OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA 2026

Prova da 3ª Fase

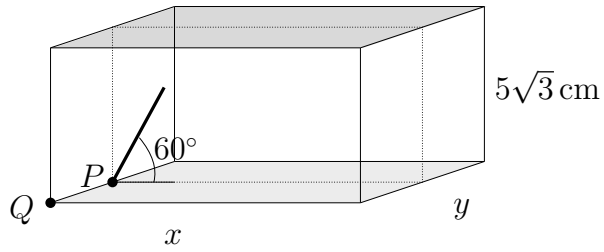
7 de novembro de 2026

NÍVEL II
Ensino Médio
1ª e 2ª Séries

LEIA ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES

1. Esta prova destina-se a estudantes da **1ª e 2ª séries do Ensino Médio** e contém **12** questões. Estudantes da **1ª série** podem escolher livremente **8** questões para responder. Caso respondam mais de 8 questões, apenas as 8 primeiras serão corrigidas.
2. Estudantes da **2ª série** devem responder apenas às **8 questões numeradas de 5 a 12**; as questões de 1 a 4 são exclusivas da 1ª série.
3. Esta prova tem duração máxima de quatro horas. O estudante deverá permanecer na sala por, no mínimo, duas horas.
4. 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.
5. Todos os resultados numéricos devem ser expressos nas unidades solicitadas nos enunciados das questões. Na ausência de indicação, utilize unidades do Sistema Internacional (SI).
6. O **Caderno de Respostas** contém instruções de preenchimento que devem ser cuidadosamente lidas antes do início da prova.
7. 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.
8. 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.
9. Utilize para rascunho as páginas e espaços em branco do **Caderno de Questões**.
10. 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 $= 8{,}30$ J/(mol·K); 1 atmosfera $= 1{,}00 \times 10^5$ Pa e aceleração da gravidade $= 10{,}0$ m/s^2.
11. 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 (exclusiva para 1ª série). A figura abaixo mostra uma caixa cujas dimensões são x, y e $5\sqrt{3}\,\text{cm}$. Seu tampo e sua base são espelhos planos perfeitos, com as superfícies refletoras voltadas para o interior da caixa. As paredes laterais de comprimento x são feitas de vidro transparente, enquanto as duas outras paredes laterais, de comprimento y, estão abertas.



Fazendo experiências com um apontador laser, um estudante posiciona o aparelho no ponto P, orientando o feixe de modo que forme um ângulo de 60° com a base da caixa, conforme a figura, e o aciona.

(a) Quando o feixe luminoso se propaga no plano determinado pelo retângulo pontilhado na figura, o estudante observa que, após quatro reflexões, o feixe escapa da caixa tangenciando uma das arestas da abertura lateral direita. Determine a dimensão x da caixa.

(b) Ao deslocar o apontador laser para o ponto Q, mantendo o ângulo de 60° com a base da caixa, o estudante observa que o feixe sofre cinco reflexões antes de escapar da caixa, tangenciando um dos vértices da abertura lateral direita. Nessas condições, determine a dimensão y da caixa.

Questão 2 (exclusiva para 1ª série). Considere um sistema planetário hipotético no qual um planeta completa uma volta em torno de sua estrela a cada 360 dias. Esse planeta possui uma lua e observa-se que, após cada eclipse solar, ocorre um eclipse lunar 90 dias depois e, 90 dias após este, ocorre novamente um eclipse solar. Admita que todas as órbitas estejam em um mesmo plano e que os movimentos orbitais sejam uniformes. Determine o período orbital da lua, em dias, nos seguintes casos:

(a) o planeta e a lua realizam seus movimentos orbitais no mesmo sentido;

(b) o planeta e a lua realizam seus movimentos orbitais em sentidos opostos.

Questão 3 (exclusiva para 1ª série). Um estudante de Física leu em um noticiário que, durante uma tempestade ocorrida na noite anterior, o índice pluviométrico registrado em sua cidade foi de 40 mm. Esse índice corresponde à altura da camada de água que se acumularia sobre uma superfície horizontal, caso toda a água da chuva fosse recolhida, independentemente da direção em que as gotas caem.

Em sua casa há uma piscina retangular de 6,0 m de comprimento por 3,0 m de largura. Durante a tempestade, a piscina estava descoberta e recebeu diretamente a água da chuva.

O estudante também percebeu que, devido ao vento, as gotas de chuva caíam formando um ângulo de 30° com a vertical. Uma janela vertical de 1,5 m^2 de área, voltada para a direção de onde vinha a chuva, permaneceu completamente aberta durante a tempestade.

Considere que o índice pluviométrico informado seja válido para a região da casa do estudante. Despreze a evaporação, os respingos e quaisquer outras perdas de água.

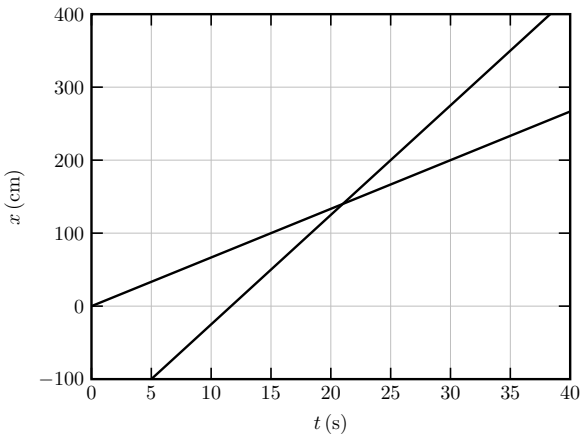
(a) Determine o volume de água da chuva recebido pela piscina durante a tempestade, em litros.

(b) Determine o volume de água que entrou pela janela durante a tempestade, em litros.

Questão 4 (exclusiva para 1ª série). Dois estudantes utilizam carros elétricos de brinquedo, A e B, em um trabalho de Física sobre a representação gráfica do movimento. Quando ligados, os carros se movem em linha reta com rapidez constante, sendo o carro B mais rápido que o carro A.

Os estudantes decidem realizar uma corrida em uma sala de 5,00 m de comprimento. Os carros seguem trajetórias paralelas, em direção à mesma parede oposta. Para tornar a corrida mais equilibrada, o carro A parte de uma posição situada a uma distância d à frente do carro B, que inicia seu movimento com um atraso τ em relação ao carro A.

O gráfico abaixo representa o movimento dos dois carros, sendo que apenas um deles tem seu movimento completo representado. O instante $t = 0$ corresponde à partida do carro A, e a origem $x = 0$ está na posição inicial desse carro. O eixo x tem o sentido do movimento.



(a) Determine a distância inicial d entre os carros e o atraso τ na partida do carro B.

(b) Determine a rapidez de cada carro.

(c) Determine o instante e a posição em que os carros se encontram.

(d) Determine a posição do outro carro no instante em que um deles atinge a parede oposta.

Questão 5. O ser humano precisa manter sua temperatura corporal aproximadamente constante, mesmo quando a temperatura ambiente varia. O organismo produz continuamente calor por meio das atividades metabólicas, que deve ser transferido para o ambiente. Em dias quentes, a evaporação do suor é um importante mecanismo de resfriamento do corpo. Entretanto, quanto maior a umidade relativa do ar, mais difícil se torna a evaporação. Quando a umidade relativa atinge 100%, a evaporação do suor praticamente cessa.

Suponha uma pessoa dormindo durante 8 horas em um quarto de volume 30 m^3, mantido à temperatura constante de 30 °C. Durante esse período, seu organismo produz 500 kcal de calor, integralmente retiradas pela evaporação do suor. Nessa temperatura, a concentração máxima de vapor de água no ar é 30 $\mathrm{g/m}^3$.

Considere um modelo idealizado de ventilação contínua, no qual o ar externo entra com umidade relativa de 30% e o ar retirado do quarto apresenta umidade relativa de 50%. Essas condições permanecem constantes durante todo o processo. Admita que todo o suor produzido evapora e que o vapor de água eliminado pela pessoa é retirado exclusivamente pelo sistema de ventilação.

(a) Determine o volume de água, em litros, perdido pela pessoa durante as 8 horas.

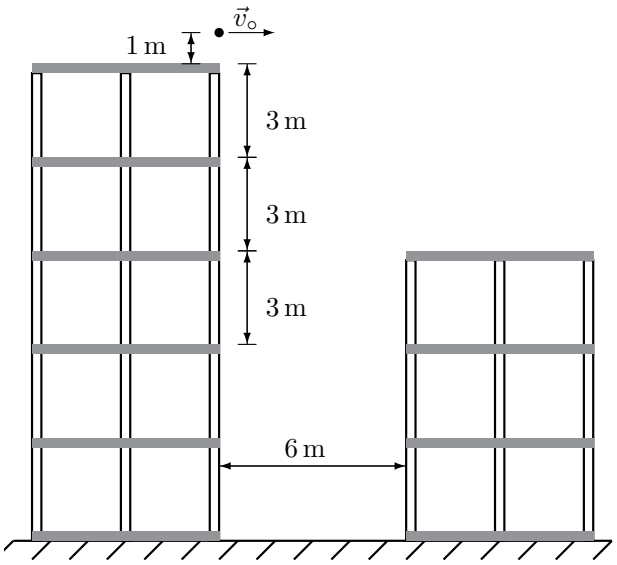
(b) Determine a massa de vapor de água contida em 1 m^3 de ar externo e em 1 m^3 de ar retirado do quarto.

(c) Determine o volume total de ar externo, em m^3, que deve ser introduzido no quarto durante as 8 horas para retirar todo o vapor de água produzido pela pessoa.

(d) Determine quantas vezes o volume de ar do quarto deve ser renovado durante esse período.

Questão 6. 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.

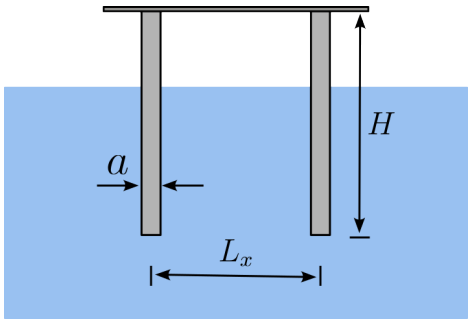
(b) Se *El Mariachi* espera um décimo de segundo após saltar para começar a atirar e realiza cinco disparos duplos, um a cada décimo de segundo, quantos metros ele cai verticalmente até superar o vão entre os prédios?

(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 7. 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.

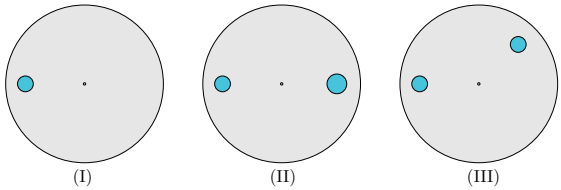


(a) Determine a profundidade submersa h dos flutuadores quando a plataforma está na posição horizontal.

(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 8. Um garçom é conhecido por sua habilidade em equilibrar uma bandeja na ponta do dedo indicador, sem apresentar nenhuma dificuldade com a variação do número de copos e da quantidade de bebida servida em cada um deles. As vistas superiores de três situações típicas são representadas na figura abaixo. Em todas elas, a bandeja tem 36 cm de diâmetro e 500 g de massa. O peso dos copos vazios é desprezível e a bandeja é um disco fino e uniforme.



(a) Em (I), um copo com 300 mL de água está colocado a 16 cm à esquerda do centro da bandeja. O garçom mantém seu dedo indicador sustentando o conjunto exatamente no centro da bandeja. Descreva onde deve ser colocado um copo com 600 mL de água a fim de obter o equilíbrio desejado.

(b) Em (II), um copo com 300 mL de água está colocado 16 cm à esquerda do centro da bandeja e um copo com 600 mL de água está colocado 15 cm à direita do centro da bandeja. Determine onde o garçom deve posicionar seu dedo indicador para sustentar o conjunto em equilíbrio.

(c) Em (III), um copo com 300 mL de água está colocado 16 cm à esquerda do centro da bandeja e outro copo com 300 mL de água está colocado 9 cm à direita e 9 cm à frente do centro da bandeja. O garçom posiciona novamente seu dedo indicador exatamente no centro da bandeja e deseja adicionar um terceiro copo, com 600 mL de água, para deixar o conjunto em equilíbrio. Descreva onde esse terceiro copo deve ser colocado.

Questão 9. Um balão de ar quente tripulado é uma estrutura bastante simples, composta por um cesto de vime, queimadores, tanques de combustível e um envelope (o balão propriamente dito), substancialmente maior que o cesto. Tipicamente, a estrutura completa de um balão com capacidade máxima para transportar até cinco pessoas tem massa de aproximadamente 300 kg. Esse conjunto deve ser capaz de transportar cerca de $5 \times 75\,\text{kg} = 375\,\text{kg}$, se adotarmos a massa média por pessoa utilizada em elevadores.

Durante um passeio turístico sobre os cânions na divisa entre RS e SC, com lotação completa, o piloto notou que a estrutura estava comprometida e iniciou uma descida de emergência. Como o cesto é retangular e, em uma das cabeceiras, estão dispostos os queimadores e os tanques de combustível, o piloto orientou três passageiros a subirem no guarda-corpo para saltar imediatamente sob seu comando, quando chegassem ao solo. Orientou também o quarto passageiro a se preparar para saltar junto com ele, logo em seguida.

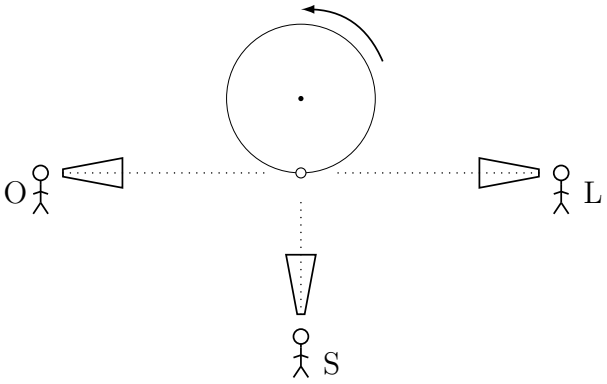
(a) Supondo que o piloto conseguiu habilmente manter o balão deslocando-se horizontalmente, rente ao solo, e que os três passageiros preparados saltaram no mesmo instante, qual é a componente vertical da aceleração do balão imediatamente após os saltos?

(b) O piloto e o passageiro remanescente no cesto tiveram a sensação de aumento de seu peso, pois, para eles, tornou-se muito mais difícil saltar o guarda-corpo. Qual é o peso aparente de um passageiro de 75 kg nesse instante?

(c) Suponha que as características relevantes para a sustentação do balão não mudem nos primeiros segundos após os saltos. Estime a altura do cesto em relação ao solo dois segundos após o salto dos três primeiros passageiros.

Questão 10. 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 $f_\text{n} = 22\,v_\text{ar}$, 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?

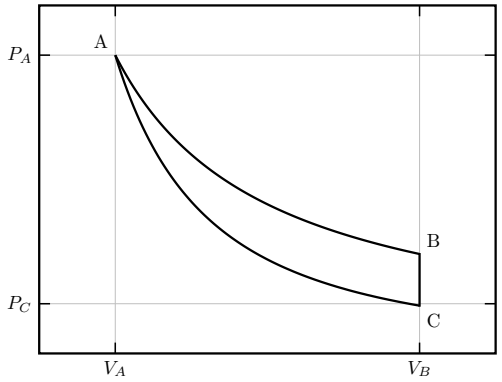
(b) O som ouvido pelo estudante a oeste deve ser próximo de qual nota musical?

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

Questão 11. 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:

- $A \to B$: expansão isotérmica à temperatura T_A, durante a qual o gás permanece em contato com um reservatório térmico à mesma temperatura.
- $B \to C$: resfriamento isocórico reversível, realizado mediante contato térmico com um refrigerador reversível.
- $C \to A$: 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.

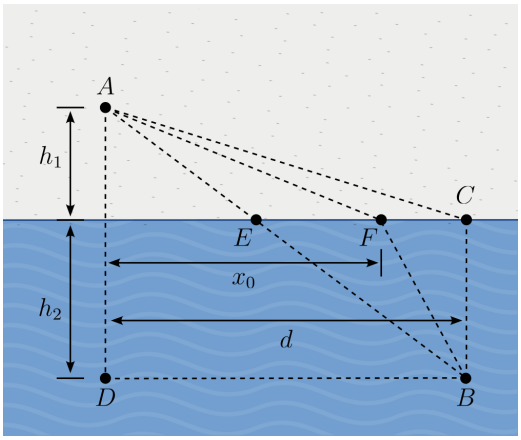
(b) Determine a variação de entropia do gás e dos subsistemas externos com os quais ele interage em cada etapa do ciclo.

(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 12. 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 $|u| \ll 1$.

(espaço para rascunho)

(espaço para rascunho)