## Questão EM1A

.

Um capacitor de placas paralelas é preenchido por um dielétrico com permissividade elétrica $\epsilon$. A distribuição de carga elétrica no espaço entre as placas é dada por $\rho(z) = \rho_0 \, e^{-2\alpha z}$, onde $z$ é a direção perperdicular às placas e $\rho_0$ e $\alpha$ são constantes. A placa localizada em $z = 0$ possui um potencial $V = V_0$, enquanto a placa localizada em $z = d$ possui um potencial $V = 2V_0$, onde $V_0$ é constante. Considerando os efeitos de borda desprezíveis, qual é o potencial elétrico $V(z)$ no interior do capacitor?

- [x] a) $V(z) = V_0 \left(1 + \frac{z}{d}\right) + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right) - \frac{z}{d}\frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha d}\right)$
- [ ] b) $V(z) = V_0 + V_0 \frac{\ln(1+z/d)}{\ln 2} + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right) - \frac{z}{d}\frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha d}\right)$
- [ ] c) $V(z) = V_0 \left(1 + \frac{z}{d}\right) + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right)$
- [ ] d) $V(z) = V_0 + V_0 \frac{\ln(1+z/d)}{\ln 2} + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right)$
- [ ] e) $V(z) = V_0 \left(1 + \frac{z}{d}\right)$

## Questão EM1B

.

Um capacitor de placas paralelas é preenchido por um dielétrico com permissividade elétrica $\epsilon$. A distribuição de carga elétrica no espaço entre as placas é dada por $\rho(z) = \rho_0\, e^{-2\alpha z}$, onde $z$ é a direção perperdicular às placas e $\rho_0$ e $\alpha$ são constantes. A placa localizada em $z = 0$ possui um potencial $V = 0$, enquanto a placa localizada em $z = d$ possui um potencial $V = V_0$, onde $V_0$ é constante. Considerando os efeitos de borda desprezíveis, qual é o potencial elétrico $V(z)$ no interior do capacitor?

- [x] a) $V(z) = \frac{z}{d}V_0 + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right) - \frac{z}{d}\frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha d}\right)$

- [ ] b) $V(z) = V_0\frac{\ln(1+z/d)}{\ln 2} + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right) - \frac{z}{d}\frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha d}\right)$

- [ ] c) $V(z) = \frac{z}{d}V_0 + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right)$

- [ ] d) $V(z) = V_0\frac{\ln(1+z/d)}{\ln 2} + \frac{\rho_0}{4\epsilon\alpha^2}\left(1 - e^{-2\alpha z}\right)$

- [ ] e) $V(z) = \frac{z}{d}V_0$

**Questão EM2A**

.

Um disco circular de plástico com raio $R$ possui uma carga positiva uniformemente distribuída. Sendo $\sigma$ sua densidade de carga uniforme, a que distância ao longo do seu eixo central (perpendicular ao plano do disco e que passa pelo seu centro) o módulo do campo elétrico $\mathbf{E}$ é igual a um terço do seu valor imediatamente acima do centro da superfície do disco?

- [x] a) $\dfrac{2R}{\sqrt{5}}$
- [ ] b) $\dfrac{3R}{\sqrt{7}}$
- [ ] c) $\dfrac{4R}{\sqrt{3}}$
- [ ] d) $\dfrac{2R}{\sqrt{3}}$
- [ ] e) $\dfrac{5R}{\sqrt{2}}$

### Questão EM2B

.

Um disco circular de plástico com raio $R$ possui uma carga positiva uniformemente distribuída. Sendo $\sigma$ sua densidade de carga uniforme, a que distância ao longo do seu eixo central (perpendicular ao plano do disco e que passa pelo seu centro) o módulo do campo elétrico $\mathbf{E}$ é igual a um quarto do seu valor imediatamente acima do centro da superfície do disco?

- [x] a) $\dfrac{3R}{\sqrt{7}}$
- [ ] b) $\dfrac{2R}{\sqrt{5}}$
- [ ] c) $\dfrac{4R}{\sqrt{3}}$
- [ ] d) $\dfrac{2R}{\sqrt{3}}$
- [ ] e) $\dfrac{5R}{\sqrt{2}}$

**Questão EM3A**

.

Uma espira retangular de fio com resistência $R$, localizada no plano $(x,y)$, possui seus vértices localizados nas posições (0,0), $(0,L)$, $(2L,0)$ e $(2L,L)$. Nesta região existe um campo magnético não-uniforme dado por $\mathbf{B}(x,t) = 3Ktx\hat{n}$, onde $K$ é uma constante e $\hat{n} = (\hat{x} \times \hat{y})$. Qual é o módulo da força eletromotriz $\mathcal{E}$ induzida na espira num certo instante $t$?

- [x] a) $\mathcal{E} = 6KL^3$
- [ ] b) $\mathcal{E} = 2KL^3$
- [ ] c) $\mathcal{E} = 6KtL^2$
- [ ] d) $\mathcal{E} = 2KtL^2$
- [ ] e) $\mathcal{E} = 3KtL^2$

**Questão EM3B**

.

Uma espira retangular de fio com resistência $R$, localizada no plano $(x,y)$, possui seus vértices localizados nas posições (0,0), $(0,L)$, $(2L,0)$ e $(2L,L)$. Nesta região existe um campo magnético não-uniforme dado por $\mathbf{B}(x,t) = 2Ktx\hat{n}$, onde $K$ é uma constante e $\hat{n} = (\hat{x} \times \hat{y})$. Qual é a corrente $i$ induzida na espira num certo instante $t$?

- [x] a) $i = \dfrac{4KL^3}{R}$

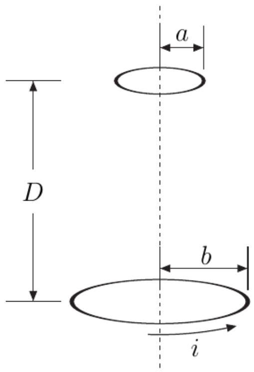
- [ ] b) $i = \dfrac{2KL^3}{R}$

- [ ] c) $i = \dfrac{KL^3}{R}$

- [ ] d) $i = \dfrac{2KtL^2}{R}$

- [ ] e) $i = \dfrac{4KtL^2}{R}$

**Questão EM4A**

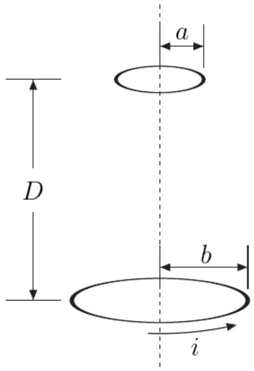



.

Duas espiras de fio com um eixo comum e paralelas, de raios $a$ e $b$, são separadas por uma distância $D$ (ver Figura). Encontre a indução mútua $M$ entre as duas espiras no caso em que $a \ll b$ e $D = 2b$.

- [x] a) $M = \frac{\pi \mu_0 a^2 b^2}{2(5^{3/2} b^3)}$
- [ ] b) $M = \frac{\pi \mu_0 a^2 b^2}{4^{3/2} a^3}$
- [ ] c) $M = \frac{\mu_0 a b^3}{2\pi(5^{3/2} b^3)}$
- [ ] d) $M = \frac{\pi \mu_0 a b^3}{4^{3/2} a^3}$
- [ ] e) $M = \frac{\mu_0 a^3 b}{\pi(5^{3/2} b^3)}$

**Questão EM4B**




.

Duas espiras de fio com um eixo comum e paralelas, de raios $a$ e $b$, são separadas por uma distância $D$ (ver Figura). Encontre a indução mútua $M$ entre as duas espiras no caso em que $a \ll b$ e $D = 3b$.

- [x] a) $M = \dfrac{\pi\mu_0 a^2 b^2}{2(10^{3/2} b^3)}$
- [ ] b) $M = \dfrac{\pi\mu_0 a^2 b^2}{8^{3/2} a^3}$
- [ ] c) $M = \dfrac{\mu_0 a b^3}{2\pi(10^{3/2} b^3)}$
- [ ] d) $M = \dfrac{\pi\mu_0 a b^3}{8^{3/2} a^3}$
- [ ] e) $M = \dfrac{\mu_0 a^3 b}{\pi(10^{3/2} b^3)}$

**Questão EM5A**

Duas esferas idênticas de raio $R$ e perfeitamente condutoras estão localizadas no vácuo, separadas por uma distância muito grande. Inicialmente, uma está neutra e a outra está carregada com carga elétrica $Q$. Elas são colocadas em contato e o equilíbrio elétrico é estabelecido. Em seguida, são levadas de volta para suas posições iniciais.

Qual a variação da energia armazenada no campo elétrico entre a situação inicial e a situação final?

- [x] a) $-Q^2/(16\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] b) $Q^2/(16\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] c) $-Q^2/(8\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] d) $Q^2/(8\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] e) 0

**Questão EM5B**

Duas esferas idênticas de raio $R$ e perfeitamente condutoras estão localizadas no vácuo, separadas por uma distância muito grande. Inicialmente, uma está com carga elétrica $Q$ e a outra está com carga $-Q$. Elas são colocadas em contato e o equilíbrio elétrico é estabelecido. Em seguida, são levadas de volta para suas posições iniciais.

Qual a variação da energia armazenada no campo elétrico entre a situação inicial e a situação final?

- [x] a) $-Q^2/(4\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] b) $Q^2/(4\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] c) $Q^2/(8\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] d) $-Q^2/(8\pi\varepsilon_0 R)$
- [ ] e) 0

**Questão EM6A**

Um elemento de corrente elétrica $I\,d\ell$ está localizado na origem de um sistema de coordenadas. A corrente está na direção do eixo $z$ positivo.
Qual é a componente $x$ do campo magnético produzido por esse elemento de corrente no ponto $(x,y,z)$?

- [x] a) $-\mu_0 I y d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] b) $\mu_0 I y d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] c) $-\mu_0 I z d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] d) $\mu_0 I x d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] e) 0

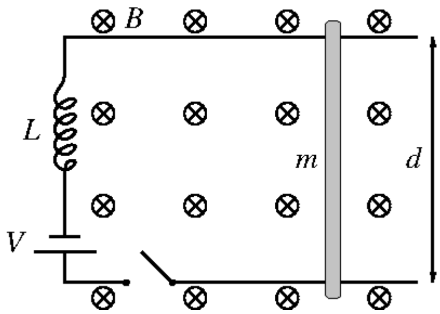
**Questão EM6B**

Um elemento de corrente elétrica $I\,d\ell$ está localizado na origem de um sistema de coordenadas. A corrente está na direção do eixo $x$ positivo.
Qual é a componente $y$ do campo magnético produzido por esse elemento de corrente no ponto $(x,y,z)$?

- [x] a) $-\mu_0 I z d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] b) $\mu_0 I z d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] c) $-\mu_0 I y d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] d) $\mu_0 I x d\ell \;/\; (4\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2})$
- [ ] e) 0

**Questão EM7A**

A figura abaixo ilustra um circuito que se encontra no plano horizontal onde uma barra perfeitamente condutora de massa *m* está sobre trilhos perfeitamente condutores separados por uma distância *d*. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre a barra e os trilhos são, respectivamente, $\mu_e$ e $\mu_c$. Perpendicularmente ao circuito, há um campo magnético uniforme de magnitude *B*. O circuito possui uma bateria perfeita de ddp constante *V* e uma bobina de indutância *L*.

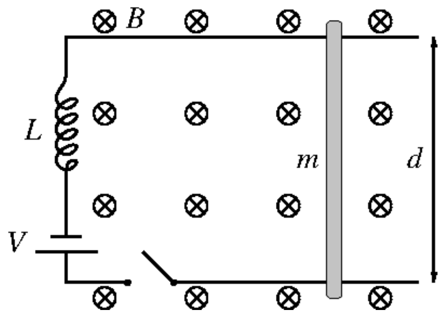



No instante de tempo $t = 0$, a chave do circuito é fechada. A aceleração da gravidade é *g* e assuma que o campo gerado pela corrente do circuito é desprezível em relação ao campo externo. Assinale a alternativa correta.

- [x] a) A barra se move somente após o instante de tempo $\mu_e mgL/BVd$.
- [ ] b) A barra se move imediatamente após a chave do circuito ser fechada.
- [ ] c) A barra se move imediatamente somente se $B > \mu_e mgL/Vd$. Caso contrário, nunca se move.
- [ ] d) A barra se move imediatamente somente se $B > \mu_c mgL/Vd$. Caso contrário, nunca se move.
- [ ] e) A barra se move somente após o instante de tempo $\mu_c mgL/BVd$.

**Questão EM7B**

A figura abaixo ilustra um circuito que se encontra no plano horizontal onde uma barra perfeitamente condutora de massa *m* está sobre trilhos perfeitamente condutores separados por uma distância *d*. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre a barra e os trilhos são, respectivamente, $\mu_e$ e $\mu_c$. Perpendicularmente ao circuito, há um campo magnético uniforme de magnitude *B*. O circuito possui uma bateria perfeita de ddp constante *V* e uma bobina de indutância *L*.




No instante de tempo $t = 0$, a chave do circuito é fechada. A aceleração da gravidade é *g* e assuma que o campo gerado pela corrente do circuito é desprezível em relação ao campo externo. Assinale a alternativa correta sobre a aceleração da barra.

- [x] a) É nula até o instante de tempo $\mu_e mgL/BVd$ e não-nula após.
- [ ] b) É sempre nula se $B < \mu_e mgL/Vd$.
- [ ] c) É sempre nula se $B < \mu_c mgL/Vd$.
- [ ] d) Em módulo, é igual a $BVd / mL$.
- [ ] e) Cresce linearmente com o tempo.

**Questão EM8A**

O campo elétrico de uma onda eletromagnética linearmente polarizada que se propaga no vácuo é dado pela parte real de $\mathbf{E} = E\, e^{ik(z-ct)}\, \mathbf{x}$, sendo $\mathbf{x}$ o vetor unitário na direção do eixo $x$ positivo. O mesmo campo elétrico pode ser escrito como uma combinação linear da forma $\mathbf{E} = (\mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_-)/2$, onde $\mathbf{E}_\pm = E\, e^{ik(z-ct)}\, (\mathbf{x} \mp i\mathbf{y})$ descrevem ondas circularmente polarizadas no sentido horário e anti-horário, respectivamente. Suponha que a onda incide normalmente sobre um cristal cujo índice de refração depende do estado de polarização circular. Nesse cristal, os índices de refração são $n \pm \delta n$ para polarização circular descrita por $\mathbf{E}_+$ e $\mathbf{E}_-$, respectivamente. Qual o ângulo de rotação (em módulo) do plano de polarização da onda após ela ter se propagado uma distância $d$ dentro desse meio?

- [x] a) $kd\delta n$
- [ ] b) $2kd\delta n$
- [ ] c) $2kd\delta n \,/\, n$
- [ ] d) $2kdn\delta n$
- [ ] e) 0

**Questão EM8B**

O campo elétrico de uma onda eletromagnética linearmente polarizada que se propaga no vácuo é dado pela parte real de $\mathbf{E} = E\, e^{i\omega(z/c-t)}\, \mathbf{y}$, sendo **y** o vetor unitário na direção do eixo *y* positivo. O mesmo campo elétrico pode ser escrito como uma combinação linear da forma $\mathbf{E} = i(\mathbf{E}_{+} - \mathbf{E}_{-})/2$, onde $\mathbf{E}_{\pm} = E\, e^{i\omega(z/c-t)}(\mathbf{x} \mp i\mathbf{y})$ descrevem ondas circularmente polarizadas no sentido horário e anti-horário, respectivamente. Suponha que a onda incide normalmente sobre um cristal cujo índice de refração depende do estado de polarização circular. Neste cristal, os índices de refração são $n \pm \delta n$ para polarização circular descrita por $\mathbf{E}_{+}$ e $\mathbf{E}_{-}$, respectivamente.

Qual o ângulo de rotação (em módulo) do plano de polarização da onda após ela ter se propagado uma distância *d* dentro desse meio?

- [x] a) $\omega d\delta n \,/\, c$
- [ ] b) $2\omega d\delta n \,/\, c$
- [ ] c) $2\omega d\delta n \,/\, (nc)$
- [ ] d) $2\omega n d\delta n \,/\, c$
- [ ] e) 0

**Questão TE5A**

Considere um sistema formado por dois osciladores harmônicos (quânticos) 1 e 2 interagentes e de mesma frequência natural $\omega$, caracterizados por números quânticos $n_1$ e $n_2$, respectivamente, ambos em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura $T$. A energia do sistema vale $\hbar\omega(n_1 + n_2)$ se $n_1 \neq n_2$ e $\hbar\omega(n_1 + n_2) + \Delta$ se $n_1 = n_2$, sendo $\Delta > 0$ uma constante. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para a função de partição canônica $Z(T)$ do sistema, supondo o regime de baixas temperaturas $[\beta = (k_B T)^{-1} \gg 1]$.

- [x] a) $Z(T) = e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\hbar\omega}$
- [ ] b) $Z(T) = e^{-\beta\Delta} + e^{-\beta\hbar\omega}$
- [ ] c) $Z(T) = e^{-\beta\Delta}(1 + 2e^{-\beta\hbar\omega})$
- [ ] d) $Z(T) = e^{-\beta\Delta}(1 + e^{-\beta\hbar\omega})$
- [ ] e) $Z(T) = e^{-\beta\Delta}(1 + 2e^{-2\beta\hbar\omega})$

**Questão TE5B**

Considere um sistema formado por dois osciladores harmônicos (quânticos) 1 e 2 interagentes e de mesma frequência natural $\omega$, caracterizados por números quânticos $n_1$ e $n_2$, respectivamente, ambos em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura $T$. A energia do sistema vale $\hbar\omega(n_1 + n_2)$ se $n_1 \neq n_2$ e $\hbar\omega(n_1 + n_2) + \Delta$ se $n_1 = n_2$, sendo $\Delta > 0$ uma constante. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para a probabilidade de o sistema ocupar o estado fundamental, supondo o regime de baixas temperaturas $[\beta = (k_B T)^{-1} \gg 1]$.

- [x] a) $\dfrac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\hbar\omega}}$
- [ ] b) $\dfrac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + e^{-\beta\hbar\omega}}$
- [ ] c) $\dfrac{1}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\hbar\omega}}$
- [ ] d) $\dfrac{1}{e^{-\beta\Delta} + e^{-\beta\hbar\omega}}$
- [ ] e) $\dfrac{2e^{-\beta\hbar\omega}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\hbar\omega}}$

**Questão TE6A**

Uma liga binária é composta por $N_A$ átomos do tipo A e $N_B$ átomos do tipo B. Cada átomo do tipo A pode estar localizado no estado fundamental (de energia nula) ou em um estado excitado de energia $\epsilon > 0$, enquanto cada átomo do tipo B pode estar no estado fundamental (de energia nula) ou em um estado excitado de energia $2\epsilon > 0$. Sabendo que esse sistema está em contato com um reservatório térmico a uma temperatura $T$, assinale a alternativa que contém a expressão correta para a energia interna do sistema, expressa em termos de $\beta = (k_B T)^{-1}$.

- [x] a) $\dfrac{N_A\epsilon}{e^{\beta\epsilon}+1} + \dfrac{2N_B\epsilon}{e^{2\beta\epsilon}+1}$
- [ ] b) $\dfrac{N_A\epsilon}{e^{\beta\epsilon}+1} + \dfrac{N_B\epsilon}{e^{2\beta\epsilon}+1}$
- [ ] c) $\dfrac{N_A\epsilon}{e^{\beta\epsilon}+1} + \dfrac{2N_B\epsilon}{2e^{2\beta\epsilon}+1}$
- [ ] d) $\dfrac{N_A\epsilon}{e^{\beta\epsilon}-1} + \dfrac{2N_B\epsilon}{e^{2\beta\epsilon}-1}$
- [ ] e) $\dfrac{N_A\epsilon}{e^{\beta\epsilon}-1} + \dfrac{N_B\epsilon}{e^{2\beta\epsilon}-1}$

**Questão TE6B**

Cada átomo do tipo A pode estar localizado no estado fundamental (de energia nula) ou em um estado excitado de energia $\epsilon > 0$, enquanto cada átomo do tipo B pode estar no estado fundamental (de energia nula) ou em um estado excitado de energia $2\epsilon > 0$. Sabendo que esse sistema está em contato com um reservatório térmico a uma temperatura $T$, assinale a alternativa que contém a expressão correta para a energia interna do sistema, supondo o regime de altas temperaturas ($\beta\epsilon = \epsilon/k_B T \ll 1$).

- [x] a) $\epsilon(N_A + 2N_B)/2$
- [ ] b) $\epsilon(N_A + N_B)/2$
- [ ] c) $\epsilon\dfrac{N_A}{2} + \epsilon\dfrac{2N_B}{3}$
- [ ] d) $\epsilon(N_A + 2N_B)$
- [ ] e) $\epsilon(N_A + N_B)$

**Questão TE7A**

Em um modelo simplificado de um gás de $N$ moléculas ocupando um volume $V$, o número de microestados $\Omega(N, V)$ é dado por

$$\Omega(V, N) = \frac{(V/a)!}{N![(V/a) - N]!},$$

sendo $a$ uma constante que representa o volume excluído por cada molécula. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para a pressão do sistema. [Sugestão: use a aproximação de Stirling, $\ln N! \approx N(\ln N - 1)$.]

- [x] a) $p = \dfrac{k_B T}{a} \ln \dfrac{V}{V - Na}$
- [ ] b) $p = \dfrac{k_B T}{a} \ln \dfrac{V}{Na}$
- [ ] c) $p = \dfrac{k_B T}{a} \ln \dfrac{V - Na}{V}$
- [ ] d) $p = \dfrac{k_B T}{a} \ln \dfrac{Na}{V}$
- [ ] e) $p = \dfrac{k_B T}{a} \ln \dfrac{V + Na}{V}$

**Questão TE7B**

Em um modelo simplificado de um gás de $N$ moléculas ocupando um volume $V$, o número de microestados $\Omega(N, V)$ é dado por

$$\Omega(V, N) = \frac{(V/a)!}{N![(V/a) - N]!},$$

sendo $a$ uma constante que representa o volume excluído por cada molécula. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para o potencial químico do sistema. [Sugestão: use a aproximação de Stirling, $\ln N! \approx N(\ln N - 1)$.]

- [x] a) $\mu = -k_B T \ln\left(\frac{V - Na}{Na}\right)$
- [ ] b) $\mu = -k_B T \ln\left(\frac{V + Na}{Na}\right)$
- [ ] c) $\mu = -k_B T \ln(Na/V)$
- [ ] d) $\mu = -k_B T \ln(1 + Na/V)$
- [ ] e) $\mu = -k_B T \ln \frac{V^2 - (Na)^2}{(Na)^2}$

**Questão TE8A**

Modelos baseados em caminhadas aleatórias têm sido amplamente empregados em Física, mais recentemente também estudados a fim de buscar um melhor entendimento sobre precisão e dissipação em processos biofísicos. Considere, por simplicidade, um modelo para caminhada aleatória unidimensional direcionada, no qual o caminhante parte da origem de um sistema de coordenadas e efetua, a cada instante de tempo $t$ $(t = 1, 2, ..., \tau)$, um passo de comprimento unitário para a direita ou para a esquerda, com probabilidades $a$ e $1-a$, respectivamente. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para $\langle d^2 \rangle$, sendo $d$ a posição do caminhante após $\tau$ passos.

- [x] a) $\langle d^2 \rangle = \tau + \tau(\tau - 1)(2a - 1)^2$
- [ ] b) $\langle d^2 \rangle = \tau(2a - 1)^2$
- [ ] c) $\langle d^2 \rangle = \tau(\tau - 1)(2a - 1)^2$
- [ ] d) $\langle d^2 \rangle = 4a(1 - a)\tau$
- [ ] e) $\langle d^2 \rangle = \tau$

**Questão TE8B**

Modelos baseados em caminhadas aleatórias têm sido amplamente empregados em Física, mais recentemente também estudados a fim de buscar um melhor entendimento sobre precisão e dissipação em processos biofísicos. Considere, por simplicidade, um modelo para caminhada aleatória unidimensional direcionada, no qual o caminhante parte da origem de um sistema de coordenadas e efetua, a cada instante de tempo $t$ ($t = 1, 2, ..., \tau$), um passo de comprimento unitário para a direita ou para a esquerda, com probabilidades $a$ e $1-a$, respectivamente. Assinale a alternativa que contém a expressão correta para a variância $\sigma^2 = \langle d^2 \rangle - \langle d \rangle^2$, sendo $d$ a posição do caminhante após $\tau$ passos.

- [x] a) $\sigma^2 = 4a(1-a)\tau$
- [ ] b) $\sigma^2 = a(2a-1)\tau$
- [ ] c) $\sigma^2 = a(1-a)\tau$
- [ ] d) $\sigma^2 = (1-a^2)\tau$
- [ ] e) $\sigma^2 = 0$

**Questão FM1A**

Uma estação de trens dispõe de um dispositivo capaz de medir o comprimento de trens em movimento. Quando um trem passa pela estação com velocidade 0,600$c$, onde $c$ = 3,00 × $10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo, o dispositivo indica que o trem mede 100 m. Para um observador viajando no trem, qual o comprimento do trem?

- [ ] a) 167 m
- [ ] b) 60 m
- [x] c) 125 m
- [ ] d) 80 m
- [ ] e) 100 m

**Questão FM1B**

Uma estação de trens dispõe de um dispositivo capaz de medir o comprimento de trens em movimento. Quando um trem passa pela estação com velocidade 0,800*c*, onde $c = 3{,}00 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo, o dispositivo indica que o trem mede 100 m. Para um observador viajando no trem, qual o comprimento do trem?

- [x] a) 167 m
- [ ] b) 60 m
- [ ] c) 125 m
- [ ] d) 80 m
- [ ] e) 100 m

Questão FM2A

Uma espaçonave de massa $1{,}0 \times 10^6$ kg se move no espaço com uma velocidade $v_i = 1{,}0 \times 10^5$ m/s quando ejeta uma massa de $2{,}0 \times 10^3$ kg com uma velocidade $0{,}60c$ em relação à espaçonave, onde $c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Após a ejeção, a espaçonave passa a se mover com uma velocidade $v_f$ maior que $v_i$, mas ainda muito menor que $c$. Determine o valor de $v_f$.

- [x] a) $5{,}5 \times 10^5$ m/s
- [ ] b) $9{,}0 \times 10^5$ m/s
- [ ] c) $4{,}6 \times 10^5$ m/s
- [ ] d) $5{,}8 \times 10^5$ m/s
- [ ] e) $7{,}0 \times 10^5$ m/s

Questão FM2B

Uma espaçonave de massa $1{,}0 \times 10^6$ kg se move no espaço com uma velocidade $v_i = 1{,}0 \times 10^5$ m/s quando ejeta uma massa de $2{,}0 \times 10^3$ kg com uma velocidade $0{,}80c$ em relação à espaçonave, onde $c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Após a ejeção, a espaçonave passa a se mover com uma velocidade $v_f$ maior que $v_i$, mas ainda muito menor que $c$. Determine o valor de $v_f$.

- ☐ a) $5{,}5 \times 10^5$ m/s
- ☐ b) $4{,}6 \times 10^5$ m/s
- ☑ c) $9{,}0 \times 10^5$ m/s
- ☐ d) $5{,}8 \times 10^5$ m/s
- ☐ e) $7{,}0 \times 10^5$ m/s

**Questão FM3A**

Uma onda eletromagnética de frequência $4{,}0 \times 10^{14}$ Hz é emitida por uma estação espacial em direção a uma espaçonave que se afasta com velocidade de $0{,}60c$, onde $c$ é a velocidade da luz no vácuo. A onda encontra a espaçonave e é refletida de volta para a estação. A onda refletida será detectada com qual frequência pela estação?

- [x] a) $1{,}0 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] b) $2{,}5 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] c) $1{,}7 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] d) $2{,}9 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] e) $5{,}0 \times 10^{14}$ Hz

**Questão FM3B**

Uma onda eletromagnética de frequência $5,0 \times 10^{14}$ Hz é emitida por uma estação espacial em direção a uma espaçonave que se afasta com velocidade de $0,50c$, onde $c$ é a velocidade da luz no vácuo. A onda encontra a espaçonave e é refletida de volta para a estação. A onda refletida será detectada com qual frequência pela estação?

- [ ] a) $1,0 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] b) $2,5 \times 10^{14}$ Hz
- [x] c) $1,7 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] d) $2,9 \times 10^{14}$ Hz
- [ ] e) $5,0 \times 10^{14}$ Hz

**Questão FM4A**

No interior de um poço de potencial infinito bidimensional de lados $L_x = L_y = L$ existe um sistema de 5 elétrons não interagentes. Sendo $h$ a constante de Planck e $m$ a massa de 1 elétron, qual é a energia, em unidades de $h^2/8mL^2$, do primeiro estado excitado do sistema?

- [x] a) 22
- [ ] b) 5
- [ ] c) 9
- [ ] d) 13
- [ ] e) 12

**Questão FM4B**

No interior de um poço de potencial infinito bidimensional de lados $L_x = L_y = L$ existe um sistema de 3 elétrons não interagentes. Sendo $h$ a constante de Planck e $m$ a massa de 1 elétron, qual é a energia, em unidades de $h^2/8mL^2$, do primeiro estado excitado do sistema?

- [ ] a) 22
- [ ] b) 5
- [ ] c) 9
- [ ] d) 13
- [x] e) 12

## Questão FM5A

A temperatura da radiação cósmica de fundo é 2,73 K. Sua radiância espectral obedece à distribuição de Planck. Em função do comprimento de onda dos fótons ($\lambda$), a distribuição tem seu máximo em $\lambda = \lambda_m$. Qual a frequência dos fótons cujo comprimento de onda é $\lambda_m$ ?

.

- [x] a) 283 GHz
- [ ] b) 0,16 GHz
- [ ] c) 0,28 GHz
- [ ] d) 160 GHz
- [ ] e) 28,3 THz

## Questão FM5B

A temperatura da radiação cósmica de fundo é 2,73 K. Sua radiância espectral obedece à distribuição de Planck. Em função do comprimento de onda dos fótons ($\lambda$), a distribuição tem seu máximo em $\lambda = \lambda_m$. Qual a energia dos fótons cujo comprimento de onda é $\lambda_m$ ?

.

- [x] a) $1{,}17 \times 10^{-3}$ eV
- [ ] b) $0{,}66 \times 10^{-3}$ eV
- [ ] c) $1{,}17 \times 10^{-6}$ eV
- [ ] d) $0{,}66 \times 10^{-6}$ eV
- [ ] e) 0,12 eV

**Questão FM6A**

O múon é uma partícula com a mesma carga do elétron, porém com massa 207 vezes maior que a do elétron. Considere o átomo muônico formado por um próton e um múon. Qual a energia do nível $n$ = 1 do átomo muônico ($E_m$) em relação ao nível $n$ = 1 do átomo de hidrogênio ($E_H$)? Utilize o modelo atômico de Bohr e admita que a massa do próton é 1836 vezes maior que a do elétron.

- [x] a) $E_m = 186\ E_H$
- [ ] b) $E_m = 207\ E_H$
- [ ] c) $E_m = E_H$
- [ ] d) $E_m = E_H/207$
- [ ] e) $E_m = E_H/186$

**Questão FM6B**

O múon é uma partícula com a mesma carga do elétron, porém com massa 207 vezes maior que a do elétron. Considere o átomo muônico formado por um próton e um múon. Qual o raio de Bohr do átomo muônico ($a_m$), em relação ao raio de Bohr do átomo de hidrogênio ($a_H$)? Utilize o modelo atômico de Bohr e admita que a massa do próton é 1836 vezes maior que a do elétron.

- [x] a) $a_m = a_H/186$
- [ ] b) $a_m = a_H/207$
- [ ] c) $a_m = a_H$
- [ ] d) $a_m = 186\ a_H$
- [ ] e) $a_m = 207\ a_H$

## Questão FM7A

Um experimento de difração utiliza elétrons com energia de 182 eV incidindo sobre a superfície de um cristal. Nessas condições, o primeiro pico de difração foi observado no ângulo $\theta = 30^o$. Qual deve ser a energia dos elétrons para que esse pico ocorra em $\theta = 60^o$? Admita que os elétrons têm velocidades não relativísticas.

.

- [x] a) 60,7 eV
- [ ] b) 546 eV
- [ ] c) 315 eV
- [ ] d) 105 eV
- [ ] e) 91,0 eV

**Questão FM7B**

Um experimento de difração utiliza elétrons com energia de 5,00 eV incidindo sobre a superfície de um cristal. Nessas condições, o primeiro pico de difração foi observado no ângulo $\theta = 60^o$. Qual deve ser a energia dos elétrons para que esse pico ocorra em $\theta = 30^o$? Admita que os elétrons têm velocidades não relativísticas.

.

- [x] a) 15,0 eV
- [ ] b) 8,66 eV
- [ ] c) 2,89 eV
- [ ] d) 1,67 eV
- [ ] e) 10,0 eV

**Questão FM8A**

Um equipamento, fixo no laboratório, detecta quedas de dois relâmpagos. O primeiro atinge o ponto A no instante $t_A$, enquanto o segundo atinge o ponto B no instante posterior $t_B$. Outro equipamento semelhante, a bordo de um veículo que viaja com velocidade constante em relação ao laboratório, detecta as quedas dos relâmpagos simultaneamente. Admita que o referencial do laboratório seja inercial; que as posições dos pontos A e B no referencial do laboratório sejam $x_A$ e $x_B$; e que o veículo viaje ao longo da direção $x$. Qual a velocidade ($v$) do veículo em relação ao laboratório?

.

- [x] a) $v = c^2 \dfrac{(t_B - t_A)}{(x_B - x_A)}$
- [ ] b) $v = \dfrac{(x_B - x_A)}{(t_B - t_A)}$
- [ ] c) $v = \dfrac{1}{c}\dfrac{(x_B - x_A)^2}{(t_B - t_A)^2}$
- [ ] d) $v = \dfrac{(x_B - x_A)}{(t_B - t_A)}\left[1 - \dfrac{(x_B - x_A)^2}{c^2 (t_B - t_A)^2}\right]$
- [ ] e) $v = \dfrac{(x_B - x_A)}{(t_B - t_A)}\left[1 - \dfrac{(x_B - x_A)^2}{c^2 (t_B - t_A)^2}\right]^{1/2}$

## Questão FM8B

Um equipamento, fixo no laboratório, detecta quedas de dois relâmpagos. O primeiro atinge o ponto A no instante $t_A$, enquanto o segundo atinge o ponto B no instante posterior $t_B$. Outro equipamento semelhante, a bordo de um veículo que viaja com velocidade constante em relação ao laboratório, detecta as quedas dos relâmpagos simultaneamente. Admita que o referencial do laboratório seja inercial; que as posições dos pontos A e B no referencial do laboratório sejam $x_A$ e $x_B$; e que o veículo viaje ao longo da direção $x$. Sendo $v$ a velocidade do veículo em relação ao laboratório, qual a defasagem temporal entre as detecções realizadas no laboratório, $(t_B - t_A)$ ?

.

- [x] a) $t_B - t_A = \frac{v}{c^2}(x_B - x_A)$
- [ ] b) $t_B - t_A = \frac{\gamma}{v}(x_B - x_A)$
- [ ] c) $t_B - t_A = \left[\frac{(x_B - x_A)^2}{vc}\right]^{1/2}$
- [ ] d) $t_B - t_A = \frac{(x_B - x_A)}{\gamma v}$
- [ ] e) $t_B - t_A = \frac{(x_B - x_A)}{v}\left[1 - \frac{v^2}{c^2}\right]$

**Questão MC1A**

A magnitude da força gravitacional da Terra sobre uma partícula pontual é $F(r)$, em que $r$ é a distância do centro da Terra até a partícula. Assuma que a Terra seja uma esfera de raio $R$ com uma distribuição uniforme de massa. Qual é o valor de $F(r{=}R)/F(r{=}2R)$?

- [x] a) 4
- [ ] b) 1
- [ ] c) 2
- [ ] d) 8
- [ ] e) 16

**Questão MC1B**

A magnitude da força gravitacional da Terra sobre uma partícula pontual é $F(r)$, em que $r$ é a distância do centro da Terra até a partícula. Assuma que a Terra seja uma esfera de raio $R$ com uma distribuição uniforme de massa. Qual é o valor de $F(r{=}R)/F(r{=}3R)$?

- [x] a) 9
- [ ] b) 1
- [ ] c) 3
- [ ] d) 27
- [ ] e) 81

**Questão MC2A**

A magnitude da força gravitacional da Terra sobre uma partícula é $F(r)$, em que $r$ é a distância do centro da Terra até a partícula. Considere que a Terra seja uma esfera de raio $R$ com uma distribuição uniforme de massa. Assuma que perfuremos um buraco bem fino de forma que essa partícula pontual possa ser colocada a uma distância $R/2$ do centro da Terra. Qual é o valor de $F(r{=}R)/F(r{=}R/2)$?

- [x] a) 2
- [ ] b) 4
- [ ] c) 8
- [ ] d) 1/2
- [ ] e) 1/4

**Questão MC2B**

A magnitude da força gravitacional da Terra sobre uma partícula é $F(r)$, em que $r$ é a distância do centro da Terra até a partícula. Considere que a Terra seja uma esfera de raio $R$ com uma distribuição uniforme de massa. Assuma que perfuremos um buraco bem fino de forma que essa partícula pontual possa ser colocada a uma distância $R/3$ do centro da Terra. Qual é o valor de $F(r=R)/F(r=R/3)$?

- [x] a) 3
- [ ] b) 9
- [ ] c) 27
- [ ] d) 1/9
- [ ] e) 1/3

**Questão MC3A**

Um cilindro possui um momento de inércia de 4 kg·m$^2$ ao redor de um eixo fixo que passa pelo seu centro. Inicialmente, esse cilindro gira com uma velocidade de 80 radianos por segundo ao redor do eixo. Um torque constante, que aponta ao longo do eixo de rotação, é aplicado por 10 segundos até reduzir sua velocidade angular para 40 radianos por segundo. A magnitude desse torque é de:

- [x] a) 16 N·m
- [ ] b) 8 N·m
- [ ] c) 1920 N·m
- [ ] d) 192 N·m
- [ ] e) 32 N·m

**Questão MC3B**

Um cilindro possui um momento de inércia de 4 kg·m$^2$ ao redor de um eixo fixo que passa pelo seu centro. Inicialmente, esse cilindro gira com uma velocidade de 100 radianos por segundo ao redor do eixo. Um torque constante, que aponta ao longo do eixo de rotação, é aplicado por 10 segundos até reduzir sua velocidade angular para 50 radianos por segundo. A magnitude desse torque é de:

- [x] a) 20 N·m
- [ ] b) 10 N·m
- [ ] c) 3000 N·m
- [ ] d) 300 N·m
- [ ] e) 40 N·m

**Questão MC4A**

.

Considere um sistema conservativo sem vínculos descrito por uma lagrangeana $L$. Sejam $q_n$ uma coordenada generalizada e $p_n$ o momento generalizado associado. Se $\partial L/\partial q_n = 0$, qual das alternativas abaixo está correta sempre?

- [x] a) $p_n$ é uma constante
- [ ] b) $p_n$ é uma coordenada ignorável
- [ ] c) $p_n$ não pode ser definido
- [ ] d) $q_n = 0$
- [ ] e) $p_n = \dot{q}_n$

### Questão MC4B

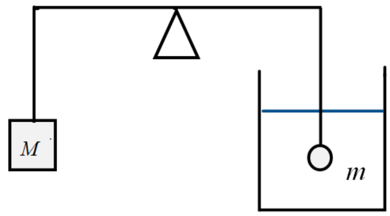
.

Considere um sistema conservativo sem vínculos descrito por uma lagrangeana $L$. Sejam $q_n$ uma coordenada generalizada e $p_n$ o momento generalizado associado. Se $p_n$ for uma constante, qual das afirmativas abaixo está correta sempre?

- [x] a) $\partial L/\partial q_n = 0$
- [ ] b) $p_n$ é uma coordenada ignorável
- [ ] c) $q_n$ não pode ser definida
- [ ] d) $p_n = \dot{q}_n$
- [ ] e) $\dot{q}_n = \partial L/\partial p_n$

Questão MC5A

Uma esfera de massa $m$ e volume $V$ está completamente mergulhada em um líquido e presa por uma haste de massa desprezível a um dos braços de uma balança de braços iguais, como mostra a figura.

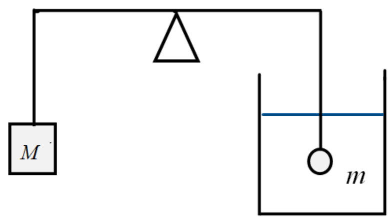



É sabido que o volume de uma massa $m$ do líquido é igual $5V/3$ . Então a massa $M$ que deve ser suspensa no outro braço da balança para mantê-la em equilíbrio é:

- [x] a) $\frac{2}{5}m$
- [ ] b) $m$
- [ ] c) $2m$
- [ ] d) $\frac{3}{5}m$
- [ ] e) $\frac{3}{10}m$

**Questão MC5B**

Uma esfera de massa $m$ e volume $V$ está completamente mergulhada em um líquido e presa por uma haste de massa desprezível a um dos braços de uma balança de braços iguais, como mostra a figura.




É sabido que o volume de uma massa $m$ do líquido é igual $3V/2$ . Então a massa $M$ que deve ser suspensa no outro braço da balança para mantê-la em equilíbrio é:

- [x] a) $\frac{1}{3}m$
- [ ] b) $m$
- [ ] c) $3m$
- [ ] d) $\frac{2}{3}m$
- [ ] e) $\frac{3}{5}m$

**Questão MC6A**

Um barco de massa $m$ locomove-se contrariamente à correnteza de um rio partindo com velocidade inicial $v_0$. Sua velocidade é reduzida pela água por uma força $F = -\alpha \cdot (v + v_C)$, onde $\alpha$ é uma constante positiva e $-v_C$ é a velocidade da correnteza. O tempo necessário até que o barco atinja a condição de velocidade instantânea nula é:

- [x] a) $t = \frac{m}{\alpha} \ln(\frac{v_0 + v_C}{v_C})$
- [ ] b) $t = \frac{m}{\alpha} \ln(\frac{v_0}{v_C})$
- [ ] c) $t = \frac{m}{\alpha}$
- [ ] d) $t = \frac{m}{\alpha} \ln(\frac{2v_0}{v_C})$
- [ ] e) $t = \frac{m}{\alpha} \ln(\frac{v_C}{v_0})$

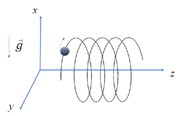
**Questão MC6B**

Um barco de massa $m$ locomove-se contrariamente à correnteza de um rio partindo com velocidade inicial $v_0$. Sua velocidade é reduzida pela água por uma força $F = -\alpha \cdot (v + v_C)^2$, onde $\alpha$ é uma constante positiva e $-v_C$ é a velocidade da correnteza. O tempo necessário até que o barco atinja a condição de velocidade instantânea nula é:

- [x] a) $t = \dfrac{m}{\alpha}\dfrac{v_0}{v_C(v_0 + v_C)}$
- [ ] b) $t = \dfrac{m}{\alpha(v_0 + v_C)}$
- [ ] c) $t = \dfrac{m}{v_0 \alpha}$
- [ ] d) $t = \dfrac{m}{v_C \alpha}$
- [ ] e) $t = \dfrac{2m}{\alpha(v_0 + v_C)}$

## Questão MC7A

Uma conta de massa $m$ desliza ao longo de uma linha helicoidal sob a ação do campo gravitacional terrestre, como mostra a figura abaixo:



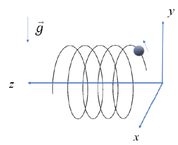

Sua trajetória é descrita parametricamente por $\overrightarrow{r}(\phi) = R\cos\phi\overrightarrow{e}_x + R\sin\phi\overrightarrow{e}_y + a\phi\overrightarrow{e}_z$, com $-\infty < \phi < \infty$. Aqui $a$ e $R$ são constantes. Desta forma podemos dizer que a lagrangeana do sistema é:

.

- [x] a) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\cos\phi$
- [ ] b) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(2R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$
- [ ] c) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}ma^2\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$
- [ ] d) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(2R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\cos\phi$
- [ ] e) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(R^2 + 2a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\cos\phi$

## Questão MC7B

Uma conta de massa $m$ desliza ao longo de uma linha helicoidal sob a ação do campo gravitacional terrestre, como mostra a figura abaixo:




Sua trajetória é descrita parametricamente por $\overrightarrow{r}(\phi) = R\cos\phi\,\overrightarrow{e}_x + R\sin\phi\,\overrightarrow{e}_y + a\phi\,\overrightarrow{e}_z$, com $-\infty < \phi < \infty$. Aqui $a$ e $R$ são constantes. Desta forma podemos dizer que a lagrangeana do sistema é:

- [x] a) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$
- [ ] b) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(2R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\cos\phi$
- [ ] c) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}ma^2\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$
- [ ] d) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(2R^2 + a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$
- [ ] e) $\mathcal{L}(\phi, \dot{\phi}) = \frac{1}{2}m(R^2 + 2a^2)\dot{\phi}^2 - mgR\sin\phi$

### Questão MC8A

Quando uma mola é estendida além do seu limite, a lei de Hooke é modificada e neste caso a força restauradora satisfaz $F(x) = -k\,x + \beta\,x^3$, onde $k = 10$ N/m, enquanto a constante $\beta = 100$ N/m³. O trabalho realizado por esta força quando a mola é alongada por $0{,}2$ m é:

- [x] a) $-0{,}16$ J
- [ ] b) $-0{,}11$ J
- [ ] c) $-0{,}20$ J
- [ ] d) $-0{,}45$ J
- [ ] e) $-0{,}56$ J

Questão MC8B

Quando uma mola é estendida além do seu limite, a lei de Hooke é modificada e neste caso a força restauradora satisfaz $F(x) = -k\,x + \beta\,x^3$, onde $k = 10$ N/m, enquanto a constante $\beta = 100$ N/m³. O trabalho realizado por esta força quando a mola é alongada por $0{,}1$ m é:

- [x] a) $-0,0475$ J
- [ ] b) $-0,0175$ J
- [ ] c) $-0,0111$ J
- [ ] d) $-0,0114$ J
- [ ] e) $-0,0976$ J

### Questão MQ1A

Considere um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é bidimensional e cujo hamiltoniano é dado por

$$H = a\Big(2\sigma_x + \sigma_z\Big),$$

onde $a$ é uma constante real e positiva, com dimensão de energia, e $\sigma_x$ e $\sigma_z$ são matrizes de Pauli. A energia $E_0$ do estado fundamental do sistema é dada por:

.

- [x] a) $E_0 = -\sqrt{5}a$
- [ ] b) $E_0 = -\sqrt{2}a$
- [ ] c) $E_0 = -\sqrt{6}a$
- [ ] d) $E_0 = -\sqrt{3}a$
- [ ] e) $E_0 = -2a$

## Questão MQ1B

Considere um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é bidimensional e cujo hamiltoniano é dado por

$$H = a\Big(3\sigma_x + \sigma_z\Big),$$

onde $a$ é uma constante real e positiva, com dimensão de energia, e $\sigma_x$ e $\sigma_z$ são matrizes de Pauli. A energia $E_0$ do estado fundamental do sistema é dada por:

.

- [x] a) $E_0 = -\sqrt{10}a$
- [ ] b) $E_0 = -\sqrt{8}a$
- [ ] c) $E_0 = -3a$
- [ ] d) $E_0 = -\sqrt{11}a$
- [ ] e) $E_0 = -\sqrt{12}a$

## Questão MQ2A

Um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é tridimensional tem os problemas de autovalores do seu hamiltoniano $H$ e de um certo observável $A$ dados por

$$H|\phi_n\rangle = n^2\epsilon_0|\phi_n\rangle, \qquad n = 1, 2, 3,$$

$$A|\alpha_m\rangle = m\,a|\alpha_m\rangle, \qquad m = 1, 2, 3,$$

onde

$$|\alpha_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}|\phi_1\rangle + \sqrt{\frac{2}{3}}|\phi_2\rangle, \qquad |\alpha_2\rangle = \sqrt{\frac{2}{3}}|\phi_1\rangle - \frac{1}{\sqrt{3}}|\phi_2\rangle, \qquad |\alpha_3\rangle = |\phi_3\rangle,$$

e $\epsilon_0$ e $a$ são constantes reais e positivas. Em um certo instante de tempo, o estado do sistema é dado por

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2}|\phi_1\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_2\rangle - \frac{1}{2}|\phi_3\rangle.$$

Considere que uma medida da energia $E$ do sistema foi realizada e o valor encontrado foi $E = 4\epsilon_0$. Determine a probabilidade $P(A = a)$ de encontrarmos o valor $a$ caso uma medida do observável $A$ seja realizada após a medida da energia.

.

- [x] a) $P(A = a) = 2/3$
- [ ] b) $P(A = a) = 1/3$
- [ ] c) $P(A = a) = 1/2$
- [ ] d) $P(A = a) = 1/6$
- [ ] e) $P(A = a) = 1$

## Questão MQ2B

Um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é tridimensional tem os problemas de autovalores do seu hamiltoniano $H$ e de um certo observável $A$ dados por

$$H|\phi_n\rangle = n^2\epsilon_0|\phi_n\rangle, \qquad n = 1, 2, 3,$$

$$A|\alpha_m\rangle = m\,a|\alpha_m\rangle, \qquad m = 1, 2, 3,$$

onde

$$|\alpha_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}|\phi_1\rangle + \sqrt{\frac{2}{3}}|\phi_2\rangle, \qquad |\alpha_2\rangle = \sqrt{\frac{2}{3}}|\phi_1\rangle - \frac{1}{\sqrt{3}}|\phi_2\rangle, \qquad |\alpha_3\rangle = |\phi_3\rangle,$$

e $\epsilon_0$ e $a$ são constantes reais e positivas. Em um certo instante de tempo, o estado do sistema é dado por

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2}|\phi_1\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_2\rangle - \frac{1}{2}|\phi_3\rangle.$$

Considere que uma medida da energia $E$ do sistema foi realizada e o valor encontrado foi $E = 4\epsilon_0$. Determine a probabilidade $P(A = 2a)$ de encontrarmos o valor $2a$ caso uma medida do observável $A$ seja realizada após a medida da energia.

.

- [x] a) $P(A = 2a) = 1/3$
- [ ] b) $P(A = 2a) = 2/3$
- [ ] c) $P(A = 2a) = 1/2$
- [ ] d) $P(A = 2a) = 1/6$
- [ ] e) $P(A = 2a) = 1$

## Questão MQ3A

Seja um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é tridimensional, sendo o problema de autovalores do seu hamiltoniano $H$ dado por

$$H|\phi_n\rangle = n\,\hbar\omega|\phi_n\rangle, \qquad n = 1, 2, 3,$$

onde $\omega$ é uma constante real e positiva. No instante inicial, $t = 0$, o estado do sistema é dado por

$$|\psi(t=0)\rangle = \frac{1}{2}|\phi_1\rangle + \frac{1}{2}|\phi_2\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_3\rangle.$$

Escolha a alternativa que apresenta corretamente a probabilidade $P(t)$ de encontrar o sistema no estado $|\alpha\rangle$ em um instante genérico $t$, onde

$$|\alpha\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big(|\phi_1\rangle - |\phi_2\rangle\Big).$$

.

- [x] a) $P(t) = \frac{1}{4}\left(1 - \cos\omega t\right)$
- [ ] b) $P(t) = \frac{1}{4}\left(1 + \cos\omega t\right)$
- [ ] c) $P(t) = \frac{1}{4}\left(1 - \sin\omega t\right)$
- [ ] d) $P(t) = \frac{1}{2}\left(1 + \sin\omega t\right)$
- [ ] e) $P(t) = \frac{1}{2}\left(1 + \cos\omega t\right)$

## Questão MQ3B

Seja um sistema quântico cujo espaço de Hilbert é tridimensional, sendo o problema de autovalores do seu hamiltoniano $H$ dado por

$$H|\phi_n\rangle = n\,\hbar\omega|\phi_n\rangle, \qquad n = 1, 2, 3,$$

onde $\omega$ é uma constante real e positiva. No instante inicial, $t = 0$, o estado do sistema é dado por

$$|\psi(t=0)\rangle = \frac{1}{2}|\phi_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\phi_2\rangle + \frac{1}{2}|\phi_3\rangle.$$

Escolha a alternativa que apresenta corretamente a probabilidade $P(t)$ de encontrar o sistema no estado $|\beta\rangle$ em um instante genérico $t$, onde

$$|\beta\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big(|\phi_1\rangle - |\phi_3\rangle\Big).$$

.

- [x] a) $P(t) = \dfrac{1}{4}\Big[1 - \cos(2\omega t)\Big]$
- [ ] b) $P(t) = \dfrac{1}{4}\Big[1 + \cos(2\omega t)\Big]$
- [ ] c) $P(t) = \dfrac{1}{4}\Big[1 - \sin(2\omega t)\Big]$
- [ ] d) $P(t) = \dfrac{1}{2}\Big[1 + \sin(2\omega t)\Big]$
- [ ] e) $P(t) = \dfrac{1}{2}\Big[1 + \cos(2\omega t)\Big]$

## Questão MQ4A

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em três dimensões sob a ação do potencial

$$V(r) = \begin{cases} 0, & r \leq a, \\ \infty, & r > a, \end{cases}$$

onde $a$ é uma constante real e positiva, com dimensão de comprimento. Nesse caso, verifica-se que as autofunções de energia da partícula podem ser escritas como o produto de uma função radial $R_{n\,l}(r)$ por um harmônico esférico $Y_{l\,m}(\theta, \varphi)$, isto é, $\psi_{n\,l\,m}(r, \theta, \varphi) = R_{n\,l}(r) Y_{l\,m}(\theta, \varphi)$. Em particular, para $l = 0$ verifica-se que a solução geral do problema radial assume a forma

$$R_{n,l=0}(r) = \frac{1}{r}\Big[A\cos(k_n r) + B\sin(k_n r)\Big],$$

onde $A$, $B$ e $k_n$ são constantes.
Analise as três afirmações abaixo sobre esse sistema e escolha a alternativa correta.

I. O potencial $V(r)$ é um potencial central.

II. O hamiltoniano $H$ e a componente $x$ do momento angular da partícula, $L_x$, são observáveis compatíveis.

III. Para $l = 0$, as condições de contorno do problema implicam que as constantes $A$, $B$ e $k_n$ são tais que $A \neq 0$, $B = 0$ e $k_n a = (2n+1)\pi/2$, onde $n = 0, 1, 2, \ldots$ .

.

- [x] a) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- [ ] b) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] d) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- [ ] e) As afirmações I, II e III estão corretas.

## Questão MQ4B

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em três dimensões sob a ação do potencial

$$V(r) = \begin{cases} 0, & r \leq a, \\ \infty, & r > a, \end{cases}$$

onde $a$ é uma constante real e positiva, com dimensão de comprimento. Nesse caso, verifica-se que as autofunções de energia da partícula podem ser escritas como o produto de uma função radial $R_{n\,l}(r)$ por um harmônico esférico $Y_{l\,m}(\theta, \varphi)$, isto é, $\psi_{n\,l\,m}(r, \theta, \varphi) = R_{n\,l}(r) Y_{l\,m}(\theta, \varphi)$. Em particular, para $l = 0$ verifica-se que a solução geral do problema radial assume a forma

$$R_{n,l=0}(r) = \frac{1}{r}\Big[A\cos(k_n r) + B\sin(k_n r)\Big],$$

onde $A$, $B$ e $k_n$ são constantes.
Analise as três afirmações abaixo sobre esse sistema e escolha a alternativa correta.

I. O potencial $V(r)$ é um potencial central.

II. O hamiltoniano $H$ e a componente $y$ do momento angular da partícula, $L_y$, são observáveis compatíveis.

III. Para $l = 0$, as condições de contorno do problema implicam que as constantes $A$, $B$ e $k_n$ são tais que $A = 0$, $B \neq 0$ e $k_n a = n\pi$, onde $n = 1, 2, \ldots$ .

.

- [x] a) As afirmações I, II e III estão corretas.
- [ ] b) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [ ] d) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- [ ] e) Apenas as afirmações I e III estão corretas.

## Questão MQ5A

Suponha que a função de onda de uma partícula de massa $m$ movendo-se em um potencial $V(x)$ seja dada por

$$\psi(x,t) = \begin{cases} Axe^{-Bx^2}e^{-iCt/\hbar} & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

onde $A$, $B$ e $C$ são constantes reais, de modo que $\psi(x,t)$ é uma função de onda normalizada que satisfaz a equação de Schrödinger dependente do tempo. Analise as seguintes afirmações sobre esse sistema e assinale abaixo a alternativa correta.

I. A função de onda $\psi(x,t)$ é uma autofunção de energia.

II. O potencial $V(x)$ é dado por

$$V(x) = \begin{cases} C + \frac{\hbar^2}{m}(-3B + 2B^2x^2) & x > 0 \\ \infty & x < 0 \end{cases}$$

III. O valor esperado da energia da partícula no estado associado a $\psi(x,t)$ é certamente o menor valor que pode ser observado.

Relação que pode ser útil:

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(xe^{-Bx^2}\right) = -B\left(6 - 4Bx^2\right)\left(xe^{-Bx^2}\right)$$

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [x] d) Todas as afirmações estão corretas.
- [ ] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ5B

Suponha que a função de onda de uma partícula de massa $m$ movendo-se em um potencial $V(x)$ seja dada por

$$\psi(x,t) = \begin{cases} Axe^{-Bx^2}e^{-iCt/\hbar} & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

onde $A$, $B$ e $C$ são constantes reais, de modo que $\psi(x,t)$ é uma função de onda normalizada que satisfaz a equação de Schrödinger dependente do tempo. Analise as seguintes afirmações sobre esse sistema e assinale abaixo a alternativa correta.

I. Apenas a região $x > 0$ é permitida para essa partícula.

II. O potencial $V(x)$ é dado por

$$V(x) = \begin{cases} C + \frac{\hbar^2}{m}(-3B + 2B^2x^2) & x > 0 \\ \infty & x < 0 \end{cases}$$

III. A função de onda $\psi(x,t)$ é o estado fundamental de energia da partícula.

Relação que pode ser útil:

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(xe^{-Bx^2}\right) = -B\left(6 - 4Bx^2\right)\left(xe^{-Bx^2}\right)$$

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [x] d) Todas as afirmações estão corretas.
- [ ] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ6A

Considere uma partícula quântica de massa $m$ que realiza um movimento harmônico unidimensional com frequência angular $\omega$, representando-se por $\phi_n(x)$ as suas autofunções de energia ($n = 0, 1, 2, \dots$). Suponha que no instante $t = 0$ a função de onda da partícula seja dada por

$$\psi(x,0) = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big[\phi_r(x) + \phi_s(x)\Big], \quad \text{com} \quad (r < s).$$

Sendo $\langle x \rangle$ o valor esperado da posição da partícula, escolha a opção abaixo que apresenta corretamente o resultado de $\frac{d\langle x \rangle}{dt}$.

Relações que podem ser úteis:

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \phi_r^*(x) x \phi_s(x) = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \left(\sqrt{s}\delta_{r,s-1} + \sqrt{s+1}\delta_{r,s+1}\right)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \phi_r^*(x) p \phi_s(x) = i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} \left(-\sqrt{s}\delta_{r,s-1} + \sqrt{s+1}\delta_{r,s+1}\right)$$

.

- [ ] a) $\frac{d\langle x \rangle}{dt} = 0$ para quaisquer valores de $r$ e $s$.
- [x] b) $\frac{d\langle x \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{s\hbar\omega}{2m}} \sin \omega t \delta_{r,s-1}$.
- [ ] c) $\frac{d\langle x \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{s\hbar\omega}{2m}} \cos \omega t \delta_{r,s-1}$.
- [ ] d) $\frac{d\langle x \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{s\hbar\omega}{2m}} \sin \omega t \delta_{r,s+1}$.
- [ ] e) $\frac{d\langle x \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{s\hbar\omega}{2m}} \cos \omega t \delta_{r,s+1}$.

## Questão MQ6B

Considere uma partícula quântica de massa $m$ que realiza um movimento harmônico unidimensional com frequência angular $\omega$, representando-se por $\phi_n(x)$ as suas autofunções de energia ($n = 0, 1, 2, \dots$). Suponha que no instante $t = 0$ a função de onda da partícula seja dada por

$$\psi(x,0) = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big[\phi_r(x) + \phi_s(x)\Big], \quad \text{com} \quad (r < s).$$

Sendo $\langle p \rangle$ o valor esperado do momentum linear da partícula, escolha a opção abaixo que apresenta corretamente o resultado de $\frac{d\langle p \rangle}{dt}$.

Relações que podem ser úteis:

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \phi_r^*(x) x \phi_s(x) = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \left(\sqrt{s}\delta_{r,s-1} + \sqrt{s+1}\delta_{r,s+1}\right)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \phi_r^*(x) p \phi_s(x) = i\sqrt{\frac{m\hbar\omega}{2}} \left(-\sqrt{s}\delta_{r,s-1} + \sqrt{s+1}\delta_{r,s+1}\right)$$

.

- [ ] a) $\frac{d\langle p \rangle}{dt} = 0$ para quaisquer valores de $r$ e $s$.
- [ ] b) $\frac{d\langle p \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{sm\hbar\omega^3}{2}} \sin \omega t \delta_{r,s-1}$.
- [x] c) $\frac{d\langle p \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{sm\hbar\omega^3}{2}} \cos \omega t \delta_{r,s-1}$.
- [ ] d) $\frac{d\langle p \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{sm\hbar\omega^3}{2}} \sin \omega t \delta_{r,s+1}$.
- [ ] e) $\frac{d\langle p \rangle}{dt} = -\sqrt{\frac{sm\hbar\omega^3}{2}} \cos \omega t \delta_{r,s+1}$.

## Questão MQ7A

Considere as seguintes afirmações sobre potenciais unidimensionais $V(x)$ e assinale abaixo a alternativa correta.

I. Potenciais confinantes, i.e., $V(|x| \to \infty) \to \infty$, sempre apresentam algum estado ligado com autovalor de energia negativo.

II. Uma partícula incidindo em uma barreira de potencial com energia menor do que a altura da barreira sempre tem probabilidade de tunelá-la, desde que essa altura não seja infinita e a largura seja finita.

III. Espectro de energia contínuo ocorre apenas se o potencial não crescer indefinidamente em pelo menos um dos sentidos de $x$, por exemplo, $V(x \to \infty) \to$ constante.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [ ] d) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- [x] e) Apenas as afirmações II e III estão corretas.

## Questão MQ7B

Considere as seguintes afirmações sobre potenciais unidimensionais $V(x)$ e assinale abaixo a alternativa correta.

I. Potenciais confinantes, i.e., $V(|x| \to \infty) \to \infty$, nem sempre apresentam algum estado ligado com autovalor de energia negativo.

II. Uma partícula incidindo em uma barreira de potencial com energia maior do que a altura da barreira sempre tem probabilidade de ser refletida.

III. Espectro de energia contínuo ocorre apenas se o potencial não crescer indefinidamente em pelo menos um dos sentidos de $x$, por exemplo, $V(x \to \infty) \to$ constante.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [x] d) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- [ ] e) Apenas as afirmações II e III estão corretas.

## Questão MQ8A

Sem levar em conta o spin, as autofunções de energia do elétron em um átomo de hidrogênio são representadas por $\phi_{nlm}$, sendo $n$ o número quântico principal e $l$ e $m$ os números quânticos de momentum angular. Se no instante inicial ($t = 0$) a função de onda do elétron é dada por

$$\psi(\vec{r}, 0) = N\Big[7\phi_{100}(\vec{r}) - 3\phi_{211}(\vec{r}) - 5\phi_{210}(\vec{r}) + i\phi_{21-1}(\vec{r})\Big],$$

onde $N$ é uma constante de normalização, e sendo $\langle E\rangle, \langle L_z\rangle, \langle L^2\rangle$, e $\langle\vec{r}\rangle$ os valores esperados da energia, da componente $z$ do momentum angular, do quadrado do operador momentum angular e do vetor posição do elétron, escolha abaixo a alternativa correta.

.

- [ ] a) Apenas $\langle E\rangle$ não varia no tempo.
- [ ] b) Apenas $\langle L_z\rangle$ e $\langle L^2\rangle$ não variam no tempo.
- [ ] c) Apenas $\langle E\rangle$ e $\langle L^2\rangle$ não variam no tempo.
- [x] d) Apenas $\langle\vec{r}\rangle$ varia no tempo.
- [ ] e) Todas as quantidades enunciadas variam no tempo, pois o estado do elétron não é um auto-estado de energia.

## Questão MQ8B

Sem levar em conta o spin, as autofunções de energia do elétron em um átomo de hidrogênio são representadas por $\phi_{nlm}$, sendo $n$ o número quântico principal e $l$ e $m$ os números quânticos de momentum angular. Se no instante inicial ($t = 0$) a função de onda do elétron é dada por

$$\psi(\vec{r}, 0) = N\Big[7\phi_{100}(\vec{r}) - 3\phi_{211}(\vec{r}) - 5\phi_{210}(\vec{r}) + i\phi_{21-1}(\vec{r})\Big],$$

onde $N$ é uma constante de normalização, e sendo $\langle E\rangle, \langle L_z\rangle, \langle L^2\rangle$, e $\langle\vec{p}\rangle$ os valores esperados da energia, da componente $z$ do momentum angular, do quadrado do operador momentum angular e do vetor momentum linear do elétron, escolha abaixo a alternativa correta.

.

- [ ] a) Apenas $\langle E\rangle$ não varia no tempo.
- [ ] b) Apenas $\langle L_z\rangle$ e $\langle L^2\rangle$ não variam no tempo.
- [ ] c) Todas as quantidades enunciadas variam no tempo, pois o estado do elétron não é um auto-estado de energia.
- [ ] d) Apenas $\langle E\rangle$ e $\langle L^2\rangle$ não variam no tempo.
- [x] e) Apenas $\langle\vec{p}\rangle$ varia no tempo.

## Questão TE1A

Considere uma certa quantidade de uma substância líquida X (massa molar igual a 18 g) no seu ponto de evaporação, contida por um recipiente em contato com a atmosfera. Quando uma corrente elétrica de 0,50 A gerada por uma fonte de 12 V atravessa por 300 s um resistor em contato térmico com a substância neste recipiente, observa-se que 1,8 g da substância são vaporizados. A variação molar de entalpia desta substância no ponto de evaporação é, em melhor aproximação:

.

- [x] a) $1{,}80 \times 10^{4}$ J
- [ ] b) $1{,}80 \times 10^{3}$ J
- [ ] c) $-1{,}80 \times 10^{4}$ J
- [ ] d) $-1{,}05 \times 10^{4}$ J
- [ ] e) $1{,}30 \times 10^{3}$ J

## Questão TE1B

Considere uma certa quantidade de uma substância líquida X (massa molar igual a 18 g) no seu ponto de evaporação, contida por um recipiente em contato com a atmosfera. Quando uma corrente elétrica de 0,25 A gerada por uma fonte de 12 V atravessa por 2,5 min um resistor em contato térmico com a substância neste recipiente, observa-se que 1,8 g da substância são vaporizados. A variação molar de entalpia desta substância no ponto de evaporação é, em melhor aproximação:

.

- [x] a) $4{,}50\times10^{3}$ J
- [ ] b) $-2{,}50\times10^{3}$ J
- [ ] c) $2{,}50\times10^{3}$ J
- [ ] d) $-3{,}73\times10^{3}$ J
- [ ] e) $3{,}25\times10^{2}$ J

## Questão TE2A

Quando ferro sólido (massa molar igual a 55,9 g) é colocado para reagir com ácido clorídrico em meio aquoso, ocorre a seguinte reação:

$$\mathrm{Fe(s)} + 2\ \mathrm{HCl\ (aq)} \rightarrow \mathrm{FeCl_2\ (aq)} + \mathrm{H_2\ (g)},$$

onde (s) → sólido, (aq) → meio aquoso e (g) → gás. Numa situação em que 5,59 g de ferro sólido reagem completamente com ácido clorídrico em meio aquoso dentro de um béquer aberto para a atmosfera à temperatura ambiente (T = 300 K), o trabalho realizado pela atmosfera sobre os produtos da reação acima, considerando o $H_2$ produzido como um gás ideal, terá sido aproximadamente de:

.

- [x] a) $-250$ J
- [ ] b) $2{,}50 \times 10^3$ J
- [ ] c) $25$ J
- [ ] d) $-2{,}50 \times 10^3$ J
- [ ] e) $250$ J

## Questão TE2B

Quando ferro sólido (massa molar igual a 55,9 g) é colocado para reagir com ácido clorídrico em meio aquoso, ocorre a seguinte reação:

$$\mathrm{Fe(s)} + 2\,\mathrm{HCl\ (aq)} \rightarrow \mathrm{FeCl_2\ (aq)} + \mathrm{H_2\ (g)},$$

onde (s) → sólido, (aq) → meio aquoso e (g) → gás. Numa situação em que 2,8 g de ferro sólido reagem completamente com ácido clorídrico em meio aquoso dentro de um béquer aberto para a atmosfera à temperatura ambiente (T = 300 K), o trabalho realizado sobre a atmosfera pelos produtos da reação acima, considerando o $H_2$ produzido como um gás ideal, terá sido aproximadamente de:

.

- [x] a) $1{,}2\times10^{2}\ \mathrm{J}$
- [ ] b) $-1{,}2\times10^{3}\ \mathrm{J}$
- [ ] c) $-12\ \mathrm{J}$
- [ ] d) $1{,}1\times10^{3}\ \mathrm{J}$
- [ ] e) $-1{,}1\times10^{2}\ \mathrm{J}$

### Questão TE3A

Um pequeno sistema, à temperatura $T_S$, é colocado em contato com um reservatório térmico à temperatura $T_R$. A quantidade de calor trocado entre o sistema e o reservatório térmico é $\Delta Q = C(T_R - T_S)$, onde $C$ é a capacidade térmica do sistema. A mudança total de entropia do universo (formado pelo sistema e o reservatório) neste processo termodinâmico é

.

- [x] a) $C\left[ln\left(T_R/T_S\right) + T_S/T_R - 1\right]$
- [ ] b) $C\left[ln\left(T_S/T_R\right) + T_S/T_R + 1\right]$
- [ ] c) $C\left[ln\left(T_R/T_S\right) + T_R/T_S - 1\right]$
- [ ] d) $C\left[-ln\left(T_R/T_S\right) + T_S/T_R - 1\right]$
- [ ] e) $C\left[ln\left(T_R/T_S\right) - T_S/T_R + 1\right]$

**Questão TE3B**

Um pequeno sistema, à temperatura $T_S$, é colocado em contato com um reservatório térmico à temperatura $T_R$. A quantidade de calor trocado entre o sistema e o reservatório térmico é $\Delta Q = C(T_R - T_S)$, onde $C$ é a capacidade térmica do sistema. A mudança de entropia do sistema neste processo termodinâmico é

.

- [x] a) $C ln\left(T_R/T_S\right)$
- [ ] b) $C\left(T_R/T_S + 1\right)$
- [ ] c) $C\left(T_R/T_S - 1\right)$
- [ ] d) $C\left(T_S/T_R + 1\right)$
- [ ] e) $C\left[ln\left(T_R/T_S\right) + T_S/T_R - 1\right]$

## Questão TE4A

Uma xícara contém 200 ml de chá à temperatura de 100 °C. Desprezando a capacidade térmica da xícara e considerando o chá como sendo basicamente água, qual é, em melhor aproximação, a massa de gelo (calor específico $c_g = 0{,}5$ cal/g°C e calor latente de fusão $L_g = 80$ cal/g), inicialmente à temperatura de -15 °C, que você deve adicionar ao seu chá para que ele possa ser servido a uma temperatura de 65 °C?

.

- [x] a) 46 g
- [ ] b) 34 g
- [ ] c) 58 g
- [ ] d) 65 g
- [ ] e) 21 g

## Questão TE4B

Uma xícara contém 250 ml de chá à temperatura de 100 °C. Desprezando a capacidade térmica da xícara e considerando o chá como sendo basicamente água, qual é, em melhor aproximação, a massa de gelo (calor específico $c_g = 0{,}5$ cal/g°C e calor latente de fusão $L_g = 80$ cal/g), inicialmente à temperatura de -15 °C, que você deve adicionar ao seu chá para que ele possa ser servido a uma temperatura de 60 °C?

.

- [x] a) $68$ g
- [ ] b) $37$ g
- [ ] c) $55$ g
- [ ] d) $49$ g
- [ ] e) $29$ g