

DETECÇÃO OPTOGALVÂNICA DE INVERSÃO DE POPULAÇÃO EM DESCARGA DE CATODO OCO.

Armando Mirage e Nilson Dias Vieira Jr.
IPEN-CNEN/SP
C.Postal 11049 - 05422-970 - S.Paulo-SP

Um método experimental simples foi utilizado para se detectar inversão de população entre níveis de energia do neônio em uma descarga elétrica. Em particular, foi possível observar esse mecanismo entre os níveis de configuração $2p^5(^2P_{1/2}^o)5s, J = 1$ e $2p^5(^2P_{1/2}^o)3p, J = 2$ em uma descarga de catodo oco, medindo-se o efeito optogalvânico induzido por um laser de He-Ne. Esses níveis têm energias de $166.658.484$ e $150.860.468 \text{ cm}^{-1}$, respectivamente, cuja diferença corresponde à linha 6328 \AA do laser de He-Ne.

O efeito optogalvânico (OGE) pode ser observado em uma descarga elétrica quando transições eletrônicas de átomos contidos no plasma são induzidas por radiação luminosa ressonante[1]. O sinal optogalvânico (SOG) é medido como uma mudança na impedância da descarga. O aumento na temperatura eletrônica devido às colisões entre os elétrons e os átomos excitados pela radiação laser ressonante é o principal mecanismo que causa a diminuição da impedância do plasma[2].

Trabalhos experimentais e teóricos foram desenvolvidos para explicar a magnitude, a polaridade e a evolução temporal do sinal optogalvânico em função de vários parâmetros, tais como pressão do gás, corrente de descarga, intensidade do laser, fatores geométricos e outros[3,4,5]. Alguns modelos teóricos simplificados foram desenvolvidos e o comportamento da variação da tensão de descarga puderam ser avaliados resolvendo-se as equações de taxas correspondentes às transições induzidas[3,4,6]. Os resultados mostraram que para laser de excitação *cw* ou pulsado, a magnitude do sinal optogalvânico é diretamente proporcional ao fator $(n_1 - n_2)$, onde n_1 e n_2 são as densidades dos níveis inferior e superior da transição, respectivamente. O SOG ou ΔV pode ser escrito como:

$$\Delta V = -A(n_1 - n_2) \quad (1)$$

onde A é um fator de proporcionalidade, positivo, que depende de vários parâmetros, como seção de choque de absorção intensidade do laser, densidade de corrente da descarga, configuração geométrica do catodo e outros. A fim de investigar a dependência do sinal com a densidade populacional dos níveis, o aparato experimental mostrado esquematicamente na fig.1 foi usado.

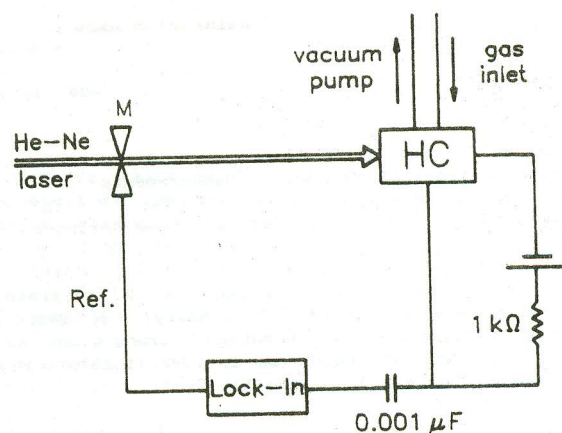


Fig.1 - Esquema do arranjo experimental para detecção optogalvânica em uma descarga de catodo oco. HC: Tubo de catodo oco; M: modulador de luz ("Chopper")

Um laser de He-Ne de 3 mW foi usado para induzir a transição $2p_4 - 3s_2$ (notação de Paschen) do átomo de neônio, que correspondem às configurações $2p^5(^2P_{1/2}^o)/2)3p, J=2$ e $2p^5(^2P_{1/2}^o)/2)5s, J=1$, respectivamente. O sinal foi medido em um tubo de catodo oco de urânio-hélio-neônio, sendo o catodo um cilindro de urânio de 16 mm de comprimento com um furo de 4,7 mm de diâmetro na direção de seu eixo. Os detalhes de construção da lâmpada estão descritos na ref.6. A corrente de descarga e a intensidade do laser foram mantidas constantes para todas as medidas experimentais. O feixe laser foi modulado a 27 Hz por um "chopper" mecânico e o sinal de referência foi conectado a um amplificador "Lock-In" (PAR mod.186A) que mediu a variação da voltagem ΔV na descarga. Nessas condições a razão $\frac{\Delta V}{V}$ foi obtida variando-se a proporção entre as pressões dos dois gases no tubo. A pressão da mistura hélio-neônio foi o único parâmetro variável considerado

em todas as medidas. Entretanto, mantendo-se uma corrente fixa de 30 mA, verificou-se uma variação na tensão da descarga de 290 V para baixa pressão (0,5 Torr) até 187 V para alta pressão do gás (6 Torr). A densidade atômica do nível $3s_2$ do neônio pode ser aumentada pela reação de transferência de energia entre os átomos metaestáveis do hélio ($He^* 2^1S_0$) e átomos do neônio no estado fundamental[7], dada por:



onde Δ_∞ é a diferença de energia potencial entre o estado excitado $He^* 2^1S_0$ (20,615 eV) e o $Ne 3s_2$ (20,663 eV) separados a uma distância "infinita". Este é o processo responsável pela inversão de população no laser de He-Ne, entre os estados $3s_2$ e $2p_4$. Uma vez que a energia potencial do átomo do neônio no estado $3s_2$ é maior que o hélio no estado 2^1S_0 , a energia cinética total dos átomos produtos da reação é menor que a energia cinética inicial.

A fig.2 mostra os níveis de energia que tomam parte no processo de transferência de energia. A medida que a densidade atômica do nível $3s_2$ aumenta, a diferença entre as populações entre os níveis inferior e superior ($n_1 - n_2$) da transição induzida pelo laser de He-Ne diminui. Como consequência a magnitude do sinal optogalvânico diminui e muda de polaridade quando n_2 torna-se maior do que n_1 . Essa inversão de população pode ser observada para razões entre as pressões de hélio e neônio apropriadas.

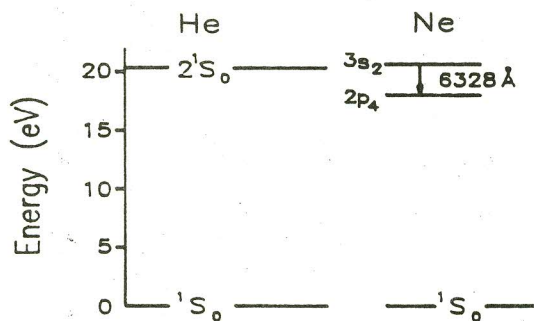


Fig.2 - Diagrama parcial de níveis de energia do He e Ne, mostrando a coincidência entre os níveis $He^* 2^1S_0$ e $Ne 3s_2$.

Os resultados das medidas aparecem na fig.3, onde a razão $\frac{\Delta V}{V}$ está registrada como uma função da pressão total dos gases no tubo. Nessa figura, a curva 1 foi obtida com o tubo preenchido apenas com neônio. Na curva 2 as medidas foram feitas com uma pressão fixa de neônio de 2 Torr, adicionando-se gás hélio. As curvas 3 e 4 foram obtidas com pressões fixas de 1 Torr e 0,5 Torr de neônio, respectivamente, adicionando-se gás hélio.

Para todas as condições de mistura de gases (incluindo neônio puro), o sinal vai a zero para valores altos da pressão total. A razão para isso é que o caminho livre médio para colisões elétron-átomo torna-se menor e portanto os elétrons emitidos pela superfície do catodo perdem sua energia cinética em uma distância muito curta. Dessa forma, a região central do catodo, onde a radiação laser é mais intensa, conterá menos átomos excitados para interagir com o feixe laser.

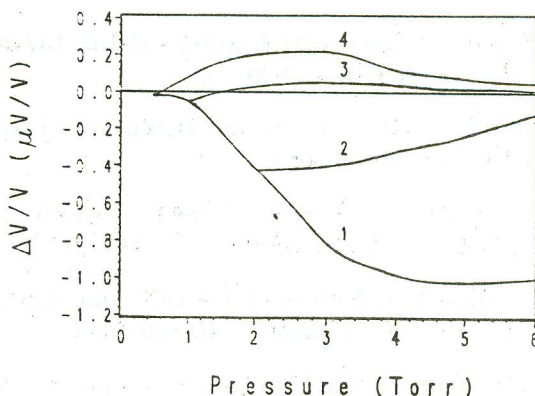


Fig.3 - Medidas da razão $\frac{\Delta V}{V}$ em função da pressão total dos gases. Curva 1: neônio puro. Curvas 2, 3 e 4: 2 Torr, 1 Torr e 0,5 Torr de neônio e hélio adicional, respectivamente

Na fig.3 pode-se notar que a inversão de população ocorre para uma mistura de aproximadamente 1 Torr de He e 0,5 Torr de Ne (curva 3), permanecendo aproximadamente constante para um aumento na pressão de He. Para 0,5 Torr de Ne existe um ponto máximo de inversão, correspondente a 2 Torr de He. Pode-se ver também que a magnitude do sinal decresce para pressão total maior do que esse ponto de máximo, seguindo a curva de ganho do laser de He-Ne obtida em função da razão entre as pressões dos gases[7].

Deve-se mencionar que não foi possível operar a descarga para pressões de neônio menores que 0,5 Torr, devido às limitações impostas pela dimensão do diâmetro do catodo, de acordo com a condição para operação de descarga de catodo-oco, dada pela eq.3.21 da ref.7, que é:

$$1 \text{ torr} \times \text{cm} < p \times a < 10 \text{ torr} \times \text{cm} \quad (3)$$

onde p é a pressão de gás e a o diâmetro do catodo.

Em resumo, mostrou-se que é possível determinar, pela técnica de detecção optogalvânica, a inversão de população da transição $3s_2 - 2p_4$ do neônio em uma descarga de catodo oco, bem como achar as condições ótimas para maximizar o processo. Essa técnica apresenta alta sensibilidade para medidas de absorções fracas de fótons ou pequeno ganho em uma

descarga gasosa, comparada aos processos ópticos usuais: uma razão sinal/ruído de uma ou duas ordens de magnitude maior do que medidas diretas de absorção de luz pode ser obtida.

Referências

- [1] R.B.Green. R.A.Keller. G.G.Luther, P.K.Schenck. and J.C.Travis. Appl.Phys.Lett. 29. (1976) 727.
- [2] R.A.Keller and E.F.Zalewski. Appl.Opt. 19 (1980) 3301.
- [3] G.Erez. S.Lavi. and E.Miron. IEEE J.Quant. Electron.. QE-15. (1979) 1328.
- [4] A.Ben-Amar. G.Erez. and R.Schuker. J.Appl. Phys.. 54 (1983) 3688.
- [5] T.Fujimoto. Y.Uetani; Y.Sato. C.Goto. and K.Fukuda. Opt.Commun. 47. (1983) 111.
- [6] A.Mirage. D.Pereira. F.C.Cruz. and A.Scalabrín. Il Nuovo Cimento. 14D (1992) 605.
- [7] C.S.Willet. An Introduction to Gas Lasers: Population Inversion Mechanisms (Pergamon Press. Oxford. 1974) Cap.4.

Abstract

A simple experimental method for the population inversion detection between two energy levels of some species present in a plasma discharge is described. In particular it was possible, by optogalvanic technique, to detect this mechanism on the $3s_2 - 2p_4$ neon levels (Paschen notation), whose configurations are $2p^5(^2P_{1/2}^o)5s$ ($J=1$) e $2p^5(^2P_{1/2}^o)3p$ ($J=2$), respectively.