



MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR  
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO

CONCURSO PÚBLICO

CARGO

32

PESQUISADOR-TECNOLOGISTA EM  
METROLOGIA E QUALIDADE

ÁREA:

MICROSCOPIA DE PONTA DE PROVA

CADERNO DE PROVAS - PARTE II  
CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS E DISCURSIVA

LEIA COM ATENÇÃO AS INSTRUÇÕES ABAIXO.

- 1 Nesta parte II do seu caderno de provas, confira atentamente os seus dados pessoais e os dados identificadores de seu cargo/área transcritos acima com o que está registrado em sua **folha de respostas** e em seu **caderno de textos definitivos da prova discursiva**. Confira também o seu nome, o nome e número de seu cargo/área no rodapé de cada página numerada desta parte II de seu caderno de provas. Caso o caderno esteja incompleto, tenha qualquer defeito, ou apresente divergência quanto aos seus dados pessoais ou aos dados identificadores de seu cargo/área, solicite ao fiscal de sala mais próximo que tome as providências cabíveis, pois não serão aceitas reclamações posteriores nesse sentido.
- 2 Quando autorizado pelo chefe de sala, no momento da identificação, escreva, no espaço apropriado da folha de respostas, com a sua caligrafia usual, a seguinte frase:  
*A experiência é a melhor escola.*

**OBSERVAÇÕES**

- Não serão objeto de conhecimento recursos em desacordo com o estabelecido em edital.
- Informações adicionais: telefone 0(XX) 61 3448-0100; Internet — [www.cespe.unb.br](http://www.cespe.unb.br).
- É permitida a reprodução deste material apenas para fins didáticos, desde que citada a fonte.

## CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

### QUESTÃO 41

Acerca dos principais tipos de redes de Bravais, assinale a opção correta.

- A A rede cúbica de corpo centrado, descrita como a superposição de duas redes cúbicas simples, não pode ser considerada uma rede de Bravais.
- B É impossível descrever uma rede cúbica simples com vetores primitivos não ortogonais.
- C Os vértices de uma rede bidimensional hexagonal não formam uma rede de Bravais.
- D A rede cúbica de face centrada possui vetores primitivos dados por  $a_1 = (a/2)(\mathbf{j} + \mathbf{k} - \mathbf{i})$ ,  $a_2 = (a/2)(\mathbf{k} + \mathbf{i} - \mathbf{j})$  e  $a_3 = (a/2)(\mathbf{i} + \mathbf{j} - \mathbf{k})$ , em que  $a$  é uma constante positiva.
- E Os pontos em uma rede de Bravais que estão mais próximos a um dado ponto são chamados de primeiros vizinhos. Na rede cúbica simples, cada ponto da rede possui 8 primeiros vizinhos.

### QUESTÃO 42

No que concerne ao sistema de índices para os planos cristalinos de uma rede de Bravais, assinale a opção correta.

- A Um plano que intercepta os eixos  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ , definidos pelos vetores primitivos da rede de Bravais  $\mathbf{a}_1$ ,  $\mathbf{a}_2$  e  $\mathbf{a}_3$  nos pontos  $4\mathbf{a}_1$ ,  $1\mathbf{a}_2$  e  $2\mathbf{a}_3$ , respectivamente, tem índice cristalográfico (412).
- B Os índices  $[hkl]$  sempre designam um único plano.
- C Em qualquer rede cristalina, a direção  $[hkl]$  é sempre perpendicular ao plano com índices  $[hkl]$ .
- D Os índices  $[hkl]$  de uma determinada direção em um cristal são dados pelos menores números inteiros com razões equivalentes às razões das componentes do vetor da rede cristalina na direção desejada, em relação aos eixos cristalinos.
- E O plano de índices (200) é paralelo ao plano de índices (100), porém, corta o eixo  $a_1$ , definido pelo vetor primitivo  $\mathbf{a}_1$ , no ponto  $2\mathbf{a}_1$ .

### QUESTÃO 43

A rede recíproca tem um papel fundamental na maioria dos estudos analíticos de estruturas periódicas. Quanto a essa rede, assinale a opção correta.

- A No caso mais geral, a rede recíproca não necessariamente é uma rede de Bravais, mesmo que seja derivada de uma rede de Bravais.
- B Toda estrutura cristalina possui uma rede recíproca.
- C A rede recíproca é constituída pelo conjunto de todos os vetores de onda  $\mathbf{K}$  que possuem a mesma periodicidade da rede cristalina.
- D A rede recíproca é sempre definida tendo como referência uma rede de Bravais em particular.
- E A rede direta é a rede recíproca da rede recíproca, e não deve ser confundida com a rede cristalina original.

### QUESTÃO 44

A lei de Bragg descreve o padrão formado pela distribuição de raios X espalhados por materiais cristalinos. Considerando essa lei, assinale a opção correta.

- A Na lei de Bragg, as ondas incidentes de raios X devem ser refletidas de maneira especular.
- B O padrão formado pelas ondas refletidas não depende do comprimento de onda do raio X incidente sobre o cristal, somente da sua estrutura interna.
- C A lei de Bragg depende não só da periodicidade da rede, mas do arranjo de átomos da base associada a cada ponto da rede.
- D A reflexão de Bragg ocorre somente para ondas incidentes com comprimento de onda  $\lambda$  menores ou iguais a  $d$ , onde  $d$  é o espaçamento entre planos paralelos na rede cristalina.
- E Na lei de Bragg, cada plano cristalino deve ser considerado como um espelho perfeito, refletindo toda a radiação incidente.

### QUESTÃO 45

Existe uma relação entre os vetores da rede recíproca e planos de pontos na rede cristalina. De acordo com essa relação, assinale a opção correta.

- A Para um vetor  $\mathbf{K}$  da rede recíproca, sempre existe uma família de planos normais a  $\mathbf{K}$  e separados por uma distância  $d$ , onde  $2\pi/d$  é o módulo do vetor  $\mathbf{K}$ .
- B Os índices  $[hkl]$  de um plano da rede de Bravais são as componentes de um vetor  $\mathbf{K}$  da rede recíproca que é normal a esse plano.
- C Os índices  $[hkl]$  que definem um plano da rede de Bravais e um vetor  $\mathbf{K}$  da rede recíproca normal a esse plano não podem ter fatores em comum e não dependem da escolha de um determinado conjunto de vetores primitivos da rede.
- D Os índices  $[hkl]$  de um plano da rede de Bravais são as coordenadas da normal a esse plano no sistema formado pelos vetores primitivos da rede cristalina.
- E Os índices  $[hkl]$  de uma determinada direção na rede cristalina nem sempre correspondem à direção do vetor da rede recíproca com coordenadas  $h$ ,  $k$  e  $l$ .

### QUESTÃO 46

Considere uma rede de Bravais unidimensional cuja base é constituída por dois átomos. Ao se aproximar os átomos em torno da posição de equilíbrio, obtém-se um potencial de interação harmônico. A respeito desse sistema, assinale a opção correta.

- A Nesse sistema, há três tipos de modos normais de vibração, sendo dois modos óticos com polarização transversal, e um modo acústico com polarização longitudinal.
- B Se for considerada apenas a interação entre primeiros vizinhos, essa aproximação descreve um modelo em que cada átomo está ligado aos seus primeiros vizinhos por meio de molas perfeitas de mesma constante de mola.
- C A principal diferença entre essa rede de Bravais e a rede de Bravais monoatômica unidimensional harmônica é a presença de  $N$  modos normais de vibração óticos.
- D Esse sistema possui  $3N$  modos normais de vibração, independentemente do alcance da interação harmônica e das condições sobre as extremidades da rede.
- E Esse sistema não possui modos normais de vibração óticos.

**QUESTÃO 47**

Na teoria harmônica clássica de uma rede de Bravais monoatômica unidimensional, considera-se um conjunto de  $N$  átomos de massa  $M$  distribuídos ao longo de uma linha, em pontos separados por uma distância  $a$ , que interagem por meio de um potencial harmônico. Com relação a essa teoria, assinale a opção correta.

- Ⓐ As condições sobre os átomos nas extremidades da rede têm importância fundamental sobre os modos normais de vibração quando o número de átomos  $N$  é muito grande, da ordem do número de Avogadro, sendo responsável pela maior parte dos fenômenos.
- Ⓑ A aproximação ao se considerar somente as forças entre primeiros vizinhos, descreve um modelo em que cada átomo está ligado aos seus primeiros vizinhos por meio de molas perfeitas.
- Ⓒ Considerando somente as forças entre primeiros vizinhos, esse sistema possui  $2N$  modos normais de vibração.
- Ⓓ Se forem consideradas as forças de interação entre um átomo e todos os outros átomos da rede de Bravais, obtém-se um sistema com  $3N$  modos normais de vibração.
- Ⓔ Para especificar o estado da rede em determinado instante de tempo  $t$ , e obter o estado em um tempo  $t'$  posterior ( $t' > t$ ), basta especificar as posições dos átomos no tempo  $t$ .

**QUESTÃO 48**

O coeficiente de condutividade térmica  $K$  de um sólido pode ser definido como a razão entre a energia térmica transmitida por unidade de tempo por unidade de área  $J$  ao longo de uma barra longa que possui um gradiente de temperatura ( $dT/dx$ ), ou seja,  $K = J/(dT/dx)$ . Acerca desse assunto, assinale a opção correta.

- Ⓐ A condução de energia térmica através do sólido cristalino é um processo determinístico, pois depende somente da maneira como a vibração térmica é transmitida de um ponto a outro no cristal.
- Ⓑ Em sólidos metálicos, o comportamento dos elétrons livres tem pouca influência sobre o coeficiente de condutividade térmica.
- Ⓒ Em sólidos dielétricos, o coeficiente de condutividade térmica independe do livre caminho médio dos fônons.
- Ⓓ Como a condutividade térmica em sólidos metálicos puros é dominada pela contribuição eletrônica, e como a energia de Fermi para o gás de elétrons é muito elevada, o coeficiente de condutividade desses sólidos varia muito pouco com a temperatura.
- Ⓔ Sendo um processo probabilístico, a condução de energia térmica através do sólido deve depender da maneira como a energia se difunde no cristal, envolvendo principalmente processos de colisão.

**QUESTÃO 49**

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

- Ⓐ 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.
- Ⓑ 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.
- Ⓒ Em sólidos cristalinos magnéticos a baixas temperaturas, o ordenamento dos momentos magnéticos nucleares não contribui para a capacidade térmica a volume constante.
- Ⓓ No modelo de Einstein para a capacidade térmica a volume constante, supõe-se que todas as ondas elásticas no sólido possuem a mesma frequência.
- Ⓔ O modelo de Einstein para a capacidade térmica a volume constante não é capaz de explicar a regra de Dulong e Petit.

**QUESTÃO 50**

Em sólidos metálicos, um modelo de grande sucesso no entendimento da condutividade elétrica é o modelo do elétron livre. Nesse modelo, os elétrons de valência dos átomos metálicos movem-se livremente pelo cristal. O gás de elétrons assim formado recebe o nome de gás de Fermi. Com relação à condutividade elétrica de sólidos metálicos cristalinos e ao modelo de elétron livre, assinale a opção correta.

- Ⓐ O modelo do gás de Fermi não é capaz de explicar a lei de Ohm para a condutividade elétrica de sólidos metálicos cristalinos, pois não é considerada a colisão dos elétrons livres com as impurezas da rede, com os fônons e com as imperfeições da rede. Essas colisões são adicionadas ao modelo por meio do tempo médio de colisão.
- Ⓑ No modelo do elétron livre não se pode desprezar o potencial de interação dos elétrons com os íons da rede, pois as ondas de matéria representadas pela função de onda dos elétrons não podem se propagar livremente em uma região de potencial perfeitamente periódico.
- Ⓒ A condução de energia elétrica através do cristal, por ser um fenômeno eletromagnético, não exhibe qualquer relação com a condução de energia térmica.
- Ⓓ No modelo de gás de Fermi para a condutividade elétrica, não é observada a dependência com relação à densidade de elétrons do material, pois somente os elétrons com energia próxima à energia de Fermi contribuem para a condução de energia elétrica.
- Ⓔ A condução de energia elétrica em sólidos metálicos cristalinos é um fenômeno determinístico, pois um elétron livre em uma região de potencial periódico pode se propagar livremente, não estando sujeito, portanto, aos processos probabilísticos de espalhamento.

**QUESTÃO 51**

Considere a dinâmica de uma partícula quântica sob a ação de um poço de potencial real quadrado finito e independente do tempo, com profundidade  $V_0 > 0$  e largura  $2a > 0$ . Quanto a essa situação, assinale a opção correta.

- A Dependendo da profundidade do poço de potencial, é possível observar ou não estados estacionários com energia discreta.
- B As soluções da equação de Schrödinger, nesses casos, são classificadas em dois tipos: estados estacionários com espectro de energia discreto e estados não estacionários com espectro contínuo de energia.
- C Se considerar que incide sobre o poço de potencial uma onda plana, é possível mostrar que a amplitude de transmissão dessa onda através do poço apresenta ressonâncias, com máximos em determinados comprimentos de onda.
- D Se a onda incidente sobre o poço de potencial é uma onda plana, então a amplitude transmitida é sempre igual à amplitude refletida.
- E O estado de menor energia corresponde ao estado fundamental e pode representar tanto um estado ligado quanto uma onda plana.

**QUESTÃO 52**

Considerando a situação física de uma partícula quântica aprisionada em um poço de potencial real infinito e independente do tempo, assinale a opção correta.

- A Independentemente da forma do potencial, sempre existirão estados estacionários com espectro contínuo de energia.
- B Os estados com espectro contínuo correspondem a ondas planas, enquanto que os estados com espectro discreto correspondem a estados ligados.
- C De maneira geral, em determinado instante de tempo o estado do sistema é dado por uma combinação linear dos vários estados estacionários.
- D Esse sistema apresenta uma quantidade finita de níveis com espectro discreto de energia.
- E Se o referencial de energia é redefinido de forma que o mínimo do potencial tenha energia igual a zero, então qualquer estado terá energia  $E$  maior ou igual a zero.

**QUESTÃO 53**

Considerando uma partícula quântica sob a ação de um potencial harmônico unidimensional com mínimo em  $x = 0$ , assinale a opção correta.

- A Todas as funções de onda correspondentes aos estados estacionários são ortogonais entre si e formam uma base completa no espaço de Hilbert.
- B Não é possível normalizar as funções de onda dos estados estacionários, pois as mesmas não se anulam quando  $x \rightarrow \pm \infty$ .
- C De maneira geral, um estado qualquer do sistema terá sempre paridade bem definida, pois será a combinação linear de funções pares ou ímpares.
- D Os estados estacionários possuem espectro discreto de energia, tendo níveis com energia  $E_n = (n + 1/2) \hbar \omega$ , em que  $n = 1, 2, \dots$
- E As funções de onda correspondentes a estados estacionários terão paridade bem definida, sendo permitidas somente funções de onda pares.

**QUESTÃO 54**

O estudo dos átomos com um elétron de valência é de grande importância em mecânica quântica e serve de base para o estudo de átomos com mais de um elétron de valência. Com relação ao tratamento quântico do átomo de um elétron de valência, desprezando o efeito dos outros elétrons do átomo, assinale a opção correta.

- A Nesse modelo, considera-se apenas o movimento do elétron. O núcleo do átomo é considerado fixo na origem.
- B Por meio de separação de variáveis, é possível mostrar que a equação de Schrödinger para o sistema formado pelo elétron e o núcleo pode ser separada em uma parte que só depende da energia do centro de massa, e outra que descreve o movimento relativo do elétron em relação ao núcleo.
- C A equação que descreve o movimento do centro de massa do sistema corresponde à equação de Schrödinger para uma partícula livre com massa igual à massa reduzida do sistema.
- D Como o potencial de interação depende da distância relativa entre o núcleo e o elétron, a equação de Schrödinger para o movimento relativo do elétron em relação ao núcleo em coordenadas esféricas é separável em uma parte radial e uma parte angular, sendo a parte radial independente do potencial de interação.
- E Na descrição do movimento relativo do elétron em relação ao átomo, devido à simetria esférica do potencial, é possível separar a equação de Schrödinger em coordenadas esféricas em uma parte radial e outra parte angular, sendo que somente a parte angular apresenta espectro discreto de energia.

**QUESTÃO 55**

O átomo de hidrogênio corresponde a um dos sistemas quânticos mais simples para os quais é possível obter soluções analíticas para a equação de Schrödinger. Acerca da descrição quântica do átomo de hidrogênio, assinale a opção correta.

- A É possível mostrar que a parte radial da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio pode ser reduzida a uma equação unidimensional com um potencial de interação efetivo que depende do potencial de Coulomb e do momento angular orbital total.
- B Na ausência de campos elétricos ou magnéticos externos, os níveis de energia do átomo de hidrogênio dependem somente do momento angular total do orbital correspondente a esse nível.
- C Em uma mesma camada, e na ausência de campos elétricos ou magnéticos externos, os níveis de energia do átomo de hidrogênio são sempre degenerados.
- D O espectro discreto de energias do átomo de hidrogênio possui uma quantidade finita de níveis de energia, cuja energia depende inversamente do número quântico principal  $n$ .
- E Em um experimento à temperatura ambiente, onde inicialmente o átomo de hidrogênio está em um estado que é uma mistura de vários de seus estados estacionários, incluindo o estado de mais baixa energia, após um longo tempo na ausência de qualquer outro fator externo, esse átomo será encontrado no estado fundamental.

**QUESTÃO 56**

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 57**

O elétron possui um momento magnético, que tem origem em um momento angular intrínseco chamado de *spin*. Com relação ao *spin* de partículas quânticas, assinale a opção correta.

- A** O *spin* existe somente nos férmions, grupo de partículas ao qual pertence o elétron, e que obedecem ao princípio da exclusão de Pauli.
- B** O momento angular de *spin* é quantizado, tendo sempre dois estados com orientações espaciais diferentes.
- C** As partículas que compõem o núcleo do átomo não possuem *spin*, todas as propriedades magnéticas da matéria são reflexo do *spin* dos elétrons.
- D** É impossível ter duas partículas de mesmo *spin* no mesmo estado.
- E** Partículas quânticas com *spin* nem sempre obedecem ao princípio da exclusão de Pauli.

**Texto para as questões de 58 a 60**

Na natureza, observam-se três tipos de ligações primárias: a ligação covalente, na qual dois átomos compartilham pelo menos um par de elétrons, a ligação iônica e a ligação metálica. Além dessas, também há dois tipos de ligações secundárias: as ligações por dipolo permanente e de van der Waals.

**QUESTÃO 58**

Com relação aos tipos de ligações atômicas, assinale a opção correta.

- A** A ligação covalente é direcional, isto é, só é possível na direção que une os átomos participantes da ligação, e é específica para cada par de átomos ligantes.
- B** O número de ligações covalentes que um átomo pode fazer independe do seu número de elétrons de valência, mas depende de sua eletronegatividade.
- C** Na ligação covalente, nem sempre cada um dos dois átomos contribui com um elétron para o compartilhamento, pois existe a possibilidade de um dos átomos não contribuir com o compartilhamento.
- D** A ligação de hidrogênio constitui um tipo especial de ligação, não tendo qualquer relação com a ligação covalente ou de van der Waals.
- E** Moléculas polares podem induzir dipolos elétricos em moléculas apolares adjacentes, o que gera uma força de atração entre ambos. No entanto, o tempo de duração desses dipolos induzidos é muito pequeno para que seja possível a formação de uma ligação.

**QUESTÃO 59**

Ainda com base no texto, assinale a opção correta.

- A** Na ligação metálica, os elétrons estão rigidamente ligados aos caroços iônicos e interagem com eles através da força eletrostática.
- B** A ligação iônica é espacialmente localizada, tendo forte caráter direcional.
- C** Em um sólido iônico estável, cada um dos íons deve ter como primeiros vizinhos íons de mesma carga.
- D** Na ligação iônica, as forças atrativas entre os íons têm origem exclusivamente eletrostática.
- E** Em um metal, os elétrons de valência têm o comportamento aproximado de um gás de elétrons livres, e ao mesmo tempo em que blindam os caroços iônicos da repulsão eletrostática de outros caroços iônicos da rede, promovem uma força de ligação entre eles.

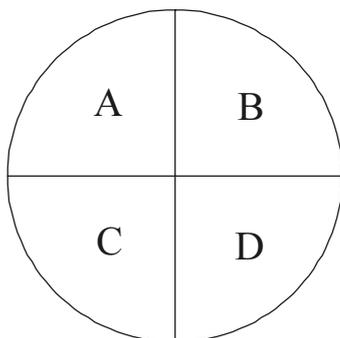
**QUESTÃO 60**

Considerando o assunto abordado no texto, assinale a opção correta.

- Ⓐ A ligação do tipo van der Waals possui energias de ligação da mesma ordem de grandeza das ligações covalente, iônica e metálica, e existe somente em uma classe de átomos.
- Ⓑ Gases nobres não realizam ligações, pois possuem camadas eletrônicas completas.
- Ⓒ Apesar de possuírem, em geral, energia de ligação relativamente forte em relação aos outros tipos de ligação primária e estarem presentes em somente alguns materiais específicos, as ligações de van der Waals raramente são percebidas.
- Ⓓ Uma das formas de ligação de van der Waals ocorre quando, por meio de flutuações estatísticas, um átomo apolar se polariza momentaneamente induzindo um dipolo elétrico em outro átomo apolar, provocando uma força de atração que é responsável pela ligação.
- Ⓔ A ligação por dipolos permanentes ocorre entre moléculas polares e tem origem intrinsecamente eletrostática, não tendo qualquer relação com as forças de van der Waals.

**Texto para as questões de 61 a 63**

O primeiro procedimento que se deve adotar ao iniciarem-se medidas com um microscópio de força atômica é o alinhamento do cantiléver. A qualidade do alinhamento é fundamental para manter a integridade das pontas de prova, bem como para a qualidade das imagens coletadas. O alinhamento do cantiléver é realizado por meio do posicionamento de um *laser* que incide sobre uma superfície refletora no verso da ponta de prova, na extremidade do cantiléver, e é refletido na direção de um conjunto de quatro fotodiodos, formando uma estrutura de quatro quadrantes, como a que está representada na figura abaixo.



Esboço de um arranjo de fotodiodos utilizado para determinar o alinhamento de um cantiléver em microscópio de força atômica.

Durante o alinhamento, estão disponíveis as seguintes informações: a soma das fotocorrentes ( $A+B+C+D$ ), a diferença entre as fotocorrentes dos fotodiodos da esquerda e da direita ( $(A + C) - (B + D)$ ), e a diferença de fotocorrentes entre os fotodiodos da parte superior e aqueles da porção inferior ( $(A + B) - (C + D)$ ).

**QUESTÃO 61**

Se, durante o alinhamento do cantiléver, a leitura de soma de fotocorrentes ( $A + B + C + D$ ) tiver magnitude elevada e a leitura da diferença entre as fotocorrentes ( $(A + C) - (B + D)$ ) também tiver valor elevado, é correto concluir que o cantiléver estará

- Ⓐ bem alinhado e o equipamento estará pronto para uso.
- Ⓑ mal alinhado e a superfície refletora estará danificada.
- Ⓒ bem alinhado e a superfície refletora estará danificada.
- Ⓓ bem alinhado e a superfície refletora estará em bom estado.
- Ⓔ mal alinhado e a superfície refletora estará em bom estado.

**QUESTÃO 62**

Durante o procedimento de alinhamento, é possível saber se o cantiléver está com a superfície refletora danificada, o que indica a necessidade de substituí-lo. Essa situação ocorre quando o sinal do osciloscópio fornece leitura

- Ⓐ de alta magnitude pela leitura da soma de fotocorrentes próxima de zero, ao se medir no modo de diferença de fotocorrentes entre os fotodiodos.
- Ⓑ de baixa magnitude pela leitura de uma diferença elevada de fotocorrentes, ao se medir no modo de soma de sinais do fotodiodo.
- Ⓒ de baixa magnitude com a leitura da diferença de fotocorrentes próxima de zero, ao se medir no modo de soma de sinais do fotodiodo.
- Ⓓ de alta magnitude com a leitura elevada da diferença de fotocorrentes, ao se medir no modo de soma de sinais do fotodiodo.
- Ⓔ com sinal negativo e diferença de fotocorrentes elevada, ao se medir no modo de soma de sinais do fotodiodo.

**QUESTÃO 63**

Após o procedimento de alinhamento do cantiléver para medidas no modo de contato, mas antes de fazer o contato da ponta de prova com a superfície da amostra, é necessário fazer um desalinhamento óptico cuidadoso e definir um valor para o *set-point* de corrente, geralmente em valores da ordem de algumas unidades de nA. Esse procedimento é realizado com o objetivo de

- Ⓐ determinar orientação relativa entre o substrato da amostra e o cantiléver, evitando-se a contaminação da ponta de prova.
- Ⓑ obter dados de espessura do substrato da amostra com alta qualidade.
- Ⓒ preservar a integridade dos fotodiodos durante a movimentação da ponta de prova.
- Ⓓ preservar a rigidez mecânica da ponta de prova, evitando-se, assim, perda de resolução durante o processo de medida.
- Ⓔ definir a intensidade da força de contato da ponta de prova com a superfície da amostra e preservar a amostra e a ponta de prova.

## QUESTÃO 64

O processo de análise do comportamento do cantiléver e da resposta do circuito eletrônico para o seu reposicionamento é fundamental para o funcionamento dos microscópios de força atômica. A compreensão desse processo de sensoriamento e atuação sobre a ponta de prova é de vital importância para a tomada de decisão acerca do modo de medida mais apropriado para determinada tarefa. Entre os modos de operação dos microscópios de força atômica, há o modo de contato intermitente (*tapping mode*) e o modo de sem contato (*non-contact mode*). No que se refere a esses modos de operação, assinale a opção correta.

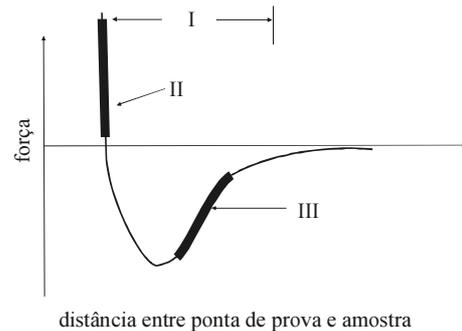
- A No modo sem contato, o sistema eletrônico detecta as alterações da frequência de ressonância do cantiléver à medida que este se aproxima da amostra, mantendo constante a amplitude da oscilação.
- B A detecção, no modo sem contato, é realizada por meio da variação na amplitude das oscilações, tipicamente de  $\sim 10$  nm, de modo que o sistema eletrônico mantenha esse parâmetro constante durante as medidas.
- C Esses modos de medida diferem quanto ao tipo de cantiléver utilizado, sendo que, no modo de contato intermitente, usa-se uma ponta de prova piramidal, enquanto no modo sem contato a ponta de prova é plana.
- D A detecção, no modo de contato intermitente e no modo sem contato, é realizada por meio do monitoramento da deflexão do cantiléver.
- E A detecção, no modo de contato intermitente e no modo sem contato, é realizada por meio do monitoramento da amplitude das oscilações ou da variação da frequência de ressonância do cantiléver.

## QUESTÃO 65

Após o processo de alinhamento do cantiléver, a calibração de força (*force calibration*) é vital para a manutenção da integridade da ponta de prova, pois a calibração de força mal realizada pode implicar a quebra da sonda. Sabendo-se que o equipamento gera uma curva de distância de deslocamento do cantiléver (eixo das abscissas) *versus* sua deflexão (eixo das ordenadas), é correto afirmar que o microscópio estará pronto para ser usado quando essa curva

- A for uma reta com coeficiente angular positivo.
- B comportar-se como uma função exponencial.
- C for uma reta paralela ao eixo das abscissas.
- D for uma reta paralela ao eixo das ordenadas.
- E apresentar comportamento senoidal, com amplitude igual à corrente de *set-point*.

## QUESTÃO 66



W. Richard Bowen e Nidal Hilal. *Atomic force microscopy. In: Process Engineering*. Ed. Butterworth-Heinemann, 2009, p. 5.

A figura acima apresenta um gráfico de distância da ponta de prova *versus* a força que atua nessa ponta. Considerando os diferentes modos de medidas nos microscópios de força atômica e os limites indicados pelas setas na figura, é correto afirmar que

- A II corresponde à região de medidas sem contato e I, à região de trabalho do modo de contato intermitente.
- B II corresponde à região de medidas sem contato e III, à região de medidas de contato.
- C I corresponde à região de medidas sem contato e III, à região de medidas de contato intermitente.
- D I corresponde à região de trabalho do modo de contato intermitente e III, à região de medidas sem contato.
- E III corresponde à região de medidas de contato.

## QUESTÃO 67

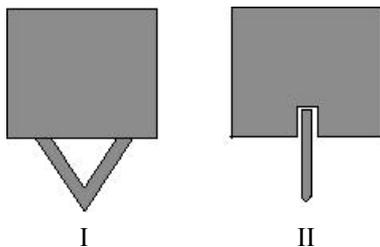
Considere dois grupos de pontas de prova utilizadas nos microscópios de força atômica. O primeiro grupo é constituído por pontas com cantiléveres com constante elástica de  $0,05\sim 1,5$   $\text{Nm}^{-1}$  e o segundo grupo é constituído por pontas com cantiléveres com constante elástica de  $40\sim 80$   $\text{Nm}^{-1}$ . Com relação à escolha dos tipos de ponta de prova para medidas em modo de contato ou em modo de contato intermitente (*tapping*) e modo sem contato (ressonante), assinale a opção correta.

- A As pontas do primeiro grupo são mais apropriadas para medidas em modo de contato intermitente.
- B As pontas do segundo grupo são mais apropriadas para medidas no modo de contato.
- C A constante de mola não é um parâmetro relevante na escolha da ponta a ser utilizada em determinado método de medida e, portanto, os dois tipos de pontas podem ser utilizados indistintamente.
- D As pontas do primeiro grupo são mais apropriadas para medidas em modo sem contato.
- E As pontas do segundo grupo são mais apropriadas para medidas em modo de contato intermitente.

**QUESTÃO 68**

A microscopia de força atômica deve seu sucesso à relativa facilidade de preparação de amostras quando comparada com outras técnicas de alta resolução. De fato, desde que sejam adotadas as medidas apropriadas, é possível realizar medidas com o cantiléver em ambientes a vácuo, gasosos e líquidos. No que concerne a medidas em amostras imersas em líquidos, assinale a opção correta.

- Ⓐ Devido ao efeito de arrasto hidrodinâmico do líquido, as oscilações do cantiléver são amortecidas, o que implica diminuição dos ruídos durante a medida, aumentando, assim, a qualidade das imagens obtidas.
- Ⓑ O fator de qualidade  $Q = \omega_0/\Delta\omega$ , em que  $\omega_0$  é a frequência de ressonância do cantiléver e  $\Delta\omega$  é a largura da ressonância, é atenuado devido à interação do cantiléver com o líquido, diminuindo, assim, a sensibilidade da técnica.
- Ⓒ O fator de qualidade  $Q = \omega_0/\Delta\omega$ , em que  $\omega_0$  é a frequência de ressonância do cantiléver e  $\Delta\omega$  é a largura da ressonância, aumenta devido à interação do cantiléver com o líquido, melhorando, assim, a qualidade da imagem obtida.
- Ⓓ A sensibilidade da medida depende fundamentalmente da técnica utilizada, não havendo contribuição do ambiente no qual o cantiléver estiver imerso.
- Ⓔ A qualidade da imagem obtida dependerá fortemente do pH da solução, pois a intensidade das forças que atuam sobre a ponta de prova depende da concentração de  $H^+$  presentes no meio.

**QUESTÃO 69**

De modo geral, há dois tipos de cantiléveres, os triangulares em formato de V, ilustrado em I, e aqueles em formato de I, ilustrado em II. A respeito desses cantiléveres, assinale a opção correta.

- Ⓐ O cantiléver em formato de V é utilizado para medidas em modo de contato em materiais rígidos.
- Ⓑ O cantiléver em formato de I é utilizado para medidas em modo de contato.
- Ⓒ Ambos os cantiléveres são, atualmente, obsoletos.
- Ⓓ O cantiléver em formato de V é utilizado para medida em modo de contato em materiais de pouca aderência no substrato.
- Ⓔ Ambas as pontas são igualmente apropriadas para medidas em modo de contato e sem contato, pois há outras variáveis de maior relevância.

**Texto para as questões de 70 a 72**

O sucesso de um experimento depende do seu correto planejamento. Assim, o experimentalista deve conhecer todas as técnicas disponíveis no equipamento a ser utilizado, compreender suas vantagens e limitações, estimar, mesmo que parcialmente, as propriedades da amostra a ser investigada e, então, decidir quais as técnicas mais apropriadas para determinada tarefa. Considerando-se os modos de formação de imagem em microscopia de força atômica, podem ser citados o modo de contato com força constante, o contato com força variável, o contato de força lateral, modo sem contato ressonante e o contato intermitente (*tapping*).

**QUESTÃO 70**

Com relação ao assunto abordado no texto acima, assinale a opção correta.

- Ⓐ O modo de força constante é o mais apropriado para amostras viscosas em ambiente de vácuo.
- Ⓑ O modo de contato de força lateral é o mais apropriado para medir a dureza de superfícies planas.
- Ⓒ O modo de força variável mantém constante a deflexão do cantiléver.
- Ⓓ No modo de força constante, a constante de mola do cantiléver deve ser pequena, de modo que a força de contato seja menor que a força de atração entre os átomos que constituem a amostra investigada.
- Ⓔ O modo de medida escolhido não depende da natureza da amostra, mas da resolução que se pretende obter na imagem obtida.

**QUESTÃO 71**

Ainda considerando o texto, assinale a opção correta.

- Ⓐ O modo de força constante é apropriado para investigar materiais fracamente ligados ao substrato.
- Ⓑ No modo de força lateral, é possível determinar qualitativamente o grau de aspereza da superfície de uma amostra.
- Ⓒ O modo medida de variação de fase exige cantiléver com menor constante elástica do que no modo de força constante, pois, no primeiro modo, é necessário que o cantiléver vibre em baixa frequência.
- Ⓓ O modo intermitente é o apropriado para a análise de amostras viscosas em ambiente líquido.
- Ⓔ Os modos de variação de fase e contato intermitente são incompatíveis para medidas simultâneas.

**QUESTÃO 72**

A respeito do assunto abordado no texto, assinale a opção correta.

- A** Os modos de força lateral e contato intermitente são compatíveis para medidas simultâneas.
- B** No modo de força constante, a deflexão do cantiléver é variável.
- C** Os cantilêveres utilizados no modo de contato intermitente devem ter constante elástica alta, para não ficarem presos na camada de água que se acumula na superfície das amostras.
- D** Os modos de contato intermitente e variação de fase são modos de operação mutuamente excludentes.
- E** O modo de contato intermitente deve ser evitado no estudo de amostras macias e pouco absorventes, pois as forças de contato diminuem drasticamente a resolução da imagem.

**QUESTÃO 73**

A excelente qualidade e a elevada resolução das imagens obtidas com o microscópio de força atômica devem-se, em parte, à precisão do movimento da ponta de prova, que é realizado por

- A** força magnética, utilizando-se bobinas de alta sensibilidade.
- B** força eletromagnética, por meio da força entre linhas de corrente e ímãs permanentes.
- C** elementos de mecânica de precisão, que usam micrômetros de passo nanométrico.
- D** tensão elétrica aplicada em elementos piezelétricos.
- E** campo magnético aplicado em elementos magnetostrictivos.

**QUESTÃO 74**

Um fator importante para a qualidade das imagens obtidas por meio de microscopia de força atômica é a estabilidade mecânica do sistema. Acerca desse assunto, assinale a opção correta.

- A** Basta isolar o elemento que sustenta o microscópio de força atômica do piso do laboratório por meio de tiras elásticas para eliminar a maior parte das fontes de ruídos que podem afetar a qualidade das imagens, desde que o ambiente seja silencioso e tenha a temperatura constante.
- B** É necessário instalar o microscópio em uma câmara de alto vácuo para eliminar a maior parte dos ruídos que podem afetar a qualidade das imagens.
- C** É necessário instalar o microscópio em um criostato em baixa temperatura para eliminar a maior parte dos ruídos que podem afetar a qualidade das imagens.
- D** É necessário utilizar salas limpas especiais com isolamento acústico para eliminar a maior parte dos ruídos que podem afetar a qualidade das imagens.
- E** A popularidade dos microscópios de força atômica deve-se a sua versatilidade e à sua robustez, pois eles podem ser instalados sobre uma bancada comum sem amortecimento sem que haja problemas com a qualidade da imagem obtida.

**QUESTÃO 75**

Os cantilêveres utilizados em microscopia de força atômica são classificados, em termos de suas constantes elásticas (ou de mola), como *soft*, com baixos valores, ou como *hard*, com altos valores de constante elástica. A esse respeito, assinale a opção correta.

- A** Os dois tipos de cantilêveres são igualmente apropriados para se estudar um polímero pouco rígido, pois o fator primordial para medir esse tipo de material é a geometria da ponta de prova.
- B** Os cantilêveres do tipo *soft* são mais apropriados para se estudar um polímero pouco rígido de alta adesão.
- C** Os cantilêveres do tipo *hard* são mais apropriados para se estudar um polímero pouco rígido de baixa adesão.
- D** Não é possível realizar, com precisão, a medição de polímeros, devido ao alto nível de deformação que a amostra sofre, independentemente do modo de medida.
- E** Em ambos os tipos de cantilêveres, a ponta de prova deve ser recoberta com polímero para diminuir os danos causados na amostra durante o processo de medida.

**QUESTÃO 76**

Se o responsável pela microscopia de força atômica receber uma amostra contendo células vivas para serem investigadas, ele deve

- A** devolver a amostra, sugerindo outra técnica de microscopia, pois o pH do ambiente biológico pode danificar a ponta de prova, inviabilizando a microscopia de força atômica como técnica para obter imagens de células vivas.
- B** realizar o experimento usando o modo de contato com cantiléver de constante elástica  $> 80 \text{ Nm}^{-1}$ , para provocar pouca deformação da amostra em ambiente de baixo vácuo e evitar danos à ponta de prova.
- C** realizar o experimento usando o modo de contato com cantiléver de constante elástica  $< 0,05 \text{ Nm}^{-1}$ , para minimizar a deformação da amostra em ambiente de baixo vácuo e evitar danos à ponta de prova.
- D** utilizar o modo de contato com cantiléver de constante elástica  $> 80 \text{ Nm}^{-1}$  para realizar o experimento, de forma a provocar pouca deformação da amostra, e usar ambiente fisiológico apropriado à cultura de células.
- E** realizar o experimento usando o modo de contato com cantiléver de constante elástica  $< 0,05 \text{ Nm}^{-1}$ , para minimizar a deformação da amostra, e usar ambiente fisiológico apropriado à cultura de células.

**QUESTÃO 77**

O movimento browniano, inerente a qualquer sistema físico, pode ser, muitas vezes, desconsiderado na descrição do comportamento de sistemas físicos macroscópicos. No que se refere ao comportamento das pontas de prova e dos cantilêveres utilizados nos microscópios de força atômica, é correto afirmar que o movimento browniano

- A é mais intenso nos cantilêveres com elevados valores de constante de mola do que naqueles de menores valores.
- B é mais intenso nos cantilêveres com baixos valores de constante de mola do que naqueles de grandes valores.
- C pode ser desconsiderado, pois o microscópio de força atômica geralmente é operado em ambiente de temperatura controlada.
- D é o fator que faz que as medidas em modo de contato sejam aquelas de menor resolução entre os modos de medida.
- E pode ser minimizado se as medidas forem realizadas em ambiente de vácuo.

**QUESTÃO 78**

Considerando o fator de qualidade de um cantilêver, definido como  $Q = \omega_0 / \Delta\omega$ , em que  $\omega_0$  é a frequência de ressonância do cantilêver e  $\Delta\omega$  é a largura da ressonância, assinale a opção correta.

- A Valores elevados de  $Q$  de um cantilêver implicam melhor qualidade de imagem em medidas no modo sem contato.
- B Valores elevados de  $Q$  de um cantilêver implicam menor qualidade de imagem em medidas sem contato.
- C O fator de qualidade  $Q$  é uma propriedade intrínseca dos materiais e depende apenas do material constituinte do cantilêver. Assim, cantilêveres com formas distintas, mas de mesmo material, têm  $Q$  iguais.
- D O fator de qualidade  $Q$  depende apenas da geometria do cantilêver. Assim, cantilêveres com mesmo tamanho e geometria, mas de materiais diferentes, possuem o mesmo  $Q$ .
- E O fator de qualidade é uma propriedade que influencia apenas a rota de produção do cantilêver, não tendo relevância para um cantilêver pronto.

**QUESTÃO 79**

As técnicas variantes da microscopia de força atômica incluem a microscopia de força com ponta Kelvin, técnica que

- A depende de pontas de prova recobertas com materiais de elevado coeficiente de condutividade térmica.
- B é sinônimo de microscopia de força térmica e pode ser utilizada para determinar o mapa de condutividade térmica da amostra em questão.
- C é similar à microscopia de força magnética, diferindo desta apenas quanto à classe de materiais a serem investigados, que, no caso da microscopia Kelvin, são semicondutores magnéticos diluídos e, no caso da microscopia de força magnética, são semicondutores magnéticos densos.
- D é sensível à força elétrica entre a ponta de prova e a superfície da amostra, o que determina o mapa de potencial elétrico.
- E exige pontas de prova cobertas com material piezelétrico de alta condutividade elétrica.

**QUESTÃO 80**

A técnica de microscopia de força elétrica

- A é apropriada para investigar amostras planas, pois em amostras rugosas o fenômeno de concentração de carga, denominada poder das pontas, pode gerar danos na ponta de prova.
- B permite apenas o levantamento do mapa de força elétrica da amostra, sendo necessária a substituição do cantilêver para se realizar o mapeamento topográfico.
- C exige o mapeamento topográfico da amostra antes de se fazer o mapeamento elétrico.
- D exige a utilização do modo de contato e o uso de cantilêver de pequena constante elástica.
- E serve apenas para materiais condutores ou semicondutores, não sendo eficaz em materiais isolantes.

**QUESTÃO 81**

Com relação à microscopia de força magnética, assinale a opção correta.

- A Os microscópios de força atômica atuando no modo de força magnética medem a força magnética entre um microsolenoide da ponta de prova e a superfície da amostra.
- B Os microscópios de força atômica atuando no modo de força magnética medem o gradiente de força magnética entre a ponta de prova e a superfície da amostra.
- C Os microscópios de força atômica atuando no modo de força magnética medem o trabalho magnético realizado sobre a ponta de prova.
- D Essa técnica exige pontas de prova construídas com material ferromagnético com elevado grau de cristalinidade, para se assegurar a anisotropia dos eixos de magnetização.
- E Essa técnica exige pontas de prova de materiais não magnéticos recobertos com filmes magnéticos e opera em modo de medida com contato.

**QUESTÃO 82**

A técnica de microscopia de força química, uma variante da microscopia de força atômica, utiliza pontas de prova recobertas com ouro e quimicamente funcionalizadas. Acerca dessa técnica, assinale a opção correta.

- A Por causa do grupo funcional adicionado à ponta de prova, é recomendado utilizar essa técnica no modo de contato, devido à elevada magnitude das forças de ligação química.
- B Essa técnica pode ser utilizada para manipulação de moléculas, como, por exemplo, para fazer o desenovelamento de proteínas.
- C A estrutura das pontas de prova devem ser constituídas, preferencialmente, de polímeros inertes ao ambiente químico de teste.
- D Devido ao grupo funcional adicionado à ponta de prova, não é possível utilizar essa técnica nos modos de contato intermitente e sem contato, em função da elevada magnitude das forças de ligação química.
- E Considerando o ambiente de solução química, a função da cobertura de ouro é prover um excelente condutor elétrico para facilitar o transporte eletrônico entre a ponta de prova e a amostra.

**QUESTÃO 83**

Caso uma empresa tenha desenvolvido um novo filme protetor para superfície de discos rígidos de computador e deva realizar testes de qualidade de resistência a risco desse novo material, as técnicas de microscopia mais apropriadas para realizar essa tarefa serão as de microscopia

- A eletrônica de varredura, para determinar a topografia do filme, e de varredura de tunelamento com ponta de prova de titânio, para nanoindentação e para determinar a dureza da superfície.
- B eletrônica de transmissão, para determinar a estrutura interna do filme, e de força magnética, para determinar a força de adesão do filme protetor.
- C de força atômica com ponta de prova de  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , para determinar a qualidade topográfica da superfície, e de força atômica com pontas de prova de diamante, para nanoindentação e para determinar a rigidez do filme.
- D de força atômica com ponta de prova de  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , para determinar a qualidade topográfica da superfície, e de força magnética, para determinar a força de adesão do filme.
- E de força atômica com ponta de prova de diamante, para determinar a qualidade topográfica da superfície, e de força química, para determinar a intensidade da energia de ligação do filme.

**QUESTÃO 84**

O desenvolvimento de nanodispositivos demanda a utilização de novas técnicas de caracterização nos processos de metrologia. Determinar a constante elástica de uma barra de dimensões milimétricas é relativamente mais simples do que determinar esse mesmo parâmetro em uma barra nanométrica. Acerca das técnicas de microscopia de força atômica, assinale a opção correta.

- A Um nanoindentador tem resolução espacial de centésimos de  $\mu\text{m}$ .
- B No modo de contato intermitente, é possível medir a média do impulso do material, quando se mede a sua constante elástica no instante em que a ponta de prova faz contato com a amostra.
- C O processo de nanoindentação gera menos danos à amostra do que o modo de medida com contato intermitente, pois a nanoindentação é modo de medida quase estático e o modo de contato intermitente é um modo dinâmico.
- D Durante os processos de medida em modo intermitente, é possível determinar as constantes elásticas dos materiais analisando a resposta piezolétrica dos cantilêveres.
- E O processo de medidas em modo de contato intermitente, além de danificar menos a amostra do que a nanoindentação, permite determinar o módulo elástico das amostras.

**QUESTÃO 85**

Na caracterização de dispositivos semicondutores nanométricos, é de extrema importância a determinação de suas propriedades elétricas. Em relação a esse processo, assinale a opção correta.

- A É possível, em modo de contato, aplicar uma voltagem entre uma ponta de prova condutora de um microscópio de força atômica e a amostra e medir a corrente para determinar o mapa de resistência elétrica, determinando, dessa forma, o mapa de dopagem ou o tipo de dopante,  $p$  ou  $n$ .
- B A ocorrência de óxidos nas amostras pode dificultar a realização do contato elétrico, tornando imprevisível o valor medido e impedindo o levantamento do mapa de condutividade do material.
- C Os valores medidos nos valores médios da função trabalho entre a ponta de prova e a amostra podem ser adotados como a assinatura das propriedades elétricas intrínsecas da amostra.
- D O espalhamento da corrente entre a ponta de prova da amostra serve como um marcador para levantar o mapa de resistência elétrica.
- E A técnica apropriada para levantar o mapa de resistência elétrica é a microscopia de varredura capacitiva, na qual a ponta de prova é mantida afastada da amostra e é medida a fase de um sinal de corrente contínua.

**QUESTÃO 86**

O desenvolvimento de superfícies estruturadas e a miniaturização de componentes em escala nanométrica exige o desenvolvimento de modos de medidas de alta resolução. Quanto a esse assunto, assinale a opção correta.

- A Os microscópios de ponta de prova foram desenvolvidos primordialmente para estudar as estruturas internas dos materiais.
- B A alta resolução dos microscópios de ponta de prova decorre do fato de que a parte móvel é a ponta de prova, que se desloca sobre a amostra, a qual é mantida fixa no referencial do laboratório.
- C Devido à robustez dos microscópios de ponta de prova, esses equipamentos são pouco influenciados pelas condições do ambiente onde estão localizados.
- D Nos microscópios de força atômica, como a ponta de prova está em contato direto com a amostra, o que se detecta é uma imagem real do sistema sob estudo.
- E Os microscópios de varredura de ponta de prova de metrologia (*metrological SPM*) são sistemas de medidas de referência que utilizam interferômetros de *laser* para a determinação de descolamentos com resolução nanométrica.

**QUESTÃO 87**

Toda uma família de microscopias de ponta de prova foi desenvolvida nas últimas duas décadas. Considerando que cada técnica se baseia em diferentes princípios de interação entre a ponta de prova e a amostra, assinale a opção correta.

- Ⓐ A microscopia de tunelamento acústico é realizada com base na detecção de ondas acústicas superficiais induzidas pela ponta de prova, sendo apropriada para se estudar rugosidades de superfície.
- Ⓑ A microscopia de correntes de Foucault (*eddy currents*) é realizada com base na força magnética entre correntes induzidas e um elemento ferromagnético. Essa técnica é apropriada para se estudar materiais magnéticos duros.
- Ⓒ A microscopia de ponta de prova é realizada com base na força magnética entre a ponta de prova e a amostra magnética, sendo apropriada para se estudar e caracterizar memórias diamagnéticas.
- Ⓓ A microscopia de campo acústico próximo é apropriada para se estudarem efeitos subsuperficiais.
- Ⓔ A microscopia de força Kelvin é sensível às variações da função trabalho, sendo apropriada para se estudar perfis de dopagem e defeitos localizados com densidade de carga diferente da matriz.

**QUESTÃO 88**

O princípio de funcionamento do microscópio de varredura de tunelamento consiste no controle de uma corrente eletrônica entre a ponta de prova e a superfície da amostra. Essa corrente eletrônica resulta

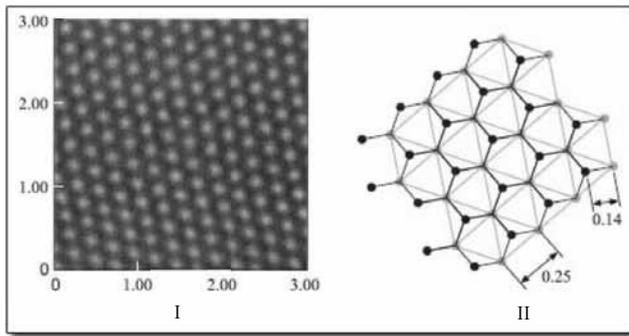
- Ⓐ da ruptura dielétrica do vácuo entre a ponta de prova e a superfície da amostra, provocada pela diferença de potencial eletrostático.
- Ⓑ de um fenômeno quântico que permite aos elétrons penetrar em uma barreira de potencial de uma região do espaço na qual a sua função de onda é evanescente.
- Ⓒ da corrente de deslocamento, que é descrita pelo termo que contém a derivada temporal na equação de Ampère-Maxwell.
- Ⓓ do transporte balístico de elétrons através do vácuo entre a ponta de prova e a superfície da amostra.
- Ⓔ da corrente de condução descrita pelo primeiro termo da equação de Ampère-Maxwell.

**QUESTÃO 89**

Do ponto vista instrumental, um microscópio de varredura de tunelamento é composto de

- Ⓐ uma ponta de prova feita de material metálico, uma amostra condutora, um sistema de posicionamento constituído por atuadores piezelétricos, um amplificador de corrente, um sistema de controle eletrônico com retroalimentação de dados (*feedback*) para controlar a posição da ponta de prova e manter a corrente de tunelamento constante, um sistema de isolamento de perturbações mecânicas e um sistema de controle de vácuo.
- Ⓑ uma ponta de prova feita de material semiconductor, a amostra condutora, um sistema de posicionamento constituído por atuadores piezelétricos, um amplificador de corrente, um sistema de controle eletrônico com retroalimentação de dados (*feedback*) para controlar a posição da ponta de prova e manter a corrente de tunelamento constante, um sistema de isolamento de perturbações mecânicas e um sistema de controle de atmosfera.
- Ⓒ uma ponta de prova feita de material metálico, a amostra isolante, um sistema de posicionamento constituído por atuadores piezelétricos, um amplificador de corrente e um sistema de controle eletrônico com retroalimentação de dados (*feedback*) para controlar a ponta de prova e manter a corrente constante, um sistema de isolamento de perturbações mecânicas e um sistema de controle da atmosfera do laboratório.
- Ⓓ uma ponta de prova feita de material isolante, a amostra condutora, um sistema de posicionamento constituído por atuadores piezelétricos, um amplificador de corrente e um sistema de controle eletrônico com retroalimentação de dados (*feedback*) para controlar a ponta de prova e manter a corrente constante, um sistema de isolamento de perturbações mecânicas e um sistema de controle de atmosfera.
- Ⓔ uma ponta de prova feita de material metálico, uma amostra condutora, um sistema de posicionamento constituído por atuadores piezelétricos, um amplificador de corrente, um sistema de controle eletrônico com retroalimentação de dados (*feedback*) para controlar a posição da ponta de prova e manter força de contato constante, um sistema de isolamento de perturbações mecânicas e um sistema de controle de vácuo.

## QUESTÃO 90



Internet: <openlearn.open.ac.uk>.

A figura I acima corresponde ao resultado da medida realizada com um microscópio de varredura de tunelamento (STM) na superfície de uma amostra de grafite pirolítico. Nessa imagem, aparecem apenas a metade dos átomos presentes na superfície da amostra. A distância interatômica medida é de 0,25 nm. Na figura II, é apresentada a estrutura esperada para a superfície desse material, com distância interatômica igual a 0,14 nm. Com base nessas informações, é correto afirmar que a imagem I

- Ⓐ está correta, mas o modelo da estrutura da superfície proposta para o grafite pirolítico deve ser revista.
- Ⓑ está errada e que esse resultado decorre do uso de uma ponta de prova com uma discordância cristalina no ápice (*apex*).
- Ⓒ está correta, sendo que o referido efeito ocorre por que metade dos átomos da superfície está mais fortemente ligada ao plano inferior e, por isso, não gera uma densidade eletrônica significativa, como a outra metade que aparece na imagem.
- Ⓓ está correta e que o referido efeito resulta de efeitos de simetria da estrutura cristalina da ponta de prova.
- Ⓔ apresenta o referido efeito devido ao uso de ponta de prova com duplo ápice (*apex*).

## QUESTÃO 91

Para se calcular a corrente de tunelamento em microscopia de varredura de tunelamento e, conseqüentemente, formar a imagem ou determinar o espectro de densidade de estados, é necessário conhecer as funções de onda dos elétrons da superfície da amostra e da ponta de prova. Porém, poucas vezes se pode tirar vantagem de algum argumento de simetria com relação à ponta de prova. Na maior parte das vezes, é necessário fazer alguma aproximação para se obter a seguinte relação para a corrente de tunelamento  $I$ :

$$I \propto \sum_V |\psi(\vec{r}_i)|^2 \delta(E_V - E_F) = \rho(\vec{r}_i, E_F)$$
, em que  $V$  é o potencial aplicado entre a ponta de prova e a amostra,  $E_V$  é a energia dos elétrons nível de Fermi da ponta de prova,  $E_F$  é a energia do nível de Fermi da superfície da amostra e  $\rho(r, E_F)$  é a densidade de estados em  $E_F$ . Com base nessas informações, é correto afirmar que

- Ⓐ a corrente de tunelamento mede a densidade de estados local do mais baixo nível de energia da banda de condução da amostra.
- Ⓑ a corrente de tunelamento gera uma densidade eletrônica com elétrons com energia  $E_F$ .
- Ⓒ a interpretação da função delta de Dirac significa que a corrente de tunelamento tem uma dispersão igual à diferença de energia entre os estados disponíveis na ponta de prova e no nível de Fermi da amostra.
- Ⓓ a corrente  $I$  é gerada pelo tunelamento de elétrons entre estados do nível de Fermi e os estados da ponta de prova com energia  $E_V$ .
- Ⓔ  $|\psi(\vec{r}_i)|^2$  é o valor esperado da distância entre a ponta de prova e a amostra na posição  $r_i$ .

**QUESTÃO 92**

Em medidas de microscopia de tunelamento de varredura, é possível determinar a corrente de tunelamento  $I$  em função da posição da ponta de prova, mapear  $\frac{dI}{dV}$  no espaço real e coletar o espectro de  $\frac{dI}{dV}$  em função do potencial  $V$  aplicado. A respeito desse assunto, é correto afirmar que

- Ⓐ a topografia de uma amostra é determinada pelos valores da corrente de tunelamento  $I$  em função da posição e  $\frac{dI}{dV}$  fornece o mapa de densidade eletrônica.
- Ⓑ a topografia de uma amostra é determinada pelos valores do mapeamento no espaço real de  $\frac{dI}{dV}$ , e a densidade de estados local LDOS (*local density of state*) é determinada pelo espectro de  $\frac{dI}{dV}$  em função do potencial aplicado entre a ponta de prova e a superfície da amostra.
- Ⓒ a topografia de uma amostra é determinada pelos valores da corrente de tunelamento  $I$ , em função da posição, e  $\frac{dI}{dV}$ , em função do potencial entre a ponta de prova, fornece o espectro da LDOS.
- Ⓓ o espectro da LDOS é determinado pela integral de densidade de estados eletrônicos em função de  $I$ .
- Ⓔ a LDOS é determinada pela integral de densidade eletrônica em função do potencial de 0 até  $V$ .

**Texto para as questões de 93 a 96**

Para a deposição de filmes finos, podem-se utilizar diferentes técnicas baseadas na interação entre um plasma e o substrato. Essas técnicas diferem entre si em termos do tipo de descarga que é utilizada para produzir o plasma, da pressão de operação, do uso de campo magnético e da presença ou não de feixes de elétrons e íons. É certo que esses parâmetros influenciam o tempo de deposição, a profundidade de imersão dos íons e a espessura do filme fino, de tal forma que é possível encontrar uma técnica ótima para cada tipo de deposição.

**QUESTÃO 93**

Tendo como referência inicial o texto acima e considerando que cada processo de tratamento de superfície assistido por plasmas permite o crescimento de filmes com um determinado intervalo de espessuras, assinale a opção correta.

- Ⓐ A implantação de íons por imersão do substrato em um plasma permite a deposição de filmes de  $8 \times 10^4 \mu\text{m}$  de espessura.
- Ⓑ Filmes com espessura entre  $2 \mu\text{m}$  e  $12 \mu\text{m}$  podem ser produzidos pela técnica da deposição química de vapor assistida por plasmas.
- Ⓒ Deposição química de vapor assistida por plasmas e o *arc spraying* produzem filmes finos com o mesmo intervalo de espessura.
- Ⓓ A técnica do *spray* térmico de plasma é ótima para a deposição de filmes de  $10^{-1} \mu\text{m}$ .
- Ⓔ Não há técnica que produza filmes com espessura da ordem de 1 mm.

**QUESTÃO 94**

Dispositivos baseados em descargas de micro-ondas para a produção de plasmas são usados na deposição de filmes finos de diamante. Acerca dessa técnica, assinale a opção correta.

- Ⓐ A frequência de colisão entre partículas neutras e elétrons é desprezível frente às outras frequências características do plasma.
- Ⓑ Utiliza-se um gás inerte, em geral um gás nobre tal como o argônio, para produção do plasma.
- Ⓒ Essa técnica requer uma pressão inferior a  $10^{-1}$  mb.
- Ⓓ O dispositivo empregado ao se adotar a referida técnica usa uma descarga com frequência de 450 Hz.
- Ⓔ O emprego de um campo magnético externo não é vantajoso, pois a frequência de colisão é muito maior que a frequência eletrociclônica.

**QUESTÃO 95**

Com referência à deposição de filmes empregando-se o dispositivo denominado *magnetron*, assinale a opção correta.

- Ⓐ Esse dispositivo utiliza ímãs permanentes para a produção de campo magnético, em geral da ordem de 0,1 T.
- Ⓑ A pressão ótima de operação para deposição é a pressão atmosférica.
- Ⓒ A produção de elétrons secundários por colisão entre os íons e o catodo é desprezível.
- Ⓓ A temperatura típica do feixe de elétrons usado nesse dispositivo é de 100 eV.
- Ⓔ Esse dispositivo não pode ser utilizado para deposição de filmes metálicos.

**QUESTÃO 96**

O plasma é produzido à pressão atmosférica em alguns dos dispositivos desenvolvidos para a deposição de filmes finos. Com relação a esse assunto, assinale a opção correta.

- Ⓐ Dada a grande pressão na câmara de vácuo, é impossível produzir um feixe de plasma que transporte o material que será depositado.
- Ⓑ Gases inertes, tais como o argônio, não podem ser utilizados para a produção do plasma.
- Ⓒ Os dispositivos em questão são otimizados para o caso de deposição de filmes com espessura típica de  $10^{-2} \mu\text{m}$ .
- Ⓓ A deposição do filme fino ocorre por imersão do substrato no plasma.
- Ⓔ A tocha de plasma é um importante exemplo de dispositivo sob pressão atmosférica que auxilia na deposição de filmes finos.

## QUESTÃO 97

Considerando o espalhamento elástico e inelástico dos elétrons, assinale a opção correta.

- A No estudo de espalhamento, a seção de choque diferencial de Rutherford é uma boa aproximação, principalmente para energias abaixo de 100 keV e pequenos ângulos.
- B O *spin* do elétron não precisa ser levado em conta no cálculo das seções de choque, principalmente no caso de elétrons de baixa energia.
- C Para elétrons de energia muito baixa, a seção de choque de Mott fornece resultados irreais, superestimando a taxa de colisão dos elétrons.
- D A seção de choque de Mott não incorpora efeitos quânticos ou relativísticos, tais como a equação de Pauli-Dirac.
- E Na seção de choque de Rutherford, é considerada a produção de *phonons* após a colisão.

## QUESTÃO 98

Acerca dos espalhamentos inelásticos de elétrons, assinale a opção correta.

- A Na faixa de energia de alguns elétron-volts, há espalhamento inelástico de elétrons, pois os sólidos apresentam bandas de energia proibidas associadas a essa faixa de energia.
- B A quantidade de energia dos elétrons perdida devido à excitação de *plasmons* não excede algumas dezenas de elétron-volts.
- C A perda de energia no caso das colisões elétron-elétron é, na grande maioria dos casos, desprezível.
- D A abordagem clássica, tal como a de Rutherford, fornece uma boa aproximação para a seção de choque de ionização.
- E No caso da ionização, a energia transferida é sempre inferior a 100 eV.

## QUESTÃO 99

Um efeito importante decorrente da interação entre o plasma (íons, elétrons e partículas neutras) e o substrato é a ejeção de elétrons secundários. A respeito desse fenômeno, assinale a opção correta.

- A Em um intervalo de tempo mínimo de  $10^6$  fs, os elétrons secundários ejetados de um sólido são novamente absorvidos, via recombinação elétron-buraco.
- B Após a ejeção, os elétrons secundários ganham energia, aumentando sua temperatura de tal modo que não são mais reabsorvidos pelo sólido.
- C Elétrons secundários emitidos por sólidos ferromagnéticos possuem o *spin* fortemente polarizado, contudo, o efeito só pode ser percebido para os elétrons de alta energia.
- D A principal fonte dos elétrons secundários é o decaimento de bandas de valência excitadas por grande transferência de *momentum* em eventos espacialmente localizados de espalhamento.
- E A distribuição de energia dos elétrons secundários é máxima para uma determinada energia  $E_m$ , que depende fortemente do ângulo de emissão.

## QUESTÃO 100

Em algumas situações, a deposição de filmes finos requer íons de baixa energia que incidam perpendicularmente no substrato. Acerca dessas situações, assinale a opção correta.

- A Descargas baseadas na injeção de micro-ondas na frequência eletrociclôtrônica produzem plasmas que favorecem esse tipo de deposição.
- B Tochas de plasma produzem feixes de íons que atendem aos requerimentos descritos.
- C O *magnetron* possui uma geometria que favorece esse tipo de deposição.
- D A imersão do substrato no plasma garante a incidência perpendicular dos íons.
- E A aplicação de um campo magnético externo não favorece esse tipo de deposição.

## 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

Um bom exemplo da aplicação prática do problema da interação entre íons e a matéria é a implantação de íons em sólidos. Íons com energia entre 20 keV e 300 keV são atirados contra a superfície de sólidos e devem penetrar a estrutura atômica do material, alcançando uma posição de repouso, várias camadas abaixo da superfície. Esses íons podem ser provenientes de fontes aceleradoras de íons, ou de um plasma, no qual o sólido está imerso. Neste último caso, os íons ganham energia ao atravessar a bainha de plasma. Em um processo de implantação característico, um feixe energético de íons é direcionado contra a superfície de um sólido, sendo que, em alguns poucos casos, a estrutura cristalina do sólido permitirá que o feixe de íons se propague através de algumas camadas sem colidir com os átomos. Isso ocorre porque a estrutura cristalina ordenada pode favorecer o aparecimento de canais ou tubos por onde os íons podem trafegar. O mais comum, no entanto, é que os íons colidam imediatamente com os átomos da estrutura cristalina, e se desloquem no interior do sólido de forma aleatória. Como é preferível que os íons sejam implantados a uma distância conhecida da superfície do sólido, é desejável que eles não trafeguem por canais, e sim que percam sua energia após sucessivas colisões.

J. R. Roth. **Industrial plasma engineering**. Vol. 2, Cap. 14, p. 31. IOP, Bristol, 2001 (com adaptações).

Considerando que o fragmento de texto acima tem caráter unicamente motivador, e que, na duração do processo de implantação, íons energéticos podem interagir com a estrutura cristalina em dois regimes: um que pode ser bem descrito pela mecânica clássica e outro que necessita da descrição quântica, redija um texto dissertativo acerca do seguinte tema.

### REGIMES DA INTERAÇÃO DE ÍONS ENERGÉTICOS COM A ESTRUTURA CRISTALINA

Ao elaborar seu texto, responda, de modo justificado, aos questionamentos.

- ▶ Que parâmetros podem ser utilizados para estabelecer o regime da interação?
- ▶ Qual desses regimes é encontrado na maior parte das aplicações industriais?

**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**

Desde a sua invenção, a microscopia de varredura de tunelamento (1982) e a microscopia de força/varredura atômica (1986), sua técnica variante, tiveram um impacto tão notável em diversas áreas de ciência, que os seus inventores, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, foram laureados com o prêmio Nobel de 1986. Essas técnicas de microscopia têm aplicação na formação de imagens, metrologia e manipulação em nível nanométrico. Certamente a microscopia de varredura atômica é vista como uma ferramenta essencial para nanotecnologia, sendo considerada uma janela para o mundo nano. Diferentemente do microscópio de varredura de tunelamento, cujo funcionamento é fundamentado apenas em um processo quântico, o microscópio de varredura atômica é um instrumento versátil, que pode ser fundamentado em diferentes tipos de interações, tanto mecânicas quanto quânticas.

Tendo o texto acima como referência inicial e considerando que a escala e a variedade de interações em um microscópio de força atômica estão no limite da transição entre fenômenos clássicos e quânticos, razão por que a compreensão de todos os elementos envolvidos na aquisição de dados é de vital importância para a sua correta interpretação e eliminação de possíveis artefatos, redija um texto dissertativo acerca da estrutura e funcionamento de um microscópio de força atômica. Ao elaborar seu texto, aborde, necessariamente, os seguintes aspectos:

- ▶ modos de operação de um microscópio de força atômica;
- ▶ propriedades desejadas dos cantilêveres;
- ▶ modos de detecção da intensidade de deflexão do cantilêver;
- ▶ principais materiais utilizados na fabricação de ponta de prova para medidas de força atômica;
- ▶ técnicas para caracterização das pontas de prova;
- ▶ principais interações entre ponta de prova e amostra;
- ▶ principais técnicas variantes da microscopia de força atômica.

**RASCUNHO – QUESTÃO 2**

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	

