

Seçilen Çift Sistemlerin X-ışın Değişimleri

Ülkü Asena Çevik¹  , Kadri Yakut¹ 

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

Accepted: February 25, 2025. Revised: February 25, 2025. Received: December 8, 2024.

Özet

Bu çalışmada, Büyük Macellan Bulutunda bulunan Be X-ışın çift sistemleri XMMU J045315.1–693242 ve XMMU J045736.9–692727’in X-ışın ışıınım özellikleri incelenmiştir. XMM-Newton teleskobuyla yapılan gözlemler, SAS ve HEASOFT yazılımları kullanılarak indirgenmiş ve analiz edilmiştir. 0.2–12 keV enerji aralığında ışık eğrileri ve tayf analizleri gerçekleştirilmiş, güç yasasına dayalı tayf modelleri oluşturulmuştur. Çalışmamızda, XMMU J045315.1–693242’nin 0.2–10 keV enerji aralığındaki ışıması 4.6×10^{34} erg s^{−1}, XMMU J045736.9–692727’nin ise 5.47×10^{35} erg s^{−1} olarak hesaplanmıştır. Işık eğrileri analizleri, sistemlerin periyodik ve yarı-periyodik değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu değişimlerin fiziksel kökenlerini belirlemek için daha geniş bir dalga boyu aralığında ek gözlemler gereklidir. Bu çalışma, Be X-ışın çiftlerinin X-ışın özelliklerini anlamak ve sistemlerin evrim süreçlerini incelemek için gelecekte yapılacak detaylı gözlemler için temel sağlamaktadır.

Abstract

In this study, the X-ray emission properties of the Be X-ray binary systems XMMU J045315.1–693242 and XMMU J045736.9–692727 in the Large Magellanic Cloud were investigated. The XMM-Newton observations were reduced and analyzed using SAS and HEASOFT software. Light curve and spectral analyses were performed in the 0.2–12 keV energy range, and power-law based spectral models were constructed. Our study determined that the X-ray luminosities of XMMU J045315.1–693242 and XMMU J045736.9–692727 in the 0.2–10 keV wavelength range are 4.6×10^{34} erg s^{−1} and 5.47×10^{35} erg s^{−1}, respectively. Light curve analyses reveal periodic and quasi-periodic variations in both systems. Further multi-wavelength observations are needed to determine the physical origin of these variations. This study provides a foundation for future detailed observations aimed at understanding the X-ray properties of Be X-ray binaries and exploring their evolutionary processes.

Anahtar Kelimeler: (stars:) binaries (including multiple): close – (stars:) binaries: X-ray – stars: fundamental parameters

1 Giriş

Büyük kütleli X-ışın çiftleri (HMXRB), genellikle bir sıkışık nesne (karadelik veya nötron yıldızı) ve büyük kütleli bir yıldızdan (OB veya Be yıldızı) oluşan evrendeki en parlak X-ışın kaynaklarından biridir (Lutovinov ve diğ. 2007). Bu tür sistemlerde, yıldızdan sıkışık nesneye madde aktarımı sırasında farklı mekanizmalarla yüksek enerjili fotonlar yayılır. Bu süreç, X-ışın salınımının temel mekanizmasını oluşturur (Coe & Kirk 2015). HMXRB’lerde X-ışınları kütle aktarımı sırasında manyetik etkileşimlerin yüksek olmasından dolayı termal olmayan süreçler sonucu meydana gelir.

Be türü X-ışın çiftleri ise yüksek spin değerine sahip O veya B tayf türünden bileşene sahip yoğun X-ışın salınımı yapan sistemlerdir (Habets 1987). Be yıldızları diğer büyük kütleli yıldızlar gibi güçlü yıldız rüzgarlarına sahiplerdir (Rivinius & Klement 2024). Ayrıca bu yıldızların kendilerine ait diskleri bulunmaktadır. Be yıldız bileşenli X-ışın çiftlerinin en belirgin özelliklerinden biri oldukça basık bir yörüngeye sahip olmalarıdır. Bu sebeple sıkışık nesne periyodunun bir dönemini nispeten donör yıldızından uzakta geçirir ve bu süreçte madde aktarımı yoluyla salınan X-ışınlarında belirgin bir azalma görülür. (Habets 1987)

Güneş sistemine yaklaşık 50 kpc (Pietrzyński ve diğ.

2013) mesafede bulunan Büyük Macellan Bulutu (LMC) çok sayıda X-ışın çiftine ev sahipliği yapar. Görece düşük metal yoğunluğuna ve genç yıldız popülasyonuna sahip olması (Russell & Dopita (1992); Harris & Zaritsky (2009)), HMXRB’lerin oluşum ve evrim süreçlerinin anlaşılmasına olanak sağlar. Bu çalışmada Büyük Macellan Bulutunun LMC7 bölgesinde yani süper dev kabuğunda bulunan iki Be X-ışın çifti XMMU J045315.1–693242 (J0453) ve XMMU J045736.9–692727 (J0457) sistemlerinin (Haberi ve diğ. 2022) XMM-Newton Teleskobu’nun XMM-Newton Science Archive sitesindeki herkese açık verileri analiz edilerek tayf ve ışık eğrileri çıkarılıp tayf modeli hazırlandı.

2 Hedef Sistemler

Bu çalışma bağlamında analizi yapılan hedef sistemler, Büyük Macellan Bulutunda bileşenlerinden biri Be yıldızı olan büyük kütleli X-ışın çifti olan XMMU J045315.1–693242 (kısaca J0453) ve XMMU J045736.9–692727 (kısaca J0457) olarak seçilmiştir. Her iki sistem de XMM-Newton Teleskobu ile gözlenmiş olup XMM-Newton Science Archive’den (XSA) alınan erişime açık verilerle analizler elde edildi.

Büyük Macellan Bulutu düşük metal yoğunluğu ve genç yıldız popülasyonuna sahip olmasıyla, bu bölgede bulunan Be X-ışın çiftlerinin incelenmesi diğer galaksilerde bulunan benzer sistemlerle kıyaslanması, oluşum ve evrim süreçlerinin

* ulkuasencevik@gmail.com

Çizelge 1. J0453 ve J0457 için g yasasına uygun salmalara sahip bir model kullanılarak çıkarılan en uygun parametreler. Akılar 0.2-10.0 keV bandı için elde edildi. Kaynak ışıınımları (0.2-10.0keV), 50 kpc'lik (Pietrzyński ve dię. 2013) bir mesafe var sayılarak düzeltilmiştir. Galaktik hidrojen kolon yoğunluğu önceki çalışmalardan alındı (Dickey & Lockman 1990). Akı ve parlaklıklar farklı EPIC cihazlarından alınan değerlerin ortalaması olarak alınıır.

Sistem	Gözlem ID	Foton İndeksi	$N_H^{\text{Gal}} (\text{cm}^{-2})$	$N_H^{\text{LMC}} (\text{cm}^{-2})$	χ_r^2	Serbestlik Derecesi	$F (\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1})$	$L (\text{erg s}^{-1})$
J0453	0804550201	$1.27^{+0.22}_{-0.22}$	0.85×10^{21}	$3.1^{+1.83}_{-1.83} \times 10^{21}$	0.88	16	1.54×10^{-13}	4.6×10^{34}
J0457	0804550101	$0.68^{+0.03}_{-0.03}$	0.85×10^{21}	$0.05^{+0.02}_{-0.02} \times 10^{21}$	0.99	287	1.76×10^{-12}	5.47×10^{35}

anlaşılmasına ışık tutmaktadır. (Haberl & Pietsch (1999); Antoniou & Zezas (2016))

2.1 XMMU J045315.1–693242

XMMU J045315.1–693242, Büyük Macellan Bulutunda bir Be X-ışın çifti olarak sınıflandırılmıştır (Haberl ve diğ. 2022). Be türü bir yıldız ve nötron yıldızından oluşan bu sistem için XMM-Newton Teleskobu ile yapılan gözlem kimliği 0804550201 verileri kullanılarak analizler yapıldı. Bu gözlem için EPIC-MOS1 kamerası kullanılabilir olmadığı için yalnızca EPIC-pn ve EPIC-MOS2 kameralarının gözlemleri kullanıldı.

2.2 XMMU J045736.9–692727

Diğer sistemde olduğu gibi XMMU J045736.9–692727 sistemi de, Büyük Macellan Bulutunda bir Be X-ışın çifti olarak sınıflandırılmıştır (Haberl ve diğ. 2022) Bir Be yıldızı ve muhtemelen bir nötron yıldızından oluşan bu sistem aynı şekilde XMM-Newton Teleskobu ile gözlenerek gözlem kimliği 0804550101 verileri kullanılarak yapıldı. Bu gözlem için EPIC-pn EPIC-MOS1 ve EPIC-MOS2 kameralarının üçü de kullanıldı.

Bu sistemlerin büyük ktelli X-ışın çiftleri için sert X-ışınları yayması, baskın olan ışıınımları temsil etmeye uygun görülen modellerden biri olan g yasası (powerlaw) modeli ile uyumlu olması ve ışık eğrilerinde periyodik ve yarı-periyodik davranışlar göstermesi beklenmektedir.

3 Veri Analizi

XMMU J045315.1–693242 ve XMMU J045736.9–692727 sistemlerinin XMM-Newton Teleskobu gözlemlerinin indirgemeleri SAS ve DS9 yazılımlarıyla, tayf, tayf modeli ve ışık eğrileri ise HEASOFT yazılımı ile hazırlandı.

XMM-Newton Teleskobu'ndan alınan ham veriler indirgenirken XMMU J045315.1–693242 için kaynağın merkezi sağ açıklık (RA): 04 53 15.05, dik açıklık (DEC): -69 32 42.5, kaynak bölgesi 24' büyüklüğünde ve arkaplan kaynağa yakın bölgede 42'; XMMU J045736.9–692727 için kaynağın merkezi (RA): 04 57 36.91, (DEC): -69 27 27.2, kaynak bölgesi 37' ve arkaplan kaynağa yakın bölgede 44' olarak seçildi. İndirgeme işlemlerinde, EPIC-pn için PATTERN 0–4 ve FLAG 0, EPIC-MOS'lar için PATTERN 0–12 ve FLAG 0 kullanılmıştır. Yanıt dosyaları ise rmfgen ve arfgen komutları ile oluşturulmuştur.

Tayf analizleri ve modeller yapılırken foton sayımları 20'şerli olarak gruplanıp, Samanyolu için sabit ($0.85 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$) ve Büyük Macellan Bulutu için serbest parametreler olmak üzere iki ayrı soğurma uygulanarak g yasası modelleri yapıldı. G yasası modelinin içerisinde bulunan foton indeksi parametresi de serbest parametre olarak bırakıldı.

Sistemlerin ışık eğrileri oluşturulurken kaydedilen fotonların gruplanma sayıları belirlenirken J0453 sisteminin nisbeten zayıf bir kaynak olmasından kaynaklı 600 saniye, j0457 için ise sistemdeki nötron yıldızının pulsasyon periyodunun yaklaşık 318

saniye olmasından (Haberl ve diğ. 2022) dolaylı 318 saniye olarak belirlendi.

4 Sonuçlar ve Tartışmalar

Analizler sonucunda her iki Be X-ışın çiftinin 0.2-12 keV aralığındaki tayfı ve ışık eğrileri çıkarılarak, g yasasına uygun tayf modelleri yapıldı. Tayf ve tayf modelinin grafikleri şekil 1 ve şekil 2'te görülmektedir. Büyük Macellan Bulutunun uzaklığı ~50 kpc alınarak X-ışın ışıınımları hesaplandı. Sistemlerin tayflarının modelle uygunluğu χ^2 istatistiği yöntemiyle kontrol edilerek, tayf ve model arasında uyumluluk görüldü.

XMMU J045315.1–693242 sisteminin 0.2-10 keV dalgaboyu aralığındaki akısı $1.54 \times 10^{-13} \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve 50 kpc mesafeye göre ışıınması $4.6 \times 10^{34} \text{erg s}^{-1}$, XMMU J045736.9–692727 sisteminin akısını $1.76 \times 10^{-12} \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve 50 kpc mesafeye göre ışıınması $5.47 \times 10^{35} \text{erg s}^{-1}$ olarak bulundu. Analizlerin sayısal sonuçları ve hata aralıkları izelge 1'de verildi.

Her iki sistemin 0.2-12 keV aralığındaki ışık eğrileri şekil 3 ve şekil 4'te görülmektedir. XMMU J045315.1–693242 sisteminin ışık eğrisi incelendiğinde 0.2-10 keV aralığındaki ışıınım miktarı 600 saniyelik aralıklarda yaklaşık 0.01 ile 0.14 foton arasında değişmekteyken, XMMU J045736.9–692727 için 318 saniyelik aralıklarda 0.1 ile 0.5 foton aralığında değişmektedir. Grafikler incelendiğinde, her iki sistemde de periyodik ve yarı-periyodik değişimlerin mevcut olduğu görülmektedir. Bu değişimlerin fiziksel mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için farklı dalga boylarında ek gözlemler gereklidir.

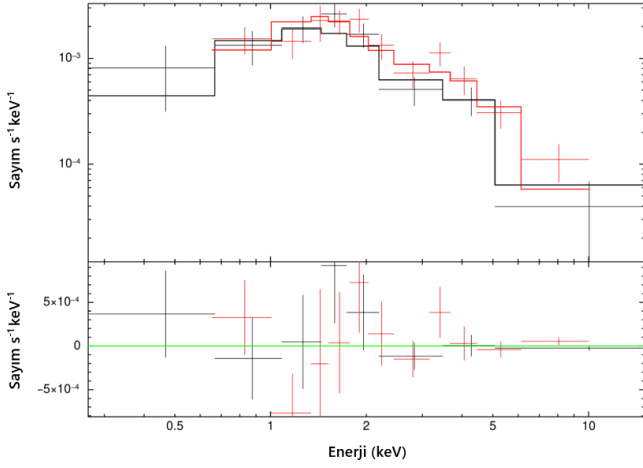
Bu alışma kapsamında X-ışın analizleri yapılan XMMU J045315.1–693242 ve XMMU J045736.9–692727 sistemlerinin Büyük ktelli X-ışın çiftlerine benzer ışıınımlar yaptığı tespit edilerek, devamında yeni sistemler keşfetmek amacıyla farklı sistemler üzerinde yapılabilecek uygun analiz yöntemleri test edildi.

Teşekkür

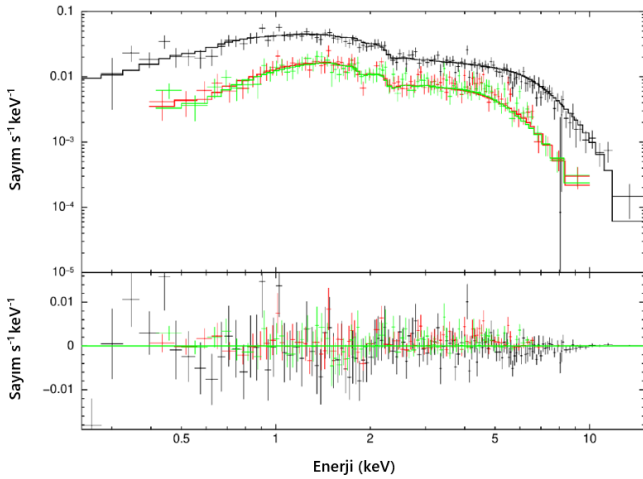
Bu alışma . A. Çevik'in Yüksek Lisans tezinin bir bölümünden üretilmiştir. .A. Çevik, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destek Programı Başkanlığı (BİDEB) tarafından 2210-A bursu kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

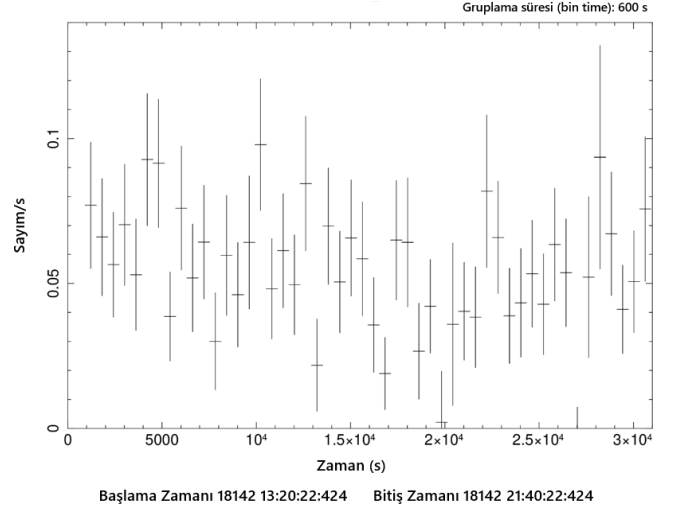
- Antoniou V., Zezas A., 2016, *MNRAS*, 459, 528
 Coe M. J., Kirk J., 2015, *MNRAS*, 452, 969
 Dickey J. M., Lockman F. J., 1990, IN: Annual review of astronomy and astrophysics. Vol. 28 (A91-28201 10-90). Palo Alto, CA, Annual Reviews, Inc., 1990, p. 215-261., 28, 215
 Haberl F., Pietsch W., 1999, in Aschenbach B., Freyberg M. J.,



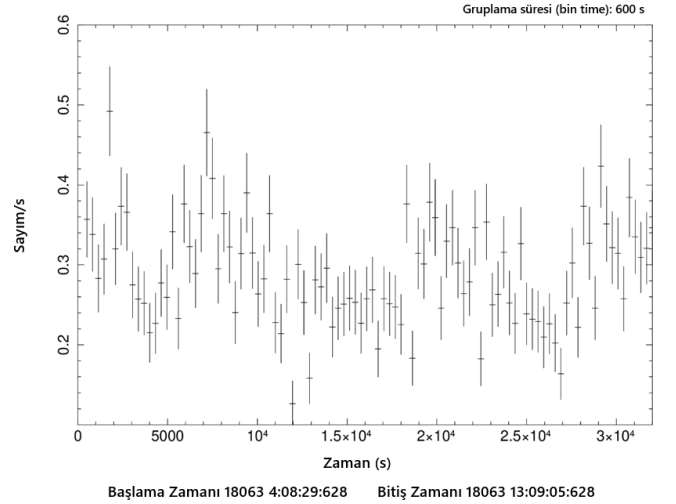
Şekil 1. XMM-Newton gözleminde J0453'ün EPIC tayfları ve en uygun güç yasası modeli. EPIC-pn ve EPIC-MOS2 verileri ve en uygun model, gözlem kimliği 0804550201 için sırasıyla siyah ve kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 2. XMM-Newton gözleminde J0457'nin EPIC tayfları ve en uygun güç yasası modeli. EPIC-pn, EPIC-MOS1 ve EPIC-MOS2 verileri ve en uygun model, gözlem kimliği 0804550101 için sırasıyla siyah, kırmızı ve yeşil renkte gösterilmiştir.



Şekil 3. 600 saniyelik zaman aralıklarıyla 0,2-12 keV enerji bandında J0453'ün arkaplandan çıkarılmış X-ışın ışık eğrisi. Işık eğrisi EPIC-pn ve EPIC-MOS2 verilerinin birleştirilmesiyle elde edilmiştir.



Şekil 4. 318 saniyelik zaman aralıklarıyla 0,2-12 keV enerji bandında J0457'nin arkaplandan çıkarılmış X-ışın ışık eğrisi. Işık eğrisi EPIC-pn, EPIC-MOS1 ve EPIC-MOS2 verilerinin birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

eds, Placeholder Series Vol. 272, Highlights in X-ray Astronomy. p. 290

Haberl F., Maitra C., Vasilopoulos G., Maggi P., Udalski A., Monageng I., Buckley D., 2022, *Astronomy & Astrophysics*, 662, A22

Habets G. M. H. J., 1987, in Slettebak A., Snow T. P., eds, IAU Colloq. 92: Physics of Be Stars. p. 509

Harris J., Zaritsky D., 2009, *AJ*, 138, 1243

Lutovinov A. A., Revnivtsev M. G., Gilfanov M. R., Sunyaev R. A., 2007, in *The Obscured Universe. Proceedings of the VI INTEGRAL Workshop*. p. 241 ([arXiv:0801.3589](https://arxiv.org/abs/0801.3589)), [doi:10.48550/arXiv.0801.3589](https://doi.org/10.48550/arXiv.0801.3589)

Pietrzyński G., ve diğ., 2013, in Pavlovski K., Tkachenko A., Torres G., eds, *EAS Publications Series Vol. 64*, EAS Publications Series. pp 305–307, [doi:10.1051/eas/1364042](https://doi.org/10.1051/eas/1364042)

Rivinius T., Klement R., 2024, preprint, ([arXiv:2411.06882](https://arxiv.org/abs/2411.06882))

Russell S. C., Dopita M. A., 1992, *ApJ*, 384, 508

Access:

M25-0353: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.