
DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES (UM EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO)⁺*

Carlos Eduardo Laburú

Osmar Henrique Moura da Silva

Departamento de Física – Universidade Estadual de Londrina

Londrina – PR

Resumo

Este trabalho¹ apresenta um experimento simples para o ensino básico, cujo objetivo é determinar a pressão interna das lâmpadas fluorescentes².

Palavras-chave: *Lâmpada fluorescente, experimento de baixo custo, Física, ensino básico.*

Abstract

This work presents a simple experiment for the basic teaching, that seeks to determine the intern pressure of fluorescent lamps.

Keywords: *Fluorescent lamp, low cost experiment, Physics, high school.*

I. Introdução

⁺ Intern pressure determination of fluorescent lamps (an experiment of low cost)

^{*} *Recebido: novembro de 2002.
Aceito: setembro de 2003.*

¹ Com recursos parciais da CEC/UEL.

² Aconselhamos ler com atenção a seção “**Cuidados a Serem Tomados**” antes de realizar o experimento.

Com o objetivo de sugerir experiências interessantes e provocativas para o ensino básico, neste trabalho propõe-se determinar a pressão das lâmpadas fluorescentes de uma maneira simples e de custo zero.

Com basicamente uma lâmpada fluorescente queimada e um prego fixo no fundo de um balde com água é possível realizar, em segundos, *tomando certos cuidados* (ver seção abaixo), uma experiência que determina a pressão interna do gás no interior da lâmpada. Como é conhecido, as lâmpadas fluorescentes contêm em seu interior gás à baixa pressão (ver anexo). Ao se perfurar em baixo d'água uma das extremidades da lâmpada, devido à baixa pressão em seu interior, o líquido sobe rapidamente pelo tubo. A altura alcançada pela água chega, aproximadamente, a um dedo do final do tubo.

Apesar de estarmos sugerindo e direcionando este experimento para o ensino médio, por envolver a integração dos conteúdos de Hidrostática e Comportamento de Gases com um tratamento adequado a esse nível escolar, a experiência, por ser, em geral, atrativa para os alunos, também pode vir a ser usada de forma demonstrativa no ensino fundamental, quando se está introduzindo noções de pressão. A subida imprevista e súbita da água pelo interior da lâmpada deve, provavelmente, desencadear estimulante discussão para esses escolares a respeito desse assunto.

II. Parte teórica

Em função da baixa pressão do gás no interior da lâmpada fluorescente em relação à pressão atmosférica, quando se perfura uma de suas extremidades dentro da água, esta penetra pelo tubo, comprimindo o gás, até que a sua pressão, resultante da compressão, somada à pressão da coluna de água que se forma, se iguala à pressão atmosférica externa. Através de considerações que aproximam as mudanças ocorridas com o gás dentro do tubo com uma transformação isotérmica de gás ideal, avalia-se a pressão inicial do gás da lâmpada a partir da medida da sua pressão, quando comprimido. Ou seja, pela lei de Boyle-Mariotte,

$$P_i V_i = P_f V_f,$$

na qual P_i e V_i correspondem à pressão e ao volume iniciais, e P_f e V_f correspondem à pressão e ao volume finais, estes últimos avaliados após a subida da água pelo interior da lâmpada, comprimindo o gás (ver Fig. 1). Para acharmos a pressão inicial (P_i) procurada, precisamos determinar a pressão final (P_f). Para isto, empregamos o Princípio de Stevin da Hidrostática,

$$P_f = P_o - \rho g h,$$

no qual P_o , ρ , g e h são, respectivamente, a pressão atmosférica local, a densidade da água, a aceleração da gravidade e a altura alcançada pela coluna de água (Fig. 1).

Substituindo a última expressão na lei de Boyle-Mariotte, tem-se:

$$P_i = [(P_o - \rho gh)V_f]/V_i \quad (1)$$

III. Cuidados a serem tomados

Tendo em vista que o gás está a baixa pressão e o vidro do qual as lâmpadas são construídas é muito delicado, alguns cuidados devem ser tomados para evitarem-se acidentes.

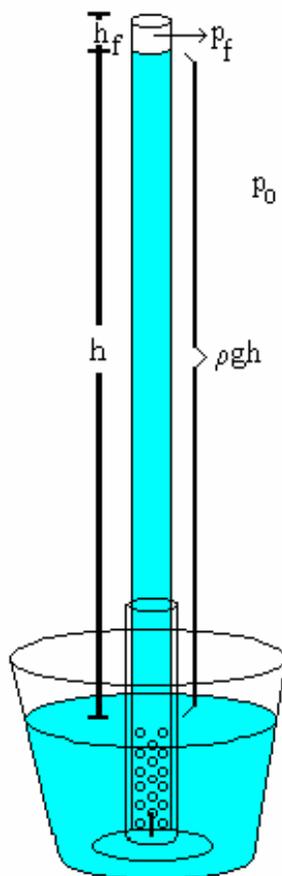


Fig. 1 - Lâmpada após ser perfurada pelo prego.

Primeiramente, dependendo do tamanho do buraco que o prego faz ao perfurar uma das extremidades da lâmpada, a água penetra com tamanha violência no seu interior que o vidro pode vir a explodir, espalhando estilhaços com as substâncias tóxicas internas (ver anexo). Assim, sugere-se que o realizador da experiência use avental, luvas de couro, máscara e um óculo protetor. É extremamente importante, principalmente, que seja utilizado, por questão de segurança, um plástico grosso e transparente, enrolado de maneira a formar uma capa cilíndrica com extremidade fechada, semelhante a um saco, e que cubra a lâmpada. Esse plástico, se bem espesso (Fig. 3), evita que os estilhaços de vidro e as substâncias internas à lâmpada entrem em contato com o experimentador.

Tanto quanto com a perfuração da lâmpada, deve-se tomar cuidado também com a retirada do metal e do pino de ligação de uma das suas extremidades. Esse

procedimento, facilmente realizado, deve ser feito com a lâmpada deitada dentro do saco plástico, pela parte aberta deste, segurando-a próximo a essa extremidade.

Deve-se também tomar cuidado na manipulação da água do balde e no seu despejo, pois a água que entrou no tubo vai se misturar à do balde, no término do experimento, ao se erguer a lâmpada dele. Assim, é aconselhável que a água, ao final da experiência, não entre em contato com a pele e que não seja descartada em qualquer lugar, sem maiores cuidados, respeitando o meio-ambiente.

Material utilizado:

- Lâmpada fluorescente regular de 40 W queimada, marcas Sylvania, GE ou Philips, de 122 cm de comprimento;
- Luvas de couro;
- Óculos de proteção;
- Tubo de PVC marrom de 5 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento;
- Um disco metálico de 12 cm de diâmetro, com 2mm de espessura (pode-se também usar a tampa da lata de um produto qualquer encontrado no mercado);
- Um prego com aproximadamente 2,5 cm de comprimento e 2 mm de diâmetro;
- Adesivo epóxi (tipo Araldite);
- Plástico transparente maleável com 140 x 40 cm;
- Fita adesiva transparente;
- Um balde de plástico com capacidade para 20 litros;
- Um alicate de bico.

IV. Sugestão de construção dos acessórios

Em um tubo de PVC, faz-se diversos furos de 0,6cm de diâmetro em uma região de, aproximadamente, 10 cm, começando pela extremidade (ver Fig. 2). Esses furos servem para que água vaze para os interiores do tubo de PVC e da lâmpada, quando esta é quebrada.

No centro do disco metálico, um pequeno furo é feito para encaixar um prego. Usa-se o adesivo epóxi para fixar esse prego no furo do disco. A extremidade do tubo com furos é colada com o adesivo epóxi no disco metálico, de modo que o prego fique centralizado no interior do tubo, conforme a Fig. 2.

Com um pedaço de plástico transparente faz-se um tubo de 12 cm de diâmetro, por 120 cm de comprimento, aproximadamente, com uma das extremidades fechada (Fig. 2), formando uma capa de segurança, para o caso da lâmpada sofrer uma explosão. O plástico deve ser fechado, com o auxílio da fita adesiva transparente, formando um tubo. Para a extremidade fechada do tubo, recorta-se um disco com 12 cm de diâmetro do mesmo plástico e fecha-se com a fita adesiva.

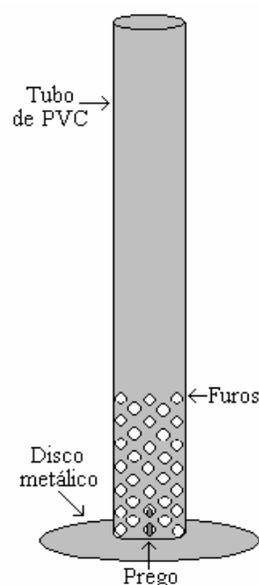


Fig. 2 - Equipamento direcionador montado.

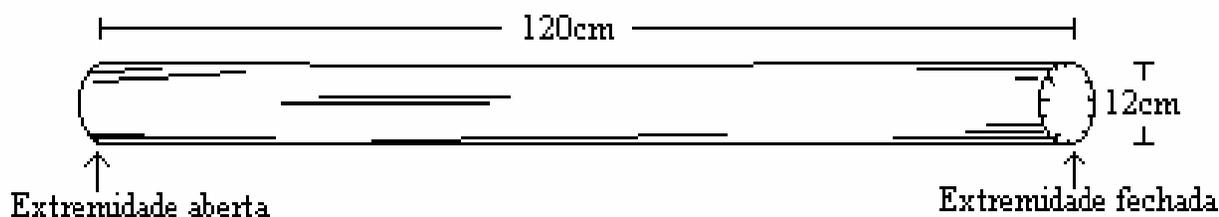


Fig. 3 - Sistema de segurança.

V. Procedimento Experimental

Primeiramente, colocar cerca de 15 litros de água no balde. Introduzir neste último o dispositivo direcionador apresentado na figura 1, de modo que ele fique em pé. Encaixar a capa de segurança (Fig. 2) na lâmpada fluorescente a ser utilizada na experiência. A lâmpada deve estar completamente envolvida pelo plástico dessa capa. Com o auxílio do alicate de bico, retira-se o terminal metálico de uma das extremidades da lâmpada que será perfurada. A extremidade escolhida deve ser a que não se encontra escura, para que se consiga fazer a leitura da altura corresponde ao volume final³. Depois, direciona-se verticalmente a extremidade da lâmpada, pelo lado aberto da capa de segurança, no tubo direcionador dentro do balde, até que ela encoste na ponta do prego. Em seguida, levanta-se a extremidade da lâmpada a uns 5 cm da ponta do prego e dá-se um pequeno golpe, suficiente para perfurar a lâmpada.

Após a água preencher grande parte do tubo, retira-se o sistema de segurança da lâmpada, deixando-a na mesma posição, e anotam-se as alturas h e h_f , conforme a Fig. 1.

³ Esse escurecimento é causado pela evaporação do tungstênio dos filamentos, que se desgastam pouco a pouco durante o funcionamento da lâmpada.

Feito isso, e após retirar a lâmpada do balde, pode-se realizar as medidas dos volumes de duas formas. Uma primeira, que não aconselhamos em função do nível escolar aqui focalizado, é preencher o tubo com água através do furo realizado pelo prego. Despeja-se essa quantidade de água do interior da lâmpada, em um recipiente graduado como uma proveta. Dessa forma, pode-se determinar o volume inicial do gás (V_i). Para o volume final (V_f), o mesmo procedimento pode ser utilizado, só que, neste caso, quebra-se grande parte da lâmpada (usando o sistema de segurança plástico) até que ela tenha uns 15 cm de comprimento. Assim, enche-se até a altura h_f com água e mede-se tal volume final correspondente (V_f). Uma segunda forma, que aconselhamos, visa simplificar e ganhar tempo, como, também, evitar que o aluno entre em contato com as substâncias internas da lâmpada ou mesmo sofra algum acidente, quebrando a lâmpada para medir o volume final (V_f). Considerando que as extremidades das lâmpadas possuem um formato irregular, a sugestão é aproximar a lâmpada como um todo por um cilindro, procedimento que não alterará a ordem de grandeza da medida da pressão procurada. Podemos, assim, trocar os volumes pelas alturas ($V = A.h$). Partindo disso, vemos que a relação dos volumes da equação 1 pode ser substituída pela relação de alturas ($V_f/V_i = h_f/h_i$), ficando:

$$P_i = [(P_o - \rho gh) h_f] / h_i \quad (2)$$

VI. Resultados

A pressão atmosférica local da cidade de Londrina, onde a experiência foi feita, é de aproximadamente 0,94 atm (da ordem de 500 m), mas, consideradas as aproximações anteriores, podemos arredondá-la sempre para 1 atm. O valor médio encontrado para a altura correspondente ao volume final é⁴:

$$h_f = (1,5 \pm 0,5) \text{ cm}$$

O valor da incerteza corresponde ao seu máximo valor por estimativa.

Substituindo na equação 2 esses valores e realizando a experiência com várias lâmpadas, pudemos obter a seguinte média entre os valores experimentais para a pressão interna das lâmpadas testadas:

$$P_i = (10 \pm 3) 10^{-3} \text{ atm,}$$

contra uma pressão fornecida pelos fabricantes de:

$$P_{\text{fabricante}} \cong (3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ atm,}$$

Alguns valores tabelados servem para serem comparados com a pressão da lâmpada:

$$\text{Pressão ao nível do mar} \cong 1 \text{ atm}$$

⁴ Os valores de h oscilaram entre 88cm e 106cm.

Pressão de vapor de água $\cong 2,5 \cdot 10^{-2}$ atm

Bomba de vácuo mecânica $\cong 5 \cdot 10^{-5}$ atm

Bomba de vácuo turbo-molecular $\cong 10^{-8}$ atm

Com valores de pressão local, introduzindo a pressão de vapor de água e empregando o método comentado na seção anterior para a medida dos volumes, chegamos a obter:

$$P_i = (7,4 \pm 0,7)10^{-3} \text{ atm}$$

O resultado apresentado acima é obtido através da expressão (1), acrescentando o valor da pressão do vapor de água ao cálculo da pressão final P_f . A seguinte expressão (3) mostra essa inclusão:

$$P_i = [(P_o - \rho gh - P_{\text{vapor}})V_f]/V_i \quad (3)$$

VII. Conclusões

Como se vê, pelos métodos rústicos obtém-se um valor de pressão da lâmpada da ordem de grandeza divulgada pela fábrica, o que, para os objetivos pedagógicos pretendidos por este trabalho, é muito satisfatório. Todavia, mesmo usando a pressão de vapor da água, os volumes, medidos de forma mais precisa, e lâmpadas novas, obtivemos sistematicamente valores um pouco maiores do que o dobro do fornecido pelo fabricante. Podemos fazer algumas suposições que podem vir a justificar essa discrepância:

1) o processo de medida hidrostático é rústico demais para o volume muito reduzido final;

2) a equação para gases ideais não vale em razão também desse volume reduzido final⁵.

Contudo, independentemente da discrepância dos valores encontrados, o experimento aqui sugerido, por ser muito interessante para os alunos, fácil de realizar e rico em discussão teórica, mostra-se, por essas razões, de grande valor didático.

Bibliografia

RAIZER, Y. P. **Gas discharge physics**. Springer Germany, 1997. v. 1, p. 1-7.

LEE, J. F.; SEARS, F. W. **Termodinâmica**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico e Científico, Editora da Universidade de São Paulo, 1969.

⁵ Descartamos a hipótese de o valor fornecido da pressão não corresponder ao da lâmpada fechada entregue no mercado, pois, em contato com um fabricante, foi-nos garantido que a pressão é a da lâmpada fechada.

<<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica7/funciona/fluorescente.htm>>

<<http://members.tripod.com/alkimia/lampadas.htm>>

Anexo

Lâmpada Fluorescente

A fenomenologia da lâmpada fluorescente faz parte do campo da Física chamado “Descarga em gases”, termo que se aplica a qualquer fluxo de corrente elétrica através de um gás ionizado (RAIZER, 1997, p. 1). Gases, quando estão com suficiente grau de ionização, emitem luz. A física da descarga em gases é um campo cheio de enorme quantidade de fatos experimentais e de modelos teóricos, ocupando-se com processos conectando corrente elétrica em gases, com a geração e manutenção eficiente de condução de eletricidade pelo gás e sua absorção de radiação eletromagnética (ibid.).

Um experimento clássico relativamente simples, de aproximadamente 150 anos e ainda útil, nos introduz em vários processos fundamentais de descarga. Consiste em dois eletrodos de metal, conectados a uma fonte de tensão, inseridos em um tubo de vidro (Fig. 4). O tubo pode ser evacuado e cheio com vários tipos de gases, a diferentes pressões. Se uma baixa voltagem da ordem de vários volts é aplicada aos eletrodos, nenhum efeito visível é enxergado, apesar de ser detectável uma corrente ($\sim 10^{-15}$ A) extremamente baixa. Raios cósmicos e radioatividade natural geram cargas no gás. O campo elétrico empurra essas cargas para os eletrodos opostos, produzindo a corrente. Com tensões da ordem de várias centenas de volts, a uma pressão de aproximadamente 1 Torr (1mmHg ou $1,3 \cdot 10^{-3}$ atm) e a uma distância de 1cm entre eletrodos, manifesta-se o processo de descarga por ruptura (breakdown). A ruptura do gás inicia-se com um pequeno número de elétrons espúrios ou elétrons injetados intencionalmente para estimular o processo. A energia dos elétrons aumenta enquanto eles se movem pelo campo elétrico. Alcançado o potencial de ionização atômica, o elétron gasta toda a sua energia para arrancar outro elétron do átomo que com ele colidir. Assim, com esses dois elétrons, outros dois são produzidos, repetindo o ciclo descrito acima. O resultado é uma avalanche, proliferando elétrons. O gás se ioniza em 10^{-7} a 10^{-3} s, tempo suficiente para a corrente crescer várias ordens de magnitude (ibid.).

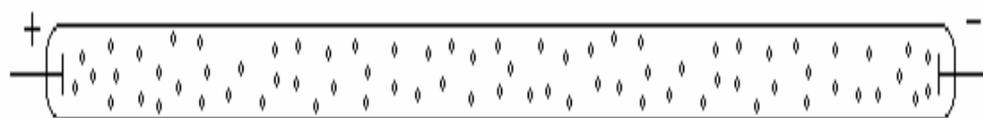


Fig. 4 - Diferença de potencial aplicada a dois eletrodos intermediados por um tipo de gás.

A lâmpada fluorescente, propriamente dita, é, em geral, composta por um tubo selado de vidro preenchido com gás argônio e vapor de mercúrio, ambos à baixa pressão (aproximadamente 2,5 mm Hg) (<members.tripod.com>). Como no experimento histórico citado, em cada extremidade do tubo da lâmpada há um eletrodo sob a forma de um filamento (espirais de tungstênio, revestidas com um tipo de óxido que pode emitir elétrons) (<geocities.yahoo.com.br>). Ao se ligar a lâmpada, uma diferença de potencial elétrico é aplicada aos eletrodos, aquecendo os filamentos. Com isso, há emissão de elétrons de um eletrodo para outro, criando um fluxo de corrente ou descarga elétrica. O aquecimento do filamento é cessado por um starter (disparador) ou, mais modernamente, por dispositivos eletrônicos que automaticamente interrompem o circuito. Um reator, ligado à lâmpada, produz imediatamente um impulso de alta voltagem, que inicia a descarga no argônio (ibid.).

Os choques de elétrons produzidos por essa descarga fazem com que os átomos de argônio, por sua vez, emitam mais elétrons. Dessa forma, aumentam-se os choques de elétrons com os átomos de mercúrio que, inicialmente, se encontram em grande parte sob estado líquido. Nesses últimos choques há o aquecimento (excitação) e vaporização dos átomos de mercúrio, que passam a ficar ionizados pelas colisões (Fig. 5). Ionizados, os átomos do gás são acelerados pela diferença de voltagem entre os terminais do tubo e, ao se chocarem com outros átomos, provocam outras excitações. No retorno desses átomos ao estado fundamental existe a emissão de fótons de energia correspondente à radiação visível e ultravioleta (ibid.).

Quando a radiação ultravioleta atinge a camada fosforosa – revestimento fluorescente da parede interna do tubo, que é tóxico devido à rica concentração de Hg (<members.tripod.com>), geralmente, clorofluorofosfato de cálcio com antimônio e manganês (1 a 2%) (<members.tripod.com>) – ocorre a fluorescência, emitindo radiação eletromagnética na região do visível (Fig. 5). Através de misturas de materiais fluorescentes diversos, como os acima citados, é possível obter diferentes tons de luz branca.

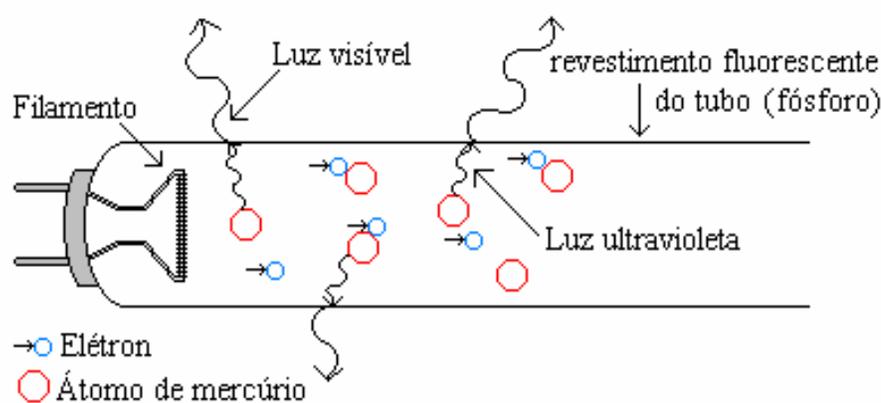


Fig. 5 - Os elétrons provenientes do filamento chocam-se com as moléculas de gás mercúrio produzindo radiação ultravioleta, que, por sua vez, ao interagir com a parede interna com revestimento fluorescente, gera radiação visível.