OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA 2026

Prova da 3ª Fase

7 de novembro de 2026

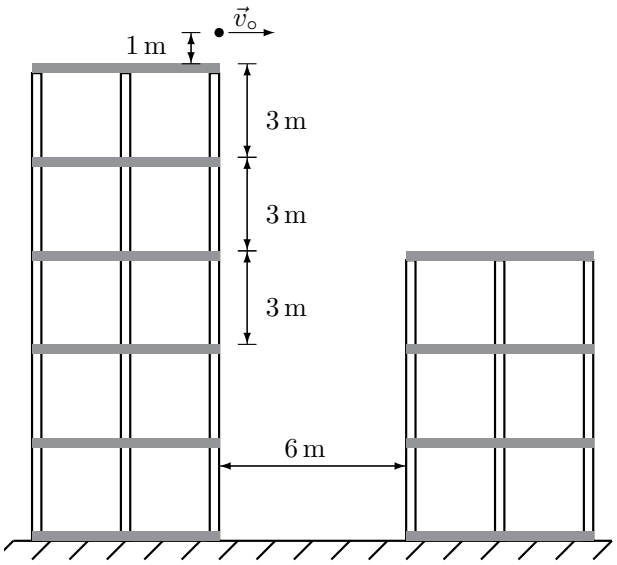
NÍVEL III
Ensino Médio
3ª e 4ª Séries

LEIA ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES:

1. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos da **3ª e 4ª séries do nível médio.** Ela contém **8** questões.
2. Esta prova tem duração máxima de quatro horas. O estudante deverá permanecer na sala por, no mínimo, duas horas.
3. A prova é individual e sem consulta. Durante sua realização, é permitido utilizar apenas caneta, lápis e borracha para rascunho, líquido corretivo e régua geométrica. É proibido o uso de calculadoras ou de qualquer equipamento eletrônico, por qualquer motivo, sob pena de anulação da prova.
4. Todos os resultados numéricos devem ser expressos nas unidades solicitadas nos enunciados das questões. Na ausência de indicação, utilize unidades do Sistema Internacional (SI).
5. O **Caderno de Respostas** contém instruções de preenchimento que devem ser cuidadosamente lidas antes do início da prova.
6. Todas as respostas devem ser devidamente justificadas. O Caderno de Respostas possui espaços próprios para registrar os resultados e as resoluções das questões. Na resolução, apresente de forma sucinta o raciocínio físico e as etapas necessárias para justificar o resultado obtido. Não se limite a registrar cálculos: utilize, quando apropriado, diagramas e linguagem matemática para expressar seu raciocínio.
7. Os resultados numéricos finais devem ser apresentados com precisão de 2%. Para garantir essa precisão, mantenha mais de três algarismos significativos nos cálculos intermediários e apresente o resultado final com três algarismos significativos.
8. Utilize para rascunho as páginas e espaços em branco do **Caderno de Questões**.
9. Se necessário e salvo indicação em contrário, use: $\sqrt{2} = 1{,}4$; $\sqrt{3} = 1{,}7$; $\sqrt{5} = 2{,}2$; $\text{sen}(15°) = 0{,}26$; $\cos(15°) = 0{,}97$; $\text{sen}(30°) = 0{,}50$; $\cos(30°) = 0{,}85$; $\text{sen}(45°) = 0{,}70$; $\pi = 3$; densidade da água $= 1{,}00$ g/cm^3; calor específico da água $= 1{,}00$ cal/g °C; calor latente de fusão do gelo $= 80{,}0$ cal/g; calor latente de vaporização da água $= 540$ cal/g; 1 cal $= 4{,}20$ J; velocidade do som no ar $= 340$ m/s; constante universal dos gases ideais $= 8{,}3$ J/(mol·K); 1 atmosfera $= 1{,}00 \times 10^5$ Pa; velocidade da luz no vácuo $= 3 \times 10^8$ m/s; constante de Planck $= 6{,}60 \times 10^{-34}$ J·s; número de Avogadro $= 6{,}00 \times 10^{23}$ e aceleração da gravidade $= 10{,}0$ m/s^2.
10. Se necessário, use a fórmula de aproximação para raízes quadradas: $\sqrt{N \pm \delta} \approx \sqrt{N} \pm \frac{\sqrt{N}}{2N} \cdot \delta$ onde $\sqrt{N}$ é uma raiz conhecida e $\sqrt{N \pm \delta}$ é a raiz a ser estimada. Exemplo: $\sqrt{38} = \sqrt{36 + 2} \approx \sqrt{36} + \frac{\sqrt{36}}{2 \cdot 36} \cdot 2 = 6 + \frac{2}{12} \approx 6{,}17$.

Questão 1. No filme *Desperado* (1995), um músico andarilho, conhecido como *El Mariachi*, enfrenta um poderoso traficante. Durante sua jornada, ele conhece Carolina, que acaba envolvida no conflito. Em uma cena, o casal salta de um prédio para outro, superando um grande vão entre as construções. Primeiro, o herói impulsiona Carolina. Na sua vez, *El Mariachi* coloca-se de costas para a direção do salto e se impulsiona com os joelhos. Em seguida, dispara suas duas armas na direção oposta à do salto, para complementar seu impulso inicial. Os disparos são realizados em sequência, com as duas armas acionadas simultaneamente, em intervalos de tempo constantes.

Vamos modelar a proeza de forma simplificada, a fim de compreender a dinâmica da ação. Suponha que os centros de massa dos protagonistas estejam 1,0 m acima do teto do prédio esquerdo no momento dos saltos. Com a ajuda de *El Mariachi*, Carolina inicia seu movimento com velocidade horizontal de módulo $v_{\text{Car}} = 6{,}0\,\text{m/s}$, enquanto *El Mariachi* se impulsiona horizontalmente com velocidade de 5,0 m/s. Suas massas são $M_{\text{Mar}} = 72\,\text{kg}$ e $M_{\text{Car}} = 55\,\text{kg}$. Cada projétil tem massa $m = 16\,\text{g}$ e sai da arma com velocidade de 450 m/s em relação a ela, horizontalmente e no sentido oposto ao movimento do personagem. A distância entre os prédios é de 6,0 m, e a altura de cada pavimento é de 3,0 m. Note que $m \ll M_{\text{Mar}}$.



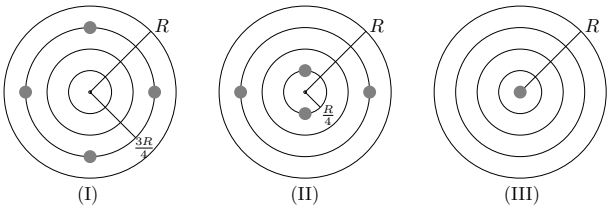
(a) Quantos metros Carolina cai verticalmente até superar o vão entre os prédios? Se *El Mariachi* não disparasse suas armas, conseguiria alcançar o topo do outro prédio como Carolina? Justifique.

(b) Se *El Mariachi* espera um décimo de segundo após saltar para começar a atirar e realiza cinco disparos duplos, um a cada décimo de segundo, quantos metros ele cai verticalmente até superar o vão entre os prédios?

(c) Nas condições descritas em (b), escreva uma expressão para a componente horizontal da velocidade de *El Mariachi* imediatamente após o n-ésimo disparo duplo.

(d) Nas condições descritas em (b), escreva uma expressão para a distância horizontal percorrida por *El Mariachi* desde o salto até o instante imediatamente após o n-ésimo disparo duplo.

Questão 2. Três cilindros de fibra de carbono foram construídos para serem extremamente leves e para comportar, em suas estruturas internas, pequenas esferas de aço idênticas, fixadas em posições simétricas, como nas imagens abaixo, que mostram as seções transversais dos três arranjos.



Nos arranjos (I) e (II), quatro esferas estão dispostas em um plano perpendicular ao eixo do cilindro, que o divide em duas partes iguais. Já no arranjo (III), as quatro esferas estão alinhadas ao longo do eixo do cilindro. Os círculos concêntricos estão separados por uma distância radial de $R/4$, sendo R o raio externo dos cilindros. A massa da estrutura de fibra de carbono é desprezível quando comparada à massa das esferas.

Os cilindros são abandonados a partir do repouso no topo de uma rampa inclinada de comprimento d e inclinação θ em relação à horizontal, e rolam sem deslizar até a base da rampa.

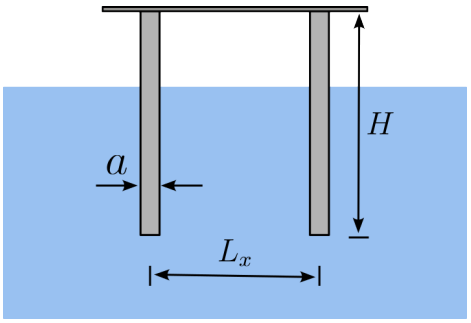
(a) Ordene os arranjos de acordo com a ordem de chegada à base da rampa, do primeiro ao último.

(b) Calcule a velocidade com que cada arranjo chega à base da rampa.

(c) Se a experiência fosse repetida em uma rampa com as mesmas dimensões, porém perfeitamente lisa, quais seriam as respostas aos itens (a) e (b)?

Questão 3. Em um laboratório de hidráulica, um modelo de plataforma flutuante está sendo estudado. O modelo consiste em um piso horizontal de massa desprezível, rigidamente ligado a dois flutuadores homogêneos, em forma de prismas retangulares de dimensões $a \times H \times L_z$, separados por uma distância L_x entre seus eixos centrais.

A figura representa um corte transversal da plataforma, sendo a dimensão L_z perpendicular ao plano da figura. A plataforma flutua em equilíbrio em um líquido de densidade ρ_l. Os flutuadores possuem densidade $\rho_f = \eta\rho_l$, com $\eta = 0{,}75$. Considere que a é muito menor que as demais dimensões, de modo que termos proporcionais a a^2 podem ser desprezados.



(a) Determine a profundidade submersa h dos flutuadores quando a plataforma está na posição horizontal.

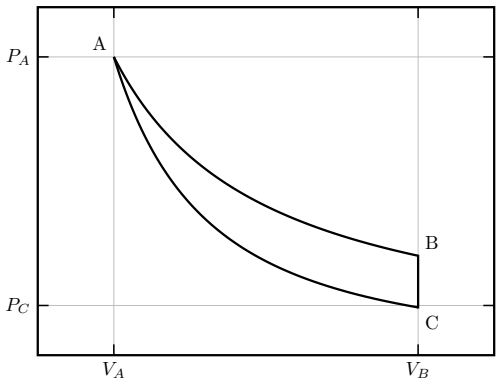
(b) A plataforma sofre uma pequena rotação de ângulo θ em torno de um eixo perpendicular ao plano da figura e que passa pelo seu centro de massa. Considere que, nessa rotação, o centro de massa permanece fixo até a primeira ordem em θ e que ambos os flutuadores permanecem parcialmente submersos. Determine o torque resultante em relação a esse eixo, em função de θ e dos parâmetros do problema. Despreze termos de ordem θ^2 ou superiores.

(c) Determine a condição que deve ser satisfeita pela razão L_x/H para que o equilíbrio horizontal da plataforma seja estável.

Questão 4. Considere N moles de um gás ideal monoatômico submetido ao ciclo termodinâmico reversível representado no diagrama $P \times V$ da figura. O ciclo é composto pelas seguintes etapas:

- $A \rightarrow B$: expansão isotérmica à temperatura T_A, durante a qual o gás permanece em contato com um reservatório térmico à mesma temperatura.
- $B \rightarrow C$: resfriamento isocórico reversível, realizado mediante contato térmico com um refrigerador reversível.
- $C \rightarrow A$: compressão adiabática reversível, realizada por um subsistema mecânico ideal, sem dissipação de energia.

Adote a convenção de que $Q_i > 0$ indica calor absorvido pelo sistema i e $W_i > 0$ indica trabalho realizado por esse sistema. Para um gás monoatômico ideal submetido a uma transformação adiabática reversível, a grandeza $PV^{5/3}$ permanece constante. Considere R como sendo a constante universal dos gases ideais.



(a) Determine a quantidade de calor trocada pelo gás em cada etapa, em termos de N, R, T_A, V_A e V_B.

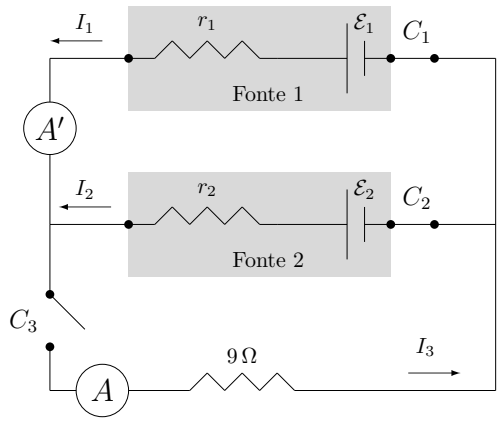
(b) Determine a variação de entropia do gás e dos subsistemas externos com os quais ele interage em cada etapa do ciclo.

(c) Seja T_C a temperatura de C, determine a variação de entropia do gás entre B e C em termos de N, R, T_A e T_C.

(d) Sabendo que qualquer estado de equilíbrio do gás pode ser atingido a partir de A por uma sequência de transformações isotérmicas e isocóricas reversíveis, determine a variação de entropia do gás entre o estado A e um estado arbitrário de temperatura T e volume V, em termos de N, R, T_A, V_A, T e V.

Questão 5. Você está consertando um circuito elétrico de corrente contínua e percebe que suas duas fontes não são ideais. Você não conhece as resistências internas nem as forças eletromotrizes de nenhuma delas. O circuito está montado como mostra a figura abaixo. Todas as conexões e os dispositivos estão soldados ao circuito, e você não dispõe de outros instrumentos de medida. Assim, resta apenas abrir ou fechar as chaves C_1, C_2 e C_3 e observar as correntes nos amperímetros A e A', cujas leituras, em amperes, para cada configuração são apresentadas na tabela.

Considere ideais os amperímetros e as chaves, e despreze as resistências dos fios de conexão. As leituras dos amperímetros correspondem aos módulos das correntes.



Configuração das chaves	Leituras (A)
(i) C_1 e C_2 fechadas, C_3 aberta	$I_A = 0{,}00$ $I_{A'} = 0{,}00$
(ii) C_1 e C_3 fechadas, C_2 aberta	$I_A = 1{,}00$ $I_{A'} = 1{,}00$
(iii) C_2 e C_3 fechadas, C_1 aberta	$I_A = 1{,}20$ $I_{A'} = 0{,}00$
(iv) C_1, C_2 e C_3 fechadas	$I_A = 1{,}23$ $I_{A'} = 0{,}31$

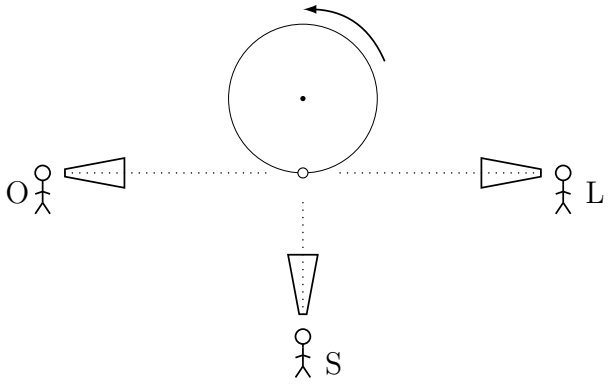
(a) Qual é a razão entre as forças eletromotrizes $\mathcal{E}_1$ e $\mathcal{E}_2$?

(b) Qual é a razão entre as resistências internas r_1 e r_2?

(c) Quais são os valores de $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$, r_1 e r_2?

Questão 6. Um tipo de instrumento musical foi construído de modo que a frequência do som emitido seja proporcional à velocidade com que o ar é soprado em seu bocal. Esse instrumento é um tipo peculiar de apito. Quando calibrado, a frequência nominal é bem aproximada por $f_\mathrm{n} = 22\,v_\mathrm{ar}$, em que f_n é expressa em hertz e v_ar é a velocidade relativa do ar em direção ao interior do instrumento, expressa em metros por segundo.

Um estudante prende o apito na extremidade de um cordão e o faz girar em um plano horizontal sobre sua cabeça, movimentando o braço por aproximadamente um minuto, mantendo o bocal do instrumento sempre na direção de seu vetor velocidade. Seus colegas em sala ouvem uma diversidade de notas musicais e, curiosos, o convidam para repetir a experiência de forma controlada. Na figura abaixo, temos um esquema da vista superior da experiência realizada.



Em um dia calmo, sem vento, o estudante executa o movimento de maneira uniforme, completando 155 voltas em um minuto, enquanto descreve um círculo de raio 1,3 m. Contudo, agora, três outros estudantes se posicionam a grandes distâncias, respectivamente a leste, a oeste e ao sul do primeiro, apontando captadores de som em direção a um mesmo ponto da trajetória do apito, como mostra a figura.

Considere que os captadores registram o som emitido no instante em que o apito passa pelo ponto indicado.

Com auxílio da tabela abaixo, responda:

Nota	Dó	Dó#	Ré	Ré#	Mi	Fá	Fá#
f (Hz)	262	277	294	311	330	349	370
Nota	Sol	Sol#	Lá	Lá#	Si	Dó	
f (Hz)	392	415	440	466	494	523	

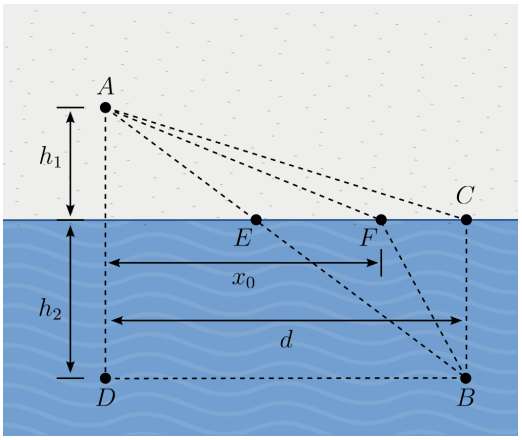
(a) O som ouvido pelo estudante ao sul deve ser muito próximo de qual nota musical?

(b) O som ouvido pelo estudante a oeste deve ser próximo de qual nota musical?

(c) O som ouvido pelo estudante a leste deve ser próximo de qual nota musical?

Questão 7. Três jovens, Diego, Carol e Elisa, estão no ponto A, próximo à margem de um lago, e pretendem chegar a uma boia localizada no ponto B, conforme a figura. As distâncias indicadas são $d = 36{,}0\,\text{m}$, $h_1 = 12{,}0\,\text{m}$ e $h_2 = 15{,}0\,\text{m}$.

Os três jovens correm com rapidez constante $v_c = 5{,}00\,\text{m/s}$ e nadam com rapidez constante $v_n = 2{,}00\,\text{m/s}$. Diego escolhe o percurso ADB, Carol escolhe o percurso ACB e Elisa segue o percurso retilíneo AEB, como indicado pelas linhas pontilhadas da figura.



(a) Determine o tempo gasto por Diego, Carol e Elisa para chegar à boia, em segundos.

(b) Considere um percurso AFB, no qual o ponto F está sobre a margem em $x_0 = 30{,}0\,\text{m}$. Mostre que esse percurso satisfaz a condição

$$\frac{\sin\theta_c}{v_c} = \frac{\sin\theta_n}{v_n},$$

em que θ_c e θ_n são os ângulos que os segmentos AF e FB formam com a perpendicular à margem. Note que essa condição é análoga à lei de Snell da refração da luz na interface entre dois meios nos quais as velocidades de propagação são v_c e v_n, respectivamente.

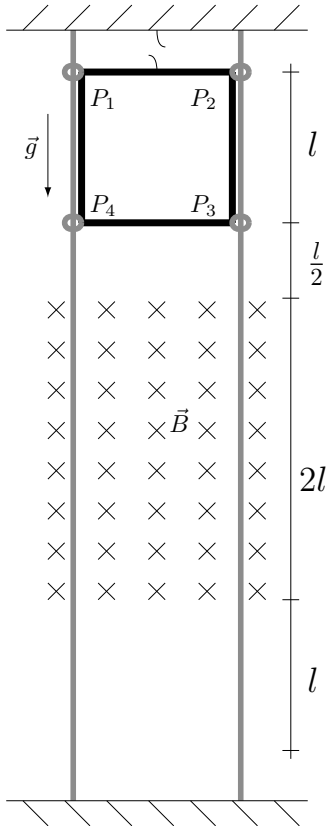
(c) Considere agora um ponto de entrada na água deslocado horizontalmente de uma pequena distância ϵ em relação a F, de modo que $x = x_0 + \epsilon$. Mostre, utilizando uma aproximação até a segunda ordem em ϵ, que o tempo de percurso aumenta para qualquer $\epsilon \neq 0$ suficientemente pequeno.

Dica: Pode ser útil utilizar a aproximação $\sqrt{1 \pm u} \approx 1 \pm u/2 - u^2/8$, válida para $|u| \ll 1$.

Questão 8. Uma espira metálica quadrada, de lado l, pode deslizar livremente na vertical quando montada na estrutura mostrada na figura abaixo. As hastes e as argolas que guiam a espira durante a descida são lisas e isolantes. Os vértices aos quais estão presas as argolas são identificados por P_1, P_2, P_3 e P_4.

Um cordão muito fino mantinha a espira em uma posição elevada, como mostra a figura. Após algum tempo, o cordão se rompeu abruptamente e a espira caiu, passando por uma região onde há um campo magnético uniforme, constante, horizontal e de grande intensidade, $\vec{B}$.

As hastes que formam a espira têm área de seção transversal $A_\circ$, densidade volumétrica uniforme μ e resistividade elétrica constante ρ.



(a) Determine o sentido e a intensidade da corrente induzida na espira imediatamente após o lado $\overline{P_3P_4}$ entrar na região do campo magnético $\vec{B}$.

(b) Como o campo magnético é bastante intenso, durante a variação do fluxo magnético o sistema rapidamente atinge um regime de velocidade terminal. Determine uma expressão para essa velocidade em função dos parâmetros dados.

(c) Determine a velocidade da espira no instante em que o lado $\overline{P_3P_4}$ alcança o limite inferior da região do campo magnético $\vec{B}$.

(d) Determine a velocidade da espira no instante em que o lado $\overline{P_1P_2}$ alcança o limite inferior da região do campo magnético $\vec{B}$.

(espaço para rascunho)

(espaço para rascunho)

(espaço para rascunho)