

**Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação**

**Gabarito da 2ª AP de Física para Computação - 2011.2**

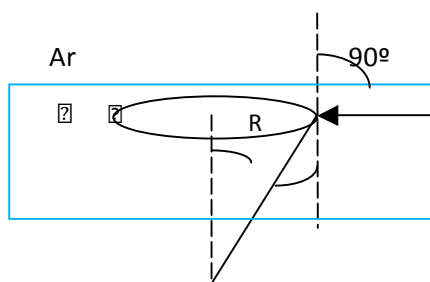
Nome: \_\_\_\_\_

Pólo: \_\_\_\_\_

**1ª Questão.**

Você está aproveitando um belo feriado na piscina. Quando está debaixo d'água, você olha para cima e verifica que pode ver objetos acima do nível da água em um círculo de luz com raio de aproximadamente 1,8m, e que o resto da sua visão é a cor dos lados da piscina, abaixo da linha da água. Qual é a sua profundidade na piscina? Adote o índice de refração da água igual a 1,3 e o índice de refração do ar igual a 1,0. Explique detalhadamente.

Você pode determinar a profundidade da piscina a partir do raio de luz e do ângulo no qual a luz está entrando em seus olhos nos limites do círculo. Na fronteira do círculo a luz está entrando na água com  $90^\circ$ , então o ângulo de refração na superfície ar-água é o ângulo crítico para refração interna total na superfície água-ar.



Observando a figura podemos observar que a profundidade  $y$  está relacionada com esse ângulo e o raio do círculo  $R$  por

$$\operatorname{tg} \theta_c = \frac{R}{y}.$$

Assim,

$$y = \frac{R}{\operatorname{tg}\theta_c}$$

E temos que o ângulo crítico para refração interna total na superfície água-ar:

$$\operatorname{sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,3} = 0,77$$

O que nos dá:

$$\theta_c = 50,35^\circ$$

Resolvendo y temos:

$$y = \frac{R}{\operatorname{tg}\theta_c} = \frac{1,8\text{m}}{\operatorname{tg}50,35^\circ} \sim 1,5\text{m}$$

## 2ª Questão.

(a) Descreva o experimento de Faraday a partir da figura a seguir, em que se aproxima um ímã em forma de barra da espira, com polo positivo na apontado para a espira. A espira é parte de um circuito que contém um amperímetro. Se, em sua explicação, uma corrente for gerada, explique qual o sentido dela. Se, diferentemente, o ímã for aproximado com o polo negativo, explique o que ocorreria de diferente. Em ambos os casos, depois de aproximar o ímã, ele é mantido parado. Neste caso, qual é a corrente na espira?

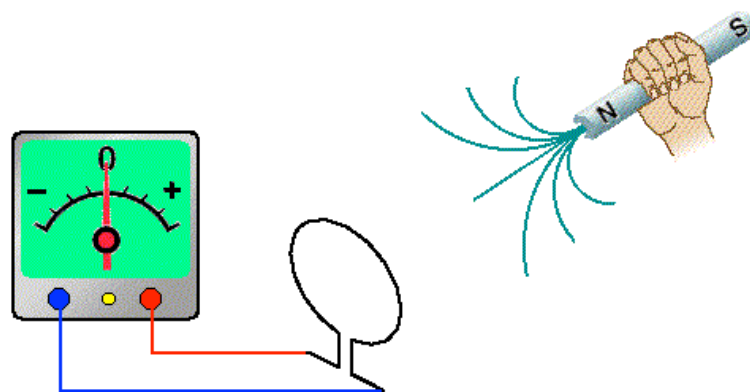


Figura: Animação em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/eleticidade-e-magnetismo/lei-de-faraday.php>

(a) Quando um ímã é movimentado nas proximidades de uma espira condutora fechada, conforme mostra a figura 01, surge uma força eletromotriz induzida nesta espira, e uma

corrente elétrica pode ser detectada neste circuito. A lei de Faraday expressa apenas o aspecto experimental da força eletromotriz induzida. Em 1834, o físico russo Heinrich E. Lenz (1804-1865) estipulou que a força eletromotriz é igual ao negativo da variação do fluxo magnético no interior da espira, assumindo a forma:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Assim, a lei de Lenz evidencia o aparecimento de uma reação contrária à ação provocada pelo ímã. Ou seja, se o norte do ímã se aproxima da espira, o sentido da força eletromotriz é anti-horário (considerando o ponto de vista de que o observador está observando a aproximação do ímã com seus olhos junto ao pólo positivo). Isto porque, conforme convencionado, o norte é o sentido positivo da magnetização. Por sua vez, o sentido do movimento das cargas positivas coincide com o sentido da força eletromotriz induzida, conforme mostrado na figura abaixo.

Na figura, o símbolo  $\otimes$  denota que a velocidade do ímã, é “para dentro” do plano da espira. À medida que a velocidade diminui, o fluxo diminui progressivamente até se anular quando o ímã para.

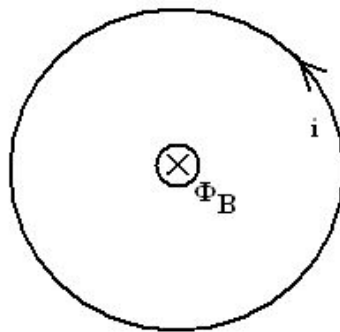


Figura: Representação de uma espira circular percorrida por uma corrente elétrica devido à variação do fluxo magnético: positivo entrando no plano da espira

Se o ímã for aproximado com o seu pólo negativo, o sentido da corrente gerada na espira será contrário ao observado no outro caso. Efetivamente, quanto mais o ímã avança para a espira com seu pólo negativo à frente, cada vez mais linhas passam pela espira “vindo para o ímã” (ou seja, saindo do plano da espira e “vindo para você”). Olhando a espira a partir do ímã o observador verá que se forma uma corrente no sentido horário, com fluxo no sentido do movimento do ímã. Esta surge com o objetivo de aumentar o fluxo de linhas magnéticas “para dentro do plano do papel”. À medida que o ímã vai parando, a corrente acompanha, diminuindo, até zerar.

(b) Considere agora uma situação um pouco diferente. O ímã é aproximado com o polo positivo à frente, movendo-se com velocidade constante, e prossegue depois de passar pelo anel e se afasta pelo outro lado. Neste caso, há corrente na espira? Em qual sentido? Para facilitar sua explicação, suponha que a espira está num plano e você se encontra em frente a ela. Utilize-se das expressões “no sentido horário” e “no sentido anti-horário”.

Este caso inicia de modo semelhante ao primeiro movimento descrito no item (a). Difere, no entanto, pois, neste caso, o ímã não para, prosseguindo através da espira e se afastando pelo outro lado. Assim, o movimento de aproximação produz uma corrente no sentido anti-horário, conforme analisado, que aumenta até o máximo valor. Mas quando o ímã está no centro da espira há o máximo possível de linhas atravessando a espira (no sentido do movimento), **mas não há mais aumento no fluxo através da espira**. Ou seja, quando o ímã passa pelo centro da espira, o fluxo não muda e a corrente induzida, que ocorre pela variação do fluxo magnético, é zero. Após este ponto, o movimento do ímã prossegue e a corrente induzida vai ser no outro sentido, aumentando e depois se reduzindo até zero (assintoticamente, conforme o ímã se distancia da espira).

Em síntese, vale dizer que, se chamarmos o sentido anti-horário inicial (conforme o item (a)) de sentido positivo, o item (b) ocasiona uma corrente crescente, cujo valor inicia em zero, aumenta gradualmente, atinge um máximo e diminui até zero (ímã no centro da espira), prossegue diminuindo (corrente para o outro lado da espira), atinge o mínimo e depois passa a aumentar para gradualmente se aproximar do zero. Se o ponto do centro da espira for chamado de  $x=0$ , a curva de corrente gerada será antissimétrica.

### 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?

Tendo Bohr postulado que os níveis nos quais os elétrons poderiam ser encontrados, em um átomo, eram distribuídos de forma discreta, teria que haver um nível de energia menor, ou seja, um em que o elétron fosse mais “preso” ao núcleo; ademais, haveria outros, com energias sucessivamente maiores, que corresponderiam a elétrons menos presos ao núcleo. Mais que isso, os níveis de energia iriam se compactando até um valor máximo, depois do qual o elétron não ficaria mais ligado ao núcleo. Evidentemente, o elétron “prefere” ficar no nível de energia mais baixo que encontrar disponível. Portanto, só é possível que o elétron receba quantidades específicas, discretamente distribuídas, para subir aos níveis com mais energia. E se uma órbita é mais externa, ela é mais “energética”, e corresponde a distâncias maiores do elétron em relação ao núcleo. A velocidade média do elétron seria, neste caso, menor do que para um estado em que o elétron está mais próximo ao núcleo, mas a energia total é maior. Ou seja, 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. Quando recebe energia, se afasta do núcleo, para “estados menos ligados”.

- (b) O efeito fotoelétrico está relacionado com a liberação de elétrons de átomos por

meio do fornecimento a eles de quantidades de energia contidas na radiação eletromagnética. Os elétrons ficam liberados para conduzir energia, na forma de corrente elétrica. Se a intensidade da radiação é aumentada, são liberados mais elétrons ou a quantidade de elétrons liberada permanece, com estes ganhos de energia? E se a radiação for menor do que aquela que libera elétrons dos átomos, qual a corrente gerada? Explique suas respostas.

O caráter quântico da radiação eletromagnética se expressa neste efeito. 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 retirando elétrons dos átomos que estão na placa. Os elétrons que giram à volta do núcleo são aí mantidos por forças de atração. Se aos elétrons for fornecida energia suficiente, eles abandonarão as suas órbitas e ficarão disponíveis (livres) para conduzir eletricidade. O efeito fotoelétrico foi observado com a incidência, sobre um material oxidado, de um feixe de radiação com energia inferior e, a seguir, superior à energia de remoção dos elétrons do material. Com a radiação luminosa de energia baixa não se observava corrente elétrica, ou seja, não havia elétrons disponíveis para conduzir. Com o aumento gradual da energia da radiação incidente, observou-se que passava a haver a possibilidade de condução (quer dizer, elétrons foram disponibilizados para condução elétrica, logicamente provenientes dos átomos do material da placa), desde que imposta uma diferença de potencial entre as extremidades do material. Explicou-se, então, que os elétrons eram disponibilizados para condução pela sua saída das órbitas onde estavam, sem energia cinética (se a energia da radiação fosse igual à energia de remoção) ou com energia cinética, se a energia da radiação excedesse 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 material. 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 sugere que os mesmos deveriam se mover mais rápido (energia cinética). Quando a luz incidente é de cor azul, por exemplo, essa mudança resulta em elétrons já ejetados com energia cinética maior. 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 associado à cor vermelha. Assim, o “fóton azul” age essencialmente como uma “bola de bilhar” com mais energia, desta forma transmitindo maior movimento a um elétron, desde que sua energia seja superior à de ligação do elétron ao átomo em questão. Esta interpretação corpuscular da luz também explica por que a maior intensidade aumenta o número de elétrons ejetados - com mais fótons colidindo no material, mais elétrons têm probabilidade de ser atingidos. E a intensidade da radiação ficou evidenciada, portanto, como sendo associada a “mais fótons”.

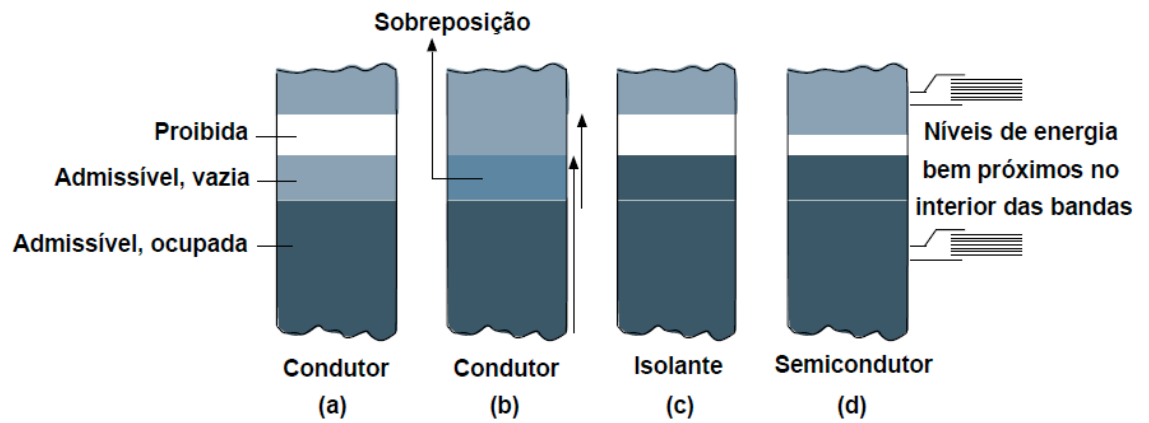
#### 4ª Questão.

- (a) Quando átomos idênticos são aproximados, seus níveis de energia ficam alterados, perturbado pela presença dos campos elétricos que interagem. Dessa forma, criam-se faixas com níveis de energia próximos. Assim, conceitue banda de energia discutindo as faixas de energia nas quais as partículas condutoras podem se encontrar.

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. 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” na banda de valência.

- (b) Esboce um esquema das bandas de energia para condutores, isolantes e semicondutores, explicando detalhadamente o esquema à luz do conceituado no item (a). Explique o que seria, neste contexto, o processo de dopagem.

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



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.

**Boa Prova!**