

Espectroscopia Optogalvânica de Intermodulação e Zeeman no Titânio

F. C. Cruz, J. V. B. Gomide, A. Scalabrin, A. Mirage⁽¹⁾, D. Pereira
Instituto de Física - UNICAMP, ⁽¹⁾ IPEN - CNEN/SP

Utilizamos a técnica de espectroscopia optogalvânica de intermodulação, combinada com a espectroscopia Zeeman, para estudar a transição $^3P_0(J=0) \rightarrow ^3D_1^0(J=1)$ do Ti I, em 592.2 nm. Determinamos o fator de Landé g_j do nível superior e os "shifts" isotópicos, fazendo registros simultâneos com o todo e um Fabry-Perot, com FSR de 75 MHz. A temperatura eletrônica da descarga foi estimada através da largura Doppler e uma análise das formas de linha obtidas por intermodulação permitiu a determinação da largura homogênea e da influência de colisões que mudam a velocidade, em função da corrente na descarga.

INTRODUÇÃO

O EOG e sua utilização em espectroscopia foram discutidos com detalhe em outros trabalhos apresentados neste encontro (1), (2), (3).

Neste trabalho, nós utilizamos a detecção optogalvânica, combinada com a técnica de espectroscopia de intermodulação, para estudar a transição $^3P_0(J=0) \rightarrow ^3D_1^0(J=1)$, em 592.2 nm, do titânio. Utilizamos uma lâmpada com catodo ôco de titânio, preenchida com argônio a uma pressão de 1 Torr. Obtivemos espectros com resolução Doppler e sub-Doppler desta linha do titânio, que permitiram que estimássemos a temperatura cinética na descarga elétrica e as larguras inhomogênea (Doppler) e homogênea (alargamento colisional e por potência) da linha. Os registros sub-Doppler desta linha foram tomados simultaneamente com um Fabry-Perot com "free spectral range" de 75 MHz e com o espectro do todo. Este foi usado como um padrão para a determinação precisa do comprimento de onda absoluto da transição e os picos de transmissão do Fabry-Perot foram usados como marcadores de comprimentos de onda para a determinação precisa dos desvios isotópicos.

O titânio possui cinco isótopos com as seguintes abundâncias naturais: ^{46}Ti (7.93%), ^{47}Ti (7.28%), ^{48}Ti (73.94%), ^{49}Ti (5.51%), ^{50}Ti (3.4%) (4). Nos espectros obtidos, o pico mais forte corresponde ao isótopo mais abundante (^{48}Ti), mas os isótopos com massa atômica 46, 50 são facilmente observados nos espectros. Os isótopos 47 e 49 (que possuem estrutura hiperfina) não foram observados. Os dados obtidos neste trabalho complementam um estudo realizado nesta transição através do efeito Hanle não-linear (5) e a razão para a escolha desta transição é que ela representa um caso mais simples para a análise deste efeito (caso $J=0 \rightarrow J=1$).

Ainda neste trabalho, realizamos medidas de efeito Zeeman, observado através da técnica de intermodulação. Medidas do desvio Zeeman com o campo magnético permitiu que determinássemos o fator de Landé do nível superior da transição. O valor encontrado está em ótimo acordo com o valor tabelado, o que comprova a precisão de nossas medidas e da determinação dos valores de campo magnético utilizados. A determinação precisa

dos valores de campo magnético, produzido num solenóide construído em nossos laboratórios, é muito importante para a análise dos dados sobre o efeito Hanle não-linear nesta transição (5).

ESQUEMA EXPERIMENTAL

A montagem experimental utilizada é a usual de espectroscopia de intermodulação (1),(2),(3) e está ilustrada na Fig.1.

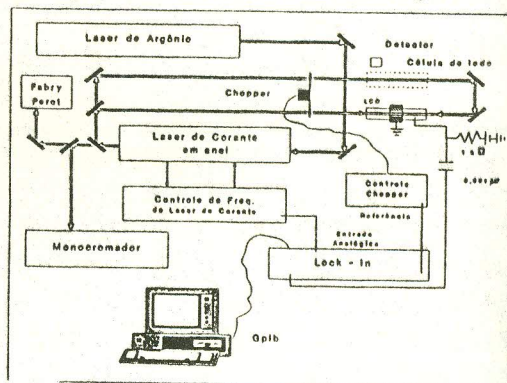


Fig.1- Arranjo experimental para espectroscopia optogalvânica de intermodulação.

No caso das medidas do efeito Zeeman, um solenóide, não ilustrado na figura, foi utilizado. Este solenóide produz um campo magnético longitudinal. Utilizando correntes máximas de 12 A, nas espiras deste solenóide, obtivemos valores de campo de até 372 Gauss.

As lâmpadas foram construídas no IPEN e os detalhes da construção foram descritos previamente e podem ser encontrados na ref.(6). Utilizamos uma lâmpada de catodo ôco de titânio natural, contendo Ar a uma pressão de 1 Torr. As lâmpadas foram operadas com valores de corrente de até 200 mA e refrigeradas com água ($T \approx 15^\circ\text{C}$).

Como fonte de radiação foi utilizado um laser de corrente monomodo operando em regime contínuo (largura de linha da ordem de 1 MHz). Os detalhes do seu funcionamento, procedimento de operação e sintonia em frequência, além do sistema de aquisição de dados, foram descritos previamente (7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig.2 apresenta um registro, com resolução Doppler, da transição estudada. O "pedestal" observado deve-se aos isótopos 46 e 50. Um ajuste por mínimos quadrados foi realizado e está ilustrado por linhas tracejadas na Fig.2. A partir deste ajuste, determinamos uma largura Doppler (FWHM) de 1500 Mhz para esta transição, o que equivale a uma temperatura de 900 K na descarga. Esta largura, determinada por estes ajustes, permaneceu praticamente constante com a corrente da lâmpada (variação de 20 a 150 mA).

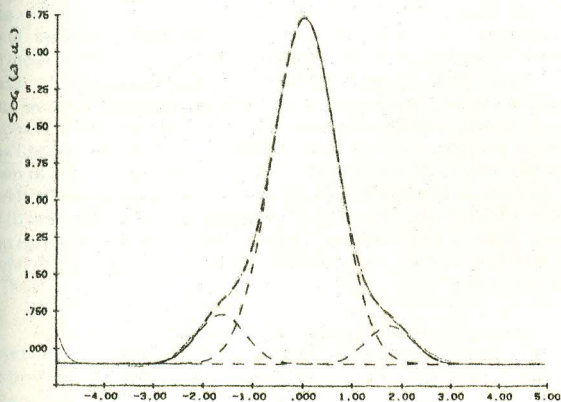


Fig.2- Espectros Doppler da transição em 5922.12 Å do titânio. Linha tracejada: ajuste de funções gaussianas à curva experimental. Intervalo total de varredura do laser: 9 GHz.

A Fig.3 apresenta um espectro sub-Doppler da linha, obtido com um intervalo de varredura do laser de 9000 MHz. Este espectro foi registrado simultaneamente com o espectro do iodo (I₂), usado como padrão para a determinação do comprimento de onda absoluto desta transição. O espectro do iodo no visível é tabelado na ref. (8), que apresenta as linhas determinadas com uma precisão de 0.006 cm⁻¹. Os números que aparecem na figura, ao lado dos picos, correspondem à classificação da ref.(8). O valor determinado, portanto, para o máximo do pico do isótopo ⁴⁸Ti, foi 16281.2027 cm⁻¹.

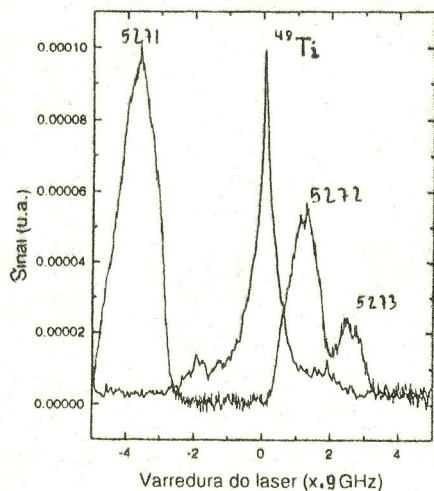


Fig.3- Espectro sub-Doppler da transição em 5922.12 Å do titânio, juntamente com espectro do iodo. Picos do iodo rotulados de acordo com a ref.(8). Intervalo total de varredura do laser: 9 GHz.

A Fig.4 apresenta novamente a linha obtida com resolução sub-Doppler, juntamente com um ajuste computacional da curva experimental (círculos abertos) à expressão teórica obtida por Smith e Hänsch e descrita em outro trabalho deste simpósio (1). Esta expressão descreve a forma de linha dos espectros obtidos por intermodulação como a contribuição de uma curva lorentziana, da qual obtemos a largura homogênea da transição, e um pedestal Doppler devido a colisões que mudam a velocidade. Os valores obtidos para a largura homogênea foram da ordem de 200 MHz e estão sendo analisados em função da corrente da lâmpada e potência do laser. Os desvios isotópicos foram obtidos dos espectros sub-Doppler e com o registro simultâneo dos picos de transmissão do Fabry-Perot. Os valores encontrados foram: desvio 46-48: 1800 MHz; desvio 46-50: 3450 MHz.

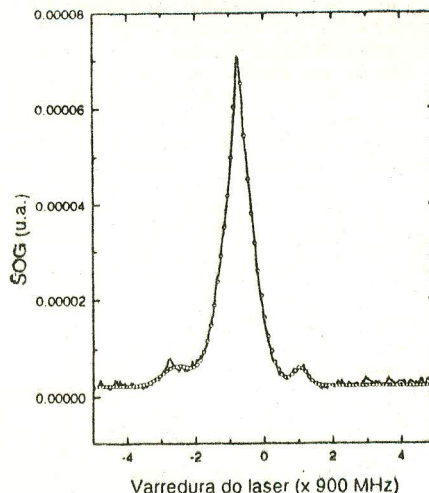


Fig.4- Espectro sub-Doppler da transição em 5922.12 Å. Círculos abertos: ajuste teórico à curva experimental (ver texto).

A Fig.5 apresenta registros sub-Doppler com três valores de campo magnético aplicado: 0, 98 e 277 Gauss. Vemos claramente a separação Zeeman dos sub-níveis m_j=-1 e m_j=+1 do nível superior. Apenas as transições com m_j=±1 são permitidas com o uso de um laser linearmente polarizado e um campo magnético longitudinal, como utilizados neste trabalho. O pico central mais intenso trata-se na verdade de uma ressonância "crossover" (9), pois os picos laterais correspondem às transições já citadas, que compartilham um nível em comum. A intensidade deste sinal "crossover" pode depender de colisões que mudam a velocidade e seu estudo pode fornecer informações sobre o papel destas colisões (10).

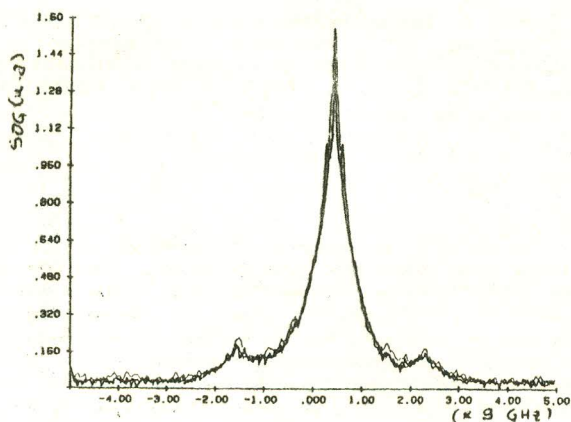


Fig. 5- Espectro sub-Doppler da transição em 5922.12 Å do titânio para três valores de campo magnético (0, 98 e 212 Gauss). Note a separação Zeeman da linha.

A separação Zeeman é vista com mais detalhe na Fig. 6, juntamente com os picos de Fabry-Perot. A separação entre cada pico é de 75 MHz ("free spectral range") e, com isto, a posição dos picos das transições do titânio foi determinada com uma incerteza de ± 5 MHz. Medidas como esta foram realizadas para vários valores de campo magnético. Um gráfico do desvio Zeeman em função do campo magnético, permitiu que determinássemos o fator de Landé do nível superior como sendo igual a 0.49, enquanto o valor tabelado (11) é 0.5.

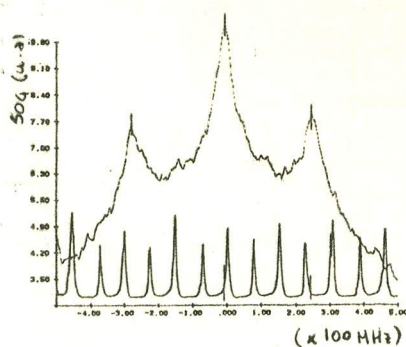


Fig. 6 - Separação Zeeman da transição estudada, com $B = 376$ Gauss. Os picos laterais correspondem aos subníveis -1 e $+1$ e o pico central é uma ressonância "crossover" (ver texto). Os picos na parte inferior são do Fabry-Perot e estão separados por 75 MHz.

Vemos portanto que a técnica utilizada é bastante versátil e confiável como técnica espectroscópica sub-Doppler. Os dados obtidos fornecem informações originais e importantes no estudo do titânio. Este elemento tem tido um interesse grande em astrofísica, devido ao seu papel no processo de nucleosíntese em estrelas (4). Além disto os dados obtidos estão sendo analisados juntamente com medidas

para esta linha via efeito Hanle não-linear, como foi citado anteriormente.

AGRADECIMENTOS

Suporte financeiro: FAPESP, CNPq e FAEP-UNICAMP. Os autores também agradecem ao técnico Maurício Paula Arruda pela construção da fonte de corrente para o solenóide e outros serviços de eletro-eletrônica.

ABSTRACT

We used the intermodulated optogalvanic technique, combined with Zeeman spectroscopy, to study the transition $^3P_0 \rightarrow ^3D_0$ of titanium, at 5922.12 Å. It was determined the upper level Landé factor and the isotopic shifts, by recording simultaneously the iodine spectrum and the transmission curve of a 75 Mhz FSR Fabry-Perot. The discharge temperature was estimated by the Doppler width and an analysis of lineshapes obtained by intermodulated spectroscopy allowed the determination of the homogeneous linewidth and the influence of velocity changing collisions, as a function of current in the discharge.

REFERÊNCIAS

1. F.C.Cruz, M.G.Destro, A.Mirage, D.Pereira, A.Scalabrin, C.Schwab, "Análise de formas de linha em espectroscopia optogalvânica de intermodulação no urânio", trabalho apresentado neste simpósio, Painel 6 (1992)
2. F.C.Cruz, M.G.Destro, A.Mirage, D.Pereira, A.Scalabrin, C.Schwab "Espectroscopia Optogalvânica Intermodulada em vapores de urânio", Trabalho apresentado neste simpósio, oral 17 (1992)
3. F.C.Cruz, M.G.Destro, A.Mirage, D.Pereira, A.Scalabrin, C.Schwab, "Medida do desvio isotópico e Estrutura Hiperfina do urânio utilizando IMOGS", trabalho apresentado neste simpósio, painel 04 (1992)
4. L.Gianfrani, O.Monda, A.Sasso, M.I.Schisano, G.M.Tino, M. Inguscio, Opt. Commun. 83, 5, 6, 301 (1991)
5. F.C.Cruz, J.V.B.Gomide, A.Scalabrin, A.Mirage, D.Pereira, "O efeito Hanle não-linear no titânio por espectroscopia optogalvânica", trabalho apresentado neste simpósio, Oral 21 (1992)
6. A.Mirage, D.Pereira, F.C.Cruz, A.Scalabrin, Il Nuovo Cimento D. 14, 6, 8 (1992).
7. F.C.Cruz, A.Scalabrin, D.Pereira, Rev. Bras. Fis. Aplic. Instrum. 6, 3, 119 (1991)
8. S. Gerstenkorn, P.Luc "Atlas du Spectre d'Absorption de la molécule d'Iode" Lab. Aimé-Cotton CNRS II Orsay (France) (1978)
9. W.Demtröder, "Laser Spectroscopy" Springer-Verlag (1988)
10. N.Beverini, M.Galli, M.Inguscio, F.Strumia, G.Bionducci, Opt. Commun. 43, 4, 261 (1982).
11. C.E.Moore, Atomic Energy Levels, Nat. Standard Ref. Data (Nat. Bur. Stand., 1971) 35/V.I.