

**Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação**

**Gabarito da 2ª Avaliação Presencial de Física para Computação - 2011.1**

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

Pólo: \_\_\_\_\_

*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. É permitido o uso de máquina de calcular.*

Questão	Valor	Nota
1ª Questão	2,0	
2ª Questão	3,0	
3ª Questão	3,0	
4ª Questão	2,0	
<b>Total</b>	<b>10,0</b>	

**1ª Questão.**

Exemplifique a importância do comprimento de onda e da frequência no comportamento da radiação em sua interação com os materiais.

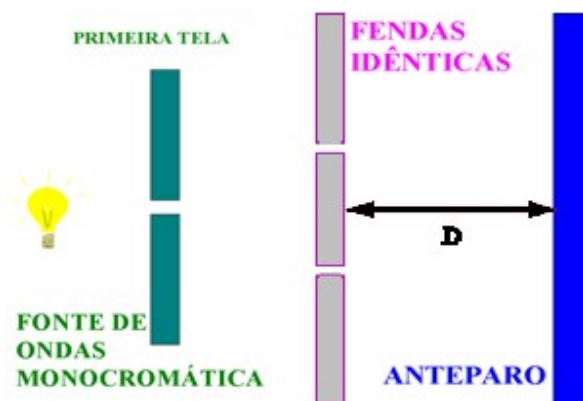
O comprimento de onda e frequência são fundamentais em relação ao comportamento da radiação em sua interação com os materiais. Por exemplo, microondas possuem comprimentos de onda de poucos centímetros e frequências semelhantes às frequências de ressonância das moléculas de água, presentes nos sólidos e nos líquidos. Assim, quando os alimentos são submetidos à radiação na faixa de microondas, são estimulados modos de vibração associados às moléculas de água, por exemplo, fazendo-as vibrar. Desta forma, como as moléculas de água estão em meio a outras, por contiguidade ocorre a transmissão dessa energia vibracional, produzindo-se o aquecimento do material. O exemplo das microondas está associado à velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas, a mesma da luz. Em casos como o de ondas mecânicas, algo semelhante acontece. Por exemplo, um barco pequeno apresenta um “sobe e desce” em meio a ondas no mar quando essas ondas tem comprimento de onda muito maior do que as dimensões do barco sem que, no entanto tendam a fazer tal barco virar. Por outro lado, quando as ondas tem comprimento de onda muito pequeno, elas pouco alteram o comportamento do barco (claro, se a amplitude das oscilações for pequena). Ou seja, o comprimento de onda tem que se ajustar àquilo com o que vai

interagir para que ocorra o estímulo. Efetivamente, se as ondas tiverem comprimento semelhante às dimensões do barco, ele poderá ser virado pela ação dessas ondas. Isto se aplica de modo amplo a todas as interações de natureza ondulatória com a matéria.

## 2ª Questão.

(a) Esboce o aparelho utilizado no experimento de Young, em que radiação eletromagnética coerente proveniente de duas fendas chega a um anteparo. Explique qualitativa e quantitativamente o fenômeno.

Uma fonte de luz monocromática é colocada atrás de uma tela opaca contendo uma estreita fenda da ordem de um micron (no caso do experimento de Young. Em outros experimentos de interferência a largura da fenda pode ser diferente). Logo em seguida aparece uma segunda tela, provida de duas fendas idênticas. Caso a luz fosse um feixe de partículas andando em linha reta, não se observaria nada no anteparo, pois toda a luz seria barrada na segunda tela. No entanto, são obtidas várias franjas claras e escuras que correspondem às interferências construtivas e destrutivas respectivamente, sobre uma terceira tela (esta, sem fendas). A interferência ocorre pela diferença de caminho entre os dois feixes de onda que saem das duas fendas situadas na segunda tela. Se esta diferença for um múltiplo inteiro de um comprimento de onda " $\lambda$ ", ocorrerá interferência construtiva, aparecendo a franja clara. Do mesmo modo, se a diferença de caminho for um número ímpar de meios comprimentos de onda ( $\lambda/2$ ), acontecerá a interferência destrutiva, aparecendo a franja escura. As situações descritas são habitualmente mencionadas como "franjas claras" e "franjas escuras". Porém, existe uma variação contínua de luminosidade entre "claro" e "escuro". Ou seja, não ocorre interferência apenas nos pontos claros e escuros. A figura de interferência resultante apresenta claros e escuros, mas a interferência acontece em todo o espaço.



(b) Dentro deste contexto, explique o que acontece com a energia das ondas de radiação eletromagnética no anteparo quando ocorre uma interferência destrutiva.

A luz (onda eletromagnética) transporta energia e esta energia pode ser obtida a partir dos valores dos campos elétricos e magnéticos. A intensidade luminosa, produzida por uma onda eletromagnética, é proporcional ao valor desta energia. Quando ondas idênticas (a menos de uma diferença de fase) provenientes de duas fontes superpõem-se em um ponto do espaço, os valores dos campos elétrico e magnético se

combinam e resultam em valores somados de módulos maiores ou menores que os de uma das ondas. Podem mesmo ter módulo zero em alguns pontos. Esse efeito constitui a Interferência. Portanto, a intensidade resultante das ondas combinadas pode ser maior ou menor do que a intensidade de cada uma delas. Assim quando ocorre interferência destrutiva a energia das ondas combinadas nesses pontos é nula, porque os campos elétrico e magnético resultantes associados a ela são nulos. Quando os campos somados não se cancelam, a energia associada a eles (grosso modo refere-se ao módulo das amplitudes dos campos elétrico e magnético multiplicadas, com o resultado deste produto elevado ao quadrado) é diferente de zero. Se houver um cancelamento dos campos, a energia luminosa em tal ponto será zero. Evidentemente, a energia luminosa vai variar continuamente entre o valor máximo (no centro da figura de interferência) e zero, retornando a um valor alto (menor do que o primeiro), e posteriormente a zero, e assim por diante, com diminuição das intensidades luminosas máximas à medida que se afasta do centro da figura de interferência.

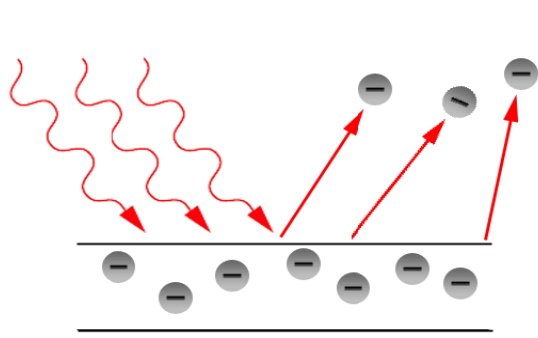
### **3ª Questão.**

(a) De acordo com o modelo de Bohr, se um elétron no átomo de hidrogênio passa para uma órbita de raio médio maior, sua energia total aumenta ou diminui? Qualquer variação de energia seria permitida a tal elétron? Explique sua resposta.

A energia cinética está relacionada ao valor esperado da velocidade. Este diminui conforme o elétron se move para camadas mais externas (longe do núcleo). Portanto, quanto maior o raio, menor a energia cinética. Ademais, os estados eletrônicos em que o elétron se situa mais próximo ao núcleo são “mais ligados”, ou seja, o elétron tem energia mais baixa, fica mais “preso” no poço de potencial. Portanto, em camadas mais externas, o elétron fica menos “preso” ao poço de potencial. Ou seja, em camadas mais externas, a composição das duas energias resulta em que a energia total do elétron é maior do que nas camadas mais internas.

(b) O efeito fotoelétrico está relacionado com a liberação de elétrons de átomos por meio do fornecimento a eles de quantidades de energia contínua ou discretamente distribuídas? Explique sua resposta.

Através do efeito fotoelétrico pode-se demonstrar o caráter quântico da radiação eletromagnética. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta, que depende do material. Ele pode ser observado quando a luz incide numa placa de metal, literalmente arrancando elétrons da placa. Os elétrons que giram à volta do núcleo são aí mantidos por forças de atração. Se a estes for fornecida energia suficiente, eles abandonarão as suas órbitas. O efeito fotoelétrico ocorre quando, normalmente sobre metais, se faz incidir um feixe de radiação com energia superior à energia de remoção dos elétrons do metal, provocando a sua saída das órbitas: sem energia cinética (se a energia da radiação for igual à energia de remoção) ou com energia cinética, se a energia da radiação exceder a energia de remoção do elétrons.



A grande dúvida que se tinha a respeito do efeito fotoelétrico era que, quando se aumentava a intensidade da luz, ao contrário do esperado, a luz não arrancava os elétrons do metal com maior energia cinética. O que acontecia era que uma maior quantidade de elétrons era ejetada. Por exemplo, a luz vermelha de baixa frequência estimula os elétrons para fora de uma peça de metal. Na visão clássica, a luz é uma onda contínua cuja energia está espalhada sobre a onda. Todavia, quando a luz fica mais intensa, mais elétrons são ejetados, contradizendo, assim a visão da física clássica que sugeria que os mesmos deveriam simplesmente se mover mais rápido. Quando a luz incidente é de cor azul, essa mudança resulta em elétrons muito mais rápidos, ainda na visão clássica. A razão é que a luz pode se comportar não apenas como ondas contínuas, mas também como feixes discretos de energia chamados de fótons. Um fóton que tem energia associada à cor azul, por exemplo, contém mais energia do que um fóton que tem energia associada à cor vermelha. Assim, o “fóton azul” age essencialmente como uma “bola de bilhar” com mais energia, desta forma transmitindo maior quantidade de movimento a um elétron. Esta interpretação corpuscular da luz também explica por que a maior intensidade aumenta o número de elétrons ejetados - com mais fótons colidindo no metal, mais elétrons têm probabilidade de serem atingidos.

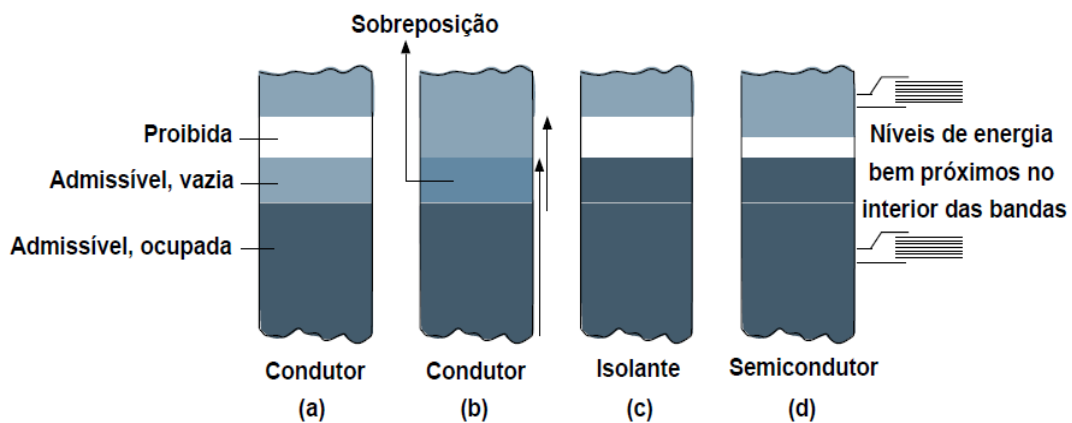
#### 4ª Questão.

Esboce um esquema das bandas de energia para condutores, isolantes e semicondutores. Explique o que seria, neste contexto, o processo de dopagem.

A estrutura de bandas reflete a distribuição dos níveis de energia disponíveis para os elétrons, nos materiais sólidos. Os níveis de energia de átomos individuais são, em geral, bem afastados, especialmente os de mais baixa energia. Quando são aproximados dois átomos, a interação entre eles provoca a alteração de níveis energéticos disponíveis aos elétrons. Aproximando-se vários átomos, acontece que os níveis de energia disponíveis aos elétrons, ainda que discretamente distribuídos, podem ser em número muito grande, mas com valores de energia próximos. Eles se organizam em faixas (bandas) de valores, associadas à possibilidade de os elétrons estarem mais ligados, ou menos ligados, aos átomos (mais restritos à região de seus núcleos). As bandas podem se apresentar muito separadas ou próximas, em termos de energia. As bandas de energia mais baixa são preenchidas com os elétrons ligados aos átomos individuais. 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 de 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, deixa “buracos” (lacunas, ausências de elétrons) na banda de valência.

A estrutura de bandas de energia para materiais condutores, isolantes e semicondutores é dada pela figura:



O processo de dopagem é a adição de impurezas químicas elementares em um semicondutor com a finalidade de dotá-lo de propriedades de semicondução controlada específica para aplicação em dispositivos eletrônicos elementares de circuitos. A dopagem cria, então, níveis de energia entre as bandas de valência e condução, de modo a facilitar a condução.