

CHANDRA X-Işını Teleskobuyla 16 Yeni X-Işını Kaynağı Bulunması

Aybüke Küpcü Yoldaş, Şölen Balman
ODTÜ Fizik Bölümü

Özet

CHANDRA ACIS (S+I) verilerini kullanarak $\alpha=03^{\text{h}}31^{\text{m}}02^{\text{s}}.45$ (J2000) ve $\delta=+43^{\circ}47'58''.54$ (J2000) koordinatlarındaki noktanın etrafındaki 8.3×16.9 ve 8.3×33.6 arkdakikalık bir alanda 6 sigmanın üzerinde 18 kaynak tespit ettik. Bu kaynaklardan ikisi daha önce ROSAT HRI ile bulunmuş, biri de USNO A-2 optik kataloğunda yer alan bir yıldız ile eşleştirilebilir. Ayrıca, dört ayrı tayfsal model uygulayarak kaynakların tayflarını da çalıştık. Kaynakların çoğu Katakizmik Değişken, Düşük Kütleli X-Işını İkili Sistemi veya tek yıldız adayı olarak sınıflandırılabilir. Kaynakların galaksi-dışı olup olmadıklarına da araştırdık. Kaynakların birim saniyede gelen foton sayısı 5.8×10^{-4} - 4.7×10^{-3} arasında değişmektedir. Kaynakların zamansal özellikleri birim saniyeye düşen foton oranlarının azlığından dolayı çalışılmadı.

1. Giriş

Chandra X-Işını Teleskobunun yüksek duyarlılığı, 8 keV foton enerji değerlerinde bile iyi aletsel karşılık, düşük ışımaya sahip kaynakların yüksek emilime uğramış olsalar bile belirlenebilmelerine olanak sağlıyor. Bu araştırmanın amacı Chandra Gelişmiş CCD İmaj Spektrometresi (ACIS) dedektörü ile alınmış 95 kilo saniyelik bir gözlem verisini kullanarak sönük kaynaklar ve süper yumuşak X-Işını kaynakları bulmaktır. Bu gözlemin asıl hedefi bir klasik nova olan nova 1901 Persei idi (GK Persei; PI= Ş. Balman). Gözlem önerisinin bilimsel amacı ise ilk defa X-Işını tayfında belirlenmiş ve çözümlenmiş nova kabuğunun tayfını çalışmak idi (Balman & Ögelman 1999). Bu CHANDRA gözleminin bilimsel sonuçları Balman (2001, 2002) 'de bulunabilir.

Beklendiği gibi bulunan kaynakların çoğu sönüktü ancak 5σ güvenilirlik düzeyinin üstünde hiç süper yumuşak X-Işını kaynağı bulamadık. $\alpha=03^{\text{h}}31^{\text{m}}02^{\text{s}}.45$ (J2000) ve $\delta=+43^{\circ}47'58''.54$ (J2000) noktası çevresindeki 8.3×16.9 arkdakika ve 8.3×33.6 arkdakikalık iki alanda bulunan yeni kaynakların $0.3 - 10$ keV enerji aralığındaki tayflarını inceledik.

Gözlemin ayrıntıları ve analiz yöntemleri Bölüm 2'de anlatılmaktadır. Bölüm 3'te kaynakların özellikleri tartışılmakta ve Bölüm 4'te ise tayf incelemesi ve sonuçlar yer almaktadır.

2. Veri ve İnceleme

Klasik nova kalıntısı GK Per CHANDRA ACIS ile 10.02.2000 – 11.02.2000 tarihleri arasında gözlemlenmiştir.

ACIS 1024×1024 piksellik 10 düzlemsel CCDden oluşmaktadır. Bu CCD'lerin dördü 2×2 'lik bir dizinde (ACIS-I), altısı ise 1×6 'lık bir dizinde (ACIS-S) bulunmaktadır. İki CCD arkadan aydınlatmalı, sekizi ise önden aydınlatmalıdır. Bu gözlem sırasında altı CCD (2,3,5,6,7,8) kullanılmıştır. GK Per 7. CCDde bulunmaktadır. Düzey 2 verisi CIAO yazılımı (versiyon 2.0) kullanılarak incelendi. Kötü pikseller temizlendi ve en yeni uygun ayar dosyaları kullanıldı. Ayrıca, gözlem verimizi ACIS-S3'nin parlama etkilerinden de temizledik ve sonunda elde ettiğimiz verinin pozlanma süresi 81 kilo saniye oldu.

Verimize kayan hücre olarak da bilinen, X-Işını verileri için bir kaynak belirleme algoritması olan CELLDetect algoritması uyguladık. CELLDetect ilk olarak Einstein uydusu ile kullanılmak üzere geliştirilmiş ve ROSAT verileri ile de kullanılmış bir algoritmadır (Harnden et al. 1984). Bu yöntemin iki kolu vardır; "yerel belirleme" ve "harita belirleme". Bizim de kullandığımız "yerel belirleme" yöntemi, imaj ya da olay dosyasını d kenarlı hücreler ile $d/3$ lük aralıklarla tarıyor ve ardalan her hücre için yerel olarak hesaplanıyor. Her hücre için kaynaktan gelen ışıma/ardalan ışımasının sinyali/gürültü oranı hesaplanıyor. Bu oran kullanıcı tarafından belirlenen eşikten büyük ise bir ışıma kaynağı adayı kaydediliyor. CELLDetect yöntemi kalabalık alanların dışındaki sönük nokta kaynakların belirlenmesinde iyi bir yöntem.

CELLDetect algoritması ayrı ayrı pozlama haritaları uygulanmış $0.3-10$ keV aralığında beş CCD verisine verisine uygulanarak 6σ kaynak belirleme eşığının üzerinde (6σ ardalan ışımasının üzerinde) 20 kaynak bulundu. CELLDetect geniş, yayılmış kaynakları birkaç kaynak olarak algıladığından parametreler buna dikkat edilerek ayarlandı ve fixedcell parametresi her CCD için farklı seçildi. Ayrıca

findpeaks parametresi de devreye sokularak bitişik birkaç kaynak adayının tek kaynak olarak algılanması ve aralarından en yüksek sinyal/gürültü oranına sahip hücrenin kaynak olarak kaydedilmesi sağlandı. Bu 20 kaynaktan üçünü eledik ve CCD 8den 12 σ eşik değerinin üzerinde bir kaynak ekledik. CCD 8 için eşik değerini bu kadar yüksek tuttuk çünkü bu CCD çok sayıda kötü ve sıcak piksel içermekte. Pozlama haritaları ise her CCD için ayrı ayrı hazırlandı ve özellikle kenarlardaki yanlış kaynak tespitlerinden kaçınmak amacıyla uygulandı.

3. Kaynakların Özellikleri

CELDETECT algoritmasını kullanarak yaptığımız incelemenin sonunda 6 σ kaynak belirleme eşliğinin üzerinde 18 kaynak bulduk. Tablo 1 bu 18 kaynağı koordinatları ile beraber göstermektedir. CELDETECT'in RA ve DEC hataları 0".2 ve 0".5 arasındadır. CHANDRA'nın uzamsal çözünürlüğü 0".49dir. Kaynakların birim saniyede gelen foton sayısı 5.8×10^{-4} - 4.7×10^{-3} arasında değişmektedir. HEASARC veri arşivinde bulunan çok-dalgaboylu katalogları ve uydu kataloglarını taradıktan sonra bulduğumuz bu 18 kaynaktan ikisinin daha önce ROSAT HRI ile bulunduğunu ve birinin de (kaynak 9) bir optik katalog olan USNO A-2 (Monet et al. 1998) kataloğundaki bir yıldızla 0".3lük bir hata payıyla eşleşebileceğini belirledik. USNO kataloğundaki bu kaynak için $m_r=14.7$, $m_b=16.2$ dir.

Tablo 1

No	Kaynak Adı [†]	RA	DEC	sayım/sx10 ⁻³	σ^{\ddagger}
1	CXOAYSB J033025.9+434522.3	03 30 25.92	+43 45 22.32	1.588±0.451	7
2	CXOAYSB J033037.0+434443.3	03 30 36.99	+43 44 43.33	0.812±0.395	6
3	CXOAYSB J033017.9+435604.3	03 30 17.98	+43 56 04.32	1.478±0.411	8
4	CXOAYSB J033121.0+434002.2	03 31 21.04	+43 40 02.16	3.444±0.439	7
5	1RXH J033136.5+434213 *	03 31 36.46	+43 42 11.59	1.672±0.430	6
6	1RXH J033102.3+434757 *	03 31 02.45	+43 47 58.54	2.159±0.422	13
7	CXOAYSB J033056.1+434824.2	03 30 56.11	+43 48 24.22	0.940±0.406	8
8	CXOAYSB J033128.6+435021.2	03 31 28.62	+43 50 21.24	0.962±0.394	7
9	CXOAYSB J033122.2+435646.8	03 31 22.24	+43 56 46.77	1.513±0.420	10
10	CXOAYSB J033117.7+435221.6	03 31 17.66	+43 52 21.56	1.516±0.409	8
11	CXOAYSB J033108.3+435751.4	03 31 08.28	+43 57 51.41	1.332±0.428	8
12	CXOAYSB J033045.0+435822.4	03 30 44.99	+43 58 22.42	1.577±0.473	10
13	CXOAYSB J033131.6+435648.8	03 31 31.59	+43 56 48.78	0.841±0.400	7
14	CXOAYSB J033105.2+435808.1	03 31 05.18	+43 58 08.05	0.584±0.408	6
15	CXOAYSB J033057.1+435750.4	03 30 57.12	+43 57 50.36	1.312±0.411	7
16	CXOAYSB J033118.3+435235.0	03 31 18.26	+43 52 35.01	1.330±0.411	8
17	CXOAYSB J033113.3+435246.7	03 31 13.26	+43 52 46.68	1.672±0.402	8
18	CXOAYSB J033106.0+440328.8	03 31 06.03	+44 03 28.78	4.743±0.452	18

* ROSAT kaynakları bkz. ROSAT Complete Results Archive Sources for the HRI.

[†] IAU'ya kayıtlıdır, bkz. <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/Dic?CXOAYSB>.

[‡] Ardalan ışınması üzerinde

4. Tayfsal İnceleme ve Sonuçlar

Kaynak tayfları CIAO 2.0 ile yaratıldı ve 0.3-10 keV arasında XSPEC 11.0.1 ile karacisim ışınması (blackbody), bremsstrahlung, powerlaw ve VMEKAL modelleri kullanılarak incelendi. Kaynakların emilime uğramış akıları 1×10^{-16} - 3×10^{-14} erg/cm²/s değerleri arasındadır. Şekil 1 18 kaynak için de en iyi uygunluk gösteren modellerle yapılmış tayfları göstermektedir.

Üç kaynak (kaynak 4,12,16) foton indeksi 2.5 - 4 arasında powerlaw modelleriyle uygunluk göstermiştir ve karacisim sıcaklıkları da 0.5 keV civarında bir değer vererek Anomal X-Işını Pulsarlarına (AXP) benzemektedir (Israel et al. 1999). Ancak bu üç kaynağın 10 kpc deki parlaklıkları 10^{32} ergs/s olup, AXP'lerin parlaklıkları 10^{35} ergs/s civarında olduğu için bu üç kaynağın AXP olma olasılıklarını dışladık. Aslında 10 kpc'lik bir kaynak uzaklığı varsayıldığında bu 18 kaynağın tümünün parlaklıkları 10^{32} - 10^{33} ergs/s dolayındadır. Bu parlaklık değerleri suskun CV'ler ve suskun LMXB'ler ile uyumludur.

Kaynakların ikisi (kaynak 11,13) çizgi ışınımı delili taşımakta ve yüksek soğurma ($N_H > 3 \times 10^{21}$ cm⁻²) değerleri ile VMEKAL modelleri ile uygunluk göstermektedir. Bu iki kaynak Katakizmik Değişken (CV) ve suskun düşük kütleli X-Işını İkili (LMXB) adaylarıdır (Warner 1995; Verbunt et al. 1997; Guseinov et al. 2000).

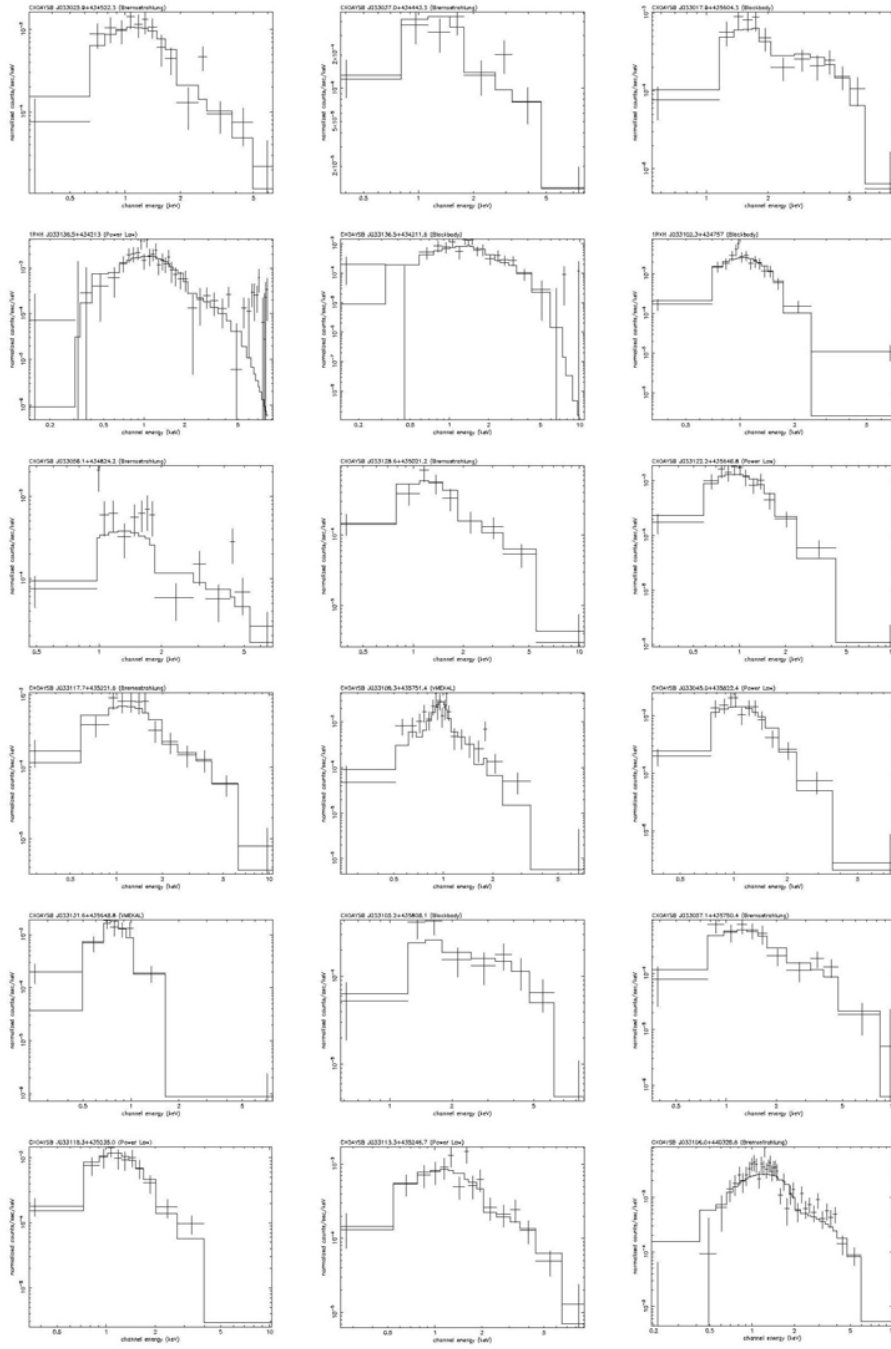
Ayrıca, 1032 ergs/s dolayındaki parlaklıklara O, B tipi ya da dev yıldızlar da ulaşabilmekte (Cassinelli et al. 1981; Schmitt et al. 1993). Bremsstrahlung sıcaklıkları 1keV'nin üzerindeki kaynakları bir kenara bıraktığımızda (çünkü hemen hemen bütün O, B tipi ya da dev yıldızlar 1 keV'nin altında sıcaklıklara sahip), geriye üç galaktik yıldız adayı kaynak kalıyor: kaynak 6, 9 ve 12.

18 kaynaktan herhangi birini Yüksek Kütleli X-Işını İkili olma olasılığını da dışlıyoruz çünkü bu 18 kaynağın parlaklık değerleri 10^{36} ergs/s dolaylarında parlaklıklara sahip Yüksek Kütleli X-Işını İkiliğine göre düşük kalıyor (Guseinov et al. 2000). 18 kaynağın parlaklıkları 4 Mpc uzaklıkta 1037 ergs/s dolayında ve bu da başka galaksilerdeki X-Işını İkiliğinininkilere uyuyor, ancak kaynakların yönünde herhangi bir galaksi gözlenmemiş (Bauer et al. 2001).

Giriş bölümünde de belirttiği gibi bu kaynakların hiçbiri süper yumuşak X-Işını kaynağı değil. Çünkü süper yumuşak X-Işını kaynakları Eddington limiti dolayında (1038 ergs/s) parlaklığa sahip ve karacisim sıcaklıkları 10-60 eV dolayında olup 1keV'nin üstünde hemen hiç ışınım vermeyen cisimlerdir (Kahabka & van den Heuvel 1997). Oysa bulduğumuz 18 kaynağın hiçbiri böyle özelliklere sahip değil. Sönük Termal Nötron yıldızlarını (DTN), ya da Soğuyan Nötron yıldızlarına bakacak olursak bu yıldızların ışınımalarının çok yumuşak, uzaklıklarının ise 100 pc'den az olduğunu görüyoruz (Alpar 2001; Ögelman 1995). 10^6 K yüzey sıcaklığına sahip, 10 km yarıçapındaki bir nötron yıldızının parlaklığı 10^{33} ergs/s dir. Soğumakta olan nötron yıldızlarının gözlenmesinde teleskopların gelişimi de bu açıdan önemlidir. Bulduğumuz 18 kaynak içerisinde en düşük karacisim sıcaklığına sahip iki tanesi 0.19 eV ile kaynak 6 ve 11'dir. Her ne kadar bu sıcaklık DTN ya da Soğuyan Nötron yıldızı için biraz yüksekse de, biz yine de bu iki kaynağın DTN ya da Soğuyan Nötron yıldızı olma olasılıklarını dışlamıyoruz, çünkü CHANDRA bizim 10^{-15} ergs/cm²/s seviyelerindeki akılara kadar inebilmemize olanak sağlıyor. Bu akı değeri de 10 kpc uzaklıkta 0.1 keV sıcaklığa sahip bir nötron yıldızınıniki ile tutarlıdır. Ayrıca ışınımalarına ve sıcaklık değerlerine bakarak bu 18 kaynaktan hiçbirinin sıcak yalnız bir Beyaz Cüce olmadığını da söyleyebiliriz, çünkü sıcak yalnız Beyaz Cücelerin sıcaklıkları birkaç eV dolayındadır (Vennes 1999; Finley et al. 1997).

Ek olarak, bu 18 kaynağın galaksi-dışı olup olamayacağını da araştırdık. Aktif Galaktik Çekirdekleri (AGN) ve galaksilerin durgun çerçevedeki parlaklıkları $10^{39} - 10^{45}$ ergs/s arasındadır ve tayfları da en iyi 1.7 - 2 dolayındaki foton indeksine sahip powerlaw modeli ile uyumlanır (Brandt et al. 2001; Ishisaki et al. 2001). XSPEC kullanarak bizim 18 kaynağımıza zmodelleri uyguladığımızda 18 kaynağın durgun çerçeve parlaklıkları $10^{42} - 10^{44}$ ergs/s dolayında çıkmıştır. Dolayısıyla bu kaynaklardan hiçbirinin galaksi-dışı olma olasılığını kolayca sıfırlayamayız. Ayrıca iki hayli soğurulmuş kaynak; 3 ve 5 'in, durgun çerçeve parlaklıkları sırasıyla 10^{42} ergs/s ve 10^{43} ergs/s dir. Zpowerlaw modelli uygulandığında görülmüştür ki bu iki kaynağın foton indeksleri de sırasıyla 1.61 ve 1.89'dur. Dolayısıyla bu iki kaynağın güçlü AGN ve galaksi adayları olduklarını söyleyebiliriz. Bunun yanı sıra, yüksek hidrojen kolon yoğunlukları (N_H) da galaksi-dışı kaynaklar için bir delil sayılabilir. GK Per yönündeki galaktik N_H den daha yüksek N_H değerlerine sahip kaynaklar galaktik N_H değerine sahip kaynaklara göre daha güçlü galaksi-dışı kaynak adaylarıdır. Ayrıca bu 18 kaynaktan hiçbiri küme (cluster) değildir, çünkü kümeler kadar yayık ya da yüksek parlaklığa sahip değildir (Schindler 1999). Bulduğumuz yeni kaynakların zamansal karakteristiklerine de baktık. En yüksek birim saniyeye düşen foton oranlarına sahip üç kaynağa (kaynak 4,6,18) power spektrum analizi uyguladık. Ancak herhangi bir periyod bulamadık.

Detaylı tayflara sahip değiliz ve kaynakların zamansal özelliklerini de çalışmıyoruz. Bulduğumuz bu 18 kaynak hakkında daha kesin sonuçlara varmak ve daha kesin sınıflandırmalar yapmak elimizdeki X-Işını verisiyle mümkün değil. Bu yüzden TUG'da yapmayı planladığımız optik gözlemler kaynakları daha iyi sınıflandırmamıza yardımcı olacaktır.



Şekil 18 kaynağın en iyi uylandırılması modellerle tayfları

Referanslar

- Alpar, M. A. 2001, ApJ, 554, 1245
Balman, Ş. 2002, in ASP Conf. Ser. , High Energy Universe at Sharp Focus: Chandra Science, ed. S. Vrtilik, E. Schlegel, L. Kuhi, in press
Balman, Ş. 2001, in ASP Conference Ser. 234, X-ray Astronomy 2000, ed. R. Giacconi, L. Stella, S. Serio, 269
Balman, Ş., Ögelman, H. B. 1999, ApJ, 518, L111
Bauer, F. E., Brandt, W. N., Sambruna, R. M., et al. 2001, AJ, 122, 182
Brandt, W. N., Hornschemeier, A. E., Alexander, D. M., et al. 2001, AJ, 122, 1
Cassinelli, J. P., Waldron, W. L., Sanders, W. T., et al. 1981, ApJ, 250, 677
Finley, D. S., Koester, D., & Basri, G. 1997, ApJ, 488, 375
Guseinov, O. H., Saygac, A. T., Allakhverdiev, A., et al. 2000, Astro. Lett., 26, 725
Harnden, F. R., et al. 1984, SAO Report No. 393
Ishisaki, Y., Ueda, Y., Yamashita, A., et al. 2001, PASJ, 53, 445
Israel, G. L., Covino, S., Stella, L., et al. 1999, ApJ, 518, L107
Kahabka, P. and van den Heuvel, E. P. J. 1997, ARA&A, 35, 69
Monet, D., et al. 1998, The PMM USNO-A2.0 Catalog (Washington, D.C.: U.S. Nava Observatory)
Ögelman, H. 1995, in The Lives of the Neutron Stars, ed. M. A. Alpar, Ü. Kızıloğlu, & J. van Paradijs (Dordrecht: Kluwer), 101
Schindler, S. 1999, A&A, 349, 435
Schmitt, J. H. M. M., Zinnecker, H., Cruddace, R., Harnden, F. R., Jr. 1993, ApJ, 402, L13
Vennes, S. 1999, ApJ, 525, 995
Verbunt, F., Bunk, W. H., Ritter, H., Pfeffermann, E. 1997, A&A, 327, 602
Warner, B. 1995, Cataclysmic Variable Stars (Cambridge: Cambridge University Press)