



Fundação CECIERJ – Vice Presidência de Educação Superior a Distância

Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação

Gabarito da 2ª Avaliação à Distância de Física para Computação – 2011/II

Nome: _____

Pólo: _____

Questão	Valor	Nota
1ª Questão	2,0	
2ª Questão	2,0	
3ª Questão	2,0	
4ª Questão	2,0	
5ª Questão	2,0	
Total	10,0	

Observação: Em todas as questões, explique passo a passo todas as etapas do seu desenvolvimento. Não se limite à aplicação de fórmulas. Desse modo, resultados parciais e evidências de compreensão do conteúdo pertinente podem ser considerados e pontuados.

1ª Questão:

Explique a diferença entre um campo magnético B e o fluxo de um campo magnético Φ_B . Eles são vetores ou escalares? Em que unidades cada um pode ser expresso? Como essas unidades se relacionam? Um deles ou ambos ou nenhum são propriedades de um dado ponto no espaço?

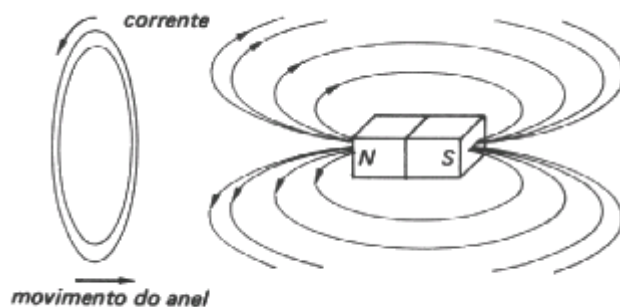
Um campo magnético é um campo vetorial que é criado por materiais com propriedades magnéticas, ou cargas elétricas em movimento, em uma certa região. O fluxo de um campo magnético é uma medida de quanto do magnetismo expresso pelo campo atravessa uma região. Como utilizamos linhas orientadas para representar pictoricamente o campo (as linhas de campo), associa-se o fluxo ao número de linhas de um campo magnético que passam através de uma superfície. Em um dado ponto do espaço, onde a intensidade do campo de zero seja diferente de zero, a contribuição deste campo para o fluxo através de uma superfície pode variar, desde um valor máximo (ou mínimo, dependendo do sentido), se o campo for perpendicular à superfície (paralelo à normal à superfície) até zero, neste caso se o campo for paralelo à superfície (perpendicular à normal à superfície). O campo magnético é uma grandeza vetorial enquanto um fluxo do campo magnético é um escalar. A intensidade do campo magnético é medida, no SI, em tesla (T), isto é, newton dividido pelo produto entre ampère e segundo, enquanto o fluxo magnético é medido, no SI, como weber (Wb), isto é, tesla por metro². No SI o tesla é equivalente a weber/metro². Observe que o campo magnético pode ser visto como uma propriedade associada a um dado ponto no espaço enquanto o fluxo magnético não, pois pela própria definição envolve uma determinada superfície.

2ª Questão:

- a) Explique o que se pode fazer para mostrar que “um campo magnético variável produz um campo elétrico”.
- b) Explique como se pode mostrar que “um campo elétrico variável produz um campo magnético”.

Solução:

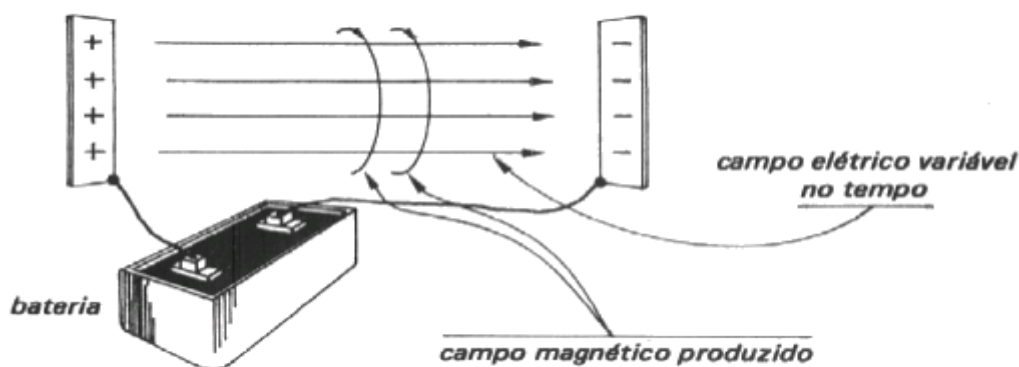
(α) Imagine um ímã e um anel:



Aproximando o anel do ímã, aparecerá uma corrente elétrica no anel.

Considere o ímã perpendicular ao plano do anel. Movendo-se o ímã ou o anel, seja afastando-os ou aproximando-os, aparecerá uma corrente no anel, causada por um campo elétrico criado devido à variação do fluxo magnético através do anel. A corrente que aparece é, de certa forma, uma reação ao aumento (por exemplo) do fluxo através da superfície delimitada pelo anel e, por isso, ela surge no sentido que, pela “regra da mão direita”, produz um fluxo contrário ao alterado pelo movimento do ímã.

(β) Agora imagine duas placas paralelas sendo carregadas progressivamente:



Durante o crescimento das cargas nas placas, o campo elétrico aumenta, produzindo um campo magnético (devido à variação do campo elétrico) que circula o campo elétrico em crescimento (cf a figura).

3ª Questão:

Uma partícula se encontra em uma região unidimensional, centrada em $x=0$, sob a influência de um potencial atrativo. Compare as funções de onda da partícula para os casos de o potencial ser um poço atrativo finito (profundidade $-V_0$) e infinito (caixa), entre $-L/2$ e $L/2$, com $V=0$ fora da região $[-L/2, L/2]$. Discuta a possibilidade de a partícula ser encontrada fora desta região, em ambos os casos. Ilustre graficamente sua explicação representando o estado fundamental e o primeiro estado de energia da partícula a qual possui energia menor que zero.

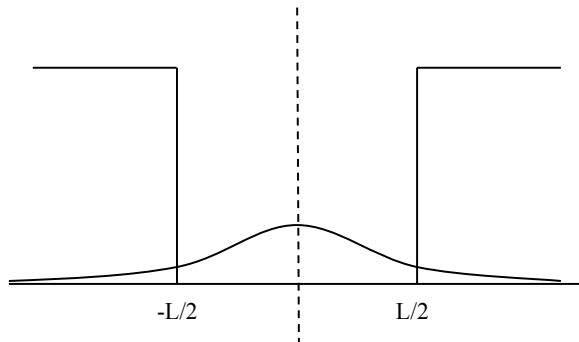
Solução:

Para o caso finito temos:

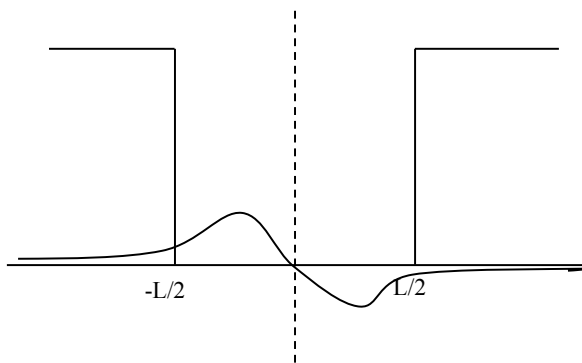
Não há região onde a partícula não possa ser encontrada, pois a probabilidade (produto da

densidade de probabilidade pelo intervalo) de onde encontrá-la é diferente de zero em todo o domínio. Há regiões onde a probabilidade é muito reduzida, como no caso, da vizinhança dos valores nulos da função de onda. A seguir, os gráficos para os dois primeiros estados de energia, observem que os gráficos se comportam como exponenciais negativas fora do poço:

Nível 1:



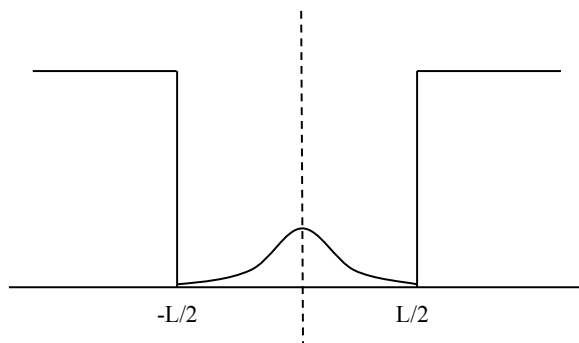
Nível 2:



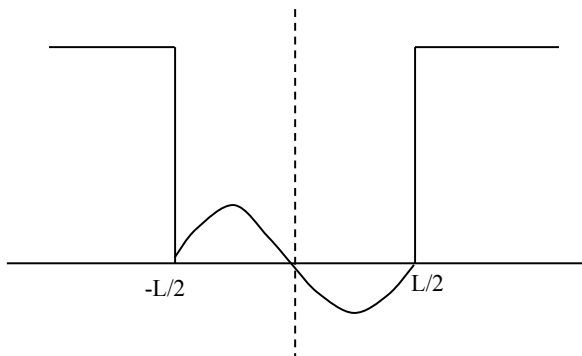
Para o caso infinito temos:

A partícula não pode ser encontrada fora da região, pois a probabilidade (produto da densidade de probabilidade pelo intervalo) de onde encontrá-la é diferente de zero somente entre $-L/2$ e $L/2$. A seguir, os gráficos para os dois primeiros estados de energia:

Nível 1:



Nível 2:



4ª Questão:

(i) Enuncie o princípio da dualidade onda-partícula de *de Broglie*.

A dualidade onda-partícula, também denominada dualidade onda-corpúsculo constitui uma propriedade básica dos entes físicos em dimensões atômicas - e por esta razão descritos pela mecânica quântica - que consiste na capacidade dos entes físicos subatômicos de se comportarem ou terem propriedades tanto de partículas como de ondas.

A dualidade partícula-onda foi enunciada pela primeira vez, em 1924, pelo físico francês Louis de Broglie, que anunciou que os elétrons apresentavam características tanto ondulatórias como corpusculares, comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico. A experiência de Young (experiência da dupla fenda) de Thomas Young exemplifica o comportamento ondulatório do elétron. Anteriormente já se conhecia o comportamento dos elétrons como partículas.

De Broglie fundou seu raciocínio, inicialmente, na intuição e nos conhecimentos acerca do efeito fotoelétrico para chegar a esta conclusão. Durante seus estudos acerca do efeito fotoelétrico - estudo que lhe rendeu o Prêmio Nobel - Albert Einstein havia concluído que os fótons que atuavam no efeito fotoelétrico exibiam todas as propriedades esperadas de um feixe de partículas, comportando-se cada qual como uma partícula com energia $E=h \cdot f$, onde f representa a frequência de oscilação da onda eletromagnética associada aos fótons em consideração. Einstein concluiu desta forma que, em determinados processos, as ondas se comportam como se fossem corpúsculos/partículas. De Broglie imaginou, então, o inverso; ou seja, se ondas se comportam como partículas, porque não esperar que partículas se comportem como ondas? Levando sua ideia a cabo e confrontando-a com dados empíricos o físico francês foi capaz de relacionar com sucesso o comprimento de onda associado ao comportamento ondulatório da "partícula" com a massa da referida "partícula" mediante a fórmula $\lambda=h/P$, onde P representa o módulo do vetor quantidade de movimento, P , ou seja, o produto da massa pelo módulo da velocidade ($m \cdot v$) do ente; h representa a constante de Planck, e ' λ ', o comprimento de onda associado.

Observando-se a fórmula verifica-se facilmente que, à medida que a massa ou sua velocidade aumenta, diminui consideravelmente o comprimento de onda. Os corpos macroscópicos têm associada uma onda, porém a massa é tão grande que se pode afirmar que apresenta um comprimento de onda desprezível, porém não nulo. Embora no mundo macroscópico tais efeitos ondulatórios sejam por tal imperceptíveis, no mundo subatômico estes certamente não o são, e por esta razão, na hora de se falar sobre "partículas" atômicas é muito importante se considerar a dualidade - já que o comportamento ondulatório determinado pelo comprimento de onda que possuem é a única forma de se explicar muitos de seus fenômenos.

Alguns propõem explorando os recursos de linguagem (neologismo) que não se tem "partículas" e "ondas" no mundo quântico e, sim, apenas "partículas-onda" - entes físicos que se comportam ora como partícula, ora como onda.

(ii) Explique o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

O princípio da incerteza de Heisenberg consiste num enunciado da mecânica quântica, formulado inicialmente em 1927 por Werner Heisenberg, impondo restrições à precisão com que se podem efetuar medidas simultâneas de uma classe de pares de observáveis.

Pode-se exprimir o princípio da incerteza nos seguintes termos:

O produto da incerteza associada ao valor de uma coordenada x_i e a incerteza associada ao seu correspondente momento linear π não pode ser inferior, em grandeza, à constante de Planck normalizada.

Em termos matemáticos, exprime-se assim:

$$\Delta x_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2},$$

onde \hbar é a Constante de Planck (h) dividida por 2π .

A explicação disso é fácil de se entender, e fala mesmo em favor da intuição, embora o raciocínio clássico e os aspectos formais da análise matemática tenham levado os cientistas a pensar diferentemente por muito tempo

Quando se quer encontrar a posição de um elétron, por exemplo, é necessário fazê-lo interagir com algum instrumento de medida, direta ou indiretamente. Por exemplo, faz-se incidir sobre ele algum tipo de radiação. Tanto faz aqui que se considere a radiação do modo clássico - constituída por ondas eletromagnéticas - ou do modo quântico - constituída por fótons. Se se quer determinar a posição do elétron, é necessário que a radiação tenha comprimento de onda da ordem da incerteza com que se quer determinar a posição.

Nesse caso, quanto menor for o comprimento de onda (maior frequência) maior é a precisão. Contudo, maior será a energia cedida pela radiação (onda ou fóton) em virtude da relação de Planck entre energia e frequência da radiação

$$E = h \cdot \eta,$$

e o elétron sofrerá um recuo tanto maior quanto maior for essa energia, em virtude do efeito Compton. Como consequência, a velocidade sofrerá uma alteração não de todo previsível, ao contrário do que afirmaria a mecânica clássica.

Argumentos análogos poderiam ser usados para se demonstrar que ao se medir a velocidade com precisão, alterar-se-ia a posição de modo não totalmente previsível.

Resumidamente, pode-se dizer que tudo se passa de forma que quanto mais precisamente se medir uma grandeza, forçosamente mais será imprecisa a medida da grandeza correspondente, chamada de canonicamente conjugada.

Algumas pessoas consideram mais fácil o entendimento através da analogia. Para se descobrir a posição de uma bola de plástico dentro de um quarto escuro, podemos emitir algum tipo de radiação e deduzir a posição da bola através das ondas que "batem" na bola e voltam. Se quisermos calcular a velocidade de um automóvel, podemos fazer com que ele atravesse dois feixes de luz, e calcular o tempo que ele levou entre um feixe e outro. Nem radiação nem a luz conseguem interferir de modo significativo na posição da bola, nem alterar a velocidade do automóvel. Mas podem interferir muito tanto na posição quanto na velocidade de um elétron, pois aí a diferença de tamanho entre o fóton de luz e o elétron é pequena. Seria, mais ou menos, como fazer o automóvel ter de atravessar dois troncos de árvores (o que certamente alteraria sua velocidade), ou jogar água dentro do quarto escuro, para deduzir a localização da bola através das pequenas ondas que baterão no objeto e voltarão; mas a água pode empurrar a bola mais para a frente, alterando sua posição. Desta forma torna-se impossível determinar a localização real desta bola pois a própria determinação mudará a sua posição. Apesar disto, a sua nova posição pode ser ainda deduzida, calculando o quanto a bola seria empurrada sabendo a força das ondas obtendo-se uma posição provável da bola e sendo provável que a bola esteja localizada dentro daquela área.

5ª Questão:

(i) Conceitue banda de energia e a partir desse conceito explique o que são semicondutores. Esboce um esquema das bandas de energia para condutores, isolantes e semicondutores.

(ii) Explique o conceito de supercondutores e dê exemplos de possíveis aplicações deles.

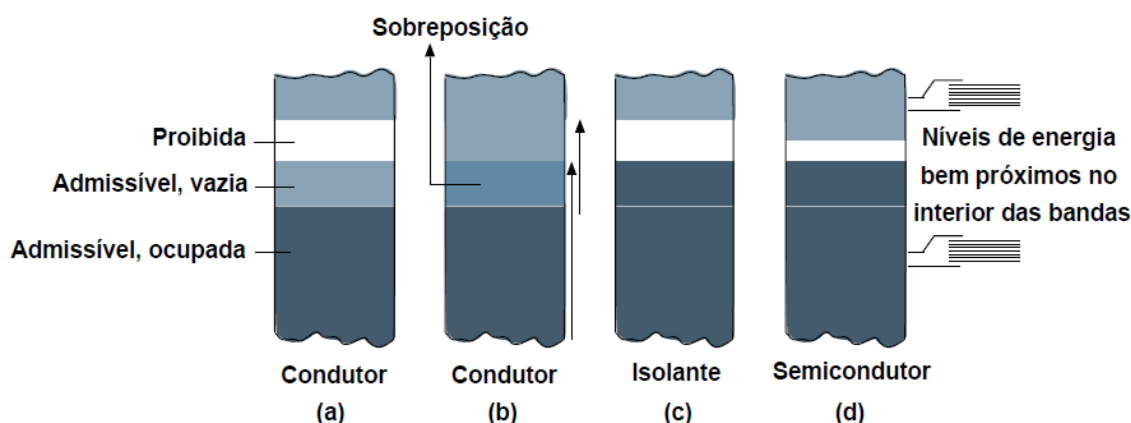
SOLUÇÃO:

(i) Inicialmente, como estudamos no caso mais simples, do modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, a física quântica explica, no caso de limitação do movimento de elétrons a uma região limitada do espaço, esses podem ocupar apenas estados discretos de energia. Dizemos que esses elétrons possuem energia quantizada.

O que ocorre quando átomos se agrupam formando um sólido? Os elétrons de cada átomo em um sólido estão sujeitos à interação com os átomos vizinhos. Ao aproximarmos um átomo isolado a outros, os níveis de energia de cada um são perturbados levemente pela presença dos vizinhos pois o Princípio de Exclusão de Pauli não permite que ocupem níveis de energia iguais. Se

aproximarmos um grande número de átomos, teremos um grande número de níveis de energia próximos uns dos outros, formando uma "banda de energia" quase contínua no lugar dos discretos níveis de energia que os átomos teriam individualmente. Os níveis de energia, em cada faixa/banda de energia, podem estar ocupados ou vazios. As faixas/bandas se relacionam com a mobilidade dos elétrons em um material sólido (cristal). Os níveis de energia de átomos individuais são, em geral, bem afastados, especialmente os de mais baixa energia. As bandas podem se apresentar muito separadas ou próximas, em termos de energia. As faixas/bandas de energia mais baixa são preenchidas com os elétrons ligados aos átomos individuais, ou seja, de pouca mobilidade. Os elétrons que podem conduzir são os das bandas de energia mais alta. A banda mais alta que possui elétrons é denominada banda de valência. Esta pode estar parcial ou totalmente preenchida (depende do tipo de átomo e suas ligações no sólido). Se estiver parcialmente preenchida, haverá facilidade de um elétron, sob a ação de um campo elétrico, passar para um estado com energia um pouco maior, disponível na mesma banda. Logo, este material será um bom condutor. Se a banda de energia estiver totalmente preenchida e houver grande diferença de energia entre ela e a próxima banda, um campo elétrico moderado não consegue fazer com que os elétrons passem a estados energéticos maiores. Este tipo de material é isolante. A banda mais baixa na qual existem estados não ocupados é denominada banda de condução. Em um condutor, a banda de valência é também uma banda de condução. A diferença/distância em energia entre as bandas admissíveis é a banda proibida de energia. No caso de semicondutores temos uma diferença de energia pequena que é superável com agitação térmica. Assim, elétrons que passem a essa faixa de energia acima deixam estados disponíveis, denominados "buracos" na banda de valência.

A estrutura de bandas/faixas de energia para materiais condutores, isolantes e semicondutores pode ser ilustrada pela figura a seguir:



(ii) Explique o conceito de supercondutores e dê exemplos de possíveis aplicações deles.

Solução.: Supercondutividade - é uma propriedade física, intrínseca a certos materiais. Estes, quando resfriados a temperaturas extremamente baixas, tendem a conduzir corrente elétrica sem resistência nem perdas.

Essa propriedade foi descoberta em 1911, pelo Kamerlingh Onnes. A supercondutividade foi pela primeira vez notada enquanto Onnes observava o comportamento do mercúrio quando resfriado a 4 K (-269,15 °C).

Para uma descrição adequada da supercondutividade, conceitos da física quântica são necessários. O estado supercondutor macroscópico deve ser descrito por uma única função de onda. A supercondutividade não pode ser entendida simplesmente como a idealização de um condutor perfeito como na física clássica. No âmbito da física clássica, a resistividade elétrica dos condutores metálicos, que decresce gradualmente quando se diminui a temperatura, é associada com a probabilidade de um elétron condutor "colidir" com os átomos do material. No entanto, em condutores normais como o cobre e a prata, esse decréscimo de resistividade com a temperatura é

limitado por impurezas e outros defeitos. Mesmo próximo ao zero absoluto, uma amostra de cobre apresenta resistência, mas num supercondutor a resistência cai abruptamente a zero quando o material é resfriado abaixo de sua temperatura crítica. A corrente elétrica fluindo em um circuito feito de fios supercondutores pode persistir indefinidamente sem qualquer fonte de energia.

Um dos fatores limitantes para aplicação e pesquisa dos supercondutores no passado foi a necessidade de atingir baixíssimas temperaturas. Isto inviabilizou o uso da supercondutividade em larga escala. Mas em 1986 foram descobertos alguns materiais cerâmicos que exibiam temperaturas críticas próximas de 90 °K (-183 °C). Os supercondutores de altas-temperaturas renovaram o interesse no estudo e na possível comercialização em larga escala, viabilizando novas perspectivas de melhoria nos materiais existentes e no potencial de engenharia na criação de novos materiais supercondutores próximo à temperatura ambiente.

A supercondutividade tem várias aplicações. Os magnetos supercondutores são alguns dos mais poderosos eletroímãs conhecidos, são na maioria das vezes usados em máquinas de ressonância magnética (MRI) e ressonância magnética nuclear (NMR). Eles também podem ser usados para promover a separação magnética, onde as partículas fracamente magnéticas são coletadas num grupo de partículas não-magnéticas, como nas indústrias de pigmentos.

Nas décadas de 1950 e 1960, os supercondutores (de baixa temperatura, em ambiente refrigerados a He líquido, de custo elevado) foram usados para construir experimentalmente computadores digitais utilizando os “cryotron switches”. Mais recentemente, os supercondutores têm sido utilizados na construção de circuitos digitais baseados na tecnologia quântica de fluxo rápido, RF e filtros de microondas para estações base de telefonia móvel.

Supercondutores também são usados para construir junções de Josephson, conhecidos como blocos SQUIDs (dispositivos supercondutores de interferência quântica), considerados os magnetômetros mais sensíveis conhecidos. Os SQUIDs são usados em microscópios de varredura SQUID e magnetoencefalografia. A grande mudança na resistência na transição do estado normal para o estado supercondutor é usada para construir os termômetros detectores de fóton em estado criogênico.

Aplicações futuras incluem redes inteligentes de alta performance, transmissão de energia elétrica, transformadores, dispositivos de armazenamento de energia, motores elétricos (por exemplo, para propulsão de veículos, como em vactrains ou trens maglev), dispositivos de levitação magnética. No entanto, a supercondutividade é sensível aos campos magnéticos em movimento o que limita as aplicações que usam corrente alternada.