $\sqrt{g(1 + \sqrt{2} + \sqrt{3})(h + \mu d)}$
e) $\sqrt{g(1 + \sqrt{2} + \sqrt{3})(h - \mu d)}$

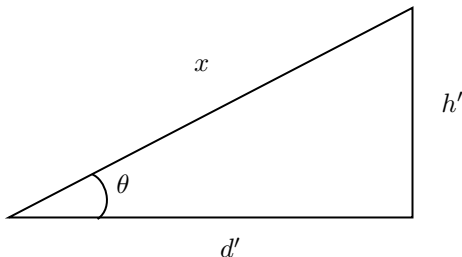
Solução: Considere um bloco em um plano inclinado com atrito, formando um ângulo θ com a horizontal. A força resultante que atua sobre o bloco ao longo do plano é dada por:

$$F = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$$

onde m é a massa do bloco, g é a aceleração da gravidade e μ é o coeficiente de atrito.

Assim, o trabalho realizado pelas forças sobre o bloco ao percorrer uma distância x ao longo do plano é:

$$\tau = -(mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta) x$$



Pela definição de $\sin \theta$ e $\cos \theta$:

$$\sin \theta = \frac{h'}{x}$$

$$\cos \theta = \frac{d'}{x}$$

Podemos reescrever a equação do trabalho, portanto, como:

$$\tau = -mgh' - mg\mu d'$$

Então, podemos expressar o trabalho apenas a partir dos catetos.

Logo, no caso do enunciado, temos que o trabalho é:

$$\tau = -mgh - mg\mu d$$

Pelo teorema da energia cinética

$$\tau = \Delta E_c = 0 - \frac{mv_0^2}{2}$$

Substituindo,



$$mgh + mg\mu d = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$v_0 = \sqrt{2g(h + \mu d)}$$

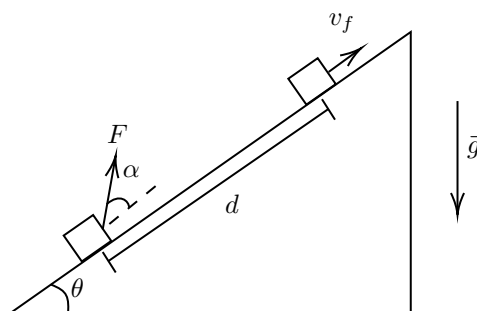
Letra b) $v_0 = \sqrt{2g(h + \mu d)}$

Questão 19. Um bloco de massa m é puxado sobre um plano inclinado por uma força F , que forma um ângulo α com a direção do plano. O plano inclinado está inclinado de um ângulo θ em relação à horizontal.

Sabendo que:

- o bloco permanece em contato com a superfície o tempo todo,
- o plano é perfeitamente liso (sem atrito),
- o bloco percorre uma distância d ao longo da rampa,

determine a velocidade final v_f do bloco.



a) $v = \sqrt{\frac{2Fd \cos(\alpha + \theta)}{m} - 2gd \sin \theta}$

b) $v = \sqrt{\frac{2Fd \cos(\alpha + \theta)}{m} + 2gd \sin \theta}$

c) $v = \sqrt{\frac{Fd \cos(\alpha + \theta)}{m} - gd \sin \theta}$

d) $v = \sqrt{\frac{2Fd \cos \alpha}{m} + 2gd \sin \theta}$

e) $v = \sqrt{\frac{2Fd \cos \alpha}{m} - 2gd \sin \theta}$

Solução: Pela definição de trabalho, temos que

$$\tau_F = Fd \cos \alpha$$

Para força F . Já para força peso, temos que:

$$\tau_P = -mg \sin \theta d$$

Logo, o trabalho total é dado por:



$$\tau = \tau_F + \tau_P = Fd \cos \alpha - mg \sin \theta d$$

Pelo Teorema da energia cinética, obtemos:

$$\tau = \Delta E_c = \frac{mv_f^2}{2} - 0$$

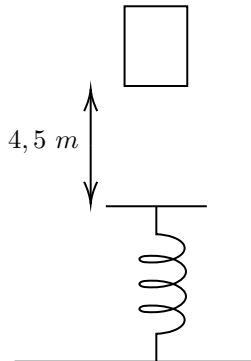
$$\frac{mv_f^2}{2} = Fd \cos \alpha - mg \sin \theta d$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2Fd \cos \alpha}{m} - 2gd \sin \theta}$$

Letra e) $\sqrt{\frac{2Fd \cos \alpha}{m} - 2gd \sin \theta}$

Questão 20. Na figura a seguir, um cubo de massa $m = 5,0$ kg é abandonado a partir do repouso caindo em queda livre até colidir com um aparador acoplado a uma mola de constante elástica $k = 2,0 \times 10^3$ N/m.

Considere desprezíveis as massas da mola e do aparador, bem como quaisquer formas de dissipação de energia mecânica. Calcule a compressão máxima da mola.



- a) 0,5 m
- b) 1,0 m
- c) 1,5 m
- d) 2,0 m
- e) 2,5 m

Solução:

Vamos calcular as energias inicial e final, considerando o ponto de início da mola como referencial.

$$E_i = mgh$$

com $h = 4,5$ m.

A energia final é composta pela energia elástica da mola e pela energia potencial gravitacional do bloco:



$$E_f = -mgx + \frac{1}{2}kx^2,$$

onde x é a compressão máxima da mola.

Por conservação de energia:

$$mgh = -mgx + \frac{kx^2}{2}$$

Substituindo os dados do enunciado:

$$225 = -50x + 10^3x^2$$

$$10^3x^2 - 50x - 225 = 0$$

$$40x^2 - 2x - 9 = 0$$

$$x = \frac{2 \pm \sqrt{4 + 1440}}{80}$$

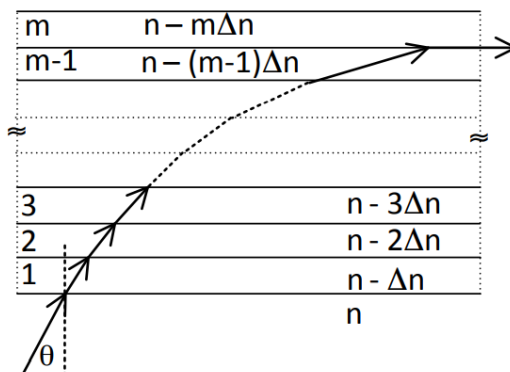
$$x = \frac{2 \pm 38}{80}$$

Como $x > 0$:

$$x = 0,5 \text{ m}$$

Letra a) 0,5 m

Questão 21. Uma luz monocromática se propaga em um meio com índice de refração $n = 1.6$. Ela entra em uma pilha de camadas de vidro pela parte inferior em um ângulo $\theta = 30^\circ$. As interfaces das camadas de vidro são paralelas entre si. Os índices de refração das diferentes camadas de vidro diminuem monotonicamente à medida que $n_m = n - m\Delta n$, onde n_m é o índice de refração da m -ésima placa e $\Delta n = 0.1$ (veja a figura). O raio é refratado paralelamente à interface entre as $(m - 1)$ -ésima e m -ésima placas do lado direito da pilha. Qual é o valor de m ?





- a) $m = 6$
- b) $m = 7$
- c) $m = 8$
- d) $m = 9$
- e) $m = 10$

Solução: Temos uma luz monocromática que vem de um meio com índice de refração $n = 1.6$ e incide na pilha de placas com ângulo $\theta = 30^\circ$ (medido em relação à normal). As placas têm índices

$$n_m = n - m \Delta n, \quad \Delta n = 0.1,$$

com $m = 1, 2, \dots$ seguindo a figura; as interfaces são paralelas.

Ao atravessar sucessivas interfaces entre meios de índices decrescentes, a quantidade

$$n_{\text{origem}} \sin \theta_{\text{origem}} = n \sin \theta$$

é conservada em todas as interfaces (pela Lei de Snell), ou seja

$$n \sin \theta = n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = \dots = n_k \sin \theta_k = \dots$$

onde θ_k é o ângulo do raio dentro da k -ésima placa (medido em relação à normal).

O enunciado pede o valor de m tal que o raio seja refratado *paralelamente à interface* entre a $(m-1)$ -ésima e a m -ésima placa *do lado direito* da pilha. “Paralelo à interface” significa que, no meio m , o raio sai com direção tangente à interface, isto é, o ângulo de refração em relação à normal vale 90° . Portanto, no limite de refração para a placa m temos $\sin \theta_m = 1$, e pela conservação acima:

$$n \sin \theta = n_m \sin \theta_m = n_m \cdot 1 = n_m.$$

Logo a condição para que o raio seja refratado paralelamente à interface entre $(m-1)$ e m é

$$n_m = n \sin \theta.$$

Usando $n_m = n - m \Delta n$ obtemos

$$n - m \Delta n = n \sin \theta \quad \Rightarrow \quad m = \frac{n - n \sin \theta}{\Delta n}.$$

Substituindo os valores numéricos $n = 1.6$, $\theta = 30^\circ$ (logo $\sin 30^\circ = 1/2$) e $\Delta n = 0.1$,

$$m = \frac{1.6 - 1.6 \cdot \frac{1}{2}}{0.1} = \frac{1.6 - 0.8}{0.1} = \frac{0.8}{0.1} = 8.$$

Portanto, o valor procurado é $m = 8$. (item C)

Questão 22. Ao tirar algumas selfies, Gibolg notou que algumas lentes faziam seu nariz parecer maior e outras faziam seu rosto parecer mais achatado. Por ser um ótimo aluno de física, ele se recordou que isso está relacionado à distância focal da lente e à geometria do sistema. Com base nisso, analise as afirmações ditas por Gibolg:



1. Uma lente grande-angular (menor distância focal) tende a causar uma distorção que aumenta visualmente o tamanho do nariz em relação ao restante do rosto, pois exige que o fotógrafo se aproxime mais do rosto.
2. Em uma lente teleobjetiva (maior distância focal), a diferença de distância entre o nariz e as orelhas torna-se desprezível em comparação à distância total até a câmera, resultando em uma imagem com proporções mais naturais e menos distorção.
3. A distorção de perspectiva que altera as proporções do rosto em uma fotografia é causada pela curvatura da lente, e não pela posição relativa da câmera em relação ao rosto.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas I é verdadeira.
- b) Apenas I e II são verdadeiras.
- c) Apenas II e III são verdadeiras.
- d) Todas são verdadeiras.
- e) Nenhuma é verdadeira.

Solução: Modelemos o rosto por dois pontos ao longo do eixo óptico: a ponta do nariz (profundidade z_{nariz}) e a orelha (profundidade z_{orelha}), separados por uma diferença de profundidade $\Delta z = z_{\text{orelha}} - z_{\text{nariz}} > 0$. Seja d a distância da câmera ao plano médio do rosto (medida desde a origem de coordenadas onde $z = 0$). A projeção em uma lente delgada dá para a altura angular de um ponto, medida em relação ao centro óptico,

$$\theta(z) = \arctan\left(\frac{y}{d - z}\right)$$

onde y é a coordenada lateral do ponto (por exemplo, meia-largura do rosto). Para comparar tamanhos relativos, podemos considerar a diferença de ângulo entre nariz e orelha ou, mais simplesmente, a razão entre suas distâncias aparentes ao centro:

$$\text{razão} \sim \frac{1/(d - z_{\text{nariz}})}{1/(d - z_{\text{orelha}})} = \frac{d - z_{\text{orelha}}}{d - z_{\text{nariz}}} = 1 + \frac{\Delta z}{d - z_{\text{nariz}}}$$

Dessa expressão vê-se claramente que, quando d é pequeno (fotógrafo muito perto, situação típica com lentes grande-angulares), o termo $\Delta z/(d - z_{\text{nariz}})$ é grande e, portanto, a diferença relativa entre nariz e orelha aumenta — o nariz aparece desproporcionalmente maior. Isso confirma a afirmação I.

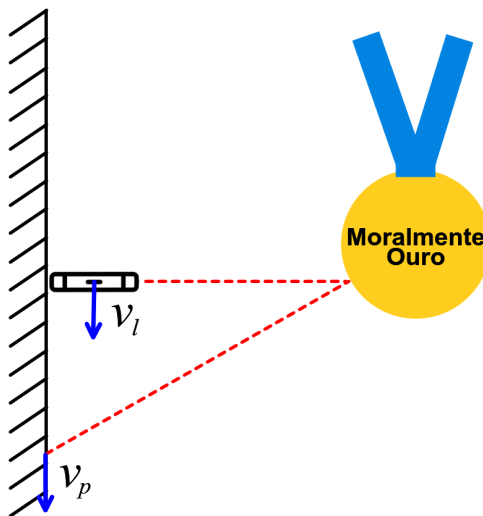
Para uma lente teleobjetiva, para manter o mesmo enquadramento do rosto o fotógrafo normalmente aumenta d (ficando mais afastado). Quando $d \gg \Delta z$ a razão aproxima-se de $1 + \Delta z/d \approx 1$: as diferenças de profundidade tornam-se desprezíveis e as proporções aparentes ficam mais “comprimidas” e naturais. Isso confirma a afirmação II.

Por fim, a afirmação III atribui a distorção de perspectiva à curvatura da lente em vez da posição relativa da câmera. Isso é incorreto: a *perspectiva* (i.e. a variação relativa de tamanhos devido a diferenças de profundidade) depende exclusivamente da posição do observador/câmera em relação aos objetos (distância e ponto de vista). Imperfeições da óptica (curvatura de campo, distorções de barril/pincushion) causam deformações geométricas adicionais, mas não são a origem da compressão/expansão de profundidade que faz o nariz parecer maior ou menor — essa origem é puramente geométrica (a distância da câmera). Portanto III é falsa. Logo, o item B está correto.

Questão 23. Após polir sua medalha de “moralmente ouro” (raio R) em uma olimpíada de física, Paulo notou que ela refletia muito bem a luz incidente. Com isso, ele construiu o sistema mostrado na figura. Sabendo que



o *laser* horizontal se move com uma velocidade constante v_l para baixo enquanto a reflexão da luz na parede se move com velocidade v_p , pode-se concluir que:



- a) O valor máximo de v_p ocorre quando o prolongamento do raio de luz incidente passa pelo centro da medalha.
- b) Toda a parede será varrida com a luz refletiva se o *laser* iniciar seu movimento a uma altura $h \geq \frac{R\sqrt{2}}{2}$ em relação ao centro da medalha.
- c) Como o *laser* se move com velocidade constante, v_p também é constante.
- d) É possível que v_l seja maior que v_p .
- e) O ponto da medalha iluminado pelo *laser* realiza um movimento circular uniforme de raio R .

Solução:

- Item A: Falso. Note que para valores de h próximos a $\pm \frac{R\sqrt{2}}{2}$, a velocidade diverge (raio refletivo é paralelo à parede).
- Item B: Verdadeiro. Por um argumento análogo ao do item A, a luz passará por um ponto arbitrariamente distante se a parede e o raio refletido possuírem um ângulo suficientemente pequeno.
- Item C: Falso. v_p pode se tornar arbitrariamente grande.
- Item D: Falso. Note que a mudança do ângulo de incidência “ajuda” o raio refletido a bater mais longe na parede, com igualdade somente quando $h = 0$
- Item E: Falso. Esse ponto realiza um movimento circular, porém, é evidente que ele não é uniforme ($\omega = \text{const}$).

Questão 24. Uma força constante $\vec{F} = (3\hat{x} + 4\hat{y} - 2\hat{z})$ N é aplicada em uma partícula de massa $m = 1$ que se desloca de $\vec{s}_0 = (1\hat{x} - 2\hat{y} + 1\hat{z})$ m até $\vec{s}_f = (5\hat{x} - 4\hat{y} - 1\hat{z})$ m. Sabendo que a velocidade inicial da partícula era $v_0 = 3$, o trabalho realizado pela força e o módulo da velocidade final da partícula são, respectivamente:

- a) 2, $\sqrt{13}$
- b) 4, 5
- c) 6, $\sqrt{15}$
- d) 8, 5
- e) 10, 7



Solução: O deslocamento é

$$\Delta \vec{s} = \vec{s}_f - \vec{s}_0 = (5 - 1)\hat{i} + (-4 - (-2))\hat{j} + (-1 - 1)\hat{k} = 4\hat{i} - 2\hat{j} - 2\hat{k} \text{ m.}$$

O trabalho realizado pela força constante é o produto escalar

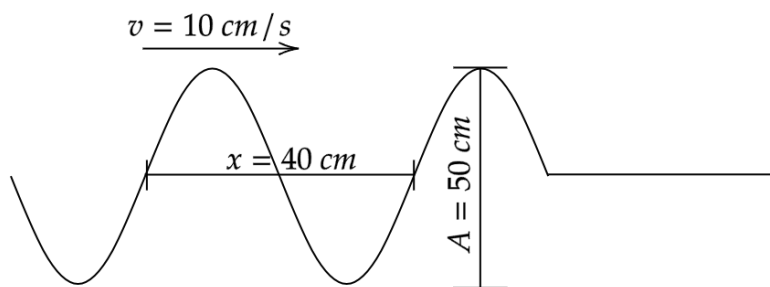
$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{s} = 3 \cdot 4 + 4 \cdot (-2) + (-2) \cdot (-2) = 12 - 8 + 4 = 8 \text{ J.}$$

Pela teorema energia-trabalho, para massa $m = 1 \text{ kg}$ e velocidade inicial $v_0 = 3 \text{ m/s}$,

$$W = \Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_0^2) \Rightarrow v_f = \sqrt{v_0^2 + \frac{2W}{m}} = \sqrt{3^2 + 2 \cdot 8} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5 \text{ m/s.}$$

Portanto o trabalho e o módulo da velocidade final são, respectivamente, 8 J e 5 m/s. (Item D).

Questão 25. Eduardo adora brincar com cordas. Eduardo produz uma sequência de ondas periódicas ao oscilar a extremidade de uma corda que está presa em uma parede. A partir da imagem que representa as ondas formadas, analise as afirmativas:



I- A amplitude da onda é de 50 cm.

II- A frequência é de 14 Hz.

III- É uma onda transversal.

Assinale o item correto:

- a) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Há somente uma afirmativa correta.
- e) Todas as afirmativas estão corretas.

Solução: Analisando as alternativas:

I- Incorreta, a amplitude é de 25 cm.

II- Incorreta.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{4}$$



III- Correta.

Logo, a resposta correta é **Letra d)**

Questão 26. Praça está procurando objetos novos para fazer experimentos e encontra um diapasão. O diapasão tem frequência natural de 680 Hz e é tocado na extremidade aberta de uma proveta que está preenchida com água sendo esvaziada. Quando a água atinge uma altura h na proveta, ocorre a primeira ressonância. Sabe-se que a proveta mede 1 metro e a velocidade do som é de 340 m/s. Assinale a alternativa que contém o valor de h .

- a) 12,5 cm.
- b) 25 cm.
- c) 50 cm.
- d) 87,5 cm.
- e) 100 cm.

Solução: Tubo aberto em cima e fechado pela água embaixo: ressonância de um tubo aberto-fechado. A primeira ressonância (fundamental) ocorre para:

$$f = \frac{v_{som}}{4L_{ar}}$$

$$680 = \frac{340}{4L_{ar}} \Leftrightarrow$$

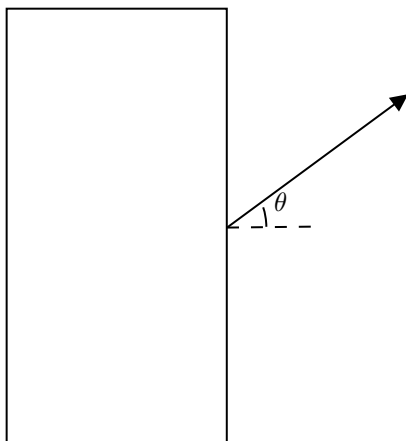
$$L_{ar} = 12,5 \text{ cm}$$

Como a questão pede a altura da água:

$$h = 100 - 12,5 = 87,5 \text{ cm}$$

Logo, a resposta correta é **Letra d)**

Questão 27. Enquanto organizava seu quarto durante a madrugada, Alves estava usando uma corda para puxar um armário de massa 160 kg. A força de tração na corda tem intensidade 1000 N e o armário se desloca em MRU. Sendo $\sin \theta = 0,8$, é possível afirmar que o coeficiente de atrito dinâmico entre o armário e o solo horizontal é igual a:



- a) 1,0
- b) 0,75
- c) 0,5
- d) 0,4
- e) 0,1

Solução:

Primeiramente, devemos perceber que o armário se desloca em MRU, ou seja, não está acelerado. Assim, sendo $f_x = \mu_x N$ a força de atrito dinâmico na horizontal, a segunda lei de Newton na horizontal nos fornece:

$$Ma_x = F \cos \theta - f_x \iff 0 = F \cos \theta - \mu_x N \iff \mu_x = \frac{F \cos \theta}{N}$$

Além disso, o equilíbrio na direção perpendicular a mesa nos fornece também que:

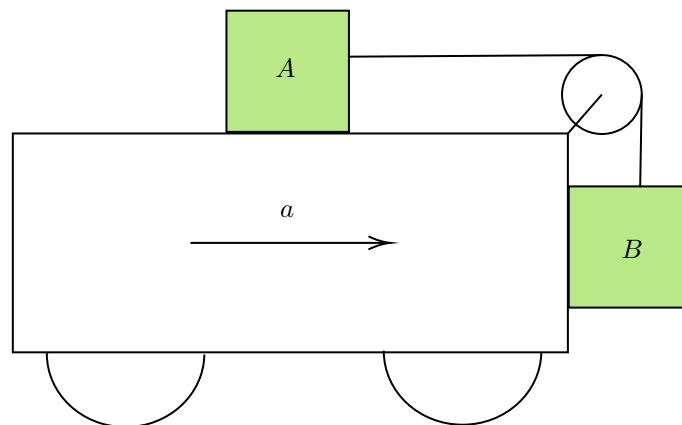
$$0 = N - Mg + F \sin \theta \iff N = Mg - F \sin \theta$$

Portanto, utilizando $\cos(\theta) = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = 0,6$ nesse caso, temos que:

$$\mu_x = \frac{F \cos \theta}{Mg - F \sin \theta} \Rightarrow \mu_x = \frac{1000 \text{ N} \cdot 0,6}{160 \text{ Kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 - 1000 \text{ N} \cdot 0,8} \Rightarrow \boxed{\mu_x = 0,75}$$

Portanto, a alternativa correta é **(b)**.

Questão 28. Um veículo acelera horizontalmente com a . Dois blocos A ($M = 5.5 \text{ kg}$) e B ($m = 1 \text{ kg}$) estão presos por um fio ideal e em repouso relativo ao veículo. Não há atrito entre A e a superfície horizontal, mas existe atrito ($\mu = 0.5$) entre B e a parede vertical. Determine o valor da aceleração a para que o sistema permaneça em equilíbrio relativo.



- a) 1.67 m/s^2
- b) 1.82 m/s^2
- c) 2.00 m/s^2
- d) 3.33 m/s^2
- e) 5.00 m/s^2

Solução:

No referencial do veículo, o equilíbrio de força no bloco A nos fornece que:

$$Ma = T$$

Onde T é a tração no fio. Além disso, denominando f como a força de atrito e N a força normal no bloco B , podemos escrever seu equilíbrio na vertical e horizontal da seguinte forma:

$$\begin{cases} T = f + mg \\ N = ma \end{cases}$$

Inicialmente, a questão deveria pedir a aceleração **mínima**, porém essa informação ficou de fora. Com isso, aqui nós temos duas situações limites: quando o atrito aponta para baixo ($f = \mu N$) e quando o atrito aponta para cima ($f = -\mu N$). Por isso, nós temos um range de valores para a aceleração entre esses dois casos.

Caso 1: aceleração para baixo.

$$\begin{aligned} T = \mu N + mg &\iff Ma = \mu ma + mg \\ \iff a = \frac{mg}{M - \mu m} &= \frac{1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{5,5 \text{ kg} - 0,5 \cdot 1 \text{ kg}} \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

Caso 2: aceleração para cima.

$$\begin{aligned} T = mg - \mu N &\iff Ma = mg - \mu ma \\ \iff a = \frac{mg}{M + \mu m} &= \frac{1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{5,5 \text{ kg} + 0,5 \cdot 1 \text{ kg}} \Rightarrow \boxed{a = 1,67 \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$



Com isso, todos os valores para a aceleração no intervalo $1,67 \text{ m/s}^2 \leq a \leq 2 \text{ m/s}^2$ estão corretos
Logo, serão consideradas as alternativas (a), (b) e (c).

Questão 29. Gurjinho, fazendo manobras com seu novo carro, percorre um movimento circular uniforme de raio R numa pista sobrelevada de um ângulo θ . Seja μ o coeficiente de atrito entre os pneus e a pista. A máxima velocidade que ele pode realizar a curva sem derrapar é igual:

- a) $\sqrt{\frac{Rg \cdot (\mu \cdot \cos \theta - \sin \theta)}{\cos \theta + \mu \sin \theta}}$
- b) $\sqrt{\frac{Rg \cdot (\mu \cdot \cos \theta + \sin \theta)}{\cos \theta - \mu \sin \theta}}$
- c) $\sqrt{\frac{Rg \cdot (\mu \cdot \cos \theta + \sin \theta)}{\cos \theta + \mu \sin \theta}}$
- d) $\sqrt{Rg \cdot \tan \theta}$
- e) $\sqrt{\frac{Rg}{\tan \theta}}$

Solução:

Primeiramente, se o carro estiver na velocidade máxima, então a força de atrito f deve apontar para baixo na direção do plano, contribuindo para a força centrípeta e evitando que o carro suba o plano. Assim, utilizando trigonometria para a decomposição de forças, a segunda lei de Newton na horizontal e na vertical nos fornece que:

$$\begin{cases} N \cos(\theta) = mg + f \sin(\theta), \\ \frac{mv^2}{R} = N \sin(\theta) + f \cos(\theta) \end{cases} \iff \begin{cases} f = \frac{mv^2}{R} \cos(\theta) - mg \sin(\theta) \\ N = \frac{mv^2}{R} \sin \theta + mg \cos \theta \end{cases}$$

Logo, utilizando que $\mu N \geq f$, temos a expressão:

$$\mu \left(\frac{mv^2}{R} \sin \theta + mg \cos \theta \right) \geq \frac{mv^2}{R} \cos(\theta) - mg \sin(\theta) \iff \sin(\theta) + \mu \cos(\theta) \geq \frac{v^2}{gR} (\cos(\theta) - \mu \sin(\theta))$$

Ou seja, temos que:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{Rg \cdot (\mu \cos(\theta) + \sin(\theta))}{\cos(\theta) - \mu \sin(\theta)}}$$

E a alternativa correta é (b).

Questão 30. Durante sua viagem à Romênia, o Raul comeu um tofu tão ruim que decidiu recalculer seu calor específico experimentalmente. Ele aqueceu uma porção de 300,0 g a $120,0^\circ\text{C}$ e mergulhou em 500,0 g de água a $20,0^\circ\text{C}$ com 200,0 g de gelo a $-10,0^\circ\text{C}$ (únicos ingredientes palatáveis do restaurante). O equilíbrio térmico a $30,0^\circ\text{C}$ revelou:

- a) $0,150 \text{ cal g}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$
- b) $0,200 \text{ cal g}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$
- c) $0,250 \text{ cal g}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$
- d) $0,300 \text{ cal g}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$
- e) $0,350 \text{ cal g}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$



Solução: Primeiramente, temos por conservação de energia que:

$$Q_a + Q_g + Q_t = 0 \quad (1)$$

Onde podemos calcular cada um separadamente:

i) Água: $Q_a = m_a c_a (T_f - T_{i,a}) = 500,0 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C}) \cdot (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$

Portanto, temos que $Q_a = 5000 \text{ cal}$.

ii) Gelo: $Q_g = m_g c_g (0 - T_{i,g}) + m_g L_g + m_g c_g (T_{f,g} - 0) = 200,0 \text{ g} \cdot 0,5 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C}) \cdot (0^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})) + 200 \text{ g} \cdot 80 \text{ cal/g} + 200,0 \text{ g} \cdot 0,5 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C}) \cdot (30^\circ\text{C})$

Portanto, temos que $Q_g = 23000 \text{ cal}$.

Assim, podemos descobrir o valor do calor específico c_t do tofu, basta substituir o valor de Q_a e Q_g em (1) da seguinte forma:

$$5000 \text{ cal} + 23000 \text{ cal} + 300 \text{ g} \cdot c_t \cdot (30^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 0 \iff c_t = \frac{28000}{30 \cdot 90} \text{ cal/g}^\circ\text{C} \iff \boxed{c_t = 1,037 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$

Infelizmente houve um erro com as alternativas, então a questão está **anulada**