OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA 2021

Prova Especial Teórica das 2ª e 3ª Fases

13 DE NOVEMBRO DE 2021

NÍVEL II
Ensino Médio
1ª e 2ª Séries

LEIA ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES:

1. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos das **1ª e 2ª séries do nível médio.** Ela contém **12** questões.

2. Os alunos da **1ª série** podem escolher livremente **8** questões para responder. Caso sejam respondidas mais de 8 questões, apenas as 8 primeiras respostas serão corrigidas.

3. Os alunos da **2ª série** podem responder apenas as 8 questões que não estão indicadas como *exclusivas para alunos da 1ª série*. As questões para a **2ª série** estão numeradas de 5 a 12.

4. Você deve seguir as instruções de provas (dadas em `https://app.graxaim.org/obf/2021/open_page/instrucoes_2_fase?title`, em particular as seções *Sobre Intervalo de Tempo de Respostas* e *Campos (Caixas) de Respostas*. Resumidamente, essas seções informam que:

   - **O intervalo de submissão entre duas questões consecutivas (ou entre a primeira e o início da prova) não pode ultrapassar 45 minutos, caso contrário você pode ser penalizado com anulação de uma ou mais questões.** O documento completo tem exemplos claros de como são aplicadas as penalidades.
   - **Preencha as caixas/campos de respostas apenas com números.** O documento completo tem exemplos claros de como preencher os campos de respostas.

5. Durante a prova, é permitido o uso de celular ou computador **apenas** para acessar o site `https://app.graxaim.org/obf/2021`, ou para trocas de mensagens com os coordenadores estaduais da OBF ou com obf.app.online@gmail.com. **Todos os demais usos (calculadoras, aplicativos gráficos e numéricos, consultas, busca na internet, etc) são proibidos.**

6. As respostas devem ser enviadas das 13h00 às 17h00, horário de Brasília.

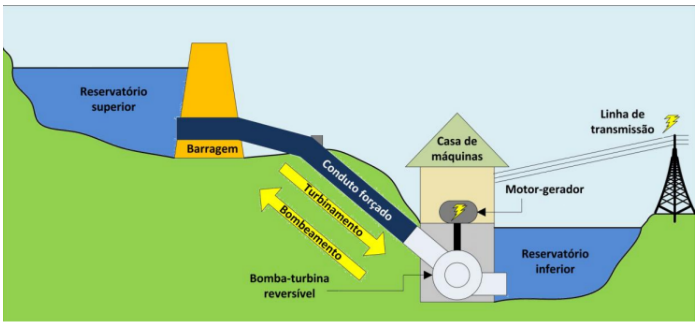
7. Se houver suspeita de congestionamento da rede, ou notícias de problemas localizados em partes do país, pode ser que o site seja ajustado para aceitar submissões após as 17h00, horário de Brasília. No entanto, a validade dessas respostas ficará suspensa até que uma comissão da OBF, especialemente designada para este fim, analise as razões específicas de cada atraso.

INSTRUÇÕES (CONTINUAÇÃO)

8. São vedados comentários e discusões sobre os enunciados das questões, suas respostas e possíveis resoluções até as 22h00, horário de Brasília, nas redes sociais, blogs, fóruns e ferramentas afins de comunicação da internet.

9. Se necessário e salvo indicação em contrário, use: $\sqrt{2} = 1{,}4$; $\sqrt{3} = 1{,}7$; $\sqrt{5} = 2{,}2$; $\text{sen}(30°) = 0{,}50$; $\cos(30°) = 0{,}85$; $\text{sen}(45°) = 0{,}70$; $\pi = 3{,}1$; densidade da água $= 1{,}0$ g/cm^3; 1 cal $= 4{,}2$ J; calor específico da água $= 1$ cal/g·°C; calor específico do vapor de água $= 0{,}50$ cal/g·°C; calor específico do gelo $= 0{,}50$ cal/g·°C; calor específico do alumínio $= 0{,}22$ cal/g·°C; calor latente de condensação da água (a 0 °C) $= 600$ cal/g; calor latente de fusão da água $= 80$ cal/g; densidade do Ar (CNTP) $= 1{,}20$ kg/m^3 e aceleração da gravidade $= 10{,}0$ m/s^2.

Questão 1 (exclusiva para alunos da 1ª série). Uma das formas de armazenar a energia é o uso de uma usina hidroelétrica reversível (UHR), que opera entre dois reservatórios de água localizados em diferentes altitudes. Considere, por exemplo, um parque eólico que, em condições favoráveis de vento, produz mais energia do que é consumida. Sem armazenamento, essa energia é desperdiçada. Com uma UHR, a energia excedente é usada pelo motor-gerador da UHR para bombear água do reservatório inferior para o superior. Quando a energia eólica não é suficiente para atender à demanda, o processo se iverte: a água do reservatório superior move o o motor-gerador da UHR e gera energia elétrica que é distribuída aos consumidores (veja figura abaixo).



(imagem: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, mai-ago. 2015 (CCNE/UFSM))

Considere o parque eólico de Osório, no Rio Grande do Sul, que tem uma potência instalada de cerca de 400 MW (capacidade de produção energia a uma taxa máxima de 400 MJ de energia por segundo). Este parque está localizado em uma planície consteira com vários lagos e ao lado da Serra Geral, ou seja, em princípio, ofere as condições para a instação de uma UHR.

Suponha uma época do ano, com condições de vento favoráveis, quando as turbinas eólicas operam, em média, com 70% de sua potência máxima. Suponha ainda, que nesta época, em média, durante 8 horas, há baixo consumo de energia e 60% da energia produzida não pode ser entregue na rede elétrica por falta de consumo. Considere que uma UHR deve ser construída para armazenar a energia excedente e que opera entre um reservatório localizado na Serra, cujo nível de água está 500 m acima do nível da água do reservatório inferior localizado na planície. Para seus cálculos, desconsidere todas as transformações de energia dissipativas.

Qual a quantidade de água por dia, em m^3, que uma UHR bombearia para o reservatório superior para armazenar o excedente de energia elétrica produzida?

Questão 2 (exclusiva para alunos da 1ª série).

O sistema anticolisão de tráfego, ou TCAS (do inglês *Traffic Collision Avoidance System*), é um dos recursos usados para garantir a segurança dos voos. Aviões equipados com TCAS se comunicam entre si quando estão próximos e informando um ao outro continuamente sobre suas respectivas posições. A figura mostra a tela de um TCAS que também possui um indicador da situação horizontal, ou HSI (do inglês *Horizontal situation indicator*). Esse instrumento permite ao piloto determinar, entre outras coisas, a direção de seu vôo em relação aos pontos cardeais.

(imagem: www.eu-flysafe.org/Project/Aviation-Hazards/Air-Traffic/current-systems.html)

O piloto do avião A, que se move para o norte com velocidade constante de 450 km/h, começa a monitorar o movimento do avião B quando seu TCAS lhe informa que B está a nordeste, a 60 km de distância, e ruma para o sul, com rapidez (velocidade escalar) constante de 900 km/h. Dois minutos depois, sem alterar sua rapidez, B muda sua direção de voo para o sudoeste. Em outra manobra semelhante, quatro minutos depois do início do monitoramento, muda sua direção de voo para o oeste. Após 6 minutos de monitoramento, o piloto de A decide não mais acompanhar o voo de B. Determine:

(a) A distância percorrida por B, em km, durante o intervalo em que é monitorado pelo piloto de A.

(b) A distância entre A e B, em km, no instante em que o piloto de A deixa de acompanhar o voo de B.

Questão 3 (exclusiva para alunos da 1ª série).

Em um dia úmido, de temperatura ambiente $T_a = 20\,°\text{C}$, um estudante de física resolve fazer uma experimento usando a cozinha de sua casa como laboratório. Na cozinha ele dispõe de uma balança e um termômetro eletrônicos graduados, respectivamente, em gramas e décimos de graus Celsius. Ele retira uma lata fechada de água mineral da geladeira, de temperatura interior 2,0 °C, e a coloca sobre a prato plástico da balança. Em seguida, ajusta a tara da balança de modo a medir a posterior variação da massa medida.

Após 1 minuto de espera, ele observa a condensação de 4 gramas de água em torno da lata (veja figura) e mede sua temperatura T_f. Sabendo que o recipiente da lata é fabricado com 15 g de alumínio e que contém 350 g de água, determine T_f, em °C, supondo que houve troca de calor apenas com a água que se condensou. Considere que a temperatura da água no interior da lata se equilibra instantaneamente com as paredes de alumínio.

Questão 4 (exclusiva para alunos da 1ª série).

Um estudante de física está relaxando andando de skate que se move retilineamente em uma pista horizontal lisa em direção a um obstáculo composto por duas traves e uma haste horizontal. Em determinado instante, ele dá um pulo vertical e passa por cima da haste, quase tocando-a, e o skate, sem modificar sua velocidade, passa por baixo da haste. O skatista, termina a sua manobra "aterrisando" no mesmo ponto da pracha do skate de onde pulou.

Em um experiência de pensamento, ele imagina que a manobra poderia ser modelada por uma bolinha lançada verticalmente a partir da prancha do skate. Considereando essa experiência de pensamento e sabendo que a altura da haste horizontal em relação à prancha de skate é de 30 cm e que o skate se move com velocidade $\vec{V_0}$ constante de módulo 2 m/s, determine:

(a) A distância horizontal do ponto de lançamento da bolinha em relação à haste, em m, no instante em que bolinha é lançada.

(b) O módulo da velocidade da bolinha, em m/s, **em relação à pista de skate**, no instante em que é ejetada.

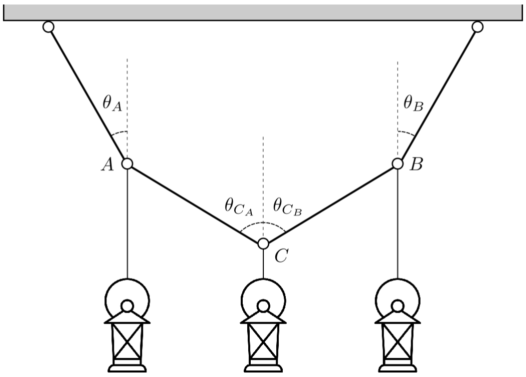
Questão 5. Dois corpos celestes, que orbitam em torno de um terceiro, estão em ressonância orbital quando exercem influência gravitacional periódica entre si. Este fenômeno ocorre quando a razão entre os períodos orbitais dos planetas é um número inteiro pequeno. Em geral, a ressonância orbital faz com que o corpo menos massivo seja expulso de sua órbita.

Suponha que, em determinada época da formação de um sistema planetário, duas luas A e B se movam em órbitas circulares em torno de planeta P, com períodos orbitais T_A e $T_B = 8T_A$, respectivamente. As massas das luas e do planeta P obedecem às seguintes relações $m_A = 6m_B$ e $m_P = 1000m_B$, onde os subíndices, A, B e P, referem-se, respectivamente às luas A e B e ao planeta P.

(a) Determine a razão entre R_B/R_A, onde R_A e R_B, são respectivamente, os raios das órbitas das luas A e B.

(b) Seja $f_{BA,max}$ a intensidade da maior força gravitacional exercida pela lua A na lua B e F_{BP} a intensidade da força gravitacional exercida pelo planeta na lua B. Determine a razão $f_{BA,max}/F_{BP}$.

Questão 6. Cinco argolas estão unidas por quatro cabos de mesmo comprimento L e são usadas para pendurar três luminárias conforme ilustrado na figura. As luminárias estão penduradas nas argolas, A, B e C, e as argolas das extremidades estão fixadas no teto (suporte horizontal).



Os cabos são ideais e as argolas têm massas desprezíveis. Sejam T_1 a tração no cabo AC e T_2 a tração no cabo entre a argola A e a argola fixa no teto. Determine:

(a) A razão T_1/T_2 quando as luminárias têm as mesmas massas, $m_A = m_B = m_C$, e observa-se que $\theta_A = \theta_B = 30°$ e $\theta_{CA} = \theta_{CB} = 60°$.

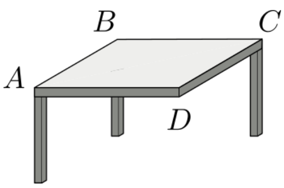
(b) T_1, em N, quando a luminária central tem massa $m_C = 1{,}00$ kg e as luminárias presas às argolas A e B têm massas iguais $m_A = m_B$ muito muito maiores que m_C, $m_A = m_B \gg m_C$.

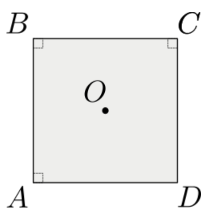
(c) T_1, em N, quando a luminária central tem massa $m_C = 1{,}00$ kg e as luminárias presas às argolas A e B têm massas iguais $m_A = m_B$ muito menores que m_C, $m_A = m_B \ll m_C$.

Questão 7. Uma mesa de tampo quadrado de lado $L = 120$ cm e apenas três pernas está apoiada em um piso horizontal liso. O tampo da mesa é homogêneo, tem espessura constante e massa 3,00 kg. Nos três cantos A, B e C, estão fixadas pernas finas de mesmas características, cada uma de massa 0,50 kg. A figura à esquerda abaixo representa a mesa em perspectiva, e a figura à direita, como ela é vista de cima. Também está disponível uma uma garrafa de bebida de massa 2,00 kg.

(a) Se a garrafa é apoiada no ponto O, situado exatamente no centro do tampo da mesa, qual a intensidade da força, em N, que o piso exerce na perna da mesa que está fixada no canto A?

(b) Considere os pontos sobre o tampo da mesa localizado no triângulo ADC nos quais se pode apoiar a garrafa sem desequilibrar a mesa. Determine a maior distância, em cm, que um ponto desses pode ter em relação ao centro da mesa.





Questão 8. A ponte fluvial de Magdeburgo, na Alemanha, inaulgurada em 2003, permite a navegação entre as bacias dos rios Reno e Elba. A ponte, que levou 6 anos para ser construída, é um aqueduto navegável com um canal de comprimento (aproximado) de 100 m, largura 32 m e profundidade de 4,25 m.

(imagem: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magdeburg_Kanalbrücke_aerial_view_13.jpg)

Considere que uma barcaça com casco em forma de caixa (paralelepípedo) de comprimento $c = 40$ m, largura $l = 8$ m e altura $h = 4$ m. A barcaça está carregada de forma que 3 m do casco estão abaixo da linha da água e se aproxima da ponte com velocidade constante de 2 m/s. Suponha que não há outras embarcações atravessando a ponte e que o movimento da barcaça quase não produz ondas.

Sejam V_0 o volume de água na ponte quando não há nenhuma embarcação e $V(t)$ essa quantidade em um instante t qualquer, de forma que a variação do volume de água na ponte é $\delta V(t) = V(t) - V_0$. Analogamente sejam P_0 o peso suportado pela ponte quando não há nenhuma embarcação e $P(t)$ essa quantidade em um instante t qualquer, de forma que sua variação é $\Delta P(t) = P(t) - P_0$.

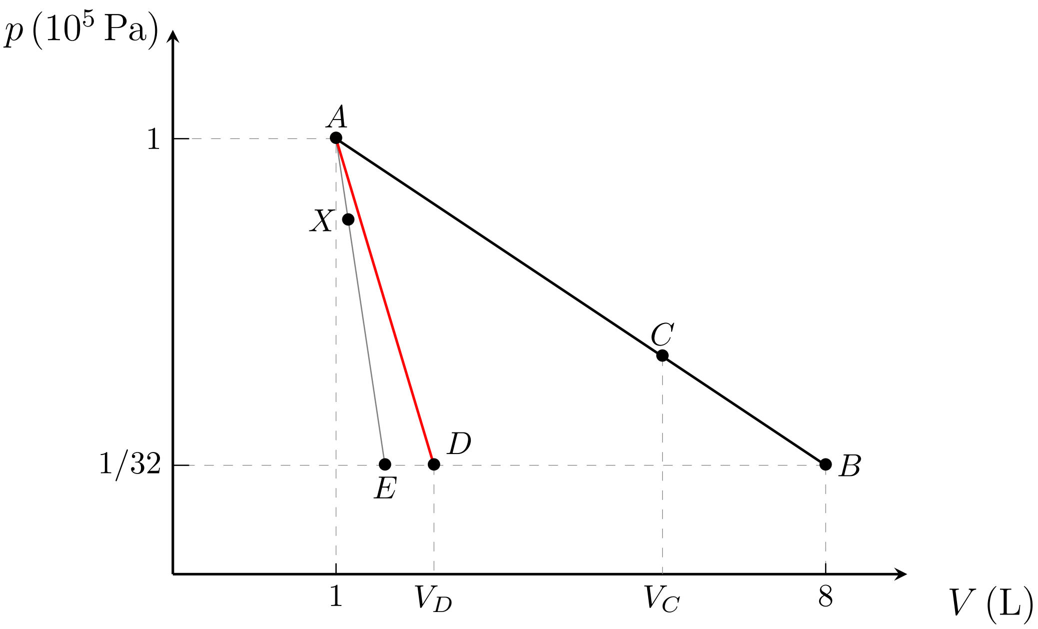
(a) Determine o tempo, em s, necessário para a barcaça cruzar a ponte.

Faça gráficos de $\Delta V(t) \times t$ e $\Delta P(t) \times t$ durante o intevalo de tempo em que a barcaça cruza a ponte. Adote a convenção de $t = 0$ como sendo o instante em que a barcaça começa a cruzar a ponte e expresse t em s. Determine:

(b) O valor médio de $\Delta V(t)$, em m^3, no intervalo de tempo em que a barcaça cruza a ponte. Dica: essa média pode ser dada pela área entre $\Delta V(t)$ e o eixo t, dividida pelo itervalo de tempo considerado.

(c) O valor médio de $\Delta P(t)$, em N, no intervalo de tempo em que a barcaça cruza a ponte.

Questão 9. Em um laboratório de física, um estudante investiga o comportamento termodinâmico de uma certa amostra de gás ideal monoatômico. O equipamento disponível permite a especificação de qualquer processo termodinâmico quase-estático e fornece medidas das energias trocadas pelo gás na forma de trabalho (W) e calor (Q) à medida em que os processos ocorrem. O equipamento usa a seguinte convenção: $Q > 0$ indica que o gás absorve calor e $Q < 0$ indica que o gás cede calor. Inicialmente o estudante investiga o comportamento do gás no processo AB, no qual o gás é levado do ponto A ao ponto B pelo processo linear ilustrado no diagrama pressão-volume, $p \times V$, mostrado na figura. Neste processo, ele observa que o gás **absorve** calor até o ponto C ($Q_{AC} > 0$) e, a partir de C, o gás **libera** calor ($Q_{CB} < 0$). Depois ele observa que todos os processos lineares, que partem de A e cruzam a linha $p = 10^5/32$ Pa com $V < V_D$, são exotérmicos desde o início. Por exemplo, no processo linear AE, mesmo para um ponto X muito próximo de A, observa-se que $Q_{AX} < 0$.

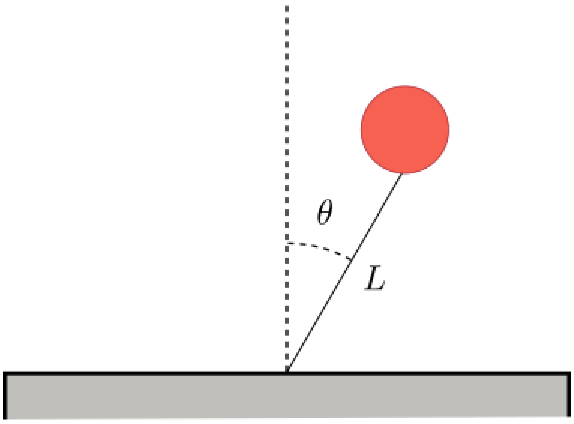


(a) Determine o calor transferido para o gás no processo AB, Q_{AB}, em joules.

(b) Determine V_C, em litros (L).

(c) Determine V_D, em litros (L).

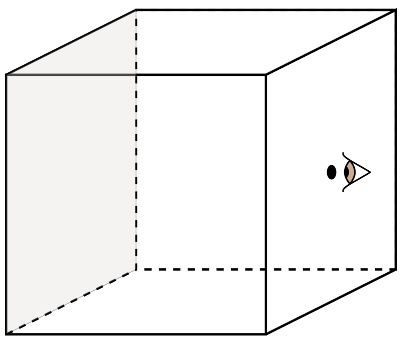
Questão 10. Um balão de festa, prenchido com um gás de densidade 0,20 kg/m^3, tem volume de 15 litros e está amarrado por um fio ideal, de comprimento $L = 80$ cm, a uma superfície horizontal (veja figura fora de escala). Quando o balão está vazio sua massa é de 3,0 g.



(a) Considere que o balão está em repouso na posição de equilíbrio $\theta = 0$. Determine a tração no fio, em N.

(b) Considere que o balão é levemente deslocado da posição de equilíbrio e depois é abandonado a partir do repouso. Determine o intervalo de tempo, em s, para atingir, pela primeira vez, a posição $\theta = 0$. (Desconsidere eventuais forças dissipativas).

Questão 11. Uma caixa cúbica de lado L tem um espelho que cobre totalmente a parede interna de sua face esquerda. No centro da face oposta (face direita), há uma pequena abertura pela qual uma pessoa pode observar o interior da caixa. Sejam A_O a área da face interna direita que a pessoa consegue observar através do espelho e A_F a área de uma das faces do cubo. Determine a razão A_O/A_F.



Questão 12. A exposição a sons muito elevados, como uma explosão ou ruídos intensos por períodos prolongados, podem causar traumas acústicos, ou seja, lesões no ouvido interno. Sons de intensidade $1{,}0 \times 10^{-5}$ W/m^2, por períodos prolongados, podem causar traumas. Acima 1 W/m^2 podem causar traumas imediatamente. Considere que onda sonora produzida por um fone de ouvido, em seu volume máximo, tem intensidade de 0,1 W/m^2, enquanto a intensidade da onda sonora produzida por uma britadeira a 2,0 m do ponto de impacto é de 2,0 W/m^2. A que distância d do ponto de impacto de uma britadeira, em m, deve estar uma pessoa para que escute a britadeira com mesma intensidade com que ouve uma música em seus fones de ouvido no volume máximo?