

Yüksek Enerji Astrofiziğinde Klasik ve Tekrarlayan Nova Sistemlerinin İncelenmesi

Şölen Balman^{1*}

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara, 06531

Özet Yüksek enerji astrofiziği 1970 lerden başlayarak gelişmiş, şimdilerde uzay bilimleri dalında çok önemli bir yer edinmiştir. Klasik ve tekrarlayan nova sistemleri ilk önceleri optik ve kızılötesi dalgalarda çalışılarak süregelen ama daha sonra teknolojinin gelişimiyle elektromanyetik spektrumun bütün bölgelerinde çalışılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin yüksek enerjilerde çalışılması ise beyaz cücenin patlamadan sonra sıcak fazlarının ve hidrojen yanması evresinin çalışılması ve nova kabuğunun hidrodinamik gelişiminin, morfolojisinin ve nova bolluklarının şoklarla incelenmesi ile bir gelenek haline gelmiştir. Artık X-ışınlarında (ve bazen de Gamma-ışınlarında) nova gözlemleri uydularla fırsat ve noktasal gözlem önerileriyle yapılmaktadır.

1 Giriş

Klasik ve tekrarlayan nova sistemleri en eski çalışılmış astronomi-astrofizik konularından biridir. İlk nova bundan yaklaşık 160 yıl önce bulunmuştur (340 yıl önce gözlenmiş olan bir nova da vardır). Bu sistemler birincil beyaz cüce ve ikincil anakol yıldızından (veya biraz evrimleşmiş) oluşan aktif madde aktarımı yapan çift yıldızlardır. En önemli özellikleri bir termonükleer kaçak (TNR) patlamasıyla beyaz cücenin üstünde biriken ikincil yıldızdan gelen maddenin detone olarak yanması ve açığa çıkmasıdır. Atık madde (10^{-3} - 10^{-7}) güneş kütlesi civarında olup 1000 km/sn ve üzeri hızla hareket eden, sonra da şokla yavaşlayan bir kabuk oluşturur (Shara 1989; Starrfield 2002; Livio 1994; Krautter 2008; Bode ve Evans 2008). Nova patlamalarının X-ışını ve Gama-ışını gözlemleri 1983-84 yıllarında EXOSAT ile başlayarak yapılmıştır. Gamma-ışınlarında gözlemler sonuç vermezken (2010 yılında patlayan V407 Cyg adlı kaynak hariç) X-ışınları beyaz cüce emisyonunun sıcak fazlarının çalışılması, hidrojen yanmasının takibi ve nova kabuğunun hidrodinamik evriminin izlenmesinde kilit gözlem bandı olarak astrofizik literatürüne yerleşmiş bulunmaktadır. Bu sebeple benim de üyesi bulunduğum bir nova gurubu bu objeleri sürekli olarak SWIFT teleskobuyla patlamalarının belirlenen bir süresinden sonra sürekli izlemektedir. Bu gözlemler, optik tayf ve fotometri, ayrıca CHANDRA ve XMM-NEWTON teleskoplarının X-ışını rendeleriyle desteklenmektedir. Radyo ve kızılötesi gözlemleri de olabildiğince yapılmaktadır. Bunlar arasında, RS Oph'un iki yıllık X-ışını evrimi, radyo jeti ve bunun X-ışını bileşkesi; V2491 adlı novanın tekrarlayan nova olarak

* solen@astroa.physics.metu.edu.tr

bulunması ve eriştiği çok yüksek beyaz cüce sıcaklıkları, X-ışını renge tayflarıyla bulunan maviye kaymış soğurma çizgileri; X-ışını eğrilerinde bulunan yüksek parlamalar ve derin dipler; RS Oph ve KT Eri adlı novalarda bulunan 35 sayıyelik osilasyonlar ve sebepleri; son olarak V407 Cyg'in FERMI ile bulunuşu ve gamma ve radyo ışınlarında da izleniş, bununla beraber nova şoklarında parçacık akselerasyonu ve GK Per adlı eski nova da bulunan akselerasyonla karşılaştırılması; önemli gelişmeleri içerir.

2 Kısa X-ışını Gözlem Tarihçesi

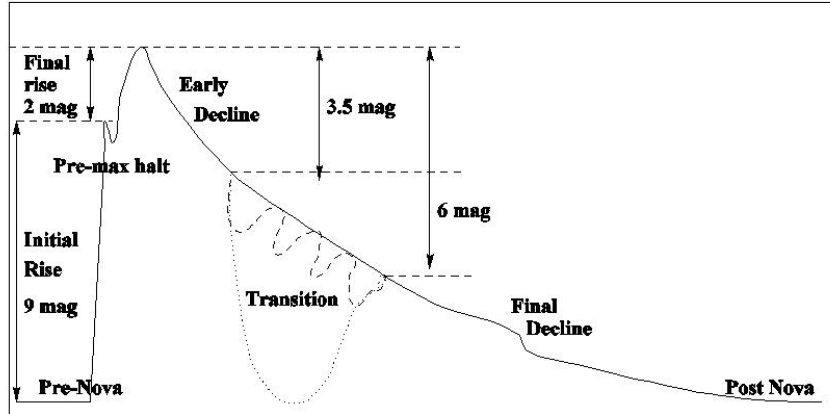
İlk gözlemler EXOSAT (1-20 keV) arasında yapılmış ve LE (low enerji dedektörü) ile üç adet bulunmuştur (e.g., GQ Mus: Ögelman ve ark. 1993, QU Vul 1984: Ögelman ve ark. 1987). Daha sonra ROSAT teleskobuyla gözlemler başlamıştır (0.1-2.5 keV). Bu teleskopla 6 galaktik nova bulunmuştur (Balman ve Krautter 2001; Orio ve ark. 2001). Beppo-Sax gözlemleri verimsiz kalmış marjinal olarak 3 adet nova gözlenmiştir (Orio ve ark. 1997, 1999, Kahabka ve ark. 2001). Bundan sonra Günümüzde de devam eden misyonlarla gözlemler başlamıştır. CHANDRA teleskobuyla (0.2-10 keV) ilk renge gözlemleri yapılmıştır. Halen 12 Galaktik nova gözlenmiştir (Starrfield ve ark. 2001; Ness ve ark. 2003; Drake ve ark. 2002; Ness ve ark. 2005,2007, Drake ve ark. 2009; Ness ve ark. 2010; Nelson ve ark. 2008). XMM-NEWTON ile 16 Galaktik nova tanımlandı ve çalışıldı. Bazı önemli çalışmalar, N Sgr 1998, Nova Oph 1998 (Hernanz ve ark. 2002), V5116 Sgr (Sala ve ark. 2010), RS Oph (Nelson ve ark. 2008) V4743 Sgr (Rauch ve ark. 2010) ve V723 Cas (Ness ve ark. 2010) olarak sıralanabilir. SUZAKU JAXA-NASA-ESA ortak yapımı yeni bir teleskop olarak sadece üç novayı gözlemlemiştir (e.g., V2491 Cyg: Takei ve ark. 2009). Son 10 yılın en önemli X-ışını teleskoplarından olan SWIFT ile yapılan gözlemlerden 23 galaktik nova tanımlanmış ve bütün patlama evresi kısa gözlemlerle izlenmiştir (e.g., U Sco, KT Eri, V407 Cyg, RS Oph: Bode ve ark. 2006, Ness ve ark. 2009 Osborne ve ark. 2010, V458 Vul: Page ve ark. 2009, V2362 Cyg : Lynch ve ark. 2008; V2491 Cyg : Page ve ark. 2010, Iberra ve ark. 2009). RXTE teleskobuyla fazla gözlem yapılamamıştır, en önemli çalışılmış iki kaynak RS Oph, (Sokoloski ve ark. 2006) ve V382 Vel, (Mukai ve ark. 2001).

3 Nova Patlaması ve X-ışını Patlama Mekanizmaları

Nova Patlamaları bir beyaz cücenin üstündeki madde aktarımıyla oluşmuş hidrojen zarfının detonasyon sonucu yanmasıdır. Kataklişik değişken sistemlerde oluşur. İlk olarak bir madde aktarımı evresi (e.g., $\leq 10^{-11} M_{\odot}$) görülür, bu evre yavaş biriken hidrojenin TNR termonükleer kaçak ile yükselen sıcaklıklarla ($T \sim 10^{7-8}$ K) yanmasıyla biter ve patlama evresi başlar. Stabilize olmamış Beta parçacıklarının konveksiyonla yukarı çıkmasıyla zarfın dış katmalarına enerji depolanması, dış katmaların ve bunu izleyen nova zarfının genişlemesine ve bir kısmının sistemden atılmasına neden olur. Bu arada sistem görünür maksimuma ulaşır (Şekil 1). Sistem bunu izleyen patlama evresinde sabit Bolometrik ışınım

gücü evresine ulaşır. Bu evrede Beyaz cücenin genişlemiş olan zarfının atılmamış kısmı küçülerek (sabit ışınım gücünde) beyaz cücenin üstüne çökeler. Bu arada beyaz cüce sıcaklığı gittikçe yükselir ve hidrojen yanması devam eder. Bununla beraber beyaz cüce tayfı optik banddan, ultraviyoleye ve oradan da X-ışını bandına geçer. Bunun sonucunda zarf kütlesi stabil bir değere vardığında hidrojen yanması durur ve sistem soğumaya başlar. Post-nova evresine girilir. Bu evrimi en çok madde aktarım miktarı ve tarihçesi, beyaz cüce yaşı kütlesi ve beyaz cücenin üstündeki zarfın elemental kompozisyonu etkiler.

Hidrojen yanması sırasında kara cisim ışımasına benzeyen bir sürekli atmosferik emisyon görülür (0.1-1.0 keV arasında X-ışını emisyonu, $L_{\text{edd}}=10^{38}$ erg s⁻¹). Buna yumuşak X-ışını bileşeni diyoruz. Bunun dışında Patlama sırasında sistem dışına atılan maddenin şoklarla ısınması 0.5 keV üzeri X-ışını emisyonuna neden olur. Bundan Bremsstrahlung ve Çizgi Emisyonu görmekteyiz. Sert X-ışını bileşeni çeşitli sebeplerle oluşabilir: Sistem-çevresi maddeyle etkileşim, çarpışan rüzgarlar, yıldız rüzgarlarında instabilite, ve madde aktarımı. radyoaktif bozunmalardan oluşan gama-ışınlarının komptonizasyonu da (örnek: ²²Na, ⁷Be, ²⁶Al) teklif edilmiş ama gözlemlenmemiştir (Hernanz ve ark. 2002).



Şekil 1. Bir novanın optik bantta ışık eğrisi

4 V1974 Cyg: İlk Uzun Nova İzleme-Gözlemleri; GK Per : İlk X-ışını Nova Kabuğu

V1974 Cyg (N Cyg 1992) patladıktan sonra 60-660 gün aralığında X-ışınlarında ROSAT uydusuyla gözlenmiştir. Bunun sonucunda X-ışını yayım mekanizmalarının hangileri olduğu ve zaman içinde nasıl geliştiği görülmüştür. Yumuşak bileşen evrimi için şekil 2; sert bileşen evrimi için şekil 3'e bakınız. Sert bileşenin

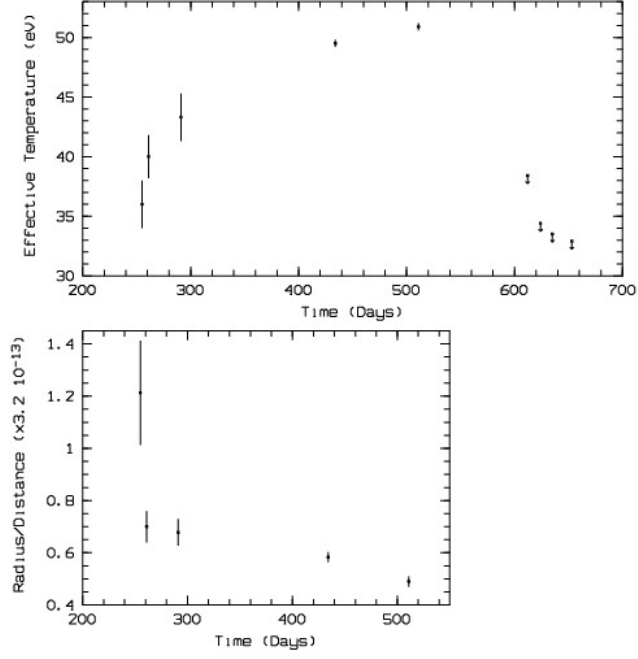
novalarda rüzgarlarla (yada patlama dalgasıyla) atılan materyalin birbiriyle yada sistem etrafındaki kalıntı maddeyle etkileşerek şok yaratmasından oluştuğu belirlendi. Bu etkileşim 60 günde başlayıp 150 günde maximuma ulaştı ki bu radyo thermal ışınımı maximumu ile çakışır. X-ışını soğuma zaman skalası yaklaşık 3 senedir. Sıcaklıklar 10 keV lere başlayıp maximumda 1 keV ye kadar düşüp sonrada 1 sene kadar bu sıcaklıkta kalıp sonrada soğumaya başladığı gözlemlendi; $L_x=1 \times 10^{34}$ erg s⁻¹. Yumuşak bileşen 250. günden sonra belirdi ve 511. günde Hidrojen yanması sönmüldüğü için soğumaya başladı. Beyaz cüce emisyonu LTE NeO atmosfer modelleriyle modellendi ve $L_x=9 \times 10^{37}$ erg s⁻¹ olarak hesaplandı. Analiz detayları Balman ve ark. (1998) de bulunabilir.

Eski Nova Kabukları genelde optikte çözülmüştür. Morfolojileri polar ve ekvatorial rüzgarlarla, çift yıldız hareketinin bir sonucudur. Ayrıca beyaz cücenin rotasyonu da etkilidir. Polar ve Ekvatorial elemental bolluk farklılıkları yaratır. (Krautter et al. 2002; Bode 2004, Bode ve Evans 2008). UV ve radyo dalgalarında çözülmüş nova kabuğu yok denecek kadar azdır (DQ Her (UV) – Evans ve ark. (1992)– ve GK Per (Radyo) Seaquist ve ark. (1989)). Patlama evresi geçtikten uzun zaman sonra X-ışınlarında nova kabuklarına ne olur ? Bunu anlayabilmek için GK Per X ışınlarında gözlemlendi ve bir nova kabuğunun ilk X-ışını bulunuşu ROSAT HRI uydusu ve algılayıcısıyla oldu (Balman ve Ögelman 1999). Daha sonra da CHANDRA uydusuyla gözlemlendi (Balman 2005). Kabuğun boyutları 45“ B; 38“ D; 52“ G; 41“ K 0.064±0.01 sayım/sn . G-B da parlak ve karmaşık bir morfoloji sergilemekte. Nova kabuğunun yüzey parlaklığı (2-8)×10⁻⁹ foton/açı-sn²/cm²/sn. Şekil 4 Nova kabuğunun CHANDRA imajı, şekil 5a ve 5b de nova kabuğunun şok deseni ve CHANDRA spektrumudur. Sürekli emisyon ve salma çizgilerinde 1-5×10³² erg s⁻¹, radyatif değil enerji genişlemeye gitmekte. İki bileşke var: sıcak gömülü bileşke ve soğuk ileri şok bileşkesi (0.9 keV ve 0.2 keV). Soğuk bileşkede [NeIX] ve [NVI] çizgileri mevcut. Kabuğun kenar bölgesinden alınan tayfta atermal X-ışını emisyonu görüldü; foton indeksi 2.33. Novadaki enerji dağılımı; $E_{kin}=3 \times 10^{45}$ erg, $E_{ter}=3 \times 10^{45}$ erg, $E_B=10^{43}$ erg, ve $E_{ter}=10^{43}$ erg.

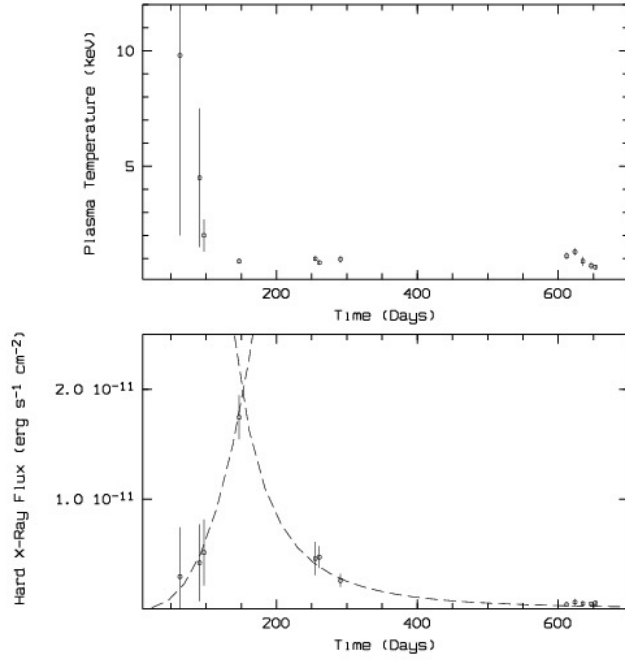
Yakın zamanda (Balman 2010) T Pyx adlı tekrarlayan novadan genişlemiş-uzantılı emisyon bulundu (Bakınız şekil 6). Bu novanın XMM-NEWTON gözlemlerinde 0.3-10 keV ışınımında iki bileşke bulundu; bu bileşkelerden 0.2 keV, $L_x=6 \times 10^{32}$ erg s⁻¹ olanı 200-800 km/sn şok hızları oluşunu gösterdi ki bu HST (Hubble Uzay Teleskobu) den bulunan genişleme hızlarıyla aynıdır. Bunun için 2010 senesinde CHANDRA dan detaylı 100 ksec gözlem alınmıştır.

5 V4743 Sgr: Şaşırtan Nova

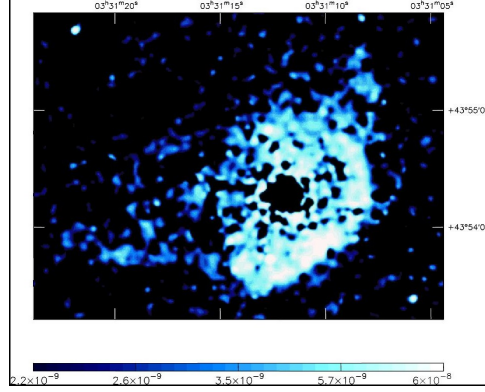
V4743 Sgr 2002 yılında keşfedildi. Bu nova Chandra ile rende spektroskopisi yapılan ilk sistemlerden biridir. Hem beyaz cücenin atmosferinden gelen yumuşak hemde şoklardan kaynaklanan sert bileşke bulunmuştur. 25 ksn gözlemlerde beyaz cüce emisyonunda bir örtüşme bulunmuştur (Ness ve ark. 2003). Bu örtüşmeden önce 22 sn civarlarında osilasyonlar saptanmıştır (Ness ve ark. 2003; Dobrotka ve Ness 2010). Bu osilasyonların diskteki kepler karasızlıklarından kaynaklandığı



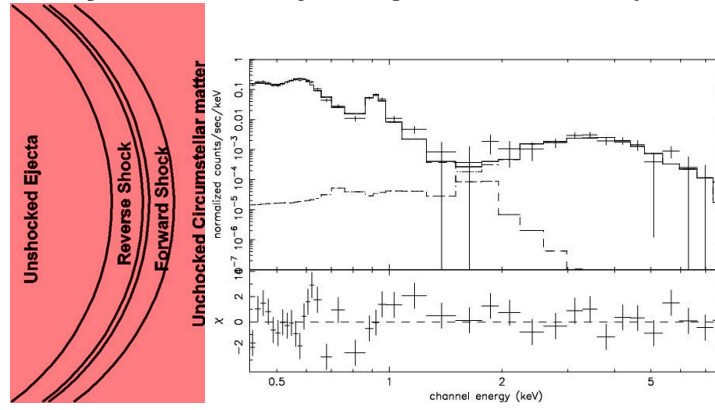
Şekil 2. V1974 Cyg novasının yumuşak bileşkesinin sıcaklık ve çap evrimi.



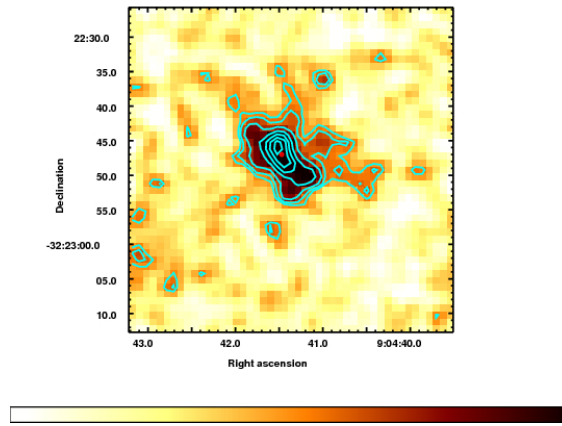
Şekil 3. Sert bileşke sıcaklığı ve akısının evrimi.



Şekil 4. GK Per X-ışını kabuğunun CHANDRA imajı



Şekil 5. GK Per X-ışını kabuğunun şok deseni ve CHANDRA spektrumu



Şekil 6. T Pyx tekrarlayan novasının XMM-Newton imajı

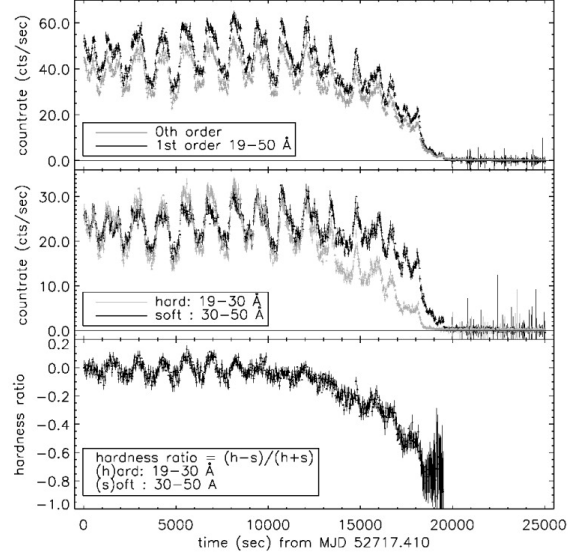
önerilmiştir (bakınız şekil 7). Beyaz cücenin atmosfer emisyonunda OVII, NVII, NVI, CVII soğurma çizgileri görülmüştür. Sert bileşkede NVII ve NVI emisyon çizgileri bulunmuştur. Rauch ve ark. (2010) NLTD atmosferleriyle yumuşak bileşkeyi modellemeye çalışmıştır. Bunun sonucunda sıcaklık 740 ± 70 kK, $\log g=9$ ve $\log N_H=20.7 \pm 0.3$ olarak saptanmıştır (bakınız şekil 8). Değişik modellerle uyumlamalarda carbon ve nitrojen bollukları $[C]=-0.8-0.6$ ve $[N]=1.1-1.5$ (logaritmik) olarak hesaplanmıştır. C/N oranının düşük olması H yanmasının (CNO çevrimi ile) olduğunu göstermektedir. Genel olarak elemental bollukların güneşe yakın olması ve madde birikimini göstermesi sebebiyle ileride V4743 Sgr'nin bir SNIa olabileceği tahmin edilmektedir.

6 RS Oph: Tekrarlayan Nova Fenomeni

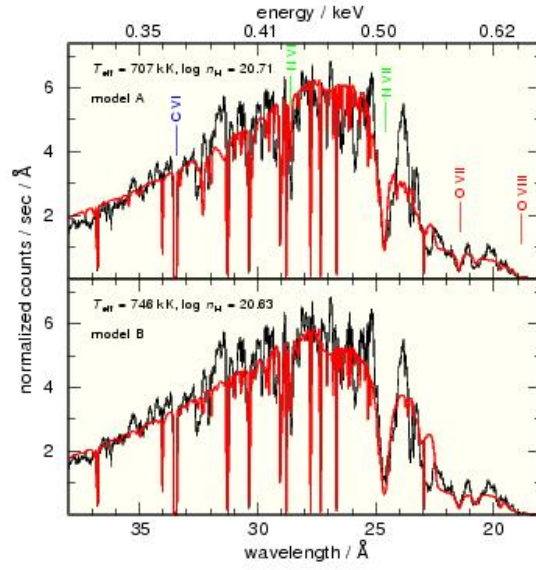
RS Oph tarihte, 1898, 1933, 1958, 1967, 1985 ve 2006 olmak üzere altı tanımlanmış patlaması bulunan bir tekrarlayan novadır. Bunlardan 2006 patlaması yüksek enerji astrofiziki ve X-ışınlarında en çok gözlenmiş ve verimli sonuçlar elde edilmiş olandır. Kaynak Rossi-X-ray Timing Explorer (RXTE) uydusu tarafından 3. günden sonra izlenmeye başladı. Bu gözlemler aralıklarla 21. güne kadar devam etti. Bu gözlemler sonucu sistemde genişleyen bir şok dalgası olduğu saptandı. Fakat ışımanın termal olduğu ve şoklanmış materyalin yaklaşık $10^{-(6-7)}$ güneş kütlesi olduğu hesaplandı. Bunlarla beraber Sokoloski ve ark. (2006) tarafından X-ışını akısının $3-30 \times 10^{-10}$ erg cm^{-2} s^{-1} ($\sim 10^{36}$ erg s^{-1}) arasında değiştiği ve zaman içinde $t^{-5/3}$ ile azaldığı bulundu (bakınız şekil 9). Nova kabuğunun sinkrotron emisyonu yaptığı VLBA ile radyo dalgalarında keşfedildi (Rupen ve ark. 2008). Ayrıca 21. ve 51. günler arasında net bir şekilde tanımlanan 11000 km s^{-1} hıza sahip bir sinkrotron jeti de açığa çıkarıldı. Nelson ve ark. (2008) yumuşak X-ışını bileşkesini çalıştılar ve kabuk içerisinde radyal bir bolluk varyasyonu buldular. CO bolluklu NLTD (lokal termodinamik dengesizlik) atmosfer modelleriyle yaptıkları analizlerle beyaz cüce sıcaklığını yaklaşık 800 kK olarak hesapladılar. Bu bileşke 30. günden 110. güne kadar izlendi XMM-NEWTON spektrumlarını şekil 10 da bulabilirsiniz. Ness ve ark. (2007) ve (2009) yumuşak ve sert spektral bileşenleri CHANDRA ve XMM-NEWTON gözlemleri ışığında incelemiştir. Sonucunda sert bileşkede farklı sıcaklıklar yumuşak bileşkede hızlı yavaşlayarak değişen soğurma çizgileri bulunmuştur.

7 V2491 Cyg: Madde Aktarımı Bulunuşu

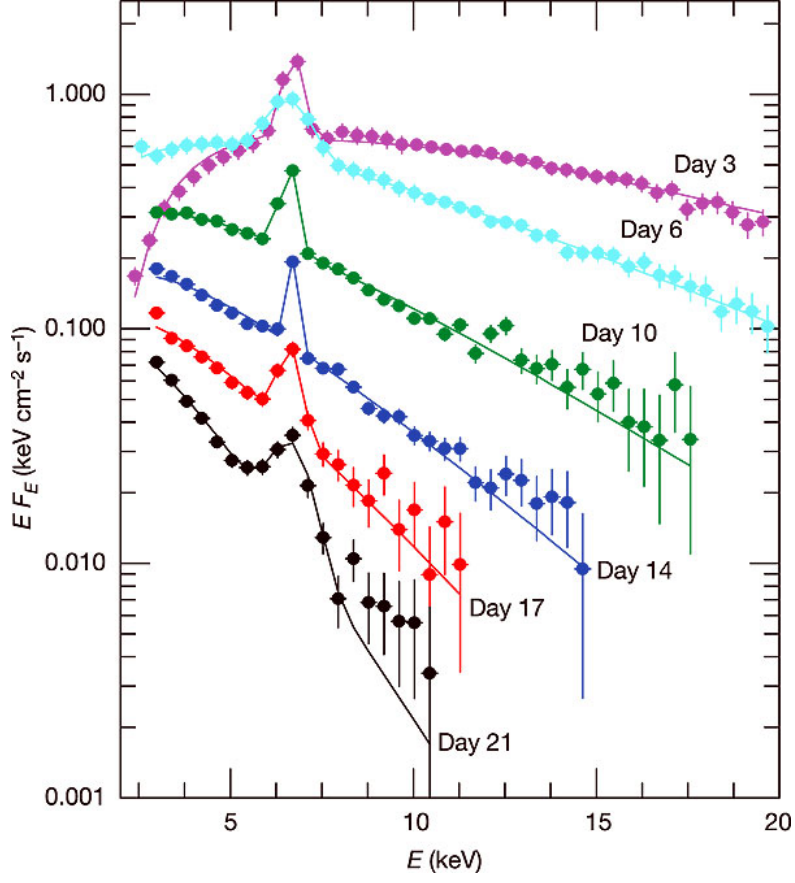
V2491 Cyg 10 nisan 2008 de keşfedildi. Bu nova SWIFT X-ışını teleskobuyla çok yakından bütün evrimi boyunca izlendi (bakınız SWIFT XRT ışık eğrisi şekil 11). Bu novanın patlamayı izleyen çıkışı yaklaşık 40 gün sürdü ki bu hızlı bir nova olduğunu gösterir. Fakat nova uzun zaman sönümlenmedi. Özellikle ışık eğrisindeki titreşimli, varyasyonlu salınımlar ve spektral sertleşme madde aktarımının başlamış olabileceğinin bir kanıtı olarak saptanmıştır. SWIFT verilerinin analizi Page ve ark. (2010) da bulunabilir. Sistemin bir manyetik tekrarlayan nova olduğu düşünülmektedir. 1990 dan kalan arşiv ROSAT veriler-



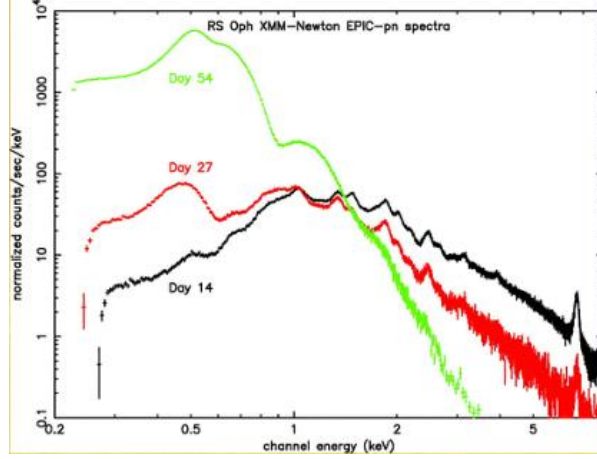
Şekil 7. V4743 Sgr novasının CHANDRA ışık eğrisi.



Şekil 8. V4743 Sgr novasının XMM-NEWTON Rende spektrumu.

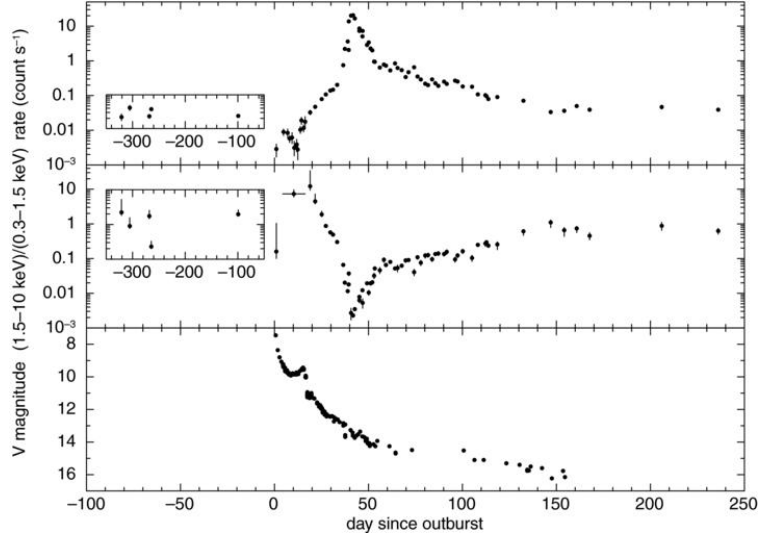


Şekil 9. RS Oph tekrarlayan novasının RXTE spektral evrimi.

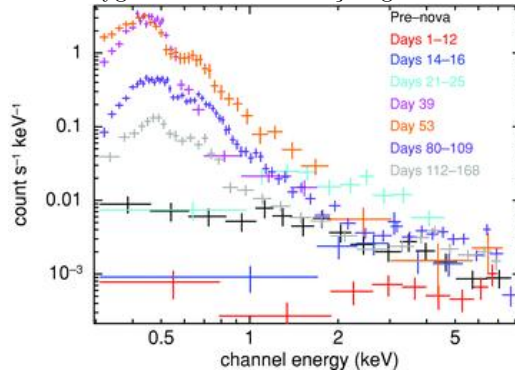


Şekil 10. RS Oph tekrarlayan novasının XMM-NEWTON EPIC pn spektrumu.

iyile başlayarak sistemin pozisyonunda değişken bir kaynak yani sistemin durgun bileşeni saptandı ve çalışıldı (Ibarra ve ark. 2008). Aynı zamanda Munari ve ark. (2008) sistemin optik bileşenini eski plakalardan buldu ve 16 yıl boyunca $m_v=17$ kadar de olduğunu hesapladı. Fakat Balman ve ark. (2008) patlamadan 5 ay öncesine kadar bir zamanda kaynağın sönmüldüğünü $R>18.6$ buldu. SWIFT gözlemlerinde kaynağın hem yumuşak hem de sert bileşkesi olduğu bulundu. Yumuşak bileşke 39. ve 170. günler arasında evrimleştiği gözlemlendi, sıcaklığı kara cisim ışımasıyla çalışıldı ve 20-80 eV arasında olduğu hesaplandı (bakınız şekil 12).



Şekil 11. V2491 Cyg novasının SWIFT ışık eğrisi ve sertlik oranları.



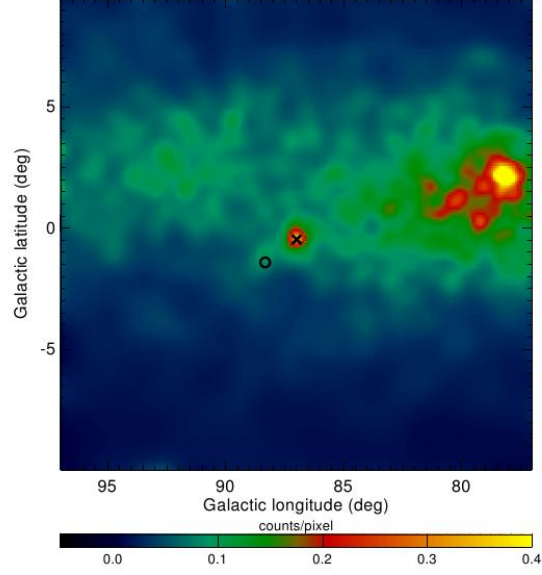
Şekil 12. V2491 Cyg novasının SWIFT spektral evrimi.

8 V407 Cyg: Fermi Bulunuşu

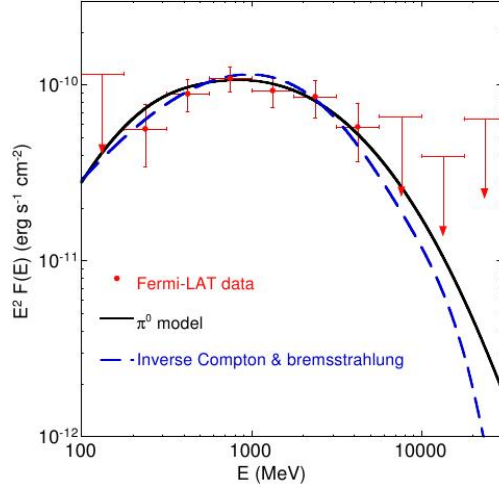
V407 Cyg, RS Oph gibi simbiyotik bir sistem ve tekrarlayan novadır. Mira-tipi atım yapan kırmızı dev ve bir beyaz cüce bileşeninden oluşur. Son patlamasını 10 Mart 2010 da gerçekleştirmiştir. Bu patlamanın en önemli bulgularından biri sistemin FERMI teleskobunun LAT detektörü ile 100 MeV ve 10 GeV arasında değişken bir kaynak olarak keşfedilmesidir (Abdo ve ark. 2010). Şekil 13 FERMI LAT imajı ve şekil 14 LAT spektrumunu gösterir. Bu emisyon nova kabuğunun kırmızı dev bileşeninin etrafındaki yoğun kalıntı ortamla etkileşiminden var olan manyetik (ikincil yıldızın) alanının da etkisiyle parçacık akselerasyonu oluşumundan kaynaklanmaktadır. Favori model proton-proton ekileşmesinden oluşan pionların çözümlenerek gamma-ışını yaymasıdır. FERMI aktivitesi 10 Mart tan 29 Mart'a kadar sürmüştür. Kaynak nisan ortasında kaybolmuştur. Averaaj FERMI akısı $4.4 \pm 0.4 \times 10^{-7}$ foton $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Abdo, A. A. et al. 2010, Science, 329, 817
Balman Ş., 2010, MNRAS, 404, 26
Balman Ş., 2005, ApJ, 627, 933
—. 2006, Advances in Space Research, 38, 2840
Balman Ş., Ögelman H. B., 1999, ApJ, 518, L111
Balman Ş., Krautter J., Ögelman, H., 1998, ApJ, 499, 395
Bode M. F., et al. 2006, ApJ, 652, 629
Bode M. F., Evans A., 2008, Classical Novae (Classical Novae, 2nd Edition. Edited by M.F. Bode and A. Evans. Cambridge Astrophysics Series, No. 43, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.)
Livio M. 1994, in Interacting Binaries, Saas-Fee Advanced Course 22, ed. H. Nussbaumer, A. Orr (Berlin: Springer), 135
Nelson T., Orío, M., Cassinelli, J., Still, M., Leibowitz, E. Mucciarelli, P., 2008, ApJ, 673, 1067
Ness J.-U. et al., 2003, ApJ, 594, L127
Page K.L. et al., 2010, MNRAS, 401, 121
Rauch T. Orío, M., Gonzales-Riestra, R., Nelson, T., Still, M., Werner, K., Wilms, J. 2010, ApJ, 717, 739
Shara M. M., 1989, PASP, 101, 5
Sokoloski J. L., Luna G. J. M., Mukai K., Kenyon S. J., 2006, Nature, 442, 276



Şekil 13. V407 Cyg tekrarlayan novasının FERMI imajı 100 MeV-10 GeV.



Şekil 14. V407 Cyg tekrarlayan novasının FERMI spektrumu 100 MeV-10 GeV.