

ESPECTROSCOPIA ATÔMICA DE EMISSÃO DO ARGÔNIO

A.J. Mania, G.H. Cavalcanti e A.G. Trigueiros

Instituto de Física
Universidade Estadual de Campinas
C.P. 6165 - 13081, Campinas, SP, Brasil
13083-970 Campinas, SP, Brasil

C. J. B. Pagan

Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Estadual de Campinas
13083-970 Campinas, SP, Brasil

RESUMO:

Utilizando-se um theta-pinch como fonte de luz espectroscópica foi estudada a radiação emitida pela descarga elétrica do gás Argônio de ultravioleta de vácuo (300-2000 Å). A detecção da radiação foi obtida com um espectrógrafo de dois metros de incidência normal, utilizando-se placas fotográficas "SWR" da KODAK. Variando-se os parâmetros: voltagem, pressão e número de disparos, obteve-se bons espectrogramas contendo transições atômicas do Ar IV - Ar VII. Os resultados são analisados utilizando-se extrapolações através de sequências isoeletrônicas e cálculos numéricos tipo Hartree-Fock.

INTRODUÇÃO:

O estudo de átomos ionizados tem aplicações em vários campos da Física, em especial no diagnóstico de plasmas de laboratório [1], plasmas astrofísicos [2], na Física de Lasers [3], etc. As linhas de impurezas presentes nos plasmas de laboratório são usadas para determinação de parâmetros do plasma tais como temperatura e densidade eletrônica. Às vezes a própria injeção no plasma de uma impureza, tal como o gás Criptônio, serve como guia para determinação de parâmetros do plasma. A detecção ótica das impurezas permite não só a análise qualitativa como também uma análise quantitativa e representa um dos métodos de diagnóstico mais importantes, pois não perturba o plasma.

Uma das máquinas mais importantes para o estudo da radiação emitida pelo plasma é o theta-pinch. O seu uso começou nos anos 60, inicialmente por Kaufman et al [4], e, posteriormente, por vários outros pesquisadores [5-11]. As principais vantagens que tornam o theta-pinch uma fonte de luz bastante aceitável são a facilidade na classi-

ficação iônica, o alargamento relativamente pequeno das linhas observadas e a presença nos espectros das linhas de intercombinação que, sendo transições de intensidade de muito fraca, não aparecem na maior parte de espectros obtidos com outras fontes de luz [4].

Utilizando-se o theta-pinch do Laboratório de Física Atômica do Grupo de Plasmas da UNICAMP, foi obtido o espectro do gás Argônio na região do ultravioleta de vácuo (300-2000 Å). Através da variação da pressão do gás no tubo, voltagem aplicada nas descargas e número de disparos, a intensidade relativa das linhas foi determinada pela comparação dos diversos espectrogramas.

EXPERIMENTO:

Para o estudo de gases ionizados foi construído um theta-pinch especialmente para esta finalidade. A quantidade de disparos é, em média, 3000 para um experimento com cinco espectrogramas. O banco de capacitores, com quatro capacitores de baixa indutância, possui capacitância total de 7.29 μ F. A fonte de alta tensão fornece um máximo de 60 kV a 100 mA, o que, com os resistores de carga (15 kV, 300 mA cada) possibilita uma taxa de repetição de até trinta disparos por minuto. A indutância total do sistema depende do número de espiras do solenóide - até cinco espiras com diâmetro interno de 90 mm e 100 mm de comprimento cada - variando entre 178 nH com cinco espiras e 201 nH com duas espiras, configurações que utilizamos para este trabalho. O tempo τ de oscilação é de 7.6 μ s e 45 nH de indutância no solenóide. O máximo de emissão luminosa ocorre sempre no terceiro semi-ciclo.

Na detecção da radiação utilizamos um espectrógrafo de incidência normal alinhado axialmente com o eixo do solenóide. Possui

rêde de difração côncava com 1080 linhas/mm com dois metros de distância focal e fator de placa de 4.6 Å/mm em 1000 Å. Os espectrogramas obtidos cobrem a região de 300 a 2180 Å e são gravados em placas fotográficas de emulsão SWR (Short Wave Region) da KODAK.

No primeiro experimento foi verificado como o número de disparos sensibiliza a emulsão, enquanto a voltagem e a pressão mantiveram-se constantes. Em um segundo experimento variou-se a pressão do gás no tubo enquanto a voltagem e o número de disparos foram mantidos fixos. Um terceiro experimento foi feito variando-se os dois parâmetros, voltagem e número de disparos, mantida a pressão fixa.

A otimização do surgimento de linhas espectrais em um dado espectrograma requer o conhecimento de um número máximo de disparos no theta-pinch, sem, com isso, comprometer o perfil das linhas e o "background" do espectro. Realizou-se, então, uma série de espectrogramas para se conhecer este tipo de otimização.

Com a variação da pressão do gás, mantida fixada a voltagem, tivemos o aparecimento mais específico de espécies iônicas, foram feitas, então, exposições nas pressões de 1, 10 e 50 mTorr. As leituras desses espectrogramas foram feitas num comparador semi-automático tipo Grant, do Observatório Astronômico de La Plata, Argentina. O erro estimado na medida da posição da linha no espectrograma foi de 0,01 Å, desde que a forma da variação do fator de placa foi bem determinada. Tais leituras geraram acima de 2000 transições do espectro do Ar.

Não foi notada diferença significativa nos espectrogramas com a pressão fixada e variando-se a voltagem e o número de disparos.

RESULTADOS:

A interpretação dos dados experimentais foi feita através de cálculos 'ab initio' do tipo Hartree-Fock utilizando-se o código computacional de Cowan [12]. Foi utilizado, também, extrapolações através da sequência isoeletrônica do Silício para as transições do Ar V, utilizando-se o método de Edlén [13]. A Tabela I mostra seis transições novas classificadas para o Argônio quatro vezes ionizado, Ar V. A Tabela II mostra transições classificadas somente de acordo com o grau de ionização pertencente. A intensidade das linhas em ambas as tabelas é fornecida visualmente e varia de 1 a 15. Para o perfil das linhas utilizamos as denominações W para linhas largas, A para linhas assimétricas e B para linhas superpostas. Nas Tabelas I e II a primeira

coluna representa as intensidades das transições com os seus respectivos perfis; a segunda coluna é o comprimento de onda em Å e a terceira coluna representa o número de onda em cm⁻¹. Na Tabela I a quarta coluna representa a classificação da transição. Na Tabela II a quarta coluna é a classificação iônica da transição.

TABELA I - Novas Transições do Ar V

I	λ (Å)	σ (cm ⁻¹)	Transição
10	797.10	125454.5	3s ² 3p ² 1D ₂ - 3s3p ³ 3P ₂
5	708.57	141129.4	3s ² 3p ² 3P ₁ - 3s3p ³ 3P ₀
2	651.70	153445.1	3s ² 3p ² 3P ₁ - 3s3p ³ 1D ₂
4	496.85	201268.1	3s ² 3p ² 1D ₂ - 3s ² 3p3d 3P ₂
6	486.56	205524.8	3s ² 3p ² 3P ₁ - 3s ² 3p3d 1D ₂
3	452.39	221048.9	3s ² 3p ² 1D ₂ - 3s ² 3p3d 1D ₂

TABELA II - Classificação Iônica de Transições Obtidas no Theta-Pinch da UNICAMP

I	λ (Å)	σ (cm ⁻¹)	Classificação
9	436.58	229051.5	V
2	439.37	227599.5	VII
7B	449.51	222466.3	V
1	628.69	159059.6	VII - VIII
9	630.26	158663.8	VII - VIII
9	641.37	155915.0	VI - VII
1	671.39	148944.8	VII - VIII
9	679.41	147186.8	VI - VII
6	744.93	134240.1	VI - VII
9	745.33	134169.4	V - VI
9	779.01	128368.3	IV - V
9	783.74	127593.0	V - VI
8	786.51	127143.5	VI - VII
10A	933.40	107135.4	VII
8	944.55	105870.4	VI - VII
4	1031.27	96968.0	V - VI
3A	1033.28	96778.8	VI - VII
8	1073.51	93152.2	III - IV
12	1089.45	91789.1	VI
12	1097.79	91091.9	VI
8	1130.05	88491.7	VI - V
12	1171.47	85362.5	VI - VII
8	1179.54	84778.7	VI
6	1255.65	79639.9	III - IV
1	1268.46	78835.8	VI - VII
4	1274.08	78487.7	VII - VIII
10	1366.54	73177.3	IV - V
10W	1400.56	71400.1	V - VI
3	1489.84	67121.0	VI - VII
8	1704.86	58655.7	V
7	2041.65	48980.1	IV - V

Abaixo, damos, também, transições que foram observadas pela primeira vez, e, portanto, devem ser tratadas como linhas novas. O detalhe é que estas linhas só aparecem na exposição mais energética (24 kV, 1 mTorr), indicando tratar-se de transições num nível mais elevado de energia no espectro do Argônio (ou impurezas).

TABELA III - Transições Observadas em Espectrograma mais energético e que não constam de Catálogos Anteriores

I	λ (Å)	σ (cm ⁻¹)
1A	774.56	129106.0
9	958.70	104307.9
9	1427.72	70041.7
8	1480.46	67546.6
7	1530.30	65346.5
5	1534.81	65154.4
5	1577.43	63394.1

CONCLUSÕES:

Apresentamos novos resultados da análise dos resultados obtidos no theta-pinch na UNICAMP utilizando-se o Argônio. Sei novas linhas foram classificadas pertencentes ao Argônio quatro vezes ionizado, Ar V, como também apresentamos uma classificação iônica de um grande número de transições obtidas pertencentes ao Ar IV - Ar VII. Novos níveis energéticos podem ser classificados com as informações conseguidas.

O estudo espectral de gases ionizados utilizando-se um theta-pinch como fonte de luz é uma das atividades do Laboratório de Física Atômica do Grupo de Plasma da UNICAMP.

As pesquisas continuarão utilizando-se não só o Argônio como também o Neônio, Criptônio e o Xenônio.

AGRADECIMENTOS:

Este projeto teve suporte financeiro do Con-

selho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP (FUNCAMP).

Um agradecimento especial aos pesquisadores do Centro de Investigações Ópticas (CIOp), Argentina, pela ajuda e paciência na leitura dos espectrogramas.

REFERÊNCIAS:

- [1] Huthinson, I.H.; "Lectures in Plasma Diagnostic" IV Latin-American Workshop on Plasma Physics "courses", 143-206, Buenos Aires, Argentina, (1990).
- [2] Edlén, B.; Z. Astrophys. 22, 30-64 (1942).
- [3] Di Rocco, H.O., Reyna-Almandos, J.G., Gallardo, M., e Person, M., Phys. Rev. A., 33, 2114-2116 (1986).
- [4] Kaufman, A.S., Hughes, T.P. e Williams, R.V.; Proc. Phys. Soc. London 76, 17 (1960).
- [5] Hallin, R. and Hughes, T.P.; Proc. Phys. Soc. London 78, 201 (1960).
- [6] Bockasten, K., Hallin, R. and Hughes, T.P.; Proc. Phys. Soc. London 81, 552 (1963).
- [7] Goldsmith, S. and Kayfman, A.S.; Proc. Phys. Soc. London 81, 544 (1963).
- [8] Fawcett, B.C. and Gabriel, A.H.; Proc. Phys. Soc. London 84, 1038 (1964).
- [9] Peacock, N.J.; Proc. Phys. Soc. London 84, 803 (1964).
- [10] Petterson, S.-G.; Phys. Scr. 26, 296 (1982).
- [11] Trigueiros, A., Petterson, S.-G., and Reyna-Almandos, J.G.; Phys. Scr. 34, 164 (1986).
- [12] Cowan, R.D.; "The Theory of Atomic Structure and Spectra" (University of California Press, Berkeley, USA (1981).
- [13] Edlén, B.; in Encyclopedia of Physics, edited by S.F. Flügge (Springer-Verlag, Berlin, 1964), Vol. XXVII, p. 80.