

12025EUF0000

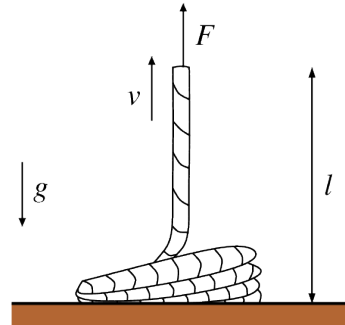
João Ninguém

**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.

## Q. 1 [mcPT1a]

Uma corda inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal é puxada para cima a partir do instante  $t = 0$  por uma força  $F(t)$  tal que a corda sobe com velocidade  $v$  constante, como ilustra a figura. A corda é homogênea, de densidade linear de massa  $\lambda$ , de comprimento total  $L$ , e a aceleração da gravidade é  $g$ . Considere as afirmações abaixo, que se referem à situação em que um comprimento  $l < L$  de corda já foi puxado. Despreze a altura do montante da corda ainda apoiado na superfície.



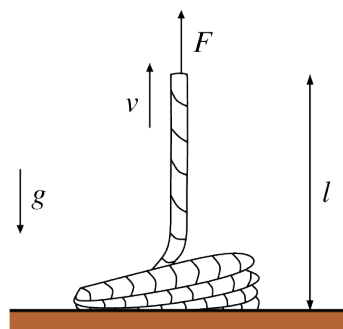
- I. O aumento de energia potencial gravitacional é  $\lambda L g l / 2$ .
- II. A força resultante sobre a corda é constante e igual a  $F_R = \lambda v^2$ .
- III. A força  $F$  cresce linearmente com tempo e é igual a  $F = \lambda l g = \lambda v g t$ .

Assinale a alternativa correta:

- ☒ Apenas a afirmação II é correta.
- ☐ Nenhuma das afirmações é correta.
- ☐ Apenas as afirmações I e II são corretas.
- ☐ Todas as afirmações são corretas.
- ☐ Apenas as afirmações I e III são corretas.

**Q. 2 [mcPT1b]**

Uma corda de massa  $M$ , inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal, é puxada para cima a partir do instante  $t = 0$  por uma força  $F$  tal que a corda sobe com velocidade  $v$  constante, como ilustra a figura. A corda é homogênea, de comprimento total  $L$ , e a aceleração da gravidade é  $g$ . Considere as afirmações abaixo, que se referem à situação em que um comprimento  $l < L$  de corda já foi puxado. Despreze a altura do montante da corda ainda apoiado na superfície.



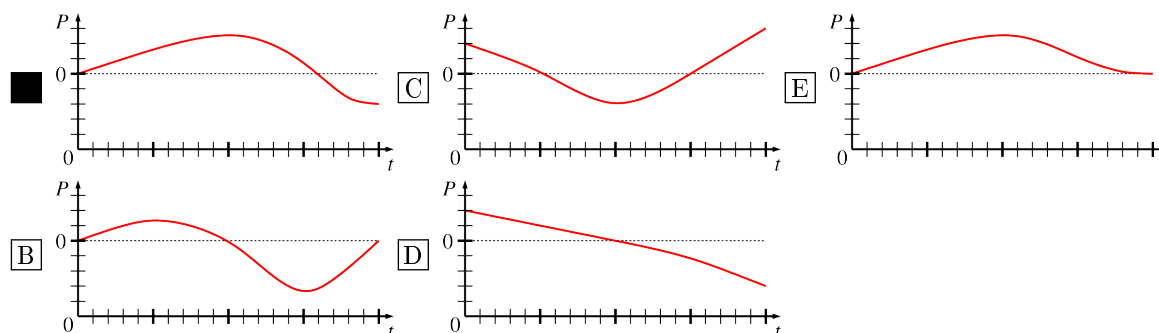
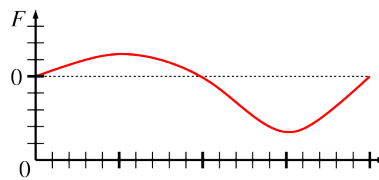
- I. O aumento de energia potencial gravitacional é  $Mgl/2$ .
- II. A força resultante sobre a corda é constante e igual a  $F_R = Mv^2/L$ .
- III. A força  $F$  cresce linearmente com tempo e é igual a  $F = Mlg/L = Mvgt/L$ .

Assinale a alternativa correta:

- ☒ Apenas a afirmação II é correta.
- ☐ Nenhuma das afirmações é correta.
- ☐ Apenas as afirmações I e II são corretas.
- ☐ Todas as afirmações são corretas.
- ☐ Apenas as afirmações I e III são corretas.

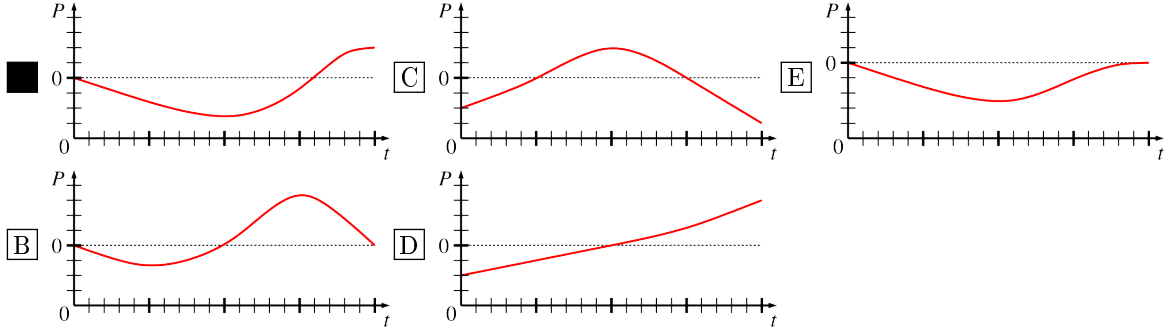
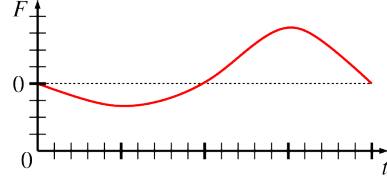
**Q. 3 [mcPT2a]**

Uma partícula confinada a se mover em uma dimensão está sob a ação de uma força resultante  $F$  que varia no tempo conforme indicado no gráfico. Assinale abaixo a alternativa que melhor representa o seu momento  $P$  como função do tempo, dado que inicialmente a partícula se encontrava em repouso.



**Q. 4 [mcPT2b]**

Uma partícula confinada a se mover em uma dimensão está sob a ação de uma força resultante  $F$  que varia no tempo conforme indicado no gráfico. Assinale abaixo a alternativa que melhor representa o seu momento  $P$  como função do tempo, dado que inicialmente a partícula se encontrava em repouso.



**Q. 5 [mcPT3a]** A lagrangiana de um sistema descrito pela coordenada generalizada  $q$  e por sua derivada temporal  $\dot{q}$  é  $\mathcal{L}(\dot{q}, q) = (a\dot{q} + bq)^2$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes. Qual é a hamiltoniana correspondente?

☐  $\mathcal{H} = \frac{p^2}{4a^2} - \frac{bpq}{a}$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} + bq)$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 + \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = \sqrt{a}\dot{q}$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 - \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = \sqrt{a}\dot{q}$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 + \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} + bq)$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{p^2}{4a^2} + \frac{bpq}{a}$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} + bq)$ .

**Q. 6 [mcPT3b]** A lagrangiana de um sistema descrito pela coordenada generalizada  $q$  e por sua derivada temporal  $\dot{q}$  é  $\mathcal{L}(\dot{q}, q) = (a\dot{q} - bq)^2$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes. Qual é a hamiltoniana correspondente?

☐  $\mathcal{H} = \frac{p^2}{4a^2} + \frac{bpq}{a}$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} - bq)$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 + \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = \sqrt{a}\dot{q}$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 - \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = \sqrt{a}\dot{q}$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{1}{2a^2}p^2 + \frac{1}{2}a^2b^4q^2$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} - bq)$ .

☐  $\mathcal{H} = \frac{p^2}{4a^2} - \frac{bpq}{a}$ , onde o momento canônico é  $p = 2a(a\dot{q} - bq)$ .

**Q. 7 [mcPT4a]** As equações de movimento de um sistema de duas partículas acopladas são escritas em forma matricial como

$$\frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = -\omega_0^2 \begin{pmatrix} 5/2 & -3/2 \\ -2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

onde  $x_i(t)$  é a posição da  $i$ -ésima partícula e  $\omega_0$  é uma constante real positiva. Quais são as frequências naturais de vibração do sistema?

☐  $\frac{1}{\sqrt{2}}\omega_0$  e  $2\omega_0$ .

☐  $\frac{3}{2}\omega_0$  e  $2\omega_0$ .

☐  $\frac{2}{3}\omega_0$  e  $\frac{1}{2}\omega_0$ .

☐ 0 e  $\omega_0$ .

☐  $\frac{1}{\sqrt{3}}\omega_0$  e  $\sqrt{\frac{2}{3}}\omega_0$ .

**Q. 8 [mcPT4b]** As equações de movimento de um sistema de duas partículas acopladas são escritas em forma matricial como

$$\frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = -\omega_0^2 \begin{pmatrix} 8/5 & -3/5 \\ -4/5 & 4/5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

onde  $x_i(t)$  é a posição da  $i$ -ésima partícula e  $\omega_0$  é uma constante real positiva. Quais são as frequências naturais de vibração do sistema?

☐  $\sqrt{\frac{2}{5}}\omega_0$  e  $\sqrt{2}\omega_0$ .

☐  $\frac{3}{5}\omega_0$  e  $\frac{4}{5}\omega_0$ .

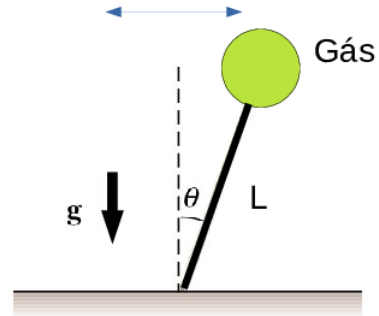
☐  $\frac{5}{3}\omega_0$  e  $\frac{5}{4}\omega_0$ .

☐ 0 e  $\omega_0$ .

☐  $\sqrt{\frac{8}{5}}\omega_0$  e  $\sqrt{\frac{1}{5}}\omega_0$ .

**Q. 9 [mcPT5a]**

Considere um pêndulo invertido formado por um balão de volume  $V$  imerso no ar e preso a um fio inextensível de comprimento  $L$ . O balão está preenchido com hélio. Quando ligeiramente deslocado de sua posição de equilíbrio, o sistema oscila conforme ilustrado na figura. Sabendo que a densidade do hélio é  $\rho_H$  e a densidade do ar é  $\rho_a$ , determine a frequência angular  $\omega_0$  de oscilação do pêndulo. Considere a aceleração da gravidade  $\mathbf{g}$  orientada na direção vertical para baixo, enquanto o empuxo (a força devido ao volume de ar deslocado) é orientado verticalmente para cima. Suponha pequenas oscilações, ou seja,  $\sin \theta \approx \theta$ , e despreze forças dissipativas.



☐  $\omega_0 = \sqrt{(\rho_a/\rho_H - 1)g/L}$

☐  $\omega_0 = \sqrt{(1 - \rho_H/\rho_a)g/L}$

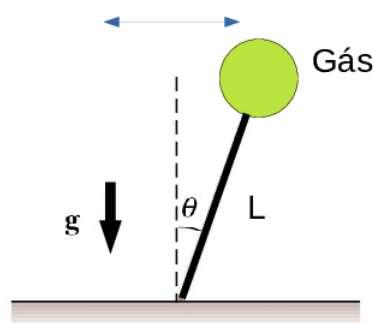
☐  $\omega_0 = \sqrt{(\rho_a/\rho_H)g/L}$

☐  $\omega_0 = \sqrt{(\rho_a/\rho_H - \rho_H/\rho_a)g/L}$

☐  $\omega_0 = \sqrt{g/L}$

**Q. 10 [mcPT5b]**

Considere um pêndulo invertido formado por um balão de volume  $V$  imerso no ar e preso a um fio inextensível de comprimento  $L$ . O balão está preenchido com um gás de densidade desconhecida  $\rho_g$ . Ao ser levemente deslocado de sua posição de equilíbrio, o sistema oscila conforme ilustrado na figura. Sabendo que a densidade do gás é menor que a densidade do ar  $\rho_a$  e que a frequência angular da oscilação é  $\omega_0$ , determine a razão  $\rho_a/\rho_g$ . Considere a aceleração da gravidade  $\mathbf{g}$  orientada na direção vertical para baixo, enquanto o empuxo (a força devido ao volume de ar deslocado) é orientado verticalmente para cima. Suponha pequenas oscilações, ou seja, sen  $\theta \approx \theta$ , e despreze forças dissipativas.



☐  $\frac{\rho_a}{\rho_g} = \frac{\omega_0^2 L}{g} + 1$

☐  $\frac{\rho_a}{\rho_g} = \frac{\omega_0^2 L}{g} - 1$

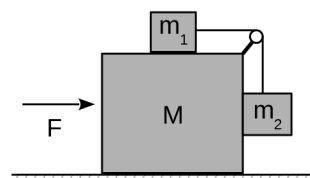
☐  $\frac{\rho_a}{\rho_g} = \frac{\omega_0^2 L}{g}$

☐  $\frac{\rho_a}{\rho_g} = \frac{g}{\omega_0^2 L}$

☐  $\frac{\rho_a}{\rho_g} = 1 - \frac{\omega_0^2 L}{g}$

**Q. 11 [mcPT6a]**

Três blocos, de massas  $M$ ,  $m_1$  e  $m_2$ , estão dispostos conforme ilustrado na figura. Supondo que **NÃO** haja atrito entre quaisquer superfícies, determine o valor do módulo  $F$  da força horizontal que deve ser aplicada ao bloco de massa  $M$  para que não haja movimento relativo entre os blocos. Considere que a aceleração da gravidade tem módulo  $g$  e é orientada verticalmente para baixo.



☐  $F = \frac{m_2}{m_1} (M + m_1 + m_2) g$

☐  $F = (M + m_1 + m_2) g$

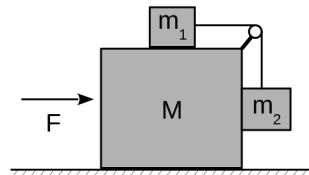
☐  $F = \frac{m_1}{m_2} (M + m_1 + m_2) g$

☐  $F = \frac{m_1}{M} (M + m_1 + m_2) g$

☐  $F = \frac{m_2}{M} (M + m_1 + m_2) g$

**Q. 12 [mcPT6b]**

Três blocos, de massas  $M$ ,  $m_1$  e  $m_2$ , estão submetidos a uma força horizontal de módulo  $F$ , conforme ilustrado na figura. Suponha que **NÃO** haja atrito entre quaisquer superfícies e que a força horizontal tenha sido ajustada de forma que não ocorra movimento relativo entre os blocos. Nessas condições, determine a massa  $M$  em função de  $F$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  e do módulo da aceleração da gravidade. Considere que a aceleração da gravidade tem módulo  $g$  e é orientada verticalmente para baixo.

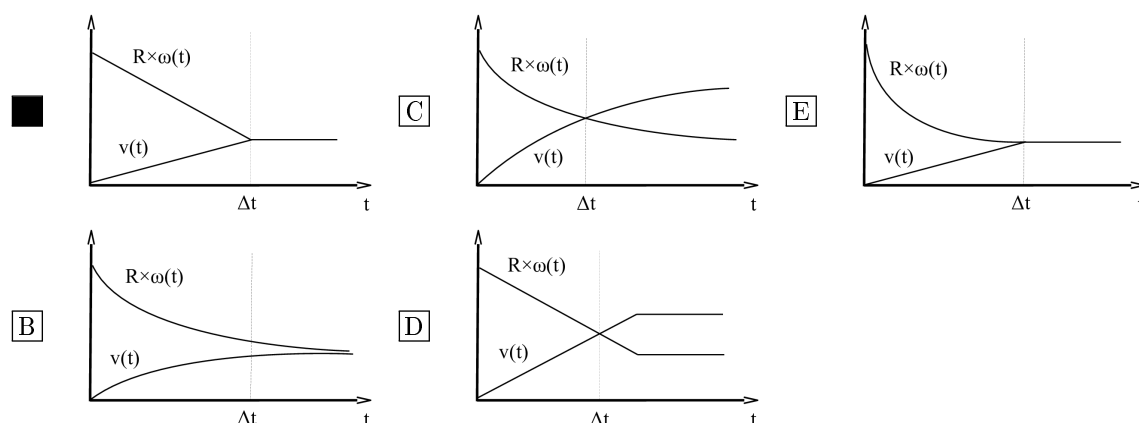
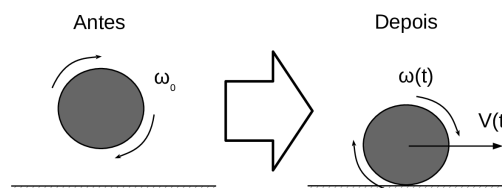


- ☒  $M = \frac{m_1 F}{m_2 g} - m_1 - m_2$ 
☐  $M = \frac{m_1 F}{m_2 g} - m_1 + m_2$ 
☐  $M = \frac{m_1 F}{m_2 g}$   
☐  $M = \frac{m_1 F}{m_2 g} + m_1 - m_2$ 
☐  $M = \frac{m_1 F}{m_2 g} + m_1 + m_2$

**Q. 13 [mcPT7a]**

Um disco homogêneo de massa  $M$  e raio  $R$  é inicialmente colocado em rotação com velocidade angular  $\omega_0$  em torno de seu eixo de simetria, conforme ilustrado no painel à esquerda na figura. Em seguida, o disco é liberado sobre uma superfície horizontal com coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$ , partindo com velocidade inicial de translação nula. Devido à força de atrito entre o disco e a superfície, surge uma aceleração que altera tanto a velocidade de translação  $V(t)$  quanto a velocidade de rotação  $\omega(t)$ ; veja o painel à direita na figura. Inicialmente, o disco rola e desliza sobre a superfície, mas, após um intervalo de

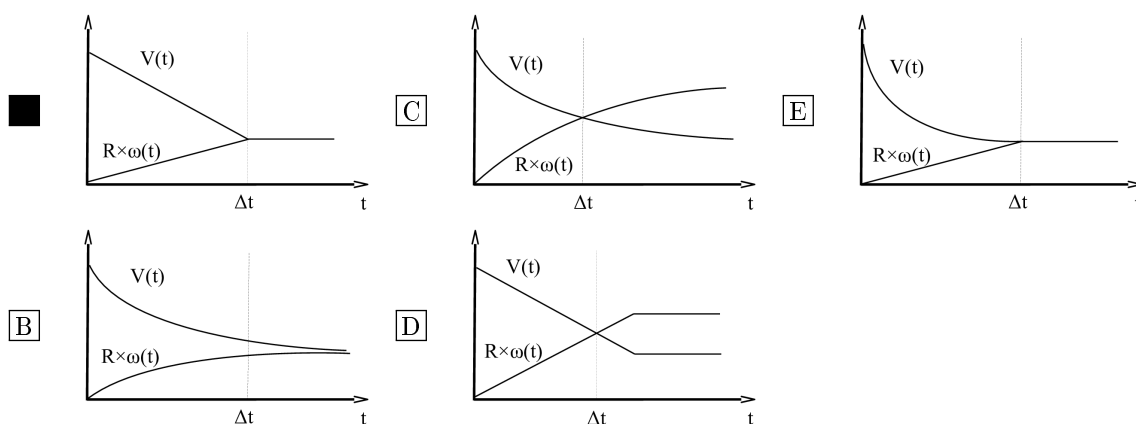
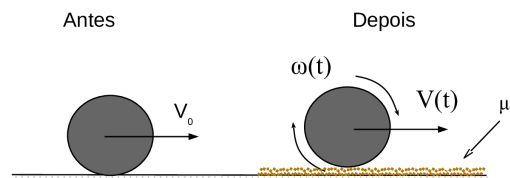
tempo  $\Delta t$ , ele atinge a condição de rolamento *sem* deslizamento. Dadas essas informações, indique qual dos gráficos abaixo melhor representa a dependência temporal da velocidade de translação,  $V(t)$ , e da velocidade de rotação multiplicada pelo raio,  $R \times \omega(t)$ .



**Q. 14 [mcPT7b]**

Um disco homogêneo de massa  $M$  e raio  $R$  está inicialmente deslizando sem rolar sobre uma superfície horizontal lisa e sem atrito, com velocidade de translação  $V_0$ . Em determinado momento, o disco entra em uma região de superfície rugosa, caracterizada por um coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$ . Na região rugosa, a força de atrito atua sobre o disco, gerando uma aceleração que modifica sua velocidade de translação  $V(t)$  e, simultaneamente, provoca um movimento de rotação com velocidade angular  $\omega(t)$  (veja a figura). Após um intervalo de tempo  $\Delta t$  percorrendo a superfície rugosa, o disco alcança

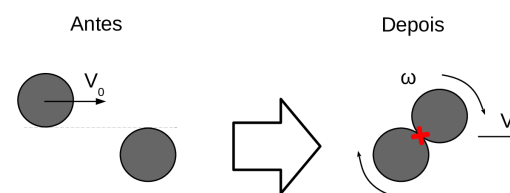
a condição de rolamento *sem* deslizamento. Das essas informações, indique qual dos gráficos abaixo melhor representa a dependência temporal da velocidade de translação,  $V(t)$ , e da velocidade de rotação multiplicada pelo raio,  $R \times \omega(t)$ .



**Q. 15 [mcPT8a]**

Um disco homogêneo de massa  $M$  e raio  $R$  desloca-se sobre uma superfície horizontal sem atrito com velocidade de módulo  $V_0$ . Durante seu movimento, ele colide tangencialmente com a periferia de outro disco idêntico, inicialmente em repouso. Devido à natureza do material dos discos, eles permanecem unidos após o contato, passando a girar em torno do centro de massa (CM) do sistema formado pelos dois objetos; o símbolo "x" na figura representa o CM do sistema. Note que, além do movimento de rotação, há um movimento de translação com velocidade

$V$ . Determine o módulo da velocidade de rotação  $\omega$  após a colisão. Considere que o momento de inércia de um disco homogêneo girando em torno de seu eixo de simetria é  $I_{CM} = \frac{1}{2}MR^2$ .



☐  $\omega = \frac{1}{3} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{1}{6} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{2}{3} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{1}{2} \frac{v_0}{R}$

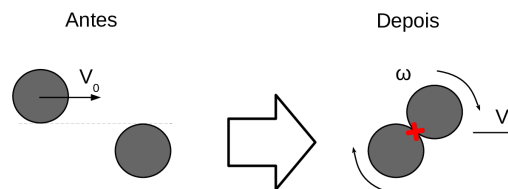
☐  $\omega = \frac{3}{5} \frac{v_0}{R}$



**Q. 16 [mcPT8b]**

Uma esfera homogênea de massa  $M$  e raio  $R$  desliza (sem rolamento) sobre uma superfície horizontal sem atrito com velocidade de módulo  $V_0$ . Durante seu movimento, ela colide tangencialmente com a periferia de outra esfera idêntica, inicialmente em repouso. Devido à natureza do material das esferas, elas permanecem unidas após o contato, passando a girar em torno do centro de massa (CM) do sistema formado pelos dois objetos; o símbolo "x" na figura representa o CM do sistema. Note que, além do movimento de rotação, há um movimento de translação com

velocidade  $V$ . Determine o módulo da velocidade de rotação  $\omega$  após a colisão. Considere que o momento de inércia de uma esfera maciça em torno de seu eixo de simetria é  $I_{CM} = \frac{2}{5}MR^2$ .



☐  $\omega = \frac{5}{14} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{2}{5} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{2}{7} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{5}{7} \frac{v_0}{R}$

☐  $\omega = \frac{9}{14} \frac{v_0}{R}$

**Q. 17 [emPT1a]** Considere duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios  $R_1 = R$  e  $R_2 = R/2$ . A espira de raio  $R_1$  é percorrida por uma corrente elétrica  $i_1$ , cujo sentido é oposto ao da corrente  $i_2$  que percorre a espira de raio  $R_2$ . Qual é a relação entre  $i_1$  e  $i_2$  para que o campo magnético  $\mathbf{B}$  no centro das espiras seja nulo?

☐  $i_1 = 2i_2$

☐  $i_1 = 4i_2$

☐  $i_1 = i_2/2$

☐  $i_1 = i_2/4$

☐  $i_1 = i_2 \ln 2$

**Q. 18 [emPT1b]** Considere duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios  $R_1 = R$  e  $R_2 = R/3$ . A espira de raio  $R_1$  é percorrida por uma corrente elétrica  $i_1$ , cujo sentido é oposto ao da corrente  $i_2$  que percorre a espira de raio  $R_2$ . Qual é a relação entre  $i_1$  e  $i_2$  para que o campo magnético  $\mathbf{B}$  no centro das espiras seja nulo?

☐  $i_1 = 3i_2$

☐  $i_1 = 9i_2$

☐  $i_1 = i_2/3$

☐  $i_1 = i_2/9$

☐  $i_1 = i_2 \ln 3$

**Q. 19 [emPT2a]** Considere um campo vetorial dado por  $\mathbf{G}(x,y) = a \cos(bx)\hat{\mathbf{x}} + cy \sin(bx)\hat{\mathbf{y}}$ , onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são constantes. Qual a relação entre as constantes para que  $\mathbf{G}$  possa representar um campo magnético?

☐  $c = ab$

☐  $b = -ac$

☐  $a = bc$

☐  $b = -2c$

☐  $b = 2ac$

**Q. 20 [emPT2b]** Considere um campo vetorial dado por  $\mathbf{G}(x,y) = a \sin(bx)\hat{\mathbf{x}} + cy \cos(bx)\hat{\mathbf{y}}$ , onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são constantes. Qual a relação entre as constantes para que  $\mathbf{G}$  possa representar um campo magnético?

☐  $c = -ab$

☐  $b = ac$

☐  $a = -bc$

☐  $b = -2c$

☐  $b = 2ac$

**Q. 21 [emPT3a]** Uma carga elétrica estática é distribuída em uma casca esférica de raio interno  $R_1$  e raio externo  $R_2$ . A densidade de carga elétrica na casca é dada por  $\rho = a + br$ , sendo igual a zero para  $r < R_1$  e  $r > R_2$ , em que  $r$  é a distância até a origem. Aqui  $a$  e  $b$  são constantes positivas. Qual é o módulo do campo elétrico  $\mathbf{E}$  na região  $r > R_2$ ?

☐  $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right]$

☐  $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{a}{2} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{b}{3} (R_2^4 - R_1^4) \right]$

☐  $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{a}{3} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{b}{4} (R_2^3 - R_1^3) \right]$

☐  $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{a}{3} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{b}{3} (R_2^2 - R_1^2) \right]$

☐  $E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r^2} \left[ \frac{a}{2} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{3} (R_2^4 - R_1^4) \right]$

**Q. 22 [emPT3b]** Uma carga elétrica estática é distribuída em uma casca esférica de raio interno  $R_1$  e raio externo  $R_2$ . A densidade de carga elétrica na casca é dada por  $\rho = a + br$ , sendo igual a zero para  $r < R_1$  e  $r > R_2$ , em que  $r$  é a distância até a origem. Aqui  $a$  e  $b$  são constantes. Qual é o potencial elétrico  $V$  na região  $r > R_2$ ? Considere  $V(\infty) = 0$ .

- ☐  $V(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \left[ \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right]$ 
☐  $V(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \left[ \frac{a}{2} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{b}{3} (R_2^3 - R_1^3) \right]$   
☐  $V(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \left[ \frac{a}{3} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right]$ 
☐  $V(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \left[ \frac{a}{3} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{b}{3} (R_2^3 - R_1^3) \right]$   
☐  $V(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \left[ \frac{a}{2} (R_2^3 - R_1^3) + \frac{b}{3} (R_2^4 - R_1^4) \right]$

**Q. 23 [emPT4a]** Um resistor de resistência  $R$  é ligado em série a uma bateria com fem  $\mathcal{E}$  e resistência interna  $r$ . Supondo que o valor de  $r$  seja fixo, para qual valor de  $R$  a taxa de dissipação de energia no resistor é máxima?

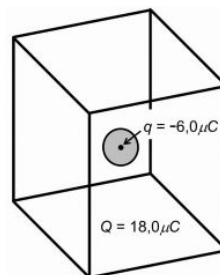
- ☐  $R = r$ 
☐  $R = 2r$ 
☐  $R = 4r$ 
☐  $R = r/2$ 
☐  $R = r/4$

**Q. 24 [emPT4b]** Um resistor de resistência  $R$  é ligado em série a uma bateria com fem  $\mathcal{E}$  e resistência interna  $r$ . Supondo que o valor de  $r$  seja fixo, qual é a taxa máxima de dissipação de energia no resistor?

- ☐  $P = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$ 
☐  $P = \frac{\mathcal{E}^2}{r}$ 
☐  $P = \frac{\mathcal{E}^2}{2r}$ 
☐  $P = \frac{2\mathcal{E}^2}{r}$ 
☐  $P = \frac{4\mathcal{E}^2}{r}$

**Q. 25 [emPT5a]**

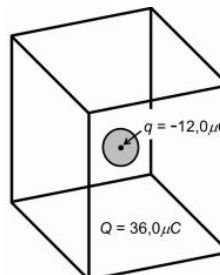
Um cubo condutor maciço possui uma cavidade esférica cujo centro coincide com o centro do cubo. No centro da cavidade há uma carga  $q = -6,0 \mu\text{C}$  (veja a figura). Além da carga no centro da cavidade, o condutor maciço está carregado com uma carga  $Q = 18,0 \mu\text{C}$ . Pede-se:  
*i)* a carga  $q_C$  na superfície da cavidade esférica;  
*ii)* a carga  $q_F$  em cada uma das faces do cubo.



- ☐  $q_C = 6,0 \mu\text{C}; q_F = 2,0 \mu\text{C}.$ 
☐  $q_C = -6,0 \mu\text{C}; q_F = 2,0 \mu\text{C}.$   
☐  $q_C = -6,0 \mu\text{C}; q_F = 3,0 \mu\text{C}.$ 
☐  $q_C = 24,0 \mu\text{C}; q_F = -1,0 \mu\text{C}.$   
☐  $q_C = 6,0 \mu\text{C}; q_F = 3,0 \mu\text{C}.$

**Q. 26 [emPT5b]**

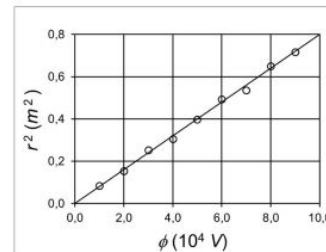
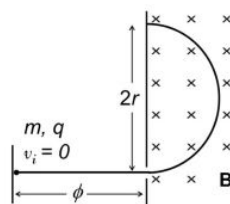
Um cubo condutor maciço possui uma cavidade esférica cujo centro coincide com o centro do cubo. No centro da cavidade há uma carga  $q = -12,0 \mu\text{C}$  (veja a figura). Além da carga no centro da cavidade, o condutor maciço está carregado com uma carga  $Q = 36,0 \mu\text{C}$ . Pede-se:  
*i)* a carga  $q_C$  na superfície da cavidade esférica;  
*ii)* a carga  $q_F$  em cada uma das faces do cubo.



- ☐  $q_C = 12,0 \mu\text{C}; q_F = 4,0 \mu\text{C}.$ 
☐  $q_C = -12,0 \mu\text{C}; q_F = -4,0 \mu\text{C}.$   
☐  $q_C = -12,0 \mu\text{C}; q_F = 4,0 \mu\text{C}.$ 
☐  $q_C = 48,0 \mu\text{C}; q_F = -2,0 \mu\text{C}.$   
☐  $q_C = 12,0 \mu\text{C}; q_F = 6,0 \mu\text{C}.$

**Q. 27 [emPT6a]**

Partículas de carga  $q$  e massa  $m$  são aceleradas a partir do repouso ( $v_i = 0$ ) por uma diferença de potencial  $\phi$ . Em seguida, as partículas entram numa região de campo magnético perpendicular à velocidade das mesmas, e passam a descrever uma trajetória circular de raio  $r$  (veja a figura). O módulo do campo magnético é  $B = 0,5$  T. O gráfico apresenta os resultados para os valores de  $r^2$  obtidos com a repetição do experimento, para o mesmo tipo de partícula, variando-se a diferença de potencial  $\phi$ . Qual é o valor da razão  $q/m$  dessas partículas?



☒  $q/m = 1,0 \times 10^6$  C/kg.

☐  $q/m = 5,0 \times 10^5$  C/kg.

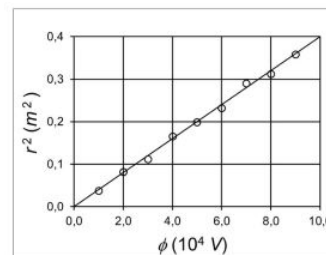
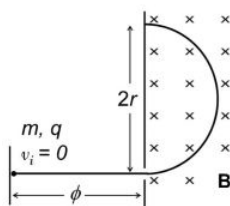
☐  $q/m = 5,0 \times 10^1$  C/kg.

☐  $q/m = 1,0 \times 10^{-6}$  C/kg.

☐  $q/m = 1,0 \times 10^2$  C/kg.

**Q. 28 [emPT6b]**

Partículas de carga  $q$  e massa  $m$  são aceleradas a partir do repouso ( $v_i = 0$ ) por uma diferença de potencial  $\phi$ . Em seguida, as partículas entram numa região de campo magnético perpendicular à velocidade das mesmas, e passam a descrever uma trajetória circular de raio  $r$  (veja a figura). O módulo do campo magnético é  $B = 0,5$  T. O gráfico apresenta os resultados para os valores de  $r^2$  obtidos com a repetição do experimento, para o mesmo tipo de partícula, variando-se a diferença de potencial  $\phi$ . Qual é o valor da razão  $q/m$  dessas partículas?



☒  $q/m = 2,0 \times 10^6$  C/kg.

☐  $q/m = 1,0 \times 10^6$  C/kg.

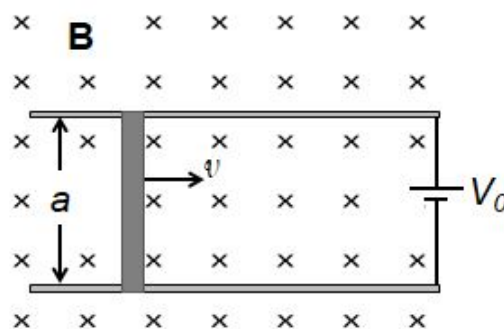
☐  $q/m = 1,0 \times 10^2$  C/kg.

☐  $q/m = 5,0 \times 10^{-7}$  C/kg.

☐  $q/m = 2,0 \times 10^2$  C/kg.

**Q. 29 [emPT7a]**

Uma barra condutora, de comprimento  $a$ , resistência elétrica  $R$  e massa  $m$ , pode deslizar sem atrito sobre um par de trilhos condutores paralelos e horizontais de resistência elétrica desprezível (veja a figura). Um campo magnético  $\mathbf{B}$  é perpendicular ao plano dos trilhos e a barra encontra-se inicialmente em repouso ( $v_i = 0$ ). Uma bateria de força eletromotriz  $V_0$  e resistência interna nula é conectada entre os dois trilhos no instante  $t = 0$ , gerando uma corrente inicial  $i_0$ . Pede-se: *i*) a força  $F(v)$  que age sobre a barra em função da sua velocidade  $v$ ; *ii*) a velocidade  $v$  da barra quando a corrente for igual a  $1/4$  do seu valor inicial, ou seja, quando  $i = i_0/4$ .



☒  $F(v) = \frac{aB}{R}(V_0 - aBv); \quad v = \frac{3V_0}{4aB}.$

☐  $F(v) = \frac{aB}{R}(V_0 + aBv); \quad v = \frac{3V_0}{4aB}.$

☐  $F(v) = \frac{aB}{R}V_0; \quad v = \frac{3V_0}{4aBm}.$

☐  $F(v) = -\frac{aB}{R}(aBv); \quad v = \frac{V_0}{4aB}.$

☐  $F(v) = \frac{aB}{R}(V_0 - aBv); \quad v = \frac{V_0}{4aBm}.$

**Q. 30 [emPT7b]**

Uma barra condutora, de comprimento  $L$ , resistência elétrica  $r$  e massa  $M$ , pode deslizar sem atrito, sobre um par de trilhos condutores paralelos e horizontais de resistência elétrica desprezível (veja a figura). Um campo magnético  $\mathbf{B}$  é perpendicular ao plano dos trilhos e a barra encontra-se inicialmente em repouso ( $v_i = 0$ ). Uma bateria de força eletromotriz  $\varphi_0$  e resistência interna nula é conectada entre os dois trilhos no instante  $t = 0$ , gerando uma corrente inicial  $i_0$ . Pede-se: i) a força  $F(v)$  que age sobre a barra em função da sua velocidade  $v$ ; ii) a velocidade  $v$  da barra quando a corrente for igual a  $1/5$  do seu valor inicial, ou seja, quando  $i = i_0/5$ .



■  $F(v) = \frac{LB}{r}(\varphi_0 - LBv); \quad v = \frac{4\varphi_0}{5LB}.$

□  $F(v) = -\frac{LB}{r}(LBv); \quad v = \frac{\varphi_0}{5LB}.$

□  $F(v) = \frac{LB}{r}(\varphi_0 + LBv); \quad v = \frac{4\varphi_0}{5LB}.$

□  $F(v) = \frac{LB}{r}(\varphi_0 - LBv); \quad v = \frac{\varphi_0}{5LBM}.$

□  $F(v) = \frac{LB}{r}\varphi_0; \quad v = \frac{4\varphi_0}{5LBM}.$

**Q. 31 [emPT8a]** Radiação eletromagnética monocromática, de intensidade uniforme, incide perpendicularmente sobre uma placa metálica polida de formato quadrado e de área  $A = b^2$ . A placa reflete 80% da intensidade da radiação incidente e absorve o restante na superfície. Os campos elétrico e magnético da radiação incidente são dados, respectivamente, pelas partes reais das seguintes expressões:  $\mathbf{E}(z,t) = E_0 e^{-i(\omega t - kz)} \hat{x}$  e  $\mathbf{B}(z,t) = (E_0/c) e^{-i(\omega t - kz)} \hat{y}$ . Qual é a força que a radiação exerce sobre a placa metálica?

■  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,9 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} b^2 \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,5 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} b^2 \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,2 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} b^2 \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,6 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} b^2 \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,7 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} b^2 \hat{z}.$

**Q. 32 [emPT8b]** Radiação eletromagnética monocromática, de intensidade uniforme, incide perpendicularmente sobre uma placa metálica polida de formato circular e de área  $A = \pi R^2$ . A placa reflete 60% da intensidade da radiação incidente e absorve o restante na superfície. Os campos elétrico e magnético da radiação incidente são dados, respectivamente, pelas partes reais das seguintes expressões:  $\mathbf{E}(z,t) = E_0 e^{-i(\omega t - kz)} \hat{x}$  e  $\mathbf{B}(z,t) = (E_0/c) e^{-i(\omega t - kz)} \hat{y}$ . Qual é a força que a radiação exerce sobre a placa metálica?

■  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,8 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} (\pi R^2) \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,5 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} (\pi R^2) \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,2 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} (\pi R^2) \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,7 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} (\pi R^2) \hat{z}.$

□  $\mathbf{F}_{\text{rad}} = 0,4 \frac{E_0^2}{\mu_0 c^2} (\pi R^2) \hat{z}.$

**Q. 33 [tePT1a]** Um gás ideal, partindo de um estado de equilíbrio termodinâmico  $a$ , atinge outro estado de equilíbrio termodinâmico  $b$  por meio de três processos termodinâmicos diferentes: expansão isotérmica, expansão adiabática e expansão livre. Denotando por  $X_{a \rightarrow b}$  o valor da variável termodinâmica  $X$  ao longo da transformação  $a \rightarrow b$  ( $X = Q$  para o calor trocado,  $X = U$  para a variação da energia interna e  $X = W$  para o trabalho realizado), considere as afirmativas a seguir.

- I.  $Q_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão isotérmica.
- II.  $U_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão adiabática.
- III.  $W_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão livre.
- IV.  $U_{a \rightarrow b} = 0$  para as expansões isotérmica e livre.

Somente são *corretas* as afirmações:

- ☐ III e IV.      ☐ I e II.      ☐ II e III.      ☐ I e IV.      ☐ I, II e III.

**Q. 34 [tePT1b]** Um gás ideal, partindo de um estado de equilíbrio termodinâmico  $a$ , atinge outro estado de equilíbrio termodinâmico  $b$  por meio de três processos termodinâmicos diferentes: expansão isotérmica, expansão adiabática e expansão livre. Denotando por  $X_{a \rightarrow b}$  o valor da variável termodinâmica  $X$  ao longo da transformação  $a \rightarrow b$  ( $X = Q$  para o calor trocado,  $X = U$  para a variação da energia interna e  $X = W$  para o trabalho realizado), considere as afirmativas a seguir.

- I.  $Q_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão isotérmica.
- II.  $U_{a \rightarrow b} = 0$  para as expansões isotérmica e livre.
- III.  $U_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão adiabática.
- IV.  $W_{a \rightarrow b} = 0$  para a expansão livre.

Somente são *corretas* as afirmações:

- ☐ II e IV.      ☐ I e II.      ☐ II e III.      ☐ I e IV.      ☐ II, III e IV.

**Q. 35 [tePT2a]** Considere um sistema isolado formado por dois corpos idênticos, com mesma capacidade térmica a volume constante, que depende linearmente da temperatura  $T$  segundo a forma  $C_v = BT$  (sendo  $B > 0$  uma quantidade constante). As temperaturas iniciais dos corpos são  $T_0$  e  $2T_0$ . Eles são colocados em contato e, após certo tempo, atingem o estado de equilíbrio térmico. Desprezando variações de volume durante o processo, a temperatura de equilíbrio  $T_{eq}$  neste caso é dada por

- ☐  $T_{eq} = \sqrt{\frac{5}{2}}T_0$ .      ☐  $T_{eq} = \frac{3T_0}{2}$ .      ☐  $T_{eq} = T_0$ .  
☐  $T_{eq} = \frac{\sqrt{2}T_0}{2}$ .      ☐  $T_{eq} = 0$ .

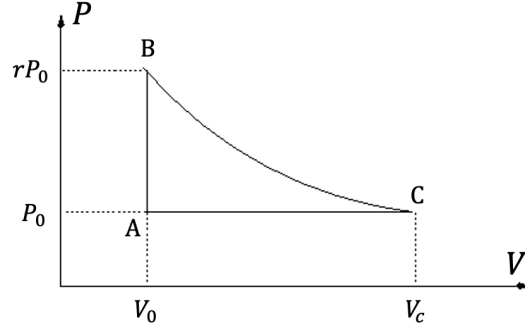
**Q. 36 [tePT2b]** Considere um sistema isolado formado por dois corpos idênticos, com mesma capacidade térmica a volume constante, que depende linearmente da temperatura  $T$  segundo a forma  $C_v = BT$  (sendo  $B > 0$  uma quantidade constante). As temperaturas iniciais dos corpos são  $T_0$  e  $3T_0$ . Eles são colocados em contato e, após certo tempo, atingem o estado de equilíbrio térmico. Desprezando variações de volume durante o processo, a temperatura de equilíbrio  $T_{eq}$  neste caso é dada por

- ☐  $T_{eq} = \sqrt{5}T_0$ .      ☐  $T_{eq} = \frac{\sqrt{5}T_0}{2}$ .      ☐  $T_{eq} = 2T_0$ .  
☐  $T_{eq} = 5T_0$ .      ☐  $T_{eq} = T_0$ .

**Q. 37 [tePT3a]**

Considere um mol de um gás ideal monoatômico ( $C_v = 3R/2$  e  $C_p = 5R/2$ ) submetido a um processo cíclico A-B-C-A, conforme ilustra a figura. A etapa A-B é isocórica, a etapa B-C é adiabática e a etapa C-A é isobárica.

O volume  $V_c$  e o trabalho realizado pelo gás ao longo da etapa C-A valem, respectivamente

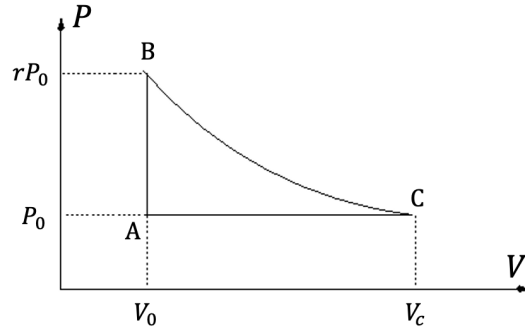


- ☐  $V_0 r^{3/5}$  e  $P_0 V_0 (1 - r^{3/5})$ .    ☐  $V_0 r^{2/3}$  e  $P_0 V_0 (1 - r^{2/3})$ .    ☐  $V_0 r$  e  $P_0 V_0$ .  
☐  $V_0 r$  e  $P_0 V_0 (1 - r)$ .    ☐  $2V_0$  e  $-P_0 V_0$ .

**Q. 38 [tePT3b]**

Considere um mol de um gás ideal monoatômico ( $C_v = 3R/2$  e  $C_p = 5R/2$ ) realizando um processo cíclico A-B-C-A, conforme ilustra a figura. A etapa A-B é isocórica, a etapa B-C é adiabática e a etapa C-A é isobárica.

O volume  $V_c$  e o calor trocado ao longo da etapa C-A valem, respectivamente



- ☐  $V_0 r^{3/5}$  e  $\frac{5}{2} P_0 V_0 (1 - r^{3/5})$ .    ☐  $V_0 r^{3/2}$  e  $\frac{3}{2} P_0 V_0 (1 - r^{2/3})$ .    ☐  $V_0 r^{3/5}$  e  $\frac{3}{2} P_0 V_0$ .  
☐  $V_0 r^{5/3}$  e  $P_0 V_0 (1 - r^{5/3})$ .    ☐  $2V_0$  e 0.

**Q. 39 [tePT4a]** Considere um sistema isolado composto por dois subsistemas com mesmo volume, separados por uma parede rígida, impermeável e adiabática. Cada subsistema possui o mesmo número de mols de um gás ideal de capacidade térmica  $C_v$ , encontrando-se em equilíbrio térmico, nas temperaturas iniciais  $T_0$  e  $4T_0$ , respectivamente. A partir de um certo instante, a parede muda de adiabática para diatérmica, permitindo apenas a troca de calor entre os subsistemas, de tal forma que o sistema evolui para um novo estado de equilíbrio. A variação total de entropia  $\Delta S$  nesse processo vale

- ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{25}{16} \right)$ .    ☐  $\Delta S = C_v \ln 2$ .    ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{5}{4} \right)$ .  
☐  $\Delta S = 0$ .    ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{5}{2} \right)$ .

**Q. 40 [tePT4b]** Considere um sistema isolado composto por dois subsistemas com mesmo volume, separados por uma parede rígida, impermeável e adiabática. Cada subsistema possui o mesmo número de mols de um gás ideal de capacidade térmica  $C_v$ , encontrando-se em equilíbrio térmico, nas temperaturas iniciais  $T_0$  e  $2T_0$ , respectivamente. A partir de um certo instante, a parede muda de adiabática para diatérmica, permitindo apenas troca de calor entre os subsistemas, de tal forma que o sistema evolui para um novo estado de equilíbrio. A variação total de entropia  $\Delta S$  nesse processo vale

- ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{9}{8} \right)$     ☐  $\Delta S = C_v \ln 2$     ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{4}{3} \right)$   
☐  $\Delta S = 0$     ☐  $\Delta S = C_v \ln \left( \frac{3}{2} \right)$

**Q. 41 [fmPT1a]** Uma bomba de energia de repouso  $E_0$  explode e se fragmenta em três partes iguais. Os momentos dos fragmentos ejetados são, em módulo, todos iguais a  $p$ . Depois de algum tempo os fragmentos perdem energia cinética e param. Qual é a energia de repouso total dos fragmentos? Suponha que a explosão seja totalmente devida à conversão de energia de repouso em energia cinética.

☐  $\sqrt{E_0^2 - (3pc)^2}$

☐  $\sqrt{E_0^2 + 9p^2c^2}$

☐  $3\sqrt{p^2c^2 + E_0^2}$

☐  $3(\gamma - 1)E_0$ , onde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  e  $\gamma E_0 v = pc^2$

☐  $3\gamma E_0$ , onde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  e  $\gamma E_0 v = pc^2$

**Q. 42 [fmPT1b]** Uma bomba de energia de repouso  $E_0$  explode e se fragmenta em quatro partes iguais. Os momentos dos fragmentos ejetados são, em módulo, todos iguais a  $p$ . Depois de algum tempo os fragmentos perdem energia cinética e param. Qual é a energia de repouso total dos fragmentos? Suponha que a explosão seja totalmente devida à conversão de energia de repouso em energia cinética.

☐  $\sqrt{E_0^2 - (4pc)^2}$

☐  $\sqrt{E_0^2 + 16p^2c^2}$

☐  $4\sqrt{p^2c^2 + E_0^2}$

☐  $4(\gamma - 1)E_0$ , onde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  e  $\gamma E_0 v = pc^2$

☐  $4\gamma E_0$ , onde  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  e  $\gamma E_0 v = pc^2$

**Q. 43 [fmPT2a]** Sabe-se que um certo elemento radiativo de massa molar  $M_A$  decai apenas por decaimento alfa. Uma amostra pura desse elemento, com massa  $m$ , emite  $R$  partículas alfa por unidade de tempo. Sendo  $N_A$  a constante de Avogadro, qual é a vida média desse elemento?

☐  $\tau = \frac{mN_A}{RM_A}$

☐  $\tau = \frac{1}{R} \exp\left(\frac{mN_A}{M_A}\right)$

☐ Não há elementos suficientes para responder a essa pergunta.

☐  $\tau = \frac{1}{R} \ln\left(\frac{mN_A}{M_A}\right)$

☐  $\tau = \frac{1}{R} \exp\left(-\frac{mN_A}{M_A}\right)$

**Q. 44 [fmPT2b]** Sabe-se que um certo elemento radiativo de massa molar  $M_A$  decai apenas por decaimento alfa. Uma amostra pura desse elemento, com massa  $m$ , emite  $R$  partículas alfa por unidade de tempo. Sendo  $\tau$  a vida média desse elemento, qual seria a estimativa da constante de Avogadro utilizando esses dados?

☐  $N_A = \frac{RM_A}{m}\tau$

☐  $N_A = R\tau \exp\left(\frac{M_A}{m}\right)$

☐ Não há elementos suficientes para responder a essa pergunta.

☐  $N_A = R\tau \ln\left(\frac{M_A}{m}\right)$

☐  $N_A = R\tau \exp\left(-\frac{M_A}{m}\right)$

**Q. 45 [fmPT3a]** Uma molécula diatômica é composta por duas partículas pontuais idênticas de massa  $m$  separadas por uma distância  $d$ . Suponha que a molécula está inicialmente em repouso e em seu estado fundamental. Qual é a energia **rotacional** da molécula após absorver um fóton de frequência  $f$ , supondo que o momento angular é conservado no processo? (A constante de Planck é  $h$ , com  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ , e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.)

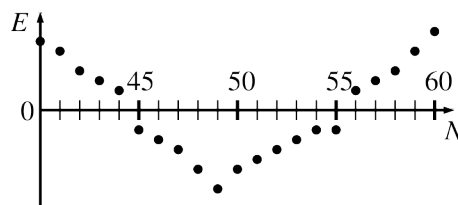
- ☐  $\frac{2\hbar^2}{md^2}$ 
☐  $\frac{1}{2m} \left( \frac{hf}{c} \right)^2$ 
☐  $\frac{\hbar c}{d}$ 
☐  $hf$ 
☐  $2mc^2$

**Q. 46 [fmPT3b]** Uma molécula diatômica é composta por duas partículas pontuais idênticas de massa  $m$  separadas por uma distância  $d$ . Suponha que a molécula está inicialmente em repouso e em seu estado fundamental. Qual é a energia **rotacional** da molécula após absorver dois fótons idênticos de frequência  $f$ , supondo que o momento angular é conservado no processo? (A constante de Planck é  $h$ , com  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ , e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.)

- ☐  $\frac{6\hbar^2}{md^2}$ 
☐  $\frac{1}{m} \left( \frac{hf}{c} \right)^2$ 
☐  $2\frac{\hbar c}{d}$ 
☐  $2hf$ 
☐  $2mc^2$

**Q. 47 [fmPT4a]**

O gráfico mostra a energia  $E$  (medida em relação à energia da molécula dissociada) de uma determinada molécula como função do número  $N$  de elétrons nela contidos. A respeito dessa molécula, considere as afirmações abaixo.



- I. O estado fundamental da molécula tem 49 elétrons.
- II. O estado fundamental da molécula tem 45 elétrons.
- III. O estado fundamental da molécula tem 55 elétrons.
- IV. O estado fundamental da molécula é degenerado, possuindo de 45 a 55 elétrons.

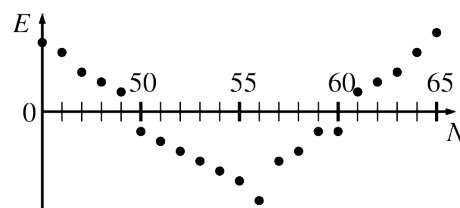
Assinale a alternativa correta.

- ☐ A única afirmação correta é a I.
 ☐ A única afirmação correta é a IV.
- ☐ A única afirmação correta é a II.
 ☐ Nenhuma das afirmações é correta.
- ☐ A única afirmação correta é a III.



**Q. 48 [fmPT4b]**

O gráfico mostra a energia  $E$  (medida em relação à energia da molécula dissociada) de uma determinada molécula como função do número  $N$  de elétrons nela contidos. A respeito dessa molécula, considere as afirmações abaixo.



- I. O estado fundamental da molécula tem 56 elétrons.
- II. O estado fundamental da molécula tem 50 elétrons.
- III. O estado fundamental da molécula tem 60 elétrons.
- IV. O estado fundamental da molécula é degenerado, possuindo de 50 a 60 elétrons.

Assinale a alternativa correta.

- ☒ A única afirmação correta é a I. ☐ A única afirmação correta é a III.  
☐ A única afirmação correta é a IV. ☐ Nenhuma das afirmações é correta.  
☐ A única afirmação correta é a II.

**Q. 49 [fmPT5a]** O planeta B se encontra a uma distância de 20 anos-luz da Terra. Se uma espaçonave demora 20 anos em seu próprio referencial para ir da Terra ao planeta B com velocidade constante, qual a velocidade da espaçonave em relação à Terra?

- ☒  $c\sqrt{2}/2$  ☐  $c$  ☐  $c\sqrt{2}/5$  ☐  $0,6c$  ☐  $0,8c$

**Q. 50 [fmPT5b]** O planeta B se encontra a uma distância de 10 anos-luz da Terra. Se uma espaçonave demora 20 anos em seu próprio referencial para ir da Terra ao planeta B com velocidade constante, qual a velocidade da espaçonave em relação à Terra?

- ☒  $c\sqrt{5}/5$  ☐  $c/2$  ☐  $0,6c$  ☐  $0,8c$  ☐  $c\sqrt{5}/2$

**Q. 51 [fmPT6a]** Um satélite se afasta da Terra com uma velocidade constante de  $0,60c$ . Em seu próprio referencial, o satélite emite um sinal de rádio a cada 2,0 s em direção a um observatório na Terra. Qual o período do sinal medido pelo observatório?

- ☒ 4,0 s ☐ 2,0 s ☐ 8,0 s ☐ 1,0 s ☐ 3,0 s

**Q. 52 [fmPT6b]** Um satélite se afasta da Terra com uma velocidade constante de  $0,80c$ . Em seu próprio referencial, o satélite emite um sinal de rádio a cada 2,0 s em direção a um observatório na Terra. Qual o período do sinal medido pelo observatório?

- ☒ 6,0 s ☐ 2,0 s ☐ 18 s ☐ 0,66 s ☐ 3,0 s

**Q. 53 [fmPT7a]** De acordo com o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, qual a razão entre os módulos das velocidades do elétron na primeira órbita de Bohr,  $v_1$ , e na segunda órbita de Bohr,  $v_2$ , ou seja,  $v_1/v_2$ ?

- ☒ 2 ☐ 4 ☐  $\sqrt{2}$  ☐ 1 ☐  $1/2$

**Q. 54 [fmPT7b]** De acordo com o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, qual a razão entre os módulos das velocidades do elétron na primeira órbita de Bohr,  $v_1$ , e na terceira órbita de Bohr,  $v_3$ , ou seja,  $v_1/v_3$ ?

- ☒ 3 ☐ 9 ☐  $\sqrt{3}$  ☐ 1 ☐  $1/3$

**Q. 55 [fmPT8a]** Em um experimento de efeito fotoelétrico, os elétrons são ejetados de um metal apenas se ele for iluminado com ondas eletromagnéticas de comprimentos de onda menores que 300 nm. Se iluminarmos a mesma superfície metálica com fótons de energia 5,0 eV, qual o potencial de corte da corrente fotoelétrica, ou seja, a menor diferença de potencial capaz de parar os fotoelétrons de maior energia cinética?

- ☐ 0,90 V    ☐ 6,0 V    ☐ 8,0 V    ☐ 10 V    ☐ 5,0 V

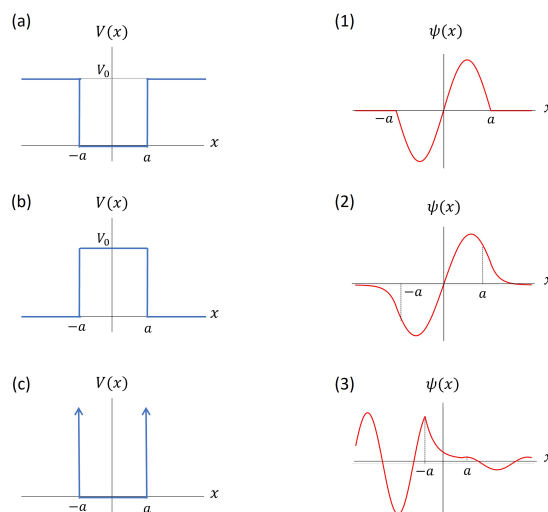
**Q. 56 [fmPT8b]** Em um experimento de efeito fotoelétrico, os elétrons são ejetados de um metal apenas se ele for iluminado com ondas eletromagnéticas de comprimentos de onda menores que 400 nm. Se iluminarmos a mesma superfície metálica com fótons de energia 5,0 eV, qual o potencial de corte da corrente fotoelétrica, ou seja, a menor diferença de potencial capaz de parar os fotoelétrons de maior energia cinética?

- ☐ 1,9 V    ☐ 8,0 V    ☐ 9,0 V    ☐ 10 V    ☐ 5,0 V

**Q. 57 [mqPT1a]**

Na figura, os painéis (a), (b) e (c) apresentam formas específicas de potenciais  $V(x)$  aos quais pode estar sujeita uma partícula que se move em uma dimensão espacial  $x$ . Os painéis (1), (2) e (3) apresentam possíveis autofunções de energia  $\psi(x)$  para a partícula, cada autofunção resultando de um dos potenciais. A associação correta entre  $V(x)$  e  $\psi(x)$  é:

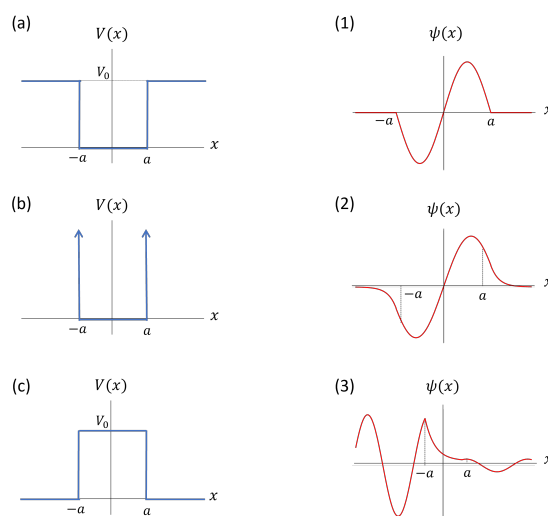
- ☐ (a)-(2), (b)-(3), (c)-(1).  
☐ (a)-(2), (b)-(1), (c)-(3).  
☐ (a)-(1), (b)-(2), (c)-(3).  
☐ (a)-(1), (b)-(3), (c)-(2).  
☐ (a)-(3), (b)-(1), (c)-(2).



**Q. 58 [mqPT1b]**

Na figura, os painéis (a), (b) e (c) apresentam formas específicas de potenciais  $V(x)$  aos quais pode estar sujeita uma partícula que se move em uma dimensão espacial  $x$ . Os painéis (1), (2) e (3) apresentam possíveis autofunções de energia  $\psi(x)$  para a partícula, cada autofunção resultando de um dos potenciais. A associação correta entre  $V(x)$  e  $\psi(x)$  é:

- ☐ (a)-(2), (b)-(1), (c)-(3).  
☐ (a)-(2), (b)-(3), (c)-(1).  
☐ (a)-(1), (b)-(2), (c)-(3).  
☐ (a)-(1), (b)-(3), (c)-(2).  
☐ (a)-(3), (b)-(1), (c)-(2).



**Q. 59 [mqPT2a]** Uma partícula de massa  $m$  está confinada em um poço de potencial infinito unidimensional com fronteiras em  $x = 0$  e  $x = L$ . A equação de Schrödinger independente do tempo dentro do poço é

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x),$$

com as condições de contorno  $\psi(0) = \psi(L) = 0$  para a autofunção de energia  $\psi(x)$  com energia  $E$ . Supondo que a partícula esteja no estado fundamental, assinale a alternativa que contém a probabilidade de encontrá-la na região  $0 \leq x \leq L/4$ . Dica: consulte o formulário.

☐  $1/4 - 1/(2\pi)$ .

☐  $-1/4 + 1/(2\pi)$ .

☐  $1/2$ .

☐  $1/4 + 1/(2\pi)$ .

☐  $-1/4 - 1/(2\pi)$ .

**Q. 60 [mqPT2b]** Uma partícula de massa  $m$  está confinada em um poço de potencial infinito unidimensional com fronteiras em  $x = 0$  e  $x = L$ . A equação de Schrödinger independente do tempo dentro do poço é

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x),$$

com as condições de contorno  $\psi(0) = \psi(L) = 0$  para a autofunção de energia  $\psi(x)$  com energia  $E$ . Supondo que a partícula esteja no estado fundamental, assinale a alternativa que contém a probabilidade de encontrá-la na região  $0 \leq x \leq 3L/4$ . Dica: consulte o formulário.

☐  $3/4 + 1/(2\pi)$ .

☐  $-3/4 + 1/(2\pi)$ .

☐  $1/2$ .

☐  $3/4 - 1/(2\pi)$ .

☐  $-3/4 - 1/(2\pi)$ .

**Q. 61 [mqPT3a]** Os operadores de spin  $S_{x,y,z}$  de uma partícula de spin  $1/2$  admitem a seguinte representação matricial:

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

Sejam  $|+\rangle$  e  $|-\rangle$  os autoestados de  $S_z$  com autovalores  $+\hbar/2$  e  $-\hbar/2$ , respectivamente.

**Complete as sentenças a seguir.** A aplicação de  $S_x$  sobre  $|+\rangle$  resulta em \_\_\_\_\_. Logo, o valor esperado de  $S_x$  para uma partícula de spin  $1/2$  que esteja no estado  $|+\rangle$  é \_\_\_\_\_.

☐  $(\hbar/2) |-\rangle, 0$

☐  $(\hbar/2) |+\rangle, 0$

☐  $(\hbar/2) (|+\rangle + |-\rangle), \hbar/2$

☐  $(\hbar/2) |-\rangle, \hbar/2$

☐  $(\hbar/2) |+\rangle, \hbar/2$

**Q. 62 [mqPT3b]** Os operadores de spin  $S_{x,y,z}$  de uma partícula de spin  $1/2$  admitem a seguinte representação matricial:

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

Sejam  $|+\rangle$  e  $|-\rangle$  os autoestados de  $S_z$  com autovalores  $+\hbar/2$  e  $-\hbar/2$ , respectivamente.

**Complete as sentenças a seguir.** A aplicação de  $S_x$  sobre  $|-\rangle$  resulta em \_\_\_\_\_. Logo, o valor esperado de  $S_x$  para uma partícula de spin  $1/2$  que esteja no estado  $|-\rangle$  é \_\_\_\_\_.

☐  $(\hbar/2) |+\rangle, 0$

☐  $(\hbar/2) |-\rangle, 0$

☐  $(\hbar/2) (|+\rangle + |-\rangle), \hbar/2$

☐  $(\hbar/2) |+\rangle, \hbar/2$

☐  $(\hbar/2) |-\rangle, \hbar/2$

**Q. 63 [mqPT4a]** Atribua V para as afirmações verdadeiras e F para as falsas.

( ) Ao fazermos sucessivas medidas de duas quantidades físicas em um certo sistema quântico, descobrimos que existe um limite inferior para o produto das incertezas nessas medidas, não importando o cuidado com que sejam realizadas. Neste caso, é correto concluir que os operadores quânticos que representam as quantidades físicas medidas não comutam.

( ) Considere a seguinte sequência de três medidas em um sistema quântico: primeiro medimos uma quantidade física  $A$ , em seguida medimos uma quantidade física  $B$ , e depois medimos  $A$  novamente. Para uma quantidade física  $B$  qualquer, as duas medidas de  $A$  necessariamente retornarão o mesmo resultado.

( ) No átomo de hidrogênio, a energia, o módulo quadrado do momento angular e a componente  $z$  do momento angular são quantidades físicas compatíveis, ou seja, os respectivos operadores quânticos comutam entre si. Sendo assim, idealmente, não existe limite intrínseco para a precisão com que as referidas quantidades físicas podem ser simultaneamente conhecidas em um átomo de hidrogênio.

A sequência correta é:

- ☐ V, F, V.      ☐ V, V, F.      ☐ F, F, V.      ☐ F, V, F.      ☐ V, F, F.

**Q. 64 [mqPT4b]** Atribua V para as afirmações verdadeiras e F para as falsas.

( ) Ao fazermos sucessivas medidas de duas quantidades físicas em um certo sistema quântico, descobrimos que o produto das incertezas nessas medidas pode ser arbitrariamente reduzido melhorando-se a qualidade das medidas. Neste caso, é correto concluir que os operadores quânticos que representam as quantidades físicas medidas não comutam.

( ) Considere a seguinte sequência de três medidas em um sistema quântico: primeiro medimos uma quantidade física  $A$ , em seguida medimos uma quantidade física  $B$ , e depois medimos  $A$  novamente. Para uma quantidade física  $B$  qualquer, as duas medidas de  $A$  não necessariamente retornarão o mesmo resultado.

( ) No átomo de hidrogênio, a energia, o módulo quadrado do momento angular e a componente  $z$  do momento angular são quantidades físicas compatíveis, ou seja, os respectivos operadores quânticos comutam entre si. Sendo assim, existe um limite intrínseco para a precisão com que as referidas quantidades físicas podem ser simultaneamente conhecidas em um átomo de hidrogênio.

A sequência correta é:

- ☐ F, V, F.      ☐ F, F, V.      ☐ V, V, F.      ☐ V, F, V.      ☐ F, V, V.

**Q. 65 [mqPT5a]**

Seja  $\psi(x)$  uma autofunção de energia normalizada, que descreve o estado uma partícula em um certo sistema quântico unidimensional. Qual é a probabilidade de encontrarmos um valor no intervalo  $-a/3 < x < a/3$  em uma medida da posição da partícula? Aqui,  $a$  é uma constante com unidades de comprimento.

- ☐  $\int_{-a/3}^{a/3} |\psi(x)|^2 dx$       ☐  $\int_{-a/3}^{a/3} x |\psi(x)|^2 dx$       ☐  $\int_{-\infty}^{\infty} x |\psi(x)|^2 dx$   
☐  $\int_{-a/3}^{a/3} |\psi(x)| dx$       ☐  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x)|^2 dx$

**Q. 66 [mqPT5b]**

Seja  $\psi(x)$  uma autofunção de energia normalizada, que descreve o estado uma partícula em um certo sistema quântico unidimensional. Qual é a probabilidade de encontrarmos um valor no intervalo  $-a/2 < x < a/2$  em uma medida da posição da partícula? Aqui,  $a$  é uma constante com unidades de comprimento.

☐  $\int_{-a/2}^{a/2} |\psi(x)|^2 dx$

☐  $\int_{-a/2}^{a/2} x |\psi(x)|^2 dx$

☐  $\int_{-\infty}^{\infty} x |\psi(x)|^2 dx$

☐  $\int_{-a/2}^{a/2} |\psi(x)| dx$

☐  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x)|^2 dx$

**Q. 67 [mqPT6a]**

Uma partícula de massa  $m$  move-se em uma dimensão sob a ação de um potencial  $V(x)$ . Esse potencial é do tipo caixa, sendo zero no intervalo  $-a/2 \leq x \leq a/2$  e infinito fora dele:

$$V(x) = \begin{cases} 0, & -a/2 \leq x \leq a/2, \\ \infty & |x| > a/2. \end{cases}$$

Aqui,  $x$  é a posição da partícula. Denotando por  $H$  o hamiltoniano do sistema, por  $E_n$  os possíveis autovalores de energia e por  $|n\rangle$  os respectivos autovetores, temos que  $H|n\rangle = E_n|n\rangle$ , com  $E_n = n^2\pi^2\hbar^2/2m^2a^2$ . Supondo que o vetor de estado normalizado dessa partícula no instante  $t = 0$  é  $|\psi(0)\rangle = c_1|1\rangle + c_2|2\rangle + c_3|3\rangle + c_4|4\rangle$ , em que  $c_n$  são constantes, qual é a probabilidade de obter um valor menor que  $6\pi^2\hbar^2/m^2a^2$  em uma medida da energia da partícula nesse instante?

☐  $1 - |c_4|^2$

☐  $1 - |c_4|^2 - |c_3|^2 - |c_2|^2$

☐ 0

☐  $1 - |c_4|^2 - |c_3|^2$

☐ 1

**Q. 68 [mqPT6b]**

Uma partícula de massa  $m$  move-se em uma dimensão sob a ação de um potencial  $V(x)$ . Esse potencial é do tipo caixa, sendo zero no intervalo  $-a/2 \leq x \leq a/2$  e infinito fora dele:

$$V(x) = \begin{cases} 0, & -a/2 \leq x \leq a/2, \\ \infty & |x| > a/2. \end{cases}$$

Aqui,  $x$  é a posição da partícula. Denotando por  $H$  o hamiltoniano do sistema, por  $E_n$  os possíveis autovalores de energia e por  $|n\rangle$  os respectivos autovetores, temos que  $H|n\rangle = E_n|n\rangle$ , com  $E_n = n^2\pi^2\hbar^2/2m^2a^2$ . Supondo que o vetor de estado normalizado dessa partícula no instante  $t = 0$  é  $|\psi(0)\rangle = c_1|1\rangle + c_2|2\rangle + c_3|3\rangle + c_4|4\rangle$ , em que  $c_n$  são constantes, qual é a probabilidade de obter um valor menor que  $3\pi^2\hbar^2/m^2a^2$  em uma medida da energia da partícula nesse instante?

☐  $1 - |c_4|^2 - |c_3|^2$

☐  $1 - |c_4|^2 - |c_3|^2 - |c_2|^2$

☐ 0

☐  $1 - |c_4|^2$

☐ 1

**Q. 69 [mqPT7a]**

Considere um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é bidimensional. Sejam  $|1\rangle$  e  $|2\rangle$  dois estados que formam uma base ortonormal nesse espaço, na qual o hamiltoniano é escrito na forma

$$H = \hbar\omega (|1\rangle\langle 1| - |2\rangle\langle 2|).$$

Seja  $A$  um observável do sistema, que nessa base assume a forma

$$A = a (|1\rangle\langle 2| + |2\rangle\langle 1|),$$

em que  $a$  é uma constante real, com dimensões físicas apropriadas. Se no instante  $t = 0$  o sistema se encontra no estado

$$|\psi(0)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|2\rangle,$$

qual será o valor esperado  $\langle A \rangle(t)$ ?

☐  $a \cos(2\omega t)$

☐  $a \sin(2\omega t)$

☐  $a \cos^2(\omega t)$

☐  $-a \cos(2\omega t)$

☐  $-a \sin(2\omega t)$

**Q. 70 [mqPT7b]**

Considere um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é bidimensional. Sejam  $|1\rangle$  e  $|2\rangle$  dois estados que formam uma base ortonormal nesse espaço, na qual o hamiltoniano é escrito na forma

$$H = \hbar\omega (|1\rangle\langle 1| - |2\rangle\langle 2|).$$

Seja  $A$  um observável do sistema, que nessa base assume a forma

$$A = a (|1\rangle\langle 2| + |2\rangle\langle 1|),$$

em que  $a$  é uma constante real, com dimensões físicas apropriadas. Se no instante  $t = 0$  o sistema se encontra no estado

$$|\psi(0)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|2\rangle,$$

qual será o valor esperado  $\langle A \rangle(t)$ ?

☐  $-a \cos(2\omega t)$

☐  $a \sin(2\omega t)$

☐  $-a \cos^2(\omega t)$

☐  $a \cos(2\omega t)$

☐  $-a \sin(2\omega t)$

**Q. 71 [mqPT8a]**

Seja  $\{|n\rangle\}$  um conjunto de autofunções reais e ortonormais de um hamiltoniano  $\hat{H}$  em uma dimensão, correspondentes aos autovalores de energia  $E_n$ . Seja  $\hat{p}$  o operador momento linear. Qual (ou quais) das seguintes afirmações deve ser sempre verdadeira?

I.  $\langle m|\hat{n}\rangle \neq 0$ .

II.  $|n\rangle$  é uma autofunção de  $\hat{p}^2$ .

III.  $\langle m|\hat{H}|n\rangle = \delta_{mn}E_n$ .

☐ Apenas III.

☐ Apenas II.

☐ Apenas II e III.

☐ Apenas I.

☐ Apenas I e III.

**Q. 72 [mqPT8b]**

Seja  $\{|n\rangle\}$  um conjunto de autofunções reais e ortonormais de um hamiltoniano  $\hat{H}$  em uma dimensão, correspondentes aos autovalores de energia  $E_n$ . Seja  $\hat{x}$  o operador posição. Qual (ou quais) das seguintes afirmações deve ser sempre verdadeira?

- I.  $\langle m|n\rangle \neq 0$ .
- II.  $\langle m|\hat{H}|n\rangle = \delta_{mn}E_n$ .
- III.  $|n\rangle$  é uma autofunção de  $\hat{x}^2$ .

☒ Apenas II.

☐ Apenas I.

☐ Apenas II e III.

☐ Apenas III.

☐ Apenas I e II.

**Q. 73 [fePT1a]** Considere um sistema de  $N$  partículas fracamente interagentes que obedecem à estatística de Maxwell-Boltzmann. Cada partícula tem acesso a 5 níveis não degenerados de energia:  $-2E, -E, 0, E, 2E$ , com  $E > 0$ . O sistema está em contato com um reservatório térmico à temperatura  $T$ . A respeito desse sistema, podemos dizer que a energia média quando  $T \rightarrow 0$ , a entropia quando  $T \rightarrow 0$  e a entropia quando  $T \rightarrow \infty$  são respectivamente dadas por:

☒  $-2E, 0$  e  $Nk_B \ln 5$ .

☐  $0, 3Nk_B \ln 5$  e  $Nk_B \ln 5$ .

☐  $0, 3Nk_B$  e  $5Nk_B$ .

☐  $-2E, 0$  e  $Nk_B \ln 3$ .

☐  $-2E, Nk_B$  e  $3Nk_B$ .

**Q. 74 [fePT1b]** Considere um sistema de  $N$  partículas fracamente interagentes que obedecem à estatística de Maxwell-Boltzmann. Cada partícula tem acesso a 3 níveis não degenerados de energia:  $-E, 0, E$ , com  $E > 0$ . O sistema está em contato com um reservatório térmico à temperatura  $T$ . A respeito desse sistema, podemos dizer que a energia média quando  $T \rightarrow 0$ , a entropia quando  $T \rightarrow 0$  e a entropia quando  $T \rightarrow \infty$  são respectivamente dadas por:

☒  $-E, 0$  e  $Nk_B \ln 3$ .

☐  $0, 2Nk_B \ln 3$  e  $Nk_B \ln 3$ .

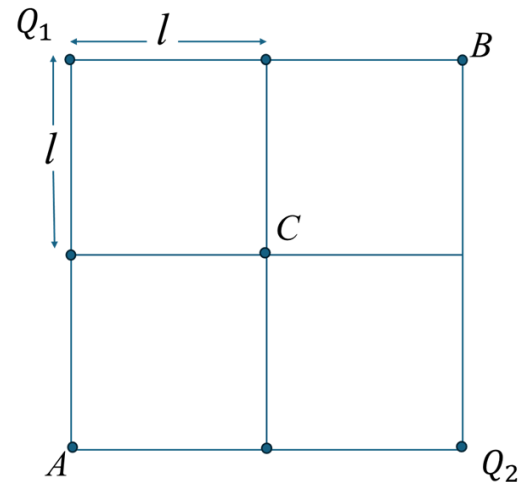
☐  $0, 2Nk_B$  e  $3Nk_B$ .

☐  $-E, 0$  e  $Nk_B \ln 2$ .

☐  $-E, Nk_B$  e  $2Nk_B$ .

**Q. 75 [fePT2a]**

Uma partícula partindo de um ponto  $A$  é atraída por um certo campo para o ponto  $B$  em um reticulado com apenas 9 sítios, conforme a figura. A partícula salta apenas entre sítios que sejam vizinhos mais próximos. Contudo, devido ao efeito do campo, a partícula é impedida de saltar para baixo ou para o lado esquerdo, podendo apenas ir para o lado direito ( $\rightarrow$ ) ou subir ( $\uparrow$ ). Os saltos são executados a intervalos de tempo regulares, de modo que o trajeto de  $A$  até  $B$  necessariamente ocorrerá com 4 saltos no total, com 2 saltos para direita e 2 saltos para cima. Suponha que todas as trajetórias compatíveis com as regras anteriores sejam igualmente prováveis. Qual é a probabilidade de o trajeto passar pelo ponto  $C$ ?



☒  $2/3$

☐  $1/3$

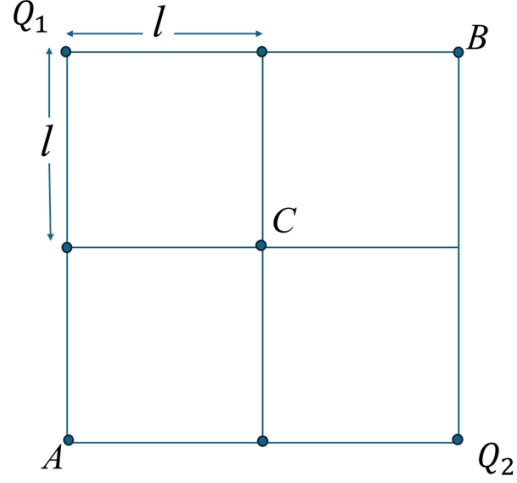
☐  $1/2$

☐  $1$

☐  $1/5$

**Q. 76 [fePT2b]**

Uma partícula partindo de um ponto  $A$  é atraída por um certo campo para o ponto  $B$  em um reticulado com apenas 9 sítios, conforme a figura. A partícula salta apenas entre sítios que sejam vizinhos mais próximos. Contudo, devido ao efeito do campo, a partícula é impedida de saltar para baixo ou para o lado esquerdo, podendo apenas ir para o lado direito ( $\rightarrow$ ) ou subir ( $\uparrow$ ). Os saltos são executados a intervalos de tempo regulares, de modo que o trajeto de  $A$  até  $B$  necessariamente ocorrerá com 4 saltos no total, com 2 saltos para direita e 2 saltos para cima. Suponha que todas as trajetórias compatíveis com as regras anteriores sejam igualmente prováveis. Qual é a probabilidade de o trajeto passar pelo ponto  $Q_1$ ?



- ☒  $1/6$ 
☐  $1/4$ 
☐  $1/3$ 
☐  $1$ 
☐  $1/2$

**Q. 77 [fePT3a]** O modelo de Ising é um modelo fundamental em física estatística, estudado inicialmente por E. Ising, sob a supervisão de W. Lenz, na década de 1920. Em sua versão ferromagnética, os íons magnéticos vizinhos, de spin  $1/2$ , interagem entre si de acordo com um acoplamento  $J$  constante e positivo, e o estado do  $i$ -ésimo spin é representado pela variável adimensional  $s_i = \pm 1$ . Considere aqui a situação em que há apenas dois spins interagindo segundo o hamiltoniano

$$\mathcal{H} = -Js_1s_2, \quad (1)$$

em equilíbrio térmico com um reservatório à temperatura  $T$ . Nesta situação, sendo  $\beta = 1/(k_B T)$  e  $k_B$  a constante de Boltzmann, qual é a probabilidade de observarmos o par de spins no estado  $(s_1, s_2) = (+1, +1)$ ?

- ☒  $\frac{e^{\beta J}}{2(e^{\beta J} + e^{-\beta J})}$ 
☐  $\frac{e^{\beta J}}{2e^{-\beta J}}$ 
☐  $\frac{e^{-\beta J}}{2(e^{\beta J} + e^{-\beta J})}$
- ☐  $\frac{e^{-\beta J}}{e^{\beta J} + e^{-\beta J}}$ 
☐  $\frac{2e^{-\beta J}}{e^{\beta J} + e^{-\beta J}}$

**Q. 78 [fePT3b]** O modelo de Ising é um modelo fundamental em física estatística, estudado inicialmente por E. Ising, sob a supervisão de W. Lenz, na década de 1920. Em sua versão ferromagnética, os íons magnéticos vizinhos, de spin  $1/2$ , interagem entre si de acordo com um acoplamento  $J$  constante e positivo, e o estado do  $i$ -ésimo spin é representado pela variável adimensional  $s_i = \pm 1$ . Considere aqui a situação em que há apenas dois spins interagindo segundo o hamiltoniano

$$\mathcal{H} = -Js_1s_2, \quad (2)$$

em equilíbrio térmico com um reservatório à temperatura  $T$ . Nesta situação, sendo  $\beta = 1/(k_B T)$  e  $k_B$  a constante de Boltzmann, qual é a probabilidade de observarmos o par de spins no estado  $(s_1, s_2) = (+1, -1)$ ?

- ☒  $\frac{e^{-\beta J}}{2(e^{\beta J} + e^{-\beta J})}$ 
☐  $\frac{e^{-\beta J}}{2e^{\beta J}}$ 
☐  $\frac{e^{\beta J}}{2(e^{\beta J} + e^{-\beta J})}$
- ☐  $\frac{e^{\beta J}}{e^{\beta J} + e^{-\beta J}}$ 
☐  $\frac{2e^{\beta J}}{e^{\beta J} + e^{-\beta J}}$



**Q. 79 [fePT4a]** Considere uma coleção de  $n$  sistemas distinguíveis de dois níveis, cada um constituído de uma única partícula. Nessa coleção, há inicialmente  $n_1$  partículas no autoestado de energia  $\varepsilon_1$  e  $n_2$  partículas no autoestado de energia  $\varepsilon_2$ . Se ocorre uma única emissão quântica entre as populações, de forma que o número de partículas no autoestado  $\varepsilon_1$  passa a ser  $n_1 + 1$  e o número de partículas no autoestado  $\varepsilon_2$  passa a ser  $n_2 - 1$ , a variação resultante na entropia microcanônica da coleção é:

☐  $k_B \ln \frac{n_2}{(n_1 + 1)}.$

☐  $k_B \ln 2.$

☐  $k_B \ln \frac{n_1}{(n_2 + 1)}.$

☐  $k_B.$

☐  $k_B \ln \frac{n_2}{n_1}.$

**Q. 80 [fePT4b]** Considere uma coleção de  $n$  sistemas distinguíveis de dois níveis, cada um constituído de uma única partícula. Nessa coleção, há inicialmente  $n_1$  partículas no autoestado de energia  $\varepsilon_1$  e  $n_2$  partículas no autoestado de energia  $\varepsilon_2$ . Se ocorre uma única emissão quântica entre as populações, de forma que o número de partículas no autoestado  $\varepsilon_1$  passa a ser  $n_1 - 1$  e o número de partículas no autoestado  $\varepsilon_2$  passa a ser  $n_2 + 1$ , a variação resultante na entropia microcanônica da coleção é:

☐  $k_B \ln \frac{n_1}{(n_2 + 1)}.$

☐  $k_B \ln 2.$

☐  $k_B \ln \frac{n_2}{(n_1 + 1)}.$

☐  $k_B.$

☐  $k_B \ln \frac{n_1}{n_2}.$

## CATALOG

# Folha de Respostas

12025EUF0000

João Ninguém

Q. 1 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 2 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 3 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 4 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 5 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 6 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 7 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 8 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 9 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 10 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 11 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 12 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 13 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 14 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 15 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 16 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 17 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 18 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 19 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 20 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 21 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 22 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 23 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 24 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 25 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 26 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 27 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 28 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 29 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 30 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 31 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 32 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 33 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 34 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 35 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 36 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 37 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 38 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 39 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 40 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 41 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 42 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 43 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 44 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 45 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 46 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 47 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ EQ. 48 : ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

# CATALOG

Q. 49 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 50 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 51 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 52 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 53 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 54 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 55 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 56 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 57 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 58 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 59 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 60 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 61 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 62 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 63 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 64 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 65 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 66 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 67 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 68 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 69 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 70 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 71 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 72 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 73 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 74 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 75 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 76 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 77 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 78 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 79 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Q. 80 : ☒ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

## CATALOG