

SEÇİLMİŞ KATAKLİSMİK DEĞİŞKENLERİN 2-20 keV ARALIĞINDA GENİŞ BANT ARALIĞI GÜRÜLTÜ ANALİZİ

Şölen BALMAN¹, Baybars KÜLEBİ², Elif BEKLEN²

Özet

Bu çalışma KatakliSMik Değişkenler'in (CVler) 2-20 keV aralığındaki güç tayfı geniş bant gürültü karakteristikleri incelenmektedir. Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) uydusunun arşivinden alınmış 29 CV'nin Proportional Counter Array (PCA) verisi analiz edilmiştir. Genel olarak değişik türlerden CVlerde geniş bantta güç kanunu, eksponansiyel kesilme ve lorentzian modelleri ile açıklanabilen gürültü gözlenmektedir. Aynı özellikteki gürültüler X-ışını çift yıldız sistemlerinde de görülmektedir. Sonuçta tayflar (-) 1.2-2 eğime sahip olmakla beraber, manyetik olmayan sistemlerde çok düşük frekanslarda eğimlerinde düzleşme gözlenmektedir. Ayrıca bu kaynakların yüksek/patlama ve düşük parlaklık evrelerinde gürültü, yüksek frekanslar ve düşük frekanslar arasında yer değiştirmektedir. Son olarak, düşük frekanslarda gürültüye sahip olan bu CVler, tayflarında kuasi-periyodik salınımlar da göstermektedirler.

Anahtar Kelimeler : KatakliSMik değişken, RXTE, güç tayfı, kuasi-periyodik salınım

Abstract

We present the preliminary analysis of band-limited noise structure in the 2-20 keV data of Cataclysmic Variables (CVs). We have currently analyzed Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) PCA data and derived time series from 29 CVs using the RXTE archive. In general, CVs of different types all show broad band noise which can be fitted with power laws, using exponential cut-offs, and lorentzians in a similar way to power spectral (noise) characteristics of X-ray Binaries (XRBs). In general terms the power spectra show a power law index of (-)1.2-2. A rather large scale flattening of the power spectra exists in nonmagnetic systems in the low to very low frequency range. We observe that in low and high states/outbursts the noise in the high frequency range and low frequency range is changed. CVs show considerable very low frequency noise. In addition, we have recovered several possible QPOs in the X-ray wavelengths from CVs mainly from Intermediate Polar systems.

Key words : Cataclysmic Variables, RXTE, power spectrum, QPO

1.Giriş

KatakliSMik Değişkenler (CVler), bir beyaz cüce ve düşük kütleli bir anakol yıldızı oluşan sistemlerdir. Birincil bileşenin beyaz cüce olduğu bu sistemlerde, madde aktarımı bulunur[18]. Manyetik alanı yeterince güçlü olmayan beyaz cücelerde bu madde aktarımı bir

¹ ESA/ESTEC/RSSD/SCI-SA, Keplerlaan 1 P.O. Box 299 2200 AG Noordwijk ZH The Netherlands, +31(71) 5658574, +31(71)5654697, sbalman@rssd.esa.int

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara 06531 Türkiye, +90(312)2103252, +90(312)2105099 bkulebi@astroa.physics.metu.edu.tr

disk üzerinden gerçekleşirken, artan manyetik alan bu diski bozarak, aktarılan maddeyi beyaz cücenin kutuplarına yönlendirir. Genellikle aktifliklerine göre Klasik Nova (CN), Tekrarlayan Nova (RN) ve Cüce Nova (DN) olarak sınıflandırılırlar. Manyetik olmayan sistemlerde X ışınması disk içerisindeki sınır yüzeyindeki şokta, 3-10 keV sıcaklığında oluşmaktadır. Manyetik olan sistemlerde ise X-ışını mekanizması, kutuplardaki madde aktarımının güçlü şoklarda ortaya çıkmaktadır[15]. Bu sistemler manyetik alan gücüne bağlı olarak eşzamanlı periyotlu(10-530 MG), polarlar ve yaklaşık eşzamanlı periyotlu arapolarlar (<10 MG) olarak ikiye ayrılırlar[18]. Yüksek madde aktarımı sırasında göreceli olarak düşük manyetik alana sahip polarlar tayflarında, sert X-ışını güç kanunu kuyruklara (10 keV) sahiptirler.

Nötron yıldızları ve kara delik adaylarının güç tayfında gözlemlenen bant sınırlı gürültü bileşenleri ikiye ayrılmaktadır [17]. Birincisi; gürültünün kesilme frekansı, kendi dönme frekanslarıyla ilişkili olan pulsar ve manyetik Z kaynaklarıdır. Diğer ise; kesilme frekansı ile madde aktarım oranı ilişkisine sahip olan kara delik adayları, atoll ve manyetik olmayan Z kaynaklarıdır. Manyetosferi ve disk yapısı bulunan Z kaynakları iki kategorinin de özelliklerini gösterir.

Bu kaynakların güç tayfları, eksponansiyel kesilmeye sahip olan güç kanunu eğrilerine uymaktadır. Ayrıca bu tayflar lorentzianlara da sahip olabilirler, bu da ışık eğrisinin kuasi periyodik (QPO) salınımlara sahip olduklarını gösterir. Sınırlı bir vakitteki salınma veya frekans modülasyonuna işaret eden bu morfoloji, genel olarak atım gürültüsüyle ilişkilendirilir[5].

Son dönemde CVlerin optik bantında birçok 3-1000 saniyelik salınımlara rastlandı. QPOLarın yanı sıra cüce nova salınımları (DNO) ve uzun periyot cüce nova salınımları (lpDNO) olarak tanımlanan salınımların nedeni iç disk ile oluşan bir manyetik küre etkileşimi olduğu düşünülmekte[19]. CV terminolojisinde DNOLar, cüce patlamalarıyla ilişkili, yüksek frekanstaki toplu ($Q \sim 10^4 - 10^6$) salınımlardır. QPOLar ise tam tersi düşük frekanslardaki dağınık ($Q \sim 1 - 10$) salınımlardır. Son olarak lpDNOLar DNOLarla özellikle Q değeri açısından yakın özellik gösterirken, karakteristik frekansları DNOLarın yaklaşık dörtte biridir. [20]

Bu DNOLar ve QPOLar sırasıyla yüksek ve düşük frekans X-ışını çift yıldız QPOLarıyla paralellik göstermekte. Bu benzerlikler, artan madde aktarımı değerleriyle QPO merkezi frekanslarında yüksek frekansa kayma eğilimi, frekansın iki katına çıkması ve kara delik adaylarının 1:2:3 oranındaki harmonik yapılarıdır[20]. Ayrıca X-ışını çift yıldızlarında görülen kHz frekanslardaki çift QPOLar, CVlerde daha düşük frekanslarda ortaya çıkmaktadır. Önemli bir yakınlık da, bir X-ışını çift yıldızındaki düşük frekans ile yüksek frekans QPOLarı arasındaki ~15 oranının, CVlerin DNO ve QPOLarının arasında gözükmesidir. [19] [3]

Bu çalışmada RXTE uydusunun 2-20 keV enerji bandındaki arşiv verilerinden elde edilen CV güç tayflarını inceledik. Öncelikle belli uzunluktaki tayfların ortalamaları alınarak, güç kanunu ve lorentzian ile modelledik. Ardından da figürlerden çıkan değerleri CVlerin kendilerine has fiziksel parametreleriyle, karşılaştırarak yorumladık.

Tablo 1. Bazı CVlerin gözlem sırasında buldukları evreleri ve bu sıradaki gözlemsel ayrıntıları.

Kaynak	OBS-ID	Rabe	Güç Kanunu indeksi ¹	Kesilme Frekansı ¹ (Hz)	QPO Merkezi (Hz)	Q Değeri	Evre
		c/s					
AM Her	80005-01	5.21±3.59	-1.93 ^{+0.10} _{-0.20}	0.17	0.00074 ^{+0.0008} _{-0.0008}	18.4 ^{+1.38} _{-1.29}	düşük
AM Her	30007-01	12.12±4.73	-1.92 ^{+0.07} _{-0.12}	0.5			yüksek
EX Hya	50408-01	8.68±1.9	-1.34 ^{+0.02} _{-0.02}	0.015	0.0051 ^{+0.0002} _{-0.0002} 0.0089 ^{+0.0002} _{-0.0002}	27.0 ^{+11.3} _{-7.0} 10.0 ^{+4.40} _{-3.02}	sakin
EX Hya	30018-01	16.55±9.04	-1.36 ^{+0.10} _{-0.10}	0.12			patlama
GK Per	10023-01	18.8±6.52	-1.44 ^{+0.09} _{-0.09}	0.03	0.089 ^{+0.003} _{-0.003} 0.153 ^{+0.003} _{-0.003}	8.59 ^{+4.91} _{-1.45} 9.33 ^{+4.07} _{-2.42}	patlama
GK Per	70401-01	18.5±6.72	-1.91 ^{+0.02} _{-0.04}				patlama
YY Dra	10027-02	2.19±0.45			0.0074 ^{+0.0008} _{-0.0008}	74.0 ^{+30.0} _{-19.8}	sakin
YY Dra	40431-01	19.2±8.32					patlama
SS Cyg	20033-01	5.94±2.70	-1.88 ^{+0.30} _{-0.10}	0.02	0.0039 ^{+0.0008} _{-0.0008} 0.0067 ^{+0.0004} _{-0.0004} 0.0103 ^{+0.0001} _{-0.0001}	2.5 ^{+3.3} _{-1.2} 8.03 ^{+4.17} _{-1.73} 39.6 ^{+1.33} _{-1.33}	sakin
SS Cyg	50011-01	16.5±11.4	-1.60 ^{+0.09} _{-0.09}	0.4	0.0087 ^{+0.0001} _{-0.0001}	9.63 ^{+15.7} _{-2.19}	patlama
V1432 Aql	10025-01	1.08 ±0.982	-1.78 ^{+0.09} _{-0.19}	0.007	0.00390 ^{+0.0001} _{-0.0001}	97.3 ^{+57.1} _{-20.8}	sakin
V1432 Aql	30009-05	3.41 ±2.17	-2.30 ^{+0.22} _{-0.11}				yüksek

2. Gözlemler ve Veri Analizi

Gözlemler için RXTE arşivindeki toplam 54 CVnin Proportional Counter Array (PCA) verilerini eleterek toplamda 29 kaynak inceledik. Bu kaynakların seçiminde parlaklıkları ve tür çeşitliliği rol oynadı, ayrıca aynı kaynağın farklı parlaklık evreleri de incelendi. Düşük frekanstaki tayflar için (<0.01 Hz) arşivdeki arkaplan gürültüsü çıkarılmış ve birbirine ardı ardına eklenmiş ışık eğrileri kullanılırken, yüksek frekanslar için (0.01-1 Hz) FS37 ve FS3b verilerinden SEEXTRCT v4.2 ile hazırlanmış ışık eğrileri kullandık. Ardından bu ışık eğrilerini FTOOLS/XRONOS v 5.21 paketi ile güç tayfına çevrilerek modelleri üzerlerine QDP programı ile uyumladık.

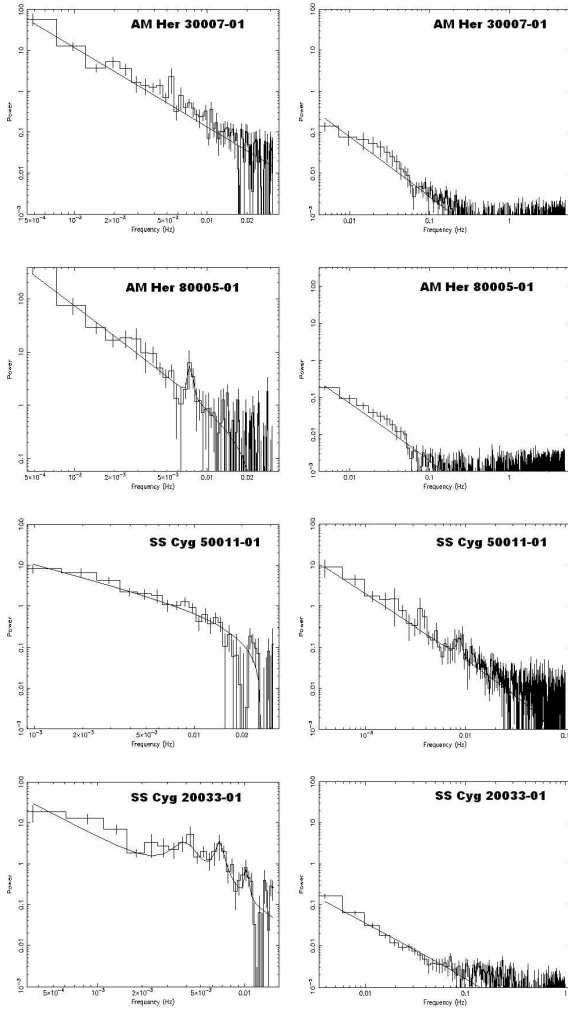
Düşük frekans için kullanılan eklenmiş güç tayfları, gözlem uzunluğuna bağlı olarak, 1000-2000 saniye aralıklarında, 30-100 ayrı tayfa bölünerek ortalamaları alındı. Yüksek frekanslarda ise, güç tayfları 100-200 saniye aralığındaki 100-500 tayfa bölündü ve ortalamaları alınarak modeller yerleştirildi. Güç tayflarının her biri Leahy normalizasyonuna sahiptir. Böylece güç, hesaplanan beyaz gürültü çıkarılmış oransal rms karedir. Bu da (rms²-mean)/Hz e denktir.

Gürültü modelleri yukarıda anlatıldığı gibi güç kanunu, ekponansiyel fonksiyon ve lorentzian barındırmaktadır. Kaynakların kendi periyotları dışındaki lorentzianların merkezi frekansları ve kalite faktörü (Q) **Tablo 1** de bulunmaktadır. Q değeri söz konusu salınımın ne kadar toplu olduğunun bir ölçüsüdür ve merkezi frekansın yarı maksimumdaki genişliğe (FWHM) bölünmesiyle bulunur. [5]

3. Sonuçlar

3.1. Polar Sonuçları

RXTE arşivinde bulunan on poların üçünün (EF Eri, V884 Her, Uz For) ışık tayfi yeterli parlaklıkta bulunmamakta olduğundan, sadece yedisinin tayfları oluşturulabildi. **Tablo 1**'te de görüleceği üzere genellikle yüksek güç kanunu indeksi bulunan bu kaynaklardan AM Her ve V834 Cen ve QPO'lar gözlemlendi. AM Her QPOLarı Şekil 1'de görülmekte.



Şekil 1. AM Her ve SS Cyg'nin sırasıyla yüksek ve sakın evreleri. Kaynaklar yukarıdan aşağıya, yüksek ve sakın evre olarak dizilmiştir. Yüksek evrede, gürültü yüksek frekansta yoğun iken, düşük evrede gürültü yer değiştirerek düşük frekanslarda görülmekte.

CVlerin 0.01 Hz civarının x-ışını çift yıldızlarının yüksek frekans gürültüsüne, 0.001 civarından itibaren ise düşük frekans gürültüsüne tekabül ettiği görülmekte.

Tayflarının güç kanunu indeksleri genel olarak, -1.2 ile -2.0 arasında olduğu gözlemlenmekte. Ara Polarlar (YY Dra dışında) düzleşmeden devam eden doğrulara sahipken, manyetik olmayan türdaşları 0.001 Hz'den itibaren azalan bir trend göstermekte. Yüksek/patlama evrelerinde düşük frekanslarda değişkenlik pek gözlenmezken, salınımlar genel olarak yüksek frekanslarda bulunmakta (GK Per, V834 Cen, SS Cyg gibi). Buna benzerlik göstererek, sakın/düşük evrelerdeki QPOlar ise kendilerini düşük frekanslarda göstermekte (EX Hya, SS Cyg, AM Her, YY Dra). Bu özellik, bu QPOların X-ışını çift yıldızlarının yatay dal salınımlarının (HBO)[17] bir analogu olduğuna işaret etmektedir.

3.2. Ara-Polar Sonuçları

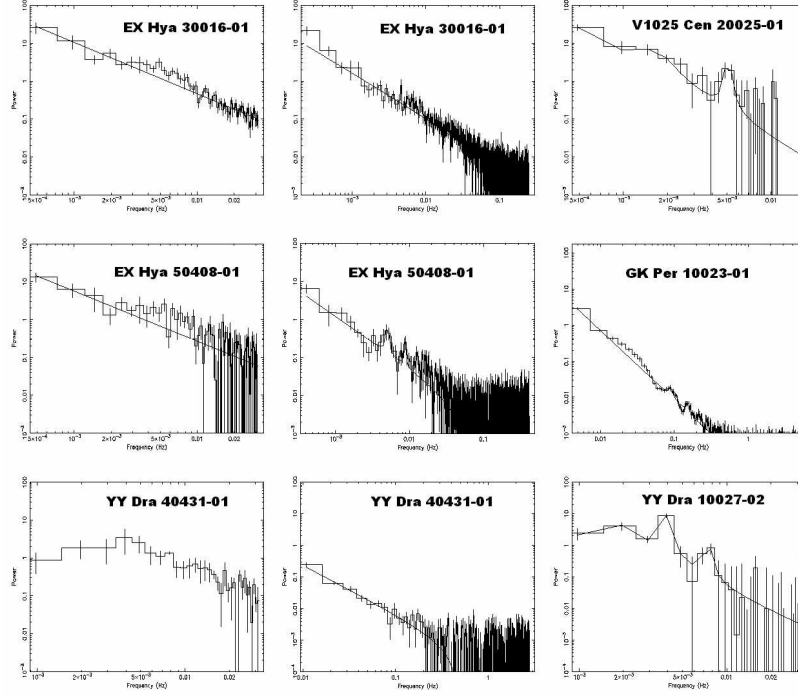
RXTE katalogunda en fazla bu türdeki kaynaklar bulunmaktaydı. Şekil 2 de Bu kaynakların periyotları incelenen tayf aralığında olduğundan, bu morfolojiler de lorentzian olarak modellere eklenerek güç kanunları incelenmiştir. Bu özellikle YY Dra'da sorun teşkil etti, QPO ve periyot güç kanununun modellenmesini zorlaştırdığından, şekilde sadece lorentzianlar kullanılmıştır.

3.3. Manyetik Olmayan CV Sonuçları

Arşivde toplamda onbir tane bulunan manyetik olmayan CV kaynağından yedi tanesini inceleyerek güç tayflarını çıkardık. Özellikle önemli bir kaynak olan SS Cyg'nin yüksek frekanslarındaki güç tayfını inceleyerek sakın fazında bulunan üç QPO'ya ek olarak bir QPO daha bulduk.

4. Sonuç

Genel olarak CVler düşük geniş bant gürültüsüne sahip görünmektedirler. En yüksek tayf kesilmesi 0.5 Hz civarı yüksek enerjili evrelerde görülmekte. Sakın evre kesilme alt sınırı ise 0.1 Hz olduğu söylenilebilir. Manyetik olmayan kaynaklarda ise bu sınır iyice düşmekte ve 0.01 Hz'i bulmaktadır, buna rağmen genel olarak kesilme frekansının 0.007-0.001 Hz civarında olduğu görülmekte. Sonuçta bu gürültü yapısı, X-ışını çift yıldız sistemlerine nazaran gayet düşüktür. Bu açıdan bakıldığında ve CVler için frekansta bir basamak artışı olduğu söylenilebilir. Sonuçta



Şekil 2. Araştırmadaki ara polarların sakin/yüksek evre gürültüleri.

Tablo 2. Araştırmada incelenen CVlerin periyot ve parlaklıkları.

m-o manyetik olmayanın kısaltılmış halidir. Parlaklıklar için a, [16]; b, [14]; c, [1]; d, [18]; e, [10]; f, [3]; g, [8]; h, [11]; i, [6]; j, [12] kaynakları kullanılmıştır. PQ Gem, V10025 ve V2400 Oph'in uzaklıkları bilinmediğinden, 500 parsek olarak alınarak parlaklıkları hesaplanmıştır.

Kaynak	Tür	Periyod (gün)(s)	Log L _r (1-10 keV)	Diğer isim
AM Her	polar	0.128927	31.77 ^b	3A 1815+498
BL Hyi	polar	0.078915	32.11 ^b	H 0139-68
V834 Cen	polar	0.070498	31.72 ^b	1E 1405-451
VV Pup	polar	0.069747	30.05 ^c	1E 0812-1854
AO Psc	atapolat	0.149626(805.20)	33.97 ^a	H 2252-035
BG CMi	atapolat	0.134748(847.03)	33.95 ^a	3A 0729+103
EX Hya	atapolat	0.068234(4021.62)	32.23 ^a	1E 1249-2858
FO Aqt	atapolat	0.20206(1254.45)	32.85 ^b	H 2215-086
GK Per	atapolat	1.9968(351.34)	33.04 ^f	ED +43 740a
PQ Gem ^k	atapolat	0.216359(833.40)	33.59 ^a	RE 0751+14
TV Col	atapolat	0.228599(1911)	33.08 ^b	2A 0528-328
TX Col	atapolat	0.2383(1911)	33.32 ^a	H 0542-407
V1223 Sgr	atapolat	0.140244(746.)	34.38 ^a	3A 1851-312
XY Ari	atapolat	0.252697(206.298)	33.77 ^b	H 0253+193
YY Dra	atapolat	0.165374(529.31)	33.61 ^a	DO Dra
TW Pic	m-o	0.2525 (7560)	32.90 ^a	H 0534-581
SS Cyg	m-o	0.27513	32.08 ^c	ED +42 4189a
IT Ari	m-o	0.13755	31.40 ^f	ED +14 341
U Gem	m-o	0.176906	31.44 ^c	ED +22 1807
V603 Aql	m-o	0.1385	32.48 ^c	HD 174107
WW Cet	m-o	0.1758	32.04 ^g	HV 8002/PHL 718
WZ Sge	m-o	0.056688	29.99 ^e	HV 3518
CP Tuc	polar	0.061832	27.70 ^b	Tuc2, AX J2315-592
V1025 Cen ^k	atapolat	0.05876(2146.59)	32.36 ^b	RX 1238-38
V2400 Oph ^k	atapolat	0.142(927.6)	34.22 ^a	Oph3, RX J1712.6-2414
V1432 Aql	polar	0.140235	32.15 ^j	Aql1, RX J1940-1025
V2301 Oph	polar	0.07845	31.90 ^b	Oph1, 1H 1752+081
V1062 Tau	atapolat	0.41284(3726)	33.51 ^b	Tau1, 1H 0459+245

Salınımların yanı sıra patlama ve sakin evrelerindeki gürültünün, düşük ve yüksek frekanslar arasında yer değiştirmesi de aynı zamanda X-ışını çift yıldızlarıyla benzerlik göstermekte ve bu nedenle de, CVlerin evre değişimlerinin madde aktarım farkı dolayısıyla gerçekleştiği senaryoları desteklemektedir.

Araştırmanın geri kalan kısmı için yapılacak olan madde aktarımına orantılı olduğu düşünülen X-ışını parlaklığıyla, güç kanunu indeksi arasında niceliksel bir ilişki olup olmadığının ayrıca beyaz cüce periyotları ile kesilme frekansları arasındaki ilişkinin incelenmesidir.

Kaynaklar

- [1] Baskill, D. S., Wheatley, P. J., Osborne, J. P., 2005, "The complete set of ASCA X-ray observations of non-magnetic cataclysmic variables," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 357, 626-644.
- [2] Belloni, Tomaso; Psaltis, Dimitrios; van der Klis, Michiel, 2002, "A Unified Description of the Timing Features of Accreting X-Ray Binaries," *The Astrophysical Journal*, 572, 392-406.
- [3] Greiner, J., 1998, "Soft X-ray emission of VY SCULPTORIS stars during optical high state," *Astronomy & Astrophysics*, 336, 626-636
- [4] Kluzniak, W.; Lasota, J.-P.; Abramowicz, M. A.; Warner, B., 2005, "QPOs in cataclysmic variables and in X-ray binaries," *Astronomy and Astrophysics*, 440, L25-L28.
- [5] Lewin, W. H.G., van Paradijs, J., van den Heuvel, E. P.J., 1995, *X-ray Binaries*, Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
- [6] de Martino, D.; Matt, G.; Belloni, T.; Haberl, F.; Mukai, K., 2005, "BeppoSAX observations of soft X-ray intermediate polars," *Astronomy & Astrophysics*, 415, 1009-1019.
- [7] Norton, A. J., Wynn, G. A., Somerscales, R. V., 2004, "The Spin Periods and Magnetic Moments of White Dwarfs in Magnetic Cataclysmic Variables," *The Astrophysical Journal*, 614, 349.
- [8] Pandel, D., Córdoba, F. A., Mason, K. O., Priedhorsky, W. C., 2005, "X-Ray Observations of the Boundary Layer in Dwarf Novae at Low Accretion Rates," *Astronomy & Astrophysics*, 626, 396-410.
- [9] Patterson, J., Raymond, J. C., 1985, "X-ray emission from cataclysmic variables with accretion disks. I - Hard X-rays. II - EUV/soft X-ray radiation," *The Astrophysical Journal*, 292, 535.
- [10] Patterson, J., 1994, "The DQ Herculis Stars," *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 106, 209-238.
- [11] Ramsay, G., Napiwotzki, R., Hakala, P., Lehto, H., 2006, "Rapid Temporal Survey (RATS) - II. Followup observations of four newly discovered short-period variables," *arXiv:astro-ph/0606628 v1*
- [12] Rana, V. R., Singh, K. P., Barrett, P. E., Buckley, D. A. H., 2005, "X-Ray Emission and Optical Polarization of V1432 Aquilae: An Asynchronous Polar," *Astronomy & Astrophysics*, 625, 351 – 367.
- [13] Revnivtsev, M. G., Lutovinov, A. A., Suleimanov, B. F., Molkov, S. V., Sunyaev, R. A., 2004, "Broadband X-ray Spectrum of the Intermediate Polar V2400 Oph," *Astronomy Letters*, 30, 772-778
- [14] Sazonov, S., Revnivtsev M., Gilfanov, M., Churazov, E., and Sunyaev, R., 2006, "X-ray luminosity function of faint point sources in the Milky Way," *Astronomy & Astrophysics*, 117-128
- [15] Schmidt, G. D., Szkody, P., Vanlandingham, K. M., et al., 2005, "New Low Accretion Rate Magnetic Binary Systems and their Significance for the Evolution of Cataclysmic Variables," *The Astrophysical Journal*, 630, 1037-1053
- [16] Suleimanov, M. Revnivtsev, M., Ritter, H., 2005, "RXTE broadband X-ray spectra of intermediate polars and white dwarf mass estimates," *Astronomy & Astrophysics*, 435, 191-199.
- [17] van der Klis, M., 1994, "Similarities in neutron star and black hole accretion" *The Astrophysical Journal Supplement*, 92, 511-519
- [18] Warner, B., 1995, *Cataclysmic variable stars*, Cambridge Univ. Press, Cambridge
- [19] Warner, Brian, 2004, "Rapid Oscillations in Cataclysmic Variables," *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116, 115-132.
- [20] Warner, B.; Woudt, P. A., 2004, "Dwarf Nova Oscillations and Quasi-Periodic Oscillations: Extension of the Two-QPO Diagram of X-Ray Binaries, and a new kind of DNO, Magnetic Cataclysmic Variables," *IAU Colloquium 190*, Proceedings of the Conference held 8-13 December, 2002 in Cape Town, South Africa. Edited by Sonja Vrielmann and Mark Cropper. ASP Conference Proceedings, Vol. 315. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 85