

# AXK NuSTAR J095551+6940.8: Yüksek Kütleli Bir X-ışını Çiftinde Süper Manyetik Alanlı Bir Nötron Yıldızı

Kazım Yavuz Ekşi<sup>1\*</sup>, İbrahim Ceyhun Andaç<sup>1</sup>, Sercan Çıkıntoğlu<sup>1</sup>, Ali Arda Gençali<sup>1</sup>,  
Can Güngör<sup>1</sup>, Filiz Öztekin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469, İstanbul

## Özet

Aşırı-parlak X-ışını kaynakları (AXK) bir güneş kütlesi için geçerli Eddington sınırının 100-1000 katı parlaklığa sahip nesnelere sahiptir. Bir görüşe göre bu nesnelere kütle aktarımı yapan  $M \sim 10 M_{\odot}$  kütleli karadeliğeler olup ışınları hüzmelendiği için Eddington limiti üzerinde parlaklığa sahip olabilmektedir. Başka bir görüşe göre ise bu nesnelere ortanca kütleli karadeliğeler ( $M \sim 100 - 1000 M_{\odot}$ ) olarak Eddington limiti civarında kütle aktarımı yapmaktadır. Çok yakın zamanda M82 galaksisindeki AXK NuSTAR J095551+6940.8'in X-ışını pulsarı, yani eşlikçisinden kütle aktarımı yapmakta olan bir nötron yıldızı olduğu, keşfedilmiştir. Disk-manyetosfer etkileşiminden yola çıkılarak bu nesnenin manyetik alanının  $B \gtrsim 10^{13}$  G olduğu gösterilmiştir. Bu kadar yüksek manyetik alanlarda kuantum-elektrodinamiksel süreçlerin elektron saçılma tesir kesitini küçülterek kritik ışınma gücünü Eddington limitinin üzerine çıkarabileceği bilinmektedir. M82 X-2'nin Eddington-üzeri ışınımının nedeninin bu tür süreçler olabileceği öne sürülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** X-rays: binaries, Sıkı Nesnelere

## 1 Giriş

Karadeliğeler doğada karşımıza iki türlü çıkmaktadır: yıldız evriminin sonucu olarak ortaya çıkan yıldız kütleli karadeliğeler (YKK) kütleleri  $M_{\bullet} = 5 - 20 M_{\odot}$  olan nesnelere sahiptir. Bu karadeliğeler X-ışını çiftlerinde eşlikçilerinden disk aracılığıyla kütle aktarımı yapmakta oldukları için gözlemlenebilmektedirler (derleme için bkz. [Remillard & McClintock 2006](#)). Çoğu galaksinin, belkide hepsinin, özeğinde yer aldığı düşünülen süper-kütleli karadeliğeler (SKK) ise kütleleri  $M_{\bullet} \sim 10^6 - 10^8 M_{\odot}$  aralığında olan etraflarında kütle aktarımı yapabilecekleri bir disk varsa aktif galaktik çekirdek (AGÇ) olarak astrofiziksel görüngüler sunan nesnelere sahiptir (derleme için bkz. [Rees 1984](#)). Üçüncü bir tür olarak 2000'li yılların başlarında tanımlanan aşırı parlak X-ışını kaynaklarının (AXK) (derleme için [Roberts 2007](#)) ortanca kütleli karadeliğeler (OKK)  $M_{\bullet} \sim 10^3 - 10^4 M_{\odot}$  olabilecekleri görüşü oldukça ilgi çekmiştir.

AXK'lar gökadalının özeğinde yer almayan—dolayısıyla AGÇ olarak değerlendirilemeyen—parlak ( $L \sim 10^{40} - 10^{41}$  erg s<sup>-1</sup>), noktasal X-ışını kaynaklarıdır. Sözkonusu ışınma gücü bir YKK'nın Eddington ışınma gücünün

$$L_E = \frac{4\pi G M_{\bullet} m_p c}{\sigma_T} = 1.26 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1} \left( \frac{M_{\bullet}}{M_{\odot}} \right) \quad (1)$$

çok üzerindedir. Burada  $G$ ,  $m_p$  ve  $c$  sırasıyla kütle-çekim değişmezi, proton kütlesi ve ışık hızı,  $\sigma_T$  ise Thomson tesir kesitidir. Yakınlardaki gökadalının her birinde 1-2 AXK vardır; Samanyolu'nda bulunamamıştır. Bir görüşe göre bu nesnelere hüzmelenmiş ışınları bakış doğrultumuzda olduğu için Eddington-üstü ışınma yaptıkları izlenimi veren YKK'lardır ([Poutanen et al. 2007](#); [Gladstone et al. 2009](#)). Diğer bir görüşe göre ise bunlar eş-yönlü ışınma yapmakta olan OKK'lardır ([Kong et al. 2004](#)). Aslında AXK'ların homojen bir grup olmayabileceği de göz önüne alınmıştır ([Gladstone 2013](#)). AXK'ların bir

kısımının ışıdığı enerjini dönüşünün yavaşlamasından karşılayan genç pulsarlar ve pulsar rüzgarı nebulaları olmaları mümkündür ([Medvedev & Poutanen 2013](#)).

M-82 gökadasındaki en parlak ikinci nesne olan M82 X-2'nin NuSTAR ile gözlemlenmesi sürpriz bir sonuç ortaya koymuştur: bu nesne, AXK NuSTAR J095551+6940.8, yüksek kütleli eşlikçisinden kütle aktarımı yapan bir X-ışın pulsarıdır ([Bachetti et al. 2014](#)). X-ışın pulsarlarında yüksek manyetik alanlı  $B \sim 10^{12}$  G bir nötron yıldızı etrafındaki diski Alfvén yarıçapı

$$R_A = \left( \frac{\mu^2}{\sqrt{2GM\dot{M}}} \right)^{2/7} \quad (2)$$

(burada  $\mu$  ve  $M$  nötron yıldızının manyetik dipol momenti ve kütlesi,  $\dot{M}$  ise disk içerisindeki kütle aktarım hızıdır) civarında parçalayarak maddeyi manyetik kutuplara aktarmakta, maddenin yıldızın üzerine düştüğü yerde oluşan sıcak leke yıldız döndükçe bakış doğrultumuzdan geçerek X-ışını pulsarı görüngüsüne yol açmaktadır. Tek başına sıcak bir leke tüm görüngüleri açıklamaya yeterli değildir; ışımanın hüzmelendiği de dikkate alınmalıdır ([Gnedin & Sunyaev 1973](#)). X-ışını pulsarının ışınma gücü kütle aktarımıyla

$$L_X = \frac{GM\dot{M}}{R} \quad (3)$$

(burada  $R$  yıldızın yarıçapıdır) biçiminde belirlenmektedir. [Bachetti et al. \(2014\)](#)'in keşfi çoğunlukla karadeliğ olduğu düşünülen AXK'ların en azından bir kısmının nötron yıldızı olabileceğini göstermektedir. AXK NuSTAR J095551+6940.8  $P = 1.37$  s'lik dönme periyoduna, parlak dönemlerinde  $L_X = 3.7 \times 10^{40}$  erg s<sup>-1</sup> ışınma gücüne sahip bir X-ışını pulsarıdır; yörünge periyodu  $\sim 2.5$  gün olup eşlikçisi büyük kütleli bir yıldızdır ([Bachetti et al. 2014](#)). Eşlikçi büyük kütleli olmasına rağmen bu sistemde kütle aktarımının rüzgar ile değil Roche lob taşması ile oluşan bir disk aracılığı ile olduğu düşünülmektedir ([Bachetti et al. 2014](#)).

\* ekşi@itu.edu.tr

Keşfi yapanlar NuSTAR J095551+6940.8'nin Eddington ışına gücüne karşılık gelen bir kütle aktarımı yaptığını ancak ışımının hüzmelenmesi ve hüzmelenin de Dünya'ya yönelmesinden dolayı nesnenin bize AXK olarak görüldüğünü varsaymış; manyetik alanının—tipik bir X-ışını pulsarının manyetik alanı gibi— $B \sim 10^{12}$  G olduğunu öne sürmüştür (Bachetti et al. 2014). Ekşi et al. (2015) ise nötron yıldızının etrafındaki disk ile tork dengesine yakın olmasına rağmen dönme periyodunun kısalma hızının yüksek ( $\dot{P} \simeq -2 \times 10^{10}$  s s<sup>-1</sup>) olmasının daha yüksek bir manyetik alan gerektirdiğini dikkate alarak  $B \sim 10^{14}$  G olduğunu hesaplamıştır; bu nesnenin manyetar (Duncan & Thompson 1992; Thompson & Duncan 1996) benzeri manyetik alanlara sahip olacağını öne sürmüştür. Bu kadar yüksek manyetik alanlarda elektron tesir kesiti küçülür; kritik ışına gücü

$$L_c \simeq 2L_E(B/10^{12} \text{ G})^{4/3} \quad (4)$$

biçiminde artar (Canuto et al. 1971; Herold 1979; Paczynski 1992). Ekşi et al. (2015) bu kuantum-elektrodinamiksel sürecin AXK NuSTAR J095551+6940.8'nin Eddington-üstü kütle aktarımı yaparak AXK olarak görünmesinin temel nedeni olduğunu öne sürmüştür.

Bu çalışmanın amacı NuSTAR J095551+6940.8'nin manyetik alanı ile ilgili tartışmaları özetlemektir. Bir sonraki bölümde Ekşi et al. (2015)'in argümanları açıklanmış, bir miktar hüzmelenme de dikkate alınarak geliştirilmiştir. Tartışma bölümünde ise geçen bir yıllık sürede ortaya çıkan yeni gelişmeler aktarılmıştır.

## 2 Model

Hüzmelenmeyi  $b$  ile gösterirsek ışına gücü  $L_X$  izotropik ışına gücü  $L_{\text{iso}}$  olarak verilen değerden küçük olacaktır:  $L_X = bL_{\text{iso}}$ . Denklem (3) ile verilen Alfvén yarıçapı yıldızın manyetik basıncı  $P_{\text{mag}} = B^2/8\pi$ 'nin yıldız üzerine küresel olarak gelen maddenin tos basıncını  $R_{\text{ram}} = \rho v^2$  dengelediği uzaklık olarak tanımlanmıştır (Davidson & Ostriker 1973). Diskten kütle aktarımı durumunda diskin iç yarıçapı manyetik stresler ile maddesel streslerin dengelendiği uzaklık olarak tanımlanır (Ghosh & Lamb 1979a,b). Bu durumda diskin iç yarıçapı gene Alfvén yarıçapı ile ölçülür:  $R_{\text{in}} = \xi R_A$ . Burada  $\xi = 0.5 - 1.5$  (Ghosh & Lamb 1979b; Romanova et al. 2002) aralığında bir sayıdır. Denklem (3) ve  $\mu = \frac{1}{2}BR^3$  Denklem (2)'de kullanılarak diskin iç yarıçapı

$$R_{\text{in}} = \xi \left( \frac{B^2 R^5 \sqrt{GM}}{4\sqrt{2}bL_{\text{iso}}} \right)^{2/7} \quad (5)$$

biçiminde yazılabilir. Sisteme ait diğer bir karakteristik uzunluk diskin iç-yarıçapı diskteki maddenin Kepler hızının yıldız hızına eşitlendiği eş-dönme yarıçapıdır:

$$R_c = \left( \frac{GMP^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} \quad (6)$$

Yıldız tork dengesine yakın olduğundan  $R_{\text{in}} \simeq R_c$  olmalıdır. Denklem (5) ve (6) kullanılırsa yıldızın manyetik alanı

$$B = 1 \times 10^{13} \xi^{-7/4} (b/0.25)^{1/2} m^{1/3} L_{40}^{1/2} R_6^{-5/2} \text{ G.} \quad (7)$$

olarak bulunur. Burada  $L_{40} = L_{\text{iso}}/10^{40}$  erg s<sup>-1</sup>,  $R_6 = R/10^6$  cm ve  $m = M/1.4M_{\odot}$  biçiminde tanımlanmıştır. Ekşi et al. (2015) sistemin tork dengesinde olduğu varsayımını yapmaksızın, bizzat tork denklemini çözerek, sistemin tork denges-

ine yakın olduğunu doğrulamış, böylece bu çözümün tutarlılığını göstermiştir. Eğer Ghosh-Lamb modelindeki  $\xi = 0.5$  değeri kullanılırsa manyetik alan  $B = 3.4 \times 10^{13}$  G olarak bulunmaktadır. Bu da Denklem (4) ile verilen kritik luminositeyi Eddington limitinin 220 katına çıkarmaktadır. Gözlemlenen ışına gücünün bu mertebede olması sistemin kritik ışına gücünde kütle aktarımı yapmakta olduğunu düşündürmektedir.

## 3 Tartışma

AXK olarak sınıflandırılan ve ortanca kütleli bir karadeliğ olduğu öne sürülen (Feng et al. 2010) bir nesnenin, NuSTAR J095551+6940.8'nin, nötron yıldızı olduğunun keşfi (Bachetti et al. 2014) oldukça önemlidir. Ekşi et al. (2015) bu çalışmanın yayınlanmasından bir hafta sonra NuSTAR J095551+6940.8'nin manyetik alanı  $B \sim 10^{14}$  G olan bir manyetar olduğunu öne sürmüştür. Kısa süre sonra Lyutikov (2014) benzer değerde manyetik alanın sözkonusu olduğu bir çalışma yapmıştır. Kluźniak & Lasota (2015) ise bu nesnenin manyetik alanının çok zayıf,  $B \sim 10^9$  G, olduğunu öne sürmüştür. Hüzmelenmenin dikkate alınması bulunan manyetik alan değerini yaklaşık yarı değerine düşürmektedir (Tong 2015b,a). Christodoulou et al. (2014) bu nesnenin tipik bir X-ışını pulsarı olduğunu sadece hüzmelenmenin bakış doğrultumuzda olması nedeniyle parlak görüldüğünü öne sürmüştür. Dall'Osso et al. (2015) Ghosh-Lamb modelini kullanarak yaptığı detaylı analizden manyetik alanın yüksek olacağı sonucuna ulaşmıştır. Tsygankov et al. (2015) sistemin pervane aşamasından da geçtiğini dikkate alarak manyetar benzeri alanlara olacağı görüşünü savunmuştur. Hüzmelenmenin manyetik alana bağımlılığının da dikkate alındığı bir çalışma sürdürülmektedir.

Doroshenko et al. (2015) başka AXK'larda X-ışını atımları olup olmadığını araştırmış, baktığı 7 kaynağın hiçbirinden atım gözlemlenmemiştir. Shao & Li (2015) çift-yıldız evrimi ve popülasyon sentezi çalışmaları ile AXK'ların önemli bir kesrinin kütle aktarımı yapan nötron yıldızları olabileceğini öne sürmüştür. Benzer bir evrimsel çalışma da Fragos et al. (2015) tarafından ortaya konularak M82-X2'nin yaşının  $t \lesssim 50 \times 10^6$  yıl olduğunu ve 400 bin yıl kadarlık bir süre AXK aşamasında kalacağını hesaplamıştır.

## Kaynaklar

- Bachetti M., Harrison F., Walton D., Grefenstette B., Chakrabarty D., et al., 2014, *Nature*, 514, 202  
 Canuto V., Lodenguai J., Ruderman M., 1971, *Phys.Rev.*, D3, 2303  
 Christodoulou D. M., Laycock S. G. T., Kazanas D., 2014, ArXiv e-prints:1411.5434  
 Dall'Osso S., Perna R., Stella L., 2015, *MNRAS*, 449, 2144  
 Davidson K., Ostriker J. P., 1973, *ApJ*, 179, 585  
 Doroshenko V., Santangelo A., Ducci L., 2015, *A&A*, 579, A22  
 Duncan R. C., Thompson C., 1992, *ApJ*, 392, L9  
 Ekşi K. Y., Andaç İ. C., Çıkıntoğlu S., Gençali A. A., Güngör C., Öztekin F., 2015, *MNRAS*, 448, L40  
 Feng H., Rao F., Kaaret P., 2010, *ApJ*, 710, L137  
 Fragos T., Linden T., Kalogera V., Sklias P., 2015, *ApJ*, 802, L5  
 Ghosh P., Lamb F. K., 1979a, *ApJ*, 232, 259  
 Ghosh P., Lamb F. K., 1979b, *ApJ*, 234, 296  
 Gladstone J. C., 2013, *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 84, 629  
 Gladstone J. C., Roberts T. P., Done C., 2009, *MNRAS*, 397, 1836  
 Gnedin Y. N., Sunyaev R. A., 1973, *A&A*, 25, 233  
 Herold H., 1979, *Phys. Rev. D*, 19, 2868  
 Kluźniak W., Lasota J.-P., 2015, *MNRAS*, 448, L43  
 Kong A. K. H., Di Stefano R., Yuan F., 2004, *ApJ*, 617, L49

- Lyutikov M., 2014, ArXiv e-prints:1410.8745  
Medvedev A. S., Poutanen J., 2013, *MNRAS*, 431, 2690  
Paczynski B., 1992, *Acta Astron.*, 42, 145  
Poutanen J., Lipunova G., Fabrika S., Butkevich A. G., Abolmasov P., 2007, *MNRAS*, 377, 1187  
Rees M. J., 1984, *ARA&A*, 22, 471  
Remillard R. A., McClintock J. E., 2006, *ARA&A*, 44, 49  
Roberts T. P., 2007, *Astrophys.Space Sci.*, 311, 203  
Romanova M. M., Ustyugova G. V., Koldoba A. V., Lovelace R. V. E., 2002, *ApJ*, 578, 420  
Shao Y., Li X.-D., 2015, *ApJ*, 802, 131  
Thompson C., Duncan R. C., 1996, *ApJ*, 473, 322  
Tong H., 2015a, ArXiv e-prints:1508.03115  
Tong H., 2015b, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15, 517  
Tsygankov S. S., Mushtukov A. A., Suleimanov V. F., Poutanen J., 2015, ArXiv e-prints:1507.08288

**Erişim:**

O51-1000: [UAK-2015 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).