

CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

QUESTÃO 41

A respeito da radiação térmica de um corpo negro, assinale a opção correta.

- Ⓐ Os corpos negros à mesma temperatura emitem radiação térmica com espectros diferentes, de acordo com o tipo de material de que são feitos.
- Ⓑ Segundo a lei de Stefan, enunciada pela primeira vez sob a forma de uma equação empírica, o espectro da radiação se desloca para frequências maiores à medida que a temperatura aumenta.
- Ⓒ Corpo negro é aquele cuja superfície reflete toda a radiação térmica incidente sobre ele.
- Ⓓ A radiação espectral de um corpo negro é função da frequência da radiação e, à medida que a temperatura aumenta, a radiação espectral diminui.
- Ⓔ A radiação dentro de uma cavidade cujas paredes estão a uma temperatura T tem o mesmo caráter que a radiação emitida pela superfície de um corpo negro à temperatura T .

QUESTÃO 42

Em 1923, Millikan ganhou o prêmio Nobel por seu trabalho com o efeito fotoelétrico realizado em 1914. Os resultados da experiência com o efeito fotoelétrico foram previstos teoricamente, antes de 1914, por Einstein, que recebeu o prêmio Nobel por esse trabalho em 1921. Com relação ao efeito fotoelétrico, é correto afirmar que

- Ⓐ esse efeito é a injeção de elétrons, feita a partir da incidência de luz, em um material.
- Ⓑ o aparecimento de uma frequência de corte (limiar de frequência) pode ser explicado tanto pela teoria clássica como pela teoria quântica.
- Ⓒ o potencial de corte (potencial limite) observado no experimento do efeito fotoelétrico depende somente da intensidade da luz incidente, ou seja, luz com intensidade maior possui um potencial de corte maior.
- Ⓓ a corrente (fotoelétrons), no experimento do efeito fotoelétrico, é proporcional à intensidade da luz incidente, e isso é insuficiente para distinguir a teoria quântica da teoria clássica.
- Ⓔ um retardo (intervalo de tempo mensurável) sempre é observado entre a incidência da luz sobre o material e o aparecimento da corrente (fotoelétrons).

QUESTÃO 43

A respeito dos conceitos de mecânica quântica, assinale a opção correta.

- Ⓐ A constante de Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ J.s) é uma constante universal e pode ter seu valor encontrado a partir de um experimento de efeito fotoelétrico.
- Ⓑ Função trabalho — uma energia característica do material semicondutor, metal etc. — corresponde à energia máxima necessária para um elétron atravessar a superfície do material e escapar às forças atrativas que o ligam ao material.
- Ⓒ A natureza corpuscular da radiação eletromagnética foi confirmada por Compton, que mostrou que a frequência de radiação espalhada por um feixe de raios X incidente sobre um alvo de grafite era dependente do material que constituía o alvo.
- Ⓓ A partir da dualidade onda-partícula da radiação, é correto inferir que a radiação eletromagnética se move como uma partícula (fóton) no espaço e interage como onda com a matéria.
- Ⓔ Quando a energia do fóton incidente sobre um material for igual à função trabalho desse material, o elétron será ejetado com energia cinética máxima.

QUESTÃO 44

A respeito da dualidade onda-partícula, assinale a opção correta.

- Ⓐ Segundo Einstein., a dualidade onda-partícula aplicada à matéria significa que uma partícula material tem associada a ela uma onda de matéria que governa seu movimento.
- Ⓑ O momento de uma partícula material está associado ao comprimento de onda da onda λ associado pela relação h/λ , em que h é a constante de Planck.
- Ⓒ A evidência de que uma partícula material possui dualidade pode ser comprovada a partir de um experimento de difração de elétrons, pois só partículas sofrem difração.
- Ⓓ O caráter ondulatório e corpuscular da matéria pode ser corretamente demonstrado por meio de uma única medida.
- Ⓔ Tanto raios X quanto feixe de elétrons podem ser difratados, tal que, para análise da superfície de materiais, é indiferente usar difração de raios X ou difração de elétrons.

QUESTÃO 45

Assinale a opção correta a respeito do princípio da incerteza de Heisenberg.

- A O referido princípio possui duas partes: uma relativa à medida simultânea da energia e momento da partícula; e outra relacionada à medida simultânea de posição e do tempo necessário à medida.
- B Uma consequência do princípio da incerteza de Heisenberg é que uma partícula confinada em uma certa região do espaço poderá ter energia cinética nula.
- C A restrição à medida simultânea não é à precisão com que o momento ou a posição podem ser medidos, mas ao produto da incerteza do momento pela incerteza na posição.
- D Uma das consequências do princípio da incerteza é o comportamento probabilístico da matéria devido ao seu caráter dual.
- E O Princípio da Incerteza é a base para a afirmação de Heisenberg-Bohr de que a probabilidade não é fundamental para a física quântica.

QUESTÃO 46

Com relação aos materiais usados para a confecção de diodos emissores de luz orgânicos (OLEDs), assinale a opção correta.

- A Existem duas classes de OLEDs: os com base em polímeros conjugados; e os com base em grandes moléculas.
- B Polímeros conjugados também podem ser chamados de metais sintéticos.
- C A polianilina não apresenta alternância entre as ligações duplas e simples; assim, ela não pode ser considerada um polímero conjugado.
- D Os polímeros emissivos são geralmente derivados de polímeros condutores simples.
- E Materiais como óxido de estanho dopado com flúor (FTO) e o poli(3,4)etilenodioxytiofeno (PEDOT) são usados como injetores de elétrons nos OLEDs.

QUESTÃO 47

Quanto à técnica de cobertura por rotação, é correto afirmar que

- A não existe desperdício de material.
- B quanto maior a velocidade de rotação mais espesso será o filme.
- C a velocidade angular, a aceleração, o tempo de deposição e a evaporação do solvente são parâmetros controláveis durante o processo de deposição.
- D bolhas de ar no filme, rastros no filme (*fingering*), filmes em forma de redemoinho, áreas não cobertas e pontos aglomerados são alguns dos problemas que ocorrem durante a deposição do filme.
- E os parâmetros, viscosidade, evaporação do solvente e concentração dos fluidos não alteram a espessura do filme.

QUESTÃO 48

Com relação à estrutura de um OLED, assinale a opção correta.

- A Camadas ativas mais espessas favorecem a recombinação radiativa e aumentam o desempenho do OLED.
- B Um eletrodo deve injetar buracos (lacunas) e o outro eletrodo deve injetar elétrons na camada ativa, mas ambos devem ser de materiais refletivos.
- C A camada ativa relaxa ao redor dos portadores injetados formando o sóliton ou pólaron, os quais podem se recombinar radiativamente emitindo luz.
- D Experimentos de absorção óptica mostram que os sólitons são formados após a recombinação dos portadores injetados.
- E Devido à ausência de cargas livres dentro da camada ativa antes da injeção de portadores, as bandas de energia na interface são representadas na condição de bandas inclinadas.

QUESTÃO 49

Assinale a opção correta a respeito de OLEDs.

- A Para entender o funcionamento de um OLED, basta compreender como a injeção, o transporte e a recombinação de cargas acontecem, de forma similar ao mecanismo que rege um diodo emissor de luz inorgânico.
- B O mecanismo de transporte por tunelamento assistido por fônon (*hopping*) é essencial para a mobilidade dos portadores dentro de materiais poliméricos.
- C O OLED é formado por uma camada de polímero luminescente inserida entre um eletrodo formado por óxido de estanho dopado com flúor (FTO) ou óxido de estanho índio (ITO) e um cátodo de metal, cuja função trabalho deve ser alta.
- D O PEDOT depositado sobre a camada de ITO ou FTO torna a injeção de buracos mais eficiente, uma vez que ele promove um aumento na barreira de energia para os buracos.
- E O processo de injeção de portadores pode ser modelado de duas formas: como tunelamento para correntes mais altas e como termiônica para correntes mais baixas.

QUESTÃO 50

Com relação aos dispositivos emissores de luz fluorescente e fosforescente, assinale a opção correta.

- A Um modo de aumentar a eficiência quântica de um diodo emissor de luz polimérico é dopando o material hospedeiro com corantes que tenham alta eficiência de fotoluminescência.
- B Diodos emissores de luz poliméricos dopados com porfirina platina fosforescente têm alta eficiência na cor azul.
- C A eficiência quântica de alguns diodos emissores de luz poliméricos dopados com corantes fosforescentes cai rapidamente com o aumento da densidade de corrente, devido ao tempo de vida muito curto do dopante fosforescente.
- D Um OLED fluorescente convencional tem eficiência até quatro vezes maior que um OLED fosforescente.
- E Os dispositivos fluorescentes e fosforescentes orgânicos têm como desvantagens a necessidade de alta tensão para funcionarem, além de consumirem muita potência.

QUESTÃO 51

Experimentos de difração de raios X por redes cristalinas, efetuados no início do século passado, demonstraram que muitos sólidos são compostos por arranjos periódicos de átomos no espaço. A respeito das propriedades fundamentais desses arranjos cristalinos, assinale a opção correta.

- A Na abstração matemática da rede cristalina como um arranjo periódico de pontos no espaço, cada ponto da rede corresponde a um átomo do material.
- B Em um reticulado ideal, o menor volume que, repetido, reproduz toda a estrutura é denominado célula primitiva, a qual tem uma definição única para cada tipo de cristal.
- C Em um reticulado cúbico simples, a célula primitiva é um cubo que contém oito pontos da rede cristalina, um em cada vértice.
- D O reticulado cúbico centrado no corpo descreve a estrutura espacial do silício cristalino, por isso, tem importância especial no embasamento físico da eletrônica.
- E A rede cristalina, como abstração matemática, é periódica no espaço e, conseqüentemente, infinita. Por esse motivo, a superfície de um material apresentará propriedades diversas daquelas previstas pelos cálculos que consideram um reticulado perfeito.

QUESTÃO 52

Em um experimento de difração de raios X por um cristal, a presença de picos de difração em ângulos de incidência específicos pode ser entendida a partir da lei de Bragg. Acerca desse princípio físico, assinale a opção correta.

- A Para que a referida lei seja atendida, o comprimento de onda da luz incidente deve ser menor que o dobro da distância entre planos adjacentes de átomos, razão pela qual cristais típicos não produzem difração de Bragg para luz visível.
- B A existência de picos bem definidos de intensidade de energia difratada, variando o ângulo de incidência, indica que os planos individuais de átomos são altamente refletores para comprimentos de onda na faixa de raios X.
- C Segundo a lei de Bragg, uma incidência a 45 graus produz forte difração para comprimentos de onda igual à distância interplanar.
- D Experimentos de difração de raios X em materiais diferentes, mas de mesma estrutura cristalina, produzem picos de difração em ângulos iguais.
- E Em uma formulação quântica, a lei de Bragg é interpretada como uma questão de conservação de *momentum* angular.

QUESTÃO 53

A propagação de ondas em uma rede cristalina é melhor compreendida com o auxílio do conceito de rede recíproca. Com relação a esse conceito, assinale a opção correta.

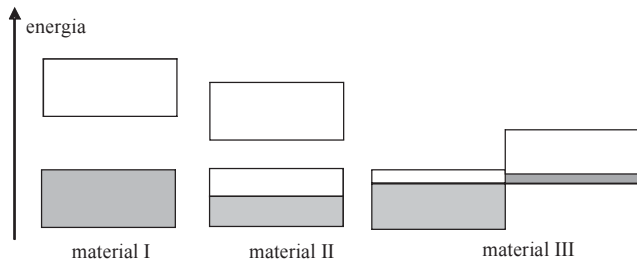
- A Se a lei de Bragg é satisfeita para um vetor de onda incidente \mathbf{k} e um vetor refletido \mathbf{k}' , então a diferença $\mathbf{k}' - \mathbf{k}$ é igual a algum vetor de translação da rede recíproca, ou seja, o vetor $\mathbf{k} - \mathbf{k}'$ deve ligar dois pontos da rede recíproca.
- B A rede recíproca e a rede real têm a mesma disposição espacial, exceto em questões de escala e unidade.
- C A rede cúbica centrada na face tem como rede recíproca a rede cúbica simples, e vice-versa.
- D Uma célula unitária da rede recíproca recebe o nome de primeira zona de Brillouin.
- E Ondas mecânicas cujo vetor de onda situa-se fora da primeira zona de Brillouin não podem se propagar no cristal.

QUESTÃO 54

Na distribuição dos elétrons de um sólido em termos de energia, observam-se bandas de valores permitidos, separados por zonas proibidas. A ocupação dessas bandas e o tamanho da separação entre elas são as características fundamentais para que se compreendam as propriedades de condução da corrente elétrica. A esse respeito, assinale a opção correta.

- A Em uma banda completamente ocupada, a condução de corrente elétrica é descrita pelo modelo de elétrons livres, como em um metal monovalente.
- B Experimentos embasados no efeito Hall indicam que a condução em um semiconductor ocorre de fato por meio de cargas negativas, comprovando, assim, que lacunas são um conceito simplificador teórico, sem manifestação macroscópica correspondente.
- C Uma banda com um estado eletrônico desocupado tem o mesmo comportamento de uma banda contendo apenas uma carga positiva, denominada lacuna ou buraco (*hole*).
- D O conceito de lacunas é usado para modelagem da condutividade elétrica em semicondutores. O conceito clássico de elétron é suficiente para explicar a corrente em metais monovalentes e divalentes.
- E A curvatura do gráfico da energia *versus* vetor de onda de uma banda é inversamente proporcional à massa do elétron e, por isso, não varia entre diferentes materiais.

QUESTÃO 55



A figura acima mostra esquematicamente a ocupação dos níveis permitidos para elétrons em três materiais diferentes. Os retângulos representam bandas permitidas de energia. Considerando que as áreas sombreadas na figura indicam regiões de energia com níveis ocupados a zero kelvin, é correto afirmar que o material

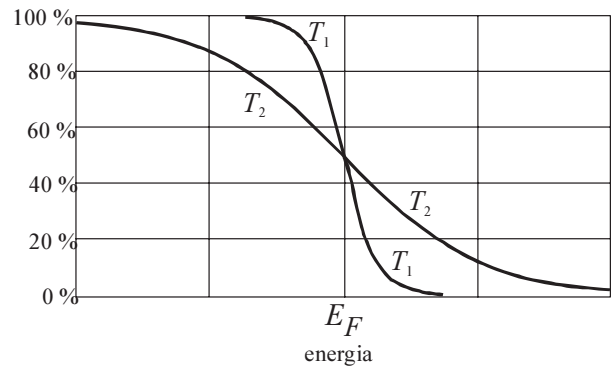
- A II, por ter uma banda parcialmente preenchida com elétrons, terá uma condutividade intermediária, comparada a metais e isolantes.
- B I comporta-se como isolante, a zero kelvin, e, em temperatura ambiente, a sua condutividade dependerá da separação, em energia, das bandas indicadas.
- C III é, pelo diagrama mostrado, tipicamente um metal monovalente.
- D I tem sua condutividade bem explicada pelo modelo de elétrons livres.
- E III, por ter duas bandas parcialmente ocupadas, terá tipicamente maior condutividade que o material II.

QUESTÃO 56

A densidade de estados disponíveis na banda de condução, para um semiconductor extenso em todas as 3 dimensões, é função da energia E em relação ao mais baixo nível de energia da banda, E_C . Mais especificamente, essa densidade é proporcional a

- A $(E - E_C)^{-2}$.
- B $(E - E_C)^{-1/2}$.
- C $(E - E_C)^{1/2}$.
- D $(E - E_C)^2$.
- E $(E - E_C)^3$.

QUESTÃO 57



Considerando a figura apresentada, que mostra um gráfico da função distribuição de Fermi em duas temperaturas diferentes, T_1 e T_2 , assinale a opção correta.

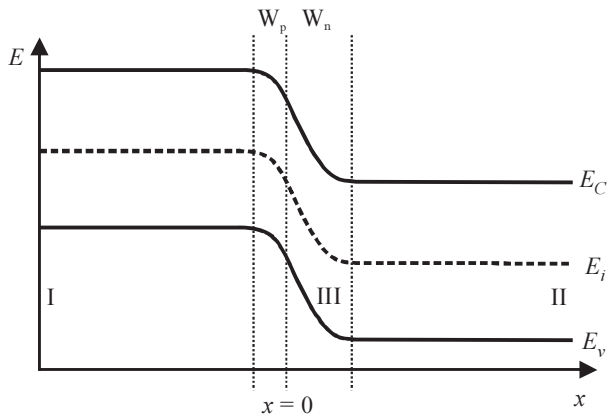
- A Existe, para qualquer temperatura, uma simetria em relação ao nível E_F , de tal forma que a probabilidade de ocupação de um nível $E_F + \Delta$ é igual à probabilidade de não-ocupação de um nível $E_F - \Delta$.
- B O nível E_F corresponde, em um sólido, ao maior nível ocupado a zero kelvin.
- C O nível E_F , conhecido como nível de Fermi, é uma constante do material.
- D Observando-se a diferença na probabilidade de ocupação dos níveis de energia mais altos nas duas temperaturas conclui-se que $T_1 > T_2$.
- E Em baixas temperaturas, a distribuição de Fermi é bem aproximada pela distribuição de Maxwell-Boltzmann.

QUESTÃO 58

Ao se observarem duas amostras de silício, uma de material intrínseco e outra de material tipo N, verifica-se que, à temperatura ambiente, a concentração de elétrons livres é maior na amostra tipo N. Considerando que a concentração de portadores na banda de condução é obtida multiplicando a densidade de estados na banda e a probabilidade de ocupação, é correto inferir que a diferença de concentração entre as referidas amostras tem como principal causa o efeito da dopagem

- A no aumento da densidade de estados na banda de condução.
- B na diminuição do nível de Fermi, levando-o em direção à banda de valência.
- C no aumento da massa efetiva dos elétrons.
- D na diminuição da massa efetiva dos elétrons.
- E no aumento do nível de Fermi, levando-o em direção à banda de condução.

Figura para as questões de 59 a 61.



A figura acima mostra esquematicamente as bandas de energia de uma junção PN abrupta monodimensional em equilíbrio térmico. A separação abrupta entre N e P ocorre no ponto $x = 0$ indicado na figura.

QUESTÃO 59

A respeito das dimensões e regiões indicadas na figura, é correto afirmar que

- Ⓐ o fato de a largura W_p ser menor que W_n indica uma heterojunção.
- Ⓑ a região indicada por I é relativamente desprovida de cargas móveis.
- Ⓒ essa estrutura, em uma aplicação como detector de luz, é particularmente sensível à radiação incidente nas regiões indicadas por I e II.
- Ⓓ pares elétron-lacuna gerados na região III tendem a se acumular na estrutura, devido à neutralidade de cargas na região.
- Ⓔ o nível de Fermi ao longo do eixo x é uma constante, em equilíbrio térmico, apesar da variação no tipo e na concentração de dopantes.

QUESTÃO 60

Assinale a opção correta a respeito do potencial elétrico e do campo elétrico ao longo da estrutura mostrada na figura.

- Ⓐ O diagrama mostra uma diferença de energia potencial entre os dois lados da junção. Essa diferença resulta em um potencial elétrico constante medido entre as extremidades da estrutura em equilíbrio térmico.
- Ⓑ O campo elétrico tem módulo máximo nas extremidades da junção, indicadas por I e II.
- Ⓒ O campo elétrico interno tem módulo máximo na junção metálica, indicada pelo ponto $x = 0$.
- Ⓓ O potencial de equilíbrio da junção dificulta a passagem de lacunas do lado N para o lado P.
- Ⓔ À temperatura ambiente, alguns portadores têm energia suficiente para vencer a barreira de potencial interna, motivo pelo qual a corrente elétrica é ligeiramente diferente de zero no equilíbrio térmico.

QUESTÃO 61

Acerca dos diversos componentes da corrente elétrica na junção PN ilustrada na figura, assinale a opção correta.

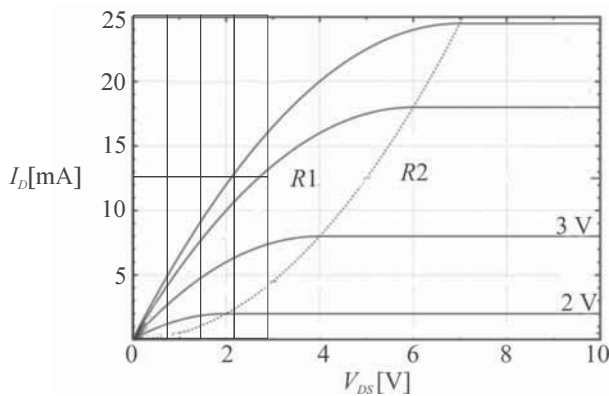
- Ⓐ Segundo o princípio denominado equilíbrio detalhado, as correntes de elétrons e de lacunas, em equilíbrio térmico, podem ser diferentes de zero, desde que se cancelem mutuamente.
- Ⓑ A junção estará diretamente polarizada se o potencial aplicado externamente for adicionado ao potencial interno da junção, ou seja, o potencial externo tende a aumentar o efeito do potencial interno.
- Ⓒ A difusão é o fenômeno de condução predominante na região III, quando a junção estiver diretamente polarizada.
- Ⓓ Se a junção estiver diretamente polarizada, então a deriva é o fenômeno de condução predominante na região I.
- Ⓔ A difusão será o fenômeno de condução predominante na região I, quando a junção estiver diretamente polarizada.

QUESTÃO 62

O transistor bipolar de junção (BJT) marca o início da miniaturização dos circuitos eletrônicos, abrindo o caminho para a produção de múltiplas funcionalidades em uma única pastilha de material semiconductor. Quanto a esse dispositivo, assinale a opção correta.

- Ⓐ Em comparação com o transistor MOS, o transistor bipolar apresenta a vantagem de maior isolamento do terminal de controle (base).
- Ⓑ O dispositivo é constituído por duas junções PN simétricas em termos de dopagens e dimensões.
- Ⓒ Em um transistor bipolar PNP, geometria e dopagens são escolhidas de forma a favorecer a injeção de lacunas do emissor para a base no modo ativo.
- Ⓓ O modo de corte se caracteriza pela oposição de uma junção diretamente polarizada em série com outra reversamente polarizada.
- Ⓔ Na polarização ativa, a corrente de coletor é aproximadamente proporcional à tensão base-emissor.

Figura para as questões de 63 a 65



A figura acima mostra a curva corrente *versus* tensão típica para um MOSFET canal N, que tem tensão de limiar V_T estimada em 1 V. Nessa figura, a linha tracejada divide a curva característica do transistor em duas regiões, indicadas por R1 e R2.

QUESTÃO 63

A transcondutância do transistor MOSFET apresentado na figura é aproximadamente igual a

- A 16 mA/V².
- B 10 mA/V².
- C 8 mA/V².
- D 4 mA/V².
- E 2 mA/V².

QUESTÃO 64

A tecnologia de fabricação usada no transistor MOSFET com características mostradas na figura permite fabricar um transistor com o dobro da corrente de dreno para os mesmos valores de tensões V_{DS} e V_{GS} . Nesse caso, esse transistor deve ter

- A a largura de canal reduzida à metade.
- B o comprimento de canal dobrado.
- C o comprimento e a largura do canal reduzidos à metade.
- D a largura de canal dobrada e seu comprimento reduzidos à metade.
- E a largura de canal dobrada.

QUESTÃO 65

A respeito das características das regiões indicadas por R1 e R2 na figura, assinale a opção correta.

- A A região R1 é conhecida como saturação, porque nela não se verifica mais a proporcionalidade entre V_{GS} e I_D para qualquer valor de V_{DS} .
- B Na região R1, conhecida como região de triodo, a corrente de dreno, para $V_{GS} > V_T$ fixo e baixos valores de V_{DS} , é diretamente proporcional a $V_{GS} - V_T$.
- C Para valores de V_{GS} menores que V_T (não mostrados na figura), a corrente I_D seria negativa.
- D Para valores de V_{GS} menores que V_T o canal encontra-se no modo de inversão forte.
- E A corrente torna-se aproximadamente constante para altos valores de V_{DS} porque ocorre a constrição do canal junto ao terminal fonte.

QUESTÃO 66

Assinale a opção correta a respeito de LEDs e de diodos *laser*, que são fontes de luz com aspectos comuns e diferenças importantes.

- A Diodos *laser* alcançam potências luminosas de saída maiores que LEDs porque emitem luz em uma banda larga de frequências.
- B A emissão de luz em ambos os dispositivos ocorre pelo fenômeno da fotoluminescência.
- C Tanto em LEDs quanto em diodos *laser*, a construção do dispositivo deve dificultar a recombinação de portadores na região próxima à junção PN, para aumento da eficiência na geração de luz.
- D No diodo *laser*, são utilizados materiais semicondutores degenerados para obtenção da condição de inversão — ocupação maior dos níveis superiores de energia em relação aos níveis inferiores —, necessária para amplificação *laser*.
- E O material de transição direta é mais adequado à fabricação de LEDs, enquanto para *lasers* são utilizados os materiais de transição indireta.

QUESTÃO 67

Acerca das características ópticas dos materiais semicondutores, assinale a opção correta.

- A O silício, material que atualmente é o mais utilizado na microeletrônica, é também o semicondutor com melhores propriedades para a construção de dispositivos ópticos.
- B Os valores máximos do módulo do vetor de onda \mathbf{k} na primeira zona de Brillouin de um material semicondutor tendem a ser muito maiores que o módulo do vetor de onda de fótons absorvidos por esse material. Sendo assim, as transições promovidas apenas por absorção de fótons, em um diagrama energia *versus* vetor \mathbf{k} típico, são praticamente verticais.
- C Denomina-se material de *gap* direto, ou de transição direta, o material para o qual as transições permitidas são aquelas entre níveis de energia adjacentes.
- D Uma transição indireta envolve a interação entre elétrons, fótons e éxcitons.
- E Semicondutores tendem a ser transparentes para baixos comprimentos de onda, porque os fótons desse tipo de radiação são incapazes de transferir energia suficiente para a transição da banda de valência para a banda de condução.

QUESTÃO 68

Tomando-se 4×10^{-15} eV·s como valor aproximado para a constante de Planck e considerando que os comprimentos de onda de luz visível se estendem entre 400 nm e 800 nm, é correto afirmar que um material conveniente para um detector intrínseco de luz deve ter *gap* máximo de aproximadamente

- A 4,5 eV.
- B 3 eV.
- C 2 eV.
- D 1,5 eV.
- E 0,5 eV.

QUESTÃO 69

No que se refere a fotodetetores, assinale a opção correta.

- A O tempo de resposta e a sensibilidade de um fotodiodo são características dependentes dos mesmos parâmetros físicos, de tal forma que o aumento de uma geralmente implica também o aumento da outra.
- B A operação do fotodiodo no modo fotovoltaico apresenta a vantagem de um relacionamento linear entre irradiância e tensão de circuito aberto.
- C Para operação em modo fotogalvânico, a saída do fotodetector deve ser ligada em um elemento de alta impedância de entrada.
- D A região de cargas espaciais da junção PN corresponde à região ativa de um fotodiodo, isto é, a região na qual a absorção de fótons tem maior probabilidade de gerar corrente elétrica. Por essa razão, o fotodiodo PIN, que contém uma região central pouco dopada, apresenta sensibilidade tipicamente maior que o fotodiodo PN convencional.
- E Um fóton correspondente à radiação de maior frequência carrega maior energia; assim, para irradiâncias iguais, e supondo eficiências quânticas iguais, a radiação de maior frequência deve gerar maior fotocorrente.

QUESTÃO 70

Quanto aos conceitos de junções PN utilizadas como fotocélulas, assinale a opção correta.

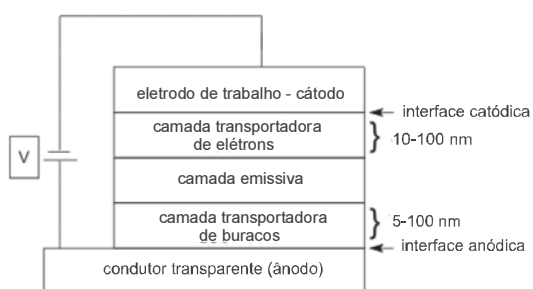
- A Para aplicação em fotocélula, a distância entre a junção e a superfície deve ser maior que o comprimento de difusão de portadores minoritários.
- B O potencial elétrico que é obtido de uma junção PN iluminada é limitado, em primeira aproximação, pelo potencial de contato da junção.
- C Altas dopagens melhoram a tensão de circuito aberto da célula e os comprimentos de difusão de portadores minoritários.
- D A tensão de circuito aberto de uma célula é aproximadamente dada por $\frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_1}{I_0} + 1\right)$, em que T é a temperatura; K , a constante de Boltzmann; q , a carga fundamental; I_1 , a fotocorrente e I_0 , a corrente reversa da junção. Portanto, a tensão aumenta com o aumento da temperatura.
- E A chamada eficiência quântica interna da célula é a relação entre fótons incidentes e pares elétron-lacunas gerados.

QUESTÃO 71

A teoria dos orbitais moleculares é importante para o entendimento de inúmeras reações químicas. Essa teoria explica diferentes efeitos e permite previsões adequadas de formação de inúmeros produtos, como em reações pericíclicas. A esse respeito, assinale a opção correta.

- A Os orbitais moleculares podem ser descritos por uma combinação linear de orbitais atômicos.
- B Não existe uma definição apropriada de orbitais moleculares, somente para orbitais atômicos.
- C Orbitais moleculares e orbitais atômicos se referem ao mesmo tipo de orbital.
- D Orbitais atômicos são oriundos de combinações de orbitais moleculares.
- E Um elemento químico só pode ter um orbital atômico, o qual se combina em formação de ligação química.

QUESTÃO 72



Considerando o esquema de um dispositivo OLED acima, é correto afirmar que

- A a oxidação do sistema orgânico ocorre na camada condutor transparente (ânodo).
- B a oxidação do sistema orgânico ocorre na camada eletrodo de trabalho (cátodo).
- C os chamados buracos (ou lacunas) são formados na camada eletrodo de trabalho (cátodo).
- D os chamados buracos (ou lacunas) são formados na camada condutor transparente que é o cátodo do sistema.
- E a diferença de potencial não tem grande influência no sistema, pois o importante é a corrente gerada.

QUESTÃO 73

Sistemas OLEDs são importantes em tecnologia de *displays* óptico-eletrônicos. Novas moléculas orgânicas tem sido estudadas e aplicadas nessa tecnologia recente. A utilização prática de sistemas OLEDs é limitada pelo fato de

- A os sistemas orgânicos moleculares não emitirem eficientemente luz em regiões abaixo de 400 nm.
- B a resolução de imagem do dispositivo ser baixa.
- C a resolução, apesar de boa, ser inferior à resolução dos dispositivos de cristais líquidos.
- D os materiais orgânicos não emitirem luz no azul e no verde.
- E os dispositivos orgânicos terem baixa durabilidade quando comparados com os dispositivos de cristal líquido.

QUESTÃO 74

A fluorescência e a fosforescência são fenômenos observados na natureza em diversas situações. Um composto com propriedades de fosforescência utiliza um estado excitado para emissão antes de voltar ao estado fundamental. A respeito desse estado, assinale a opção correta.

- A Utiliza um estado singleto antes de relaxar.
- B Utiliza um estado tripleto antes de relaxar para o estado fundamental.
- C Não utiliza estado tripleto ou singleto durante o processo de relaxação.
- D Tanto o estado tripleto quanto o singleto podem ser utilizados na relaxação.
- E Somente estados híbridos podem ser utilizados na fosforescência.

QUESTÃO 75

O semicondutor testado em materiais ópticos-eletrônicos deverá ter elétrons

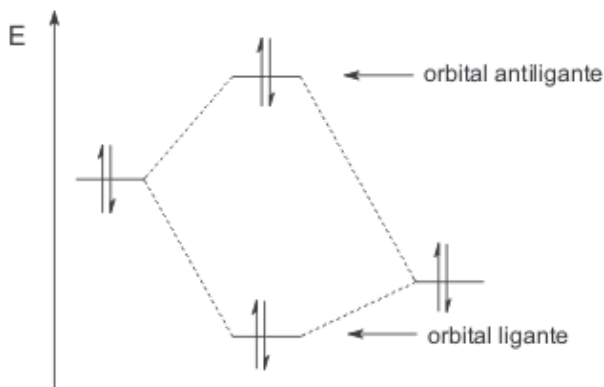
- A somente na banda de valência.
- B somente na banda de condução.
- C em ambas as bandas.
- D somente na banda de condução na temperatura de zero absoluto.
- E na banda de condução tão somente e dependendo da diferença de energia entre as bandas.

QUESTÃO 76

O *gap* entre uma banda de valência e uma banda de condução em um semicondutor terá um valor

- A maior que o de um isolante.
- B menor que o de um condutor.
- C tanto maior quanto menor que o de um condutor.
- D menor que o de um isolante.
- E determinado de acordo com o material, podendo ser maior ou menor que o de um isolante.

QUESTÃO 77



A formação de um orbital ligante é usualmente exotérmica. A figura acima ilustra uma molécula hipotética X_2 , cujo orbital antiligante será preenchido com dois elétrons com números quânticos de *spin* opostos. Nesse caso, o processo será

- A exotérmico, pois dois elétrons serão acomodados no mesmo orbital antiligante.
- B endotérmico, pois dois elétrons serão acomodados no mesmo orbital antiligante.
- C impossível de se prever.
- D necessariamente exotérmico, pois o preenchimento do mesmo orbital ligante com um par de elétrons é um processo exotérmico.
- E endotérmico, pois a maior energia do orbital antiligante torna menos energética a ocupação do orbital.

QUESTÃO 78

Um elemento com alta eletronegatividade, ao formar uma ligação química com um íon do átomo de potássio, é formado predominantemente por uma ligação

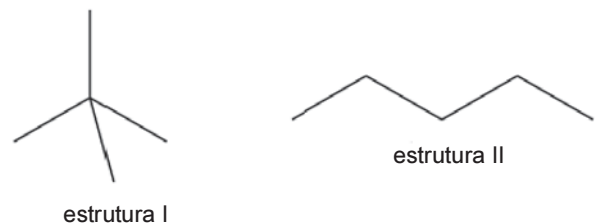
- A metálica.
- B covalente.
- C de hidrogênio.
- D iônica.
- E com forças de van der Waals.

QUESTÃO 79

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) descreve em seu livro de ouro o conceito de fotometria como sendo a medida de luz em diversos comprimentos de onda, os quais produzem sensação visual de aproximadamente 380 nm-780 nm. Com base nessa definição, assinale a opção correta.

- A O comprimento de onda na medida da fotometria encontra-se na região do ultravioleta.
- B O comprimento de onda na medida da fotometria encontra-se totalmente fora da região do visível.
- C O comprimento de onda na medida da fotometria encontra-se praticamente todo na região do visível.
- D Segundo o conceito da IUPAC apresentado, não é possível saber em que região encontra-se a medida da fotometria.
- E O comprimento de medida da fotometria e a região do ultravioleta são basicamente os mesmos.

QUESTÃO 80



Considerando as estruturas de hidrocarbonetos acima, assinale a opção correta.

- A Na estrutura I, as forças de van der Waals são muito fortes tornando um líquido a substância na temperatura ambiente (25 °C).
- B Na estrutura II, as forças de van der Waals são muito fortes, por isso o composto tende a ser um sólido na temperatura ambiente (25 °C).
- C Nas estruturas I e II, as forças de van der Waals são similares, pois ambas têm 5 carbonos e 12 hidrogênios em suas estruturas.
- D Na estrutura I, o composto tende a ser um gás a temperatura ambiente (25 °C), pois as forças de van der Waals são praticamente inexistentes.
- E Na estrutura II, as forças de van der Waals são mais efetivas do que na estrutura I.

QUESTÃO 81

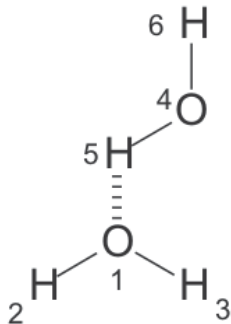
Considerando um sistema OLED comercial, as características desejáveis para aplicação de sistemas fotoluminescentes orgânicos moleculares (ou poliméricos) em sistemas óptico-eletrônicos comerciais são:

- A) boa estabilidade térmica e processos redox irreversíveis.
- B) boa estabilidade térmica em ampla faixa de temperatura e processos redox reversíveis.
- C) processos de redução reversíveis e processos de oxidação irreversíveis.
- D) processos de oxidação irreversíveis e boa estabilidade térmica para baixas temperaturas ($< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- E) boa estabilidade frente a oxidações quando as reduções e as oxidações forem reversíveis.

QUESTÃO 82

A equação de Schrödinger para um partícula na caixa apresenta, em teoria,

- A) um número finito de soluções para cada uma das dimensões da caixa.
- B) infinitas soluções apenas quando se consideram as três dimensões da caixa.
- C) infinitas soluções mesmo se considerar apenas uma dimensão da caixa.
- D) um número finito de soluções apenas quando se considera uma ou duas dimensão da caixa.
- E) sempre um número de soluções finitas, mesmo se considerarmos as três dimensões da caixa.

QUESTÃO 83

Acerca das ligações da água demonstradas na figura acima, assinale a opção correta.

- A) Existe uma ligação iônica entre o oxigênio (1) e o hidrogênio (2).
- B) Existe uma ligação de hidrogênio entre o oxigênio (1) e o hidrogênio (2).
- C) Todas as ligações entre os oxigênios e os hidrogênios são completamente covalentes.
- D) Todas as ligações entre os oxigênios e os hidrogênios são ligações de hidrogênio.
- E) Entre o oxigênio (1) e o hidrogênio (2) tem uma ligação covalente; e entre o oxigênio (1) e o hidrogênio (5) uma ligação de hidrogênio.

QUESTÃO 84

Considerando a redução catódica e a oxidação anódica dos materiais para sistemas OLEDs, assinale a opção correta quanto ao material a ser utilizado no processo eletroquímico de oxidação no ânodo e de redução no cátodo, respectivamente.

- A) quasi-reversível e reversível para sistemas poliméricos.
- B) reversível em ambos, seja em polímeros, seja em sistemas orgânicos pequenos.
- C) quasi-reversível em ambos, somente para polímeros emissores.
- D) irreversível e reversível em moléculas orgânicas pequenas.
- E) irreversível em ambos desde que seja um polímero emissor.

QUESTÃO 85

Considerando o estado fundamental da molécula de oxigênio (O_2) que se encontra no ar que respiramos, pode-se dizer que este estado é

- A) singleto antes da excitação por ultravioleta.
- B) singleto por estar em contato com o gás nitrogênio.
- C) imprevisível.
- D) tripleto antes da excitação por irradiação ultravioleta.
- E) singleto devido à presença de nitrogênio e água no ar.

QUESTÃO 86

O tipo de material emissor utilizado em sistemas orgânicos emissores de luz determina tanto as propriedades emissivas como a qualidade do OLED. O material orgânico constituinte de um OLED pode ser

- A) um polímero isolante.
- B) uma molécula orgânica pequena eletroluminescente.
- C) um polímero que emite em torno de 370 nm.
- D) somente em polímero eletroluminescente.
- E) uma molécula orgânica pequena que emite luz na região do ultravioleta próximo.

QUESTÃO 87

Muitos compostos apresentam propriedades de luminescência (fluorescência ou fosforescência). A respeito de um material orgânico polimérico sintetizado com propriedades fluorescentes, é correto afirmar que

- A) será sempre fluorescente e nunca terá propriedades de fosforescência.
- B) poderá ser fosforescente, se houver transições singleto-singleto.
- C) poderá apresentar também propriedades de fosforescência em certas condições.
- D) poderá ser fosforescente se ocorrerem transições singleto-singleto.
- E) poderá ser fosforescente somente se for um material orgânico molecular e não polimérico.

QUESTÃO 88

Uma molécula com estado fundamental singlete (S) é excitada para um estado excitado também singlete (S^*). Antes de relaxar para o estado fundamental, a molécula sofre uma transição para um estado excitado tripleto (T^*). O esquema desse processo é: $S \rightarrow S^* \rightarrow T^* \rightarrow S$. A emissão de luz ocorre em 501 nm. Considerando o texto, assinale a opção correta acerca da molécula em apreço.

- A Não há como dizer se a molécula proporcionará emissão fluorescente ou fosforescente, mesmo sendo dados os processos de transição no estado excitado e a relaxação para o estado fundamental.
- B Dependendo da fonte de excitação, poderá ocorrer emissão fluorescente ou fosforescente, pois as transições apresentadas são típicas tanto para fluorescência quanto para fosforescência.
- C A emissão produzida por essa molécula será fluorescente, pois as transições apresentadas são típicas de compostos com propriedades de fluorescência.
- D A emissão produzida pela molécula será fosforescente, pois as transições apresentadas são típicas de compostos com propriedades de fosforescência.
- E Caso a emissão seja abaixo de 500 nm, ela será fluorescente. Caso a emissão seja acima de 500 nm, ela será fosforescente.

QUESTÃO 89

A estrutura da água é estudada há muitos anos por cientistas de diversas áreas. Atualmente, a compreensão da organização supramolecular dessa molécula é relativamente bem conhecida. As ligações intermoleculares na água são

- A ligações de hidrogênio e covalentes, formando um arranjo supramolecular estável.
- B ligações de hidrogênio, permitindo a formação do arranjo supramolecular.
- C ligações iônicas com dipolo permanente, que mantêm o arranjo supramolecular estável.
- D ligações do tipo dipolo-dipolo induzido, o que torna as forças intermoleculares pouco estáveis.
- E ligações do tipo dipolo induzido-dipolo induzido, o que permite a formação de um arranjo tridimensional estável.

QUESTÃO 90

Considerando-se as moléculas de ácido fluorídrico e água, e sabendo que tanto o átomo de flúor quanto o de oxigênio são bastante eletronegativos, é correto afirmar, acerca das ligações existentes nessas moléculas, que

- A as ligações H-F e H-O são do tipo ligações de hidrogênio.
- B a ligação H-O é iônica e a ligação H-F covalente.
- C a ligação H-O é covalente e a ligação H-F iônica.
- D a ligação H-F é iônica e mais forte que a ligação H-O na água.
- E a ligação H-F é covalente e mais forte que a ligação H-O na água.

QUESTÃO 91

Observa-se na literatura científica que inúmeras estruturas são testadas como dispositivos orgânicos emissores de luz. Estruturas com conjugações estendidas, utilizadas em sistemas OLEDs, são altamente conjugadas. Nesse sentido, assinale a opção correta.

- A Polímeros de conjugações estendidas são sempre melhores que moléculas pequenas de conjugações estendidas.
- B Polímeros de conjugações estendidas são piores, mesmo tendo uma extensão de conjugação normalmente maior.
- C Existem vários fatores além da extensão da conjugação, logo, polímeros de conjugações estendidas e moléculas pequenas de conjugações estendidas podem ser usados.
- D A extensão da conjugação é importante somente para moléculas orgânicas pequenas.
- E Somente importa a extensão da conjugação em materiais poliméricos.

QUESTÃO 92

Supondo uma reação para formar uma ligação covalente entre uma espécie X e uma espécie Y , e sabendo que o orbital molecular preenchido de mais alta energia da espécie X irá interagir para a formação da nova ligação covalente, assinale a opção correta.

- A Ele irá interagir com o orbital molecular preenchido de mais alta energia da espécie Y .
- B Ele irá interagir com o orbital molecular desocupado de mais alta energia da espécie Y .
- C Ele irá interagir com o orbital molecular preenchido de mais baixa energia da espécie Y .
- D Ele irá interagir com orbital molecular de mais baixa energia desocupado da espécie Y .
- E Não é possível prever como a ligação será formada sem conhecer os valores de energia dos orbitais.

QUESTÃO 93

Uma estrutura com conjugação-estendida de uma molécula orgânica pequena sempre poderá ser utilizada como componente emissor de um sistema OLED. Acerca dessa afirmação, é correto afirmar que

- A está errada, pois nem todas as moléculas orgânicas pequenas emissoras podem ser utilizadas. É necessário satisfazer uma série de critérios.
- B está correta, pois moléculas orgânicas pequenas de conjugação-estendida sempre são estáveis no estado excitado.
- C está errada, porque deve ser um material polimérico de conjugação-estendida e não uma molécula orgânica pequena.
- D está correta, pois não precisa ser um material polimérico, basta ter a conjugação-estendida para ser utilizada.
- E está correta, pois sempre que uma molécula orgânica pequena tiver a sua conjugação-estendida ela emitirá no visível.

QUESTÃO 94

Em relação à cinética das reações químicas, assinale a opção correta.

- A O aumento da temperatura diminui a velocidade de reação.
- B A descrição detalhada da sequência de etapas individuais que conduzem os reagentes aos produtos é definida como velocidade da reação.
- C Os mecanismos de uma reação são obtidos principalmente por modelos teóricos, sendo a determinação experimental muito complexa.
- D Além da temperatura, a velocidade de uma reação geralmente depende das concentrações dos reagentes e das áreas das superfícies em contato com os reagentes.
- E Em temperaturas mais elevadas, a curva de distribuição de energias cinéticas moleculares desloca-se no sentido de se ter um número maior de moléculas lentas e menor de moléculas rápidas.

QUESTÃO 95

Acerca da capacidade térmica dos sólidos inorgânicos, assinale a opção correta.

- A A regra de Dulong e Petit prevê que, para a maioria dos sólidos cristalinos inorgânicos da natureza, a capacidade térmica a volume constante tem o valor $\frac{3NK_b}{2}$, onde N é o número de átomos do cristal e K_b é a constante de Boltzmann.
- B Em baixas temperaturas, a capacidade térmica a volume constante da maioria dos sólidos cristalinos isolantes e metálicos cai acentuadamente, aproximando-se de um valor finito e diferente de zero.
- C Em sólidos cristalinos magnéticos a baixas temperaturas, o ordenamento dos momentos magnéticos nucleares não contribui para a capacidade térmica a volume constante.
- D No modelo de Einstein para a capacidade térmica a volume constante, supõe-se que todas as ondas elásticas no sólido possuem a mesma frequência.
- E O modelo de Einstein para a capacidade térmica a volume constante não é capaz de explicar a regra de Dulong e Petit.

QUESTÃO 96

A respeito dos orbitais do sistema formado por um átomo com um elétron, assinale a opção correta.

- A Devido à simetria esférica do potencial de interação entre o elétron e o átomo, todos os orbitais desse sistema também possuem simetria esférica.
- B Como o potencial de interação possui a forma de um poço de potencial, esse sistema possui somente espectro discreto de energia, correspondendo aos orbitais s, p, d e f .
- C Cada solução ortogonal da equação de Schrödinger resultante é caracterizada por orbitais com números quânticos diferentes entre si, tendo, portanto, diferentes energias.
- D O orbital s é o único que possui simetria esférica, todos os outros orbitais possuem lóbulos angulares onde a densidade de probabilidade é máxima.
- E Orbitais com o mesmo momento angular total são sempre degenerados, tendo a mesma energia total.

QUESTÃO 97

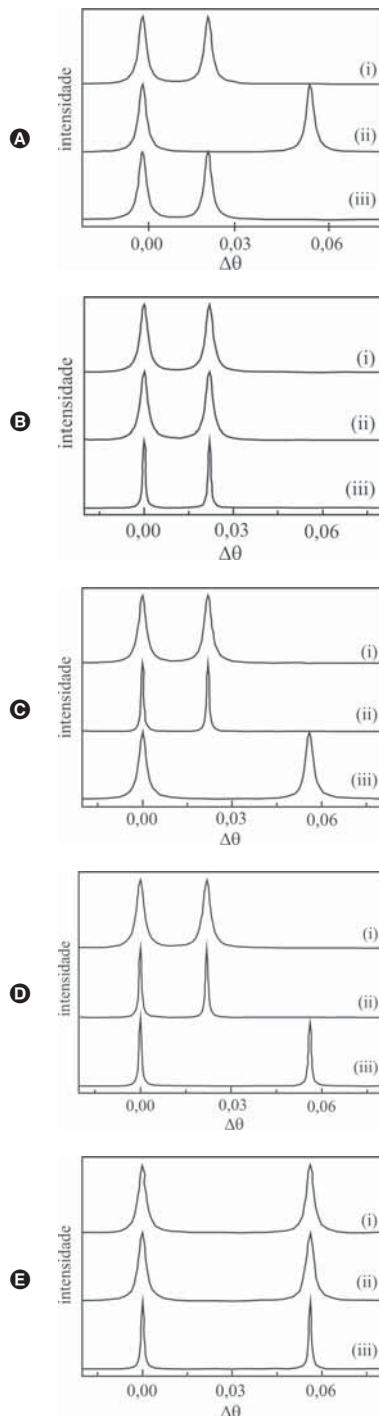
Uma rede de difração por transmissão de 10.000 linhas/cm é usada para medir os dois únicos comprimentos de onda emitidos por uma fonte de luz. Sabendo-se que os dois comprimentos de onda são difratados, na primeira ordem, sob os ângulos de 30° e 45°, então, os comprimentos de onda dos feixes de luz difratados são, respectivamente,

- A $5,0 \times 10^{-4}$ m e $7,0 \times 10^{-4}$ m.
- B $1,0 \times 10^{-6}$ m e $2,0 \times 10^{-6}$ m.
- C $0,5 \times 10^{-6}$ m e $0,7 \times 10^{-6}$ m.
- D $0,1 \times 10^{-6}$ m e $0,5 \times 10^{-6}$ m.
- E $0,1 \times 10^{-7}$ m e $0,7 \times 10^{-7}$ m.

RASCUNHO

QUESTÃO 98

A luz emitida por uma lâmpada de sódio é difratada — por transmissão — por três diferentes redes de difração. A primeira delas é uma rede de 5 cm de comprimento com 600 linhas/mm (i). A segunda, uma rede de 10 cm de comprimento, também com 600 linhas/mm (ii). A terceira, uma rede de 2,5 cm de comprimento e com 1.200 linhas/mm (iii). Considerando que todas as redes estejam igualmente iluminadas e que a luz de sódio apresenta um duplete na região do amarelo com comprimentos de onda de $\lambda_1 = 5889,950 \text{ \AA}$ e $\lambda_2 = 5895,924 \text{ \AA}$, assinale a opção que apresenta o espectro de difração compatível com a situação descrita. Observe que a escala do eixo x é dada em função da variação do ângulo de difração ($\Delta\theta$).



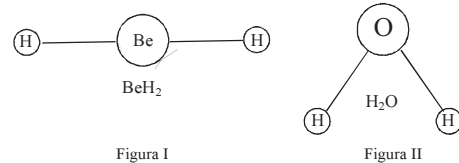
QUESTÃO 99

A aplicação de argumentos de simetria a átomos, moléculas e cristais começou na década de 1920 e teve suas origens na teoria de grupo desenvolvida pelos matemáticos no século XIX. Ela constitui uma ferramenta essencial para compreender as propriedades de sistemas atômicos, moleculares e cristalino, em particular na área de espectroscopia óptica. A simetria de um dado sistema é descrita em certas operações que transformam um arranjo espacial (atômico, molecular ou cristalino) em um arranjo indistinguível do primeiro. Para realizar uma operação de simetria, se requer que o sistema possua um elemento de simetria, entidade geométrica como um ponto, um plano, ou uma linha em relação a qual será efetuada a operação. Com relação a esse tema, assinale a opção que apresenta os elementos de simetria de uma molécula de água.

- A** $E, C_2, I\sigma_v$
B $E, C_3, 3\sigma_{3v}$
C $E, 3C_2, 4C_3, 6\sigma_v, 3S_4$
D $E, C_3, I\sigma_v$
E $E, C_2, 2\sigma_v$

QUESTÃO 100

O movimento dos átomos que constituem as moléculas resulta em movimentos de translações, rotações e vibrações moleculares. O número de cada movimento depende da simetria e do número de átomos da molécula.



Considerando as figuras acima, assinale a opção que apresenta os números de modos vibracionais das moléculas BeH_2 e da H_2O , respectivamente.

- A** 2 e 2
B 4 e 3
C 3 e 4
D 3 e 3
E 4 e 4

RASCUNHO

PROVA DISCURSIVA

- Nesta prova, faça o que se pede, usando os espaços para rascunho indicados no presente caderno. Em seguida, transcreva os textos para o **CADERNO DE TEXTOS DEFINITIVOS DA PROVA DISCURSIVA**, nos locais apropriados, pois **não serão avaliados fragmentos de texto escritos em locais indevidos**.
- Em cada questão, qualquer fragmento de texto além da extensão máxima de **trinta** linhas será desconsiderado. Será desconsiderado também o texto que não for escrito na **folha de texto definitivo** correspondente.
- No **caderno de textos definitivos**, identifique-se apenas no cabeçalho da primeira página, pois **não será avaliado** texto que tenha qualquer assinatura ou marca identificadora fora do local apropriado.

QUESTÃO 1

Redija um texto dissertativo acerca do seguinte tema.

DIODOS EMISSORES DE LUZ ORGÂNICOS (OLED)

Ao elaborar seu texto, aborde, necessariamente, os seguintes aspectos:

- ▶ estrutura básica de um OLED, técnicas de fabricação e classes de polímeros emissores;
- ▶ funcionamento (injeção de portadores, transporte de portadores e recombinação).

RASCUNHO – QUESTÃO 1

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	

QUESTÃO 2

Há alguns anos, os investimentos em dispositivos OLEDs têm produzido retornos estimados na ordem de bilhões de dólares. Esses dispositivos emissores de luz têm uma arquitetura muito peculiar. Essa tecnologia, desenvolvida pela Kodak na década de 80 do século XX, avançou muito desde as primeiras publicações científicas no final daquela década. Entretanto, muito ainda precisa ser investigado e desenvolvido na tecnologia desses dispositivos optoeletrônicos, especialmente no que se refere à durabilidade e à intensidade luminosa relativa. Questões relacionadas com *design*, engenharia e fabricação desses componentes continuam a ser um grande desafio tecnológico.

Considerando que o fragmento de texto acima tem caráter unicamente motivador, redija um texto dissertativo acerca do funcionamento de um sistema OLED multicamadas, como o representado na figura abaixo. No seu texto, aborde, necessariamente, os seguintes aspectos:

- ▶ a importância e as características de cada camada;
- ▶ tensão intrínseca;
- ▶ técnicas de deposição;
- ▶ materiais emissores;
- ▶ portadores de cargas.

