

Olimpíada Brasileira Online de Física

2ª Fase - 26 e 27 de outubro 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 **10** questões.
- II. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**. Além do tempo de prova, serão concedidos **5 minutos** correspondentes ao preenchimento online do gabarito.
- III. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 26 e 27 de outubro de 2025**.
- IV. 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:





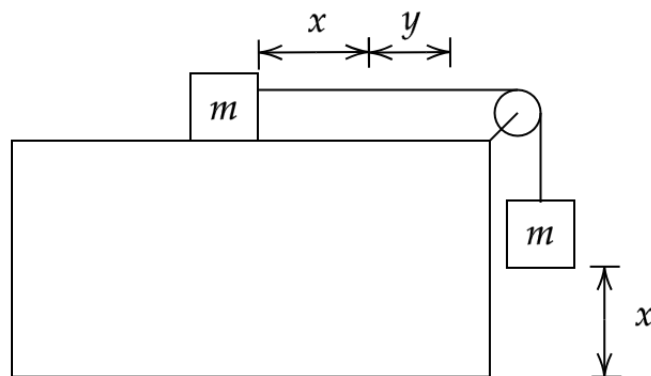
Curiosidades:

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. O filho de Globig, Globig Jr., estava brincando com o conjunto de polias e massas de seu pai, conforme ilustrado na figura. Demonstrando sua inteligência, ele decidiu utilizar duas massas idênticas para determinar o coeficiente de atrito cinético μ entre os blocos e a superfície.

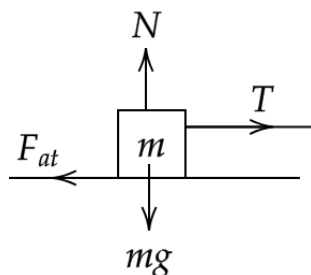
Para isso, montou o sistema mostrado e liberou ambos os blocos a partir do repouso. Durante o movimento, o bloco inferior desceu percorrendo uma distância x , enquanto o bloco superior deslocou-se uma distância $x + y$. Considere que após o bloco cair no chão sua velocidade zera, as polias e os fios são ideais, e que, sempre que o fio não estiver tensionado, sua tração seja nula.



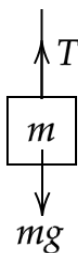
- Faça o diagrama de forças de ambos os blocos antes que o bloco inferior encoste no chão.
- Determine a velocidade do bloco superior no instante em que o bloco inferior encosta no chão. Deixe sua resposta em função de g , μ e x .
- Faça o diagrama de forças do bloco superior após o bloco inferior já ter caído no chão.
- Determine o coeficiente de atrito cinético μ em função de x e y .

Solução:

- a) Construindo o diagrama de forças para o bloco superior:



Já para o bloco inferior:



b) Pelo diagrama de forças do bloco superior apresentado no problema anterior, temos que:

$$N = mg$$

$$T - F_{at} = ma$$

Como $F_{at} = N\mu$:

$$T - mg\mu = ma$$

Já pelo diagrama de forças do bloco inferior, temos que:

$$mg - T = ma$$

Substituindo uma equação na outra, temos que:

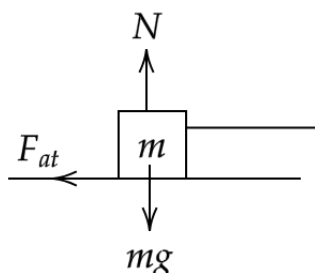
$$mg - mg\mu = 2ma$$
$$a = \frac{g(1 - \mu)}{2}$$

Pela equação de Torricelli $v^2 = v_0^2 + 2ad$, podemos afirmar que:

$$v^2 = 0 + g(1 - \mu)x$$

$$v = \sqrt{g(1 - \mu)x}$$

c) Como após o bloco inferior já ter encostado no chão, temos que a tração torna-se nula. Logo, o diagrama é o seguinte:



d) Pelo diagrama de forças apresentado no problema anterior, podemos concluir o seguinte:



$$-F_{at} = ma$$

$$-mg\mu = ma$$

$$a = -g\mu$$

Novamente, pela equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad$$

Pelo problema a), temos que $v_0^2 = g(1 - \mu)x$

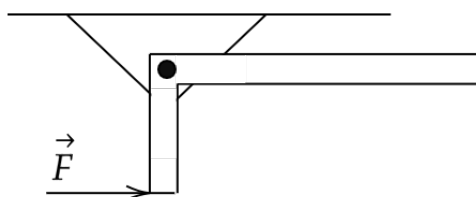
$$0 = g(1 - \mu)x + 2(-g\mu)y$$

$$\mu = \frac{x}{x + 2y}$$

Mark Scheme:

a) Desenhar os diagramas de força corretos para os dois blocos: +2pts b) Aplicar a 2ª Lei de Newton para ambos os blocos e encontrar a aceleração $a = \frac{g(1 - \mu)}{2}$: +3pts b) Aplicar Torricelli corretamente para encontrar a velocidade v : +2pts c) Desenhar o diagrama de força correto para o bloco superior (apenas atrito): +1pt d) Encontrar a nova aceleração $a = -g\mu$: +1pt d) Aplicar Torricelli novamente com v_0 do item (b) e $v_f = 0$, e isolar μ : +1pt

Questão 2. Uma barra homogênea de largura e espessura uniformes e pequenas, em forma de L, é articulada sem atrito e é sustentada por uma força perpendicular $\vec{F}$. A parte horizontal tem comprimento x , já a parte vertical tem comprimento y . Sendo m a massa total da barra, calcule:



- a) a massa da parte horizontal m_h e vertical m_v . Deixe sua resposta em função de m , x e y
b) a intensidade da força F . Deixe sua resposta em função de m , g , x e y

Resolução:

a) Como a barra é homogênea, podemos afirmar que a barra tem uma densidade linear (massa/comprimento) constante. Logo:

$$\lambda = \frac{m}{x + y}$$

$$\lambda = \frac{m_h}{x}$$



$$\lambda = \frac{m_v}{y}$$

Substituindo as equações obtemos:

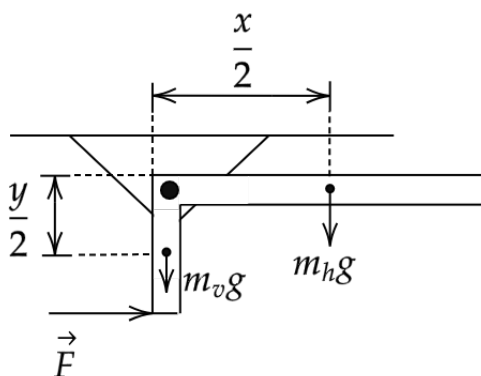
$$\frac{m_h}{x} = \frac{m}{x+y}$$

$$m_h = m \frac{x}{x+y}$$

$$\frac{m_v}{y} = \frac{m}{x+y}$$

$$m_v = m \frac{y}{x+y}$$

b) Podemos dividir a barra em horizontal e vertical, fazendo isso, obtemos o seguinte diagrama de forças:



Calculando o torque em relação ao ponto de apoio, obtemos que:

$$\tau = m_h g \frac{x}{2} - Fy$$

Perceba que o peso da massa vertical não contribui para o torque, já que a direção do peso é paralela ao comprimento.

Como o sistema encontra-se em equilíbrio, temos que:

$$\begin{aligned}\tau &= 0 \\ 0 &= m_h g \frac{x}{2} - Fy\end{aligned}$$

Substituindo a massa horizontal m_h encontrada em a):

$$\begin{aligned}m_h g \frac{x}{2} &= Fy \\ \frac{mx}{x+y} \frac{x}{2} g &= Fy\end{aligned}$$

$$F = \frac{mx^2 g}{2y(x+y)}$$



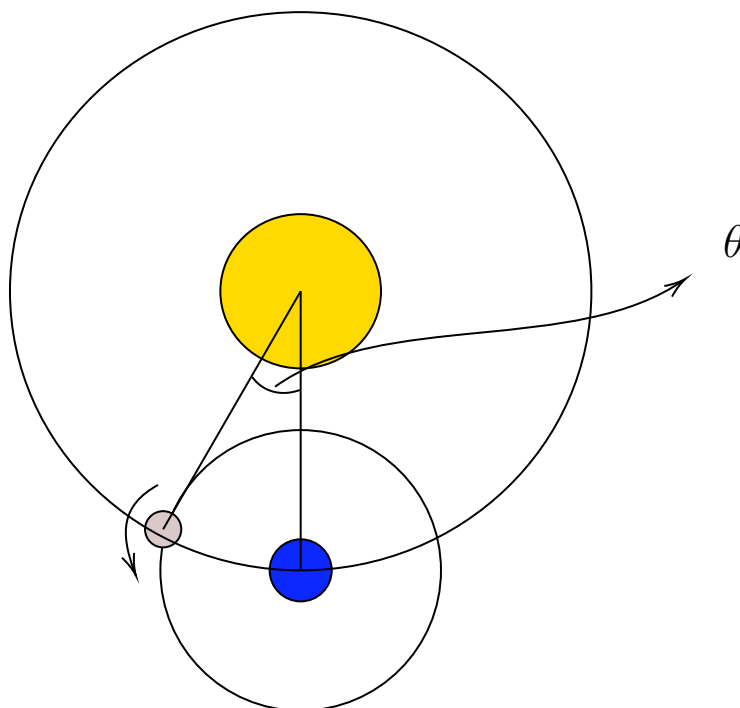
Mark Scheme:

Item a): Definir a densidade linear constante $\lambda = m/(x + y)$: +2pts Encontrar a expressão correta para m_h : +1.5pts Encontrar a expressão correta para m_v : +1.5pts

Item b): Aplicar a condição de equilíbrio de torques ($\tau_{net} = 0$) em relação ao pivô: +2pts Identificar os braços de alavanca corretos ($x/2$ para $m_h g$ e y para F): +2pts Chegar à expressão final correta para F : +1pt

Questão 3. Em um curioso sistema, o planeta Alves percorre uma órbita circular de raio R em torno da estrela Praca. Além disso, o planeta Alves rotaciona em torno do seu próprio eixo com um período S_A e a lua James percorre uma órbita circular de raio $r \ll R$ em torno do planeta com um período $S_J < S_A$. Considere que a rotação de Alves ocorre no mesmo plano que a translação de James e que a massa de Alves é muito menor que a de Praca, mas muito maior que a de James.

- (a) Supondo que a rotação de Alves ocorre no mesmo sentido que a translação de James, encontre o período para que uma mesma configuração entre os dois corpos se repita. Deixe seu resultado em função de S_A e S_J .
(2,5pts)
- (b) Supondo que a rotação de Alves ocorre no sentido oposto que a translação de James, encontre o período para que uma mesma configuração entre os dois corpos se repita. Deixe seu resultado em função de S_A e S_J .
(2,5pts)
- (c) Agora, observa-se um momento em que James está a uma distância R de Praca. Veja a figura fora de escala para entender melhor:



Encontre uma expressão aproximada para o ângulo θ mostrado na figura. Deixe sua resposta em função de R e r .

(2pt)

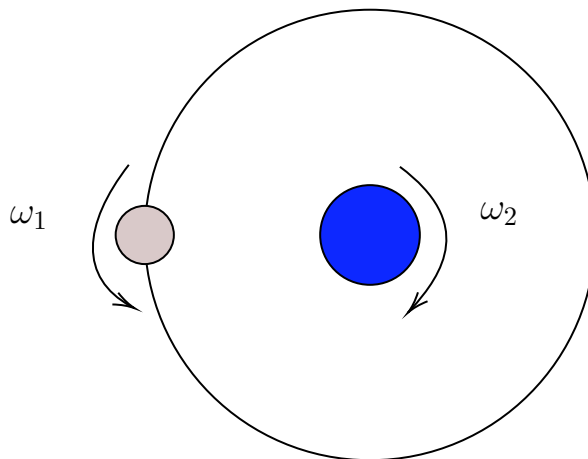


- (d) Considerando que a translação de James em torno de Alves ocorre no sentido mostrado na figura, encontre, aproximadamente, o tempo necessário desde da situação do item anterior até que James esteja a uma distância R de Praça novamente. Deixe sua resposta em função de S_J , r e R .

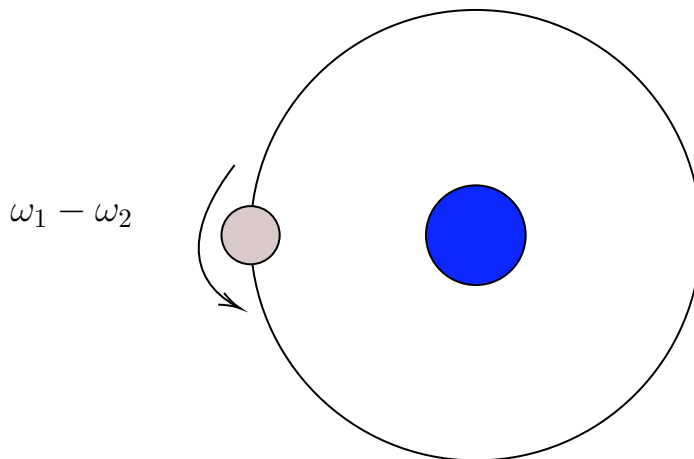
(3pts)

Solução:

- (a) Veja a figura representando a situação:



Se formos para o referencial que gira junto ao planeta com uma velocidade angular ω_2 , temos a situação:



Nesse referencial, o período da translação da lua é o tempo requisitado. Logo:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{1}{\frac{1}{S_J} - \frac{1}{S_A}} \rightarrow \boxed{T = \frac{S_A S_J}{S_A - S_J}}$$

(1,5pts) Modelar de maneira correta e precisa o movimento.

(1pt): Expressão final encontrada corretamente.

- (b) Analogamente, ao mudarmos para o referencial girante, a velocidade angular de James fica $\omega = \omega_1 + \omega_2$. Dessa maneira, o período requisitado será:



$$T = \frac{2\pi}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{1}{\frac{1}{S_J} + \frac{1}{S_A}} \rightarrow \boxed{T = \frac{S_A S_J}{S_A + S_J}}$$

(1,5pts) Modelar de maneira correta e precise o movimento.

(1pt): Expressão final encontrada corretamente.

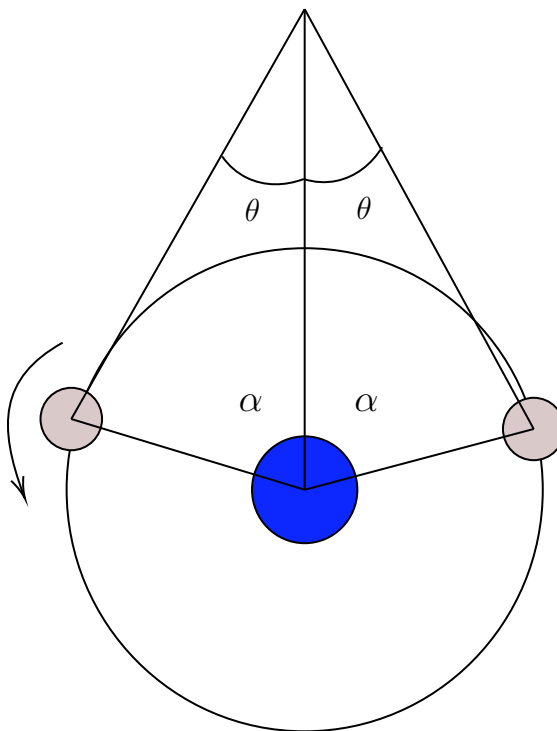
- (c) Como $r \ll R$, o raio da órbita de James é aproximadamente igual ao arco referente ao ângulo θ . Dessa maneira, pela relação entre um ângulo e seu arco:

$$\boxed{\theta = \frac{r}{R}}$$

(1pt) Perceber que o arco da circunferência é aproximadamente igual a r (ou outra informação de mesmo valor caso tenha sido feito de outra maneira).

(1pt) Expressão final encontrada corretamente.

- (d) Veja a figura:



Analisando os triângulos isósceles na figura, percebe-se que o ângulo α é:

$$\alpha = \frac{\pi - \theta}{2}$$

Assim, o ângulo de translação que James precisa percorrer é $2\pi - 2\alpha = \pi + \theta$. Dessa maneira, o tempo será:

$$\omega \Delta t = \pi + \theta \rightarrow \boxed{\Delta t = \frac{S_J}{2} \left(1 + \frac{r}{\pi R} \right)}$$

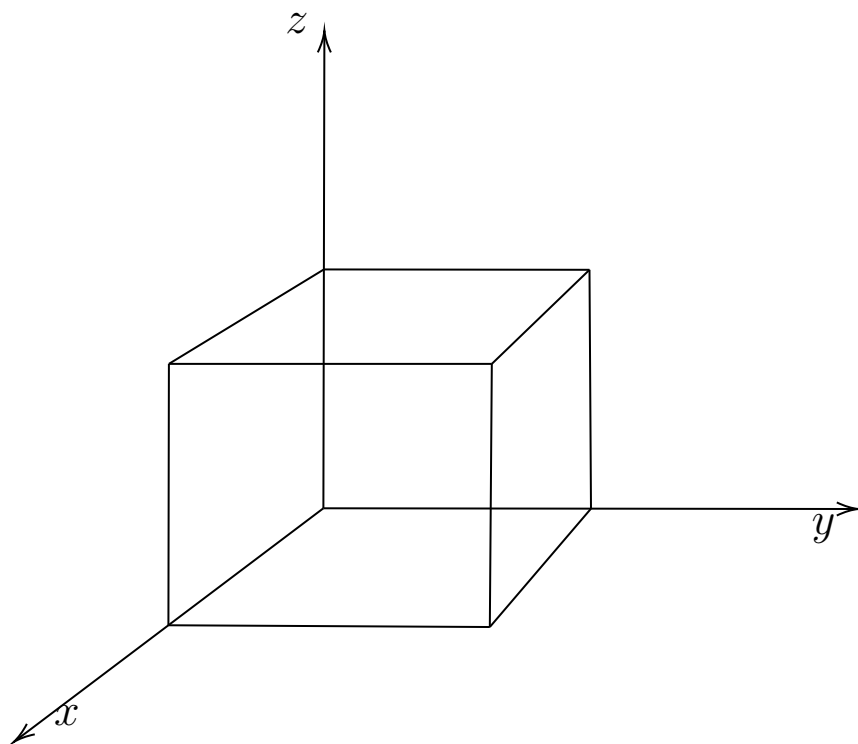
(1pt) Por modelar corretamente o movimento.



(1pt) Por encontrar corretamente a expressão para o ângulo de rotação $\pi + \theta$.

(1pt) Expressão final encontrada corretamente.

Questão 4. Um cubo de lado $L = 1\text{m}$, massa $m = 10\text{kg}$, calor específico $c = 500\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ e temperatura inicial $T_0 = 0^\circ\text{C}$ sofre uma variação de temperatura $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ que o faz expandir. Considere que nenhuma das faces do cubo está ocultada e que todas recebem calor da mesma maneira. Veja a figura fora de escala:



- (a) Considere que os coeficientes de dilatação de cada eixo são $\alpha_x = 1 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$, $\alpha_y = 2 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$ e $\alpha_z = 5 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$, para respectivamente para os eixos x, y e z. Calcule cada um dos novos lados do objeto e seu novo volume.

(2,5pts)

- (b) Agora, o objeto já dilatado é trazido para um reservatório de água. Após trocas de calor, o objeto volta a sua temperatura anterior ao encontrar seu equilíbrio térmico junto com os 50kg de água de um reservatório. Antes das trocas de calor, a água estava a $T_A = 25^\circ\text{C}$. Determine a temperatura de equilíbrio do sistema e o volume submerso final do cubo, em litros. A dilatação da água pode ser desprezada.

(7,5pts)

Solução

- (a) Podemos calcular o novo comprimento no eixo x utilizando a expressão da dilatação:

$$\Delta L_x = L_x \alpha_x \Delta T$$

$$L_{fx} = L_x + \Delta L_x = L_x(1 + \alpha_x \Delta T) = \boxed{1,01\text{m}}$$

Fazendo o mesmo para os comprimentos dos outros eixos:



$$L_{fy} = \boxed{1,02\text{m}}$$

$$L_{fz} = \boxed{1,05\text{m}}$$

Multiplicando esses 3 lados, temos o novo volume do objeto:

$$V = L_{fx} \cdot L_{fy} \cdot L_{fz} \approx \boxed{1,08\text{m}^3}$$

(0,5pt) Corretamente escrever a equação de dilatação que cada componente irá sofrer.

(0,5pt) Encontra valor correto do novo lado na direção x.

(0,5pt) Encontra valor correto do novo lado na direção y.

(0,5pt) Encontra valor correto do novo lado na direção z.

(0,5pt) Encontra valor correto do novo volume.

- (b) Para encontrar a temperatura final, precisamos conservar o calor trocado. O calor trocado pelo objeto é:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_f - T_0)$$

Onde m_1 e c_1 são, respectivamente, a massa e o calor específico do objeto. Analogamente, temos o calor da água:

$$Q_2 = m_2 c_2 (T_f - T_A)$$

Por conservação de energia, a soma desses dois calores deve ser 0. Assim, podemos isolar T_f :

$$T_f(m_1 c_1 + m_2 c_2) = m_1 c_1 T_0 + m_2 c_2 T_A \rightarrow \boxed{T_f = \frac{m_1 c_1 T_0 + m_2 c_2 T_A}{(m_1 c_1 + m_2 c_2)} \approx 26,7^\circ\text{C}}$$

Agora, basta escrevermos a equação de equilíbrio hidroestático para obter o volume submerso:

$$\text{Peso} = \text{Empuxo} \rightarrow m_1 g = \frac{m_2}{V_{\text{água}}} V_S g \rightarrow \boxed{V_s = \frac{m_1}{\rho_{\text{água}}} = 10\text{L}}$$

(1,5pt) Escrever corretamente expressão para calor do objeto e da água.

(2pt) Encontrar expressão para a temperatura final corretamente.

(1pt) Valor numérico correto para a temperatura final.

(2pt) Encontrar o corretamente a expressão para o volume submerso.

(1pt) Valor numérico correto para o volume submerso.

Questão 5. Uma esfera de metal (com volume igual $V = 1\text{L}$, massa de 200kg e calor específico $c = 900\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) está em uma temperatura inicial de 800°C é colocada em um reservatório de água com temperatura inicial de 70°C .

- (a) Calcule o volume submerso da esfera no começo, em litros, antes das trocas de calor começarem.

(3pts)

- (b) Calcule a temperatura de equilíbrio do sistema.



(4pts)

- (c) Calcule a massa final de água líquida de no sistema. Quanto calor adicional ao sistema é necessário para que toda a água seja vaporizada?

(3pts)

Solução

- (a) Escrevendo a equação de equilíbrio hidroestático:

$$\text{Peso} = \text{Empuxo} \rightarrow \rho_1 V g = \rho_2 V_S g \rightarrow V_S = \frac{\rho_1}{\rho_2} V = 200L$$

Onde ρ_1 é a densidade da esfera e ρ_2 a da água. Como $V = 1L$, o volume submerso será de 1L.

(1,5pt) Por argumentar acerca das densidades ou equacionar o empuxo.

(1,5pt) Por encontrar corretamente 1L.

- (b) Vamos, inicialmente, assumir que a água não entra em ebulição. O calor trocado pela esfera é:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T - T_e)$$

Onde m_1 e c_1 são a massa e o calor específico da esfera. Também temos o calor da água:

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_0)$$

Por conservação de energia, a soma desses dois calores deve ser 0. Assim, podemos encontrar T :

$$T_f = \frac{m_1 c_1 T_e + m_2 c_2 T_0}{(m_1 c_1 + m_2 c_2)} = 100^\circ\text{C}$$

(2pt) Por equacionar o calor

(2pt) Por encontrar corretamente $T_f = 100^\circ\text{C}$.

- (c) Como a temperatura que calculamos anteriormente não é maior que a da temperatura de ebulição da água, nenhum calor foi usado para vaporizar a mesma. Assim, a massa final é igual a inicial (1000kg). Como a temperatura de equilíbrio é de 100°C , o calor necessário é apenas o calor da mudança de fase:

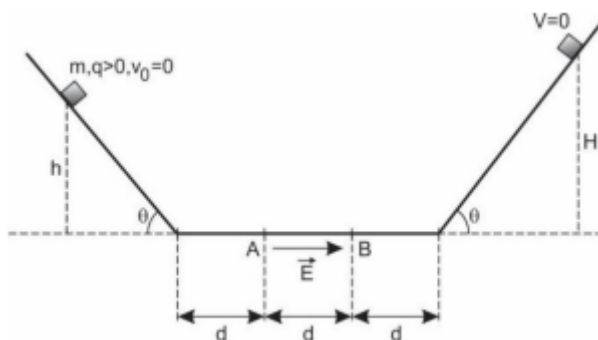
$$Q = mL \approx 2,26 \cdot 10^9 \text{J}$$

(1pt) Encontrou corretamente a massa final.

(2pts) Encontrar o calor necessário.

Observação: O enunciado não contém os valores do volume de água e do calor latente de vaporização da água. Porém, durante a prova os mesmos foram fornecidos.

Questão 6. Um bloco de massa m e carga $q > 0$ foi abandonado de um plano inclinado a uma altura h . Ele passa por um trecho horizontal onde do início ao ponto A o coeficiente de atrito do bloco com o chão é μ e do ponto A até o ponto B há um campo elétrico de acordo com a imagem abaixo. Qual a altura H que o bloco chegará?



Solução: Conservando energia:

Utilizou conservação de energia +2pts

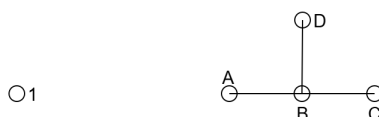
$$mgh + qEd = mg\mu \cdot d + mgH$$

Considerou o trabalho do campo +2pts, considerou o trabalho da força de atrito +2pts

$$H = h - \mu \cdot d + \frac{qEd}{mg}$$

Chegou na resposta correta +4pts

Questão 7. Quatro fontes idênticas A, B, C e D são posicionadas conforme a imagem abaixo. Todas as fontes estão a uma distância de $\frac{\lambda}{2}$ da fonte B. Os receptores 1 e 2 estão à mesma distância de B muito maior que λ . Qual receptor escutará o som mais alto?



20

Solução: Sendo r a distância dos receptores até a fonte B. Escrevendo o a amplitude do som que chegará no receptor 1:

$$A_1 = A_0 \cdot \exp(ik(r - \frac{\lambda}{2})) + A_0 \cdot \exp(ikr) + A_0 \cdot \exp(ik(r + \frac{\lambda}{2})) + A_0 \cdot \exp(ik\sqrt{r^2 + \frac{\lambda^2}{4}})$$

Escreveu essa equação +2pts

No receptor 2:

$$A_2 = A_0 \cdot \exp(ikr) + A_0 \cdot \exp(ik(r + \frac{\lambda}{2})) + 2A_0 \cdot \exp(ik\sqrt{r^2 + \frac{\lambda^2}{4}})$$



Escreveu essa equação +2pts

Perceba que $k \cdot \lambda = 2\pi$ e que $e^{i\pi} = -1$, logo:

Utilizou essas relações +4 pts

$$A_1 = 0$$

$$A_2 = 2A_0 \cdot e^{ikr}$$

Logo, o receptor 2 ouvirá o som mais alto.

Escreveu o receptor certo +2pts

Questão 8. Do ponto A ao ponto B, cuja distância é s , partiram dois automóveis: o primeiro iniciou o movimento a partir do repouso com aceleração constante; o segundo, com uma velocidade inicial v , freou com uma aceleração constante de tal forma que, ao final do percurso no ponto B, parou completamente. Em direção a eles, partindo do ponto B, saiu simultaneamente um terceiro automóvel com uma velocidade constante e desconhecida u . Ele terminou sua viagem no ponto A ao mesmo tempo em que os dois primeiros automóveis chegavam ao ponto B.

- a) Qual velocidade v_1 o primeiro automóvel tinha no final de seu percurso?(2.0)
- b) Com que velocidade u o terceiro automóvel se movia? (2.0)
- c) Quanto tempo passou entre os encontros do terceiro automóvel com o primeiro e o segundo?(6.0)

Solução:

A) Os dois primeiros automóveis terminaram o movimento simultaneamente, percorrendo a mesma distância s .

Movimento dos dois primeiros automóveis

Para o primeiro automóvel:

$$s = \frac{a_1 t^2}{2}$$

Para o segundo automóvel:

$$s = vt - \frac{a_2 t^2}{2}$$

Além disso, sabe-se que:

$$t = \frac{v}{a_2} \Rightarrow v = a_2 t$$

Substituindo:

$$s = \frac{a_2 t^2}{2} = \frac{a_1 t^2}{2}$$

Logo:

$$a_1 = a_2 \equiv a$$

Podemos concluir que, movendo-se com acelerações iguais em módulo, o primeiro e o segundo automóvel



alteraram suas velocidades em módulo pelo mesmo valor v . Assim:

$$v_1 = v$$

B) Movimento do terceiro automóvel

O terceiro automóvel percorreu a mesma distância s com velocidade constante u e em um tempo t_0 :

$$u = \frac{s}{t_0} = \frac{at^2/2}{t_0} = \frac{at}{2}$$

Sabendo que $at = v$, segue que:

$$u = \frac{v}{2}$$

C) Determinação do primeiro momento de encontro (t_1)

Para o primeiro automóvel:

$$s - ut_1 = \frac{at_1^2}{2}$$

Expressando a aceleração pela variação do quadrado da velocidade:

$$v^2 - 0^2 = 2as \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v^2}{2s}$$

Substituindo:

$$s - \frac{vt_1}{2} = \frac{v^2 t_1^2}{4s}$$

Resolvendo em relação a t_1 :

$$t_1 = \frac{v}{2a} (\sqrt{5} - 1)$$

Substituindo $a = \frac{v^2}{2s}$:

$$t_1 = \frac{s}{v} (\sqrt{5} - 1)$$

Determinação do segundo momento de encontro (t_2)

Para o segundo automóvel:

$$s - \frac{vt_2}{2} = vt_2 - \frac{at_2^2}{2}$$

Substituindo $a = \frac{v^2}{2s}$ e resolvendo:

$$t_2 = \frac{s}{v} (3 + \sqrt{5})$$

Tempo total de movimento do terceiro automóvel

$$t_0 = \frac{2s}{v}$$

Intervalo de tempo entre os encontros

O intervalo de tempo entre os dois encontros será:

$$t = t_2 - t_1 = \frac{s}{v} (3 + \sqrt{5}) - \frac{s}{v} (\sqrt{5} - 1)$$



Simplificando:

$$t = \frac{2s}{v}(\sqrt{5} - 2)$$

$$t = \frac{2s}{v}(\sqrt{5} - 2)$$

Critérios de Avaliação:

Nº	Critério	Pontuação
1	Justificou corretamente a igualdade das acelerações dos dois primeiros automóveis.	1
2	Obteve $v_1 = v$ a partir da igualdade entre acelerações e tempo de movimento.	1
3	Encontrou a velocidade do terceiro automóvel $u = \frac{v}{2}$.	2
4	Escreveu a equação da coordenada do primeiro (ou segundo) automóvel.	1
5	Escreveu a equação da coordenada do terceiro automóvel.	1
6	Encontrou um dos instantes de encontro $\frac{s}{v}(\sqrt{5}-1)$ ou $\frac{s}{v}(3-\sqrt{5})$.	
7	Encontrou o tempo total de movimento $t_0 = \frac{2s}{v}$.	1
8	Encontrou o segundo momento de encontro.	1
9	Expressou o intervalo de tempo final $t = \frac{2s}{v}(\sqrt{5} - 2)$.	2
Total		10

Questão 9. Um ar-condicionado ideal (refrigerador de Carnot) é utilizado para resfriar um pequeno escritório. Ele opera entre o interior da sala (reservatório frio, a temperatura T_c) e o ar externo a $T_h = 35^\circ\text{C}$.

Sabe-se que o aparelho possui uma taxa máxima de consumo elétrico de $E = 1500\text{W}$ e deve fornecer uma potência útil mínima de refrigeração de $P = 400\text{W}$. Admita funcionamento com eficiência máxima possível (ciclo de Carnot). Determine a temperatura mínima T_c (em Kelvin e em $^\circ\text{C}$) que o ar-condicionado pode manter no interior do escritório.

Solução: Como estamos diante de um ciclo de Carnot, a variação total de entropia é nula:

$$-\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_h}{T_h} = 0$$

Onde T_c e T_h são as temperaturas em Kelvin e Q_c e Q_h os calores relacionados com cada uma, em módulo. Perceba que, ao dividirmos a equação com respeito ao tempo, temos:

$$-\frac{P}{T_c} + \frac{P'}{T_h} = 0$$

Porém, temos que $P' - P = E$, por conservação de energia. Assim, juntando as duas equações, podemos escrever:

$$P(T_h - T_c) = E T_c \quad \Rightarrow \quad P T_h = T_c(E + P)$$



$$T_c = \frac{P T_h}{E + P}$$

Substituindo os valores:

$$T_c = \frac{400 \times 308}{1500 + 400} \approx 64,8 \text{ K.}$$

Convertendo para Celsius:

$$T_c \approx 64,8 - 273 = \boxed{-208,2 \text{ }^\circ\text{C}}.$$

Portanto, a temperatura mínima que o ar-condicionado ideal poderia manter no interior do escritório é:

$$\boxed{T_c \approx 64,8 \text{ K} = -208,2 \text{ }^\circ\text{C}}.$$

Perceba que tal valor é extramamente baixo, sendo inconsistente com a realidade. Isso ocorre por causa de um erro na escrita do enunciado ao atribuir os valores de E e/ou P .

Mark Scheme: Escrever a fórmula do COP_{max} para refrigerador de Carnot: +2pts

Escrever a relação $P = \text{COP} \cdot E$: +2pts

Isolar corretamente $T_c = \frac{P T_h}{E + P}$: +2pts

Converter T_h para Kelvin (308 K): +1pt

Substituir os valores e calcular T_c em Kelvin: +2pts

Converter T_c para Celsius: +1pt

Outras soluções (como fazendo a entropia total ser nula), também serão consideradas com critérios análogos.

Questão 10. Uma fonte de luz monocromática L é colocada entre uma lente divergente e um espelho côncavo, cujos módulo dos focos são, respectivamente, $|f_L| = 10 \text{ cm}$ e $|f_E| = 5 \text{ cm}$, de modo que esses distam $L = 10 \text{ cm}$ entre si. Considerando que a fonte está a uma distância $p = 4 \text{ cm}$ da lente, qual é a distância entre a primeira e segunda imagem formada na lente?

Resolução:

Primeiramente, é importante perceber que a segunda imagem formada na lente corresponde a imagem formada pelos raios que vem da reflexão no espelho. Assim, utilizando a lei de Gauss, devemos calcular a posição da imagem de L no espelho da seguinte forma:

$$\frac{1}{p_e} + \frac{1}{L - p} = \frac{1}{f_E} \iff p_e = \frac{(L - p)f_E}{(L - p) - f_E} = \frac{6 \cdot 5}{6 - 5} \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

Logo, utilizando similarmente a lei de Gauss, a posição da segunda imagem na lente é:

$$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{L - p_e} = \frac{1}{f_L} \iff p_2 = \frac{(L - p_e)f_L}{(L - p_e) - f_L} = \frac{(10 - 30) \cdot (-10)}{(10 - 30) - (-10)} = -20 \text{ cm}$$

Além disso, a posição da primeira imagem é:

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f_L} \iff p_1 = \frac{p f_L}{p - f_L} = \frac{4 \cdot (-10)}{4 - (-10)} \approx -2,87 \text{ cm}$$



Portanto, a distância entre as imagens é:

$$d = |p_2 - p_1| \iff \boxed{d = 17,13 \text{ cm}}$$

Mark Scheme: Calcular corretamente a posição da primeira imagem p_1 (imagem direta da lente, $f_L = -10$): +3pts Calcular a posição da imagem formada pelo espelho p_e (usando $p_E = 6$ e $f_E = 5$): +3pts Usar p_e como objeto para a lente (cálculo de p_2): +3pts Calcular a distância final $d = |p_2 - p_1|$: +1pt