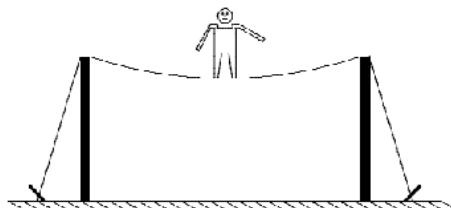


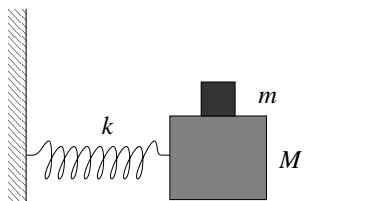
Escolha a opção correta em cada uma das questões que seguem. Marque cada resposta com um X na grade de respostas (última página).

1. Um artista de circo, de peso  $P$ , caminha sobre uma corda, como mostrado na figura.



A tensão na corda

- (a) é aproximadamente  $2P$ .
  - (b) é aproximadamente  $P$ .
  - (c) é aproximadamente  $P/2$ .
  - (d) é muito menor que  $P$ .
  - (e) é muito maior que  $P$ .
2. Em uma loja de departamentos, uma escada rolante transporta 20 pessoas por minuto do primeiro para o segundo piso, localizado 5 m acima. A massa média por pessoa é 60 kg. Qual é, aproximadamente, a potência requerida?
- (a) 250 W
  - (b) 500 W
  - (c) 1000 W
  - (d) 1500 W
  - (e) 2000 W
3. Um bloco de massa  $M = 5$  kg oscila sem atrito sobre uma superfície horizontal, sob a ação de uma mola de constante elástica  $k = 1000$  N/m. Um segundo bloco, de massa  $m = 1$  kg é colocado sobre o primeiro, conforme mostra a figura abaixo.



O coeficiente de atrito estático entre os dois blocos é  $\mu = 0,8$ . Qual é, aproximadamente, a amplitude máxima de oscilação em que os blocos permanecerão solidários? (Use  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.)

- (a) 0,024 m
- (b) 0,036 m
- (c) 0,048 m
- (d) 0,060 m
- (e) 0,072 m

4. Astrônomos anunciam a descoberta de um planeta orbitando uma estrela de massa igual a 2 vezes a massa do Sol. A órbita deste planeta é aproximadamente circular, com um período igual ao período da órbita da Terra em redor do Sol.

Selecione a alternativa que melhor representa o raio da órbita desse planeta, em termos do raio médio da órbita da Terra ao redor do Sol ( $r_T$ ).

- (a)  $2 r_T$
- (b)  $2^{1/2} r_T$
- (c)  $2^{1/3} r_T$
- (d)  $2^{1/4} r_T$
- (e)  $2^{1/5} r_T$

5. Uma sala quadrada, cujas paredes têm 3 m de comprimento, 3 m de altura, e espessura de 25 cm, tem isolamento térmico perfeito no piso e no teto. A sala é mantida a  $26^\circ\text{C}$  quando a temperatura no exterior é de  $11^\circ\text{C}$ . Para manter a temperatura, o sistema de aquecimento fornece à sala  $300 \text{ cal/s}$ .

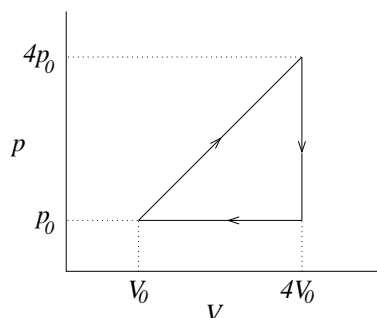
Selecione a alternativa que representa, aproximadamente, o valor da condutividade térmica do material de que são feitas as paredes.

- (a)  $56 \text{ cal/m}\cdot\text{s}\cdot\text{C}^\circ$
- (b)  $30 \text{ cal/m}\cdot\text{s}\cdot\text{C}^\circ$
- (c)  $14 \text{ cal/m}\cdot\text{s}\cdot\text{C}^\circ$
- (d)  $0,56 \text{ cal/m}\cdot\text{s}\cdot\text{C}^\circ$
- (e)  $0,14 \text{ cal/m}\cdot\text{s}\cdot\text{C}^\circ$

6. Um gás ideal, diatômico ( $c_V = 5R/2$  e  $c_p = 7R/2$ ), percorre reversivelmente o ciclo triangular ilustrado no diagrama  $pV$  abaixo.

Selecione a alternativa que expressa corretamente o rendimento termodinâmico desse ciclo.

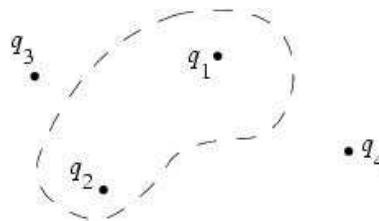
- (a) 0,05
- (b) 0,10
- (c) 0,15
- (d) 0,20
- (e) 0,25



7. Um determinado sistema percorre um ciclo termodinâmico irreversível, no qual absorve calor de um reservatório térmico a alta temperatura, realiza trabalho mecânico e entrega calor para um reservatório térmico a baixa temperatura. Seja  $\Delta S_{ciclo}$  a variação da entropia do sistema, em um ciclo completo. Assinale a alternativa correta a respeito de  $\Delta S_{ciclo}$ .

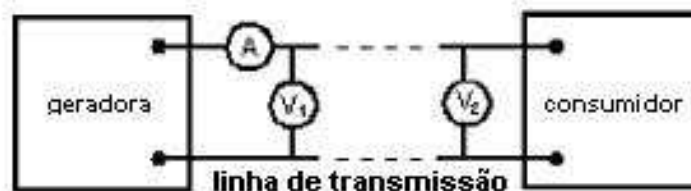
- (a)  $\Delta S_{ciclo}$  depende da diferença entre as temperaturas.
- (b)  $\Delta S_{ciclo}$  depende do trabalho realizado.
- (c)  $\Delta S_{ciclo} > 0$ .
- (d)  $\Delta S_{ciclo} = 0$ .
- (e)  $\Delta S_{ciclo} < 0$ .

8. Considere as 4 cargas representadas na figura. Considere uma superfície gaussiana envolvendo 2 das 4 cargas (as cargas  $q_1$  e  $q_2$ ). Quais as cargas que contribuem com um valor não nulo para o fluxo elétrico através da superfície gaussiana?



- (a) Apenas  $q_1$  e  $q_2$  .
- (b) Apenas  $q_3$  e  $q_4$  .
- (c) Nenhuma das 4 cargas contribui.
- (d) Todas as 4 cargas contribuem.
- (e) A resposta depende da simetria da superfície gaussiana escolhida.

9. Na figura abaixo, o voltímetro  $V_1$  mede 600 V, o voltímetro  $V_2$  mede 580 V e o amperímetro  $A$  mede 100 A.



A perda de energia na linha de transmissão que conecta a estação geradora e o consumidor, em 2 horas, é de:

- (a) 2 kWh.
- (b) 4 kWh.
- (c) 116 kWh.
- (d) 118 kWh.
- (e) 120 kWh.

10. Uma partícula carregada positivamente está em repouso, nas proximidades de um fio que transporta uma corrente elétrica. A corrente elétrica é devida ao movimento dos elétrons no fio. Numa situação como essa, o fio exerce sobre a partícula

- (a) uma força nula.
- (b) apenas uma força elétrica.
- (c) apenas uma força magnética.
- (d) forças elétrica e magnética não nulas com intensidades iguais.
- (e) forças elétrica e magnética com intensidades distintas.

11. Feixes de partículas carregadas e distintas podem passar sem deflexão através de campos elétrico e magnético cruzados. Qual das seguintes grandezas deve então ser comum às partículas que constituem esses feixes?

- (a) Massa.
- (b) Módulo da carga elétrica.
- (c) Sinal da carga elétrica.
- (d) Velocidade.
- (e) Sinal e módulo da carga elétrica.

12. A histerese magnética diz respeito ao comportamento da magnetização em função de um campo magnético aplicado  $\mathbf{B}$ , quando se realiza um ciclo no valor do campo, isto é, quando o campo é variado desde um valor inicial negativo (positivo), passando por zero e indo até um valor final positivo (negativo) de mesmo valor absoluto que o campo inicial. As curvas de histerese nos dizem que:

- (a) mesmo na ausência de  $\mathbf{B}$  externo, um material ferromagnético pode estar magnetizado.
- (b) materiais paramagnéticos apresentam histerese fraca.
- (c) a magnetização cresce sem limite se aumentarmos a intensidade do  $\mathbf{B}$  externo.
- (d) a magnetização anula-se quando a intensidade do  $\mathbf{B}$  externo vai a zero.
- (e) as curvas de histerese são consequência da lei de Curie.

13. Quando um circuito RLC-série encontra-se em ressonância:

- (a) o resistor dissipa a menor energia possível e não há energia transferida ao indutor ou ao capacitor.
- (b) o ângulo de fase entre a corrente elétrica e a fem alternada é de  $\pi/2$ .
- (c) a amplitude da corrente elétrica que percorre o circuito é mínima.
- (d) a impedância do circuito é mínima.
- (e) o circuito exhibe comportamento puramente indutivo, não dissipando nenhuma energia no resistor.

14. Considere uma distribuição de massa de forma esférica, de raio  $R$ , com densidade dada por  $\rho(r) = \rho_0(1 - r/R)$ . Considerando-se um sistema de coordenadas cuja origem está no centro da distribuição de massa, e sendo  $G$  a *constante universal da gravitação* e  $\hat{\mathbf{r}}$  o vetor unitário na direção radial, o campo gravitacional gerado pela distribuição de massa pode ser dado por

$$(a) \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 r \left(1 - \frac{3r}{4R}\right) \hat{\mathbf{r}}, \quad r < R; \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 \frac{R^3}{r^2} \hat{\mathbf{r}}, \quad r > R$$

$$(b) \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 r \left(1 - \frac{3r^2}{4R^2}\right) \hat{\mathbf{r}}, \quad r < R; \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 \frac{R^3}{r^2} \hat{\mathbf{r}}, \quad r > R$$

$$(c) \quad \mathbf{g} = 0 \hat{\mathbf{r}}, \quad r < R; \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 \frac{R^3}{r^2} \hat{\mathbf{r}}, \quad r > R$$

$$(d) \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 r \left(1 - \frac{3r}{4R}\right) \hat{\mathbf{r}}, \quad r < R; \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 \frac{R^3}{r} \hat{\mathbf{r}}, \quad r > R$$

$$(e) \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 r \left(1 - \frac{3r^2}{4R^2}\right) \hat{\mathbf{r}}, \quad r < R; \quad \mathbf{g} = -G\frac{4\pi}{3}\rho_0 \frac{R^3}{r} \hat{\mathbf{r}}, \quad r > R$$

15. Uma partícula de massa  $m$  cuja energia mecânica relativística é o dobro de sua energia de repouso colide com outra partícula de massa  $m$  que se encontra em repouso. Após a colisão, as partículas permanecem unidas, formando uma única partícula.

Selecione a opção que representa a massa da partícula resultante da colisão.

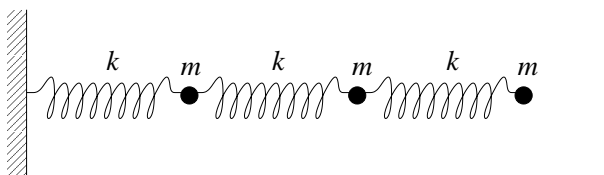
- (a)  $3m$
- (b)  $\sqrt{6}m$
- (c)  $2m$
- (d)  $\sqrt{3}m$
- (e)  $\sqrt{2}m$

16. Escrevendo um episódio sobre conflitos entre civilizações galácticas, o roteirista imagina a situação seguinte: em uma nave espacial viajando incógnita entre dois sistemas estelares, o piloto aciona inadvertidamente um instrumento que envia um sinal localizador. Dois segundos depois, ele o desliga. Uma nave da civilização inimiga capta o sinal, registrando que ele durou 2,5 segundos.

Qual é a opção que melhor representa a velocidade relativa entre as duas naves, de acordo com a Teoria da Relatividade Restrita?

- (a)  $0,9 c$
- (b)  $0,8 c$
- (c)  $0,7 c$
- (d)  $0,6 c$
- (e)  $0,5 c$

17. Considere um sistema constituído por três partículas de massa  $m$  unidas por molas de constante elástica  $k$ . A massa número 1 está ligada a uma outra mola de constante  $k$ , presa a uma parede, conforme mostra a figura. Considere que são possíveis apenas movimentos ao longo da linha que une as três partículas, denotando como  $x_i$  o afastamento da partícula  $i$  de sua posição de equilíbrio.



Selecione a opção que pode representar adequadamente o Lagrangiano desse sistema.

- (a)  $L = \frac{1}{2}m (\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2) + \frac{1}{2}k [x_1^2 + (x_2 - x_1)^2 + (x_3 - x_2)^2]$
- (b)  $L = \frac{1}{2}m (\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2) + \frac{1}{2}k (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)$
- (c)  $L = \frac{1}{2}m [(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2 + (\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^2] + \frac{1}{2}k [x_1^2 + (x_2 - x_1)^2 + (x_3 - x_2)^2]$
- (d)  $L = \frac{1}{2}m [(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2 + (\dot{x}_2 - \dot{x}_3)^2] + \frac{1}{2}k (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)$
- (e)  $L = \frac{1}{2}m (\dot{x}_1^2 + \dot{x}_3^2) + \frac{1}{2}k [x_1^2 + (x_2 - x_1)^2 + (x_3 - x_2)^2]$

18. Considere duas massas,  $m_1$  e  $m_2$ , ligadas por uma barra rígida de comprimento  $\ell$  e massa desprezível. A massa  $m_1$  pode deslocar-se sem atrito ao longo de um fio horizontal na direção  $x$ . A massa  $m_2$  fica suspensa, formando um pêndulo, que pode oscilar no plano  $xy$ . O sistema está imerso em um campo gravitacional uniforme.

Sendo  $x_1$  a coordenada que representa a posição da massa  $m_1$  ao longo do fio horizontal e  $\theta$  o ângulo que a barra faz com a direção vertical, o Lagrangiano desse sistema pode ser dado pela seguinte expressão

$$L = \frac{1}{2}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \left( \dot{x}_1^2 + 2\ell \cos \theta \dot{x}_1 \dot{\theta} + \ell^2 \dot{\theta}^2 \right) + m_2 g \ell \cos \theta .$$

Selecione a opção que representa o *momentum* canonicamente conjugado à coordenada  $x_1$ .

- (a)  $p_1 = m_1 \dot{x}_1$
- (b)  $p_1 = (m_1 + m_2) \dot{x}_1$
- (c)  $p_1 = (m_1 + m_2) \dot{x}_1 + m_2 \ell \cos \theta \dot{x}_1$
- (d)  $p_1 = (m_1 + m_2) \dot{x}_1 + m_2 \ell \cos \theta \dot{\theta}$
- (e)  $p_1 = (m_1 + m_2) \dot{x}_1 + m_2 \left( \ell \cos \theta \dot{x}_1 + \ell \cos \theta \dot{\theta} + 2\ell^2 \dot{\theta} \right)$

19. Considere um sistema físico com uma única coordenada generalizada  $q$  e com *momentum* canônico  $p$ . O Hamiltoniano do sistema é

$$H = \frac{p^2}{2} + \cos q.$$

As equações canônicas de movimento para esse sistema são

- (a)  $\dot{q} = p, \quad \dot{p} = \text{sen} q.$
- (b)  $\dot{q} = p, \quad \dot{p} = -\text{sen} q.$
- (c)  $\dot{q} = -p, \quad \dot{p} = \text{sen} q.$
- (d)  $\dot{q} = p, \quad \dot{p} = \cos q.$
- (e)  $\dot{q} = -p, \quad \dot{p} = -\cos q.$

20. Considere um pêndulo de comprimento  $\ell$  e massa  $m$ , livre para oscilar em qualquer direção e sujeito a um campo gravitacional uniforme.

Selecione a alternativa que pode representar o Hamiltoniano para esse sistema, em termos das coordenadas polares  $\theta$  e  $\phi$  e dos *momenta* conjugados  $p_\theta$  e  $p_\phi$ ,

- (a)  $H = \frac{p_\theta^2}{2m\ell^2} + \frac{p_\phi^2}{2m\ell^2 \text{sen}^2 \theta} + mgl \cos \theta$
- (b)  $H = \frac{p_\theta^2}{2m\ell^2} + \frac{p_\phi^2}{2m\ell^2 \text{sen}^2 \theta} - mgl \cos \theta$
- (c)  $H = \frac{p_\theta^2}{2m\ell^2} + \frac{p_\phi^2}{2m\ell^2 \cos^2 \theta} + mgl \text{sen} \theta$
- (d)  $H = \frac{p_\theta^2}{2m\ell^2} + \frac{p_\phi^2}{2m\ell^2 \cos^2 \theta} - mgl \text{sen} \theta$
- (e)  $H = \frac{p_\theta^2}{2m\ell^2} + \frac{p_\phi^2}{2m\ell^2} + mgl \cos \theta$

21. As equações abaixo supostamente representam relações termodinâmicas fundamentais. (A, B, C e D são constantes positivas.)

- I.  $S = ANV/U$
- II.  $S = BN \ln(UV/N)$
- III.  $S = C(NVU)^{1/3}$

Qual (quais) destas expressões é (são) consistente(s) com os postulados fundamentais da Termodinâmica?

- (a) apenas I
- (b) apenas II
- (c) apenas III
- (d) apenas I e II
- (e) apenas II e III

22. Considere as seguintes afirmativas, a respeito de uma transição de fases de primeira ordem de um sistema em equilíbrio com reservatórios de temperatura e pressão. Qual delas é verdadeira?

- (a) O parâmetro de ordem é contínuo e os potenciais termodinâmicos são contínuos.
- (b) A entropia é descontínua, mas a energia interna e o potencial químico são contínuos.
- (c) A entropia e o potencial químico são descontínuos e a energia interna é contínua.
- (d) A entropia e a energia interna são descontínuas e o potencial químico é contínuo.
- (e) A entropia é contínua e os potenciais termodinâmicos são descontínuos.

23. Uma função é côncava ou convexa em relação a uma determinada variável se a sua derivada segunda com relação a essa variável for negativa ou positiva, respectivamente. Considere as afirmativas abaixo, a respeito dos potenciais termodinâmicos.

- I. A energia interna é uma função côncava da entropia e convexa do volume.
- II. A entalpia é uma função convexa da entropia e da pressão.
- III. A energia livre de Helmholtz é uma função côncava da temperatura e convexa do volume.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- (a) apenas I
- (b) apenas II
- (c) apenas III
- (d) apenas I e II
- (e) apenas II e III

24. O hamiltoniano para o modelo de Ising com dois sítios, onde  $J$  é a constante de interação e  $\sigma_{1,2} = \pm 1$  representa o estado de cada sítio é

$$H = -J\sigma_1\sigma_2.$$

À temperatura  $T$ , a probabilidade de encontrar os dois sítios no mesmo estado é

- (a)  $\frac{e^{-J/k_B T}}{2 \sinh(J/k_B T)}$
- (b)  $\frac{e^{J/k_B T}}{2 \sinh(J/k_B T)}$
- (c)  $\frac{e^{J/k_B T}}{2 \tanh(J/k_B T)}$
- (d)  $\frac{e^{-J/k_B T}}{2 \tanh(J/k_B T)}$
- (e)  $\frac{e^{J/k_B T}}{2 \cosh(J/k_B T)}$

25. Os níveis de energia de um oscilador harmônico são dados por  $\epsilon_n = (n + 1/2)\hbar\omega$ . À temperatura  $T$ , qual é a probabilidade de encontrá-lo num estado com  $n$  ímpar?

- (a)  $1 - e^{-\hbar\omega/kT}$
- (b)  $1 - e^{\hbar\omega/kT}$
- (c)  $\left(1 + e^{-\hbar\omega/kT}\right)^{-1}$
- (d)  $\left(1 - e^{-\hbar\omega/kT}\right)^{-1}$
- (e)  $\left(1 + e^{\hbar\omega/kT}\right)^{-1}$

26. Uma esfera de raio  $R$ , feita de material não condutor, está carregada com uma distribuição de cargas com simetria esférica, cuja densidade volumétrica é dada por  $\rho = \alpha r^2$ , onde  $\alpha$  é uma constante e  $r$  é a distância até o centro da esfera. A expressão que melhor representa o módulo do campo elétrico para pontos do interior da esfera ( $r \leq R$ ), é

- (a)  $E = \frac{\alpha R^5}{5\epsilon_0 r^2}$
- (b)  $E = \frac{\alpha R^3}{3\epsilon_0 r^2}$
- (c)  $E = \frac{\alpha r^3}{5\epsilon_0}$
- (d)  $E = \frac{\alpha R r^2}{4\epsilon_0}$
- (e)  $E = \frac{\alpha R^2 r}{3\epsilon_0}$

27. Considere uma espira condutora de forma circular, com raio  $R$ , conduzindo uma corrente  $i$ . A espira está no plano  $xy$ , com centro na origem, e a corrente tem a direção e o sentido do vetor unitário  $\mathbf{e}_\phi$ .

Assinale a alternativa que melhor descreve a orientação do potencial vetor  $\mathbf{A}$  em um ponto com coordenadas  $x = R$ ,  $y = 0$  e  $z = R$ .

- (a) O vetor  $\mathbf{A}$  tem apenas componente na direção de  $\mathbf{e}_x$ ,
- (b) O vetor  $\mathbf{A}$  tem apenas componente na direção de  $\mathbf{e}_y$ .
- (c) O vetor  $\mathbf{A}$  tem apenas componente na direção de  $\mathbf{e}_z$ .
- (d) O vetor  $\mathbf{A}$  tem componentes não-nulas nas direções de  $\mathbf{e}_x$  e  $\mathbf{e}_z$ .
- (e) O vetor  $\mathbf{A}$  tem componentes não-nulas nas direções de  $\mathbf{e}_y$  e  $\mathbf{e}_z$ .

28. Um capacitor é formado por duas placas condutoras paralelas quadradas, de lados iguais a  $\ell$ . A placa inferior está no plano  $xy$ , com um dos lados coincidindo com o eixo  $x$  e outro coincidindo com o eixo  $y$ . A placa superior está exatamente acima da inferior, a uma altura  $d$ . A placa superior está carregada com carga  $q$  e a inferior com carga  $-q$ . As placas são bastante próximas, de modo que efeitos de borda podem ser desprezados.

Assinale a alternativa que corresponde ao módulo do campo elétrico entre as placas, do ponto de vista de um observador que se move com velocidade  $v$  ao longo do eixo  $y$ .

- (a)  $E = \frac{q}{\epsilon_0 \ell^2}$
- (b)  $E = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \frac{q}{\epsilon_0 \ell^2}$
- (c)  $E = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2} \frac{q}{\epsilon_0 \ell^2}$
- (d)  $E = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \frac{q}{\epsilon_0 \ell^2}$
- (e)  $E = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} \frac{q}{\epsilon_0 \ell^2}$

29. Um cilindro circular reto, de comprimento infinito e raio  $s = a$ , feito de material condutor, está colocado em uma região com campo elétrico uniforme, de módulo  $E_0$  e direção perpendicular ao eixo do cilindro. Na região externa ao cilindro,  $s \geq a$ , o campo elétrico tem as seguintes componentes

$$E_r = E_0 \cos \phi \left(1 + \frac{a^2}{s^2}\right), \quad E_\phi = -E_0 \sin \phi \left(1 - \frac{a^2}{s^2}\right), \quad E_z = 0.$$

Selecione a alternativa que expressa a densidade superficial de cargas na superfície do cilindro.

- (a)  $2(\epsilon_0 E_0) \cos \phi$
- (b)  $(\epsilon_0 E_0) \cos \phi$
- (c)  $(\epsilon_0 E_0 / 4\pi) \cos \phi$
- (d)  $2(\epsilon_0 E_0) \sin \phi$
- (e)  $(\epsilon_0 E_0) \sin \phi$

30. Uma esfera não-condutora de raio  $R$  está carregada com carga  $q$ , uniformemente distribuída.

Assinale a alternativa que melhor representa a energia elétrica total acumulada no espaço em torno da esfera, desde  $r = R$  até  $r \rightarrow \infty$ .

- (a)  $U = q^2 / (8\pi\epsilon_0 R)$
- (b)  $U = q^2 / (8\pi\epsilon_0 R^2)$
- (c)  $U = q^2 / (4\pi\epsilon_0 R)$
- (d)  $U = q^2 / (4\pi\epsilon_0 R^2)$
- (e)  $U = q^2 / (4\pi\epsilon_0 R^3)$

31. O quadrivetor potencial e o quadrivetor corrente são dados por  $(\mathbf{A}, iV/c)$  e  $(\mathbf{J}, ic\rho)$ . O tensor de campo eletromagnético é definido pelas suas componentes,  $F_{\mu\nu} = (\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu)$ , onde  $\partial_\mu$  representa a derivada em relação à componente  $x_\mu$  do quadrivetor posição,  $(\mathbf{x}, ict)$ . Sendo satisfeita a condição de Lorentz, as componentes do potencial vetor satisfazem a equação da onda não homogênea,  $\sum_\nu \partial_\nu^2 A_\mu = -\mu_0 J_\mu$ .

Selecione a alternativa que representa equações de Maxwell, em forma covariante.

- (a)  $\partial_\nu A_\mu = \mu_0 \epsilon_0 J_\mu$
- (b)  $\partial_\nu A_\mu = \mu_0 F_{\mu\nu}$
- (c)  $\partial_\nu F_{\mu\nu} = \mu_0 \epsilon_0 A_\mu$
- (d)  $\partial_\nu F_{\mu\nu} = \mu_0 \epsilon_0 F_{\mu\nu}$
- (e)  $\partial_\nu F_{\mu\nu} = \mu_0 J_\mu$

32. Suponhamos um meio no qual o índice de refração para raios luminosos é dado por  $n(k) = k/(a + bk^2)^{1/2}$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes positivas e  $k$  é o número de onda. Denotando como  $c$  a velocidade da luz no vácuo, a velocidade de grupo de uma onda com comprimento de onda  $k$  propagando-se nesse meio é dada por

- (a)  $c$
- (b)  $c/n(k)$
- (c)  $cb/n(k)$
- (d)  $cn(k)$
- (e)  $cbn(k)$

33. Os autovetores de  $S_z$  são denotados como  $|+\rangle$ , que representa *spin up*, e  $|-\rangle$ , que representa *spin down*. Um elétron é preparado no estado  $|+\rangle$ . Mede-se então, imediatamente, o observável  $S_x$ . Como poderá ser o estado resultante ?

- (a)  $|+\rangle$
- (b)  $|-\rangle$
- (c)  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|+\rangle + |-\rangle)$
- (d)  $\frac{1}{\sqrt{5}}(|+\rangle - 2|-\rangle)$
- (e)  $\frac{1}{\sqrt{5}}(2|+\rangle - |-\rangle)$

34. Um elétron num átomo de hidrogênio encontra-se num estado representado por

$$\Psi(r, \theta, \phi, m_s) = R_{21}(r) \left( \sqrt{2/3} Y_1^0(\theta, \phi) \chi_- + \sqrt{1/3} Y_1^{-1}(\theta, \phi) \chi_+ \right),$$

onde  $\chi_+$  e  $\chi_-$  representam estados de *spin*. O momentum angular total é dado por  $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$ . Quais valores de  $J_z$  podem ser medidos, e com qual probabilidade  $p$ ?

- (a)  $0, p = 2/3$  e  $-\hbar, p = 1/3$
- (b)  $-\hbar/2, p = 2/3$  e  $\hbar/2, p = 1/3$
- (c)  $-\hbar/2, p = 1/3$  e  $\hbar/2, p = 2/3$
- (d)  $\hbar/2, p = 1$
- (e)  $-\hbar/2, p = 1$

35. Considerando que 3 quarks formam um bárion, e que esses quarks, estejam no estado fundamental (momento angular orbital nulo), quais são os spins possíveis dos bárions?

- (a)  $1/2$  e  $0$
- (b)  $3/2$  e  $1/2$
- (c)  $5/2$  e  $1/2$
- (d)  $5/2$  e  $3/2$
- (e)  $5/2, 3/2$  e  $1/2$

36. Considere o oscilador harmônico isotrópico bidimensional:

$$H = \frac{p_x^2}{2m} + \frac{p_y^2}{2m} + \frac{m\omega^2}{2}(x^2 + y^2).$$

Quais são as três primeiras energias e degenerescências respectivas?

- (a)  $\hbar\omega$  (1),  $2\hbar\omega$  (2),  $3\hbar\omega$  (3)
- (b)  $\hbar\omega/2$  (1),  $\hbar\omega$  (2),  $3\hbar\omega/2$  (2)
- (c)  $\hbar\omega/2$  (1),  $\hbar\omega$  (2),  $2\hbar\omega$  (2)
- (d)  $\hbar\omega$  (1),  $2\hbar\omega$  (2),  $3\hbar\omega$  (2)
- (e)  $\hbar\omega/2$  (1),  $\hbar\omega$  (1),  $2\hbar\omega$  (2)

37. Os sólidos cristalinos podem ser classificados como isolantes, condutores ou semi-condutores. A respeito desse tipo de material são feitas as seguintes afirmativas:

- I. nos isolantes há estados eletrônicos não ocupados que são energeticamente muito próximos aos estados ocupados;
- II. semi-condutores são materiais altamente anisotrópicos, capazes de conduzir corrente elétrica somente numa direção ;
- III. nos condutores os elétrons mais energéticos encontram-se em bandas de energia cujos estados não estão todos ocupados.

Estão corretas

- (a) apenas a I
- (b) apenas a II
- (c) apenas a III
- (d) apenas a I e a III
- (e) I, II e III

38. Duas reações de fusão nuclear envolvendo os isótopos de hidrogênio deutério (D) e trítio (T) são as seguintes:  $D+D \rightarrow T+x$  e  $D+T \rightarrow He^4+y$ . As partículas  $x$  e  $y$  liberadas nas reações são, respectivamente,

- (a) próton e próton
- (b) próton e nêutron
- (c) próton e elétron
- (d) nêutron e nêutron
- (e) nêutron e próton

39. Denotando como  $\lambda_c$  o comprimento de onda limite para ejetar elétrons da superfície de um metal e como  $\nu$  a frequência dos fótons incidentes, a função trabalho do metal e a energia dos fotoelétrons emitidos são dadas, respectivamente, por

- (a)  $(h\nu/c)$  ,  $h\nu - (h\lambda_c/c)$
- (b)  $(h\nu/c)$  ,  $h\nu - (h\nu/c)$
- (c)  $(h\lambda_c/c)$  ,  $h\nu - (h\nu/c)$
- (d)  $(hc/\lambda_c)$  ,  $h\nu - (h\lambda_c/c)$
- (e)  $(hc/\lambda_c)$  ,  $h\nu - (hc/\lambda_c)$

40. No que segue são feitas três afirmativas, relativas ao domínio da Física Atômica e Molecular.

- I. O princípio de exclusão de Pauli aplica-se a todo tipo de partículas elementares, tanto férmions como bósons.
- II. O princípio da incerteza de Heisenberg aplica-se apenas a partículas que têm *spin* fracionário, como os elétrons.
- III. A condensação de Bose-Einstein é um fenômeno que foi observado pela primeira vez em anos recentes, envolvendo populações de partículas em temperaturas bem próximas do zero absoluto.

Estão corretas

- (a) apenas a I.
- (b) apenas a II.
- (c) apenas a III.
- (d) apenas a I e a II.
- (e) apenas a II e a III.

Nome: \_\_\_\_\_

### Grade de Respostas

	a	b	c	d	e
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

	a	b	c	d	e
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					

Assinatura do candidato: \_\_\_\_\_

Assinatura do responsável  
pela aplicação do exame: \_\_\_\_\_