

Orta kutupsal EX Hya Kaynağının XMM-Newton Verilerinin Yörünge ve Dönme Tayf Analizi

Yakup Pekön^{1*} ve Şölen Balman^{1**}

Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara

Özet Bu çalışmada, EX Hya orta kutupsalının (IP) 2000 ve 2003 yıllarında iki ayrı dönemde elde edilmiş XMM-Newton uydusu verilerinin yörünge ve dönme çözünürlüklü tayf analizi sunulmaktadır. Kaynağın ışık şiddeti iki dönemde de 6.5×10^{31} erg s⁻¹ civarında benzerlik göstermektedir. 2000 ve 2003 yılları arasında kaynaktaki tayfsal değişiklikler gözlenmiştir. Kaynağın tayfları, nötr Hidrojen soğurma modeli; Gauss salma çizgileri; iki farklı sıcaklıkta çarpışma dengeli plazma ışınım modeli (MEKAL); ve bir soğuyan akışkan plazma ışınım modeli (VMCFLOW) içeren bileşke model ile uydurulmuştur. MEKAL ile modellenen ışınım bileşenlerinin sıcaklık değerleri yörünge ve dönme periyotları boyunca ve iki ayrı dönem içinde de sabit olduğu gözlenmiştir. Bu bileşenlerinin normalizasyon değerleri ise hafif bir şekilde yörünge ve dönme periyodu üzerinde değişim göstermesi örtünme etkisine işaret etmektedir. VMCFLOW ile modellenen ışınım ise hem yörünge ve dönme fazları üzerinde hem de iki dönem arasında değişim göstermektedir. Bu değişim ise kütle aktarım kolonlarındaki şok alanının modellenmesinde iki farklı sıcaklık dağılımının bulunması gerektiğini göstermektedir. Dönme ve yörünge maksimum tayflarının minimumlarına oranları, plazma sıcaklıklarındaki artışlar ile birlikte, hem yörünge hem de dönme minimum fazlarında kaynağın tayfının sertleştiğini göstermektedir. 2003 döneminde 6.4 keV'deki Fe salma çizgisi yörünge minimum akı fazlarında 0.9 ile 1.3 faz aralıklarında görülmekte, diğer fazlarda ve dönme fazlarında görülmemektedir. Bu bulgu, kütle aktarım diskinden bir yansıma işaret etmekle birlikte bu yansımanın en olası kaynağı kütle aktarımı çarpışma alanında bulunan büyük bir çıkıntıdır.

1 Giriş

Kataklismik değişkenler, elemanlarından birinin bir beyaz cüce, diğerinin de genellikle beyaz cüceye madde aktaran bir ana kol yıldızı olduğu çift yıldız sistemleridir (Warner, 2003). EX Hya ise kataklismik değişkenlerinin manyetik beyaz cüce sahibi olan bir alt kolu olan orta kutupsal (IP) sistemdir. Kaynağın yörünge periyodu 98 dk. (Kraft 1962), beyaz cücenin dönme periyodu 67 dk. (Vogt et. al 1987), beyaz cücenin kütlesi 0.6-0.8 M_☉, sistemin uzaklığı 64.5 ± 1.2 pc, sistem eğikliği 76.0°-77.6° (Beuermann et al. 2003) olarak belirlenmiştir.

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

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

Sistemin ışık eğrisi parçalı tutulmayı işaret etmektedir. Kaynağın kütle aktarım diskinin dış kısmında çıkıntı gözlenmiştir (Belle et al. 2005). Aynı zamanda diskin üzerinde aşırı kütle aktarımından dolayı oluşan şişkinlik ve buna bağlı olarak soğurma da gözlenmiştir (Mhlahlo et al. 2007; Hoogerwerf, Brickhouse & Mauche 2005).

Kaynağın tayfının literatürde daha önce yapılmış analizleri birden fazla sıcaklığa ya da sıcaklık dağılımına sahip plazmanın varlığına işaret etmektedir (Allan, Hellier & Beardmore, 1998; Mukai et al. 2003).

2 Gözlem - Veri İndirgeme

Kaynağın XMM-Newton teleskopu ile 2 ayrı dönemde; 01 Temmuz 2000'de 30 ks ve 11 Ocak 2003'te 50 ks süre ile alınmış olan gözlemlerinin arşivlenmiş EPIC-pn verileri bu çalışmada kullanılmıştır. Kaynak 2000'de 40.1 ± 0.04 c/s (0.2-10 keV arası) sayım hızı ile odak noktasında küçük pencere modunda; 2003'te 9.7 ± 0.01 c/s (0.2-10 keV arası) sayım hızı ile odaktan 14' uzaklıkta tam çerçeve modunda gözlenmiştir.

Kullanılan veriler indirgenirken SAS 8.0.0 programı kullanılmıştır. SAS bünyesindeki XMMSELECT ışık eğrisi ve tayf oluşturmada, PHASECALC faz aralıkları oluşturmada, ESPECGET de faza bağlı tayf oluşturmada kullanılmıştır. Oluşturulan tayflar XSPEC 12.2.1 programı ile analiz edilmiştir.

3 Ortalama Tayf

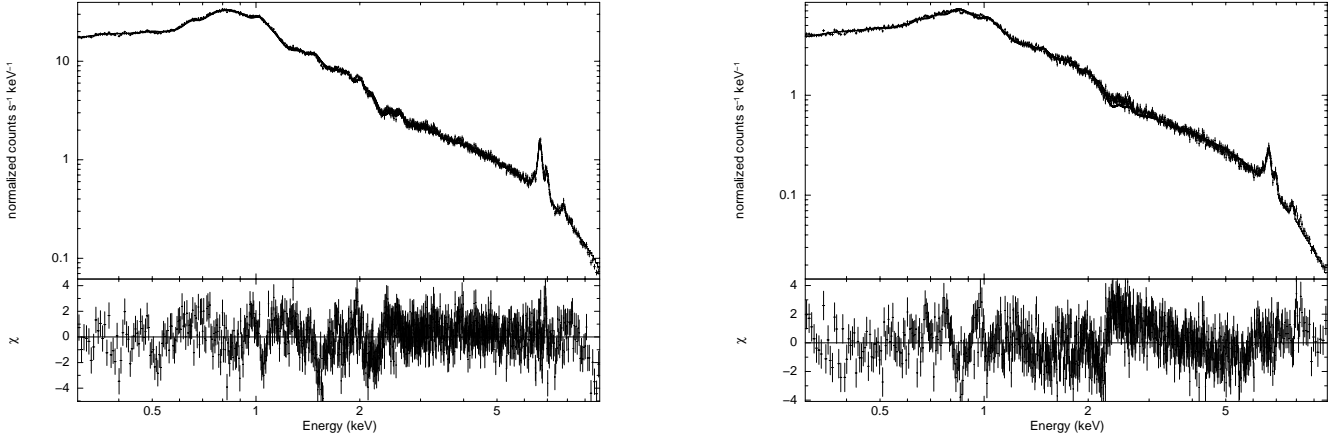
Kaynağın 2000 ve 2003 gözlemlerinin toplam ortalama tayfları 0.2-10.0 keV aralığında oluşturulup, benzer bir bileşke model ile uydurulmuştur. 2000 için genel model TBABS*PCFABS*(GAUSS + GAUSS + GAUSS + GAUSS + GAUSS + MEKAL + MEKAL + VMCFLOW) (Bkz. Şekil 1) 2003 için ise genel model TBABS*PCFABS*(GAUSS + GAUSS + GAUSS + GAUSS + GAUSS + MEKAL + MEKAL + VMCFLOW) (Bkz. Şekil 1) olarak kullanılmıştır.

Her iki tayf modeli de benzer bileşenler göstermekle birlikte, soğurma kolonları ve VMCFLOW sıcaklık dağılımları farklıdır.

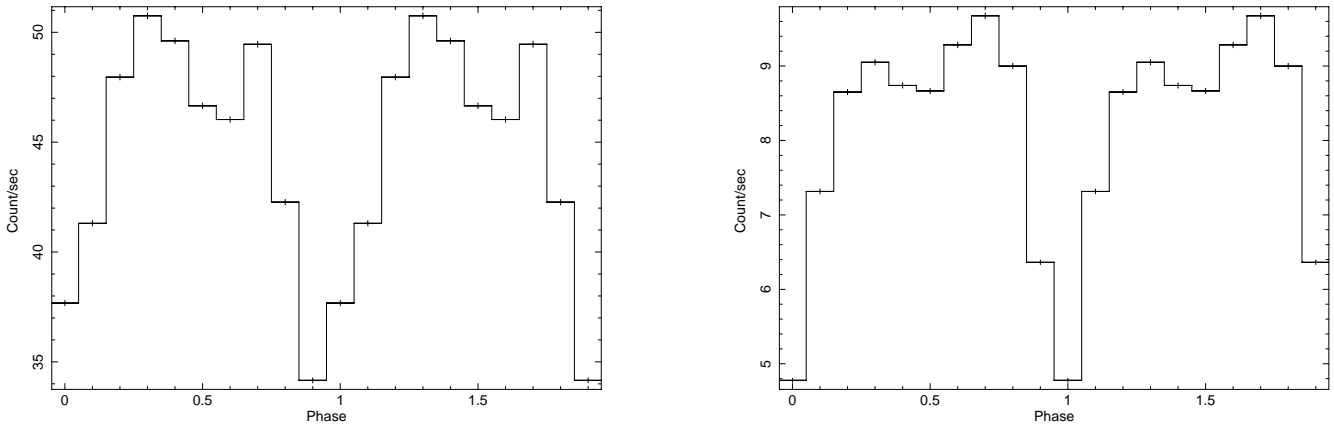
4 Yörünge İncelemesi

Her iki gözlem için kaynağın yörünge periyodu üzerinde ışık eğrileri ve tayflarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Yörünge periyotları üzerine katlanmış ışık eğrilerine bakıldığında 2000 (Bkz. Şekil 2) ve 2003 (Bkz. Şekil 2.) dönemleri benzerlik göstermekle beraber farklıdır. İki dönemde de 0 fazı civarında tutulma bölgesi gözlenmekteyken soğurmadan kaynakabilen sığ çukur bölgeleri farklı faz aralıklarındadır.

Kaynağın tayfının yörünge üzerinde davranışını incelemek için her bir 0.1 faz aralığı için tayf oluşturulmuş ve her bir tayf için model uydurulmuştur. 2000 için WABS, 2 MEKAL, 2 GAUSS (6.7 ve 6.9 keV) ve VMCFLOW'dan oluşan bileşke bir model, 2003 için de WABS, 2 MEKAL, 2 GAUSS (6.4, 6.7 ve 6.9

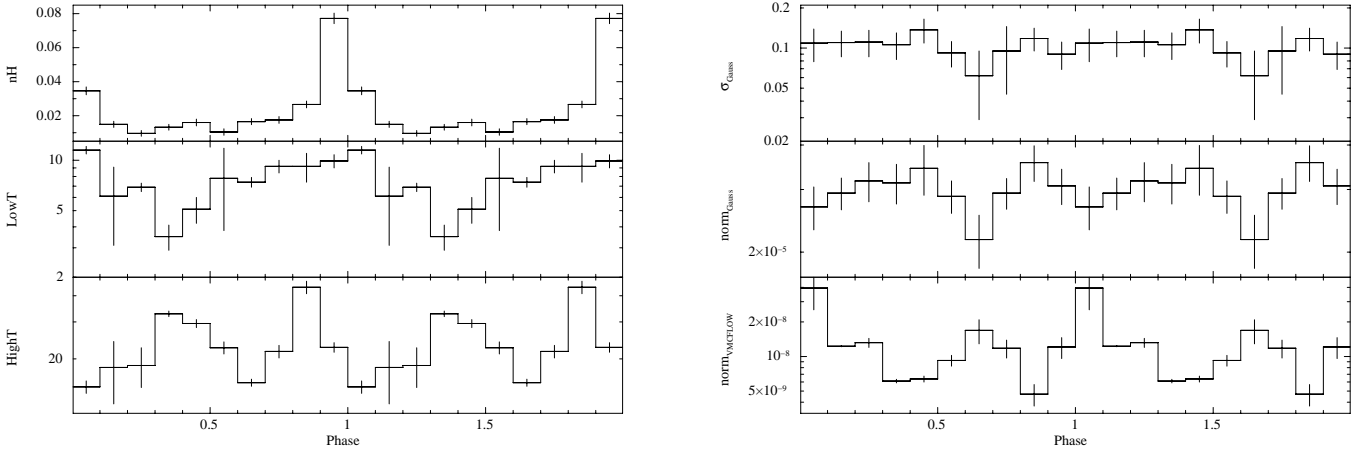


Şekil 1. 2000 (solda) ve 2003 (sağda) yıllarına ait tayf ve uydurulan model.



Şekil 2. 2000 (solda) ve 2003 (sağda) yıllarına ait yörünge periyotuna katlanmış ışık eğrisi.

keV) ve VMCFLOW'dan oluşan bileşke model her bir tayfa uydurulmuştur. Bu modellerin bazı parametrelerinin yörünge periyoduyla değişimi Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Yörüngeye bağlı değişimlerde öne çıkan bulgular, soğurmanın yörünge ışık eğrisiyle ters orantılı olarak değişmesi ve sadece 2003 verisinin tutulma harici fazlarında 6.4 keV salma çizgilerinin gözlenmesidir.

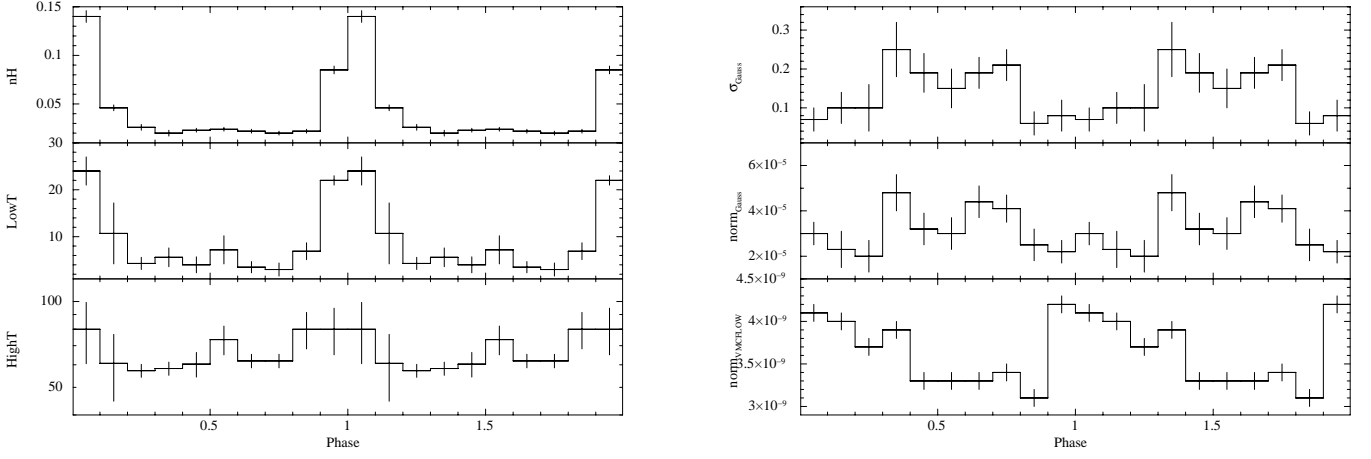


Şekil 3. 2000 verisinden elde edilen faza bağlı tayflara uygulanan model parametrelerinin yörünge fazına bağlı değişimleri

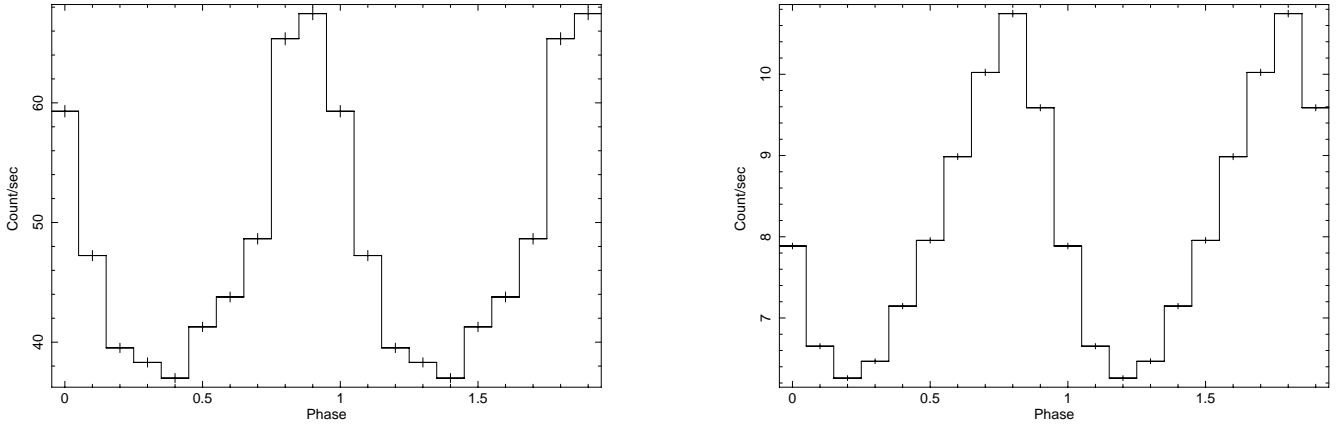
5 Dönme İncelenmesi

Her iki gözlem için kaynağın beyaz cücenin kendi etrafında dönme periyodu üzerinde ışık eğrileri ve tayflarının nasıl değiştiği incelenmiştir. Her iki yıla ait gözlemlerde dönme periyodu üzerine katlanmış ışık eğrileri Şekil 5'te görülebilir. Her iki yılda da açık olarak ışık eğrisi sinüsoidal bir değişim göstermekte ve minimumlarda akı sıfır olmamaktadır.

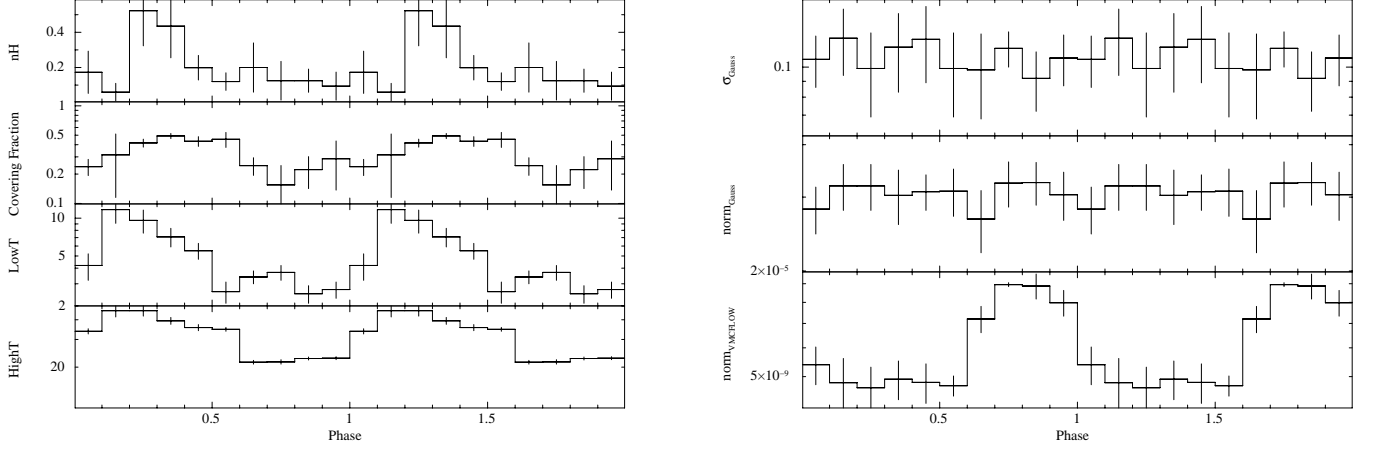
Kaynağın tayfının dönme üzerinde davranışını incelemek için her bir 0.1 faz aralığı için tayf oluşturulmuş ve her bir tayf için model uydurulmuştur. 2000 için PCFABS, 2 MEKAL, 2 GAUSS (6.7 ve 6.9 keV) ve VMCFLOW'dan oluşan bileşke bir model, 2003 için de PCFABS, 2 MEKAL, 1 GAUSS (6.9 keV) ve VMCFLOW'dan oluşan bileşke model her bir tayfa uydurulmuştur. Her iki yıl için de soğurma ve plazma taban sıcaklıkları dönme ile ters orantılı ve salma çizgileri faz üzerinde sabittir. Uydurulan modellerin bazı parametrelerinin faz ile değişimi Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



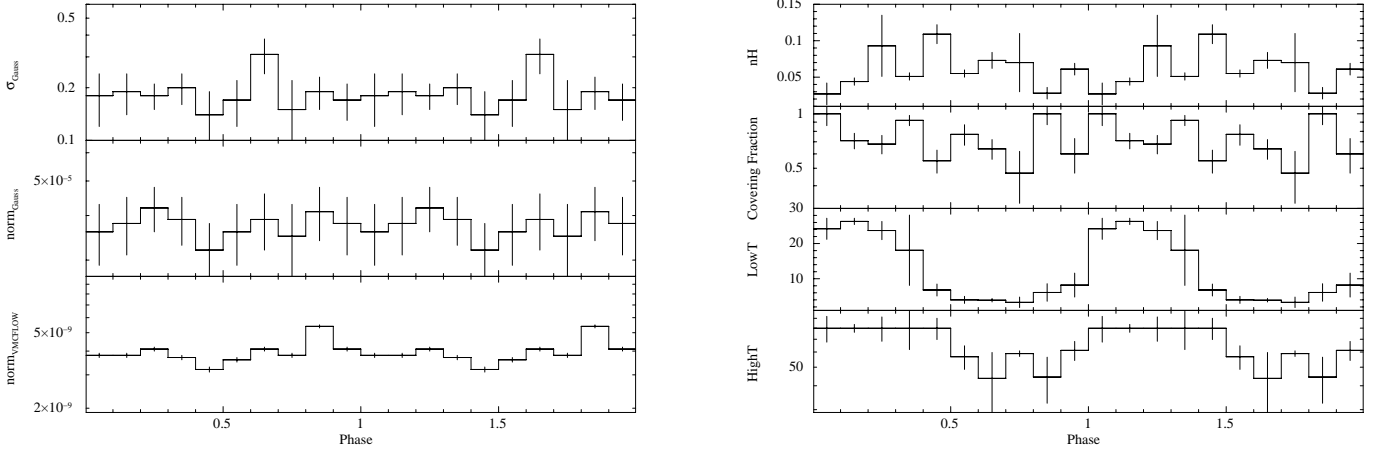
Şekil 4. 2003 verisinden elde edilen faza bağlı tayflara uygulanan model parametrelerinin yörünge fazına bağlı değişimleri



Şekil 5. 2000 (solda) ve 2003 (sağda) yıllarına ait dönme periyotuna katlanmış ışık eğrisi.



Şekil 6. 2000 verisinden elde edilen faza bağlı tayflara uygulanan model parametrelerinin dönme fazına bağlı değişimleri



Şekil 7. 2003 verisinden elde edilen faza bağlı tayflara uygulanan model parametrelerinin dönme fazına bağlı değişimleri

6 Sonuç ve Değerlendirme

EX Hya kaynağının tayf modeli her iki gözlem için de incelendiğinde ortaya çıkan sonuca göre kaynak birden fazla bileşenli, çoklu-sıcaklıklı bir plazma özelliği göstermektedir. Bu plazmanın sıcaklığı 0.6 ile 60 keV arasında bir dağılıma sahiptir. Kaynağın 2 ayrı evresinde (2000 ve 2003 yılları arasında) açık bir tayfsal değişim gözlenmiştir. Buna ek olarak kaynak yörünge ya da dönme üzerinde değişim göstermeyen sabit emisyon da içermektedir.

Kaynak ağırlıklı olarak demir salma çizgileri göstermektedir. Bu çizgilerin en dikkat çekici olanı 6.4 keV demir çizgisidir. Yansımadan kaynaklanan bu çizginin sadece 2003 yılının örtülme dışı fazlarında ortaya çıkması disk üzerinde yansımanın göstergesidir.

Kaynağın yörüngeye bağlı değişimleri örtülmenin soğurma ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Örtülme esnasında her iki yıl için de soğurma artmakta ve plazma taban sıcaklığı düşmektedir. Bu durum kataklismik değişkenler için önemli bir bulgudur. Soğurmanın yörüngeye bağlı değişimi daha önce sadece bir kaynaktan, RR Pic adlı bir klasik novada gözlenmiştir (Pekön & Balman, 2008). Yörünge ışık eğrisindeki çukurun sebebi ise disk üzerindeki çıkıntı ile ilişkilendirilmiştir.

Kaynağın dönme periyodu ile olan değişimi incelendiğinde yine soğurmanın etkisi göze çarpmaktadır. Bu soğurma etkisi üzerinden, kaynağın tek kollu madde aktarımı yaptığı fikri kuvvetlenmektedir.

7 Kaynaklar

Kaynaklar

- Allan A., Hellier C., Beardmore A., 1998, MNRAS, 295, 167
Belle K. E., Howell S. B., Mukai K., Szkody P., Nishikida K., Ciardi D. R., Fried R. E., Oliver J. P., 2005, AJ, 129, 1985
Beuermann K., Harrison Th. E., McArthur B. E., Benedict G. F., Gansicke B. T., 2003, A&A, 412, 821
Hoogerwerf R., Brickhouse N. S., Mauche C. W., ApJ, 2005, 628, 946
Kraft R. P., 1962, ApJ, 135, 408
Mhlahlo N., Buckley D. A. H., Dhillon V. S., Potter S. B., Warner B., Woudt P. A., 2007, MNRAS, 380, 353
Mukai K., Kinkhabwala A., Peterson J. R., Kahn S. M., Paerels F., 2003, ApJ, 586, 77
Pekön Y., Balman Ş., 2008, MNRAS, 388, 921
Vogt N., Krzeminski W., Sterken C., 1980, A&A, 85, 106
Warner B. 2003, Cataclysmic Variable Stars. Cambridge Univ. Press, Cambridge