

# ESPECTROSCOPIA DE PLASMA

## Introdução

Hoje são conhecidos cinco estados físicos da matéria: sólido, líquido, gasoso, plasma e condensado de Bose-Einstein. Uma substância qualquer pode existir em um ou mais desses três primeiros estados, dependendo apenas dos valores de determinados parâmetros, tais como temperatura e pressão. Em geral, se tivermos uma substância inicialmente no estado sólido, podemos, adicionando energia suficiente ao sistema, fazer com que esta mude para o estado líquido, como por exemplo, aquecendo a substância. Se continuarmos fornecendo energia ao sistema, até atingir pelo menos o calor de vaporização da substância, o líquido irá evaporar e será formado gás. Caso continuemos a fornecer energia ao sistema até que esta atinja o valor da energia de ionização da substância, o gás se ionizará, isto é, suas moléculas e átomos se separarão em elétrons e íons, resultando em uma “sopa” de íons e elétrons, a qual I. Langmuir chamou de plasma.

Os principais objetivos desta experiência são: Observar a formação de plasmas e a estrutura da descarga luminescente e, obter as linhas de emissão do elemento utilizado para gerar o plasma identificando quais as transições eletrônicas envolvidas na emissão desta radiação.

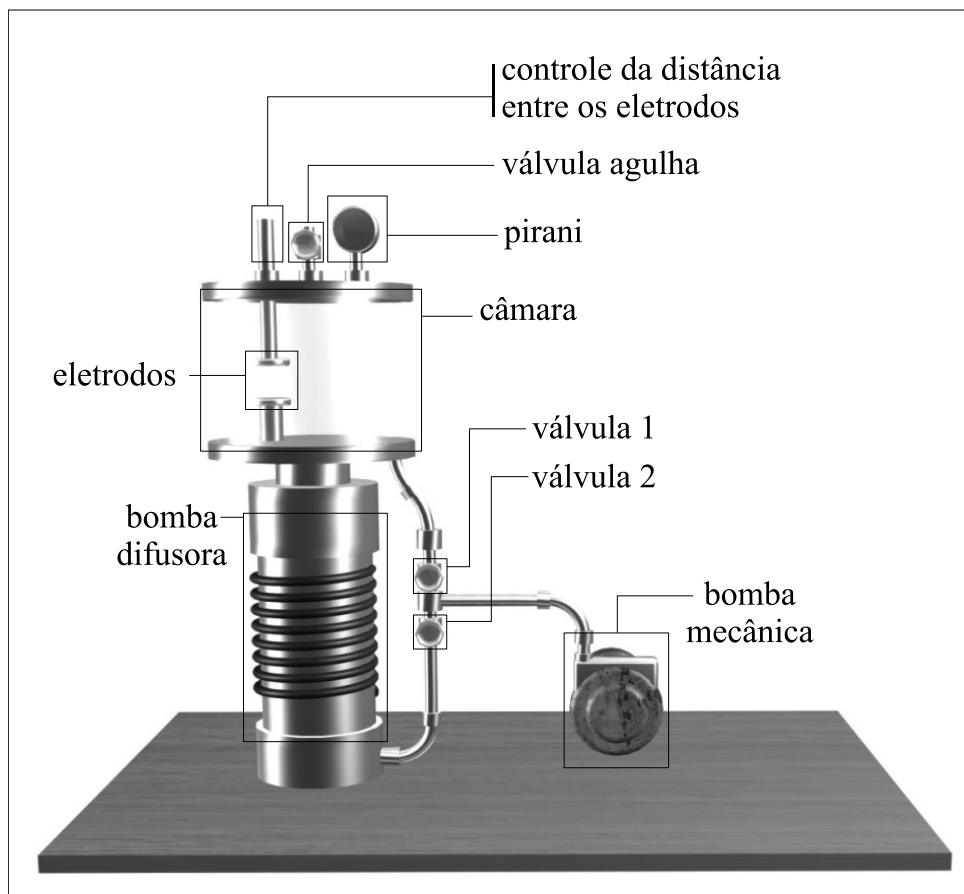
O método utilizado neste experimento para a produção do plasma será por descarga de gás (descarga luminescente d.c. a baixa pressão). Para isto são utilizados dois eletrodos. Quando um potencial d.c. alto o suficiente é aplicado entre os eletrodos, o gás se ioniza e um plasma com descarga luminescente (*glow discharge*) é formado.

## Aparato experimental

O aparato experimental utilizado para a realização deste trabalho é constituído por um sistema de vácuo (difusora em série com mecânica) cujo interior da câmara contém um par de eletrodos ligados a uma fonte de alta tensão d.c. A distância entre os eletrodos pode ser variada de alguns centímetros. Acoplada à câmara, uma válvula agulha regula o fluxo de injeção do gás a ser ionizado. Um espectrômetro acoplado a uma fibra óptica e um microcomputador com o software de interface micro-espectrômetro para a aquisição de dados.

## Preparação do sistema para a produção de plasma

Inicialmente ligue a bomba mecânica (BM) e abra a válvula  $V_2$  (veja o esquema da figura 1). Deixe bombeando a câmara até que a pressão atinja cerca de  $2 \times 10^{-2}$  Torr. Todo o experimento pode ser realizado usando-se apenas esta bomba de vácuo. Obs.: Se for necessário utilizar pressões mais baixas, ou se o estudo for realizado com pressões de gases abaixo de  $1 \times 10^{-1}$  Torr, pode-se utilizar a bomba difusora. Neste caso, após ligar a bomba mecânica abra a válvula  $V_3$  e o fluxo de água responsável pela refrigeração de bomba difusora (BD). Ligue a BD e aguarde alguns minutos (cerca de 20-30 minutos), até que ela fique bem quente. Quando a BD estiver pronta, feche  $V_3$  e abra  $V_2$  (ATENÇÃO: a válvula  $V_2$  somente poderá ser aberta quando  $V_3$  e  $V_1$  estiverem fechadas), espere a pressão na câmara ficar abaixo de  $1 \times 10^{-1}$  Torr e, então, feche  $V_2$  e abra  $V_3$  e  $V_1$ , nesta ordem, e espere alguns minutos (aproximadamente 5 minutos).




**Figura 1** – Esquema do sistema de vácuo.



## 2 - Produção de plasma

Com  $V_2$  aberta (ou  $V_3$  e  $V_1$  se a bomba difusora estiver sendo usada), abra a válvula agulha e controle o fluxo de gás até estabilizar a pressão no interior da câmara em algum valor superior a  $2 \times 10^{-2}$  Torr e inferior a  $2 \times 10^{-1}$  Torr. Obs.: 1) A medida do pirani não é confiável para pressões com valores inferiores a  $10^{-2}$  Torr; 2) Não utilize a difusora para pressões superiores a  $10^{-1}$  Torr.



Depois de escolhida e fixada uma distância entre os eletrodos, ligue a fonte d.c. de alta tensão e aumente a tensão até obter o plasma.



## 3 - Obtenção das linhas de emissão

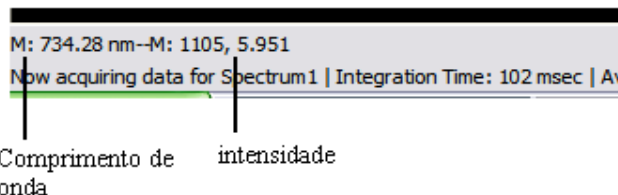
Posicione a lente do espectrômetro, bem próximo da câmara, em direção ao plasma. Abra o software OOBase32 e escolha a opção **scope mode**, clicando no ícone .



Aparecerão na tela alguns picos (linhas de emissão) característicos do material com o qual está sendo feito o plasma. Se os picos estiverem muito pequenos aumente o tempo de integração (usando o comando *integ.time*), se estiverem fora de escala diminua o tempo de integração. Para a normalização dos picos clique no seguinte ícone ; e alterações na escala do espectro poderá ser feita clicando no ícone .

#### 4 - Determinando o comprimento de onda de cada pico

Para encontrar o comprimento de onda no ponto de intensidade máxima do pico clique no ícone  para paralisar a imagem, em seguida o ícone , aparecerá na tela uma linha paralela à ordenada do sistema de coordenadas. Ao

clique no ícone  ou  a linha posicionará no primeiro pico à esquerda e direita respectivamente. É possível também o uso das setas do teclado ou o mouse para localizar manualmente qualquer comprimento referente à um ponto qualquer no gráfico. No canto inferior esquerdo da tela aparecerá o comprimento de onda correspondente ao pico e sua intensidade.



Para retirar as linhas emitidas pelas fontes luminosas que provêm do plasma, primeiro selecione o background clicando em . Logo em seguida a opção  ficará em evidência, ao selecioná-la o background será subtraído das medidas. A utilização deste recurso pode ser feita durante qualquer momento das obtenções dos espectros.

#### 5 - Procedimento

1) Obtenha as linhas de emissão das fontes de luz externas à câmara e em especial o espectro emitido pelas lâmpadas fluorescentes do laboratório (background). Compare as linhas emitidas pelas lâmpadas do laboratório com as linhas de emissão do mercúrio encontrada na literatura. Determine os cuidados experimentais utilizados para minimizar a interferência do espectro do plasma com os de fonte externa.

2) Obtenha também as linhas de emissão do argônio, do hélio e do nitrogênio para uma única condição (pressão, distância entre eletrodos e tensão de polarização do plasma). Identifique a cor do plasma.

3) Utilizando apenas o nitrogênio, (fixando uma distância entre os eletrodos e uma tensão de polarização), varie a pressão no interior da câmara entre  $2 \times 10^{-2}$  Torr e  $2 \times 10^{-1}$  Torr e registre em um gráfico a variação na intensidade das linhas de emissão em função da pressão (escolha uma das linhas).

4) Determine (1) a voltagem necessária para iniciar o plasma no interior da câmara para diferentes pressões (com distância entre os eletrodos fixa) e (2) para diferentes distâncias entre os eletrodos (com pressão de nitrogênio fixa). Faça um gráfico para cada caso, (1) e (2).

#### 6 - Salvando os dados

Existem, basicamente, duas formas distintas de salvar os dados:

(i) Com a imagem paralisada, escolha no menu a opção **File/Save/experiment**. Neste formato, os dados só poderão ser visualizados através deste *software*.

(ii) Com a imagem paralisada, escolha no menu a opção **Edit/Copy/Spectral Data/All Spectrometer Channels**. Em seguida abra o editor *bloco de notas (notepad)* e no menu **Edit** escolha

a opção **Paste**. Salve o arquivo com a extensão .dat para que seja possível abri-lo no *Origin*. O arquivo .txt também pode ser aberto pelo Excel.

## 7 - Análise de dados

Verifique se os comprimentos de onda encontrados para os picos concordam com os valores encontrados na literatura. Caso não haja concordância, verifique novamente a calibração do espectrômetro. Identifique as transições eletrônicas dos elétrons opticamente ativos correspondentes às linhas de emissão encontradas para os gases.

## 8 - Referências:

1) *Tables Of Spectral Lines*, A.R. Striganov and N.S. Sventitzkii, Biblioteca do IFGW: (r535.84021/st85t)

2) *Typical Spectra Of ORIEL Spectral Lamps*

(Cópias no LF-24 - Vácuo e Criogenia e com Costa no Lab. de ótica)

*Handbook of the Physicochemical Properties of the Elements*

Biblioteca do "IFGW" - R546

**Agradecimentos:** Agradecemos a colaboração do Myriano H. de Oliveira Jr. e Luís Fernando Cypriano, alunos de física do IFGW, na montagem deste experimento.

---

## RELATÓRIO

**I – Introdução** – Destaque os objetivos e a motivação para o estudo do experimento

**II – Descrição do procedimento** – descreva detalhadamente como o experimento foi realizado.

**III - Resultados** – Apresente os espectros obtidos (**ver seção 5 - Procedimento**), a identificação das principais linhas observadas, e os demais gráficos dos experimentos descritos no texto.

**IV - Discussões dos resultados**

**V – Conclusões**

### Bibliografia:

1. Sminorv. B M., *Introduction to Plasma Physics*, Mir Publishers, Moscow (1975).
2. Reitz J. R., Milford F. J. and Christy R. W., *Fundamentos da Teoria Eletromagnética*, Campus, Rio de Janeiro (1882).
3. Shohet, J. L., *The Plasma State*, Academic Press, New York (1971).
4. Howatson, A. M., *An Introduction to Gas Discharge*, Pergamon Press, Oxford (1965).
5. *Operating Manual and User's Guide (USB2000 Miniature Fiber Optic Spectrometers and Accessories)*, Ocean Optics, Inc. (2000).
6. OOIBase32™ Spectrometer Operating Software Manual, Ocean Optics, Inc.(2000).
7. Eisberg, R. e resnick, R., *Física Quântica*, Editora Campus, Rio de Janeiro (1979).