

XMM-NEWTON UYDUSU İLE VW HYİ'NİN X-IŞIN VERİ ANALİZİ

**Mukadder İĞDİ ŞEN (YL), Yrd. Doç. Dr. Gülnur İKİS GÜN,
Prof. Dr. Zeki EKER**

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü

(mukadderi@yahoo.com, gulnur_tr@yahoo.com, eker@tug.tubitak.gov.tr)

ÖZET

Bu tezde, bir Coşkun Değişen çift yıldız sistemi olan VW Hyi'nin X-ışın gözlemleri değerlendirilmiştir. Sistem durağan halde iken XMM-Newton X-ışın uydusu ile gözlenmiş verinin tayfsal analizi yapılmıştır. $E_x < 15$ keV'dan düşük X-ışınlarına duyarlı olan uydudan elde edilmiş verilerden sınır tabakasının $E_x < 12$ keV bölgesindeki bolometrik akısı $\sim 6,7 \times 10^{-12}$ erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve tüm sınır tabakası ışınım gücü $L_x = 6,8 \times 10^{30}$ erg s^{-1} olarak hesaplanmıştır. XMM'in PN+ MOS dedektörü için, "Cevmkl Xspec" tayfsal modelinden X-ışın yayan plazmanın tepe sıcaklığı $kT_{\text{tepe}} = 6,28$ keV'tur. Sınır tabakası ışınım gücünün disk ışınım gücüne oranı $L_{\text{sınır}}/L_{\text{disk}} \sim 0,2$ 'dir. X-ışın tayf analizi, sınır tabakasında beyaz cüce bileşeni üzerine çökerken izobarik soğuma akışı yoluyla soğuyan, sıcak ve ince (optik olarak) bir plazma bulunduğunu göstermektedir. Fe XXV ve Fe XXVI çizgileri, sıcaklığı $10^7 - 10^8$ K'ni bulan plazmadan kaynaklanmaktadır. 6,9 keV'ta görülen Fe XXVI çizgisi ya daha yüksek sıcaklıkta bir plazmanın var olmadığını ya da X-ışınlarında verimli ışınım yapmadığını göstermektedir. Sınır tabakasından beyaz cüce üzerine kütle yığılma oranı $kT_{\text{tepe}} = 6,28$ keV için $\dot{M}_{\text{sınır}} = 2,71 \times 10^{14}$ gr / sn = $4,3 \times 10^{-12}$ M_{\odot}/yr olarak hesaplanmıştır. VW Hyi optik bölgede patlama dönemine girerken mor ötesi dalga boylarında yaklaşık bir gün sonra patlamaya geçtiği için morötesi gecikmesi gösteren bir sistemdir. Bu gecikmeyi açıklayan modellerden biri Meyer ve Meyer-Hofmeister'in koronal sifon akışı modelidir. Yapılan tayfsal analiz sonucunda optik olarak ince sınır tabakasının koronal sifon modeline göre önce buharlaştığı daha sonra ise koronadan beyaz cüce üzerine doğru soğuyarak indiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Coşkun değişenler, kataklizmik, XMM, sınır tabakası, VW Hyi

X-RAY DATA ANALYSIS OF VW HYI WITH XMM-NEWTON OBSERVATORY

ABSTRACT

In this thesis, a spectral analysis of the dwarf nova VW Hyi (which is a CV) is presented. The system was observed during the quiescent state with the XMM-Newton satellite sensitive to $E_x \leq 15$ keV. X-ray bolometric flux of boundary layer ($E_x < 2$ keV) is estimated to be $\sim 6,7 \times 10^{-12}$ erg cm⁻² s⁻¹ and entire boundary layer luminosity, $L_x = 6,8 \times 10^{30}$ erg / s. Measurements by PN+MOS detector on XMM indicate that X-ray emitting maximum plasma temperature is $kT_{\max} = 6,28$ keV according to "Cevmkl Xspec" spectral model. The ratio of boundary layer to disk luminosity is found to be $L_{\text{snir}} / L_{\text{disk}} \sim 0,2$. The X-ray spectra analysis indicate the presence of a hot and thin plasma (optically) in the boundary layer that cools via an isobaric cooling flow while settling onto the white dwarf. Fe XXV and Fe XXVI lines are originated from a plasma having temperature of $10^7 - 10^8$ K. The Fe XXVI line at 6,9keV, clearly demonstrates that plasma at higher temperatures is either not present or not radiating efficiently in X-rays. For $kT_{\max} = 6,28$ keV, the rate of accretion from the boundary layer on to the white dwarf is estimated to be $\dot{M}_{\text{snir}} = 2,71 \times 10^{14}$ gr / sn = $4,3 \times 10^{-12}$ M_☉/yr. VW Hyi is a system which shows ultraviolet delay because the outburst in ultraviolet wavelengths occurs approximately one day later than that in optical wavelengths. One of the models which can explain this delay is Coronal Siphon Model. At the end of the spectral analysis in this study, thin boundary layer evaporates according to coronal siphon model and then it settle down to white dwarf becoming cold from the corona.

Keywords: Cataclysmic variables, XMM, boundary layer, VW Hyi

1. Giriş

Anakol yıldızı olan bir ikincil (eş) yıldızdan madde akımları ile kütle kazanan beyaz cüceli (birincil yıldız) yakın çift sistemler “Coşkun Değişenler (Cataclysmic Variable, CV) “ olarak bilinir. Coşkun Değişenler, yarı ayrıık çift sistemlerdir. Bugün kullanılan sınıflandırma sistemine göre, coşkun değişenler dört büyük sınıfa ayrılmaktadır: Klasik Novalar, Cüce Novalar, Tekrarlayan Novalar, Nova Benzeri Değişenler (Warner, 1995).

Cüce novalar, coşkun değişenlerin alt sınıfıdır ve kısa periyotludurlar. Tipik olarak optik parlaklıkları 2 - 6 kadir arasında değişen, tekrarlayan patlamalar gösterirler. Patlama sırasında kabuk atılımı yoktur. Patlamalar, birkaç günden birkaç haftaya kadar olan sürelerde devam eder ve düzenli şekilde tekrarlanır. Patlamalar arasında geçen süre ~10 günden 10 yıla kadar değişir (Pandel, 2004). Cüce novalar, ışınım gücü 10^{30} - 10^{33} erg s^{-1} olan güçlü X-ışın kaynaklarıdır. X-ışınlarının kaynağı, beyaz cüce ile yığılma diskinin iç kenarı arasındaki sınır tabakasıdır. Burada başlangıçta Kepler hızında hareket etmekte olan disk maddesi, beyaz cücenin dönme hızına yavaşlarken kinetik enerjisini dağıtır. Cüce novalardaki ~ 2-20 keV sıcaklıklı gazdan X-ışın emisyonunun, Frenleme mekanizması yoluyla oluştuğu belirtilmektedir. (Patterson ve Raymond, 1985b; Eracleous ve diğ., 1991; Belloni ve diğ., 1991; Mukai ve Shiokawa, 1993). Düşük yığılma oranına ($\sim 10^{-11}$ M_{\odot} / yıl, 10^{16} gr/s) sahip durağan hal, her birkaç haftada (yada aylarda), yüksek kütle yığılma oranlı ($\sim 10^{-8}$ M_{\odot} / yıl) birkaç gün (yada hafta) süren patlamalarla kesilmektedir (Godon ve diğ., 2004). Cüce novalar, küçük ve sık patlamalar gösterirler. Cüce novaların üç farklı türü vardır. Sınıflandırma, patlama ışık eğrisine göre yapılmaktadır. Alt sınıflar U Geminorum (SS Cyg) Değişenleri, Z Camelopardalis Değişenleri (Z Cam) ve SU Ursae Majoris Değişenleridir (SU UMa). SU UMa Alt Sınıfı, çoğunlukla yörünge periyodu 0,1 günden kısadır. İkincil yıldızlarının kütleleri benzerdir ve yaklaşık 0,2 M_{\odot} dir (Vogt, 1980). Genel olarak, iki tür patlama gösterirler: normal ve süper patlamalar. Süper patlamalar normal patlamalara göre ~0,7 kadir daha parlaktır (Vogt, 1980). Süper patlamaları sırasında ışık eğrisinde, "süper tümsek (superhump)" olarak adlandırılan periyodik parlaklık değişimi görülür.(Vogt, 1980).

XMM-Newton uydusu, üç X-ışını CCD'si (ikisi MOS, biri PN) taşımaktadır. Bu iki farklı tip CCD (MOS ve PN)'nin ebatları farklı olsa da görüş doğrultuları ve gözlem alanları aynıdır. EPIC kameraları, yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) 6" olan bir açısal ayırmaya sahiptir ve 0,15-15 keV enerji aralığında orta çözünürlüklü ($E / \Delta E = 20 - 50$) X-ışın tayfı sağlar. Yörüngesel hedef net görüş süresi 40 saat tir. (<http://xmm.vilspa.esa.es>).

1.1 . VW Hyi

Cüce Nova sınıfının bir alt kümesi olan SU UMa'ların bir üyesidir ve yarı ayırık bir çift yıldız sistemidir. Luyten (1932) tarafından keşfedilmiş ve 1938 de yeniden gözlenerek 11.1932 adıyla tanımlanmıştır. Sistemin yörünge eğimi $i=65^{\circ}-70^{\circ}$ den küçük olduğundan ($i=60^{\circ} \pm 10^{\circ}$) dolayı tutulma göstermediği vurgulamaktadır Saygıç (1994). İki tür patlama göstermektedir. Normal Cüce Nova patlamaları ve süper patlamalar. (Schoembs ve Vogt, 1981, Van Amerongen ve diğ., 1987; Pringle ve diğ., 1987, Smith ve diğ., 2006). İki süper patlama arasında 3-7 tane normal patlama olmaktadır (Schreiber ve diğ., 2004).

Tablo 1. VW Hyi nin bazı temel özellikleri. Tabloda, h: saat, m: dakika, s: saniye, o: derece, ':açıdakika, ":açısanide dir.

Özellikleri	Değerler	Kaynak
Diğer isimleri	HV 8028, AN 11.1932	Saygıç (1993)
Koordinatları, sağ açıklığı α (h / m / s)	4 ^h 09 ^m 08.3 ^s	RE: ROSAT WFC (Wide Field Camera) catalog Schoembs ve Vogt (1981)
Koordinatları, dik açıklığı δ (o / ' / ")	-71 ^o 17' 38"	
Galaktik koordinatları (L)	284.888119	Heasarc web sitesi
Galaktik koordinatları (B)	-38.133768	
Yer'e uzaklığı	65 parsec	Warner (1987)
Türü	SU UMa	
Minimumdaki (durağan haldeki) parlaklık	13,8 kadir	Van Amerongen ve diğ. (1987), Pringle ve diğ. (1987)
Normal patlamadaki maksimum parlaklık	9,5 kadir	Liller (1996)

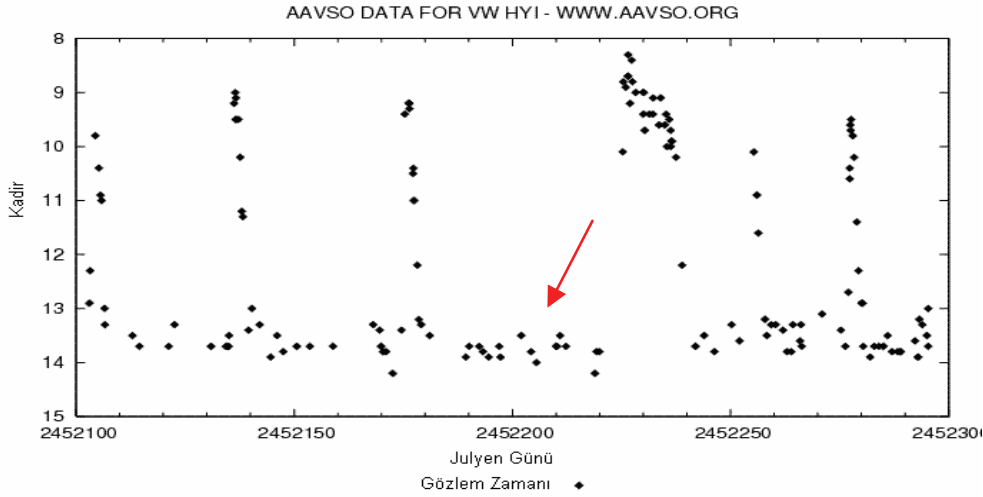
Süper patlamadaki maksimum parlaklık	8,5 kadir	Liller (1996)
Normal patlama periyodu	27,3 gün	Schoembs ve Vogt (1981)
Süper patlama periyodu	180 gün	Schoembs ve Vogt (1981)
Normal patlama devam süresi	~3 - 5 gün	Schreiber ve diğ. (2004)
Süper patlama devam süresi	~10 - 15 gün	Schreiber ve diğ. (2004)
Normal patlamaya çıkış süresi	0,8-1 gün	Schoembs ve Vogt (1981)
Süper patlamaya çıkış süresi	1 gün	Van Amerongen ve diğ. (1987) Pringle ve diğ. (1987) Smith ve diğ. (2006)
Yörünge periyodu (gün)	0,074271 gün	Liller (1996); Vogt (1974); Schoembs ve Vogt (1981); van Amerongen ve diğ. (1987)
Süper tümsek periyodu (gün)	107 m 1,78 h 0,07714	Liller (1996)
Tutulmalı Çift	-	
Tayfsal Çift	Tek-çizgi	Liller (1996)
İkincil yıldızın tayf türü	L0 ± 2	Mennickent ve diğ.(2004)
q Kütle oranı (M_2/M_1)	0,175	
i Yörünge eğimi (derece,°) ± Hata	$i=60^\circ \pm 10$	Schoembs ve Vogt (1981)
M_1 Beyaz cücenin kütlesi (M_\odot)	0,63 M_\odot	Schoembs ve Vogt (1981)
M_2 İkincil yıldızın kütlesi (M_\odot)	0,11 M_\odot	Schreiber ve diğ. (2004)
R_1 Beyaz cücenin yarıçapı	$8,3 \times 10^8$ cm	Pandel ve diğ. (2003a)

2. Gözlemler

Bu çalışmada Coşkun Değişen VW Hyi' nin X-ışın tayf analizi, XMM Newton ile elde edilmiş gözlem verilerinden yararlanılarak yapılmıştır. VW Hyi, 19 Ekim 2001' de XMM- Newton ile saat 05:24:31 UT dan itibaren 19319 saniye (5 saat 21 dak) süre ile gözlemlenmiştir. Gözlem zamanında sistem, normal patlamadan 22 gün sonraki ve süper patlamadan 23 gün önceki durağan haldedir. Tablo 2 de gözlem bilgileri yer almaktadır. Bu gözleminin yapıldığı tarihinin de yer aldığı (JD 2452202) optik gözleminden elde edilen 200 günlük ışık eğrisi, AAVSO'nun internet sitesinden alınmıştır ve Şekil 1'de verilmektedir ve şekil üzerindeki kırmızı ok belirtilen tarihi göstermektedir.

Tablo 2. XMM gözlem bilgileri. Tabloda tüm teleskoplar için poz süreleri ve son sütunda sistemin durumu (Q-durağan hal) ve son normal patlamadan sonra kaç gün geçtiği (22 gün) gösterilmiştir (Pandel, 2004).

İsim	Gözlem Başlangıcı (MJD)	Poz süresi (ks)				Durum
		MOS	PN	RGS	OM	
VW Hyi	52201.222	18,7	16,1	19,3	17,3	Q 22



Şekil 1. VW Hyi'nin JD 2452202 tarihini de kapsayan, AAVSO dan temin edilen optik ışık eğrisi. Okla belirtilen yer XMM- Newton uydusu ile yapılan gözlemin tarihidir.

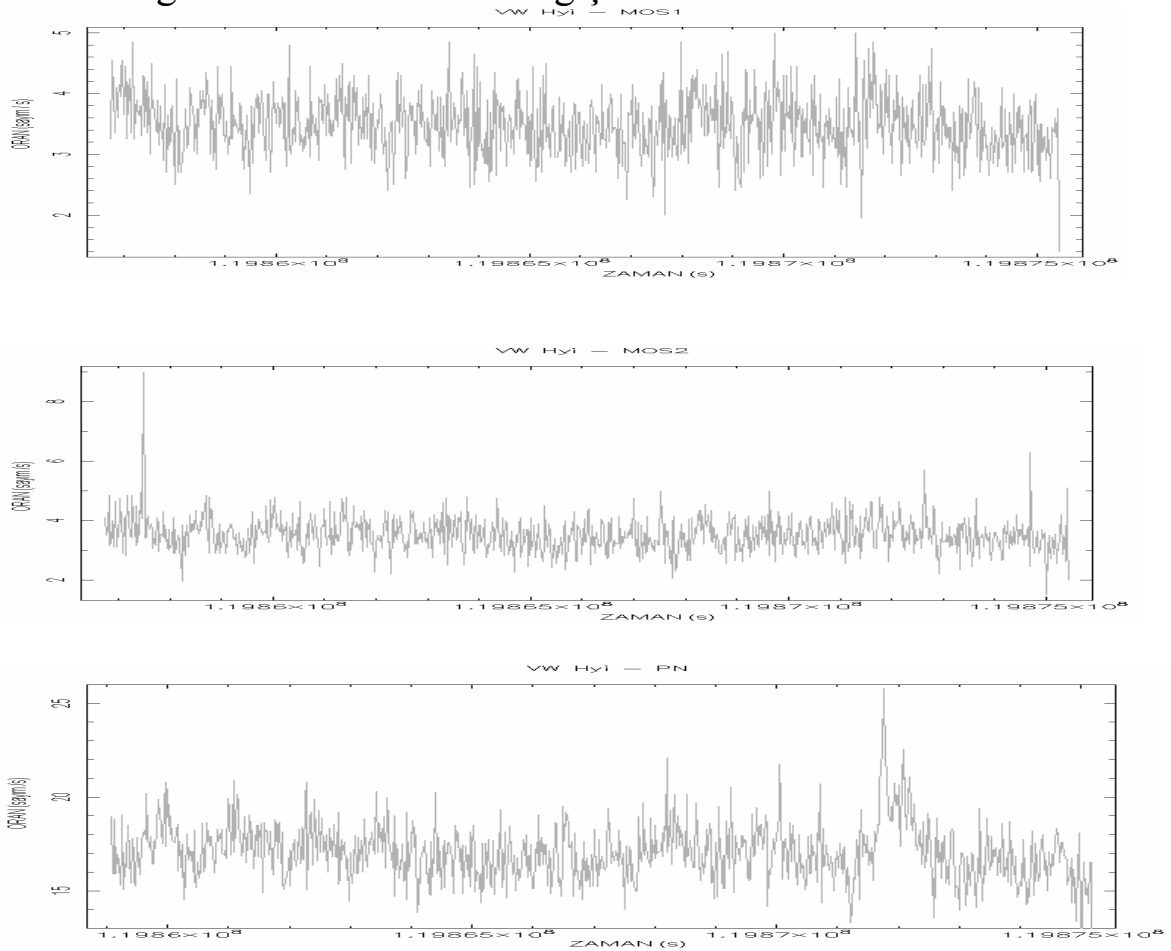
3. Veri İndirgeme

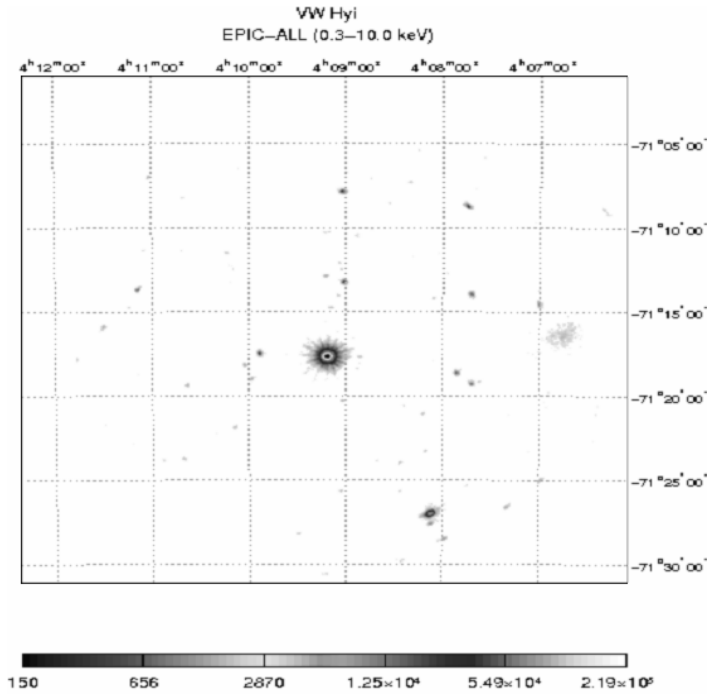
Bu çalışmada XMM-Newton Uydusu ile VW Hyi' nin 19 Ekim 2001 tarihinde, yapılan gözleminin verileri, XMM-Newton' un internet tabanlı veri arşivinden, bilgisayara indirilerek Linux tabanlı bir işletim sistemi ve bu işletim sistemi içinde çalışan bazı programlar (XMM-Newton Science Analysis Software (SAS) version 7.0.0., SAS altında çalışan Ximage ve Xspec paket programları) yardımı ile analizi yapılmıştır. X-ışın ışık eğrisi ve gökyüzü görüntüsü elde edilmiştir. Gözlem yapılan alandaki kaynaklar belirlenmiş, EPIC tayfı elde edilmiş ve bu tayfa uyan modeller eşleştirilerek kaynağın özellikleri hakkında yorumlarda bulunulmuştur. VW Hyi nin X-ışını ışık eğrisi, XMM-Newton ile yapılan gözlem periyodunun tamamı kullanılarak elde edilmiştir. MOS1, MOS2 ve PN in X-ışın ışık eğrisi Şekil 2 de görülmektedir. MOS1-MOS2 ve PN'in filtrelenmiş verilerinden elde edilen görüntüler birleştirilerek kaynağın, 1800x1800 piksellik EPIC

X-ışın görüntüsü (tüm enerji aralığı 0,3-10,0 keV için) elde edilmiştir. Gözlemin görüş alanındaki arkaplanı daha iyi görebilmek için verilmiştir. Bu görüntü Şekil 3'te yer almaktadır.

10^7 K üzerindeki sıcak gazlar, eğer optik olarak ince iseler Isısal frenleme mekanizmalı (termal bremsstrahlung) X-ışınları yayarlar. VW Hyi de görülen morötesi gecikmesi Meyer ve Meyer-Hofmeister (1994) in Koronal sifon akış modeli ile açıklanabilir.

VW Hyi'nin filtrelenen verisinden elde edilen EPIC tayfına bir ya da iki sıcaklıklı plazma modelleri uygulanmıştır. İyi eşleşme, tek-sıcaklıklı MEKAL modellerinden Cemekl, Mkcflow ve Cevmkl ile elde edilebilmiştir ve bu modeller ile elde edilen indirgenmiş çikare (chi-squared) istatistiği değerlerinin 1 değerine daha yakın olduğu ve uygun eşleşme verdiği görülmüştür. CEMEKL modelinde, element bolluk oranları güneş değerlerindedir ve sadece toplam bolluk değişkendir. CEVMKL modeli ile en iyi bir eşleşme elde edilmiştir. Bu modelde, karbondan (C) nikel (Ni) çok rastlanan 13 element için bolluk değerleri serbest olarak değişmektedir.

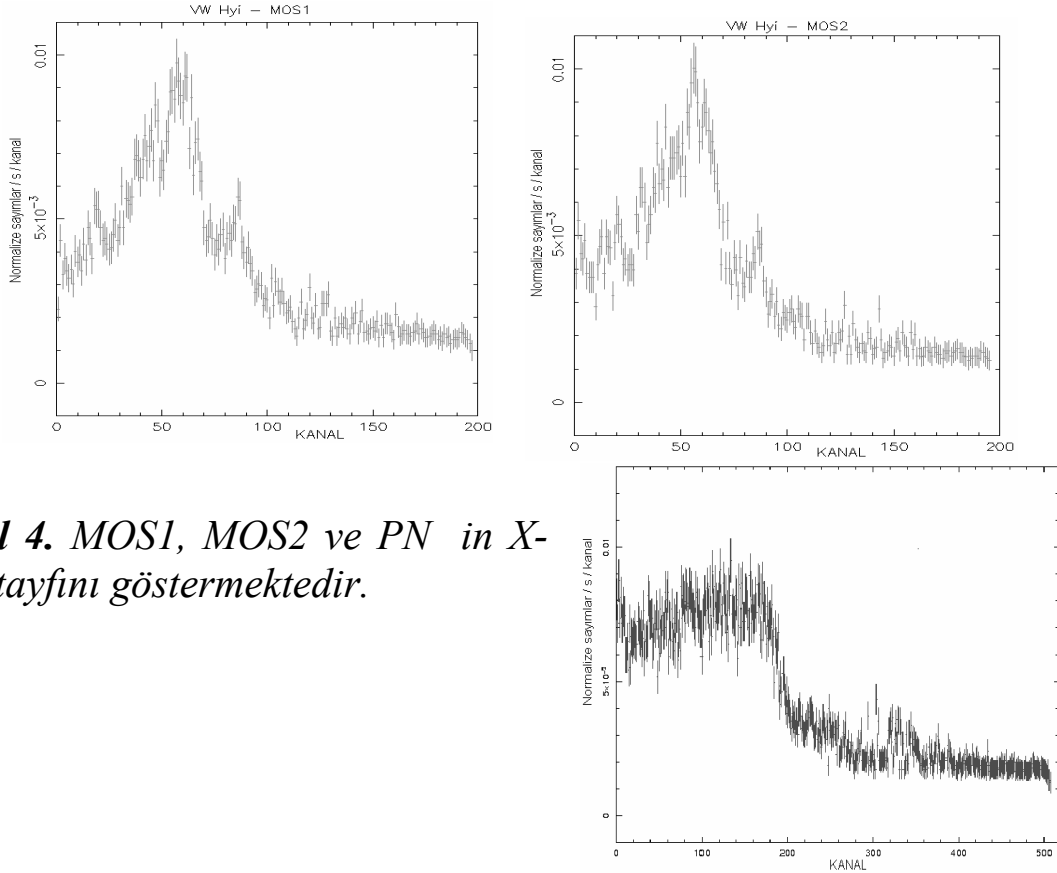




Şekil 2. MOS1, MOS2 ve PN için ham veriden elde edilen X-ışın ışık eğrileri.

Şekil 3. VW Hya' XMM-Newton uydusu ile alınmış verilerinin EPIC tüm band aralığı (300-10000 eV) için oluşturulan görüntüsü. Altta ki ölçek, her bir rengin yoğunluk

seviyesini göstermektedir.



Şekil 4. MOS1, MOS2 ve PN in X-ışın tayfını göstermektedir.

Tablo 3: Koronal Sifon Akış Modeli denklemleri ile diskten koronaya dikey madde akış yoğunluğu (\dot{m}), ikincil yıldızdan beyaz cüce üzerine kütle yığılma oranı (\dot{M}) ve beyaz cücenin efektif sıcaklık (T_{eff}) değerleri görülmektedir. $M/M_{\odot} = 0,63$ alınmıştır. Koronal sıcaklık değeri model eşleştirmelerinden elde edilmiştir.

VW Hyi	MOS1	MOS2	PN	EPIC		
				cemekl	MkcfLOW	cevMkl
T (°K)	5,4 keV ($6,3 \times 10^7$)	6,1 keV ($7,1 \times 10^7$)	6,6 keV ($7,7 \times 10^7$)	6 keV (7×10^7)	7,8 keV (9×10^7)	6,28 keV ($7,3 \times 10^7$)
r (cm)	$1,27 \times 10^9$	$1,12 \times 10^9$	$1,04 \times 10^9$	$1,14 \times 10^9$	$1,01 \times 10^9$	$1,09 \times 10^9$
$r_{9,5}$ (cm)	0,4	0,35	0,33	0,36	0,32	0,34
\dot{m} ($g \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$1,23 \times 10^{-4}$	$1,97 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$
\dot{M} (M_{\odot}/yr)	$1,57 \times 10^{-11}$	$1,92 \times 10^{-11}$	$2,02 \times 10^{-11}$	$1,84 \times 10^{-11}$	$2,2 \times 10^{-11}$	2×10^{-11}
T_{eff} (°K)	18349,4	19296,2	19542,7	19092	19964	19494

Tablo 4, CEVMKL modeli ile elde edilen element bolluk değerlerini göstermektedir. Hepsi güneş değerlerine yakın bolluklara sahiptir. Bu çizgilerin en belirginleri Şekil 5’de gösterilmiştir.

Tablo 4. CEVMKL modeli ile elde edilen element bollukları

Element	En iyi eşleşme	Element	En iyi eşleşme
C	1,5	Si	1,30
N	1,1	S	1,10
O	0,95	Ar	0,0
Ne	0,24	Ca	1,8
Na	10	Fe	1,10
Mg	1,27	Ni	2,0
Al	4,5		

Uyum açısından ikinci sıradaki model MKCFLOW modelidir. MKCFLOW modeli ile X-ışın tayfinin iyi uyuşması, sınır tabakasındaki sıcak plazmanın beyaz cüce üzerine çökerken soğuduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Tayfa uygulanan modellerin parametre değerleri

Dedektör ve XSPEC Model	Kuvvet kanusunu gösterir	kT max (keV)	Bolluk (güneş)	Akısı ($\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	İndirgenmiş çikare istatistiği	Galaktik soğurma, N_H (10^{22}) ($1/\text{cm}^3$)
				0,2-12 keV bolometrik (0-12) keV		

PN+M OS Cemekl	1,35 ±0,0 3	6,0 ±0,2	1,02 ±0,04	5,7E- 12	6,7E-12	1,186	6E-5
PN+M OS Mkcflo w	-	High T = 7,8 Low T = 0,4	0,97 ±0,01	5,7E- 12	6,2E-12	1,186	6E-5
PN+M OS Cevmk 1	1,28 ±0,0 4	6,28 ±0,2	Bakınız Tablo 4	5,7E- 12	6,8E-12	1,177	6E-5

Şekil 5

Akı birimi $\text{ergs cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ dir. Modellerde 1 cm^3 teki nötr hidrojen kolon yoğunluğu N_H (10^{22})'tır. Kızıla kayma (redshift) değeri sıfır alınmıştır. VW Hyi'nin $d = 65 \text{ pc} = 200,59 \times 10^{18} \text{ cm}$ ($1 \text{ pc} = 3,084 \times 10^{18} \text{ cm}$) uzaklık değeri alınarak Tablo 5'teki model eşleşmelerinden MOS ve PN'e birlikte uygulanan CEVMKL Modeline bağlı olarak (dolayısı ile dalgaboyuna), sınır tabakasının yarısı beyaz cücenin arkasında kaldığı için, sınır tabakasının tamamının ışınım gücünü bulmak amacıyla bulunan X-ışın akı değeri ($F_X = 6,8 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) iki ile çarpılır ve L_X ışınım gücü

$$L_X = 4 \pi d^2 F = 2 \times 4 \times \pi \times (200,59 \times 10^{18})^2 \times 6,8 \times 10^{-12} \approx 6,8 \times 10^{30} \text{ erg / s}$$

dir. X-ışın ışınım gücü değerleri MOS1 için $L_X = 7,2 \times 10^{30} \text{ erg/s}$, MOS2 için $L_X = 7,4 \times 10^{30} \text{ erg/s}$, PN için $L_X = 6,2 \times 10^{30} \text{ erg/s}$ olarak hesaplanmıştır. Pringle ve diğ. (1987) ve Verbunt ve diğ. (1987) nin durağan haldeki optik ve morötesi (UV) akı değeri $F_{\text{opt}} = F_{\text{UV}} = 1,7 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ kullanılarak disk ışınım gücü L_{disk} Işınım gücü-akı bağıntısından

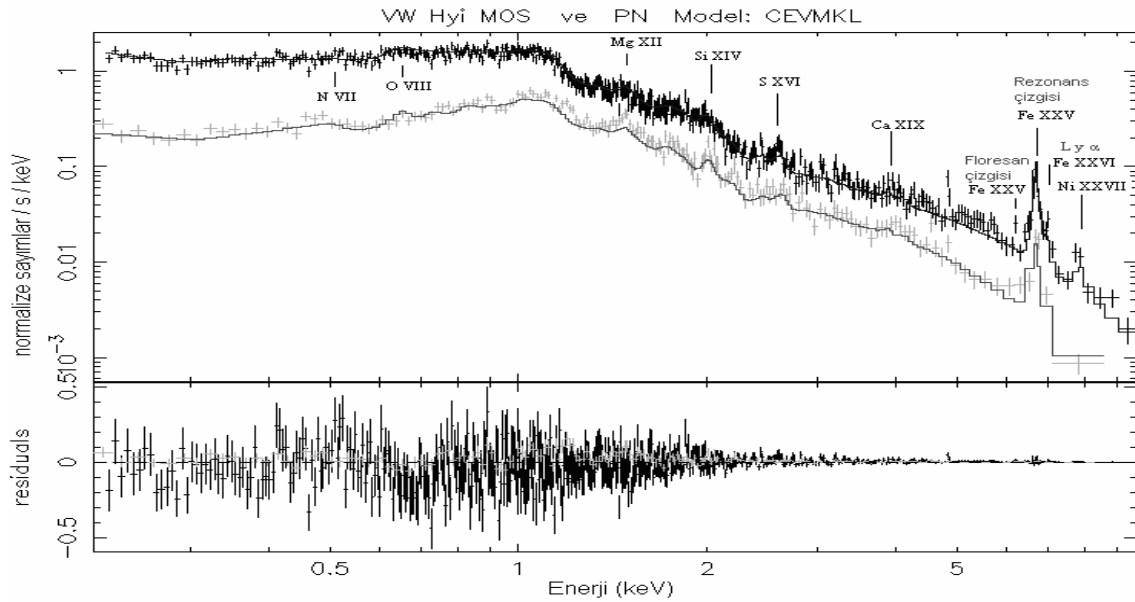
$$L_{\text{disk}} = 4 \pi d^2 F = 4 \times \pi \times (200,59 \times 10^{18})^2 \times 1,7 \times 10^{-10} = 4 \times 10^{31} \text{ erg / s}$$

olarak bulunmuştur. Bu çalışmadaki tayf eşleşmelerinden bulunan (Bakınız Tablo 5) $6,8 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ akı değeri kullanılarak, X ışın akısının morötesi (UV, ultraviolet) akısına oranı $F_X / F_{\text{UV}} = 6,8 \times 10^{-12} / 1,7 \times 10^{-10} \approx 0,04$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sınır

tabakasından beyaz cüce üzerine yığılma oranı için aşağıdaki denklemi kullanarak

$$L_{\text{sınır}} = \frac{5 \dot{M}_{\text{sınır}}}{2 \mu m_p} kT_{\text{maks}} \quad (5)$$

$kT_{\text{maks}} = 6,28$ keV için, sınır tabakası ışınım gücü $L_{\text{sınır}} = 6,8 \times 10^{30}$ erg / s, ortalama molekül ağırlığı (μ) tipik olarak $\sim 0,6$ ve proton kütlesi $m_p = 1,672 \times 10^{-24}$ g değerinde alınarak hesaplama yapıldığında sınır tabakasından beyaz cüce üzerine yığılma oranı $2,71 \times 10^{14}$ gr / sn ($4,3 \times 10^{-12} M_{\odot}/\text{yr}$) değerinde bulunmuştur.



Şekil 5. MOS1 ve PN tayflarına CEVMKL modeli eşleştirilerek elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Mekal modelini esas alan plazma emisyon modeli olan Cevmkl modelinden, X-ışını yayınlayan plazmanın sıcaklığının $6,28 \pm 0,2$ keV değerinde olduğu bulunmuştur. VW Hyi'deki $\sim 6,3$ keV değerindeki maksimum plazma sıcaklığı, diğer cüce novalar ile kıyaslandığında düşüktür. Örneğin; U Gem için bu değer ~ 20 keV ve SS Cyg için ~ 80 keV'tur (Mukai ve diğ., 2003). VW Hyi'nin durağan hali sırasında, Hartmann ve diğ. (1999) BeppoSAX uydusu ve Wheatley ve diğ. (1996) ise ROSAT uydusu ile yapılan daha önceki gözlemlerinde soğumalı akış modelini (Cooling Flow Model) kullanarak, sırasıyla 10 keV ve 11 keV'luk düşük sıcaklık değerleri

bulmuşlardır. Bu gözlemler sırasında, X-ışın akısı XMM-Newton ile gözlenenin yaklaşık iki katıdır. Bu sebeple bu çalışmada bulunandan daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmesi normaldir. Sınır tabakasından bolometrik akısı Pandel (2004)'in belirttiği $8,1 \times 10^{-12}$ erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ değerinden biraz farklı olarak Tablo 5'te belirtilen model eşleşmelerinden $\sim 6,8 \times 10^{-12}$ erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ bulunmuştur. Ayrıca X-ışın akısının Morötesi akısına oranı da $F_X / F_{UV} \approx 0,04$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan sınır tabakası ışınım gücü $L_{\text{sınır}} \sim 6,8 \times 10^{30}$ erg / s dir. Bu ışınım gücü değeri Pandel ve diğ. (2003a) in verdiği $8,1 \times 10^{30}$ erg / s değerinden farklıdır. Bu çalışmadaki $6,8 \times 10^{30}$ erg / s değerindeki sınır tabakası ışınım gücü ve Pringle ve diğ. (1987) ve Verbunt ve diğ. (1987) nin VW Hyi'nin durağan hali için belirttiği $F_{\text{opt}} = F_{UV} = 1,7 \times 10^{-10}$ erg $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ değeri kullanılarak hesaplanan 4×10^{31} erg / s değerindeki disk ışınım gücü kullanılarak, sınır tabakası ışınım gücünün disk ışınım gücüne oranı $L_{\text{sınır}}/L_{\text{disk}} = 6,8 \times 10^{30} / 4 \times 10^{31} \approx 0,2$ değeri elde edilmiştir. Bu değer, Belloni ve diğ. (1991)'nin bulduğu 0,1 değerinin iki katıdır fakat, Pandel ve diğ. (2003a) 'nin bulduğu 0,2 değeri ile aynıdır. Sınır tabakasından beyaz cüce üzerine kütle yığılma oranı $kT_{\text{maks}} = 6,28$ keV için $\dot{M}_{\text{sınır}} = 2,71 \times 10^{14}$ gr / sn ($4,3 \times 10^{-12} M_{\odot}/\text{yr}$) değerinde bulunmuştur. Bu değer Pandel ve diğ. (2003a)'nin $5 \times 10^{-12} M_{\odot}/\text{yr}$ değerine yakındır. Pandel ve diğ. (2003a)'nden yığılma diskindeki kütle aktarım oranı $\dot{M}_{\text{disk}} = 12 \times 10^{-12} M_{\odot}/\text{yr}$ değeri alınarak $\dot{M}_{\text{sınır}} / \dot{M}_{\text{disk}} \approx 0,36$ değeri hesaplanmıştır. Bu değer Pandel ve diğ. (2003a)'nin belirttiği 0,42 değerine yakındır. Burada Pandel ve diğ (2003a) ile aynı sonuçları bulmamız aynı veri setini kullandığımız için zaten beklenen bir sonuçtur. Belloni ve diğ (1991) çalışmalarında kullandıkları veri, 0,08-2,4 keV enerji aralığındaki çok yumuşak X-ışını fotonlarından oluşmaktadır. Dolayısı ile daha geniş bir enerji aralığındaki (0,0-10 keV) fotonları toplayan XMM-Newton ile elde edilen sınır tabakası ışınım gücünün Belloni ve diğerlerinin (1991) bulduğundan fazla olması doğaldır. Kütle aktarım oranından, yığılan gazın yaklaşık yarısının rüzgarda kaybolduğu anlaşılmaktadır. Bu da Meyer ve Meyer-Hofmeister (1994)'in Tek boyut modeline uymaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen tayf analizi sonucunda veriye en iyi uyum sağlayan model Cevmkl modeli olmuştur. Bu

teorik model bu X-ışınlarını yayınlayan plazmanın optik olarak ince olmasını ve bir T_{maks} ile başlayan ve bir T_{min} ile biten sıcaklık dağılımına sahip olması gerektiğini öngörmektedir. Ayrıca bu modelde sıcak ortamın bir kanıtı olarak çeşitli elementlerin iyonize olmuş çizgileri de görülmektedir (Bakınız Tablo 4). Tayftan elde edilen $kT_{maks} \sim 6,28 \pm 0,2$ keV ($7,3 \times 10^7$ K) sıcaklık değeri ve tayftaki emisyon çizgilerinin çokluğu, sıcak ve optik olarak ince plazmanın göstergesidir.

Bu teorik modele (CEVMKL) uyan X-ışınlarının yayınlandığı bölgedeki yapıyı açıklayan modellerden biri soğumalı akış modeli olarak adlandırılmıştır. Bu modelde yüksek sıcaklıktaki diskten madde, derece derece soğuyarak beyaz cüce üzerine düşmektedir. Yalnız burada elde edilen X-ışınlarının yayınlandığı bölgenin yapısına karar verirken unutulmaması gereken en önemli nokta, VW Hyi sisteminin patlamaları sırasında mor ötesi gecikmesi göstermesidir. Genel olarak kabul gördüğü üzere yumuşak X-ışınları ve mor ötesi dalga boyundaki ışınlar, yığılma diski ile beyaz cüce arasındaki sınır tabakasından, optik bölgedeki ışınımın önemli bir kısmı da yığılma diskinden yayınlanır. Optik bölgede patlama gözlenmeye başladıktan yaklaşık bir gün sonra mor ötesi bölgede patlama görülmeye başlanması şeklinde gerçekleşen mor ötesi gecikmesini en iyi açıklayan teorik modellerden biri Meyer ve Meyer-Hofmeister (1994)'in, durağan haldeki cüce novalarda diskin iç kısmının kararsız olduğunu ve koronal sifon akışı yoluyla buharlaştığını, yani disk ile beyaz cüce arasında disk maddesi bulunmayan ve delik adı verilen bir bölgenin oluştuğunu öngördükleri modeldir. Bu modelde diskten buharlaşarak beyaz cüce etrafında sıcak bir korona oluşturan gaz kısmen beyaz cüce üzerine yığılmakta ve kısmen de rüzgarda kaybolmaktadır. Eğer koronadaki yoğunluk çok düşükse, X-ışın tayfında beyaz cüce üzerine çökerken soğuyan plazmanın emisyonu baskın olmaktadır ki bu çalışmada elde edilen tayf modeli de tam olarak bu soğumaya işaret etmektedir. Yani elde edilen X-ışın tayfı, sınır tabakasındaki koronada bulunan sıcak ve optik olarak ince plazmanın beyaz cüce üzerine çökerken soğuduğunu göstermektedir. Pandel ve diğ. (2003b ve 2005) çalışmalarında sadece soğumalı akış modelini gözönüne almışlar ve fakat bu durumda mor ötesi gecikmesi gerçeğini göz ardı etmişlerdir. Bu eksikliği kapatmak için bir yolun Meyer ve Meyer-Hofmeister (1994) in Koronal sifon modeli

olabileceğini belirtmişler ama bu modelden yola çıkarak korona ile ilgili herhangi bir değer hesaplamamışlardır. Bu çalışmada Pandel ve diğ. (2003b ve 2005)'nden farklı olarak CEVMKL modelinde elde edilen T_{maks} değerinin koronadaki sıcaklık olduğu kabul edilmiş ve buna bağlı olarak diskten koronaya yükselen maddenin yığılma oranı (\dot{m}) ve ikincil yıldızdan beyaz cüce üzerine akan maddenin yığılma oranı (\dot{M}) ve beyaz cücenin efektif sıcaklığı (T_{eff}) Denklem 2, Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla $\dot{m} \sim 2,1 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\dot{M} \sim 1,25 \times 10^{15} \text{ g s}^{-1}$ ($2 \times 10^{-11} M_{\odot}/\text{yr}$) ve $T_{eff} \sim 19494 \text{ }^{\circ}\text{K}$ olarak bulunmuştur. Teorik modeller diskten beyaz cüce üzerine olan madde yığılma oranı için $2 \times 10^{16} \text{ gs}^{-1}$ değerini kritik değer olarak kabul ederler (Pringle ve Savonije, 1979; Narayan ve Popham, 1993; Patterson ve Raymond, 1985b ve Warner, 1995). Eğer bir diskteki kütle yığılma oranı bu değerden küçük ise oradaki madde optik olarak ince olacak ve ısısız frenleme mekanizması ile ışınım yayınlayacaktır. Bu çalışmada veri noktaları ile en iyi eşleşmeyi veren CEVMKL modeli ısısız frenleme mekanizmasını temel alan bir modeldir.

Rana ve diğ. (2006) nin de belirttiği gibi, sistemin küçük eğiminden dolayı ($i \sim 60^{\circ}$) tutulma olmaması, X-ışın ve EUV (Extreme Ultraviolet, Uç Morötesi) yayınlayan sınır tabakasının direkt olarak görülmesine imkan sağlamaktadır. Sistem durağan halde iken optik olarak ince bileşenler baskındır. Bu çalışmada manyetik olmayan Coşkun değişenlerden biri olan VW Hyi'nin durağan haldeki X-ışın tayfında Fe K α emisyonunun Fe XXV bileşeninin 6,7002 keV'deki rezonans çizgisinin baskın olduğu Şekil 5'deki EPIC tayfindan görülmektedir. Tayfta bu çizginin bulunması ışınım yapan plazma için $3 \times 10^7 \text{ K}$ den büyük sıcaklığı göstermektedir ki bu çalışmada $T_{maks} \sim 7,3 \times 10^7 \text{ K}$ bulunmuştur. Ayrıca yine Fe XXV bileşeninin 6,42 keV deki floresan çizgisi de Şekil 5'deki tayfta görülmektedir. Bu çizgi de, sistem durağan halde iken, sert X-ışınlarının beyaz cüce yüzeyinden ve/veya yığılma diskinin iç kısmından yansması nedeniyle oluşmaktadır. Durağan haldeki düşük yığılma oranlarında diskin iç kısmı ya yoktur ya da optik olarak incedir ve böylece gözlenen yansıtma bileşenine bir miktar katkı sağlamaktadır. Bu nedenle durağan halde cüce novalardaki floresan

Fe çizgisine önemli katkı beyaz cüce yüzeyinden gelmektedir. Ayrıca Fe XXV tripletinin 6,7 keV da baskın olması, durağan halde çarpışmalı iyonlaşma-dengesindeki plazmayı göstermektedir. Fe K α emisyonunun Fe XXVI Ly α çizgisi de tayfta görülmektedir, bu, sınır tabakasındaki maddenin hareketini işaret eder. Fe XXV ve Fe XXVI çizgileri, $10^7 - 10^8$ K sıcaklığa sahip plazmadan gelmektedir. Bu çalışmada $\sim 6,28$ keV ($7,3 \times 10^7$ K) aralığında tespit edilen plazma sıcaklığı bu yapıya uygundur.

Baskill ve diğ.(2005) nin de ifade ettiği gibi, demir çizgilerinin etrafındaki kalanlar (Residuals), soğuk maddeden X-ışın yansımalarının (floresan) işaretidir. Coşkun değişenlerde, şok ısınmalı gazın beyaz cücenin yüzeyi üzerine çökerken soğuduğu sıcaklık aralığından emisyon beklenmektedir (ör: Wheatley ve diğ., 1996; Done ve Osborne, 1997; Mukai ve diğ., 2003). Sıcaklık dağılımı, düşük enerjilerde, özellikler Fe L-kabuk (~ 1 keV) etrafındaki eşleşmeyi etkileyebilmektedir. Tayfta, 6,9 keV de görülen Fe XXVI çizgisi, Pandel (2004) in de açıkladığı gibi daha yüksek sıcaklıkta plazmanın ya olmadığını ya da X-ışınlarında verimli ışınım yapmadığını göstermektedir.

Kaynaklar

- Baskill D.S., Wheatley P.J., Osborne J.P., 2005. The complete set of ASCA X-ray observations of non-magnetic cataclysmic variables. *Astron.Soc.*, 357: 626-644.
- Belloni T., Verbunt F., Beuermann K., Bunk W., Izzo C., Kley W., Pietsch W., Ritter H., Thomas H.C., Voges W., 1991. Rosat observations of the Boundary layer between the white dwarf and the accretion disk of VW Hydri. *Astronomy and Astrophysics*, 246:L44-L46.
- Cordova F.A., Nugent J.J., Klein S.R., Garmire G.P., 1980. The HEAO-A2 Soft X-ray Survey of Dwarf Novae in Outburst. *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, 190:87-97.
- Done C., Osborne J. P., 1997. The X-ray spectrum of the dwarf nova SS CYG in quiescence and outburst. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 288: 649-664.
- Eracleous M., Halpern J., Patterson J., 1991. X-ray spectra of cataclysmic variables from the Einstein Observatory. *Astrophysical Journal*, 382: 290-300.
- Godon P., Sion E.M., 2005. The boundary layer of VW Hyi in quiescence. *MNRAS*.361..809G.

- Godon P., Sion E.M., Cheng F.H., Szkody P., Long K.S., Froning C.S., 2004. Far Ultraviolet Observations of the Dwarf Nova VW Hyi in Quiescence. *ApJ*.612..429G.
- Hartmann H.W., Wheatley P.J, Heise J., Mattei J.A., Verbunt F., 1999. The X-ray spectra of VW Hydri during the outburst cycle. *Astronomy and Astrophysics*, 349:588-594 .
- Hellier C., 2001. Cataclysmic Variable Stars: How and why they vary. Praxis Publishing, Chichester, UK, 210 p.
- Liedahl D.A., Osterheld A.L., Goldstein W.H., 1995. New calculations of Fe L-shell X-ray spectra in high-temperature plasmas. *Astrophysical Journal*, Part 2 – Letters, 438(2): L115-L118.
- Liller W., 1996. Observations of the Superoutburst of VW Hydri, November 1995. *IBVS (Information Bulletin on Variable Stars)*, .4299..1L.
- Luyten W.J., 1932. Neue Veranderliche am Sudhimmel. *Astron. Nachr.*, 245: 211-211.
- Mennickent R.E., Diaz M.P., Tappert C., 2004. A search for brown dwarf like secondaries in cataclysmic variables – II. *Astron. Soc.* 347: 1180-1186.
- Mewe R., Gronenschild E.H.B.M., van den Oord, G.H.J., 1985. Calculated X-radiation from optically thin plasmas. *V.. A &AS*, 62:197-254.
- Mewe R., Kaastra J.S., Schrijver C.J., van den Oord G.H.J., Alkemade F.J.M., 1995. EUV spectroscopy of cool stars. I. The corona of α Centauri observed with EUVE. *R. Astronomy and Astrophysics*, 296: 477.
- Meyer F., Meyer-Hofmeister E., 1994. Accretion disk evaporation by a coronal siphon flow. *A&A*, 288: 175-182.
- Mohanty P., Schlegel E.M. 1995. A Study of the Long-Term Behavior of the SU Ursae Majoris Dwarf Novae VW Hydri and Z Chamaeleontis. *Astrophysical Journal* .449: 330.
- Mukai K., Kinkhabwala A., Peterson J.R., Kahn S.M., Paerels F., 2003. Two Types of X-Ray Spectra in Cataclysmic Variables. *The Astrophysical Journal*, 586: L77-L80.
- Mukai K., Shiokawa K., 1993. The EXOSAT medium Energy (ME) Sample of Dwarf Novae . *The Astrophys. J.* 418: 863-873.
- Mushotzky R.F., Szymkowiak A.E., 1988. Einstein Observatory solid state detector observations of cooling flows in clusters of galaxies. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 53-62.
- Narayan R., Popham R., 1993. Hard X-Rays from Accretion Disk Boundary Layers. *Nature*, 362: 820-822.

- Pandel D., 2004. X-ray observations of cataclysmic variable stars with the XMM-Newton Space Observatory. PhD Dissertation (Doktora tezi). University of California, Santa Barbara, USA.
- Pandel D., Cordova F.A., Howell S.B., 2003b, XMM-Newton Observations of the Dwarf Nova VW Hyi. Bulletin of the American Astronomical Society, 35: 657.
- Pandel D., Cordova F.A., Howell Steve B., 2003a, X-ray and ultraviolet observations of the dwarf nova VW Hyi in quiescence. MNRAS, 346: 1231.
- Pandel D., Cordova F.A., Mason K.O., Priedhorsky W.C., 2005. X-ray observations of the boundary layer in dwarf novae at low accretion rates. The Astrophysical Journal, 626: 396–410.
- Patterson J., Kemp J.J., Harvey D.A., Fried R.E., Rea R., Monard B., Cook L.M., Skillman D.R., Vanmunster T., Bolt G., Armstrong E., McCormick J., Krajci T., Jensen L., Gunn J., Butterworth N., Foote J., Bos M., Masi G., Warhurst P., 2005. Superhumps In Cataclysmic Binaries. XXV. Qcrit, E(Q), And Mass–Radius. Pasp, 117: 1204.
- Patterson J., Raymond J.C., 1985b. X-Ray Emission from Cataclysmic Variables With Accretion Disks. II. EUV/SOFT X-Ray Radiation. The Astrophysical Journal, 292: 550-558.
- Polidan Ronald S., Mauche Christopher W., Wade Richard A., 1990. A study of extreme-ultraviolet emission from cataclysmic variables. Astrophysical Journal, Part 1, 356: 211-222.
- Pringle J.E., Bateson F.M., Hassall B.J.M., Heise J., van der Woerd H., Holberg J.B., Polidan R.S., van Amerongen S., van Paradijs J., Verbunt F., 1987. Multiwavelength monitoring of the dwarf nova VW Hydri. I – Overview. Royal Astronomical Society, Monthly Notices, 225: 73-92.
- Pringle J.E., Savonije G.J., 1979. X-Ray Emission from Dwarf Novae. Monthly Notices Royal Astronomical Society, 187: 777-783.
- Rana V.R., Singh K.P., Schlegel E.M., Barrett P.E., 2006. Study of Fe K_α lines in Non-magnetic Cataclysmic Variables using Chandra HEG data. Astrophys. J. 642: 1042-1050.
- Raymond J.C., Smith B.W., 1977. Soft X-Ray Spectrum of a Hot Plasma. The Astrophys. J., 35: 419-439.
- Saygıç T., 1993. VW Hydri kataklismik değişen yıldızın optik ve morötesi tayfsal analizi. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi.
- Saygıç T., 1994. Optical and ultraviolet spectroscopy of VW Hydri. PASP, 106: 918-918.
- Schoembs R., Vogt N., 1981. High-Time Resolution Spectroscopy of VW Hydri and WX Hydri . Astronomy and Astrophysics, 97:185-191.

- Schreiber M.R., Hameury J.-M., Lasota J.-P., 2004. Delays in dwarf novae II: VW Hyi, the tidal instability and enhanced mass transfer models, *A&A*, 427: 621S.
- Semeniuk I., 1980. Photometry of V 436 Centauri during superoutburst in May 1978. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 29-33.
- Semeniuk I., Olech A., Kwast T., Nalezyty M., 1997. CCD Photometry of SW Ursae Majoris During the 1996 Superoutbursts . *Acta Astronomica*, 47: 201-209.
- Smak J., 1984. Outburst of Dwarf Novae, *Astronomical Society of Pacific, PASP.*, 96(575): 5S
- Smith A.J., Haswell C.A., Hynes R.I., 2006. VWHyi: optical spectroscopy and Doppler tomography. *MNRAS*, 369: 1537.
- Van Amerongen S., Bovenschen H., van Paradijs J., 1987. Wavelength dependence of superhumps in VW HYI. *Royal Astronomical Society. Monthly Notices*, 229: 245-251.
- Verbunt F., Hassall B.J.M., Pringle J.E., Warner B., Marang F., 1987. Multiwavelength monitoring of the dwarf nova VW Hydri. III - IUE observations. *Royal Astronomical Society. Monthly Notices*, 225: 113-130.
- Vogt N., 1974. Photometric study of the dwarf nova VW Hydri. *Astron. Astrophys*, 36: 369-378.
- Vogt N., 1980. The SU UMa stars - an important sub-group of dwarf novae. *Astronomy and Astrophysics*, 88: 66-76.
- Warner B., 1987, Systematics of dwarf novae. *Astrophysics and Space Science*, 130: 3-13.
- Warner B., 1995. *Cataclysmic Variable Stars*. Cambridge University Press, 523p.
- Wheatley P.J., Verbunt F., Belloni T., Watson M.G., Naylor T., Ishida M., Duck S.R., Pfeffermann E., 1996. The X-ray and EUV spectrum of dwarf nova VW Hydri in outburst and quiescence. *Astronomy and Astrophysics*, 307: 37-48.
- Whitehurst R., 1988. Numerical simulations of accretion disks. I - Superhumps - A tidal phenomenon of accretion disks. *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, 232: 35-51.
- Whitehurst Robert, King Andrew, 1991. Superhumps, resonances and accretion discs. *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, 249: 25-35.