TJAA Vol. **4**, *Special Issue* 3, *p.*397–400 (2023). DOI: 10.55064/tjaa.1203815 *Conference Paper*

RTT150 Spektrumlarından Klasik Novaların Bolluk Analizi

Gamal M. Hamed[1,2], Hasan H. Esenoğlu[1] ⋆

[1] *National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Stellar Astronomy Lab, Cairo-1142, Egypt*
[2] *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul-34119, Türkiye*

Accepted: March 1, 2023. Revised: December 26, 2022. Received: November 14, 2022.

Özet

Bulutsu evredeki 11 nova TÜBİTAK-TUG RTT150 teleskopu ile gözlendi. Bunların içerisinde bulunan N Sct 2019 (V659 Sct), 29-10-2019 tarihinde keşfedildi, bundan 245 gün sonra 30-06-2020 tarihinde gözlemlerini yaptık. Klasik novaların bu bulutsu evredeki bolluk analizi, içteki beyaz cüce, patlamanın mekanizması ve patlamadan önceki sistemin fiziksel koşulları hakkında bilgi verir. Bu iş için, bir fotoiyonizasyon kodu kullanılmıştır. Nova Sct 2019'un bulutsu aşamasındaki kabuğu bu şekilde modellenmiştir ve çıktıları gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Modelde kullanılan bulut kodu ile, bu nova kabuğunun termal ve istatistiksel denge denklemleri çözülmüş ve bu yolla elektron sıcaklığı ve sayı yoğunluğu ile emisyon tayfları ve iyonlaşma hesaplanmıştır. Buna göre, N Sct 2019 için bulunan sonuçlar şöyledir: Model atmosfer parametreleri olarak etkin sıcaklık 100000 K ve log g= 5.5. Elementlerin yüzde olarak bollukları (kütle kesirleri olarak) H (74.08), He (25.04), C (0.2376), N (0.0696) ve O (0.576). Nova'yı modellemek için Cloudy kodu tarafından kullanılan parametrelerden beyaz cücenin toplam ışıma gücü 36.500 erg s^{-1}, zarfın iç bölgesinin büyüklüğü (r_{min} 15.43 log cm ve r_{max} 16.43 log cm), hidrojen yoğunluğu (6.2 log cm^{-3}), doldurma faktörü (0.6), kaplama faktörü (0.9) ve uzaklık (2.2 kpc).

Abstract

Eleven nova in the nebular phase were observed with the TÜBİTAK-TUG RTT150 telescope. One of them, N Sct 2019 (V659 Sct), was discovered on 29-10-2019 and we observed it 245 days later on 30-06-2020. Analysis of the abundance of classical novae in this nebular phase provides information about the inner white dwarf, the mechanism of the explosion and the physical conditions of the system before the outburst. For this work, a photoionization code was used. The nebular phase shell of Nova Sct 2019 was modeled in this way and the output was compared with observations. With the cloud code used in the model, the thermal and statistical equilibrium equations were solved and the electron temperature, number density, emission spectra and ionization calculated. Accordingly, the results found for N Sct 2019 are as follows: Effective temperature 100000 K and log g= 5.5 as model atmosphere parameters. The elements abundances (in mass fractions) in percent are H (74.08), He (25.04), C (0.2376), N (0.0696), and O (0.576). Among the parameters used by the Cloudy code to model nova, the total luminosity of the white dwarf is 36,500 erg s^{-1}, the log of the inner ragius of the envelope (r_{min} 15.43 and r_{max} 16.43), hydrogen density (6.2 log cm^{-3}), filling factor (0.6), covering factor (0.9) and distance (2.2 kpc).

Anahtar Kelimeler: Cataclysmic variables – Nova – Nebular phase – Abundance analysis

1 Giriş

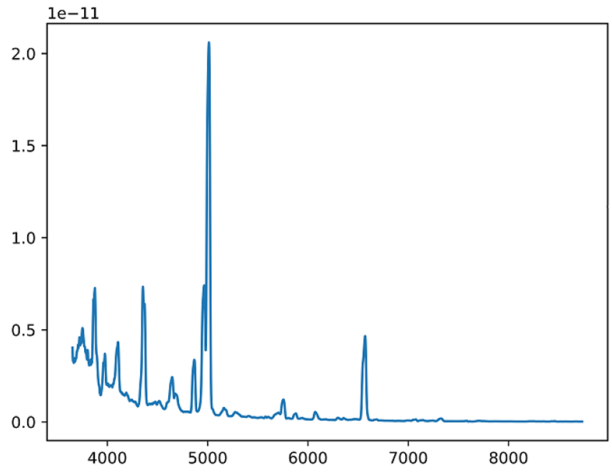
Kataklismik değişenler (CV'ler) ve ilgili sistemler (örneğin galaksimizdeki klasik novalar), beyaz cüce birinci bileşen olup sıkışık çift yıldızlardır ve bunlar "Madde Aktaran Beyaz Cüce Çiftleri" olarak adlandırılırlar. CV'ler esas olarak beyaz cüce etrafında yığışarak oluşan bir disk aracılığıyla büyük oranda ışıma yaparlar ve ikinci bileşen, geç tipte bir ana kol yıldızı veya bazen biraz evrimleşmiş bir yıldızdır. Bu sistemler, 2-2.5 gün olan GK Per gibi birkaç istisna dışında 1.4-13 saatlik yörünge periyotları gösterir (Balman 2020).

Klasik novalar, sistemin nova öncesi durumundan 6-19 kadir kadar parlaklaştığı, kataklismik değişenlerde ortaya çıkan ani patlamalardır (Warner 2003). Bu patlamaların, beyaz cücenin yüzeyinde biriken maddenin termonükleer tepkimesinden kaynaklandığı kabul edilmektedir (Starrfield ve diğ. 2016).

Bu araştırmada kullanılan RTT150 teleskopundan alınan tayf verileri, patlamanın farklı aşamalarında klasik nova zarflarını gözlemek ve incelemek için bir gözlem kampanyasının (20ARTT150-1628 ve 22BRTT150-1974 nolu TUG projelerinin) parçası olarak elde edildi. Devam eden bu kampanya 2020 yılının ortalarında başladı ve şu ana kadar yaklaşık 11 nova gözlendi. Bu kongre poster bildirisi, söz konusu kampanyanın sonuçlarıyla ilgili bir dizi makalenin ikincisidir. Bu araştırmada, gözlenenler içinde patlama sonrası nebular evre geçiren galaktik nova Sct 2019 (V659 Sct)'un bulutsu modeli geliştirilmiştir. V659 Sct (sağ açıklık: $18^h39^m59.7^s$, dik açıklık: -10°25′41.9″), 29 Ekim 2019 tarihinde keşfedildi ve muhtemelen patlamasından hemen sonra tayfında görülen helyum çizgilerinden dolayı He/N-tipi bir galaktik nova olduğu öne sürüldü (Williams ve diğ. 2019, Paunzen & Vanmunster 2016, Sokolovsky 2020 ve Kawash ve diğ. 2022). Yani optik tayflarında Fe II çizgilerinin yanı sıra N II/He I özelliklerinin saptanmasına dayanılarak, kaynağın hibrit bir nova olarak sınıflandırılmıştır (Aydi ve diğ. 2020). Yine Aydi ve diğ. (2020)'ye göre nova, 1) patlamadan >200 gün sonrasına kadar düzgün bir fotometrik düşüş sergiledi, ardından düzgün düşüşün üzerinde düzensiz parlaklık artışları

⋆ esenoglu@istanbul.edu.tr

© 2023 Turkish Astronomical Society (TAD)



Şekil 1. N Sct 2019'un mavi-görsel bölgeye düşen (3650-8740 Å) 749 Å çözünürlüklü grism 15 tayfı. Eksenler Şekil 3 ile aynı birimdedir.

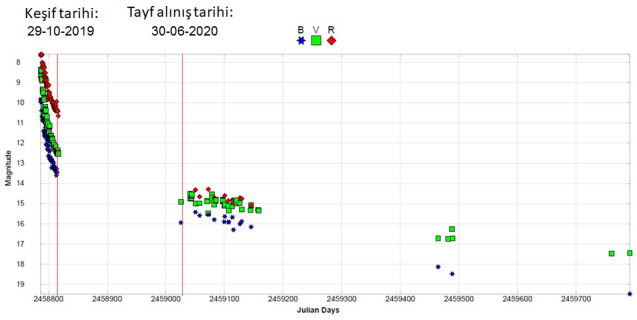
görüldü, 2) kırmızıötesi ışık eğrisine dayalı olarak J tipi bir novanın sınıflandırması elde edildi ve 3) optik tayfta K I (λ 7699 Å) soğurmasının saptanması kullanılarak, A_V≈4.0 kadirlik bir kırmızılaşma tahmin edidi. 6-06-2020 tarihindeki (patlamasının 241. gününde) kırmızıöte gözlemlerine göre de bulutsu aşamasındaki novada toz oluşumu meydana gelmemiştir (Woodward ve diğ. 2019). Sokolovsky (2020) ayrıca, novanın renk eksesini $E(B-V)$=0.9 olarak tahmin etmişlerdir. V659 Sct, çok hızlı nova (AAVSO ışık eğrisine göre 2 kadir sönükleşmesi için geçen süre t_2=6 gün) olarak sınıflandırılmıştır (Aydi ve diğ. 2020). Çok hızlı novaların ışık eğrileri yaklaşık bir günde optik maksimum ışığa ulaşır, zaman kısalığı bakımından bu durum, maksimum parlaklıktan önce tayf alınmasını zorlaştırır (Warner 2003). De ve diğ. (2021), nova V659 Sct'nin, galaksimizin şişkin bölgesindekiler gibi iyi elde edilmiş ışık eğrisi olmasına rağmen, maksimum parlaklıktaki iniş oranı (MMRD; Mclaughlin 1945, Zwicky 1936 ve Della Valle ve diğ. 1994) yönteminden novanın tahmin edilen uzaklığının yaklaşık 4-5 kpc olacağını ve dolayısıyla galaksimizin şişkin bölge novası olmasından ziyade disk popülasyonu ile tutarlı olacağını bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, söz konusu gözlenen nova kabuklarını ve özellikle bulutsu (nebular) aşamasını ilk kez model yaklaşımı ile araştırmaktayız. Bulutsu tayflarından elde ettiğimiz element bolluğu değerlerini kullanarak, nova zarflarının modellemesini fotoinonizasyon kodu olan Cloudy sürüm C17.02 (Ferland ve diğ. 2017) ile yaptık. Bu bulutsu gözlem ve model yaklaşımını ilk kez nova Cas 2020 (V1391 Cas) için uyguladık ve sonuçlarını yayına hazırlıyoruz (Hamed ve diğ. 2020). Bu araştırmada da ikinci kaynağımız olan galaktik nova V659 Sct'nin gözlem ve model sonuçlarını sunuyoruz.

2 Gözlem ve İndirgeme

Gözlemler, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin (TUG) Rus Türk Teleskopunda (RTT150) odak düzlemine konuşlandırılmış TUG Sönük Cisim Tayfölçeri ve Kamerası (TFOSC) kullanılarak yapılmıştır. 749 spektral çözünürlüğe sahip 3650-8740 Å spektral aralığını kapsayan bir grism ve Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ CCD kamerası kullanılmıştır.

Alınan ham tayfların standart veri indirgemesi, Görüntü



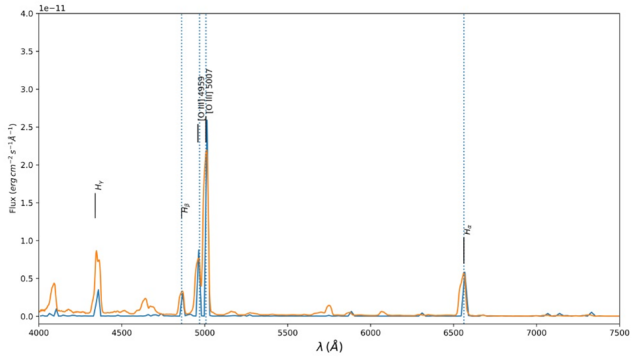
Şekil 2. N Sct 2019'un AAVSO ışık eğrisi.

İndirgeme ve Analiz İşlemi (IRAF) sürüm 2.16 Tody (1993) kullanılarak yapılmıştır. Tayf çizgilerin ölçüm işlemleri için de *splot* modülü kullanılmıştır. Üstüste binmiş birden çok pikli çizgi profilleri birbirlerinden, her bir pik için gauss profilleri yerleştirilerek ayrıştırılmıştır. Özellikle uzun poz verilerek alınan tayf görüntüleri kozmik ışınlardan yoğun bir şekilde etkilenmiştir. Bu nedenle Astro-SCRAPPY sürümünden (McCully ve diğ. 2018) yararlanılarak kozmik ışınları temizlemek için VanderPlas (2018)'un LACosmic algoritması koşturulmuştur. Akı kalibrasyonu için de Oke (1990)'den alınan spektrofotometrik standart yıldızlar kullanılmıştır. Nova Sct 2019'un dalgaboyu (Å), yatay eksen) ve akı (erg s^{-1}, dikey eksen) dönüştürmesi Şekil 1'de verilmiştir.

2020'nin ortalarından buyana, TUG-RTT150 teleskopunu kullanarak bulutsu evredeki 11 nova (N Cas 2020, N Per 2020, N Sgr 2020 No.2, V Sct 2017, **N Sct 2019**, V Her 2021, N Aql 2020 No.2, N Cyg 2019, N Aql 2020, N Cep 2013 ve N Del 2013) gözlenmiştir. Bu novalardan V659 Sct (N Sct 2019), patlamasından 265 gün sonra 30-06-2020 tarihinde gözlemleri gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 2). Bu novanın tayf indirgenmesinde, dalga boyunda 3.1'lik bir dikine hız düzeltmesi ile yıldızlararası sönümleme için $E(B-V)$=1.7527 değeri kullanılarak akı düzeltmesi yapılmıştır. Bu iş için, yıldızlararası sönümleme eğrilerini kullanarak (Fitzpatrick ve diğ. 2019), `Astropy`'de bulunan `dust_extinction` modülü koşturulmuştur (Astropy Collaboration ve diğ. 2013, 2018).

3 Model

V659 Sct novasının kabuğunu modellemek için `Cloudy` sürüm C17.02 (Ferland ve diğ. 2017) fotoinonizasyon kodunu kullandık. Novanın keşfinden sonraki 265. gününde alınan tayfının bulutsu evresindeki element bolluğu analizinden elde ettiğimiz parametreler, bu fotoiyonizasyon kodunda başlangıç değeri olarak girilmiştir. Sıcaklığı 80000 ile 200000 K arasında değişen bir kara cisim iyonlaştırıcı kaynağımız olduğunu varsayarak, değişen yüzey ivmelerine ve element bolluklarına sahip binlerce model çalıştırdık. Ayrıca, Hα çizgisinin genişliğinden belirlenen ortalama genişleme hızına dayalı bir ilk tahmin olarak kabuğun iç yarıçapını 15,19 olarak varsaydığımız bir iç yarıçaptan başladık. Doldurma faktörünü 0.05 ile 0.8 arasında değiştirdik. Bu durumda, beyaz cücenin toplam ışıma gücü, logaritmik olarak 35.5 ile 36.5 erg s^{-1}değerleri arasında değişmiştir. Birkaç sıcaklık ve yoğunluk varsayarak da PyNeb (Luridiana ve diğ. 2015) bulutsu analiz kodunu kullandık ve sonra farklı elektron sıcaklıkları için bulunan elektron yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak



Şekil 3. N Sct 2019'un tayf (sarı) ve en iyi Cloudy bulut modeli (mavi) üst üste çakıştırılmıştır.

çizgi emisyonlarının oranını hesapladık. Bu oran da, PyNeb çalıştırılarak hidrojen (H), helyum (He), karbon (C), azot (N) ve oksijen (O) bolluklarının ilk tahminlerini yapmak için kullanılan elektron yoğunluklarının ve elektron sıcaklıklarının ilk girdi değerlerini verdi. Bu yolla, araştırmanın Sonuç bölümünde verilen değerler, novanın bulutsu evresindeki kabuğuna en iyi uyan modelin parametreleri olmuştur. Bu modelin sentetik tayfı da Şekil 3'te (mavi renkli olarak) verilmiştir. Bununla birlikte, modeldeki veri noktalarının sayısı, gözlenen tayftaki veri noktalarının sayısından farklı olduğu için Ki-kare testi yapılamamıştır.

4 Sonuç ve Tartışma

Nova Sct 2019'un TUG-RTT150'den 30-06-2020 tarihinde grism 15 ile alınmış tayfı Şekil 1'de verilmiştir. Novanın B, V ve R filtrelerindeki AAVSO ışık eğrisi de Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil üzerinde novanın keşif ve tayfın alındığı tarihler belirtilerek kırmızı çizgi ile de gösterilmiştir. Şekil 3'te, RTT150 tayfı da (sarı), mavi renkli Cloudy bulut modeli ile üst üste en uygun olacak şekilde birleştirilmiştir. Tayftaki mavi renkli çizim, Nova Sct 2019 için Tübingen NLTE Model Atmosfer Paketi tarafından oluşturulan Beyaz Cüce model atmosferine uyarlanmış bir Claudy kodu ile çizdirilmiştir (Rauch ve diğ. 2018).

Şekil 1'deki bulutsu evrede alınmış V659 Sct tayfında yoğunluğa duyarlı salma çizgilerinin olması, uzaya atılan nova kabuğundaki elektron yoğunluğunu hesaplamamıza ve dolayısıyla element bolluklarını tahmin etmemize olanak verdi. Bu yolla bulunan toplu sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Buradaki beyaz cüce model atmosferi, nova kabuğunu iyonize eden bir yayıcı kaynak olarak kullanılmıştır. Şekil 3'teki V659 Sct'nin sentetik tayfı, beyaz cüce model atmosferi kullanılarak Cloudy kodu tarafından yapılmıştır. He/N türünden olan novanın kabuğundaki element bolluklarını büyükten küçüğe doğru %74 ile H, %25 He, %0.6 O, %0.2 C ve %0.1 ile de N şeklinde yaklaşık değerleriyle sıralayabiliriz.

Modelde kullanılan novanın 2.2 kpc uzaklığı, MMRD ilişkisinden (Della Valle ve diğ. 1994) bulunan 45 kpc değerinden oldukça küçük alınmıştır. Hangi değerin geçerli olacağının tespiti için genişleme paralaksı yöntemi ile RTT150 teleskopunda görüntüleme gözlemi yapılacaktır (TÜBİTAK-TUG'un 22BRTT150-1974 nolu gözlem projesi).

Çizelge 1. Nova kabuğu modelleme sonuçları. Element bollukları kütle kesri olarak verilmiştir. $r_{\rm min}$ ve $r_{\rm max}$ olarak verilenler, kabuğun iç bölgesinin logaritmik büyüklükleri olup yarıçap ve cm olarak ölçülür.

Model atmosfer parametreleri	
Etkin sıcaklık (K)	100000
$\log g$	5.5
Olası element bollukları	
H	0.7408
He	0.2504
C	0.002376
N	0.000696
O	0.00576
Cloudy kodu parametreleri	
Toplam ışıma gücü (erg s^{-1})	36.500
$r_{\rm min}$ (log cm)	15.43
$r_{\rm max}$ (log cm)	16.43
Hidrojen yoğunluğu (log cm^{-3})	6.2
Doldurma faktörü	0.6
Kaplama faktörü	0.9
Uzaklık (kpc)	2.2

Teşekkür

20ARTT150-1628 ve 16ARTT150-949 numaralı projeleriyle RTT150'nin kullanımına destek verdiği için TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne (TUG'a) teşekkür ederiz. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin (BAP) FBA-2020-36956 nolu projesi tarafından desteklenmiştir. Bu araştırmada kullanılan TMAW arayüzü için Alman Astrofizik Sanal Gözlemevi'ne teşekkür ederiz. Ayrıca, yorumları ile makalenin iyileştirilmesine katkı veren TJAA hakemine çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Astropy Collaboration, Robitaille, T. P. ve diğ.AAP **558** (2013) A33

Astropy Collaboration, Price-Whelan, A. M., ve diğ.AJ **156** (2018) 123–142

Aydi E., Chomiuk L., Izzo L., Harvey E.J., Leahy-McGregor J., Strader J., Buckley D.A.H., Sokolovsky K.V., Kawash A., Kochanek C.S., Linford J.D., Metzger B.D., Mukai K., Orio M., Shappee B.J., Shishkovsky L., Steinberg E., Swihart S.J., Sokoloski J.L., Walter F.M., Woudt P.A., ApJ **905** (2020) 62–95

Balman S., Advances in Space Research **66** (2022) 1097–1122

De K., Kasliwal M.M., Hankins M.J., Sokoloski J.L., Adams S.M., Ashley M.C.B., Babul A.N., Bagdasaryan A., Delacroix A., Dekany R., Greffe T., Hale D., Jencson J.E., Karambelkar V.R., Lau R.M., Mahabal A., McKenna D., Moore A.M., Ofek E.O., Sharma M., Smith R.M., Soon J., Soria R., Srinivasaragavan G., Tinyanont S., Travouillon T., Tzanidakis A., Yao, Y., ApJ **475** (912) 19–39

Della Valle, M., Rosino L., Bianchini A., Livio M., A&A **286** (1994) 403–409

Ferland G.J., Chatzikos M., Guzman F., Lykins M.L., van Hoof P.A.M., Williams R.J.R., Abel N.P., Badnel N.R., Keenan F.P., Porter R.L., Stancil P.C., RMxAA **53** (2017) 385–438

Fitzpatrick E.L. ve diğ., ApJ **886** (2019) 108–132

Hamed G.M., Esenoglu H.H. and Galeev A.I., NewA (2023) yayın aşamasında

Kawash A., Chomiuk L., Strader J., Sokolovsky K.V., Aydi E., Kochanek C.S., Stanek K.Z., Kostrzewa-Rutkowska Z., Hodgkin

S.T., Mukai K., Shappee B., Jayasinghe T., Smith M.R., Holoien T.W.S., Prieto J.L., Thompson T.A., ApJ **937** (2022) 64–81
Luridiana V., Morisset C., Shaw R.A., A&A **573** (2015) A42
McCully C., Crawford S., Kovacs G., Tollerud E., Betts E., Bradley L., Craig M., Turner J., Streicher O., Sipocz B., Robitaille T., Deil, C., astropy/astroscrappy: v1.0.5 Zenodo Release, v1.0.5 (2018) 10.5281/zenodo.1482019
McLaughlin B., PASP **57** (1945) 69–80
Oke J.B., AJ **99** (1990) 1621–1631
Pavana M., Anupama G.C., Pramod Kumar S., ATel **13245** (2019)
Rauch T., Demleitner M., Hoyer D., Werner K., MNRAS **475** (2018) 3896–3904
Sokolovsky K.V., Aydi E., Chomiuk L., Kawash A., Strader J., Mukai K., Stanek K.Z., Kochanek C.S., Way Z.S., Shappee, B.J., ATel **13252** (2019)
Starrfield S., Iliadis C., Hix W.R., PASP **128** (2016) 051001
Tody D. Astronomical Data Analysis Software and Systems II (eds. R.J. Hanisch, R.J.V. Brissenden, & J. Barnes) in Astronomical Society of the Pacific Conference Series **52** (1993) 173–183
van Dokkum P.G, PASP **113** (2001) 1420–1427
Warner B., Cataclysmic Variable Stars, Cambridge University Press, (2003) doi: 10.1017/CB09780511586491
Warner B., in Classical Novae (eds. M.F. Bode & A. Evans) (2008) 16
Williams S.C., Darnley M.J., Healy M.W., Murphy-Glaysher F.J., Ransome, C.L., ATel **13241** (2019)
Woodward C.E., Banerjee D.P.K., Evans, A., ATel **13815** (2020)
Zwicky F., PASP **48** (1936) 191–194

Access:
M23-0387: Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.