Um estudo espectroscópico da Nova Velorum 1999 (V382 Vel)

Anselmo Augusto

orientador: Prof. Dr. Marcos Diaz

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (ÁREA: ASTRONOMIA)

MAIO DE 2002

Aos meus pais e a Mozinha por toda a dedicação
e afeto tão necessários nesta árdua tarefa de
conquistar a felicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Diaz pelo incentivo, dedicação e paciência durante este período de mestrado.

Ao Prof. Dr. Sylvio Ferraz-Mello, Prof. Dr. Eduardo Janot-Pacheco e ao Prof. Dr. Júlio César Klafke pelo primeiro contato com pesquisa científica em astronomia.

Ao Prof. Dr. Roberto Costa, à Profa. Dra. Thais Idiart e à Paula pelos espectros fornecidos.

À Profa. Dra. Ana Zodi ao Prof. Dr. Augusto Damineli ao Cássio e à Lys pelas informações sobre o trabalho no infravermelho.

Ao Prof. Dr. Walter Maciel, à Profa. Dra. Ruth Gruenwald e ao Prof. Dr. Nelson Vani Leister por algumas valiosas dicas utilizadas neste trabalho.

Ao Jorge Meléndez, Alberto, Júlio Camargo, Luciana Pompéia, Ronaldo, Eduardo e Mauro pelo grande auxílio na redução de dados, Linux, etc, etc e etc.

Ao Rodrigo e a todo o pessoal do LNA pelo apoio durante as noites de observação e durante as intermináveis noites de céu nublado e umidade 100%.

Ao Alexandre Sanchez, Flávio Roccato, Marcus Vinicius, Isabel, Marcelão, Fabíola, Edson, Roseli, Iranderly, Thunder, Metálica, Sueli Yara, Lucimara, Áurea, Sandro, Dimitri, Anderson, André, Dinah, Marcelo, Wilton, Jocel, Cristiano e a todos os colegas do IAG e da Física, pelas valiosas sugestões, dicas, amizade, etc.

Ao pessoal da informática: Anderson, Adriana e Renato pelos incontáveis auxílios e amizade.

À Marina, Ana, Conceição, Carminha e Alessandra pela importante ajuda em vários momentos da minha vida de mestrando.

À Magda, Conceição, Célia e a todo o pessoal da biblioteca pelo incomensurável apoio durante as várias horas de pesquisa bibliográfica.

Ao pessoal da portaria: Oscar (in memoriam) aos Franciscos ao Reis e aos demais funcionários pela companhia durante as várias noites e feriados em que passei trabalhando.

O desenvolvimento deste estudo só foi possível com o suporte financeiro da CAPES e da FAPESP (proc.: nº. 02/00805-4 e 99/06261-1). Este trabalho utilizou dados do OPD/LNA.

Resumo

O estudo da envoltória de novas clássicas permite diagnosticar com precisão aceitável as condições físicas nos estágios avançados do fenômeno de nova. A Nova Velorum 1999, foi a mais brilhante em 24 anos, sendo um ótimo caso para este estudo. Trata-se de uma nova de neônio, formada em um sistema onde se acredita que a primária seja uma anã branca massiva de O-Ne-Mg. Neste trabalho seguimos a evolução espectral deste objeto nos primeiros três anos após sua erupção verificando um aumento da ionização aproximadamente 200 dias após o máximo visual. A partir de 565 dias após o máximo observamos um aumento do continuo azul que provavelmente reflete o restabelecimento do disco de acréscimo. Derivamos uma velocidade de ejeção do envelope da ordem de aproximadamente 1600 km/s e a escala de tempo de amortecimento no meio interestelar (aproximadamente 10 anos). Os principais resultados desta análise sugerem uma envoltória heterogênea sem simetria esférica. Estimamos também a densidade e temperatura eletrônica da envoltória bem como a evolução da temperatura da fonte central. Com estes dados estimamos limites inferiores para as abundâncias numéricas de He, N, O, Ne, S, Ar e Fe, confirmando ser uma nova de neônio. As abundâncias de oxigênio e neônio foram relativamente baixas se comparadas a outras novas de neônio, embora a abundância numérica deste último tenha sido a maior entre os elementos pesados desta nova. Outro fato relevante foi encontrar uma abundância de ferro bastante alta se comparada com o valor solar.

Abstract

The study of the classical novae shells allows to diagnosis with accuracy the physical conditions of the advanced phases in nova phenomenum. Nova Velorum 1999 (V382 Vel) was the brightest nova in the last 24 years being a good candidate to this study. This object probably is a neon nova wich is formed in a system where, according to theoretical models, there is an O-Ne-Mg white dwarf primary. In this work we present the spectral evolution of Nova Velorum 1999 shell during the first 3 years after the visual maximum. We verified an increase in ionization about 200 days after the outburst. In addition, 565 days after the outburst an increase in the blue continuum was observed, which is probably due to the reestablishment of the accretion disk. A shell ejection velocity of 1600 km/s and a damping time-scale of about 10 years were observed. The main results suggested that the shell is inomogeneous and non-spherical. We also estimated shell eletronic temperatures and densities as well as the central source temperature. With these data we estimated lower limits to He, N, O, Ne, S, Ar and Fe numerical abundances. The results confirmed that this nova is a neon nova. The oxygen and neon abundance limits were relatively low when compared to other neon nova, but the neon abundances in this nova were high when compared with other heavy element abundances in this object. It was also found that iron is enhanced in the shell, when compared to solar value.

Índice

Dedicatória..... i
Agradecimentos..... ii
Resumo..... iii
Abstract..... iv
Índice..... v
Índice de Figuras..... vii
Índice de Tabelas..... x

Capítulo I – Introdução..... 1
I.1 - Propriedades Fotométricas de Novas..... 3
I.2 - Propriedades Espectroscópicas..... 9
I.3 - O Fenômeno de Nova e a Detonação Termonuclear Descontrolada (DTD)..... 16
I.3.1 - A Fonte de Energia..... 17
I.4 - Dinâmica do Fenômeno de Nova..... 19
I.4.1 - Subida ao Máximo..... 19
I.4.2 - O Máximo Visual..... 22
I.4.3 - A Fase de Luminosidade Bolométrica Constante..... 23
I.4.4 - A Fase de Desligamento (“turn-off”)..... 25
I.5 - Novas e o Enriquecimento do Meio Interestelar..... 25
I.6 - Novas de Neônio..... 28

Capítulo II - Observações e Redução de Dados..... 31
II.1 - Espectroscopia Óptica..... 32
II.1.1 – Instrumentação..... 32
II.1.2 - Procedimento Observacional..... 34
II.1.3 - Efeitos Instrumentais..... 35
II.1.4 - Efeitos Atmosféricos..... 35
II.1.5 - Redução de Dados..... 36
II.1.5.1 - Correções Aditivas..... 37
II.1.5.2 - Correções Multiplicativas..... 37
II.1.5.3 - Extração do Espectro..... 38
II.1.5.4 - Calibração em Comprimento de Onda..... 39
II.1.5.5 - Calibração em Fluxo..... 40

II.1.5.6 - Procedimento de Correção de Perdas na Fenda..... 41
II.2 - Espectroscopia Infravermelha (banda J)..... 43
II.2.1 – Instrumentação..... 43
II.2.2 - Exposições e Seqüência Observacional para Cada Objeto..... 43
II.2.3 - Efeitos Instrumentais e Atmosféricos..... 44
II.2.4 - Redução de Dados..... 44

Capítulo III - Métodos de Análise..... 47
III.1 - Extinção Interestelar..... 47
III.2 - Critérios de Identificação e Medida de Linhas..... 48
III.3 - Estimativa da Temperatura da Fonte Central..... 49
III.4 - Densidade Eletrônica e Temperatura..... 51
III.4.1 - Densidade Eletrônica..... 51
III.4.2 – Temperatura..... 52
III.5 - Abundâncias Iônicas no Envelope..... 57

Capítulo IV - A Nova Velorum 1999..... 60
IV.1 - Descrição Evolutiva Geral..... 60
IV.1.1 - Dados no Visível, Infravermelho e Ultravioleta..... 60
IV.1.2 - Dados Obtidos em Raios-X..... 61
IV.2 - Magnitudes, Índices de Cor e Distância..... 63
IV.3 - Perfis de Linha..... 68
IV.4 - Evolução Espectral..... 72
IV.4.1 - Correção de Extinção..... 72
IV.4.2 - Espectros Observados..... 73
IV.4.3 - Curvas de Luz para Linhas em Emissão da Nova Velorum 1999..... 82
IV.5 - Temperaturas de Zanstra..... 90
IV.6 - Densidade e Temperatura Eletrônica..... 93
IV.6.1 - Temperatura e Densidade Eletrônica na Envoltória..... 93
IV.6.2 - Estimativa da Densidade Numérica de H Usando o Contínuo na Banda J..... 98
IV.7 - Abundâncias Iônicas..... 99

Capítulo V - Conclusões e Perspectivas..... 110
V.1 – Conclusões..... 110
V.2 – Problemas e Perspectivas..... 112

Capítulo VI – Apêndice..... 114

Capítulo VII - Referências Bibliográficas..... 119
VII.1 - Publicações de Caráter Geral..... 119
VII.2 - Publicações sobre a Nova Velorum 1999 (1999-2001)..... 123

Índice de Figuras

Figura ***página***

1 - Envelope da Nova Cyg 1992 Créditos : NASA, ESA, HST, F. Paresce, R. Jedrzejewski (STScI)..... 1

2 - Curva de luz geral para novas clássicas nas fases do espectro principal e na transição..... 3

3 - Magnitude absoluta no máximo em função do tempo de decaimento t_2 em dias. Esta figura foi foi obtida da correlação entre os dados de novas conhecidas até 1999..... 5

4a) - Curva de Luz e índices de cor para a nova rápida V1500 Cyg de tipo A (adaptado de Duerbeck, 1981)..... 7

4b) - Curva de Luz e índices de cor para a nova lenta HR Del de tipo D (adaptado de Duerbeck, 1981)..... 7

5 - Espectros da nova muito rápida N LMC 1988 n.2, de baixo para cima, vemos o espectro principal com difuso, espectro Órion e o início do espectro nebular (Sekiguchi et al., 1989)... 12

6 - Diagrama esquemático mostrando a evolução das duas classes espectrais de novas da fase permitida para o espectro nebular (Williams, 1992)..... 15

7 - O ciclo CNO em novas (Starrfield, 1989)..... 19

8 - A fase bolométrica constante, adaptado de Bode, 1982..... 24

9 – Transmissão para o filtro corta ordem RG610 do LNA..... 32

10 – Correção de perdas na fenda..... 42

11 - Diagrama de níveis de energia para os termos de menor energia de [OIII], todos provenientes da configuração fundamental $^2P_2$, e para [NII], na mesma seqüência isoeletrônica (Adaptado de Osterbrock, 1989)..... 54

12 – Um exemplo de gráfico temperatura $\times$ densidade para o [ArIII], as barras verticais correspondem as densidades encontradas teoricamente, considerando anãs brancas entre 1 e 1.4 M_{solar}..... 56

13 - Configuração eletrônica para o [FeVII]..... 58

Figura *página*

14 - Curva de Luz para N Vel 99. Na classificação de Duerbeck esta curva se encaixa no tipo A..... 60
15 - Curva de Luz e índices de cor para a Nova Velorum 1999..... 66
16 - Curva de Luz e índices de cor para a Nova Velorum 1999 (ampliado)..... 67
17 - Perfil de Hα + [NII] λλ6548,6584, em média resolução..... 68
18 - Velocidade de ejeção medida em Hβ..... 69
19 - Velocidade de ejeção medida em HeI..... 70
20 - Velocidade de ejeção medida em HeII λ5411..... 70
21 - Evolução da velocidade de ejeção medida pelas linhas de neônio..... 72
22 a) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 74 d, 86 d e 221 d..... 74
22 b) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 298 d, 383 d e 384 d..... 75
22 c) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 565 d, 670 d e 731 d..... 76
23 a) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 74 d, 86 d e 221 d (ampliado)..... 77
23 b) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 298 d, 383 d e 384 d (ampliado). 78
23 c) - Evolução espectral da Nova Velorum 1999 para Δt = 565 d, 670 d e 731 d (ampliado). 79
24 - Ajuste para o contínuo durante a evolução espectral. Foi feito um ajuste de cúbica sobre o contínuo. Note o sucessivo aumento deste no lado azul do espectro..... 82
25 – Razões de linhas para o hidrogênio..... 83
26 – Razões de linhas para o HeI..... 84
27 – Razões de linhas para o HeII..... 85
28 – Curva de luz de [OIII]..... 86
29 - Curva de luz de [OI]..... 87
30 - Curva de luz de [Ne]..... 88
31 – Curva de luz para o OI λ8446 e [OII] λ7325..... 89
32 – Curva de luz para o [ArIII] λ7136..... 89
33 - Temperatura de Zanstra de H e He..... 90
34 - Fator de cobertura e preenchimento referente a HeII λ4686 (vide texto)..... 91
35 - Fator de cobertura e preenchimento referente a HeII λ5411 (vide texto)..... 92
36 - Temperatura de Zanstra..... 93
37 - Temperatura em função da densidade para razão de [OI] em Δt = 74 d..... 94
38 - Temperatura em função da densidade a razão de [OI] em Δt = 86 d..... 95
39 - Temperatura em função da densidade para a razão de [ArIII] em Δt = 221 d..... 95
40 - Temperatura em função da densidade para Δt = 298 d..... 95

Figura *página*

41 - Temperatura em função da densidade para [OIII] em Δt = 383 d..... 96

42 - Temperatura em função da densidade para [OIII] em Δt = 384 d..... 96

43 - Temperatura em função da densidade para [OIII] em Δt = 565 d..... 96

44 - Temperatura em função da densidade para [OII] e [OIII] em Δt = 731 d..... 97

45 - Espectro Infravermelho em Δt = 70 d..... 98

46 - Abundância Iônica Numérica de HeI..... 100

47 - Abundância Iônica Numérica de HeII..... 100

48 - Abundância Iônica Numérica de NII..... 101

49 - Abundância Iônica Numérica de ArIII..... 101

50 - Abundância Iônica Numérica de SII e SIII..... 102

51 - Abundância numérica de Ne..... 103

52 - Abundância numérica de oxigênio..... 105

53 - Abundância iônica numérica de ferro..... 106

54 – Gráfico da razão de abundância numérica O/Ne $\times$ O/H para novas de neônio..... 108

Índice de Tabelas

Tabela *página*

1 - Classes de Velocidade..... 4

2 - Morfologia dos diferentes tipos de novas (Esquema de Classificação da Curva de Luz de Duerbeck, 1981)..... 6

3 - Classificação de Tololo ou de Williams..... 13

4 - Abundâncias em fração de massa encontradas em novas, adaptado de Gehrz et al., 1998.... 27

5 - Novas de neônio recentes com estimativas de abundância, de Warner, 1995 e Gehrz et al., 1998..... 28

6 - Missões Observacionais Úteis..... 31

7 - Configuração instrumental para baixa dispersão..... 33

8 - Configuração instrumental para média dispersão..... 33

9 - Configuração instrumental para o IV..... 43

10 - Emissão em raios-X de N Vel 99..... 63

11 – Magnitude absoluta no máximo..... 64

12 - Magnitudes sintéticas obtidas em V382 Vel..... 64

13 - Temperatura e densidade para a envoltória circunstelar de V382 Vel..... 97

14 - Abundâncias numéricas comparadas..... 107

15 - Abundâncias numéricas comparadas em unidades solares..... 109