

12024EUF0001

João Ninguém

Instruções para a prova:

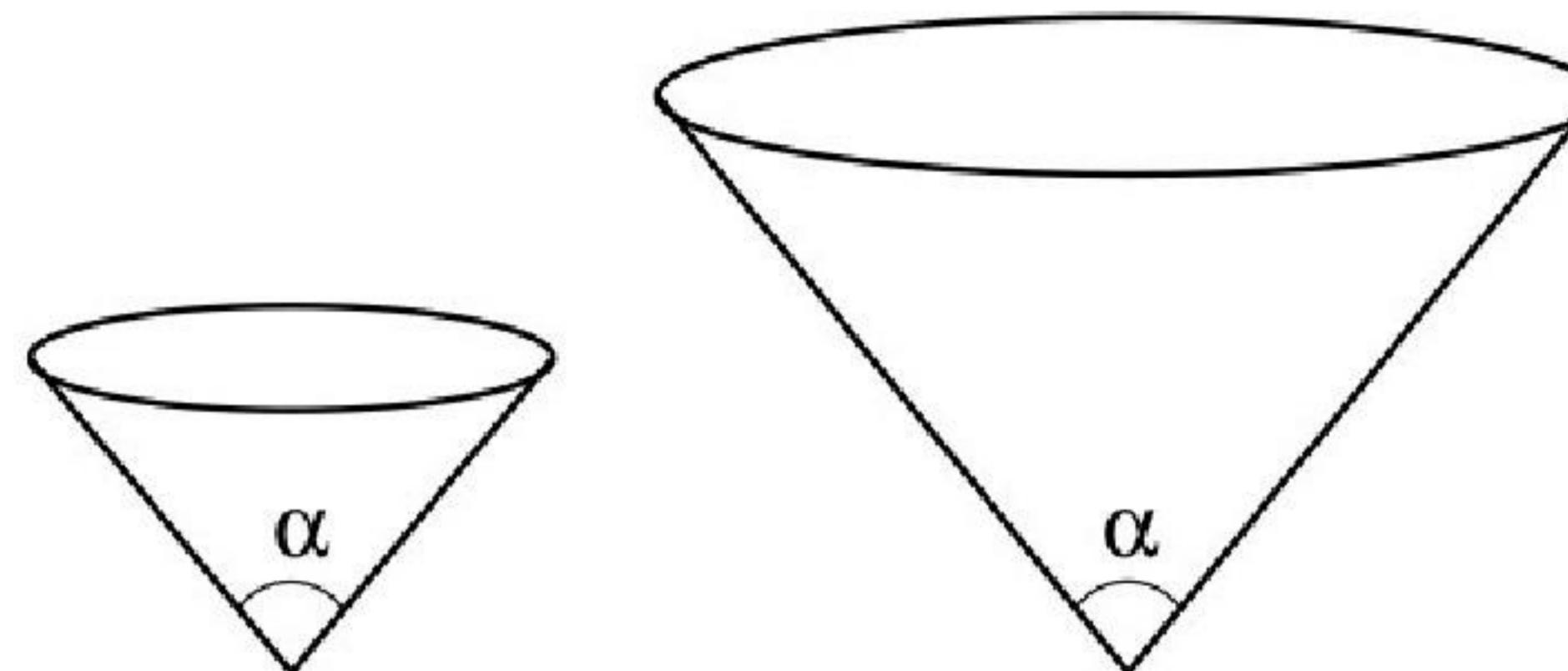
- Esta prova contém **40** problemas sobre mecânica clássica, eletromagnetismo, termodinâmica, física moderna, mecânica quântica e física estatística. Todas as questões têm o mesmo peso.
- O tempo de duração desta prova é de **4 horas**.
O tempo mínimo de permanência na sala é de 90 minutos.
- Não é permitido o uso de calculadoras ou outros instrumentos eletrônicos.
- Assinale as alternativas corretas na folha de respostas que se encontra no final do caderno de questões, preenchendo **inteiramente** o quadradinho correspondente a caneta azul ou preta.
Alternativas assinaladas fora da folha de respostas não serão consideradas Não destaque a folha de respostas. Erros na marcação da resposta podem ser corrigidos com corretivo branco.
- Ao final da prova, devolva tanto o caderno de questões quanto o formulário.

12024EUF0001

João Ninguém

Q. 1 [mcPT1a]

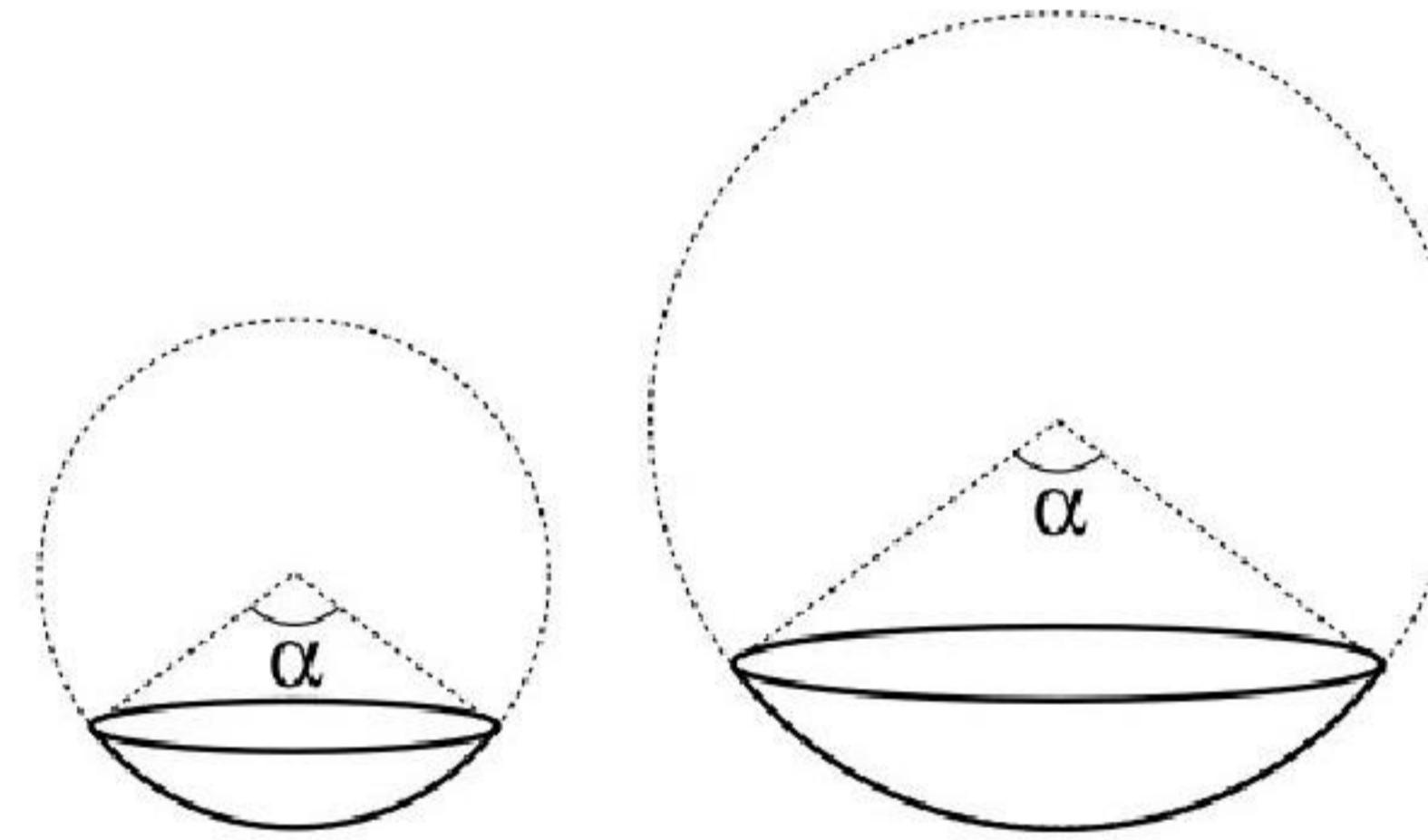
Cones semelhantes (mas de dimensões distintas) feitos do mesmo material são soltos do repouso, como ilustrado ao lado, e caem verticalmente sob ação da gravidade e da resistência do ar. Nota-se que as velocidades terminais desses cones são iguais. Dentre as afirmações a seguir, quais delas são **necessárias** para que as velocidades terminais sejam iguais?



- I. A força de arraste é proporcional ao quadrado da velocidade.
 - II. A força de arraste é proporcional à área do cone.
 - III. A força de arraste é proporcional ao raio do cone.
- Apenas III Apenas I I e II I e III Apenas II

Q. 2 [mcPT1b]

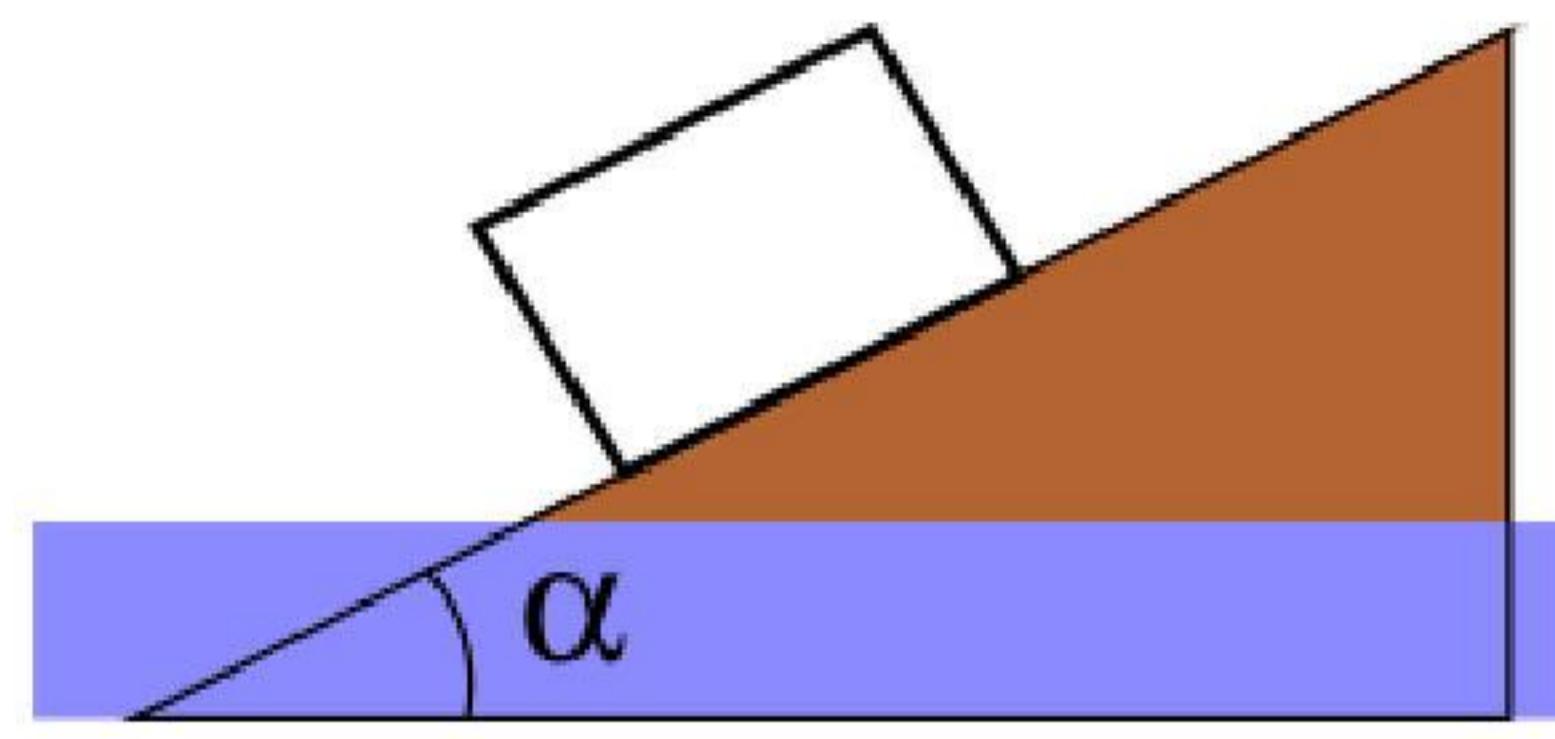
Calotas esféricas semelhantes (mas de dimensões distintas) feitas do mesmo material são soltas do repouso, como ilustrado ao lado, e caem verticalmente sob ação da gravidade e da resistência do ar. Nota-se que as velocidades terminais dessas calotas são iguais. Dentre as afirmações a seguir, quais delas são **necessárias** para que as velocidades terminais sejam iguais?



- I. A força de arraste é proporcional ao quadrado da velocidade.
 - II. A força de arraste é proporcional à área da calota.
 - III. A força de arraste é proporcional ao raio da calota.
- Apenas II Apenas I I e III I e II Apenas III

Q. 3 [mcPT2a]

A figura ao lado ilustra um bloco de densidade ρ sobre um plano inclinado de ângulo α que é ligeiramente menor que o ângulo máximo de inclinação para que o bloco não deslize. O sistema todo está dentro de um recipiente com líquido de densidade $\rho' = \rho/2$ e cujo nível se eleva lentamente.

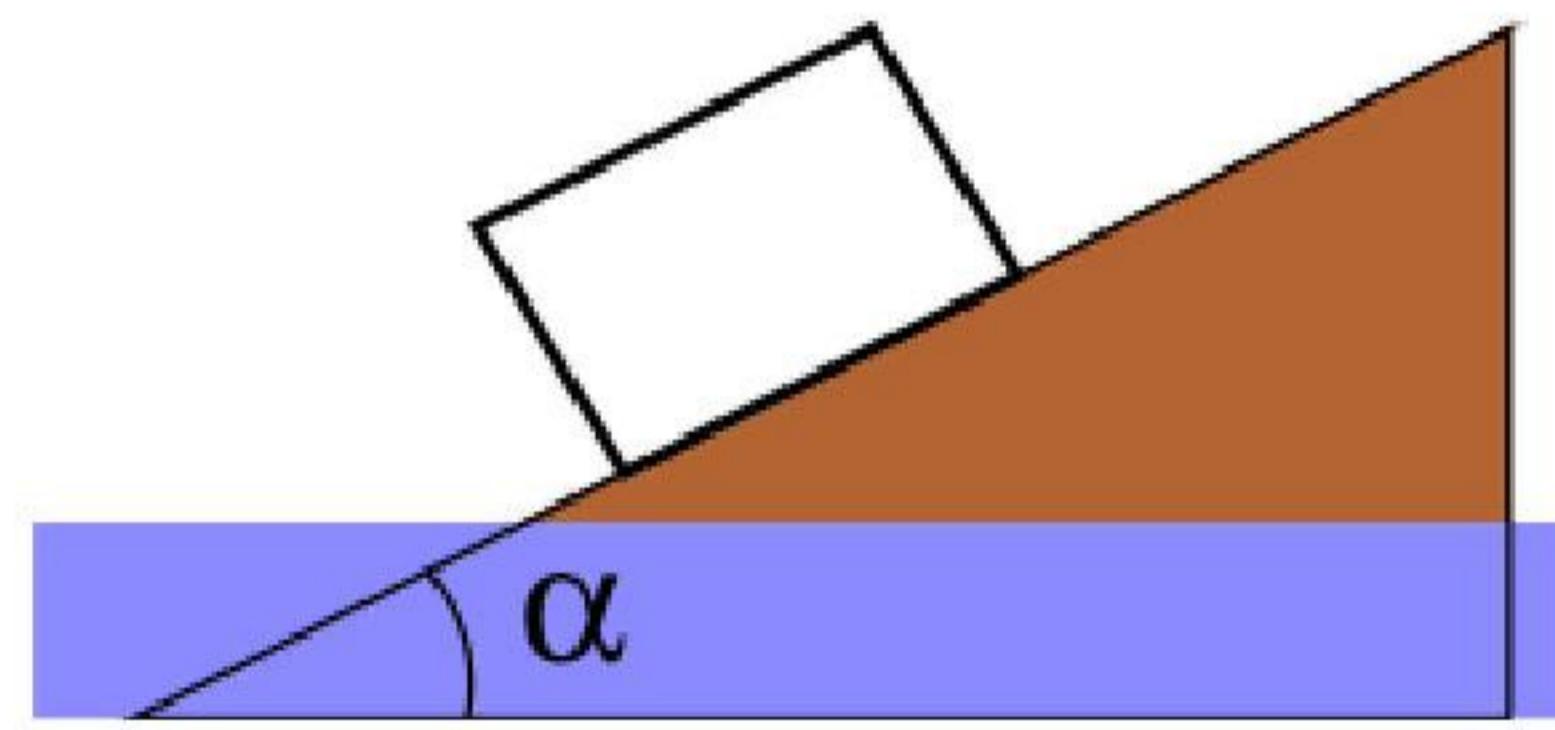


Desconsiderando os efeitos de arraste do líquido e assumindo que o coeficiente de atrito entre o bloco e o plano inclinado é **inalterado** pela presença do líquido, quais das afirmações a seguir são verdadeiras?

- I. Assim que a camada de líquido atingir o bloco, a força normal entre o bloco e o plano inclinado começa a diminuir.
 - II. O bloco desliza assim que a camada de líquido o atingir.
 - III. O bloco desliza apenas após a camada de líquido submergir $1/2$ de seu volume.
- Apenas II Apenas II I e II I e III Apenas I

Q. 4 [mcPT2b]

A figura ao lado ilustra um bloco de densidade ρ sobre um plano inclinado de ângulo α que é ligeiramente menor que o ângulo máximo de inclinação para que o bloco não deslize. O sistema todo está dentro de um recipiente com líquido de densidade $\rho' = \rho/3$ e cujo nível se eleva lentamente.



Desconsiderando os efeitos de arraste do líquido e assumindo que o coeficiente de atrito entre o bloco e o plano inclinado é **inalterado** pela presença do líquido, quais das afirmações a seguir são verdadeiras?

- I. A força normal entre o bloco e o plano inclinado é tanto menor quanto maior for a fração de bloco submersa.
 - II. O bloco desliza pouco após a camada de líquido o atingir.
 - III. O bloco desliza apenas após a camada de líquido submergir $2/3$ de seu volume.
- Apenas II Apenas II I e III I e II Apenas I

Q. 5 [mcPT3a] Uma bola de boliche de massa M e raio R é jogada em uma pista perfeitamente horizontal com velocidade inicial v_0 e sem girar. Sendo $\mu > 0$ o coeficiente de atrito **cinético** entre a bola e a pista e considerando a bola como uma casca esférica, qual a velocidade final da mesma após o **deslizamento** cessar? (Considere a bola e a pista como idealmente rígidos. O momento de inércia de uma casca esférica em torno de um eixo contendo seu centro de massa é $2MR^2/3$.)

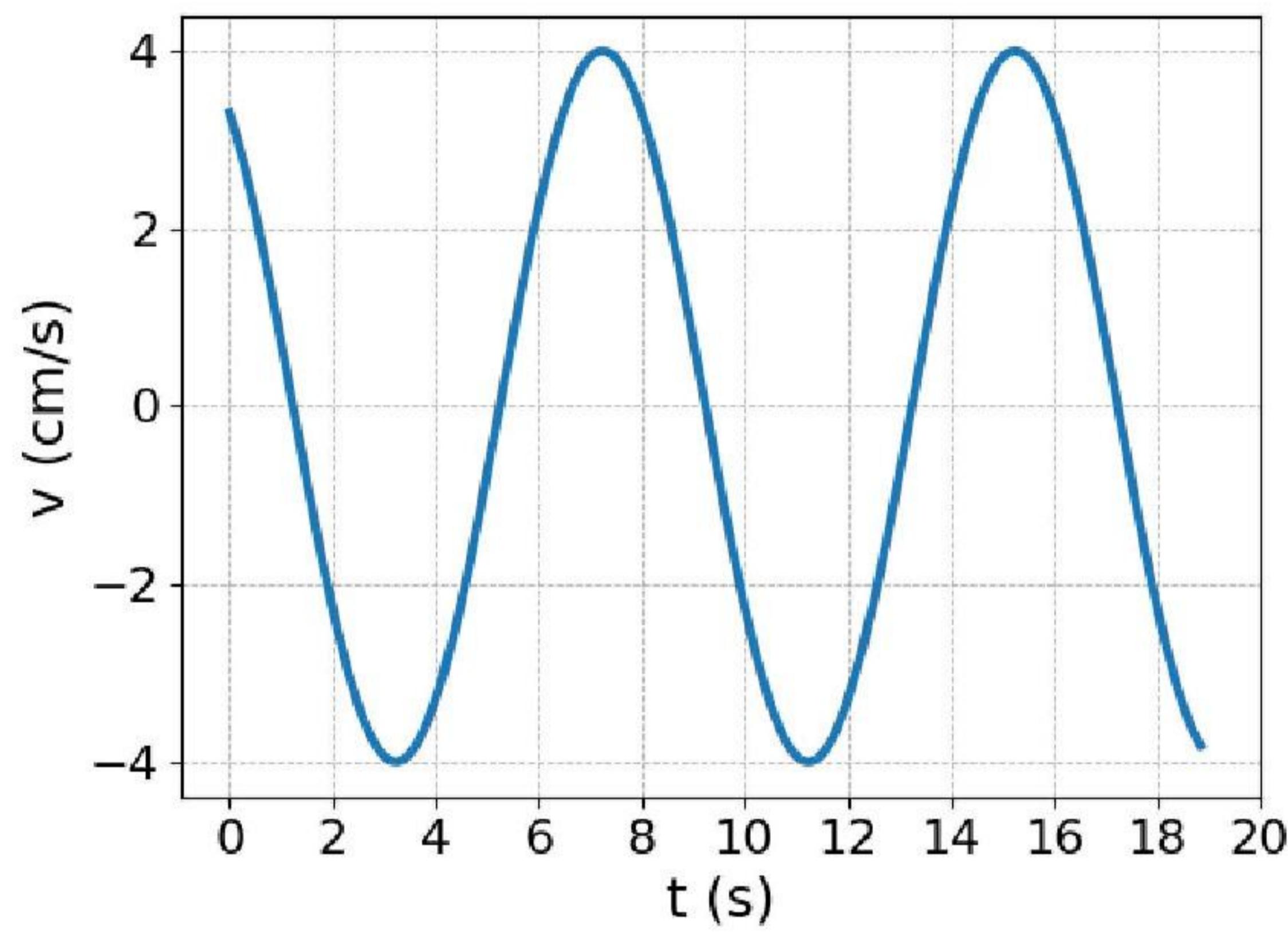
$$\frac{3}{5}v_0 \quad \sqrt{\frac{3}{5}}v_0 \quad \frac{1}{1+\mu}v_0 \quad \frac{1}{1+\frac{2}{3}\mu}v_0 \quad 0$$

CATALOG

Q. 6 [mcPT3b] Uma bola de boliche de massa M e raio R é jogada em uma pista perfeitamente horizontal com velocidade inicial v_0 e sem girar. Sendo $\mu > 0$ o coeficiente de atrito **cinético** entre a bola e a pista e considerando a bola como uma esfera homogênea, qual a velocidade final da mesma após o **deslizamento** cessar? (Considere a bola e a pista como idealmente rígidos. O momento de inércia de uma esfera homogênea em torno de um eixo que passa pelo seu centro de massa é $2MR^2/5$.)

$$0 \quad \frac{1}{1+\mu}v_0 \quad \frac{5}{7}v_0 \quad \sqrt{\frac{5}{7}}v_0 \quad \frac{1}{1+\frac{2}{5}\mu}v_0$$

Q. 7 [mcPT4a] A **velocidade** como função do tempo para uma partícula em oscilação harmônica é apresentada na figura abaixo. Assumindo $x(t) = A \cos(\omega t + \delta)$, determine a opção que melhor descreve a frequência angular ω e a amplitude do movimento A .



$$\omega = 2\pi \text{ rad/s}; A = \frac{2}{\pi} \text{ cm}$$

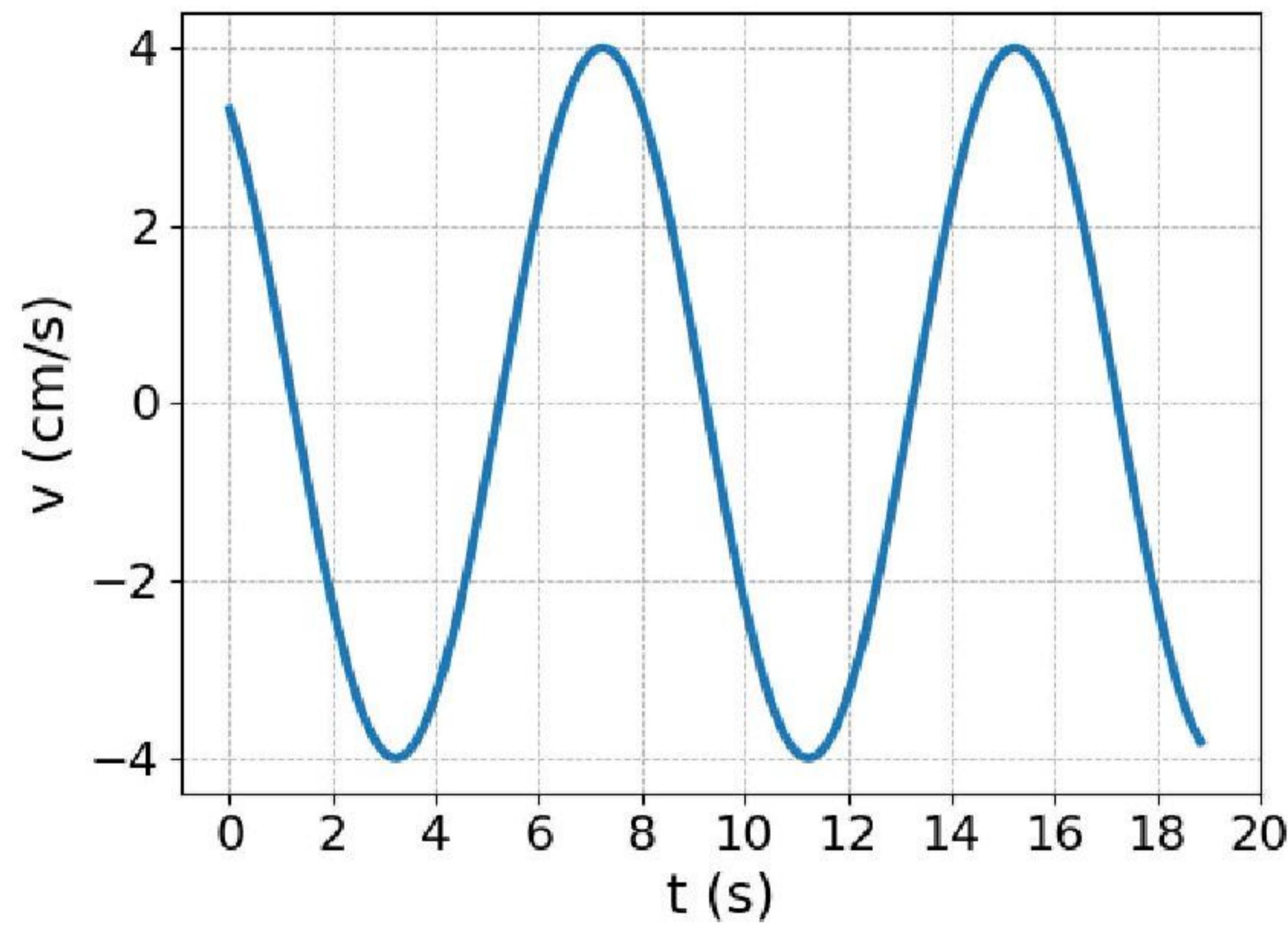
$$\omega = \frac{\pi}{8} \text{ rad/s}; A = \frac{32}{\pi} \text{ cm}$$

$$\omega = 4\pi \text{ rad/s}; A = \frac{1}{\pi} \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{\pi}{2} \text{ rad/s}; A = \frac{8}{\pi} \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}; A = \frac{16}{\pi} \text{ cm}$$

Q. 8 [mcPT4b] A **velocidade** como função do tempo para uma partícula em oscilação harmônica é apresentada na figura abaixo. Assumindo $v(t) = A \cos(\omega t + \delta)$, determine a opção que melhor descreve a frequência angular ω e o módulo da máxima aceleração a_{\max} .



$$\omega = \frac{\pi}{8} \text{ rad/s}; a_{\max} = \frac{\pi}{2} \text{ cm/s}^2$$

$$\omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}; a_{\max} = \pi \text{ cm/s}^2$$

$$\omega = \frac{\pi}{2} \text{ rad/s}; a_{\max} = 2\pi \text{ cm/s}^2$$

$$\omega = \frac{\pi}{8} \text{ rad/s}; a_{\max} = \frac{\pi}{2} \text{ cm/s}^2$$

$$\omega = 2\pi \text{ rad/s}; a_{\max} = 8\pi \text{ cm/s}^2$$

CATALOG

Q. 9 [mcPT5a] Em um experimento de colisões realizado na disciplina de Física Experimental, os alunos colocam dois blocos A e B , de mesma massa m , sobre um trilho de ar.



O bloco B tem preso a si uma mola de constante elástica k e massa desprezível. Antes da colisão, o bloco B está em repouso, enquanto o bloco A se aproxima com velocidade linear de módulo v_0 , como mostrado na figura acima. Assumindo que perdas de energia por atrito sejam desprezíveis, determine o módulo da compressão máxima Δx_{\max} da mola durante a colisão. Expresse seu resultado como função dos parâmetros m , k e v_0 .

$$\Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{mv_0^2}{4k}} \quad \Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{mv_0^2}{k}} \quad \Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{mv_0^2}{2k}} \quad \Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{2mv_0^2}{k}} \quad \Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{3mv_0^2}{2k}}$$

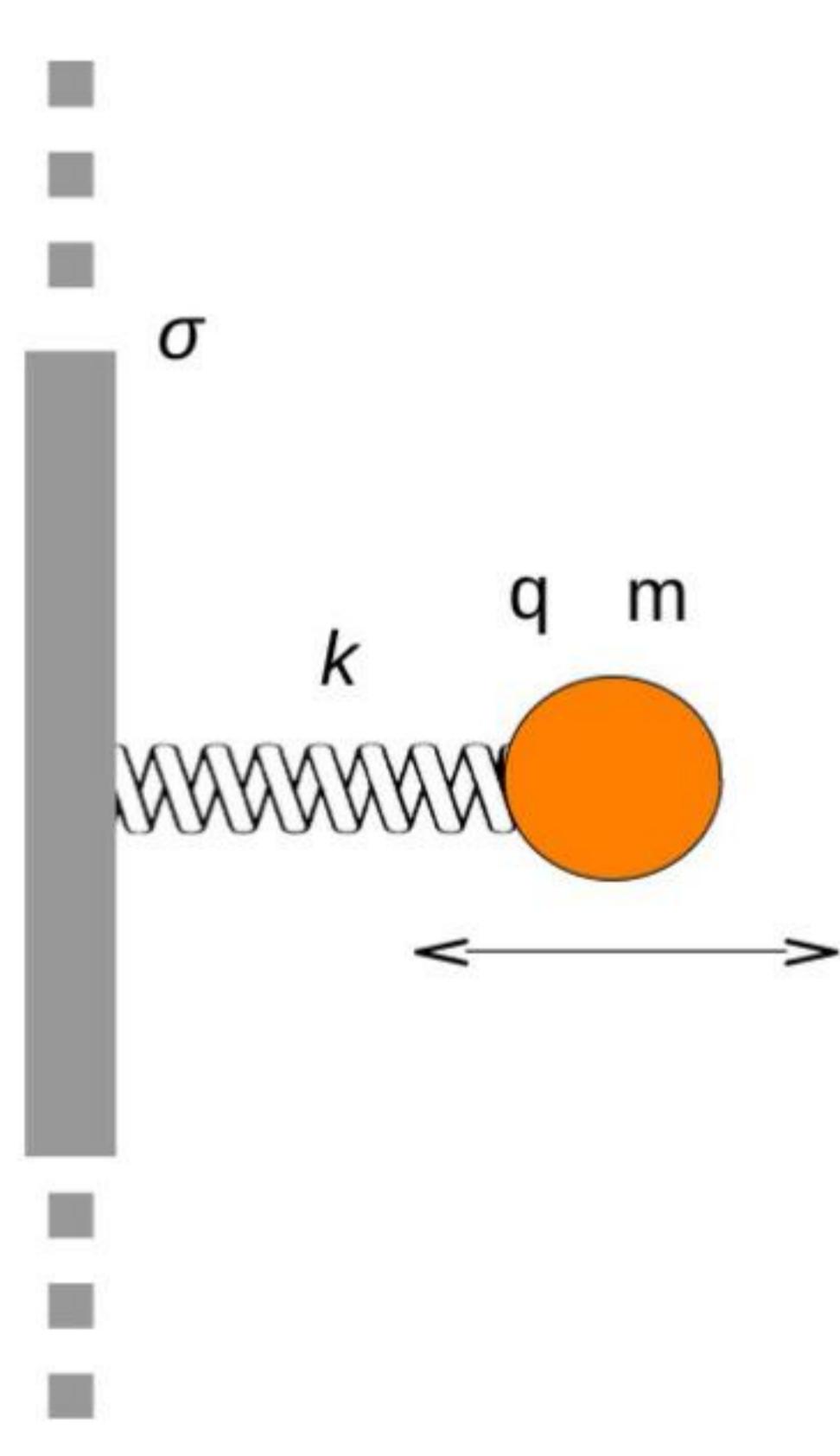
Q. 10 [mcPT5b] Em um experimento de colisões realizado na disciplina de Física Experimental, os alunos colocam dois blocos A e B , de mesma massa m , sobre um trilho de ar.



O bloco B tem preso a si uma mola de constante elástica k e massa desprezível. Antes da colisão, o bloco B está em repouso, enquanto o bloco A se aproxima com velocidade linear de módulo v_0 , como mostrado na figura acima. Pelas filmagens do experimento, os alunos foram capazes de estimar a compressão máxima Δx_{\max} sofrida pela mola durante a colisão. Assumindo que perdas de energia por atrito sejam desprezíveis, determine o módulo da velocidade inicial v_0 do bloco A . Expresse seu resultado como função dos parâmetros m , k e Δx_{\max} .

$$v_0 = \sqrt{\frac{k\Delta x_{\max}^2}{2m}} \quad v_0 = \sqrt{\frac{k\Delta x_{\max}^2}{m}} \quad v_0 = \sqrt{\frac{4k\Delta x_{\max}^2}{m}} \quad v_0 = \sqrt{\frac{2k\Delta x_{\max}^2}{3m}} \quad v_0 = \sqrt{\frac{2k\Delta x_{\max}^2}{m}}$$

Q. 11 [mcPT6a] Uma partícula puntiforme de massa m e carga q está acoplada a um plano delgado infinito por uma mola ideal (isolante) de massa desprezível, comprimento L e constante elástica k . O plano é dielétrico e tem carga superficial σ homogênea, de **mesmo sinal** que q . A partícula pode oscilar livremente na coordenada normal ao plano, como ilustrado na figura abaixo. Desconsiderando efeitos da gravidade e perdas de energia por radiação, determine (i) a deformação ΔL da mola no equilíbrio e (ii) a frequência angular ω de oscilação da partícula. Utilize o SI, em que o campo elétrico de um plano infinito é $\vec{E} = \frac{1}{2}(\sigma/\epsilon_0)\hat{n}$, sendo \hat{n} o vetor normal ao plano. Considere a deformação da mola como positiva (negativa) quando a mola está estendida (comprimida).



$$(i) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0} \text{ e } (ii) \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$(i) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{k\epsilon_0} \text{ e } (ii) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{|q\sigma|}{k\epsilon_0}}$$

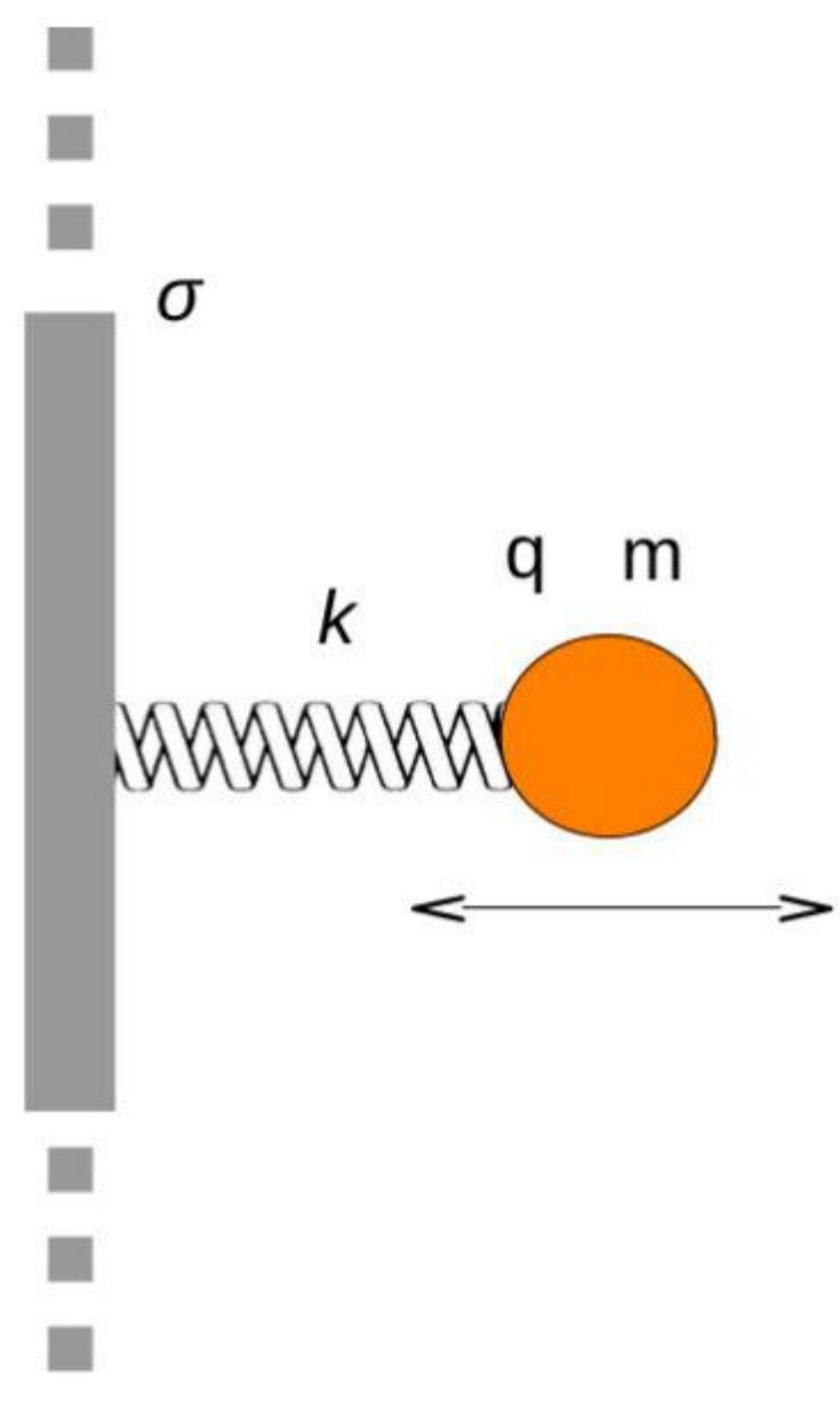
$$(i) \Delta L = -\frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0} \text{ e } (ii) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} + \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}}$$

$$(i) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0} \text{ e } (ii) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} + \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}}$$

$$(i) \Delta L = -\frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0} \text{ e } (ii) \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

CATALOG

Q. 12 [mcPT6b] Uma partícula puntiforme de massa m e carga q está acoplada a um plano delgado infinito por uma mola ideal (isolante) de massa desprezível, comprimento L e constante elástica k . O plano é dielétrico e tem carga superficial σ homogênea, de **sinal oposto** a q . A partícula pode oscilar livremente na coordenada normal ao plano, como ilustrado na figura abaixo. Desconsiderando efeitos da gravidade e perdas de energia por radiação, determine (i) a frequência angular ω de oscilação da partícula e (ii) a deformação ΔL da mola no equilíbrio. Utilize o SI, em que o campo elétrico de um plano infinito é $\vec{E} = \frac{1}{2}(\sigma/\epsilon_0)\hat{n}$, sendo \hat{n} o vetor normal ao plano. Considere a deformação da mola como positiva (negativa) quando a mola está estendida (comprimida).



$$(i) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{|q\sigma|}{k\epsilon_0}} \text{ e } (ii) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{k\epsilon_0}$$

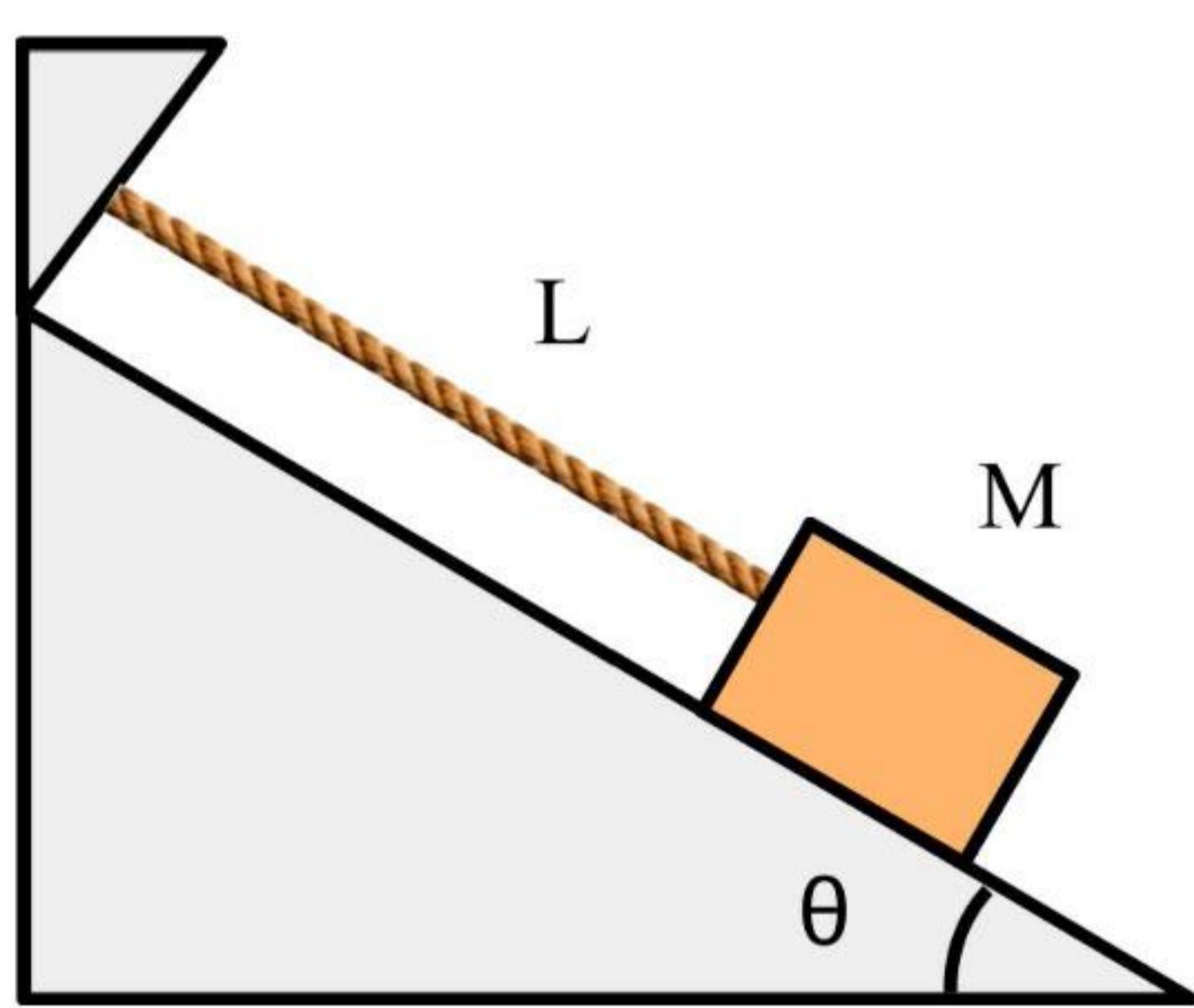
$$(i) \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ e } (ii) \Delta L = -\frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}$$

$$(i) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} + \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}} \text{ e } (ii) \Delta L = -\frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}$$

$$(i) \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ e } (ii) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}$$

$$(i) \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}} \text{ e } (ii) \Delta L = \frac{|q\sigma|}{2k\epsilon_0}$$

Q. 13 [mcPT7a] Um bloco de massa M está em repouso sobre um plano inclinado sem atrito, de inclinação θ , sustentado por uma corda de massa m e comprimento L , como mostrado na Figura fbaixo. A corda está presa nas duas extremidades. Dada essa configuração do sistema e sabendo que $m \ll M$, determine a menor frequência f_1 de uma onda mecânica na corda. Expresse seu resultado como função de m , M , g , θ e L . Trate a corda como unidimensional.



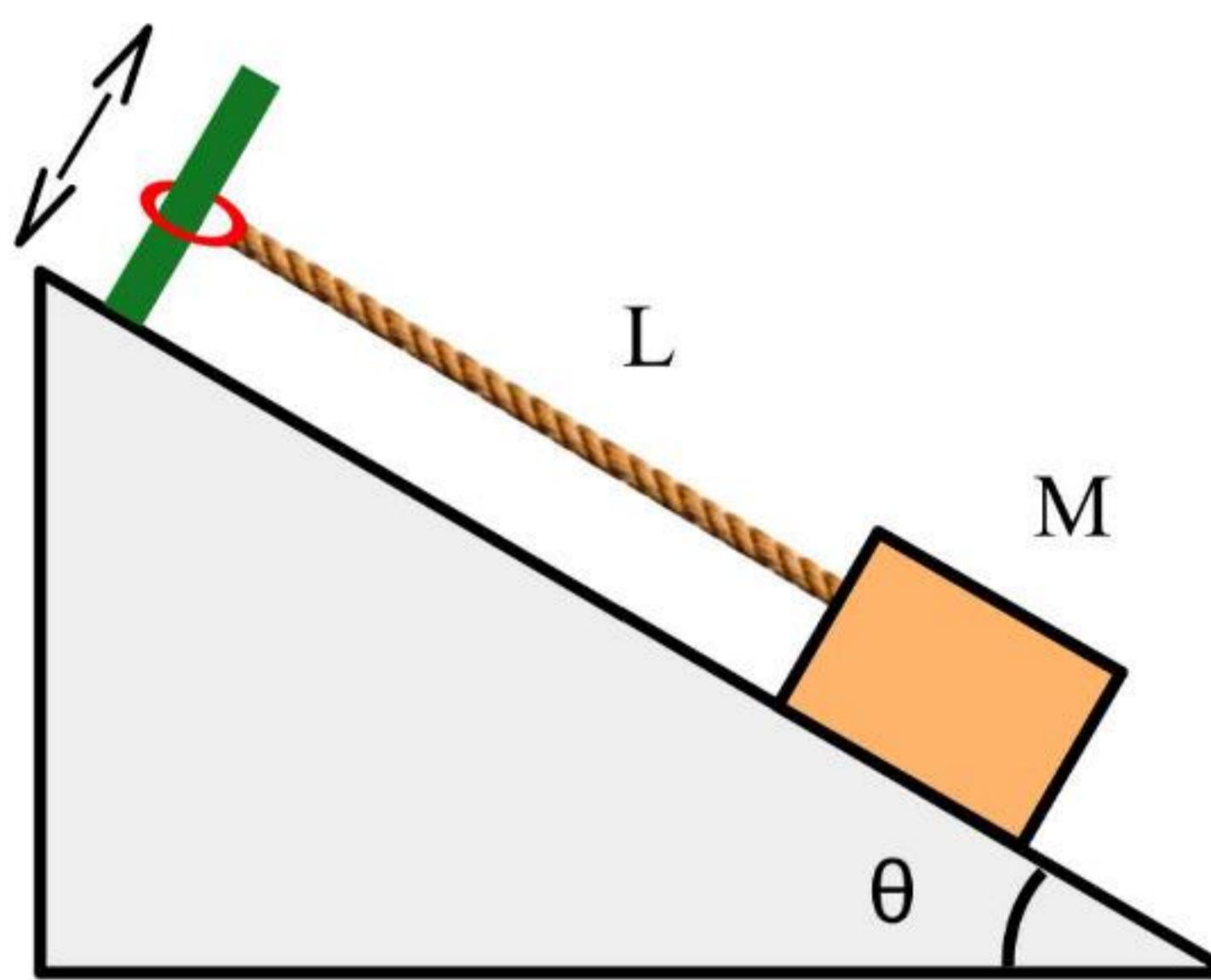
$$f_1 = \sqrt{\frac{Mg \sin \theta}{mL}} \quad f_1 = 2\sqrt{\frac{Mg \sin \theta}{mL}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Mg \cos \theta}{mL}} \quad f_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{Mg \sin \theta}{mL}}$$

$$f_1 = \sqrt{\frac{Mg \cos \theta}{mL}}$$

CATALOG

Q. 14 [mcPT7b] Um bloco de massa M está em repouso sobre um plano inclinado sem atrito, de inclinação θ , sustentado por uma corda de massa m e comprimento L , como mostrado na figura abaixo. A corda está presa ao bloco, porém está livre para se movimentar ao longo do eixo do suporte, na extremidade oposta. Dada essa configuração do sistema e sabendo que $m \ll M$, determine a menor frequência de oscilação f_1 de uma onda mecânica na corda. Expressse seu resultado como função de m , M , g , θ e L . Trate a corda como unidimensional.

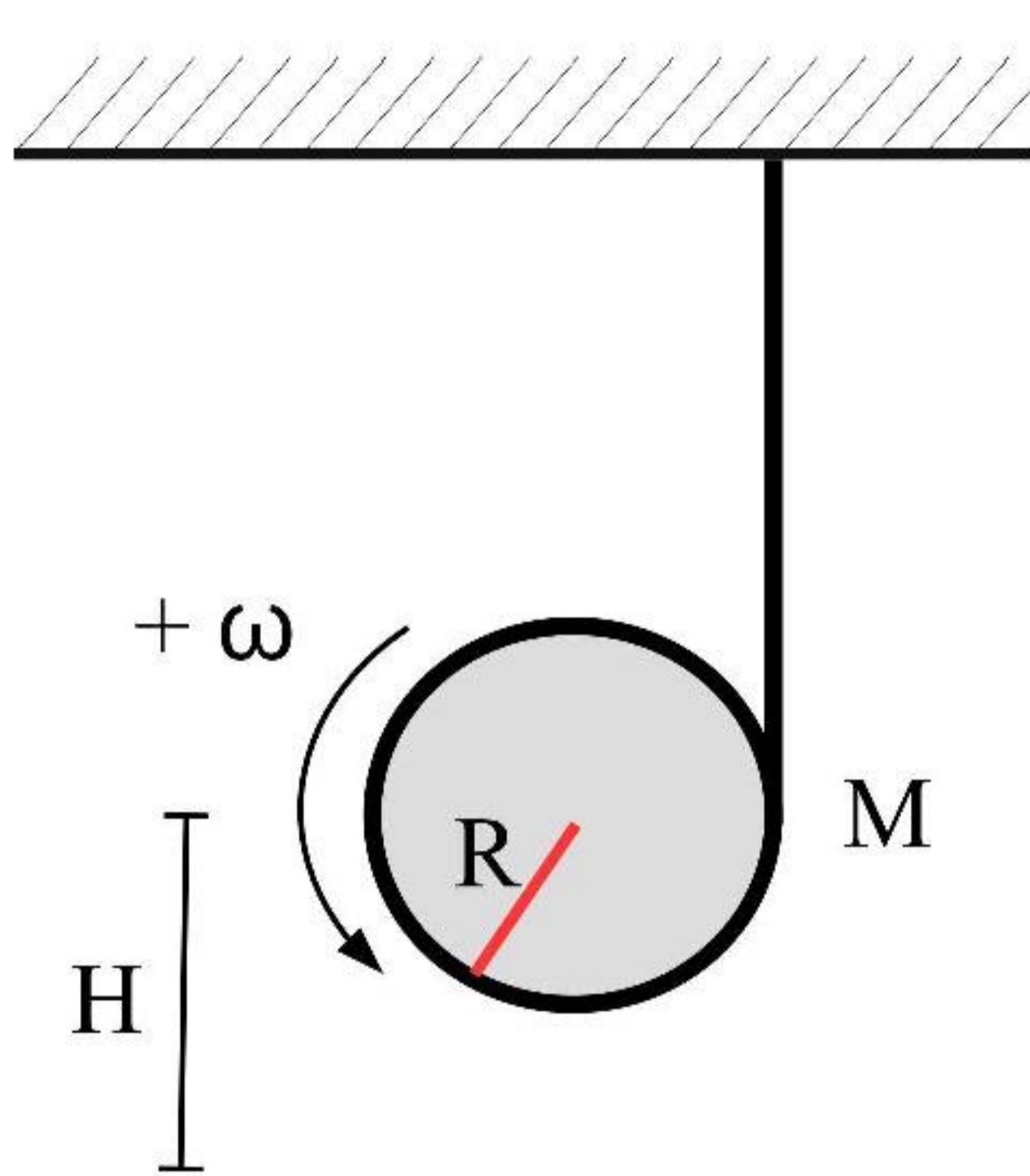


$$f_1 = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{M g \sin \theta}{m L}} \quad f_1 = \sqrt{\frac{M g \cos \theta}{m L}}$$

$$f_1 = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{M g \sin \theta}{m L}} \quad f_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{M g \sin \theta}{m L}}$$

$$f_1 = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{M g \cos \theta}{m L}}$$

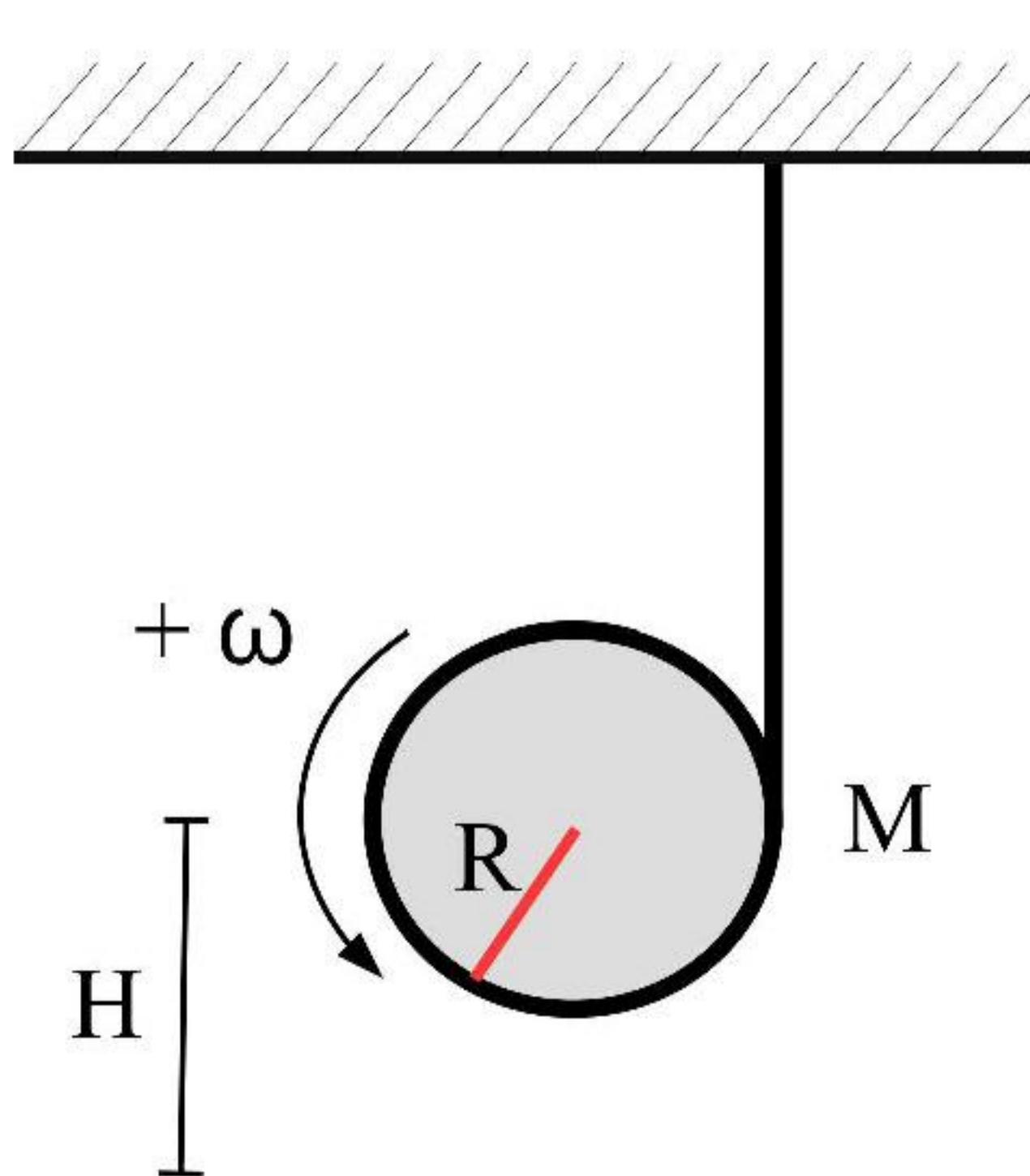
Q. 15 [mcPT8a] Um disco homogêneo de massa M e raio R está acoplado ao teto através de uma corda (de massa desprezível) enrolada nas suas bordas. O disco é abandonado do repouso sob ação da gravidade g , tal como ilustrado na figura abaixo. Desprezando eventuais perdas de energia e assumindo que a corda **não** desliza sobre a borda do disco, determine a velocidade angular ω do disco como função da altura H em relação a sua posição inicial. O momento de inércia do disco em torno de um eixo perpendicular contendo seu centro de massa é $MR^2/2$.



$$\omega = \sqrt{\frac{4gH}{3R^2}} \quad \omega = \sqrt{\frac{gH}{2R^2}} \quad \omega = \sqrt{\frac{3gH}{4R^2}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{gH}{R^2}} \quad \omega = \sqrt{\frac{2gH}{R^2}}$$

Q. 16 [mcPT8b] Um disco homogêneo de massa M e raio R está acoplado ao teto através de uma corda (de massa desprezível) enrolada nas suas bordas. O disco é abandonado do repouso sob ação da gravidade g , tal como ilustrado na figura abaixo. Desprezando eventuais perdas de energia e assumindo que a corda **não** desliza sobre a borda do disco, determine o módulo da velocidade linear V do disco como função da altura H em relação a sua posição inicial. O momento de inércia do disco em torno de um eixo perpendicular contendo seu centro de massa é $MR^2/2$.



$$V = \sqrt{gH} \quad V = \sqrt{2gH} \quad V = \sqrt{\frac{4gH}{3}}$$

$$V = \sqrt{\frac{3gH}{4}} \quad V = \sqrt{\frac{gH}{2}}$$

CATALOG

Q. 17 [emPT1a]

O campo elétrico de uma onda plana que se propaga no vácuo é dado por

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = E_0(\hat{x} + \hat{z})e^{-i(\omega t - ky)},$$

sendo $\mathbf{k} = k\hat{y}$ o vetor de onda. Determine o campo magnético $\mathbf{B}(\mathbf{r},t)$.

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - ky)}(\hat{y} + \hat{z})$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - ky)}(\hat{x} + \hat{z})$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t + ky)}\hat{y}$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t + ky)}\hat{x}$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - ky)}(\hat{x} - \hat{z})$$

Q. 18 [emPT1b]

O campo elétrico de uma onda plana que se propaga no vácuo é dado por

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = E_0(\hat{y} + \hat{z})e^{-i(\omega t - kx)},$$

sendo $\mathbf{k} = k\hat{x}$ o vetor de onda. Determine o campo magnético $\mathbf{B}(\mathbf{r},t)$.

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - kx)}(\hat{x} - \hat{z})$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - kx)}(\hat{z} - \hat{y})$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t + kx)}\hat{y}$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t - kx)}(\hat{y} + \hat{z})$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{E_0}{c} e^{-i(\omega t + kx)}\hat{x}$$

Q. 19 [emPT2a] O potencial elétrico V na superfície de uma casca esférica de raio R é igual a $V = (V_0 R/a) \cos \theta$, em que θ é o ângulo polar em relação a um certo eixo que passa pelo centro da esfera, enquanto V_0 e a são constantes. Qual é o potencial elétrico dentro da esfera, na região a uma distância $r = R/2$ do centro?

$$V = \frac{V_0}{2a} R \cos \theta \quad V = \frac{V_0}{2a} R \quad V = \frac{2V_0}{a} R \sin \theta \quad V = \frac{V_0}{3a} R \cos \theta \quad V = \frac{V_0}{3a} R$$

Q. 20 [emPT2b] O potencial elétrico V na superfície de uma casca esférica de raio R é igual a $V = (V_0 R/a) \cos \theta$, em que θ é o ângulo polar em relação a um certo eixo que passa pelo centro da esfera, enquanto V_0 e a são constantes. Qual é o potencial elétrico fora da esfera, na região a uma distância $r = 2R$ do centro?

$$V = \frac{V_0 R^2}{2a^2} \sin \theta \quad V = \frac{V_0 R^2}{4a^2} \cos \theta \quad V = \frac{V_0 R}{4a} \cos \theta \quad V = \frac{V_0 R}{4a} \quad V = \frac{V_0 R^2}{4a^2}$$

Q. 21 [emPT3a] Em uma região no interior de um cilindro de raio R e altura h há um campo elétrico dado por $\mathbf{E} = \alpha\hat{\rho} + \beta\hat{z}$ e um campo magnético dado por $\mathbf{B} = \gamma\hat{\varphi} + \delta\hat{z}$, onde α, β, γ e δ são constantes. O eixo de simetria do cilindro está na direção \hat{z} . Qual é o valor absoluto da energia que atravessa a tampa superior do cilindro por unidade de tempo?

$$\frac{4\pi R^2 \alpha \delta}{\gamma \beta \mu_0} \quad \frac{R^2}{2\pi \beta \delta \mu_0} \quad \frac{R^2}{4\pi \alpha \gamma \mu_0} \quad \frac{2\pi R^2 \beta \delta}{\mu_0} \quad \frac{\pi R^2 \alpha \gamma}{\mu_0}$$

CATALOG

Q. 22 [emPT3b] Em uma região no interior de um cilindro de raio R e altura h há um campo magnético dado por $\mathbf{B} = \alpha\hat{\rho} + \beta\hat{z}$ e um campo elétrico dado por $\mathbf{E} = \gamma\hat{\rho} + \delta\hat{\phi}$, onde α, β, γ e δ são constantes. O eixo de simetria do cilindro está na direção \hat{z} . Qual é o valor absoluto da energia que atravessa a tampa superior do cilindro por unidade de tempo?

$$\frac{4\pi R^2 \alpha \gamma}{\mu_0} \quad \frac{4\pi R^2 \beta \delta}{\mu_0} \quad \frac{2\pi R^2 \alpha \gamma}{\mu_0} \quad \frac{\pi R^2 \alpha \delta}{\mu_0} \quad \frac{2\pi R^2 \beta \gamma}{\mu_0}$$

Q. 23 [emPT4a] Um fio de comprimento L_0 e resistência R_0 é esticado de tal forma que seu novo comprimento é $L = 2L_0$. Considerando que a resistividade e o volume do fio não se alteram quando variamos o seu comprimento, qual é o valor da nova resistência R em termos de R_0 ?

$$R = R_0 \quad R = \frac{R_0}{4} \quad R = \frac{R_0}{2} \quad R = 4R_0 \quad R = 2R_0$$

Q. 24 [emPT4b] Um fio de comprimento L_0 e resistência R_0 é esticado de tal forma que seu novo comprimento é $L = 3L_0$. Considerando que a resistividade e o volume do fio não se alteram quando variamos o seu comprimento, qual é o valor da nova resistência R em termos de R_0 ?

$$R = \frac{R_0}{3} \quad R = 9R_0 \quad R = 3R_0 \quad R = \frac{R_0}{9} \quad R = R_0$$

Q. 25 [emPT5a] Um elétron de massa m_e é lançado com uma velocidade inicial de módulo v_0 em direção a um próton mantido fixo no lugar. Se o elétron se encontra inicialmente a uma grande distância do próton, a que distância r do próton a velocidade instantânea do elétron é cinco vezes maior que sua velocidade inicial?

$$r = \frac{1}{8\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{em_e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{48\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{48\pi\epsilon_0} \left(\frac{em_e}{v_0} \right)^2$$

$$r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2$$

Q. 26 [emPT5b] Um elétron de massa m_e é lançado com uma velocidade inicial de módulo v_0 em direção a um próton mantido fixo no lugar. Se o elétron se encontra inicialmente a uma grande distância do próton, a que distância r do próton a energia cinética do elétron é três vezes maior que sua energia cinética inicial?

$$r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{em_e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{8\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2 \quad r = \frac{1}{48\pi\epsilon_0 m_e} \left(\frac{e}{v_0} \right)^2$$

$$r = \frac{1}{48\pi\epsilon_0} \left(\frac{em_e}{v_0} \right)^2$$

Q. 27 [emPT6a] Duas cascas esféricas concêntricas, a primeira com densidade superficial de cargas σ_1 e a segunda com σ_2 , tem raios r_1 e $r_2 = 3r_1$, respectivamente. Determine o módulo do campo elétrico E gerado por estas duas cascas a uma distância $r = 2r_1$ do centro das cascas.

$$E = \frac{\sigma_1}{4\epsilon_0} \quad E = 0 \quad E = \frac{5\sigma_1 + \sigma_2}{2\epsilon_0} \quad E = \frac{\sigma_1 + 9\sigma_2}{4\epsilon_0} \quad E = \frac{2\sigma_1 + \sigma_2}{5\epsilon_0}$$

CATALOG

Q. 28 [emPT6b] Duas cascas esféricas concêntricas, a primeira com densidade superficial de cargas σ_1 e a segunda com σ_2 , tem raios r_1 e $r_2 = 2r_1$, respectivamente. Determine o módulo do campo elétrico E gerado por estas duas cascas a uma distância $r = 3r_1$ do centro das cascas.

$$E = \frac{9\sigma_1 + \sigma_2}{5\epsilon_0} \quad E = \frac{5\sigma_1 + \sigma_2}{9\epsilon_0} \quad E = \frac{\sigma_1 + 4\sigma_2}{9\epsilon_0} \quad E = \frac{\sigma_1}{81\epsilon_0} \quad E = 0$$

Q. 29 [emPT7a] Considere um conjunto de dois capacitores em série, com capacidades $C_1 = C$ e $C_2 = 2C$. Nenhum dos capacitores suporta uma diferença de potencial maior que V_0 sem que seus dielétricos se rompam. Dado esse vínculo, qual é a maior energia elétrica U que pode ser armazenada no conjunto de dois capacitores?

$$U = \frac{6}{5}CV_0^2 \quad U = \frac{4}{3}CV_0^2 \quad U = \frac{3}{4}CV_0^2 \quad U = \frac{1}{2}CV_0^2 \quad U = \frac{5}{6}CV_0^2$$

Q. 30 [emPT7b]

Considere um conjunto de dois capacitores em série, com capacidades $C_1 = C$ e $C_2 = 2C$. Nenhum dos capacitores suporta uma diferença de potencial maior que V_0 sem que seus dielétricos se rompam. Dado esse vínculo, qual é a maior diferença de potencial V que pode ser estabelecida entre os terminais do conjunto de dois capacitores?

$$V = \frac{3}{4}V_0 \quad V = \frac{2}{3}V_0 \quad V = \frac{1}{3}V_0 \quad V = \frac{3}{2}V_0 \quad V = 2V_0$$

Q. 31 [emPT8a] Em um circuito RC, temos uma fonte com força eletromotriz \mathcal{E} , um resistor de resistência R e um capacitor de capacidade C . No instante $t = 0$, o circuito é fechado, fazendo com que o capacitor inicialmente descharregado comece a se carregar de acordo com a equação $q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$. Em que instante de tempo a diferença de potencial entre os terminais do capacitor é igual à metade da diferença de potencial entre os terminais do resistor?

$$t = \ln(2)RC \quad t = \ln\left(\frac{1}{2}\right)RC \quad t = \ln\left(\frac{2}{3}\right)RC \quad t = \ln\left(\frac{3}{2}\right)RC \quad t = \ln\left(\frac{1}{4}\right)RC$$

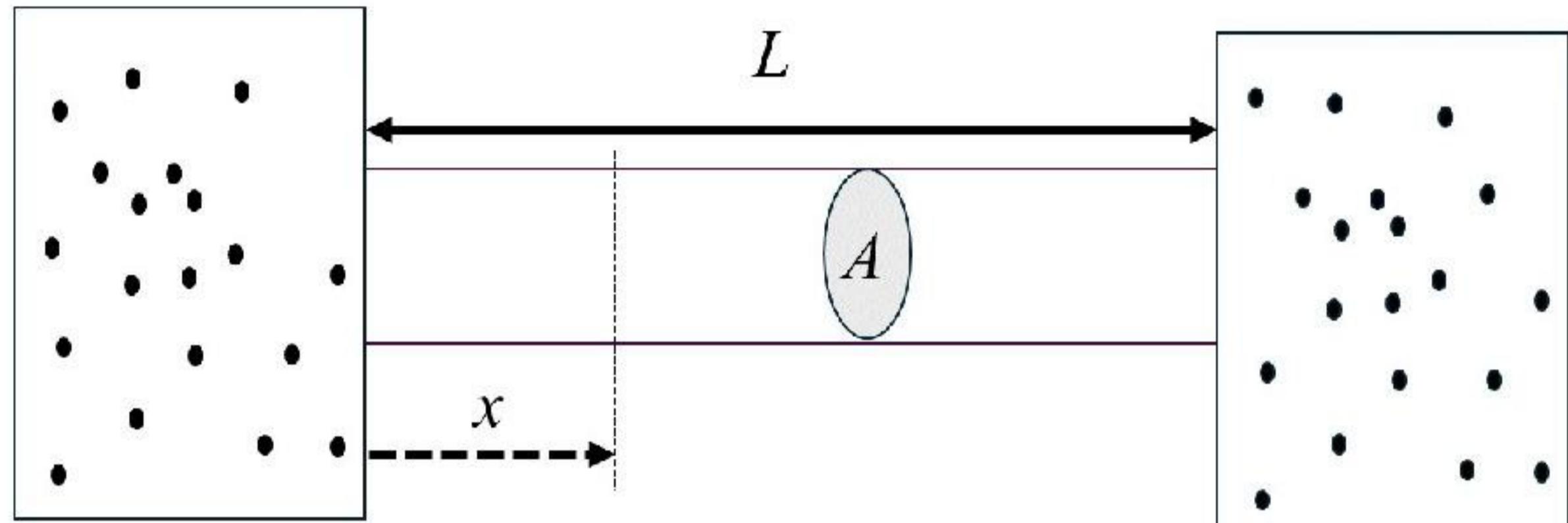
Q. 32 [emPT8b] Em um circuito RC, temos uma fonte com força eletromotriz \mathcal{E} , um resistor de resistência R e um capacitor de capacidade C . No instante $t = 0$, o circuito é fechado, fazendo com que o capacitor inicialmente descharregado comece a se carregar de acordo com a equação $q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$. Em que instante de tempo a diferença de potencial entre os terminais do capacitor é igual à diferença de potencial entre os terminais do resistor?

$$t = \ln(2)RC \quad t = \ln\left(\frac{1}{4}\right)RC \quad t = RC \quad t = \ln\left(\frac{1}{2}\right)RC \quad t = \ln\left(\frac{2}{3}\right)RC$$

Q. 33 [tePT1a] Sabe-se que a transferência de energia entre as partes adjacentes de um corpo, em consequência da diferença entre suas temperaturas, ocorre da parte mais quente para a mais fria. Considere então uma barra cilíndrica e homogênea disposta entre dois reservatórios térmicos, cada um deles contendo um mol de gás ideal. O primeiro sustenta uma pressão $p_1 = p_0$ e possui volume $V_1 = V_0$, enquanto o outro sustenta uma pressão $p_2 = 2p_0$ e possui volume $V_2 = 3V_0$, conforme a figura abaixo:

$$p_2 = 2p_0, V_2 = 3V_0$$

$$p_1 = p_0, V_1 = V_0$$



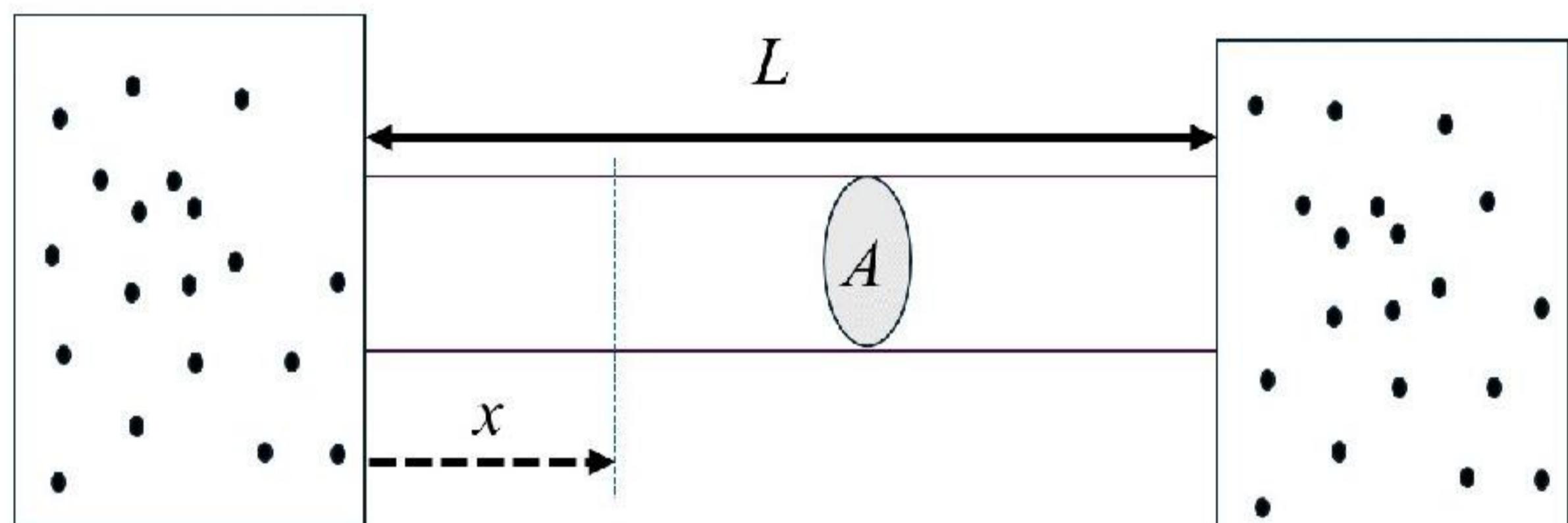
No estado estacionário, sabe-se que, nesse caso, a taxa de transferência de calor, dQ/dt , não deve depender de x , a variável de posição indicada na figura. Portanto, a temperatura deve depender linearmente de x , segundo uma expressão dada por:

$$\frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{5}{L}x + 6 \right) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} x \cdot \frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{5}{L}x + 3 \right) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} (x+1) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{7}{L}x + 8 \right).$$

Q. 34 [tePT1b] Sabe-se que a transferência de energia entre as partes adjacentes de um corpo, em consequência da diferença entre suas temperaturas, ocorre da parte mais quente para a mais fria. Considere então uma barra cilíndrica e homogênea disposta entre dois reservatórios térmicos, cada um deles contendo um mol de gás ideal. O primeiro sustenta uma pressão $p_1 = p_0$ e possui volume $V_1 = V_0$, enquanto o outro sustenta uma pressão $p_2 = 4p_0$ e possui volume $V_2 = 2V_0$, conforme a figura abaixo:

$$p_2 = 4p_0, V_2 = 2V_0$$

$$p_1 = p_0, V_1 = V_0$$



No estado estacionário, sabe-se que, nesse caso, a taxa de transferência de calor, dQ/dt , não deve depender de x , a variável de posição indicada na figura. Portanto, a temperatura deve depender linearmente de x , segundo uma expressão dada por:

$$\frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{5}{L}x + 6 \right) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} x \cdot \frac{p_0 V_0}{R} (x+1) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{7}{L}x + 8 \right) \cdot \frac{p_0 V_0}{R} \left(-\frac{7}{L}x + 7 \right).$$

Q. 35 [tePT2a] Uma bola de ferro cai de uma altura h , a partir do repouso, sobre uma superfície de concreto. Após o primeiro impacto, a bola é lançada de volta a uma altura de $\frac{h}{2}$. Suponha que toda a energia mecânica perdida após o primeiro impacto com o chão seja transformada em energia interna da bola. Dado o calor específico do ferro c_F e a aceleração gravitacional local g , determine o aumento de temperatura da bola após a primeira colisão.

$$\Delta T = \frac{gh}{c_F} \quad \Delta T = \frac{2gh}{3c_F} \quad \Delta T = \frac{gh}{2c_F} \quad \Delta T = \frac{c_F}{2gh} \quad \Delta T = \frac{gh}{3c_F}$$

CATALOG

Q. 36 [tePT2b] Uma bola de ferro cai de uma altura h , a partir do repouso, sobre uma superfície de concreto. Após o primeiro impacto, a bola é lançada de volta a uma altura de $\frac{h}{3}$. Suponha que toda a energia mecânica perdida após o primeiro impacto com o chão seja transformada em energia interna da bola. Dado o calor específico do ferro c_F e a aceleração gravitacional local g , determine o aumento de temperatura da bola após a primeira colisão.

$$\Delta T = \frac{gh}{c_F} \quad \Delta T = \frac{gh}{2c_F} \quad \Delta T = \frac{3c_F}{2gh} \quad \Delta T = \frac{2gh}{3c_F} \quad \Delta T = \frac{gh}{2c_F}$$

Q. 37 [tePT3a] O motor de um refrigerador fornece uma potência de 100 watts. Lembre-se de que coeficiente de desempenho de um refrigerador é sempre medido com a razão do calor extraído da fonte fria pelo trabalho fornecido pelo motor desse refrigerador. Considerando que o congelador do refrigerador está a uma temperatura de 270 K e o ar ambiente está a uma temperatura de 300 K, e supondo um coeficiente de desempenho ideal, qual é a quantidade máxima de calor que pode ser extraída do congelador em um intervalo de tempo de $\Delta t = 10$ min?

$$5,4 \times 10^5 \text{ J} \quad 2,6 \times 10^7 \text{ J} \quad 5,2 \times 10^6 \text{ J} \quad 2,7 \times 10^5 \text{ J} \quad 1,6 \times 10^5 \text{ J}$$

Q. 38 [tePT3b] O motor de um refrigerador fornece uma potência de 50 watts. Lembre-se de que coeficiente de desempenho de um refrigerador é sempre medido com a razão do calor extraído da fonte fria pelo trabalho fornecido pelo motor desse refrigerador. Considerando que o congelador do refrigerador está a uma temperatura de 270 K e o ar ambiente está a uma temperatura de 300 K, e supondo um coeficiente de desempenho ideal, qual é a quantidade máxima de calor que pode ser extraída do congelador em um intervalo de tempo de $\Delta t = 10$ min?

$$2,7 \times 10^5 \text{ J} \quad 1,3 \times 10^7 \text{ J} \quad 2,4 \times 10^6 \text{ J} \quad 8,0 \times 10^6 \text{ J} \quad 5,4 \times 10^5 \text{ J}$$

Q. 39 [tePT4a] Considere duas porções do mesmo líquido com a mesma massa m , mas com temperaturas diferentes T e $2T$. As duas porções são misturadas e a mistura é mantida termicamente isolada. O calor específico do líquido é constante e dado por c . O sistema atinge o equilíbrio. A variação de entropia neste processo é dada por:

$$\Delta S = mc \ln\left(\frac{5}{4}\right). \quad \Delta S = 0. \quad \Delta S = mc \ln\left(\frac{9}{8}\right). \quad \Delta S = mc \ln 2. \quad \Delta S = mc \ln\left(\frac{4}{3}\right).$$

Q. 40 [tePT4b] Considere duas porções do mesmo líquido com a mesma massa m , mas com temperaturas diferentes T e $3T$. As duas porções são misturadas e a mistura é mantida termicamente isolada. O calor específico do líquido é constante e dado por c . O sistema atinge o equilíbrio. A variação de entropia neste processo é dada por:

$$\Delta S = 0. \quad \Delta S = mc \ln\left(\frac{5}{4}\right). \quad \Delta S = mc \ln\left(\frac{9}{8}\right). \quad \Delta S = mc \ln\left(\frac{4}{3}\right). \quad \Delta S = mc \ln 2.$$

Q. 41 [fmPT1a]

Em um referencial inercial, a força resultante sobre uma partícula de massa de repouso m é $\mathbf{F} = At\hat{x}$, onde A é uma constante. Se o momento inicial da partícula nesse referencial é nulo, qual é a sua velocidade medida no tempo t nesse mesmo referencial?

$$\frac{At^2 c}{\sqrt{4m^2 c^2 + 2A^2 t^4}} \hat{x} \quad \frac{At^2 c}{\sqrt{m^2 c^2 + A^2 t^4}} \hat{x} \quad \frac{At^2 c}{\sqrt{2m^2 c^2 + A^2 t^4}} \hat{x} \quad \frac{At^2 c}{\sqrt{4m^2 c^2 + A^2 t^4}} \hat{x} \quad \frac{2At^2 c}{\sqrt{m^2 c^2 + 4A^2 t^4}} \hat{x}$$

CATALOG

Q. 42 [fmPT1b]

Em um referencial inercial, a força resultante sobre uma partícula de massa de repouso m é $\mathbf{F} = At^2\hat{x}$, onde A é uma constante. Se o momento inicial da partícula nesse referencial é nulo, qual é a sua velocidade medida no tempo t nesse mesmo referencial?

$$\frac{At^3c}{\sqrt{9m^2c^2 + A^2t^6}}\hat{x} \quad \frac{At^3c}{\sqrt{9m^2c^2 + 3A^2t^6}}\hat{x} \quad \frac{At^3c}{\sqrt{m^2c^2 + A^2t^6}}\hat{x} \quad \frac{At^3c}{\sqrt{m^2c^2 + 3A^2t^6}}\hat{x} \quad \frac{3At^3c}{\sqrt{m^2c^2 + 9A^2t^6}}\hat{x}$$

Q. 43 [fmPT2a]

Uma molécula diatômica é formada por dois átomos idênticos cujos núcleos, de massa m , estão separados por uma distância d . A energia necessária para levar a molécula do estado fundamental para o primeiro estado excitado rotacional é:

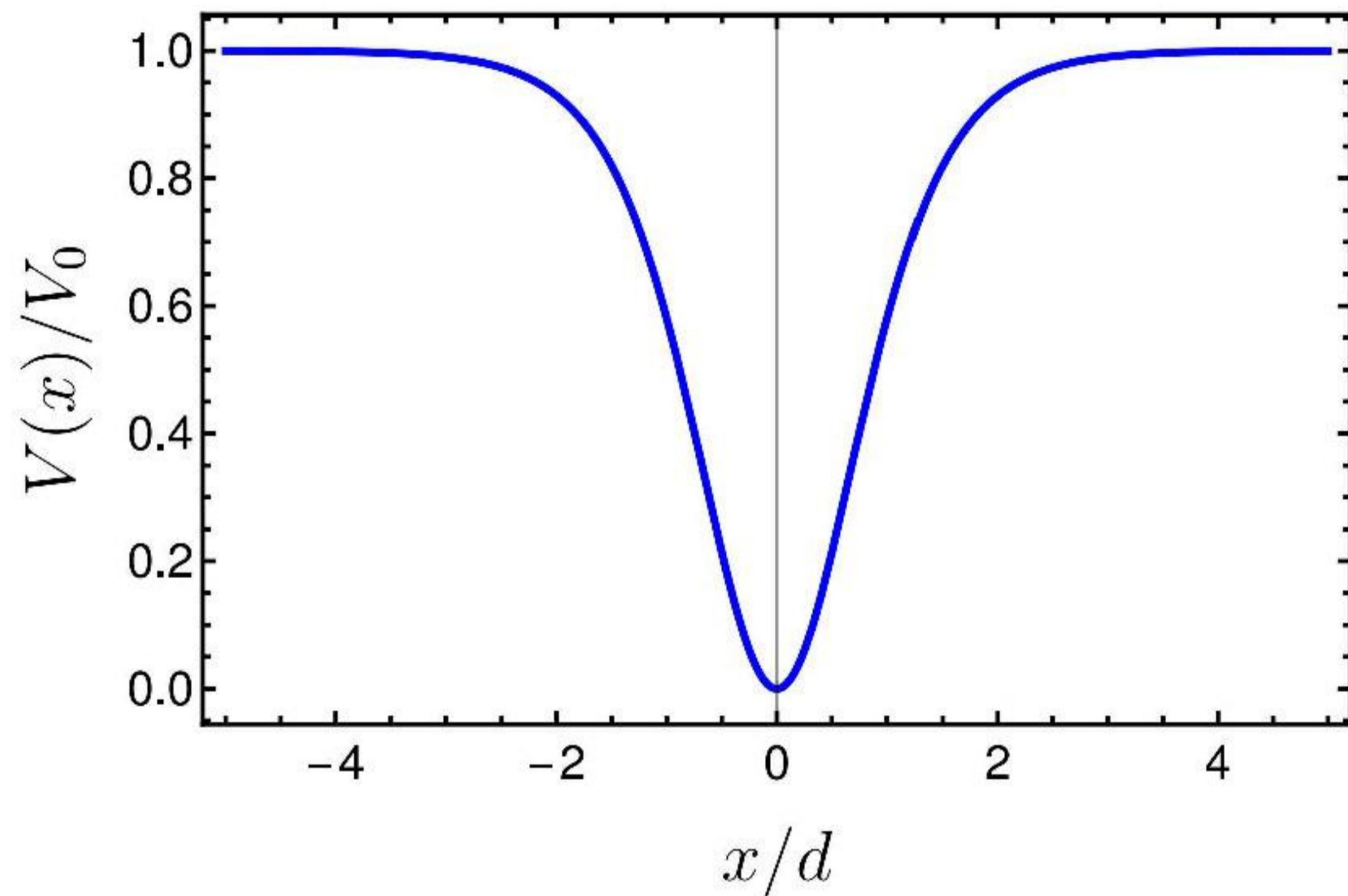
$$\frac{2\hbar^2}{md^2}, \quad \frac{\hbar^2}{2md^2}, \quad \frac{2\pi^2\hbar^2}{md^2}, \quad \frac{4\pi^2\hbar^2}{md^2}, \quad \frac{\hbar^2}{md^2}.$$

Q. 44 [fmPT2b]

Uma molécula diatômica é composta por dois átomos iguais, cada um de massa m . A energia necessária para levar a molécula do estado fundamental para o primeiro estado excitado rotacional é \mathcal{E} . Qual é a distância média entre os núcleos dos átomos dessa molécula?

$$\sqrt{\frac{2\pi^2\hbar^2}{m\mathcal{E}}}, \quad \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m\mathcal{E}}}, \quad \sqrt{\frac{\hbar^2}{m\mathcal{E}}}, \quad \sqrt{\frac{4\pi^2\hbar^2}{m\mathcal{E}}}, \quad \sqrt{\frac{2\hbar^2}{m\mathcal{E}}}$$

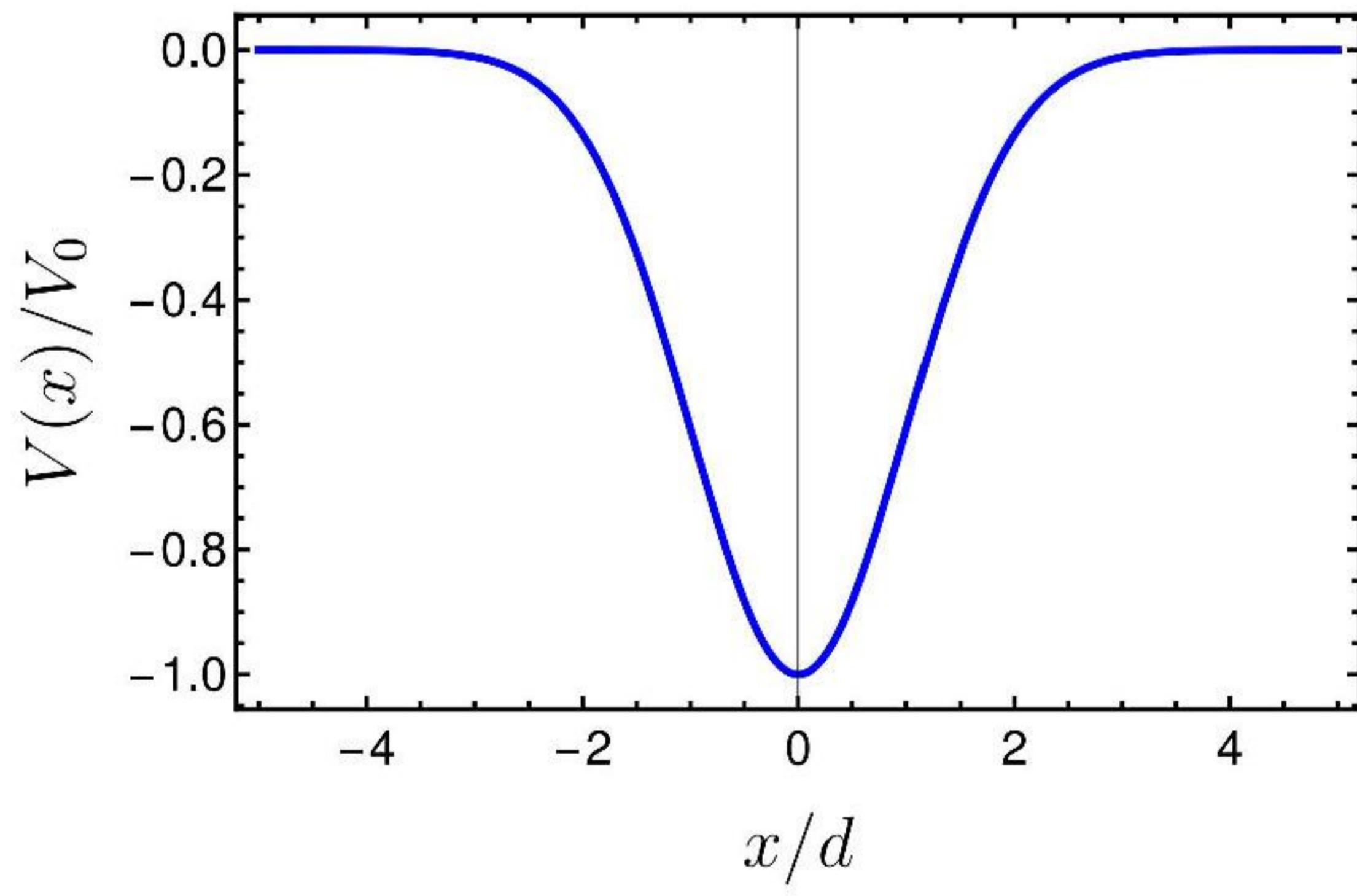
Q. 45 [fmPT3a]



Uma partícula de massa m está sujeita ao potencial unidimensional $V(x) = V_0 \tanh^2(x/d)$ (ilustrado ao lado), onde V_0 e d são constantes positivas. Para V_0 suficientemente grande, a diferença de energia entre os dois estados ligados de mais baixa energia é aproximadamente igual a:

$$\frac{2\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{\hbar}{2d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{2m}}, \quad \frac{\hbar}{d}\sqrt{\frac{2V_0}{m}}.$$

Q. 46 [fmPT3b]



Uma partícula de massa m está sujeita ao potencial unidimensional $V(x) = -V_0 \exp\left(-\frac{x^2}{2d^2}\right)$ (ilustrado ao lado), onde V_0 e d são constantes positivas. Para V_0 suficientemente grande, a diferença de energia entre os dois estados ligados de mais baixa energia é aproximadamente igual a:

$$\frac{\hbar}{2d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{\hbar}{4d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{2\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{4\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}, \quad \frac{\hbar}{d}\sqrt{\frac{V_0}{m}}.$$

CATALOG

Q. 47 [fmPT4a]

Um planeta descreve uma órbita circular de raio R em torno de uma estrela cuja potência irradiada é P . Suponha que o planeta possa ser tratado aproximadamente como um corpo negro de formato esférico em equilíbrio térmico. Sendo k_B a constante de Boltzmann e σ a constante de Stefan–Boltzmann, a temperatura desse planeta é:

$$\frac{P}{4\pi k_B R^2} \cdot \frac{P}{\pi k_B R^2} \cdot \frac{4P}{\pi k_B R^2} \cdot \left(\frac{P}{16\pi\sigma R^2}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{P}{\pi\sigma R^2}\right)^{\frac{1}{4}}.$$

Q. 48 [fmPT4b]

Um planeta cuja temperatura média é T descreve uma órbita circular de raio R em torno de uma estrela. Suponha que o planeta possa ser tratado aproximadamente como um corpo negro de formato esférico em equilíbrio térmico. Sendo k_B a constante de Boltzmann e σ a constante de Stefan–Boltzmann, a potência irradiada pela estrela é:

$$\pi\sigma R^2 T^4 \cdot 4\pi R^2 k_B T \cdot \pi R^2 k_B T \cdot \frac{\pi}{4} R^2 k_B T \cdot 16\pi\sigma R^2 T^4.$$

Q. 49 [fmPT5a] Em um experimento de efeito fotoelétrico, uma superfície metálica é iluminada com luz verde ($\lambda_1 = 500$ nm). Os elétrons ejetados são freados totalmente quando um potencial de 0,48 V é aplicado. Ao fazermos incidir luz violeta ($\lambda_2 = 400$ nm), o potencial necessário para frear totalmente os elétrons é:

$$2,0 \text{ V.} \quad 1,1 \text{ V.} \quad 0,62 \text{ V.} \quad 3,1 \text{ V.} \quad 0,48 \text{ V.}$$

Q. 50 [fmPT5b] Em um experimento de efeito fotoelétrico, uma superfície metálica é iluminada com luz verde ($\lambda_1 = 500$ nm). Os elétrons ejetados são freados totalmente quando um potencial de 0,48 V é aplicado. Ao fazermos incidir luz laranja ($\lambda_2 = 600$ nm), o potencial necessário para frear totalmente os elétrons é, com um algarismo significativo:

$$3 \text{ V.} \quad 0,07 \text{ V.} \quad 0,2 \text{ V.} \quad 0,4 \text{ V.} \quad 2 \text{ V.}$$

Q. 51 [fmPT6a] Considere que o objetivo de um certo microscópio seja atingir uma resolução suficiente para “enxergar” um átomo. Comparando microscópios eletrônicos e ópticos que utilizam o mesmo comprimento de onda λ , a razão entre as energias dos elétrons e dos fótons para obter a resolução desejada, em termos das constantes universais h (a constante de Planck), m_e (a massa do elétron) e c (a velocidade da luz no vácuo), é:

$$\left(\frac{hc}{m_e}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \left(\frac{h}{2m_e c}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \left(\frac{2m_e h}{c}\right) \lambda \cdot \left(\frac{h}{m_e c}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \left(\frac{m_e}{hc}\right) \lambda.$$

Q. 52 [fmPT6b] Considere que o objetivo de um certo microscópio seja atingir uma resolução suficiente para “enxergar” um átomo. Comparando microscópios eletrônicos e ópticos que utilizam o mesmo comprimento de onda λ , a razão entre as energias dos fótons e dos elétrons para obter a resolução desejada, em termos das constantes universais h (a constante de Planck), m_e (a massa do elétron) e c (a velocidade da luz no vácuo), é:

$$\left(\frac{c}{2m_e h}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \left(\frac{m_e c}{h}\right) \lambda \cdot \left(\frac{hc}{m_e}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \left(\frac{2m_e c}{h}\right) \lambda \cdot \left(\frac{m_e}{hc}\right) \lambda.$$

CATALOG

Q. 53 [fmPT7a] Em um acelerador de partículas, estuda-se a colisão frontal de duas partículas idênticas. No referencial do laboratório, as partículas movem-se em sentidos opostos com velocidades de módulo $0,50c$. No referencial de uma das partículas, o módulo da velocidade com que a outra partícula se aproxima é:

- 0,80c. 0,38c. 0,55c. 0,69. 0,88c.

Q. 54 [fmPT7b] Em um acelerador de partículas, estuda-se a colisão frontal de duas partículas idênticas. No referencial do laboratório, as partículas movem-se em sentidos opostos com velocidades de módulo $0,30c$. No referencial de uma das partículas, o módulo da velocidade com que a outra partícula se aproxima é:

- 0,69. 0,80c. 0,55c. 0,38c. 0,88c.

Q. 55 [fmPT8a] O olho humano é um sensor ótico extremamente sensível a fôtons da região do espectro visível. Tipicamente, a retina pode absorver uma potência luminosa de aproximadamente $4 \cdot 10^{-17} \text{ W}$ em um comprimento de onda de 500 nm. Isto quer dizer que a retina absorve em torno de:

- 100 fôtons por segundo. C $6 \cdot 10^{20}$ fôtons por segundo. D 6000 fôtons por segundo.
 10^{13} fôtons por segundo. E 200 fôtons por segundo.

Q. 56 [fmPT8b] O olho humano é um sensor ótico extremamente sensível a fôtons da região do espectro visível. Considere que a retina possa absorver em torno de 50 fôtons de comprimento de onda 450 nm por segundo. Isso quer dizer que a retina absorve uma potência luminosa de aproximadamente:

- $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ W}$. $2,2 \cdot 10^{-17} \text{ W}$. 225 W . $4,0 \cdot 10^{-15} \text{ W}$. $7,8 \cdot 10^{-17} \text{ W}$.

Q. 57 [mqPT1a] O Hamiltoniano de um elétron em um campo magnético uniforme pode ter a seguinte representação matricial:

$$\mathcal{H} = b \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

onde $b = -\hbar\gamma B/2$, γ é a razão giromagnética do elétron e B é a intensidade do campo magnético. Das alternativas abaixo, indique a verdadeira.

Os autovalores de energia são $\pm b/2$, com $-b/2$ correspondente ao autoestado de \mathcal{H} no qual o spin do elétron está perpendicular ao campo magnético e $+b/2$ àquele no qual o spin do elétron está paralelo ao campo magnético.

Os autovalores de energia são $\pm b$, correspondentes a autoestados de \mathcal{H} nos quais o spin do elétron está alinhado ou oposto ao campo magnético.

Os dois autoestados de \mathcal{H} , um no qual o spin do elétron está oposto ao campo magnético e o outro no qual o spin do elétron está alinhado com o campo magnético, possuem autovalores de energia degenerados, iguais a b .

Os autovalores de energia são $\pm b$, com $-b$ correspondente ao autoestado de \mathcal{H} no qual o spin do elétron está perpendicular ao campo magnético e $+b$ àquele no qual o spin do elétron está paralelo ao campo magnético.

Os autovalores de energia são $\pm b/2$, correspondentes a autoestados de \mathcal{H} nos quais o spin do elétron está alinhado ou oposto ao campo magnético.

CATALOG

Q. 58 [mqPT1b] O Hamiltoniano de um elétron em um campo magnético uniforme pode ter a seguinte representação matricial:

$$\mathcal{H} = \hbar c \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde $c = -\gamma B/2$, γ é a razão giromagnética do elétron e B é a intensidade do campo magnético.
Das alternativas abaixo, indique a verdadeira.

Os autovalores de energia são $\pm \hbar c/2$, correspondentes a autoestados de \mathcal{H} nos quais o spin do elétron está alinhado ou oposto ao campo magnético.

Os autovalores de energia são $\pm \hbar c$, com $-\hbar c$ correspondente ao autoestado de \mathcal{H} no qual o spin do elétron está perpendicular ao campo magnético e $+\hbar c$ àquele no qual o spin do elétron está paralelo ao campo magnético.

Os dois autoestados de \mathcal{H} , um no qual o spin do elétron está oposto ao campo magnético e o outro no qual o spin do elétron está alinhado com o campo magnético, possuem autovalores de energia degenerados, iguais a $\hbar c$.

Os autovalores de energia são $\pm \hbar c/2$, com $-\hbar c/2$ correspondente ao autoestado de \mathcal{H} no qual o spin do elétron está perpendicular ao campo magnético e $+\hbar c/2$ àquele no qual o spin do elétron está paralelo ao campo magnético.

Os autovalores de energia são $\pm \hbar c$, correspondentes a autoestados de \mathcal{H} nos quais o spin do elétron está alinhado ou oposto ao campo magnético.

Q. 59 [mqPT2a] Sendo V para afirmativa verdadeira e F para afirmativa falsa, indique a sequência correspondente às afirmativas abaixo acerca de partículas quânticas idênticas:

- Em um sistema de partículas quânticas idênticas, a indistinguibilidade das partículas leva à simetrização ou antissimetrização da função de onda do sistema com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) das partículas.
- Partículas quânticas idênticas são distinguíveis sendo possível identificar as coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) de cada partícula na função de onda do sistema de partículas quânticas idênticas.
- O princípio de exclusão de Pauli decorre da antissimetria da função de onda de um sistema de férmons idênticos com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) dos férmons na dita função de onda.
- A condensação de Bose-Einstein decorre da antissimetria da função de onda de um sistema de férmons idênticos com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) dos férmons na dita função de onda.

V, F, V, F. V, F, F, F. V, F, F, V. V, F, V, V. F, F, V, F.

CATALOG

Q. 60 [mqPT2b] Sendo V para afirmativa verdadeira e F para afirmativa falsa, indique a sequência correspondente às afirmativas abaixo acerca de partículas quânticas idênticas:

- Uma vez que partículas quânticas idênticas são distinguíveis não é necessário simetrizar ou antissimetrizar a função de onda de um sistema de partículas quânticas idênticas com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) das partículas.
- Partículas quânticas idênticas são indistinguíveis não sendo possível identificar as coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) de cada partícula na função de onda de um sistema de partículas quânticas idênticas.
- O princípio de exclusão de Pauli decorre da simetria da função de onda de um sistema de bósons idênticos com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) dos bósons na dita função de onda.
- A condensação de Bose-Einstein decorre da simetria da função de onda de um sistema bósons idênticos com relação à permutação das coordenadas (incluindo possíveis índices de spin) dos bósons na dita função de onda.

V, V, F, F. F, V, F, V. F, F, F, V. F, V, F, F. F, V, V, F.

Q. 61 [mqPT3a] As matrizes S_x , S_y e S_z que representam as componentes do spin de um elétron ao longo dos eixos x , y e z na representação em que S_z é diagonal são, respectivamente,

$$S_x = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad S_y = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Considere um estado de spin de um elétron dado por $|\chi\rangle = a|\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle$, onde a e b são números complexos, e os vetores ortonormais que constituem a base de estados empregada,

$$|\uparrow\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad |\downarrow\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

são os autoestados de S_z com autovalores $\pm\hbar/2$, respectivamente. Sendo $\text{Re}(z)$ a parte real do número complexo z , os valores esperados do spin do elétron no estado $|\chi\rangle$ ao longo dos eixos z e x são, respectivamente:
 $\frac{\hbar}{2}(|b|^2 - |a|^2)$ e $-\hbar\text{Re}(ab^*)$ $\frac{\hbar}{2}(|a|^2 + |b|^2)$ e $+\hbar\text{Re}(ab^*)$ $\frac{\hbar}{2}(|a|^2 - |b|^2)$ e $-\hbar\text{Re}(ab^*)$
 $\frac{\hbar}{2}(|b|^2 - |a|^2)$ e $+\hbar\text{Re}(ab^*)$ $\frac{\hbar}{2}(|a|^2 - |b|^2)$ e $+\hbar\text{Re}(ab^*)$

CATALOG

Q. 62 [mqPT3b] As matrizes S_x , S_y e S_z que representam as componentes do spin de um elétron ao longo dos eixos x , y e z na representação em que S_z é diagonal são, respectivamente,

$$S_x = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad S_y = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Considere um estado de spin de um elétron dado por $|\chi\rangle = a|\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle$, onde a e b são números complexos, e os vetores ortonormais que constituem a base de estados empregada,

$$|\uparrow\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad |\downarrow\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

são os autoestados de S_z com autovalores $\pm\hbar/2$, respectivamente. Sendo $\text{Im}(z)$ a parte imaginária do número complexo z , os valores esperados do spin do elétron no estado $|\chi\rangle$ ao longo dos eixos z e "respectivamente" são:

$$\begin{aligned} & \frac{\hbar}{2}(|a|^2 - |b|^2) \quad \text{e} \quad -\hbar \text{Im}(ab^*) \quad \frac{\hbar}{2}(|b|^2 - |a|^2) \quad \text{e} \quad -\hbar \text{Im}(ab^*) \quad \frac{\hbar}{2}(|b|^2 - |a|^2) \quad \text{e} \quad +\hbar \text{Im}(ab^*) \\ & \frac{\hbar}{2}(|a|^2 - |b|^2) \quad \text{e} \quad +\hbar \text{Im}(ab^*) \quad \frac{\hbar}{2}(|a|^2 + |b|^2) \quad \text{e} \quad +\hbar \text{Im}(ab^*) \end{aligned}$$

Q. 63 [mqPT4a] O operador Hamiltoniano de um oscilador harmônico quântico é dado por $H = \hbar\omega(a^\dagger a + 1/2)$, com $a^\dagger a|n\rangle = n|n\rangle$ e $|n\rangle$ o autoestado de H referente ao n -ésimo nível de energia do oscilador. Seja $|\psi\rangle = \sqrt{0,4}|2\rangle + \sqrt{0,6}|3\rangle$ o estado de sobreposição normalizado de um dado oscilador em um dado instante de tempo. O valor esperado da energia desse oscilador é

$2,0\hbar\omega^2.$ $3,1\hbar\omega^2.$ $\hbar\omega.$ $2,0\hbar\omega.$ $3,1\hbar\omega.$

Q. 64 [mqPT4b] O operador Hamiltoniano de um oscilador harmônico quântico é dado por $H = \hbar\omega(a^\dagger a + 1/2)$, com $a^\dagger a|n\rangle = n|n\rangle$ e $|n\rangle$ o autoestado de H referente ao n -ésimo nível de energia do oscilador. Seja $|\psi\rangle = \sqrt{0,3}|2\rangle + \sqrt{0,7}|3\rangle$ o estado de sobreposição normalizado de um dado oscilador em um dado instante de tempo. O valor esperado da energia desse oscilador é

$3,2\hbar\omega^2.$ $3,2\hbar\omega.$ $0,5\hbar\omega.$ $\hbar\omega.$ $0,5\hbar\omega^2.$

Q. 65 [mqPT5a] A determinação do estado de spin dos elétrons de um feixe pode ser feita através de aparelhos do tipo Stern–Gerlach, que separam o feixe de acordo com a componente de spin ao longo da direção definida pelo campo magnético no interior do aparelho. Suponha uma montagem sequencial de três desses aparelhos. O primeiro mede a componente z do spin e o valor $\hbar/2$ é obtido. O segundo mede a componente y do spin e retorna $-\hbar/2$. Se terceiro aparelho medir a componente x do spin, qual é a probabilidade de obtermos o valor $\hbar/2$?

$1 \quad 0 \quad 3/4 \quad 1/4 \quad 1/2$

Q. 66 [mqPT5b] A determinação do estado de spin dos elétrons de um feixe pode ser feita através de aparelhos do tipo Stern–Gerlach, que separam o feixe de acordo com a componente de spin ao longo da direção definida pelo campo magnético no interior do aparelho. Suponha uma montagem sequencial de três desses aparelhos. O primeiro mede a componente z do spin e o valor $-\hbar/2$ é obtido. O segundo mede a componente x do spin e retorna $\hbar/2$. Se terceiro aparelho medir a componente y do spin, qual é a probabilidade de obtermos o valor $-\hbar/2$?

$3/4 \quad 1/2 \quad 0 \quad 1/4 \quad 1$

CATALOG

Q. 67 [mqPT6a] Considere uma partícula de massa m movendo-se em uma dimensão sob a ação de um potencial do tipo poço infinito,

$$V(x) = \begin{cases} 0, & |x| < a/2 \\ \infty, & |x| \geq a/2 \end{cases},$$

sendo a uma constante positiva com unidades de distância. A autofunção de energia para o estado fundamental desse problema é dada por

$$\psi_0(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{a}} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right), & |x| < a/2 \\ 0, & |x| \geq a/2 \end{cases}.$$

Suponha que essa partícula esteja no estado fundamental do sistema. Imagine agora que aumentemos instantaneamente a largura do poço para $2a$, mantendo sua forma simétrica com relação à origem. Como esse processo é rápido, a função de onda permanece inalterada. Qual é a probabilidade de encontrarmos a partícula no estado fundamental do novo poço?

Dados: $\int \cos(x) \cos(x/2) dx = \sin(x/2) + \sin(3x/2)/3$.

$$(8/3\pi)^2 \quad 0 \quad (4/3\pi)^2 \quad (4\sqrt{2}/3\pi)^2 \quad 1$$

Q. 68 [mqPT6b] Considere uma partícula de massa m movendo-se em uma dimensão sob a ação de um potencial do tipo poço infinito,

$$V(x) = \begin{cases} 0, & |x| < a/2 \\ \infty, & |x| \geq a/2 \end{cases},$$

sendo a uma constante positiva com unidades de distância. A autofunção de energia para o estado fundamental desse problema é dada por

$$\psi_0(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{a}} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right), & |x| < a/2 \\ 0, & |x| \geq a/2 \end{cases}.$$

Suponha que essa partícula esteja no estado fundamental do sistema. Imagine agora que aumentemos instantaneamente a largura do poço para $3a$, mantendo sua forma simétrica com relação à origem. Como esse processo é rápido, a função de onda permanece inalterada. Qual é a probabilidade de encontrarmos a partícula no estado fundamental do novo poço?

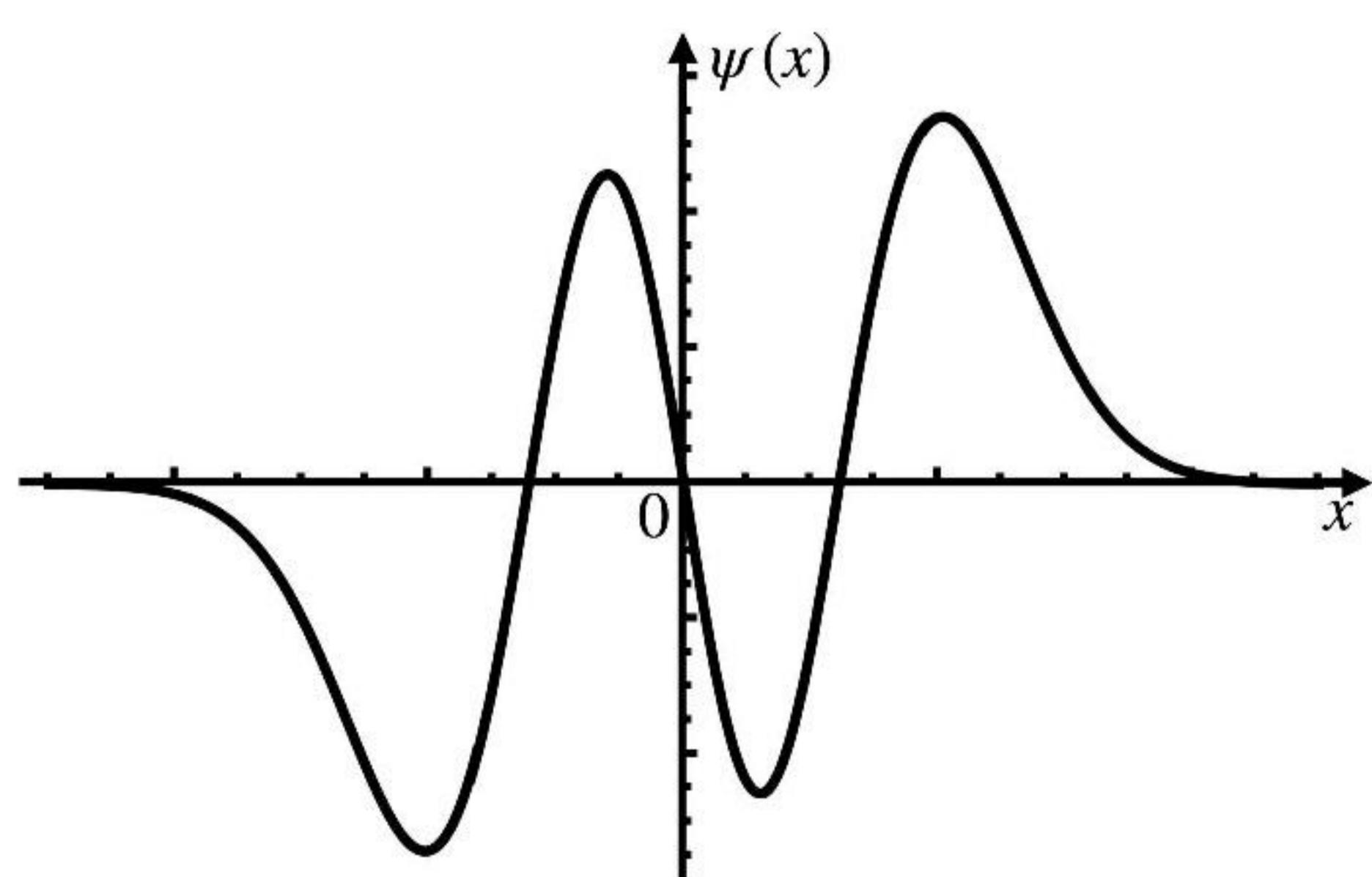
Dados: $\int \cos(x) \cos(x/3) dx = 3 \sin(2x/3)/4 + 3 \sin(4x/3)/8$.

$$(3\sqrt{6}/8\pi)^2 \quad (9\sqrt{6}/8\pi)^2 \quad (\sqrt{6}/8\pi)^2 \quad 1 \quad 0$$

Q. 69 [mqPT7a]

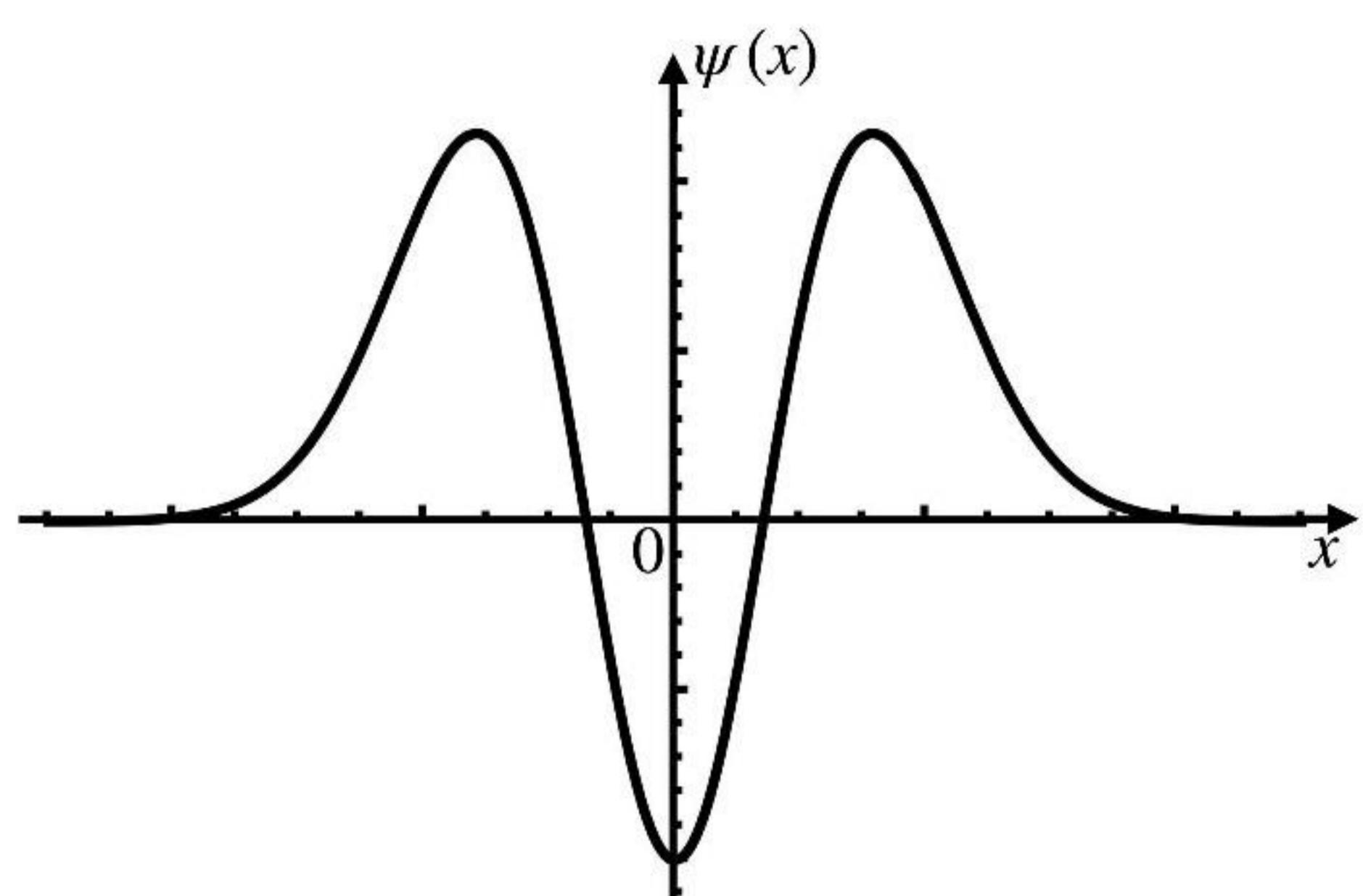
O gráfico abaixo representa a autofunção de energia $\psi(x)$, como função da posição x , de um do estados excitados de um oscilador harmônico simples unidimensional de frequência ω . Qual é a energia desse estado?

$$3\hbar\omega/2 \quad 7\hbar\omega/2 \quad 5\hbar\omega/2 \quad 9\hbar\omega/2 \quad \hbar\omega/2$$



CATALOG

Q. 70 [mqPT7b] O gráfico abaixo representa a autofunção de energia $\psi(x)$, como função da posição x , de um dos estados excitados de um oscilador harmônico simples unidimensional de frequência ω . Qual é a energia desse estado?



$3\hbar\omega/2$ $7\hbar\omega/2$ $9\hbar\omega/2$ $\hbar\omega/2$ $5\hbar\omega/2$

Q. 71 [mqPT8a] Considere uma partícula de spin 1/2 sob a ação de um campo magnético estático e uniforme, cuja orientação define a direção x . Os demais graus de liberdade podem ser considerados “congelados” em um estado quântico definido, de forma que o hamiltoniano relevante envolve apenas a interação do spin com o campo magnético, podendo ser escrito como

$$H = \omega \hat{S}_x,$$

em que \hat{S}_x é componente x do operador de spin e $\omega = Bgq/2m$, sendo q a carga da partícula, m a sua massa, g o seu fator giromagnético e B a intensidade do campo magnético aplicado. Se no tempo $t = 0$ o sistema está em um estado $|\psi(0)\rangle$ com spin para cima, ou seja $\hat{S}_z|\psi(0)\rangle = \hbar/2|\psi(0)\rangle$, qual é o tempo mínimo para o sistema inverter o seu spin?

$\pi/2\omega$ ∞ π/ω $2\pi/\omega$ $\pi/4\omega$

Q. 72 [mqPT8b] Considere uma partícula de spin 1/2 sob a ação de um campo magnético estático e uniforme, cuja orientação define a direção x . Os demais graus de liberdade podem ser considerados “congelados” em um estado quântico definido, de forma que o hamiltoniano relevante envolve apenas a interação do spin com o campo magnético, podendo ser escrito como

$$H = \omega \hat{S}_x,$$

em que \hat{S}_x é componente x do operador de spin e $\omega = Bgq/2m$, sendo q a carga da partícula, m a sua massa, g o seu fator giromagnético e B a intensidade do campo magnético aplicado. Se no tempo $t = 0$ o sistema está em um estado $|\psi(0)\rangle$ com spin para baixo, ou seja $\hat{S}_z|\psi(0)\rangle = -\hbar/2|\psi(0)\rangle$, qual é o tempo mínimo posterior para que o sistema volte a esse estado inicial?

$2\pi/\omega$ π/ω $\pi/4\omega$ $\pi/2\omega$ ∞

Q. 73 [fePT1a] Considere um gás ideal de N partículas clássicas e indistinguíveis em contato com um reservatório térmico à temperatura T e ocupando um volume V . A probabilidade de encontrar $N/3$ moléculas em um volume $V/3$ e as demais moléculas no volume restante é dada por:

$$\left(\frac{1}{3}\right)^{N/3} \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{N!}{\left(\frac{N}{3}\right)!} \left(\frac{1}{3}\right)^{N/3} \cdot \frac{N!}{\left(\frac{N}{3}\right)! \left(\frac{2N}{3}\right)!} \left(\frac{1}{3}\right)^{N/3} \left(\frac{2}{3}\right)^{2N/3} \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{N/3} \left(\frac{2}{3}\right)^{2N/3}.$$

CATALOG

Q. 74 [fePT1b] Considere um gás ideal de N partículas clássicas e indistinguíveis em contato com um reservatório térmico à temperatura T e ocupando um volume V . A probabilidade de encontrar $N/4$ moléculas em um volume $V/4$ e as demais moléculas no volume restante é dada por:

$$\frac{3}{16} \cdot \frac{N!}{\left(\frac{N}{4}\right)! \left(\frac{3N}{4}\right)!} \left(\frac{1}{4}\right)^{N/4} \left(\frac{3}{4}\right)^{3N/4} \cdot \frac{N!}{\left(\frac{N}{4}\right)!} \left(\frac{1}{4}\right)^{N/4} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{N/4} \left(\frac{3}{4}\right)^{3N/4} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{N/4}.$$

Q. 75 [fePT2a] Considere um sistema formado por 5 partículas não interagentes e localizadas, todas em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada partícula é caracterizada pela variável n_i que assume os valores 0 ou 1. A energia do sistema vale $\epsilon(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5)$, sendo $\epsilon > 0$ constante. A probabilidade de que a energia total do sistema seja maior ou igual a 4ϵ é dada por:

$$\frac{1 + 5e^{-\beta\epsilon} + 10e^{-2\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{e^{-4\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{10e^{-3\beta\epsilon} + 5e^{-4\beta\epsilon} + e^{-5\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{5e^{-4\beta\epsilon} + e^{-5\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5}.$$

Q. 76 [fePT2b] Considere um sistema formado por 5 partículas não interagentes e localizadas, todas em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada partícula é caracterizada pela variável n_i que assume os valores 0 ou 1. A energia do sistema vale $\epsilon(n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5)$, sendo $\epsilon > 0$ constante. A probabilidade de que a energia total do sistema seja menor ou igual a ϵ é dada por:

$$\frac{10e^{-3\beta\epsilon} + 5e^{-4\beta\epsilon} + e^{-5\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{1 + 5e^{-\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5} \cdot \frac{1 + 5e^{-\beta\epsilon} + 10e^{-2\beta\epsilon}}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^5}.$$

CATALOG

Q. 77 [fePT3a] Considere um sistema formado por **2 bôsons** idênticos de spin zero e não interagentes, cada um dos quais pode ocupar dois níveis de energia: o estado fundamental, de energia 0, e o estado excitado, de energia ϵ . O sistema está em contato com um reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. A energia média U desse sistema é então dada por:

$$U = \frac{\epsilon(e^{-\beta\epsilon} + 2e^{-2\beta\epsilon})}{1 + e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}. \quad U = \frac{\epsilon(e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon})}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^2}. \quad U = k_B T. \quad U = \frac{\epsilon(e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon})}{1 + e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}. \quad U = \frac{2\epsilon e^{-\beta\epsilon}}{1 + e^{-\beta\epsilon}}.$$

Q. 78 [fePT3b] Considere um sistema formado por **2 férmons** idênticos sem spin e não interagentes. Cada férnion pode ocupar três níveis de energia: o estado fundamental, de energia 0, um primeiro estado excitado, de energia ϵ , e um segundo estado excitado, de energia 2ϵ . O sistema está em contato com um reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. A energia média U desse sistema é então dada por:

$$U = \frac{3\epsilon e^{-\beta\epsilon}}{1 + e^{-\beta\epsilon}}. \quad U = \frac{\epsilon(1 + e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon})}{(1 + e^{-\beta\epsilon})^3}. \quad U = k_B T. \quad U = \frac{\epsilon(1 + 2e^{-\beta\epsilon} + 3e^{-2\beta\epsilon})}{1 + e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}.$$

$$U = \frac{\epsilon(e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon})}{1 + e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}.$$

Q. 79 [fePT4a] Um sistema é formado por N íons magnéticos localizados e não interagentes entre si, em contato com um banho térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada íon tem energia dada por $\epsilon = -\mu_0 h S_i$, onde μ_0 , h e S_i denotam, respectivamente, o magneton de Bohr, a intensidade do campo magnético e a variável de spin, esta última podendo assumir os valores $S_i = \pm 1$. O valor de $\beta\mu_0 h$ em que a magnetização por íon $m = \sum_{i=1}^N \langle S_i \rangle / N$ vale $0,8\mu_0$ é dado por:

$$\beta\mu_0 h = \sinh^{-1}(0,8). \quad \beta\mu_0 h = \tanh^{-1}(0,8). \quad \beta\mu_0 h = -\sinh^{-1}(0,8). \quad \beta\mu_0 h = -\tanh^{-1}(0,8).$$

$$\beta\mu_0 h = \cosh^{-1}(0,8).$$

CATALOG

Q. 80 [fePT4b] Um sistema é formado por N íons magnéticos localizados e não interagentes entre si, em contato com um banho térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada íon tem energia dada por $\epsilon = -\mu_0 h S_i$, onde μ_0 , h e S_i denotam, respectivamente, o magneton de Bohr, a intensidade do campo magnético e a variável de spin, esta última podendo assumir os valores $S_i = \pm 1$. O valor de $\beta\mu_0 h$ em que a magnetização por íon $m = \sum_{i=1}^N \langle S_i \rangle / N$ vale $-0,2\mu_0$ é dado por:

- A $\beta\mu_0 h = -\tanh^{-1}(0,2)$.
- B $\beta\mu_0 h = -\sinh^{-1}(0,2)$.
- C $\beta\mu_0 h = \cosh^{-1}(0,2)$.
- D $\beta\mu_0 h = \tanh^{-1}(0,2)$.
- E $\beta\mu_0 h = \sinh^{-1}(0,2)$.