

## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### Texto para as questões 41 e 42

O sulfeto de zinco (ZnS) é um material que, quando sintetizado em escala nanométrica, apresenta propriedades semicondutoras bastante úteis para fabricação de nanofios e de dispositivos luminescentes. Tais propriedades se originam, principalmente, devido à grande separação entre as bandas de níveis de energia, oriundas da sobreposição dos inúmeros orbitais atômicos presentes na estrutura dessa molécula.

#### QUESTÃO 41

A respeito do ZnS e dos átomos que compõem essa molécula e considerando que  $M(S) = 16 \text{ g/mol}$  e  $M(Zn) = 30 \text{ g/mol}$ , assinale a opção correta.

- A A função de onda de um átomo hidrogenóide é chamada de orbital molecular.
- B Os números quânticos principais do Zn e do S indicam que ambos pertencem a uma mesma camada.
- C Os orbitais  $3s$ ,  $3p$  e  $3d$  são energeticamente degenerados no caso do átomo de enxofre.
- D Nos átomos de zinco na estrutura do ZnS, os orbitais  $d$  estão completamente preenchidos por elétrons.
- E As superfícies limite dos orbitais mais externos dos átomos de enxofre apresentam geometria esférica.

#### QUESTÃO 42

Espera-se que o sulfeto de zinco tenha

- A alta condutividade elétrica à temperatura ambiente.
- B pontos de fusão e ebulição elevados.
- C predominantemente ligações com caráter covalente.
- D grande maleabilidade à temperatura ambiente.
- E íons presentes, originados pela transferência de elétrons do enxofre para o zinco.

#### QUESTÃO 43

Nanopartículas metálicas apresentam propriedades muito diferentes daquelas dos átomos individuais, de superfícies ou mesmo de materiais maciços. São foco de interesse na ciência fundamental e, também, são objeto de pesquisa em aplicações ou potenciais aplicações em bioquímica, catálise, sensores químicos e biológicos, nanoeletrônica e nanomagnetismo. Os métodos de síntese desses nanomateriais são diversos e compreendem desde a moagem de blocos metálicos até a síntese química por via úmida ou em alta temperatura. Acerca desses materiais, assinale a opção correta.

- A A formação da ligação entre os átomos metálicos na estrutura das nanopartículas resulta das atrações combinadas entre elétrons livres perdidos pelos átomos com os cátions resultantes dessa perda.
- B O modelo de orbitais moleculares não é adequado para descrever as ligações metálicas.
- C O fácil reposicionamento dos elétrons livres na estrutura faz que os sólidos metálicos sejam dúcteis, porém muito pouco maleáveis.
- D A ligação metálica é característica dos elementos com altas energias de ionização.
- E A ligação metálica ocorre exclusivamente entre os elementos classificados como metais.

#### QUESTÃO 44

A compreensão da química dos compostos em estado sólido é fundamental para o estudo de muitos materiais inorgânicos importantes e, principalmente, para compreender muitas das propriedades dos materiais nanoestruturados. Considerando que uma das chaves para entendimento desses nanomateriais é correlacionar suas características às suas estruturas, que podem apresentar ligações químicas de caráter iônico, covalente, ou mesmo caráter misto, assinale a opção correta.

- A O modelo iônico trata um sólido como um conjunto de esferas de cargas opostas que interagem por forças coulombianas direcionais.
- B A ligação iônica depende do ganho e da perda de elétrons, de forma que ela é geralmente encontrada em compostos com elementos eletronegativos associados a elementos eletropositivos.
- C A interação coulombiana entre os íons em um sólido diminui à medida que os íons diminuem seu tamanho e aumentam sua carga.
- D A ligação iônica é caracterizada pela pequena diferença de eletronegatividade entre seus elementos.
- E O nitrato de amônio não deve apresentar ligações com características iônicas, já que não possui um metal na sua composição.

#### QUESTÃO 45

Acerca dos modelos de ligação química, assinale a opção correta.

- A De acordo com Lewis, a ligação covalente acontece quando átomos compartilham elétrons individuais.
- B Na teoria do octeto, a soma dos elétrons de dois átomos que fazem uma ligação deve ser sempre 8.
- C Na teoria de ligação de valência, a função de onda de um par de elétrons é formada superpondo-se as funções de onda dos fragmentos separados da molécula.
- D Orbitais moleculares são construídos como combinações lineares de orbitais atômicos e, portanto, cada orbital molecular pode ser ocupado por mais de dois elétrons.
- E Os orbitais atômicos de mesma simetria, mas em átomos vizinhos, que se emparelham, formam somente ligações sigma.

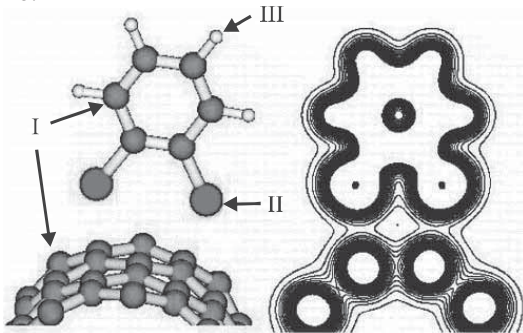
#### QUESTÃO 46

Assinale a opção correta sobre ligações e interações químicas.

- A Van Der Waals e dipolo permanente são as principais interações responsáveis pela ligação dos átomos dentro de uma molécula.
- B As interações do tipo dipolo permanente acontecem, principalmente, entre moléculas apolares.
- C As interações de dipolo permanente são mais fracas quando comparadas às ligações iônicas.
- D As interações de Van Der Waals são consideradas forças de longo alcance.
- E As interações de Van Der Waals, nos sólidos, são menos intensas que nos gases.

## QUESTÃO 47

Alguns estudos tentam elucidar as propriedades adsorptivas que alguns nanomateriais apresentam, como no caso exemplificado nas figuras a seguir, em que se estuda a interação do 1,2-diclorobenzeno em nanotubos de carbono. As esferas I representam átomos de carbono, as esferas II, átomos de cloro e as esferas III, átomos de hidrogênio.



*Nano Letters*, 2004, 4 (7), p. 1285-88.

Sabendo que os nanotubos de carbono são constituídos, essencialmente, de carbono, e que o 1,2-diclorobenzeno tem fórmula  $C_6H_4Cl_2$ , assinale a opção correta.

- A A interação entre o 1,2-diclorobenzeno com o nanotubo de carbono é do tipo dipolo-dipolo.
- B As ligações entre os carbonos na estrutura do nanotubo apresentam forte caráter covalente.
- C Ao interagir com os nanotubos de carbono o 1,2-diclorobenzeno tem o mesmo comportamento do 1,4-diclorobenzeno.
- D A ligação entre o cloro e o carbono no 1,2-diclorobenzeno é iônica.
- E Levando-se em conta as suas estruturas, o 1,4-diclorobenzeno deve ter ponto de ebulição maior que 1,2-diclorobenzeno.

## QUESTÃO 48

Para algumas aplicações específicas, muitos nanomateriais devem permanecer suspensos em um solvente, a fim de se formar um sistema coloidal. Uma das alternativas para se conseguir colocar essas nanopartículas em solução, é recobri-las com uma camada de látex e, em seguida, dispersá-las com ajuda de um aparato ultrassônico. Entretanto, apesar da pequena dimensão, há tendência de que as nanopartículas se juntem para formar aglomerados, induzindo-as à precipitação. Nesse caso, o que faz as nanopartículas se aglomerarem é

- A a interação metálica.
- B a interação iônica.
- C a interação covalente.
- D a interação coordenada.
- E a interação de Van Der Waals.

## Texto para as questões de 49 a 51

A maioria dos materiais nanométricos existe como compostos inorgânicos sólidos, os quais são formados por arranjos ordenados de átomos, íons ou moléculas. Nessa direção, a física e a química do estado sólido visam entender e correlacionar as estruturas cristalinas dos nanomateriais, para melhor compreender suas propriedades físicas e físico-químicas. Frequentemente, esses arranjos de átomos, íons e moléculas são representados e descritos por sistemas geométricos de esferas rígidas organizadas tridimensionalmente, formando elementos de simetria bem definidos e fundamentais para a elucidação de suas estruturas cristalográficas.

## QUESTÃO 49

Para se descrever os parâmetros de rede dos sistemas cristalinos é suficiente que se conheça

- A o volume da célula unitária.
- B a área da célula unitária.
- C os comprimentos dos vetores de base da célula unitária.
- D os ângulos entre os vetores de base da célula unitária.
- E os comprimentos dos vetores de base e ângulos entre os vetores de base da célula unitária.

## QUESTÃO 50

Acerca das notações usadas para descrever direções e planos em um cristal, assinale a opção correta.

- A Um eixo de zona é a direção que define uma série de planos paralelos em um cristal.
- B A direção comum para a interseção de planos perpendiculares é chamada de índice planar ou índice de Miller.
- C Os eixos de zona e os índices de Miller têm por base os eixos cristalográficos ou vetores do retículo que delimitam ou definem a célula unitária do cristal, exceto em alguns casos em que diferentes células unitárias podem ser usadas para representar o mesmo cristal.
- D No caso dos retículos de Bravais cúbicos, que podem ser descritos em termos de uma célula unitária de face centrada, ou de uma célula unitária romboédrica, é apropriado introduzir um quarto eixo para descrever as direções interplanares, chamadas de índices de Miller-Bravais.
- E As faces que pertencem a um mesmo eixo de zona devem ser cristalograficamente equivalentes.

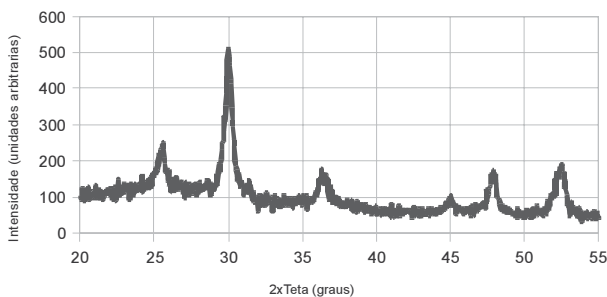
## QUESTÃO 51

Acerca da descrição das estruturas dos sólidos cristalinos, assinale a opção correta.

- A Em cristais cúbicos, os eixos de zona são perpendiculares a planos com os mesmos índices numéricos. Por exemplo, a direção  $[111]$  é perpendicular ao plano  $(111)$ .
- B O índice de Miller para as faces de um octaedro é simplesmente  $\{100\}$ .
- C Se o índice geral de Miller de um plano reticular é  $(hkl)$ , o primeiro plano de uma família de planos, a partir da origem, intercepta os eixos ou os vetores  $a$ ,  $b$  e  $c$  de uma célula unitária primitiva em  $h/a, k/b, l/c$ .
- D No caso de um sistema cúbico, a distância interplanar de um plano com índices  $(hkl)$  é a raiz da soma dos quadrados desses índices.
- E Os índices para os planos de reflexão são comumente chamados de índices de Laue e, normalmente, escritos sem colchetes. Para os planos indexados 222, por exemplo, o espaço interplanar é o dobro dos espaços interplanares para os planos reticulares  $(111)$ .

### Texto para as questões de 52 a 54

Os nanoímãs têm aplicações nas áreas de tecnologia e de saúde. Particularmente, nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) são utilizadas como carreadores de fármacos, necessitando, para isso, que suas dimensões e estrutura cristalina sejam adequadas. Tais propriedades podem ser controladas durante a síntese dos nanomateriais. Para a caracterização desses materiais uma das técnicas mais utilizadas é a difração de raios X. A figura a seguir mostra um difratograma, feito em uma amostra pulverizada de nanopartículas de magnetita, que apresenta estrutura cristalina cúbica. O gráfico mostra a intensidade da radiação difratada (comprimento de onda  $K_\alpha = 0,13 \text{ nm}$ ) em função do ângulo de difração teta.



$$\text{sen } 15^\circ = 0,26$$

$$\text{sen } 30^\circ = 0,5$$

$$\text{sen } 60^\circ = 0,87$$

#### QUESTÃO 52

Com base no texto e no gráfico assinale a opção correta.

- A** Se os ângulos da abscissa do gráfico forem substituídos pelos seus valores de espaços interplanares correspondentes, o novo eixo apresentará valores decrescentes, caso se queira manter a mesma ordem dos picos de difração.
- B** A principal vantagem de se usar a Lei de Bragg é que ela permite calcular a intensidade dos picos de difração, a partir de um difratograma.
- C** No difratograma mostrado, espera-se que o valor de uma distância interplanar, referente a uma dada família de planos, varie, caso o comprimento de onda usado na medida experimental seja alterado.
- D** Se o comprimento de onda usado para se obter o difratograma acima tivesse sido  $0,154 \text{ nm}$ , a nova posição, na abscissa, de cada pico seria obtida multiplicando-se o valor de ângulo da posição atual pela razão:  $0,154/0,130$ .
- E** Em um difratograma, o alargamento dos picos de difração indica um aumento do tamanho médio dos cristais da amostra analisada.

#### QUESTÃO 53

Sabendo que a razão entre as distâncias interplanares relativas aos picos A e B representados na figura é de  $1,414$ , e que o pico A é indexado  $[220]$ , então o pico B é mais bem indexado como

- A**  $[533]$ .
- B**  $[511]$ .
- C**  $[440]$ .
- D**  $[422]$ .
- E**  $[400]$ .

#### QUESTÃO 54

Utilizando o pico de maior intensidade indexado como  $[311]$  na figura e considerando  $3,32$  o valor aproximado de  $11^{\frac{1}{2}}$ , então o valor mais próximo esperado para o parâmetro de rede da célula unitária, em  $\text{nm}$ , é igual a

- A**  $0,42$ .
- B**  $0,83$ .
- C**  $0,98$ .
- D**  $1,12$ .
- E**  $1,46$ .

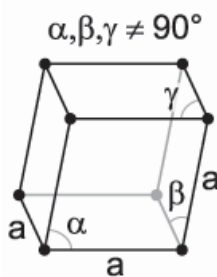
#### RASCUNHO

## QUESTÃO 55

A respeito das redes de Bravais, assinale a opção correta.

- A O sistema cúbico apresenta apenas duas das 14 redes de Bravais, que são a de corpo centrado e a centrada nas faces.
- B O sistema romboédrico apresenta um eixo de rotação de ordem seis como elemento essencial de simetria para sua caracterização.
- C Em um sistema tetragonal, os ângulos entre os vetores de base são todos de  $90^\circ$  e o elemento essencial de simetria para sua caracterização é um eixo quaternário de rotação.
- D O sistema monoclinico apresenta três redes de Bravais diferentes: simples, centrada na base e corpo centrado.
- E Quatro eixos ternários de rotação são os elementos essenciais para caracterização de um sistema ortorrômbico.

## QUESTÃO 56



A rede de Bravais esquematizada na figura acima é

- A monoclinica.
- B ortorrômbica.
- C triclinica.
- D romboédrica.
- E tetragonal.

## QUESTÃO 57

Na microscopia eletrônica, o elétron do feixe eletrônico, ao atingir a superfície da amostra, interage com os seus átomos. Acerca dessa interação, assinale a opção correta.

- A Os elétrons sempre atravessam a amostra, porém chegam com energia menor no detector.
- B A profundidade de penetração dos elétrons na amostra depende da potência do feixe eletrônico e independe da composição do material da amostra.
- C Se o elétron penetra no átomo da amostra, de maneira a alcançar o núcleo, sua velocidade será influenciada proporcionalmente à carga desse núcleo, ou seja, ao número atômico de seu átomo.
- D Como resultado das interações elásticas, mas não das inelásticas, o elétron que incide na amostra pode se retroespalhar.
- E A ionização dos átomos da amostra é resultado da interação do feixe de elétrons com os elétrons das camadas mais internas dos átomos da amostra.

## QUESTÃO 58

Para se estudar e caracterizar nanomateriais, as técnicas de microscopia eletrônica são comumente empregadas, destacando-se, principalmente, a microscopia eletrônica de transmissão (MET) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Acerca da MET e da MEV, assinale a opção correta.

- A Na MEV, o ideal é que as amostras sejam condutoras, pois, de outra forma, os elétrons podem se acumular na amostra e interagir com o próprio feixe de elétrons, resultando na perda de definição da imagem.
- B A vantagem primária da MET sobre a MEV é que ela pode formar imagens de amostras opacas aos elétrons, sem a necessidade de realizar difíceis preparações de amostra.
- C A melhor resolução possível da MET depende de quanto colimado é o feixe incidente focado sobre a amostra, de como ele é movido sobre ela e do quanto o feixe se espalha sobre a amostra antes de refletir no detector.
- D Ao contrário da MEV, na MET, o feixe de elétrons provoca a produção de raios X com energias características da composição elementar dos materiais analisados.
- E A diferença entre MEV e MET fundamenta-se, principalmente, no tipo fonte de elétrons utilizada.

## QUESTÃO 59

A técnica que projeta elétrons por meio de uma amostra finamente dividida para produzir uma imagem bidimensional em uma tela sensível a esses elétrons é a microscopia

- A óptica.
- B de campo escuro.
- C eletrônica de varredura.
- D confocal.
- E eletrônica de transmissão.

## QUESTÃO 60

Assinale a opção que representa, na ordem correta em que são dispostos na coluna do aparato, os componentes básicos de um microscópio eletrônico de transmissão.

- A fonte, lentes de projeção, amostra, lentes objetivas, lentes condensadoras, detector
- B fonte, amostra, lentes condensadoras, lentes objetivas, lentes de projeção, detector
- C fonte, lentes condensadoras, lentes objetivas, amostra, lentes de projeção, detector
- D fonte, lentes condensadoras, amostra, lentes objetivas, lentes de projeção, detector
- E fonte, lentes de projeção, amostra, lentes condensadoras, lentes objetivas, detector

**QUESTÃO 61**

Na MEV, a interação do feixe de elétrons com a superfície da amostra produz uma série de radiações emitidas que, quando captadas corretamente, irão fornecer informações características sobre a amostra. Acerca da MEV, assinale a opção correta.

- A** Por meio da análise dos raios X característicos emitidos pela amostra, é possível obter informações qualitativas e quantitativas da composição da amostra na região submicrométrica de incidência do feixe de elétrons.
- B** Os sinais de maior interesse para a formação da imagem da amostra são os elétrons primários e os retroespalhados.
- C** Os elétrons retroespalhados fornecem imagem da topografia da superfície da amostra e são os responsáveis pela obtenção das imagens de alta resolução.
- D** Os elétrons secundários fornecem imagem característica da variação de composição da amostra.
- E** O aumento máximo obtido pela MEV é superior ao da MET.

**QUESTÃO 62**

Acerca da MEV e dos componentes básicos do equipamento utilizado nesse tipo de microscopia, assinale a opção correta.

- A** O microscópio eletrônico de varredura consiste basicamente de fonte de *laser*, lentes objetivas, câmara de amostra, sistema de detectores e sistema de visualização da imagem.
- B** O feixe eletrônico produzido por uma fonte é demagnificado por várias lentes de vidro, produzindo um feixe de elétrons focado, com pequeno diâmetro, em uma determinada região da amostra.
- C** Na MEV, a coluna optoeletrônica, diferentemente da microscopia eletrônica de transmissão, não necessita estar sob vácuo durante a operação do microscópio.
- D** O método de detecção e registro de imagens na MEV é idêntico ao da MET.
- E** Na coluna optoeletrônica, ficam localizados o canhão de elétrons, que gera os elétrons primários, as lentes condensadoras, que colimam o feixe de elétrons primários, as bobinas, que promovem a deflexão do feixe de elétrons primários no sentido horizontal e vertical sobre uma dada região da amostra, e as bobinas, que fazem as correções de astigmatismo.

**QUESTÃO 63**

A incorporação de nanomateriais em polímeros possibilita otimizar algumas propriedades poliméricas e, ainda, adicionar outras características antes não encontradas nessas macromoléculas. Nessa direção, nanopartículas de prata com dimensões de 5 nm a 10 nm têm sido incorporadas em filmes de polipropileno, visando construir embalagens plásticas mais resistentes e com propriedades antimicrobianas. Para se observar a morfologia e o tamanho das nanopartículas de prata antes da sua inserção no polímero, e a morfologia, rugosidade e porosidade dos polímeros modificados com as nanopartículas, as técnicas de microscopia mais indicadas são, respectivamente,

- A** MEV e MET.
- B** MET e MEV.
- C** MET e microscopia óptica (MOP).
- D** MEV e MOP.
- E** MET e difração de elétrons.

**Texto para as questões 64 e 65**

Análise química em microscopia eletrônica é um dos mais importantes instrumentos para investigar materiais orgânicos e inorgânicos. Essa técnica oferece grande vantagem, já que por meio da identificação dos raios X emitidos pela amostra, quando da interação com o feixe eletrônico, é possível determinar a composição de regiões microscópicas da amostra.

**QUESTÃO 64**

Acerca da técnica descrita no texto, assinale a opção correta.

- A** É uma técnica destrutiva, podendo determinar a composição de 10% dos elementos presentes na amostra.
- B** A detecção dos raios X emitidos pela amostra só pode ser realizada pela medida de seu comprimento de onda.
- C** Os raios X característicos mostram níveis discretos de energia (picos) enquanto os raios X contínuos mostram uma distribuição larga de energias.
- D** Os raios X característicos são originados quando elétrons do feixe são desacelerados pela interação com os núcleos pesados da amostra.
- E** O elétron do feixe incidente pode interagir com os elétrons de camadas mais externas dos átomos da amostra, gerando raios X característicos de cada elemento.

**QUESTÃO 65**

Ainda acerca da técnica descrita no texto e na MET, as lentes que formam, ampliam e focalizam a primeira imagem da amostra são lentes

- A) objetivas.
- B) condensadoras 1.
- C) condensadoras 2.
- D) intermediárias.
- E) projetoras.

**QUESTÃO 66**

Na microscopia eletrônica, o canhão de elétrons é formado por um conjunto de componentes cuja finalidade é a produção dos elétrons e a sua aceleração para o interior da coluna. Esse feixe de elétrons deve ser estável e com intensidade suficiente para que, ao atingir a amostra, possa produzir um bom sinal. Acerca dessas fontes de elétrons usadas em microscopia eletrônica, assinale a opção correta.

- A) O filamento de tungstênio, material mais usado como gerador de elétrons, se comporta como um ânodo e o seu funcionamento tem por base o efeito termoiônico de emissão dos elétrons.
- B) Para gerar os elétrons, o filamento de tungstênio é aquecido resistivamente por uma fonte elétrica, cuja voltagem, na maioria dos casos, é da ordem de 100 mV.
- C) O diâmetro do feixe produzido diretamente por um canhão de elétrons é pouco sensível para produzir uma boa imagem em grandes aumentos e, por isso, precisa ser reduzido pelas lentes condensadoras.
- D) Envolvendo o filamento, normalmente há uma grade anódica que atua no sentido de focar os elétrons emitidos pelo filamento para dentro do canhão e controlar a quantidade de elétrons emitidos pelo filamento.
- E) Um cátodo permite que somente uma fração dos elétrons emitidos pelo filamento de tungstênio continuem em direção ao interior da coluna.

**QUESTÃO 67**

As técnicas de MET e MEV de alta resolução são muito empregadas na análise topográfica, morfológica e estrutural de materiais com dimensões nanométricas. As figuras a seguir são exemplos de imagens obtidas por essas técnicas.

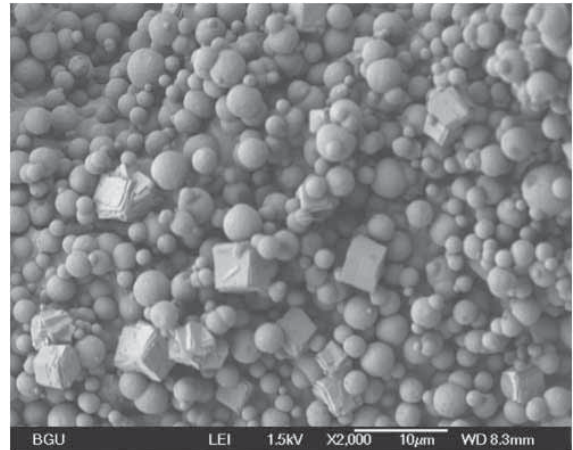


Imagem I: diferentes morfologias para cristais de carbono de cálcio.

Internet: <web.bgu.ac.il/Eng/Centers/nano/labs/emu/Gallery.htm>.

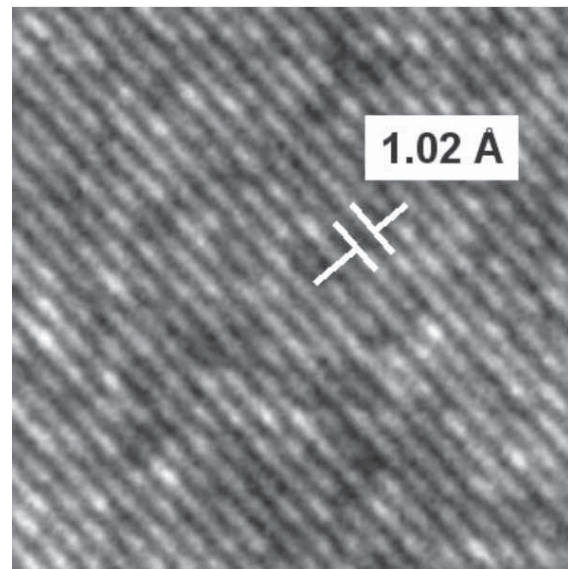


Imagem II: visão ampliada para ouro nanoparticulado.

Internet: <crysta.physik.hu-berlin.de>.

A partir da observação dessas figuras, é correto inferir que as imagens I e II foram obtidas, respectivamente, por

- A) MET e MET, ambas de alta resolução.
- B) MEV e MEV, ambas de alta resolução.
- C) MET de alta resolução e difração de elétrons.
- D) MET e MEV, ambas de alta resolução.
- E) MEV e MET, ambas de alta resolução.

**QUESTÃO 68**

Com relação à MET de alta resolução, assinale a opção correta.

- A** A MET de alta resolução usa duas ou mais reflexões de Bragg para obtenção de imagens.
- B** A máxima resolução da MET de alta resolução é de 1 nm.
- C** Ao contrário da MET de alta resolução, a MET convencional não usa amplitudes (absorção pela amostra) para formação da imagem.
- D** Na MET de alta resolução, a interação do feixe eletrônico com o potencial interno da amostra não causa mudanças de fase de partes da frente de onda do elétron.
- E** O mecanismo mais importante de contraste para a MET de alta resolução é o contraste de fase, usando somente os elétrons difratados da amostra para gerar as imagens.

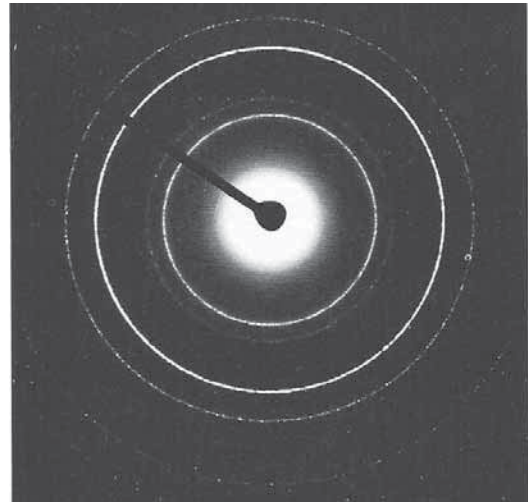
**QUESTÃO 69**

Até mesmo os sistemas de MET mais simples podem gerar perfis de difração, a partir da interação do feixe de elétrons com a amostra. A análise desses difratogramas tem sido cada vez mais utilizada para interpretação e elucidação da estrutura dos materiais e, com grande vantagem, permite uma investigação microestrutural, mesmo em caso de amostras com dimensões mais reduzidas. A respeito da difração eletrônica, assinale a opção correta.

- A** Os elétrons difratados da amostra formam uma imagem e, portanto, há possibilidade de se registrar um difratograma na parte anterior da lente condensadora.
- B** Um dos requisitos para se obter perfis de difração na MET consiste em utilizar, em um microscópio eletrônico de transmissão, fendas mais estreitas na abertura da objetiva.
- C** Os difratogramas obtidos por MET, ao contrário daqueles obtidos por difração de raios X convencional, não permitem obter informações sobre os ângulos de difração.
- D** Uma amostra policristalina gera um diagrama de difração que consiste de anéis concêntricos com intensidades e distâncias características de cada amostra.
- E** Para se interpretar um difratograma eletrônico, basta conhecer a constante da câmara, que corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente na amostra.

**QUESTÃO 70**

A figura a seguir mostra um diagrama de difração de elétrons obtido de uma amostra policristalina de ouro depositada em um filme plástico.



Sabendo que o comprimento da câmara (distância entre a amostra e o filme fotográfico) é igual a 1.100 mm e que o comprimento de onda da radiação utilizada é igual a 0,00472 nm, o valor da distância interplanar para o anel de maior intensidade, de diâmetro 44 mm, em nm, é igual a

- A** 0,124.
- B** 0,236.
- C** 0,345.
- D** 0,456.
- E** 0,671.

Para as questões que se fizerem necessárias, considere as seguintes constantes e fatores de conversão:

$$\text{massa do elétron} \rightarrow m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{massa do próton} \rightarrow m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{constante de Planck} \rightarrow h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\text{número de Avogrado} \rightarrow N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{velocidade da Luz} \rightarrow c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{constante de Boltzmann} \rightarrow k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\text{estado fundamental do átomo de hidrogênio H} \rightarrow -13,6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ V}$$

$$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

**QUESTÃO 71**

Considere que uma equação representando a soma de duas ondas de matéria de mesma amplitude  $\psi_0$ , propagando-se em sentidos opostos, seja uma solução para a equação de Schrödinger aplicada a uma partícula livre que se move em uma dimensão. Nesse caso, a densidade de probabilidade  $|\Psi(x,t)|^2$ , em termos do comprimento de onda de Broglie  $\lambda$ , é dada por

- A  $\psi_0^2 [1 + \cos \frac{2\pi x}{\lambda}]$ .
- B  $\psi_0^2 [1 + \cos \frac{4\pi x}{\lambda}]$ .
- C  $2\psi_0^2 [1 + \cos \frac{2\pi x}{\lambda}]$ .
- D  $2\psi_0^2 [1 + \cos \frac{4\pi x}{\lambda}]$ .
- E  $3\psi_0^2 [1 + \cos \frac{2\pi x}{\lambda}]$ .

**QUESTÃO 72**

A função de onda  $\Psi(r, t) = \psi(r)e^{-i\omega t}$  na equação de Schrödinger

- A representa a probabilidade de se localizar uma partícula no tempo.
- B representa a probabilidade de se localizar uma partícula no espaço.
- C por ser uma função complexa, seu módulo ao quadrado é igual a 2.
- D representa a distribuição não localizada de matéria no espaço.
- E não tem significado físico algum.

**QUESTÃO 73**

Um dos fatores do sucesso do modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio se deve ao fato de o modelo

- A explicar a intensidade das raias espectrais do átomo de hidrogênio.
- B ser aplicável a moléculas.
- C explicar a posição das raias espectrais do átomo de hidrogênio.
- D estar em acordo com a mecânica clássica nas dimensões atômicas.
- E ser compatível com o princípio de incerteza de Heisenberg.

**QUESTÃO 74**

A função de onda radial, normalizada, do estado fundamental do átomo de hidrogênio é dada por  $\psi(r) = \pi^{-1/2} a^{-3/2} e^{-r/a}$ , onde  $a$  é o raio de Bohr. A respeito dessa função, é correto afirmar que

- A  $\psi(a)$  é a probabilidade de achar o elétron no raio de Bohr.
- B a integral  $\int_0^\infty \psi(r)dr$  expressa a probabilidade de achar o elétron em qualquer região do espaço.
- C  $4\pi r^2 \psi(r)dr$  é a densidade de probabilidade volumétrica.
- D o raio de Bohr é uma constante com dimensão de comprimento, mas não corresponde ao raio efetivo do átomo de hidrogênio.
- E uma função  $\psi'(r) = 4\psi(r)$  é a função de onda para a camada  $n = 2$ .

**QUESTÃO 75**

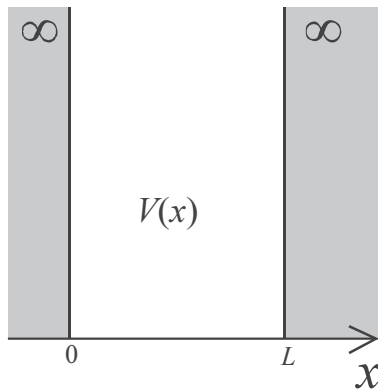
Os valores permitidos para o número quântico magnético orbital,  $m_l$ , do átomo de hidrogênio com número quântico principal  $n = 3$ , estão limitados, discretamente, entre

- A 0 e 2.
- B 0 e 3.
- C -1 e 1.
- D -2 e 2.
- E -3 e 3.

RASCUNHO



Texto para as questões de 76 a 78



A figura acima representa um poço de potencial, unidimensional, com barreiras infinitas, cujo potencial é dado por  $V(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } 0 < x < L \\ \infty, & \text{se } x < 0 \text{ ou } x > L. \end{cases}$

#### QUESTÃO 76

As condições de contorno aplicadas à função de onda desse poço,  $\varphi(x)$ , exigem que

- A  $\varphi(0) = \varphi(L) = -2$ .
- B  $\varphi(0) = \varphi(L) = -1$ .
- C  $\varphi(0) = \varphi(L) = 0$ .
- D  $\varphi(0) = \varphi(L) = 1$ .
- E  $\varphi(0) = \varphi(L) = 2$ .

#### QUESTÃO 77

Supondo que a partícula é um elétron confinado nesse poço cuja a largura é de 1 nm, e considerando 0,6 como valor aproximado de  $\frac{6,62^2}{72,88}$ , então a energia (em eV) do estado fundamental é igual a

- A 0,37.
- B 0,46.
- C 0,53.
- D 0,63.
- E 0,72.

#### QUESTÃO 78

A probabilidade de um elétron confinado nessa barreira de potencial estar nas paredes é

- A 0,0 para os níveis de energia com número  $n$  par.
- B 0,8 para os níveis de energia com número  $n$  par.
- C 0,8 para os níveis de energia com número  $n$  ímpar.
- D 1,0 para os níveis de energia com número  $n$  par.
- E 1,0 para os níveis de energia com número  $n$  ímpar.

#### QUESTÃO 79

A relação de dispersão para uma onda normal é  $\omega = vk$ , em que  $v$  é a velocidade da onda;  $k$ , o número de onda; e  $\omega$ , a frequência angular. Para a equação de Schrödinger, a relação de dispersão é dada por

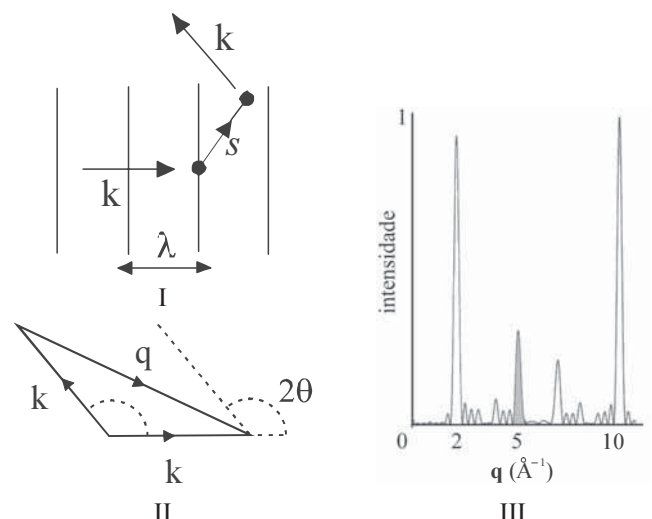
- A  $\omega = \xi \sqrt{k}$ , em que  $\xi = \sqrt{\hbar / 2m}$ .
- B  $\omega = \xi k$ , em que  $\xi = \hbar / 2m$ .
- C  $\omega = \xi k^{\frac{3}{2}}$ , em que  $\xi = 3 \hbar / 2m$ .
- D  $\omega = \xi k^2$ , em que  $\xi = \hbar / 2m$ .
- E  $\omega = \xi k^{\frac{5}{2}}$ , em que  $\xi = 5 \hbar / 2m$ .

#### QUESTÃO 80

Na descrição de Schrödinger, a correspondência entre as variáveis dinâmicas  $x$  e  $p_x$  com seus respectivos operadores é dada por

- A  $\hat{x} = -i\hbar x \rightarrow \hat{p}_x = \frac{\partial}{\partial x}$ .
- B  $\hat{x} = x \rightarrow \hat{p}_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ .
- C  $\hat{x} = i\hbar x \rightarrow \hat{p}_x = \frac{\partial}{\partial x}$ .
- D  $\hat{x} = x \rightarrow \hat{p}_x = \hbar \frac{\partial}{\partial x}$ .
- E  $\hat{x} = \frac{x}{\hbar} \rightarrow \hat{p}_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ .

Figuras para as questões de 81 a 84



Nas figuras acima, I representa uma radiação de comprimento de onda  $\lambda$  incidindo em uma estrutura cristalina  $s$ ; II, representa vetorialmente os vetores de onda incidente e espalhado  $\mathbf{k}$ ; a figura III mostra um típico gráfico de espalhamento da intensidade (normalizada) versus  $\mathbf{q}$ , módulo do vetor de espalhamento  $\mathbf{q}$ , que é representado na figura II.

RASCUNHO

**QUESTÃO 81**

A aproximação cinemática permite que se considerem iguais, em módulo, o vetor incidente e espalhado  $\mathbf{k}$ . Nessa aproximação, também se considera

- A a absorção de radiação pelo cristal.
- B a contribuição devida ao efeito Compton.
- C as múltiplas reflexões internas dos planos cristalinos.
- D que este é um espalhamento inelástico.
- E que a radiação incidente e espalhada é monocromática.

**QUESTÃO 82**

Na figura, o módulo de  $\mathbf{q}$  é dado por

- A  $\frac{4\pi}{\lambda} \sin\theta$
- B  $2\pi \sin\theta$ .
- C  $4\pi \lambda \sin\theta$ .
- D  $\frac{2\pi\lambda}{\sin\theta}$ .
- E  $\frac{4\pi\lambda}{\sin\theta}$ .

**QUESTÃO 83**

Na figura III, o gráfico de espalhamento por raios X, nêutrons e elétrons é obtido por meio do módulo do vetor  $\mathbf{q}$  mostrado na figura. A exemplo dessa figura, a representação é universal, pois  $\mathbf{q}$

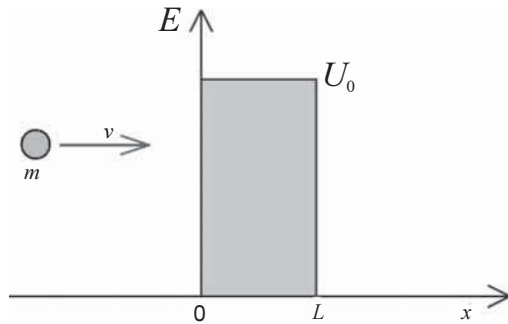
- A só pode ser utilizado para amostras cristalinas perfeitas.
- B depende de parâmetros do cristal espalhador, apenas.
- C só pode ser utilizado para argilas.
- D é um parâmetro adimensional.
- E só pode ser utilizado para amostras em forma de pó.

**QUESTÃO 84**

A partir do pico sombreado, em que o módulo do vetor espalhamento é igual a  $5 \text{ \AA}^{-1}$  na figura III, deduz-se que a distância entre os planos cristalinos, em nm, é igual a

- A  $\pi/15$ .
- B  $\pi/20$ .
- C  $\pi/25$ .
- D  $\pi/30$ .
- E  $\pi/35$ .

Texto para as questões 85 e 86



A figura acima representa uma barreira de energia potencial de altura  $U_0$  e largura  $L$ . Cujos coeficiente de transmissão é dado pela expressão  $T = e^{-2LK}$ , em que  $K \equiv \sqrt{\alpha(U_0 - E)}$ .

#### QUESTÃO 85

A constante  $\alpha$  que aparece na expressão acima é representada por

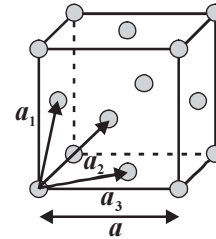
- A  $2m\hbar^2$ .
- B  $2m/\hbar^2$ .
- C  $m\hbar^2/2$ .
- D  $\hbar^2/2m$ .
- E  $\hbar^2/m$ .

#### QUESTÃO 86

Considerando que o coeficiente de transmissão  $T = 0,003$ , a ordem de grandeza do tempo que se deve esperar para que um feixe de elétrons de densidade correspondente a uma corrente de 48 miliampères atravessa a barreira de energia acima é

- A milissegundos.
- B microssegundos.
- C nanossegundos.
- D picossegundos.
- E fentossegundos.

Figura para as questões 87 e 88



Os vetores primitivos de base da estrutura *fcc* mostrados na figura acima, em termos das coordenadas cartesianas (vetores unitários), são dados por

$$\vec{a}_1 = \frac{a}{2}(\hat{y} + \hat{z}), \quad \vec{a}_2 = \frac{a}{2}(\hat{z} + \hat{x}), \quad \vec{a}_3 = \frac{a}{2}(\hat{x} + \hat{y}).$$

#### QUESTÃO 87

O volume da célula unitária da estrutura *fcc* é igual a

- A  $a^3$ .
- B  $\frac{a^3}{2}$ .
- C  $\frac{a^3}{3}$ .
- D  $\frac{a^3}{4}$ .
- E  $\frac{a^3}{5}$ .

#### QUESTÃO 88

O vetor da base recíproca  $\vec{a}_1^*$  associado com  $\vec{a}_2$  e  $\vec{a}_3$  pode ser escrito em termos das coordenadas cartesianas como  $\vec{a}_1^* = \xi \left( \frac{a}{2} \frac{b}{2} \frac{c}{2} \right)$ , em que  $\xi$  e  $(a, b, c)$  são, respectivamente, iguais a

- A  $\frac{4\pi}{a}, (-1, 1, 1)$ .
- B  $\frac{3\pi}{a}, (0, 1, 1)$ .
- C  $\frac{2\pi}{a}, (1, 0, 1)$ .
- D  $\frac{\pi}{a}, (1, 1, 0)$ .
- E  $\frac{\pi}{2a}, (1, 1, 1)$ .

RASCUNHO

## QUESTÃO 89

A respeito do modelo de Einstein para o calor específico a volume constante,  $C_v$ , dos sólidos, assinale a opção correta.

- A Na sua formulação foram considerados os modos coletivos de vibração da rede cristalina.
- B O seu comportamento é do tipo  $\frac{\text{sen } \xi}{\xi}$  ao aproximar-se de  $T = 0$  K, em que  $\xi \equiv \frac{\theta_E}{T}$  é a razão entre as temperaturas de Einstein e absoluta para os sólidos.
- C Existe uma relação inversa entre a energia de cada oscilador quântico e a temperatura de Einstein.
- D No limite de altas temperaturas, o seu valor molar se aproxima de  $3 \text{ cal.K}^{-1}$ .
- E No limite de baixas temperaturas, os valores calculados são, experimentalmente, menores que o esperado.

## QUESTÃO 90

Ao se tratar os fônons como um gás ideal que se propaga em um isolante térmico com velocidade  $v$ , a razão entre a condutividade térmica e o calor específico a volume constante é dada por  $\frac{v\ell}{\zeta}$ , em que  $\ell$  é o livre caminho médio e  $\zeta$  é igual a

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

## QUESTÃO 91

Para intervalos de temperatura  $T$  entre 250 K e 400 K, a razão entre condutividade térmica e elétrica dos metais  $\left(\frac{K}{\sigma}\right)$  é proporcional a

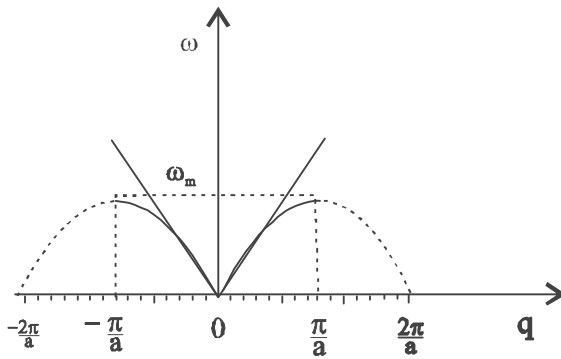
- A  $T$ .
- B  $T^{-1}$ .
- C  $e^{-T}$ .
- D  $e^T$ .
- E a uma constante.

## QUESTÃO 92

O processo de transferência de energia térmica entre os extremos de uma barra sólida para a diferentes valores de temperatura é descrito pela equação  $Q = K \frac{dT}{dx}$ , em que  $K$  é condutividade térmica. Nessa equação, o que caracteriza este processo como difuso é o fato de

- A  $K$  ser uma constante.
- B  $K$  variar pouco com a temperatura.
- C  $Q$  só depender da variação da temperatura  $\Delta T$ .
- D existir um quantidade de calórico finito nos sólidos.
- E existir um gradiente de temperatura  $dT/dx$ .

Texto para as questões de 93 a 96



Ao se discutir ondas em sólidos, deve-se levar em consideração o caráter discreto da rede cristalina. O caráter contínuo só pode ser considerado no limite de grandes comprimentos de onda onde o espaçamento interatômico é muito menor que tais comprimentos de onda. Entretanto, à medida que esses comprimentos de onda diminuem, o caráter discreto da rede sobressai fazendo com que os átomos espalhem as ondas, impedindo sua propagação. Para uma rede cristalina, características tais como simetrias, modos de vibração, velocidades de fase e de grupo podem ser estudadas por meio da representação de curva de dispersão, que relaciona frequência  $\omega$  com vetor de onda  $q$ .

A figura acima mostra uma curva de dispersão  $\omega = \omega_m \left| \sin\left(\frac{qa}{2}\right) \right|$ , para uma rede monoatômica unidimensional com constante de rede  $a$  e interação somente entre os primeiros vizinhos, em que  $\omega_m = \left(\frac{4\alpha}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$  é a frequência máxima no espaço dos  $q$ 's;  $\alpha$  a constante de força interatômica e  $m$ , a massa de cada átomo.

**QUESTÃO 93**

Em  $q = \frac{\pi}{a}$ , a velocidade de grupo,  $v_g$ , é dada por  $\xi a \omega_m$ , em que  $\xi$  é igual a

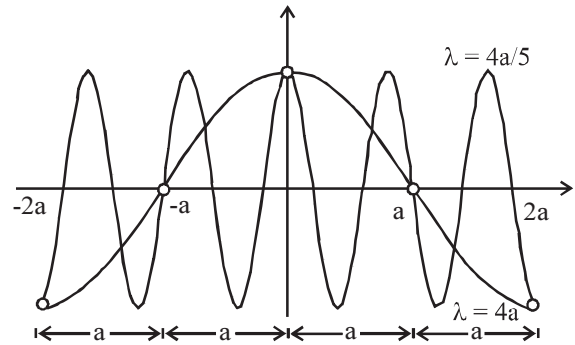
- A 2.
- B 1.
- C  $\frac{1}{2}$ .
- D  $\frac{1}{4}$ .
- E 0.

**QUESTÃO 94**

No limite de grandes comprimentos de onda, a dispersão da rede é representada pelas retas no gráfico. Nesse caso, o valor da razão  $r = \omega/q$  e o seu significado físico são, respectivamente,

- A  $r = a\omega_m/2$  e a velocidade de propagação do som na rede.
- B  $r = a\omega_m$  e a velocidade da fase da onda na rede.
- C  $r = 3a\omega_m/2$  e a velocidade de grupo da onda na rede.
- D  $r = 2a\omega_m$  e a frequência angular.
- E  $r = 5a\omega_m/2$  e não tem significado físico algum.

**QUESTÃO 95**



Observando a figura acima, vê-se que a propriedade de simetria periódica é evidenciada para dois comprimentos de onda,  $\lambda = 4a$  e

$\lambda = \frac{4a}{5}$ . Como se pode observar pelos círculos, o movimento na

rede é fisicamente igual. A partir desse contexto, é correto afirmar que a defasagem em frequência, em radianos, é igual a

- A  $\frac{\pi}{4}$ .
- B  $\frac{\pi}{2}$ .
- C  $\frac{3\pi}{4}$ .
- D  $\pi$ .
- E 0.

**QUESTÃO 96**

O valor da constante de força interatômica  $\alpha$  para uma cadeia linear monoatômica, em que cada átomo tem massa de  $1 \times 10^{-26}$  kg, e que atenua fortemente uma radiação infravermelha de comprimento de onda de  $10 \mu\text{m}$ , em N/m, é igual a

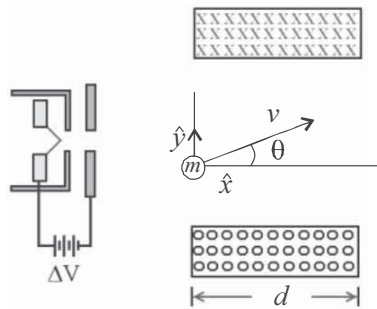
- A  $9\pi^2$ .
- B  $8\pi^2$ .
- C  $7\pi^2$ .
- D  $6\pi^2$ .
- E  $5\pi^2$ .

**QUESTÃO 97**

A situação em que um próton tem comprimento de onda de Broglie igual ao comprimento de onda de Broglie do elétron ocorre quando

- A a razão entre a velocidade do próton e a do elétron for 1.813.
- B os seus momentos lineares forem iguais.
- C tiverem a mesma velocidade.
- D tiverem a mesma energia cinética.
- E a razão entre a energia cinética do próton e a do elétron for 1.813.

## Texto para as questões de 98 a 100



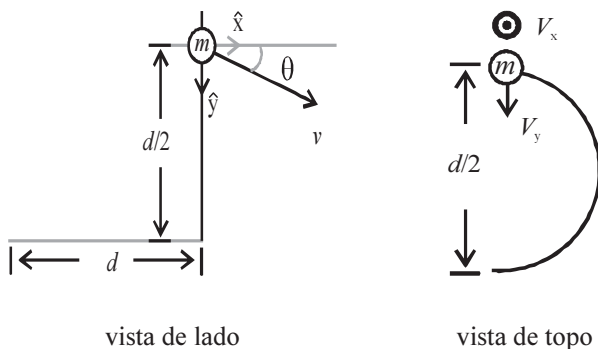
A figura acima representa esquematicamente um filamento produtor de elétrons e uma bobina de comprimento e diâmetro  $d$ , que funciona como uma lente eletromagnética. Os elétrons são acelerados por uma diferença de potencial  $\Delta V$ . O corte transversal da lente mostra que a corrente produtora do campo magnético penetra na parte de cima e sai na parte de baixo da bobina. Nessa representação, um elétron de massa  $m$  penetra na região da bobina com velocidade  $v$  e faz um ângulo  $\theta$  com o eixo  $x$ .

## QUESTÃO 98

Considere que a bobina seja ideal, tenha  $n$  espiras por unidade de comprimento e seja percorrida por uma corrente  $i_b$ . O vetor campo magnético  $\vec{B}$  no centro da espira pode ser expresso pela relação

- A  $\vec{B} = 2\pi n i_b^2 \hat{x}$ .
- B  $\vec{B} = 2\pi n i_b^2 \hat{y}$ .
- C  $\vec{B} = -B \hat{x}$ .
- D  $\vec{B} = -B \hat{y}$ .
- E  $\vec{B} = B(\hat{x} + \hat{y})$ .

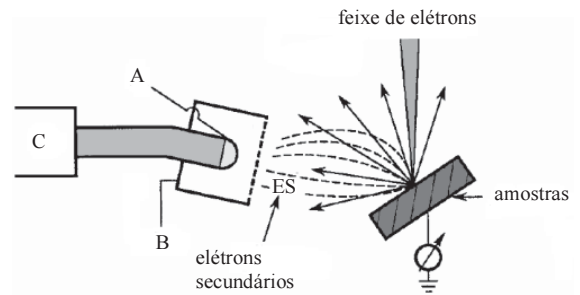
## QUESTÃO 99



Considerando que o campo magnético  $B$  é constante em todo interior da bobina, o tempo que o elétron  $e$  leva para percorrê-la e inverter a componente  $y$  da velocidade, de acordo com a figura acima, é dado por

- A  $t = 2 mB \cos \theta$ .
- B  $t = emB \sin \theta$ .
- C  $t = \frac{em}{B} \operatorname{arctg} \theta$ .
- D  $t = \frac{2m}{eB} \operatorname{tg} \theta$ .
- E  $t = \frac{m}{eB} \operatorname{sen} \theta$ .

## QUESTÃO 100



A figura representa o esquema de um típico detector de elétrons secundários na microscopia eletrônica. As letras A, B e C mostram três etapas deste detector que são, respectivamente,

- A cintilador, gaiola de Faraday e fotomultiplicadora.
- B lente, cintilador e câmara CCD.
- C gaiola de Faraday, cintilador e fotomultiplicadora.
- D cintilador, câmara CCD e fonte de tensão.
- E gaiola de Faraday, fonte de tensão e câmara CCD.

## 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

A nanometrologia é a ciência da medida em nível de nanoescala e tem papel crucial na produção de nanomateriais e dispositivos com um alto grau de precisão e confiabilidade em manufatura nanométrica. Essa ciência é indispensável para o avanço da nanotecnologia, permitindo o controle preciso das propriedades de materiais que vão desde semicondutores, até dispositivos biotecnológicos mais complexos. De fato, a metrologia de estruturas com dimensões reduzidas é uma aplicação altamente exigente, que requer extrema precisão, reprodutibilidade e referência para estabelecer padrões confiáveis. Assim, para a aplicabilidade da nanometrologia, é importante desenvolver e estabelecer padrões de medidas, incluindo amostras de referência e instrumentação científica adequada, pois as técnicas de medidas desenvolvidas para materiais convencionais em muitos casos não podem ser aplicadas em nanoestruturas. Entre as técnicas experimentais de grande apelo ao setor de nanometrologia, destacam-se: feixe focalizado de íons, microscopia eletrônica de alta resolução e técnicas de preparação de amostras.

Considerando que o fragmento de texto acima tem caráter unicamente motivador, redija um texto dissertativo acerca do seguinte tema.

### **USO DAS TÉCNICAS DE MICROSCOPIA DE ALTA RESOLUÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DE NANOMATERIAIS PARA ESTABELECIMENTO DE PADRÕES CONFIÁVEIS DE MEDIDAS E AMOSTRAS EM NANOMETROLOGIA**

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

- ▶ alcance e utilização das técnicas de microscopia eletrônica de varredura e de transmissão de alta resolução para medidas em amostras de nanomateriais;
- ▶ aspectos gerais do princípio de funcionamento das técnicas de microscopia eletrônica de alta resolução;
- ▶ informações e contribuições que as técnicas de microscopia eletrônica de alta resolução podem proporcionar para a área de nanometrologia.

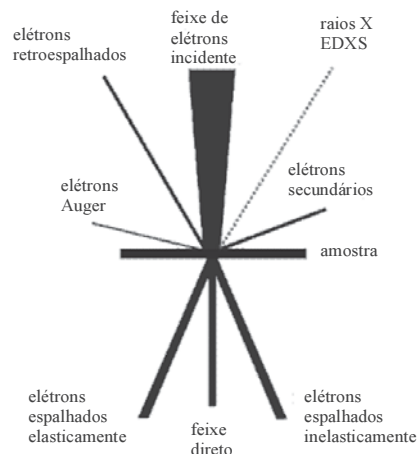
**RASCUNHO – QUESTÃO 1**

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**

A microscopia eletrônica, como entendida hoje, não é simplesmente uma técnica única, mas uma diversidade de diferentes técnicas que oferecem possibilidades únicas de obter informação da estrutura, topologia, morfologia e composição de um material. Vários métodos de espectroscopia e imagem são ferramentas indispensáveis para a caracterização de todo tipo de amostra que cada vez mais se torna pequena, chegando ao limite de um único átomo. Porque as amostras incluem materiais orgânicos e inorgânicos, micro e nano estruturas, minerais, assim como materiais biológicos, o impacto da microscopia eletrônica em todos os ramos das ciências naturais é gigantesco. A enormidade de diferentes informações, que é obtida pelos vários métodos, é causada pela grande quantidade de sinais que surgem quando um elétron interage com uma amostra. Um entendimento básico dessa interação é requisito essencial para a compreensão das diversas técnicas de microscopia eletrônica.



A figura acima esquematiza as diferentes interações que ocorrem quando elétrons se chocam com determinado material. Após o choque, o sinal obtido pode-se dividir entre duas regiões: acima e abaixo da amostra. Acima da amostra, tem-se os elétrons retroespalhados, Auger e secundários, além da emissão de raios X. O sinal abaixo da amostra é observado somente se sua espessura é fina o suficiente para permitir que os elétrons passem através da amostra. Para fins de sistematização, as interações podem ser classificadas em dois tipos diferentes, interações elásticas e inelásticas.

Considerando que o texto acima tem caráter unicamente motivador, redija um texto dissertativo acerca do seguinte tema.

### **INTERAÇÃO ELÉTRON-MATÉRIA NA MICROSCOPIA ELETRÔNICA**

Ao elaborar seu texto, descreva, necessariamente, os seguintes fenômenos:

- ▶ espalhamento incoerente dos elétrons em um átomo;
- ▶ espalhamento coerente dos elétrons no cristal;
- ▶ raios X característicos e radiação de frenagem;
- ▶ elétrons secundários e elétrons Auger.