

Galaktik Be/X-ışın Çiftleri: X-ışın, Optik/IR Bölge ve Yörünge Özellikleri

Mehtap Özbey Arabacı^{1*}, Ümit Kızıloğlu², Tenay Saguner Rambaldi³,
Sinan Kaan Yerli²

¹ Atatürk Üniversitesi, Astronomi ve Astrofizik Bölümü, Erzurum

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara

³ Atatürk Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi, Erzurum

Özet

Galaktik Yüksek Kütleli X-ışın çiftlerinin en kalabalık sınıfı olan Be/X-ışın çiftleri, sistemden sisteme değişen X-ışın/optik/IR bölge davranışları ve boşaltım/yığılma diski fiziğini aynı anda çalışabilme imkanı sunmaları nedeniyle yüksek enerji astrofiziklerinin en ilgi çekici sistemlerindedir. Şimdiye kadar Be/X-ışın sistemi olduğu kanıtlanmış ve Be/X-ışın sistemi aday olarak sınıflandırılmış toplam 80 sistemin tüm X-ışın, optik/IR bölge davranışları ve yörünge özelliklerinin incelendiği bu çalışmamızdan elde edilen sonuçlar, bu tür sistemlere ait bazı genel kabullerin değişmesi gerektiğini ortaya koymakta, bunun yanında nötron yıldızının dönme periyodu, yörünge dönemi ve yörünge dış merkezliği arasında yığılma moduna bağlı olarak değişen bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: X-rays: binaries, Sıkı Nesnelere

1 Be/X-ışın Çiftleri ve Özellikleri

Madde aktarım mekanizması ile beslenen ve bileşenlerinden biri kuvvetli dipol manyetik alanına sahip ($\sim 10^{12}$ G) bir nötron yıldızı olan yüksek kütleli X-ışın sistemleri (HMXB); optik bileşenin (nükleer reaksiyonların hala devam ettiği) ışınım sınıfına bağlı olarak iki gruba ayrılır: Be/X-ışın Çiftleri (BeXRB) ve Süperdev X-ışın Çiftleri (SGXRB). Optik bileşen kaynaklı maddenin nötron yıldızına aktarılmasıyla oluşan X-ışın radyasyon, şiddet ve süre bakımından her iki sistemde de benzerlikler göstermekte ancak kütle aktarım yolları açısından birbirlerinden ayrılmaktadır. Genel olarak Süperdev sistemler X-ışın bölgede sürekli olarak ışınım yaymakta, buna karşılık BeXRB geçici X-ışın kaynakları olarak kabul edilmektedir.

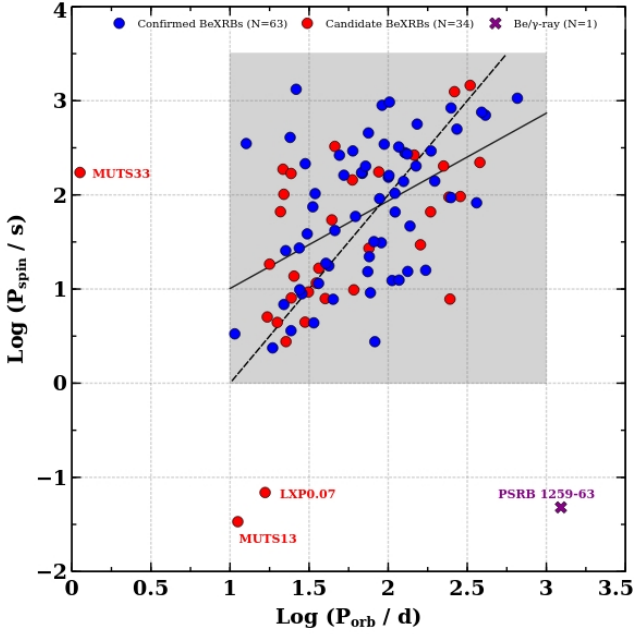
BeXRB; yüksek kütleli ($\geq 8 M_{\odot}$), genç (Roche Lobunu henüz doldurmamış), Be tipi bir ana yıldız ve genellikle X-ışın aktif dönemde atım yapan kuvvetli manyetik alana sahip bir nötron yıldızından (atarca) oluşmaktadır. Genel olarak bu tür sistemlerdeki nötron yıldızlarının dönme dönemlerinin (P_s) ~ 3 -400 sn, dolanma dönemlerinin ise (P_{orb}) ~ 20 -200 gün arasında değiştiği kabul edilmektedir (Reig 2011). Bu sistemlerle ilgili bir diğer genel kabul ise yörünge dış merkezliklerinin büyüklüğü nedeniyle oldukça eksantrik olduğu yönündedir ($e \gtrsim 0.3$). Nötron yıldızı yörünge hareketi sırasında Be yıldızının boşaltım diskiyle (decretion disk) olan etkileşimi sonucu farklı 2 tip X-ışın aktivitesi göstermektedir: Normal (tip I) parlamalar; Düzenli, genellikle nötron yıldızının enberi (periastron) noktası yada yakınlarında maksimum değerine ulaşan ($L_X \lesssim 10^{37}$ erg s^{-1}), kısa ömürlü (yörünge periyodunun 0.2-0.3 katı) parlamalardır. Dev (tip II) parlamalar; Yörünge dönemiyle ilişkili olmayan, düzensiz ve çoğunlukla haftalar-aylar sürebilen çok şiddetli aktivitelerdir. Tip II parlamalar sırasında X-ışın şiddeti durgun faz seviyesinin 10^3 - 10^4 katına çıkarak, Eddington ışınım gücü değerine ulaşabilmektedir ($L_X \sim 10^{38}$

erg s^{-1}). Nötron yıldızının dönme frekansındaki düzenli artış ve güç-yoğunluk tayflarında gözlenen yarı-periyodik salınımlar, dev parlamalar sırasında bu tür sistemlerde geçici aktarım disklerinin oluştuğunu göstermektedir.

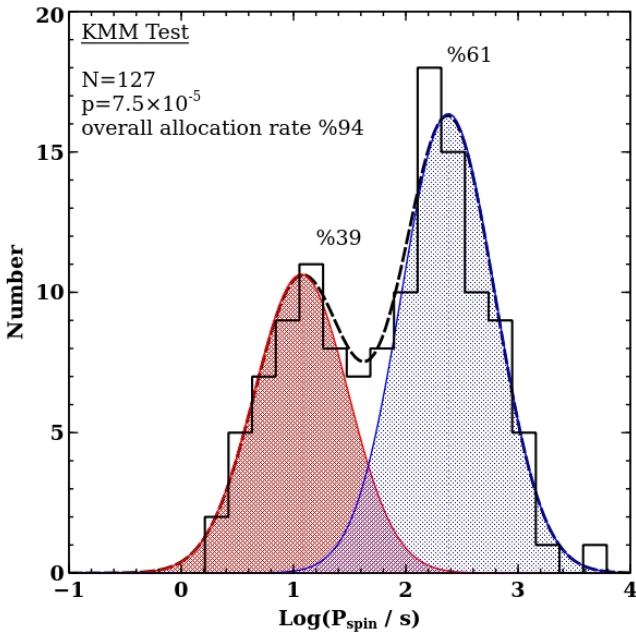
Be yıldızlarının en belirgin optik tayfsal özelliklerinden biri olan salma çizgileri, yıldızın ekvator bölgesinde yer alan boşaltım diskindeki, bağlı-serbest, serbest-serbest ve tekrar birleşme süreçleriyle oluşmaktadır. Balmer serisi çizgilerinin yanısıra; HeI, SIII, ve FeI gibi metalik element çizgileri de salma olarak görülebilir. HeI çizgileri diskin Be yıldızına yakın daha iç bölgelerinde, H α Balmer çizgisi ise diskin dış bölgelerinde oluşmaktadır. Bu nedenle H α çizgisinin genişlik ölçümlerinin takibi, diskin fiziksel genişliği ve çizgiyi oluşturan bölgenin yoğunluğu hakkında bilgiler vermesi açısından önemlidir (Zamanov et al. 2001). Salma çizgi profilleri sistemden sisteme değişebilmekte ve hatta aynı sistem için zamana bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çizgiler; çift tepeli (asimetrik ya da simetrik), tek tepeli ve çift tepeli salmanın içine gömülmüş derin soğurma çizgisi şeklinde olabilir. Bazı Be yıldızları yalnızca tek yada çift tepeli salma çizgileri gösterirken, bazıları değişen profillere sahiptir. Çift tepeli H α çizgisinin kısa dalga boyu tarafındaki tepesi mor, daha uzun dalga boyundaki ise kırmızı olarak adlandırılır. V/R değişimi olarak bilinen, mor ve kırmızı tepe şiddetlerinin oranını veren bu ifade, salma çizgisinin asimetrisini belirten bir parametredir. Bu değişimlerin, Be yıldızının ekvatorial düzlemiyle disk düzleminin çakışık olmadığı sistemlerde, diskin presesyon hareketi sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

Kızılöte bandındaki, boşaltım diski kaynaklı artık ışınımın miktarı, bu bölgede alınan fotometrik ve tayfsal verilerden hesaplanabilir. Böylece diskin, yıldız parlaklığı üzerindeki etkisi giderilerek, Be yıldızının kızılöte bandındaki gerçek parlaklığına ve dolayısıyla fiziksel parametrelerine ulaşabilmektedir (Mathew et al. 2012).

* mehtap.ozbeyarabaci@atauni.edu.tr



Şekil 1. Galaksi ve Macellan Bulutsularında bulunan ve P_s ve P_{orb} değerleri bulunmuş toplam 97 BeXRB için güncel Corbet Diyagramı. BeXRB olduğu kesinleşen kaynaklar mavi, aday kaynaklar ise kırmızı dairelerle belirtilmiştir. Listede birden fazla P_s ve P_{orb} değerine sahip aday kaynaklara bu grafikte yer verilmemiştir. Bir Be/ γ -ışın sistemi olan PSRB 1259–83, gri olarak gösterilen BeXRB bölgesinden belirgin bir şekilde ayrı durumdadır. Kesikli çizgi Corbet (1986)'in 8 kaynak için bulunduğu ampirik $P_s \sim P_{orb}^2$ ilişkisini gösterirken, katı çizgi gri bölge içindeki 94 kaynak için en iyi regresyon fitini ifade etmektedir. Örneklerin filterlerden olan propagasyonu sırasıyla 0.79 ve 0.65 olarak bulunmuştur.



Şekil 2. P_s histogramında görülen çift modlu dağılım. Kısa (12 s) ve uzun dönemler (230 s) arasındaki mod ayrım değeri 43 s olarak hesaplanmıştır. KMM algoritması ile bulunan çiftli mod siyah renkte gösterilmiştir.

2 Galaksideki BeXRB

Yüksek Kütleli X-ışın çiftleri (HMXB) sınıfı üyelerinden BeXRB'nin sayısı, son yıllarda X-ışın/ γ -ışın kaynaklarını gözlemeye adanmış uydular sayesinde belirgin şekilde artmıştır. Özellikle INTEGRAL (IGR) uydusunun derin Galaktik Düzlem Taramaları BeXRB sayısına önemli derecede katkıda bulunmuştur. Ancak son yıllarda keşfedilen yeni sistemlere rağmen, Galaktik HMXB sınıfının en kalabalık üyesi olan bu sistemleri kapsayan güncel bir katalog bulunmamaktadır. Bu sistemleri içeren tek katalog Raguzova & Popov (2005) tarafından oluşturulmuş ve yaklaşık olarak 14 yıldır güncellenmemiştir.

Bu çalışmayla, Galaksi'de şimdiye kadar keşfedilen ve BeXRB olma potansiyeli taşıyan tüm sistemlerin ayrıntılı bir literatür taramasıyla incelendiği yeni ve güncel bir liste sunmaktayız. Çalışmamızda yeralan kaynaklar, farklı HMXB ve X-ışın kataloglarının çapraz korelasyonları (Wood et al. 1984; Liu et al. 2006; Bird et al. 2010, 2016) ve henüz katalog halinde literatürde yer almamış INTEGRAL, NuSTAR, XMM, MAXI, Swift ve Chandra gibi uyduların verileri kullanılarak yapılmış çalışmalarda yeralan BeXRB sınıflaması yapılmış ya da BeXRB olabilme ihtimalinden bahsedilen tüm sistemlerin incelenmesi sonucu elde edilmiştir. IGR kaynaklarının kontrolü için, J. Rodriguez & A. Bodaghee¹ ve Nicola Masetti'ye² ait INTEGRAL kaynaklarının yer aldığı farklı çevrimiçi veritabanları kullanılmıştır. Sistemlere ait tüm X-ışın parlama evreleri, optik/IR bölge davranışları ve yörünge özellikleri incelenmiş ve sonuçlardan birkaçı aşağıda sunulmuştur.

3 Ön Sonuçlar

3.1 BeXRB Popülasyonu

Oluşturulan yeni Galaktik BeXRB listesine göre P_{orb} , P_s değerleri hesaplanmış olan ve bununla birlikte optik tayfsal gözlemlerle doğrulanmış Be tipi bir ana yıldız barındıran toplam 22 tane BeXRB bulunmaktadır. Diğer taraftan aday BeXRB sayısı ise 58'dir. Aday kaynakların yaklaşık 1/3'ü 20 yıl veya çok daha uzun süredir X-ışın aktivitesi göstermemeleri, bu kaynakların sınıflamalarının doğruluğunun sorgulanması gerektiğine işaret etmektedir.

3.2 Corbet Diyagramı

BeXRB, Corbet Diyagramı olarak bilinen (Corbet 1984), P_{orb} ve P_s grafiğinde diğer HMXB'lerden farklı bir bölgede yığılmış durumdadır. Bu bölgenin sınırları $P_s = 2.3 - 1260$ sn ve $P_{orb} = 10 - 660$ gün olarak bulunmuştur. Şekil 1, Galaksi ve Küçük/Büyük Macellan Bulutsu'larında yer alan, tüm BeXRB'ne (aday ve kesinleşmiş olanlar) ait güncel Corbet Diyagramı verilmiştir. P_s ve P_{orb} değerleri bilinen toplam 94 sistem için, Corbet (1986) tarafından bulunan ilişki, güncel diyagrama göre,

$$P_s \propto P_{orb}^{1.3} \times 10^{-0.9}$$

şeklinde bulunmuştur.

Knigge et al. (2011) tarafından ortaya atılan P_{orb} ve P_s dağılımlarının çiftmodlu olma durumları beklenti maksimizasyon algoritması, (KMM Test, Ashman, Bird & Zepf 1994) kullanılarak yeni liste için incelenmiştir. Buna göre karakteristik periyotlar; Kısa dönemli mod için $P_{orb} = 35$ gün ve

¹ <http://irfu.cea.fr/dap/IGR-Sources/>

² <http://www.iasfbo.inaf.it/~masetti/IGR/main.html>

$P_s = 12$ s, uzun dönemli mod için $P_{orb} = 159$ gün ve $P_s = 230$ s olarak hesaplanmıştır. KMM test sonuçlarına göre P_{orb} için çift modlu olma olasılığı istatistiksel olarak anlamlı değil iken ($p \sim 0.07$), P_s dağılımının güçlü bir şekilde çift modlu olduğu bulunmuştur ($p = 7.5 \times 10^{-5}$). P için KMM test Şekil 2'de verilmiştir.

- Knigge et al. (2011)'na göre çiftmodlu dağılımın nedeni iki farklı süpernova kanalıdır (demir çekirdek çökmesi ve elektron yakalama). Ancak yeni verilerle elde ettiğimiz sonuçlar bu dağılımın Cheng et al. (2014)'in önerdiği üzere, nötron yıldızının parlama dönemindeki farklı yığılma modlarına bağlı olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- Ashman K. M., Bird C. M., Zepf S. E., 1994, *AJ*, 108, 2348
 Bird A. J., et al., 2010, *ApJS*, 186, 1
 Bird A. J., et al., 2016, *ApJS*, 223, 15
 Cheng Z.-Q., Shao Y., Li X.-D., 2014, *ApJ*, 786, 128
 Corbet R. H. D., 1984, *A&A*, 141, 91
 Corbet R. H. D., 1986, *MNRAS*, 220, 1047
 Knigge C., Coe M. J., Podsiadlowski P., 2011, *Nature*, 479, 372
 Liu Q. Z., van Paradijs J., van den Heuvel E. P. J., 2006, *A&A*, 455, 1165
 Mathew B., Banerjee D. P. K., Naik S., Ashok N. M., 2012, *MNRAS*, 423, 2486
 Raguzova N. V., Popov S. B., 2005, *A&AT*, 24, 151
 Reig P., 2011, *Ap&SS*, 332, 1
 Wood K. S., et al., 1984, *ApJS*, 56, 507
 Zamanov R. K., Reig P., Martí J., Coe M. J., Fabregat J., Tomov N. A., Valchev T., 2001, *A&A*, 367, 884

Erişim:

O31-0940: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).