

# MEDIDA DA SEÇÃO DE CHOQUE DE ABSORÇÃO DA LINHA 6056 Å DO $U_1$ POR ESPECTROSCOPIA OPTOGALVÂNICA

Marcelo G. Destro<sup>1</sup>, José W. Neri<sup>1</sup>, Armando Mirage<sup>2</sup> e Carlos Schwab<sup>1</sup>  
1 - CTA/IEAv; 2 - IPEN-CNEN/SP

*Uma relação entre a magnitude do sinal optogalvânico (SOG) e o fluxo de fótons de excitação, obtida com base na solução das equações de taxa do sistema de dois níveis, foi verificada experimentalmente. Usou-se um laser de corante pulsado, sintonizado nas transições  $0 \rightarrow 16900 \text{ cm}^{-1}$  e  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  do urânio neutro ( $U_1$ ), incidente numa descarga de catodo oco de U-Ar, para obter o SOG em função da potência do laser. Os resultados experimentais foram ajustados numericamente à relação obtida teoricamente. Os valores obtidos para as seções de choque de absorção são comparados com valores obtidos por outras técnicas.*

## 1 Introdução

A seção de choque de absorção de uma transição atômica pode ser determinada experimentalmente por meio de várias técnicas de espectroscopia [1, 2]. Contudo, estas técnicas, geralmente, envolvem componentes sofisticados de detecção, tais como espectrômetros de alta resolução, fotomultiplicadora, câmaras de evaporação, etc. Nas últimas décadas, a técnica de detecção optogalvânica, muito mais simples, teve seu uso intensificado e várias teorias e modelos matemáticos simplificados [3] - [9] têm sido desenvolvidos, para descreverem de maneira mais apropriada os resultados observados sob certas condições experimentais. Para elementos refratários, tal como o urânio, esta técnica associa a eficiência de evaporação por "sputtering" com um instrumento de detecção muito sensível [7, 10].

Neste trabalho, a relação existente entre a magnitude do sinal optogalvânico (SOG) e o fluxo de fótons de excitação, obtida [9] com base na solução das equações de taxa de um sistema de dois níveis, foi verificada experimentalmente para as transições  $0 \rightarrow 16900 \text{ cm}^{-1}$  e  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  do urânio.

## 2 Arranjo Experimental

O arranjo experimental usado está mostrado na Figura 1. Este é constituído de uma lâmpada de catodo oco (LCO U-Ar), composta de um catodo de urânio natural e preenchido com 2 torr de Ar como gás tampão, na qual incide-se a radiação de um laser de corante (LC) excitado por um laser de vapor de cobre (LVC). Os pulsos do LC possuem uma potência média em torno de 500 mW, com uma duração de  $\sim 25 \text{ ns}$  a uma taxa de repetição de pulso de 5 kHz. A largura de linha do LC é de 0,7 GHz ( $\approx 0,01 \text{ Å}$ ). A varredura do comprimento de onda desse LC é realizada a partir da variação de pressão do recipiente que contém os elementos de sintonia do oscilador [11]. O circuito eletrônico usado para suprir a descarga elétrica da LCO e extrair o SOG desta é constituído basicamente de uma fonte de tensão estabilizada (FTE), um resistor de lastro  $R = 1,8 \text{ k}\Omega$ , 25 W, um capacitor  $C = 0,0015 \mu\text{F}$ . O SOG é detectado por um "Boxcar Averager" e analisado por um osciloscópio Tektronix com uma gaveta digitalizadora 7D20. Tanto as leituras do "Boxcar" quanto as do osciloscópio são efetuadas após a chegada de um pulso de

disparo de referência nestes dispositivos. Este pulso de referência é suprido por um gerador de atraso e de referência, construído no IEAv. O SOG é registrado por meio de um registrador, a partir do sinal fornecido pela função  $f(t)$  do "Boxcar", com uma constante de tempo igual a 10 ms. Além disso, usou-se um monocromador de meio metro, Spex Industries, Inc. USA, acoplado com uma fotomultiplicadora Hamamatsu R105 para calibrar o SOG com o espectro de emissão da LCO. Para uma determinada linha de emissão a grade do monocromador era posicionada sobre o sinal máximo desta emissão. A seguir, era feita a varredura do comprimento de onda do LC, cujo feixe após passar pela LCO incidia também sobre a fenda do monocromador. Assim, o SOG correspondente ao sinal de emissão previamente selecionado é aquele que aumenta o sinal do monocromador.

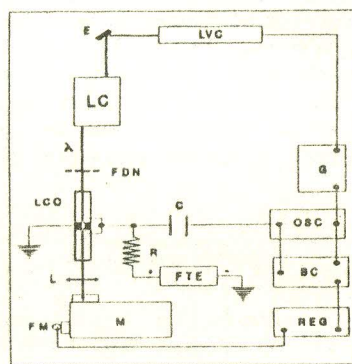


Figura 1: Arranjo experimental para a detecção optogalvânica. BC = "Boxcar Averager"; C = Capacitor; E = Espelho; FDN = Filtro de Densidade Neutra; FM = Fotomultiplicadora; FTE = Fonte de Tensão Estabilizada; G = Gerador de Atraso e Referência; L = Lente; LC = Laser de Corante pulsado; LVC = Laser de Vapor de Cobre; M = Monocromador; OSC = Osciloscópio; R = Resistor de Lastro; REG = Registrador.

## 3 Resultados

As seções de choque de absorção das transições  $0 \rightarrow 16900 \text{ cm}^{-1}$  ( $5915 \text{ Å}$ ) e  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  ( $6056 \text{ Å}$ ) foram

Tabela 1: Valores do SOG em função da potência do LC para a transição  $0 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 16.900,3866 \text{ cm}^{-1}$  ( $5915,3853 \text{ \AA}$ ) do U, obtido a partir de uma LCO de U-Ar, excitada por um LC pulsado, para uma tensão aplicada sobre a LCO de 163 V e uma corrente de 100 mA.

$P_{LC}$ (mW)	$\Delta V_{SOG}$ (V)	$P_{LC}$ (mW)	$\Delta V_{SOG}$ (V)	$P_{LC}$ (mW)	$\Delta V_{SOG}$ (V)
0,007	0,025	0,580	0,480	29,2	2,2
0,010	0,040	0,860	0,642	34,1	2,3
0,013	0,046	1,100	0,678	66,0	2,7
0,016	0,052	1,340	0,720	75,0	2,9
0,020	0,054	1,740	0,800	105,0	3,0
0,027	0,072	2,400	0,952	117,5	3,1
0,029	0,077	2,950	1,064	124,0	3,2
0,062	0,144	3,150	1,080	170,0	3,3
0,100	0,191	3,500	1,160	210,0	3,6
0,170	0,260	6,200	1,320	260,0	3,7
0,230	0,318	7,100	1,520	330,0	3,8
0,280	0,346	10,80	1,690	380,0	3,9
0,300	0,362	16,10	1,930		
0,330	0,435	18,70	2,000		

determinadas a partir do modelo teórico encontrado na literatura [9], fazendo uso de medidas experimentais do SOG em função da potência do laser incidente sobre a LCO. O SOG em função da potência do LC, para as transições  $5915 \text{ \AA}$  e  $6056 \text{ \AA}$ , foram obtidos usando-se a montagem experimental mostrada na Figura 1. Alterando-se o valor do filtro de densidade neutra obtiveram-se vários valores de potência para o LC. Para cada valor da potência do LC registrou-se o espectro optogalvânico para cada transição e, a partir desses espectros, tomou-se o valor de pico como sendo o valor do SOG. Os valores obtidos do SOG em função da potência do LC, para as transições  $5915 \text{ \AA}$  e  $6056 \text{ \AA}$ , encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Além disso, estimou-se o diâmetro do feixe do laser para cada uma das transições em  $\sim 3 \text{ mm}$ . Usando o fato que a largura de linha do LC é de  $0,7 \text{ GHz}$  e a largura de linha Doppler para estas transições é de  $0,8 \text{ GHz}$  [12], ajustaram-se os resultados obtidos (Tabela 1 e 2) pelo método de mínimos quadrados, a partir da expressão para o SOG [9]:

$$\Delta V_{SOG} = \frac{B}{1 + \frac{\Phi_s}{\Phi} \sqrt{2(1 + \Phi/\Phi_s)}} \times \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( 1 + \frac{\Phi}{\Phi_s \sqrt{2(1 + \Phi/\Phi_s)}} \right) \frac{t_p}{\tau_s} \right] \right\} \quad (1)$$

onde,  $B$  e  $\Phi_s$  são os parâmetros a serem ajustados,  $t_p = 25 \text{ ns}$  é a duração do pulso do LC e  $\tau_s$  é o tempo de vida da transição ( $255 \text{ ns}$  para a transição  $5915 \text{ \AA}$  e  $330 \text{ ns}$  para a transição  $6056 \text{ \AA}$ ) [2].

As Figuras 2 e 3 mostram o SOG em função da potência do laser de corrente para as duas transições estudadas neste trabalho. Os pontos que aparecem nestas Figuras correspondem aos valores obtidos experimentalmente, os quais encontra-se nas Tabelas 1 e 2. A linha sólida em cada figura corresponde à curva teórica ajustada pelo método de mínimos quadrados segundo a Eq. 1.

Tabela 2: Valores do SOG em função da potência do LC para a transição  $0 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 16.505,7721 \text{ cm}^{-1}$  ( $6056,8092 \text{ \AA}$ ) do U obtido a partir de uma LCO de U-Ar, por um LC pulsado, para uma tensão aplicada sobre a LCO de 163 V e uma corrente de 100 mA.

$P_{LC}$ (mW)	$\Delta V_{SOG}$ (V)	$P_{LC}$ (mW)	$\Delta V_{SOG}$ (V)
0,200	0,05	28,68	0,74
0,400	0,10	75,62	1,08
0,810	0,17	130,5	1,38
2,00	0,24	205,0	1,62
4,00	0,31	274,0	1,75
7,12	0,40	400,0	1,96
11,00	0,62		

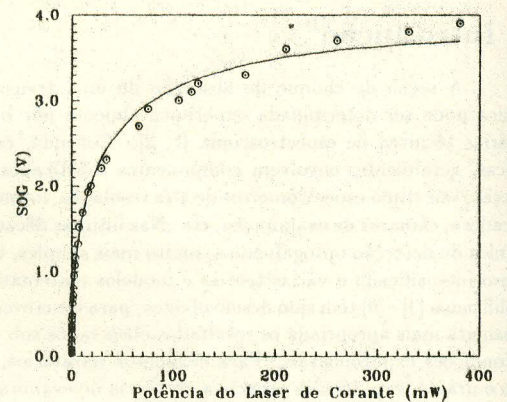


Figura 2: SOG em função da potência do laser de corrente para a transição  $5915 \text{ \AA}$  do Urânio.  $\odot$  pontos experimentais; curva sólida ajustada pelo método de mínimos quadrado.

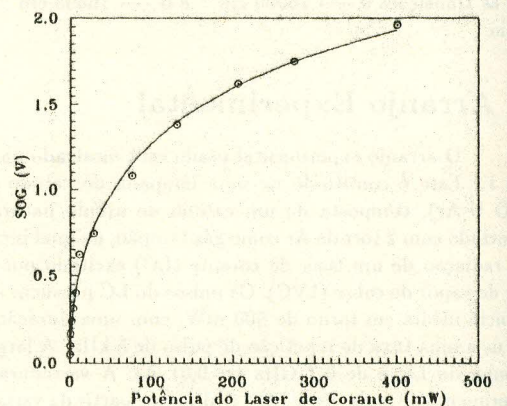


Figura 3: SOG em função da potência do laser de corrente para a transição  $6056 \text{ \AA}$  do Urânio.  $\odot$  pontos experimentais; curva sólida ajustada pelo método de mínimos quadrado.

A partir do ajuste de mínimos quadrados segundo a Eq. 1 dos pontos experimentais da Tabela 1, para a transição 5915 Å do urânio, obteve-se  $B = 3,91 \text{ V}$  e  $\Phi_s = 5,06 \times 10^9 \text{ fótons}/(\text{s.cm}^2)$  como o valor máximo do SOG e fluxo de saturação, respectivamente, para esta transição. Esse fluxo de saturação corresponde a uma seção de choque de absorção de  $0,38 \times 10^{-13} \text{ cm}^2$ . Este valor é cerca de 10 vezes menor que o valor da seção de choque de absorção desta transição encontrado na literatura [2] ( $3,2 \times 10^{-13} \text{ cm}^2$ ). Essa discrepância deve-se ao fato de que esta transição é conectada ao nível excitado  $33800,1 \text{ cm}^{-1}$  por meio de uma excitação ressonante de dois fótons [13]. A energia correspondente à metade da do nível de energia  $33800,1 \text{ cm}^{-1}$  está muito próxima à do nível  $16900.3866 \text{ cm}^{-1}$ . Portanto, quando aumenta-se a intensidade do laser sintonizado na transição ( $0 \rightarrow 16900.3866 \text{ cm}^{-1}$ ) observa-se a transição de dois fótons até o nível  $33800,1 \text{ cm}^{-1}$  [13]. Desta maneira, a seção de choque de absorção obtida por este método corresponde, neste caso, à seção de choque de absorção efetiva da transição  $0 \rightarrow 33800,1 \text{ cm}^{-1}$ . Para a transição  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  ( $6056 \text{ Å}$ ) obteve-se, a partir do ajuste de mínimos quadrados dos pontos experimentais da Tabela 2,  $B = 2,66 \text{ V}$  e  $\Phi_s = 2,11 \times 10^{20} \text{ fótons}/(\text{s.cm}^2)$  como o valor máximo do SOG e fluxo de saturação, respectivamente, para esta transição. Esse fluxo de saturação corresponde a uma seção de choque de absorção de  $0,72 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ . Este valor possui uma boa concordância com o valor encontrado na literatura [2] para esta transição ( $0,56 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ ).

## 4 Conclusão

Os resultados obtidos a partir de medidas do SOG em função do fluxo de fótons de excitação e do ajuste de mínimos quadrados, segundo o modelo usado neste trabalho, comprovam que o modelo pode ser usado para determinar as seções de choque de absorção de uma transição a partir do estado fundamental. Além disso, comprova a potencialidade deste método, relativamente simples quanto aos componentes necessários, para efetuar as medidas de seções de choque de absorção a partir do estado fundamental.

## Referências

- [1] J.Blaise and L.J.Radziemski, J. Opt. Soc. Am. **66-7**, 644, 1976.
- [2] L.R.Carlson, et al, J. Opt. Soc. Am. **66-8**, 846, 1976.
- [3] G.Erez, S.Lavi, E.Miron, IEEE J. Quant. Electron. **QE-15**, 1328, 1979.
- [4] A.Ben-Amar, G.Erez and R.Shuker, J. Appl. Phys. **54**, 3688, 1983).
- [5] R.A.Keller, et al, J. Phys. (Paris) **C7-44**, 23, 1983.
- [6] E.F.Zalewski, R.A.Keller and R.Engleman Jr., J. Chem. Phys. **70**, 1015, 1979.
- [7] B.Barbieri, N.Beverini and A.Sasso, Rev. Mod. Phys. **62**, 603, 1990.
- [8] A.Mirage, D.Percira, F.C. Cruz and A.Scalabrin, Il Nuovo Cimento **14D-6**, 8, 1992.
- [9] A.Mirage, M.G.Destro, C.Schwab e J.W.Neri, "Modelo para determinação do parâmetro de saturação de linhas atômicas por espectroscopia optogalvânica, com laser pulsado", trabalho apresentado neste simpósio.
- [10] M.Brogliã, F.Catoni and P.Zampetti, Journal de Physique, Colloque **C7-11**, 251 (1983).
- [11] M.G.Destro e C.C.Ghizoni, "Laser de Corante Excitado por um Laser de Vapor de Cobre", Nota Técnica NT/IEAv 020/86.
- [12] F.C.Cruz, et al, "Análise de formas de linhas em espectroscopia optogalvânica de intermodulação no Urânio", trabalho apresentado neste simpósio.
- [13] M.Brogliã, F.Catoni and P.Zampetti, J. Opt. Soc. Am. **B 2-4**, 570, 1985.

## Abstract

*The relation between the optogalvanic signal magnitude and the excitation photons flux in a uranium hollow cathode discharge was experimentally verified. This relation was obtained from rate equations in a two level system. In the experiments we used a pulsed dye laser tuned in the transition  $0 \rightarrow 16900 \text{ cm}^{-1}$  or in  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  of neutral uranium ( $U_I$ ). The laser beam was directed into a hollow cathode discharge of natural uranium and Ar as a buffer gas, in order to obtain the optogalvanic signal as function of the laser power. The experimental results were numerically adjusted to the theoretically obtained relation. The resulting values of the cross sections are compared with the values obtained from other techniques.*