

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAX J1748.9-2021 MİLİSANİYE ATARCASININ CHANDRA UYDU VERİ
ANALİZİ**

FATMA YİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEHRA CAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAX J1748.9-2021 MİLİSANİYE ATARCASININ CHANDRA UYDU VERİ
ANALİZİ

Fatma Yiğit tarafından hazırlanan tez çalışması 05.12.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra Can
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. E. Nihal Ercan
Boğaziçi Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra Can
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. E. Nihal Ercan
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Kubilay Kutlu
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Oğuz
Haliç Üniversitesi

Prof. Dr. Oya Oğuz
Haliç Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bütün sorularına büyük bir sabırla cevap veren ve bu tezin çıkması için beni motive eden eş danışmanım Prof. Dr. E. Nihal Ercan'a, her takıldığım noktada yol göstericilikleri için Boğaziçi Üniversitesi Astrofizik Grubuna ve en önemlisi benim bu alanda çalışabilmeme olanak sağlayan Danışmanım Doç. Dr. Zehra Can'a çok teşekkür ederim.

Kasım, 2011

Fatma Yiğit

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Bulgular	2
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR DERLEMESİ	3
2.1 Düşük Kütleli X-Işını İkilipleri (LMXB).....	3
2.2 Nötron Yıldızı	3
2.2.1 Atarca (Pulsar)	5
2.2.1.1 Milisaniye Atarca	7
2.3 Sürekli Olmayan X-Işını Kaynakları	7
2.4 X-Işını Patlamaları.....	8
2.5 Atarcaların Yapılarını Anlamak için Bazı Fiziksel Durumlar.....	8
2.6 Sax J1748.9-2021	11
2.6.1 X-ışını Gözlemleri	13
2.6.2 Optik Gözlemleri.....	16
BÖLÜM 3	17
CHANDRA UYDUSU	17
3.1 Chandra Donanımı.....	18
3.1.1 Teleskop Sistemi	18
3.1.2 Bilimsel Araçlar	19
3.1.3 Yüksek Çözünürlüklü Kamera (HRC)	20

3.1.4 İleri CCD Görüntü Spektrometresi (ACIS)	21
3.1.5 Yüksek çözünürlüklü spektrometreler- HETGS ve LETGS	23
3.1.6 Operasyonlar	25
BÖLÜM 4	28
ANALİZLER	28
4.1 Veriyi Analize Hazırlama ve Veri Analizi	28
4.2 Kaynak Görüntüleme ve Arka Plan Işınımı	28
4.3 Kaynağın Işık Eğrisi.....	31
4.4 Kuramsal Tayf Modelleri	34
4.5 Kaynağın Tayf Analizi.	36
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Düşük kütleli X-ışını ikili sistemi 4
Şekil 2. 2	Nötron yıldızının yapısal gösterimi 4
Şekil 2. 3	Bir atarcanın ilüstrasyonu 6
Şekil 2. 4	Roche Lobu 9
Şekil 2. 5	Kütle merkezi etrafında dönen M1kütleli tıkız yıldız ve M2 kütleli normal yıldızdan oluşan “a” mesafeli ikili yıldız sistemi 9
Şekil 2. 6	r uzaklıktaki bir noktanın Roche Potansiyeli 10
Şekil 2. 7	Lagrange Noktaları..... 10
Şekil 3. 1	Chandra uydusunun şematik bir görünümü 17
Şekil 3. 2	Chandra uydusunun yörüngesinin şematik görünümü 18
Şekil 3. 3	X-ışınlarının aynalardan sektirilerek odak noktasına gidişi..... 19
Şekil 3. 4	Ayna elemanları 20
Şekil 3. 5	Microchannel plate 21
Şekil 3. 6	Elektron hareketi 21
Şekil 3. 7	ACIS odaksal düzlem 22
Şekil 3. 8	İleri CCD görüntü spektrometresi (ACIS) 22
Şekil 3. 9	LETGS - Düşük enerji kırınım ağı spektrometresi..... 23
Şekil 3. 10	HETGS – Yüksek enerji kırınım ağı spektrometresi 24
Şekil 3. 11	HETGS – Yüksek enerji kırınım ağı spektrometresi 25
Şekil 3. 12	Uzay gemisi yapısı 26
Şekil 4. 1	Kaynağın Chandra ile alınmış ilk görüntüsü..... 29
Şekil 4. 2	Kaynağın görüntüsü 30
Şekil 4. 3	Kaynak alanı seçilmiş görüntü..... 30
Şekil 4. 4	Kaynak ve arka alanı seçilmiş görüntü..... 31
Şekil 4. 5	100 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi 31
Şekil 4. 6	1000 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi 32
Şekil 4. 7	Aralık temizlendikten sonra 100 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi..... 33
Şekil 4. 8	Aralık temizlendikten sonra 400 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi33
Şekil 4. 9	Aralık temizlendikten sonra 1000 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi..... 34
Şekil 4. 10	Kaynağın 0,2-15 keV aralığındaki tayfı..... 37

Şekil 4. 11	Kaynağın 0,2-10 keV aralığındaki logaritmik tayfı	38
Şekil 4. 12	Kaynağın 0,5-10 keV aralığındaki logaritmik tayfı	39
Şekil 4. 13	0,5-10 keV aralığında ısısal Bremsstrahlung modeli	40
Şekil 4. 14	0,5-10 keV aralığında güç kanunu modeli	40
Şekil 4. 15	0,5-10 keV aralığında Compton modeli	41
Şekil 4. 16	Isısal Bremsstrahlung modeli	44
Şekil 4. 17	$NH=0,82 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş ısısal Bremsstrahlung modeli	44
Şekil 4. 18	$NH=0,57 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş ısısal Bremsstrahlung modeli	45
Şekil 4. 19	Karacisim modeli	45
Şekil 4. 20	$NH=0,82 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş kara cisim modeli	46
Şekil 4. 21	$NH=0,57 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş kara cisim modeli	46
Şekil 4. 22	Güç kanunu modeli	47
Şekil 4. 23	$NH=0,82 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş güç kanunu modeli	47
Şekil 4. 24	$NH=0,57 \times 10^{22}$ cm ⁻² de sabitlenmiş güç kanunu modeli	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Yıldızın Katalog Bilgileri	11
Çizelge 2. 2 Analiz sonuçları	13
Çizelge 2. 3 Analiz sonuçları	15
Çizelge 4. 1 Isısal Bremsstrahlung modeli	40
Çizelge 4. 2 Karacisim Modeli.....	41
Çizelge 4. 3 Güç kanunu modeli	41
Çizelge 4. 4 Compton saçılması modeli	41

**SAX J1748.9-2021 MİLİSANİYE ATARCASININ CHANDRA UYDU VERİ
ANALİZİ**

Fatma Yiğit

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra CAN

Eş Danışman: Prof. Dr. E. Nihal ERCAN

Sax J1748.9-2021 milisaniye atarcası, NGC 6440'ta Düşük kütleli X-ışın ikili sistemleri (LMXB) içinde yer almaktadır. LMXB bir adet normal yıldız (donör) ve eş yıldız barındıran ikili sistemlerdir. Küçük kütle çekimine sahip olan donör yıldızdan tıkHz yıldız Roche- Lobe yoluyla gerçekleşen kütle aktarımı, açısız momentum korunumu kuralına uyararak aktarılan kütlelerin tıkHz yıldızın etrafında bir yığılma diski oluşturmasını sağlar. Madde akışıyla beraber kendi etrafında çok hızlı dönmeye başlayan nötron yıldız atarcayı oluşturur. Atarcalar çok güçlü manyetik alanlı nötron yıldızlarıdır. Yığılma diski milyonlarca Kelvin'e kadar ısınır ve enerjisini X-ışını yoluyla yaymaya başlar.

Milisaniye pulsarların 3 tanesi sürekli değildir. SAX J1748.9-2021 sürekli olmayan X-ışını kaynağıdır (X-ray transient).

Sax J1748.9-2021 NGC 6440'ta milisaniye atarcası, Chandra uydusu ile 28 Temmuz 2009 tarihinde 0,2-10 keV enerji aralığında toplam 50370sn boyunca gözlenmiştir. 29 Temmuz 2010'da yayınlanan Sax J1748.9-2021'in Chandra X-ışın verileri analiz edilmiş ve teorik modellerle karşılaştırılmıştır. Fiziksel modellerden ısız Bremsstrahlung, kara cisim, güç kanunu ve Compton saçılması modelleri uygulanmıştır. Bu dört ana

modelden termal olan modellerden ısısal Bremsstrahlung modeli karacisim ışıması modeline göre daha iyi uyum sağlamıştır ama yine de açıklamak için yeterli değildir. Karacisim ışımasında N_H parametre değeri serbest, $0,82 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $0,57 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ olmak üzere her üç durumda da uygun indirgenmiş χ^2 değerleri elde edilememiştir. Güç kanunu modeli indirgenmiş χ^2 değeri üç durumda da 1'e yakın çıkmış olmasına rağmen, en güzel sonucu hidrojen kolon yoğunluğunu $N_H = 0,82 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ olarak sabitlediğimiz durumda indirgenmiş χ^2 değeri 0,99 ve foton indisi ise $1,52 \pm 0,02$ olarak bulunmuştur. Compton modelinde 1'e yakın indirgenmiş χ^2 değeri ve daha önceki çalışmalardaki sonuçlara uygun N_H değeri bulunmuş, fakat üç durumda da sıcaklık değerleri sınıra dayanmış ve hata payı hesaplanamamıştır.

Kaynağın X-ışın Chandra gözlemlerine 0,5-7 keV aralığında en iyi uyum sağlayan kuramsal modeller güç kanunu ve ısısal Bremsstrahlung olmuştur. Kaynağa ait akı değeri 8,1 kpc uzaklık için $\sim 4 \cdot 10^{-13} \text{ erg/s/cm}^2$ olarak elde edilmiştir. Tüm elde edilen parametreler, eski gözlemler çerçevesinde uyum göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Chandra, Sherpa, Ciao, Sax J1748.9-2021, Milisaniye Atarca

CHANDRA OBSERVATIONS OF MILLISECOND PULSAR SAX J1748.9-2021

Fatma YIGIT

Department of Physics

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Zehra CAN

Co-Advisor: Prof. Dr. E. Nihal ERCAN

Sax J1748.9-2021 millisecond pulsar is in Globular Cluster NGC 6440 as a member of a Low Mass X-ray Binaries (LMXB). LMXB are binaries including a normal star and a companion star. There is a mass accretion through the Roche-Lobe from the donor star which has less gravitational force to the compact star. This mass accretion leads to an accretion disk around the compact star because of conservation of angular momentum. With the beginning of the mass accretion, the neutron star begins to revolve and form pulsars. Pulsars have highly magnetized neutron stars. Accretion disks get warmed up to million degrees Kelvin and it begins to emit its energy in X-rays. Three millisecond pulsars behave intermittently, in other words they are X-ray transients. SAX J1748.9-2021 is one of them.

Sax J1748.9-2021 millisecond pulsar in NGC 6440 is observed with Chandra observatory in the energy range 0.2-10 keV for 50370 sec during 29.July.2009. Sax J1748.9-2021 Chandra X-ray data which published on 29.July.2010 are analyzed and compared with theoretical models. Physical models thermal Bremsstrahlung, Black Body, Power law and Compton models are used in this study. From these four main models even if thermal Bremsstrahlung is better than black body radiation, both are

not adequate to explain the results. In the case of black body spectrum N_H parameter values are kept regularly free, $0.82 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $0.57 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, in three cases Reduced χ^2 values do not stay close to 1. In the case of power law model, although Reduced χ^2 values in the all three cases are found to be approximately equal to 1, the best result is obtained in the case of hydrogen column density $N_H = 0.82 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ with 0.99 Reduced χ^2 and 1.52 ± 0.02 photon index. For Compton model, Reduced χ^2 value which is reached to be ~ 1 and N_H values are obtained to be close to the previous studies but in the all three cases' temperature values are positioned on boundaries and their error margins showed an overflow.

The best fitted theoretical models are then found to be power law and thermal Bremsstrahlung to the Chandra X-ray observations of the source in the energy range of 0.5-7 keV. For $d=8.1$ kpc, flux of the source is found $\sim 4.10^{-13} \text{ erg/s/cm}^2$. All parameters show compliance to previous studies.

Key Words: Chandra, Sherpa, Ciao, Sax J1748.9-2021, Millisecond Pulsar

1.1 Literatür Özeti

Sax J1748.9-2021 daha önce RossiXTE uydusu ile zayıf bir şekilde farkedilmiş olsa da Ağustos 1998'de BeppoSAX uydusu tarafından aktif olarak bulunmuştur. Kaynağın konum bilgileri sağ açıklık RA 17 48 53.4(ss,dd,ss.s), dik açıklık DEC -20 21 43 olarak verilmiştir [1]. Sax J1748.9-2021 kaynağı küresel bir küme olan NGC 6440'dadır [2]. NGC 6440 galaktik merkeze yakın olup bizden $8,5 \pm 0,4$ kpc uzaklıkta galaktik düzlemin 0,6 kpc üst tarafında yer alır [3], [4]. V2'nin optik eş olarak beklenen karakteristik özelliklerini tamamını taşıdığı gözlemlenmiştir [5],[6].

1999'da In't Zand ve diğerleri [7] WFC(wide field camera) ile BeppoSAX uydusunda alınan veriyi analiz etmişler ve analizde kaynağın Tip 1 patlaması yaptığını bulmuşlardır. 2001'de In't Zand ve diğerleri [8] tekrar aynı veriyi analiz etmişler ve nötron yıldızının yarıçapını 17 km civarında, parlaklığını ise soğuyan nötron yıldızı değeriyle uyumlu olan $(2,1 \pm 0,8) \times 10^{33}$ erg s⁻¹ bulmuşlardır.

Pooley ve arkadaşları [6] 2002 yılında 2000 Temmuz Chandra gözlemleri verilerini analiz etmişlerdir. Sax J1748.9-2021 sönüm dönemindeki sürekli olmayan X-ışını kaynağı özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. 2005 yılında Cackett ve diğerleri [9] 2003 Haziran ve 2000 Temmuz Chandra gözlemini yapmışlar ve aynı şekilde kaynağın sönüm döneminde olduğunu fark etmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Sax J1748.9-2021 milisaniye atarcası 1998 yılında keşfedilmiştir. Kaynak son 15 yıldır ancak incelenebildiği için onunla ilgili bilgilerimizde sınırlıdır. 2009-07-28 15:05:44 tarihinde 50370 saniye boyunca alınıp 2010-07-29 tarihinde yayınlanan gözlem şimdiye kadar alınan veriler içinde en uzun gözlem olduğu için bu kaynak çalışılmış ve bu gözlemin analizi yapılmıştır. Bu gözlem kullanılarak kaynağın tayfsal analizinin yapılması amaçlanmıştır.

1.3 Bulgular

Kaynağın gözlemlerine 0,5-7 keV aralığında yapılan tayfsal analizde en iyi uyum sağlayan model, güç kanunu lehinde olmuştur fakat daha az da olsa ısısal Bremsstrahlung modeli de uyum göstermiştir. Verilere uygunluk gösteren ısısal Bremsstrahlung ve güç kanunu modelleri ile model bağımsız akı değeri olarak elde edilen $\sim 4.10^{-13}$ erg/s/cm² değeri Cackett ve diğerlerinin [9] çalışmasıyla uyum içindedir. Tayfsal analizde elde edilen tüm parametreler, eski gözlemler çerçevesinde uyum göstermiştir.

BÖLÜM 2

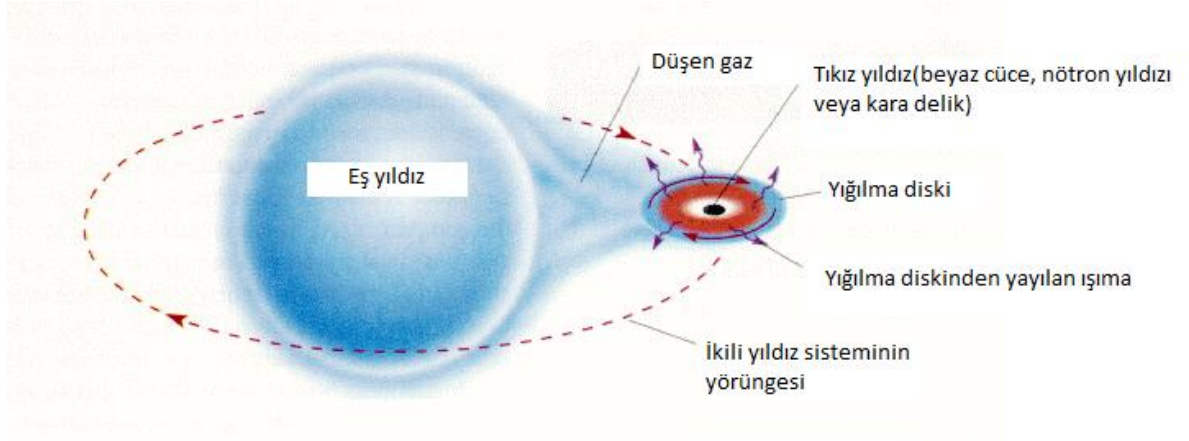
LİTERATÜR DERLEMESİ

Galaksimizdeki birçok yıldız ikili sistemler içinde bulunur. İkili yıldız sistemleri kendi yörüngelerinde ve kütle merkezlerinin etrafında iki yıldız bulundurlar. İkili yıldız sistemlerinin özel bir alt grubu olarak X-ışını ikili yıldız sistemleri vardır. X-ışını ikili yıldız sistemleri, X-ışını yaydıkları için bu ismi alırlar. X-ışını ikili yıldız sistemleri bir adet normal yıldız ve bir adet eş yıldızından (çökmüş yıldız; beyaz cüce, karadelik veya nötron yıldızı) oluşur. X-ışını ikili sistemleri Yüksek Kütleli X-ışını İkili Sistemleri(HMXB) ve Düşük Kütleli X-ışını İkili Sistemleri(LMXB) olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.1 Düşük Kütleli X-ışını İkili (LMXB)

LMXB'lerde bir adet normal yıldız (donör) ve eş yıldız (tıkız cisim) bulunur. Normal yıldızın yanındaki eş yıldız (tıkız cisim) beyaz cüce, karadelik veya nötron yıldızından birisi olur [10]. Bu sistemlere LMXB denmesinin sebebi yaşlı olan normal yıldızın kütesinin 1 güneş kütesinde (M_{\odot}) veya yakın olduğu durumlar olmasıdır [11]. Donör yıldız, tıkız yıldızdan çok daha büyük kütlelere sahip olmasına karşı daha küçük kütle çekimine sahiptir. Bu yüzden donörden tıkız yıldızda bir kütle aktarımı olur [12]. Bu sistemlerdeki nötron yıldızlarının etrafında donör yıldızdan beslenen bir yığılma diski oluşur [13]. Bu kütle aktarımı Roche-Lobe yoluyla gerçekleşir ve açısal momentum kuralına uyarak aktarılan kütleler tıkız yıldızın etrafında bir yığılma diski oluşturur. Yığılma diskindeki maddeler milyonlarca Kelvin'e kadar ısınır ve X-ışını yaymaya başlar. Bu yüzden sistemin en parlak yeri, tıkız cisim etrafında oluşan yığılma diskidir (Şekil 2.1). Kütle aktarımı yavaş ve kontrollü olur. Kütle aktarımı sırasında materyaller nötron yıldızının dönmeye başlamasına sebep olup milisaniye atarcalarının ortaya çıkmasını sağlayabilir [14]. Klasik bir LMXB neredeyse bütün ışımasını X-ışını yoluyla yapar. Bu

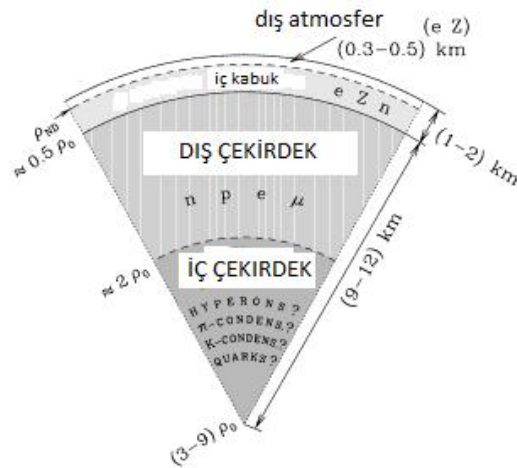
X-ışınları onları uzayın en parlak cisimleri olarak X-ışınları bölgesinde görülmelerini sağlar. LMXB'lerin büyük kısmı düşük gökada enleminde optik gözlemin zor yapıldığı bölgede olduğu için belirlemek zor olabilmektedir [15].



Şekil 2.1 Düşük kütleli X-ışını ikili sistemi [16]

2.2 Nötron Yıldızı

Nötron yıldızları atmosfer ve dış kabuk, iç kabuk, dış çekirdek ve iç çekirdek olmak üzere dört ana iç bölgeye ayrılır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Nötron yıldızının yapısal gösterimi [17]

Dışardan içeriye sırasıyla gidersek;

Atmosfer: nötron yıldızının ışımalarının olduğu yerdir. Işıma yıldızla ilgili birçok bilgi edinmemizi sağlar [17].

Dış kabuk: atmosferden içeriye yıldızın yoğunluğunun $= 4 \times 10^{11} \text{ g cm}^{-3}$ olduğu yere kadar olan kısmı kapsar. Dış kabuğun kalınlığı sadece birkaç yüz metreden oluşur. İçindeki maddeler iyonlar ve elektronlardan oluşur [17].

İç kabuk: dış kabuğun altındadır ve yaklaşık 1 km kalınlığındadır. İç kabuk ise yıldız yoğunluğunun $\sim 0.5\rho_0$ olduğu yere kadardır ($\rho_0 = 2,4 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$). Bu tabaka elektron, serbest nötron ve nötronca zenginleşmiş atom çekirdeklerinden oluşur [17].

Dış çekirdek: yoğunluğu $0.5\rho_0$ $2\rho_0$, çeşitli km kalınlığında olur. Dış çekirdekte nötron, farklı karışım yüzdelerinde proton, elektron ve bazı durumlarda müonlar bulunur [17].

İç çekirdek: yoğunluğu $2\rho_0$ olup ağır nötron yıldızlarının merkez bölgesinde yer alır. Düşük kütleli dış kabuğun merkeze çok yakın olduğu yıldızlarda gözlemlenmez. Yarıçapı değişkendir ve yoğunluğu genellikle 10-15 ρ_0 civarındadır.

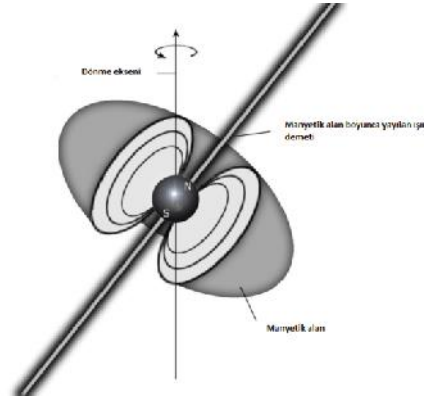
Nötron yıldızları, merak uyandıran ve büyüleyici yapıdadırlar. Süpernova patlaması sonucunda yüksek kütleli yıldızların patlayıp kendi içlerine çökmesiyle oluşurlar. Nötron yıldızı kütlesi Chandrasekhar limitine yakın (Güneş'in 1,35 ile yaklaşık 2 katı arasındaki) yıldızlardan meydana gelmektedir [18], [19]. Kütlesi $1,4 M_{\odot}$ olmasına karşın yarıçapı çok küçük olduğu için yoğunluğu çok fazladır. Bu yoğunluk o kadar fazladır ki, elektronlar protonların içine girerek nötronlara dönüşür ve yıldız ismini verir. Sonuçta 11 ila 20 km'lik bir çap içine 1,4 güneş kütlesini sığdıracak kadar sıkışan yıldız, nötron yıldızı haline gelir. Yoğunlukları $10^{14} \text{ g cm}^{-3}$, manyetik alanları 10^{12} gauss (10^8 Tesla) olarak bilinen yıldızların çapı ise 20 km civarındadır [15]. Nötron yıldızları muazzam bir genel çekim enerjisine ve yoğunluğa sahiptir. Nötron yıldızlarının kütleleri, yıldızın evrimi hakkındaki bilgileri ikili yıldız sistemleri içinde cevaplanabilmektedir. Bu sistemler kütle aktarımı olan ve olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Kütle aktarımı olmayanlar izole nötron yıldızlarıdır. Kütle aktarımı olanlar ise daha tıkHz sistemler olup X-ışını kaynakları olarak bilinirler [17].

2.2.1 Atarca (Pulsar)

Atarcalar kısa bir ifadeyle kendi etraflarında dönen magnetik alanı yüksek nötron yıldızlarıdır. X-ışını atarcaları ise, böyle bir nötron yıldızı, ikili sistemlerde bulunduğu ortaya çıkar.

Yukarıda da söylediğimiz gibi eş yıldızdan nötron yıldızına Roche-Lobe yoluyla madde akar. Madde akışıyla beraber nötron yıldızı kendi etrafında çok hızlı dönmeye başlar, böylece atarcayı oluşturur. Madde aktarımı oldukça atarcanın dönme periyodu artmaya başlar. Enerjisini tüketen atarcanın tamamen durması diğer bir ifadeyle ölmesi milyarlarca yıl sürer.

Atarcalar çok güçlü manyetik nötron yıldızlarıdır. Normal yıldız çökerken, yıldızın akısı korunurken dipol alan gücü de tutarlıdır. Genç atarcalarda kutup alan gücü 10^{12} gauss iken, yaşlı atarcalarda 10^{10} gauss, milisaniye atarcalarda ise 10^8 gauss ölçülebilmektedir [15]. Atarcaların manyetik alanları Dünya'nınkinin birkaç trilyon katı olduğundan ışık, radyo ve diğer türden dalgaları dar demetler haline getirirler. Bu demetler, yıldızın manyetik alanı doğrultusuna uygun hale gelerek, biri kuzey kutuptan, diğeri güney kutuptan uzaya yayılan fişkırmaları oluşturur. Nötron yıldızının dönüş eksenini ile manyetik eksenini Dünya'da da olduğu gibi çakışmadığından bu fişkırmalar bir deniz fenerinin ışığına benzer şekilde uzaya yayılır. Dünya, bu fişkırmaların hedefi durumuna girdiği anlarda yıldızdan kaynaklanan radyasyon darbeleri farkedilir. Bu nedenle bu yıldızlara pulsar–atarca yıldız adı verilir (Şekil 2.3). Bu atarcaları diğer atarcalardan ayırt etmek için güçlendirilmiş yığılma atarcaları anlamında “accretion-powered pulsar(AMP)” isimlendirilir.



Şekil 2.3 Bir atarcanın illüstrasyonu [19]

X-ışını ikili yıldız sistemleri nötron yıldızlarının manyetik alanları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlarlar. Eş yıldızdan akan maddeler manyetik kutupların üstüne düşerler ve X-ışını yayarlar. Manyetik alan genç yıldızlarda 10^{12} , X-ışını ikililerinde 10^{10} , milisaniye atarcalarda 10^8 gauss olduğu için sanki kütle aktarımı ile birlikte manyetik alan azalıyormuş gibi gözükür [15].

2.2.1.1 Milisaniye Atarca

Milisaniye atarcaları, 1 tur dönmelerini milisaniye boyutunda tamamladığı için bu ismi alırlar. Uzun yıllar boyunca hızlı veri kaydedecek bir sistem olmadığından milisaniye atarcalarla ilgili çalışma yapılamamıştır. 90'lardan sonra bilgisayarların ve teknolojinin daha çok gelişmesiyle milisaniye atarcalar hakkındaki bilgiler de hızla artmaya başlamıştır.

Atarcaların bir kısmı küçük manyetik alanlarından dolayı daha kısa periyotlara ve daha kısa yavaşlama hızına sahiptir. Milisaniye atarcalar nötron yıldızlarının yaşam döngüsüne, azalan manyetik alanına sahip olduğu için nötron yıldızlarına benzetilir fakat dönme hızlarının artmasından dolayı yenilenirler [15]. Bu yüzden birçok astronom geri dönüştürülmüş atarcaların milisaniye atarca olduğunu düşünmektedir. Atarcalarda bahsedildiği gibi, LMXB'lerde yığılma disklerinden dolayı nötron yıldızı dönmeye başlar ve eş yıldızdan gelen maddelerle bu dönme hızlandığı için geridönüşüm atarcası (recycled pulsarı) olarak da isimlendirilirler [20]. Madde aktarımı hem X-ışını ışıması için termal enerji hem de dairesel süratinin yükselmesi için dönme momentini sağlar [15]. İkili sistemler milisaniye atarcanın yaşı ile ilgili bilgi sahibi olmamızı sağlarlar. Milisaniye atarcaları, daha çok ikili sistemlerde bulunduğu için yığılma disklerinin milisaniye atarcalara neden olduğu tezi de desteklenmiş olmaktadır. Ama uzaydaki tek milisaniye atarcalara neyin sebep olduğu henüz bilinmemektedir.

Milisaniye atarcaların manyetik alanı 10^8 gauss'tur. Normal atarcalardan milisaniye atarcalara giderken neden azaldığı ve neden 10^8 civarında durduğu da henüz bilinmemektedir [19].

Milisaniye atarcalarının 13 tanesi AMP iken, bunlardan SAX J1748.9-2021'in içinde bulunduğu 3 tanesi sürekli olmayan X-ışını kaynaklarıdır (X-ray transient). Bu davranışın sebebi henüz bilinmemekle birlikte nötron yıldızları ile atarcalar arasında geçiş yıldızı gibi olmalarından dolayı atarcaların varlığını kanıtlamaktadırlar [21].

2.3 Sürekli Olmayan X-ışını Kaynakları

Sürekli olmayan X-ışınları, "X-Ray Transient", veya X-ışını novaları, X-ışını yoğunluğunda düşük seviyeden önce ani bir yükseliş gösterip sonra tekrar düşerler. Bu yükseliş daha kısa zaman aralığında olurken düşüş daha yavaş gerçekleşmektedir [15]. Akılarının en düşük ve en yüksekleri arasında çok büyük bir oran vardır. Eğer bir kaynak "sürekli olmayan" olarak ifade

ediliyorsa yinelgeler periyodik veya periyodik olmayan şekilde olabilirler, ama yinelge nöbetinin süresi ve parlaklık-genlik arasında hiçbir belirgin ilişki yoktur [22].

2.4 X-ışını Parlamaları

İlk X-ışını parlamaları, 1976'ta Grindlay ve Gursky [23] tarafından bildirildi. Bunlar, birkaç saniyede parlamalar gösteren X-ışını kaynaklarıdır. Tipik olarak parlamaların maksimum noktalarına ulaşması yaklaşık bir saniye alır ve tekrar sönmeleri on saniye veya biraz fazlası kadar sürer. Sürekli olmayan X-ışını kaynaklarından farkları zaman çizelgesinde onlardan 100000 kat kadar daha hızlı olmalarıdır [22].

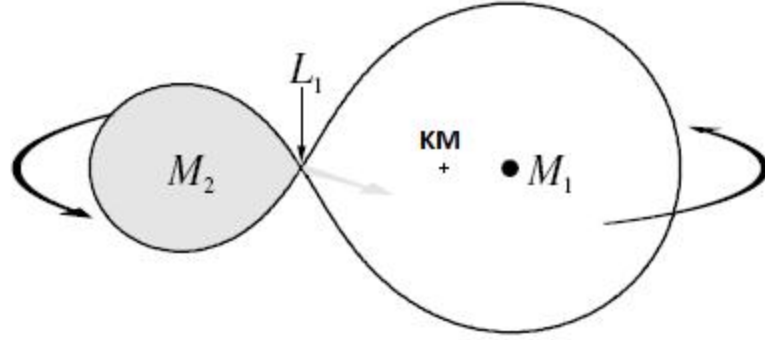
Bilinen kaynakların birçoğu parlama tekrarlarını saatler veya günler süren periyodlarla gerçekleştirir. Bu periyod sabit bir düzende olmayıp daha erken yada daha geç gözlemlenebilmektedir. Bundan dolayı ikili yıldız sistemlerinin periyodu ile birlikte aynı zamanda olmaz.

Parlamaların yoğunluğu kaynaktan kaynağa göre farklılık göstermektedir. Bazıları tek parlama gösterirken, bazıları daha karışık yapıdadır. X-ışını tayfı parlama sırasında değişir, parlama sönerken X-ışını gittikçe yumuşar.

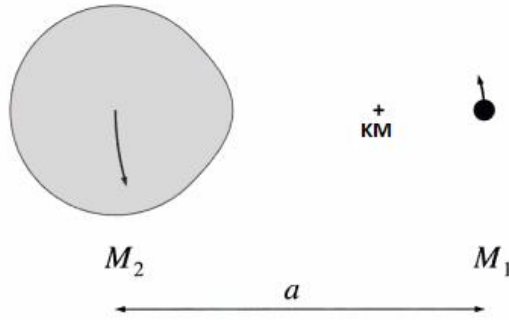
X-ışını parlaması üretim mekanizması hala tam olarak bilinmemektedir. Bir ihtimal bu hızlı sapsmalar normal bir X-ışını ikilisinde yığılma hızından kaynaklanabileceğidir. Diğer ihtimal ise bu parlamalar genişleyen X-ışını ikilisindeki nötron yıldızının yüzeyindeki nükleer füzyondan kaynaklanmaktadır [23].

2.5 Atarcaların Yapılarını Anlamak için Bazı Fiziksel Durumlar

Roche-Lobe ve Yığılma Diski Geometrisi: İkili yıldız sistemlerinde eş yıldıza kütle aktarımı olur. Bu kütle aktarımı sırasında maddelerin izlediği yola Roche-Lobe denir. Kütle aktarımı sırasında maddelerin izleyeceği en kısa yol L_1 'den (1. Lagrange noktasından) geçer (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Roche-Lobu [13]



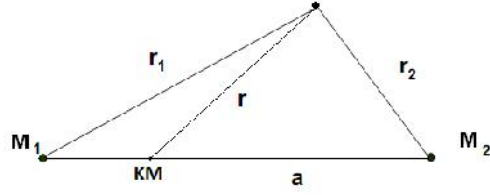
Şekil 2.5 Kütle merkezi etrafında dönen M_1 kütleli tıkcız yıldız ve M_2 kütleli normal yıldız dan oluşan “a” mesafeli ikili yıldız sistemi [13]

İki yıldızın arasındaki uzaklığa a , kütlelerinin toplamına M dersek (Şekil 2.5) Kepler Yasasına göre sistemin periyodu

$$P_{\text{orb}}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{MG} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilirse maddenin hızı denklem 2.2'deki gibi olur.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2.2)$$



Şekil 2.6 r uzaklıktaki bir noktanın Roche Potansiyeli [17]

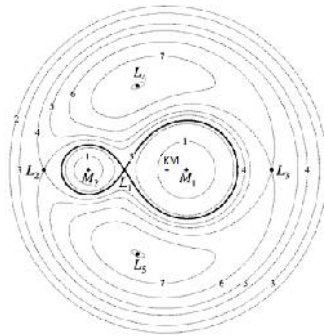
r uzaklıktaki bir noktadaki Roche potansiyelini yazmak istediğimizde ilk iki terimi yerçekimi potansiyelinden, son terimi dönme enerjisinden gelmek üzere denkleminiz

$$\Phi(r) = -\frac{GM_1}{|r-r_1|} - \frac{GM_2}{|r-r_2|} - \frac{1}{2}(\Omega \times r)^2 \quad (2.3)$$

ifade edilir. Ω ikili yıldızın açısal hızı, ve \hat{n} orbital düzleme dik birim vektördür ve açısal hız denklem 2.4'teki gibi ifade edilir.

$$= \sqrt{\frac{GM}{a^3}} \quad (2.4)$$

Roche potansiyeli efektif kütle çekiminin 0 olduğu $\text{eff} = 0$ bölgelerde 5 tane lagrange noktası vardır (Şekil 2.7). Bu noktaların 3 tanesi (L_1, L_2, L_3) eğer noktalarıdır. L_1 noktasında her iki yıldızın kütle çekim çizgileri etkileşim halindedir ve her iki yıldız arasında olduğundan iç lagrange noktası olarak da anılır. L_4 ve L_5 noktaları stabil noktaldır; yani orada olan maddeler konumlarını yıldızların kuvvetlerinin etkisi altına girmeden korurlar.



Şekil 2.7 Lagrange Noktaları [13]

Yığılma diskindeki toplam enerji, gravitasyonel potansiyel enerji ve taşınan maddenin kinetik enerjisinden oluşur (denklem 2.5).

$$= -\frac{GMm}{2R} \quad (2.5)$$

Roche-Lobe yoluyla taşınan maddenin enerjisinin tamamını radyasyona verdiğini düşünürsek parlaklığı bulabiliriz. Taşınan maddenin kütlesi \dot{m} olmak üzere;

$$L_{\text{acc}} = \frac{GM\dot{m}}{R} \quad (2.6)$$

Yıldız kendisini oluşturan maddenin kendi üzerine çökmesini engelleyebilecek kadar ışınım yapar. Bu ışınım yıldızın kütlesinin üst limitini belirler. Buna Eddington limiti denir (denklem 2.7). Protonun kütlesi m_p olmak üzere;

$$L_{\text{edd}} = \frac{4\pi GMm_p c}{\sigma_T} \cong 1.3 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_\odot} \right) \text{ erg s}^{-1} \quad (2.7)$$

2.6 Sax J 1748.9-2021

Ağustos 1998'de BeppoSAX uydusu tarafından aktif olarak bulunmuştur. İsmi de uydunun isminden gelmektedir. Kaynak daha önce RossiXTE uydusu ile zayıf bir şekilde de farkedilmiştir. Aynı anda 4 tane X-ışın parlaması gözlemlenmiş olup bir tanesi termonükleer ışımaya yapmıştır. Liu ve diğerlerinin 2001 [1] kataloguna göre bilgileri çizelge 1,1'dedir.

Çizelge 2.1 Kaynağın Katalog Bilgileri [1]

Source Name(s) Spacecraft	type Pos.	RA DEC l'' , b''	Opt. Ctp. [FC]	V , $B-V$, $U-B$ E_{B-V}	F_x μJy	$P_{\text{orb}}(\text{hr})$ $P_{\text{pulse}}(\text{s})$
J1748.9-2021	TGB	17 48 53.4 -20 21 43	*V2 (?)	1.0		30
B, X, R(?)	x 1'	7.73, +3.8	[1370]	[986]		[616]
<i>Pos.:</i> [558]; <i>discovery in the globular cluster NGC 6440:</i> [616]; <i>distance of 8.5 kpc:</i> [986]; <i>broad-band sp.:</i> [616]; <i>X-ray light curve:</i> [616]; <i>type I burst:</i> [616]; <i>the same source of MX 1746-20 (?):</i> [616]; <i>not clear if associate with the ROSAT source:</i> [616]; <i>opt. obs.:</i> [1370]; <i>the possible opt. cpt. with B of 22.7 mag:</i> [1370]; <i>uncertain if the same source of 1745-203.</i>						

Kataloga göre BeppoSAX, RossiXTE ve ROSAT uyduları tarafından gözlenmiştir. Kaynak küresel bulutda yer alır, sürekli olmayan X-ışını ve parlayan-patlayan X-ışını kaynaklarındandır. Kaynağın konum bilgileri sağ açıklık RA 17 48 53.4(ss,dd,ss.s), dik açıklık DEC -20 21 43 olarak 3. sütunda verilmiştir. Son satır boylam ve enlem bilgisini içermektedir. 4. sütunda optik eşleniği olarak V2 verilmiştir. 5. sütundan E_{B-V} 'den hidrojen kolon yoğunluğu hesaplanabilmektedir [24]. 6. sütunda ise manyetik akısı yer almaktadır. 7. sütunda da yıldız bilgisi yer almaktadır.

Sax J1748.9-2021 kaynağı küresel bir küme olan NGC 6440 dadır [2]. NGC 6440 galaktik merkeze yakın olup bizden $8,5 \pm 0,4$ kpc uzaklıkta galaktik düzlemin 0,6 kpc üst tarafında yer almaktadır [3], [4]. Küresel kümede (globular cluster, GC) 12 tane parlak X-ışın kaynağı olmasına karşı birkaç tane sürekli olmayan kaynak vardır. Sax J1748.9-2021, GC'nin en parlak yıldızıdır ve V1 ile konumu çakışmaktadır. V1 ve V2'nin Sax J1748.9-2021'in potansiyel optik parçaları olduğu düşünülmektedir [5]. V yıldızları ana kol yıldızlarıdır. LMXB'de yer alan Sax J1748.9-2021'in eş yıldızı PSR B1745-20'dir. PSR B1745-20'nin aydınlatma gücü çok yüksek olmadığı için gözlemler sırasında onunla ilgili verilere ulaşılamamaktadır ve X-ışın kaynağı olup olmadığı bilinmemektedir. Sax J1748.9-2021 V2 ile pozisyon olarak çakışmalar da V2 optik özellikler Sax J1748.9-2021 ise durağan dönemindeki sürekli olmayan X-ışını karakteristikleri gösterdiği için ulaşılan sonuçlar güvenilirdir [6].

Sax J1748.9-2021'in sürekli olmayan X-ışın kaynağı olması onun bir nötron yıldızı olduğunu ve üzerine madde aktarımı olduğunun göstergesidir [7]. Sax J1748.9-2021'in belirlenen yeri uydular arasında uyum göstermektedir. Parlak bir kaynak olduğu için analizler sırasında kolaylık sağlamaktadır.

Sax J1748.9-2021 nötron yıldızı X-ışını ikilisinde atmalar hem 2001 hem de 2005 parlamalarında saniyenin yüzde biri oranında bir kaybolup bir ortaya çıkmıştır. Tip 1 X-ışını parlamaları ve atmalar arasında kesin olmayan bir şekilde ilişki olduğu düşünülmüştür [3]. 2003 yılında dönme frekansını yaklaşık 410 olarak verilirken [25], yörünge periyodunun bulunamadığını söylemiştir. Altamarino 2005'te dönme frekansı 442,361 yörünge periyodunu 8,764 saat olarak bulunmuştur. Altamarino ve diğerleri atma frekansı ve dönme frekansının Sax J1748.9-2021'in kütle aktarımı olan X-ışını atarcası olduğunu ifade ettiler; çünkü yıldız kütle aktarımı olan X-ışını atarcalarının gösterdiği özellikleri yani atmalarının çok az ya da harmonik olmayan bir şekilde sinüs fonksiyonu olması, eş yıldızın kütlesinin $1M_{\odot}$ 'den küçük olduğu, ikili yıldızın yörünge periyodunun kısa olması özelliklerini taşımaktadır [3].

Kaynak ile ilgili asıl bilgiler 1998 yılından sonra elimize ulaşmıştır. Kaynak son 15 yıldır ancak incelenebildiği için onunla ilgili bilgilerimizde sınırlıdır. Bundan dolayı kaynağın UV yada gama ışınları üzerine makaleleri bulunmamaktadır. Optik gözlemleri de çok azdır. İki alt başlık altında şimdiye kadar ki gözlemlerini toplayabiliriz.

2.6.1 X-ışını Gözlemleri

1999'da In't Zand ve diğerleri [7] WFC(wide field camera) ile BeppoSAX uydusunda alınan veriyi analiz etmişlerdir. Analizde kaynağın Tip 1 patlaması yaptığını bulmuşlardır. Tayf analizi sırasında ise kara cisim ışıması ile ısısal Bremsstrahlung veya Compton saçılması modellerini uygulamışlardır. En umut verici olan sıcak plazma tarafından ters Compton saçılması ile foton üretildiği için Compton saçılması modelinin uygulanabilirliği olmuştur. Compton saçılmasında sütun yoğunluğu , N_H (atom/cm²) değeri çok düşük çıkmıştır. Isısal Bremsstrahlung kara cisim ışıması ile birlikte uygulandığında kara cisim için sıcaklık $kT=0,84$ keV olduğunda indirgenmiş χ^2 değeri anlamlı olmaktadır. Isısal Bremsstrahlung, parlaklığın kütle aktarımı ile ilişkisine işaret eder. Ayrıca Sax J1748.9-2021 ile MX 1746.20'nin karakteristikleri aynı olmasa bile aynı kaynaklar olduğunu düşündüler.

Çizelge 2.2 Analiz sonuçları [7]

Isısal Bremsstrahlung + Kara Cisim		Birimler	Compton		Birimler
İndirgenmiş χ^2	1,05 (sd.192)		İndirgenmiş χ^2	1,07 (sd.192)	
İndirgenmiş χ^2 (karacisimsiz)	3,05 (sd.194)		İndirgenmiş χ^2 (karacisimsiz)	0,97 (sd.194)	
$N_H \times 10^{22}$	0,69±0,02	atom sayısı/cm ²	$N_H \times 10^{22}$	0,32±0,03	atom sayısı/cm ²
I.B. kT	46,6±1,9	keV	Wien kT	0,57±0,01	keV
K.C. kT	0,84±0,02	keV	Plazma kT	15,5±0,6	keV
			Compton parametresi y	0,9 disk geometrisi	
				4,5 küresel geometri	

2001'de In't Zand ve diğerleri [26] tekrar aynı veriyi analiz etmişler ve güç kanunu ve nötron yıldızı hidrojen atmosferi modellerini uygulamışlardır. Nötron yıldızının yarıçapını 17 km civarında, parlaklığını ise soğuyan nötron yıldızı değeriyle uyumlu olan $(2,1±0,8) \times 10^{33}$ erg/s bulmuşlardır. Atmosfer sıcaklığı ve yarıçapı sadece nötron yıldızının kütlesi, nötron yıldızının uzaklığı, N_H değeri ve güç kanununun foton indisi parametreleri sabitlendiği durumda

eşleşmiştir. 9 serbestlik derecesi ile indirgenmiş X^2 değeri 0,8 civarında çıkabilmiştir. N_H değeri serbest bırakıldığında ise yarıçap değeri maksimumuna ulaşmış kötü bir sonuca neden olmuştur.

Pooley ve arkadaşları [6] 2002 yılında 2000 Temmuz Chandra gözlemleri verilerini analiz etmişlerdir. CX1(Sax J1748.9-2021) kaynağı bulutsunun en parlak yıldızı olduğu için onun analizini ayrıca çalışmışlardır. Analizi 0,5-4,5 keV enerji aralığında, üç farklı modelle yapmışlardır. Bunlar, ısıl Bremsstrahlung, kara cisim ve güç kanunu modelleridir. Hidrojen atmosferi modelinden ise kaynağın 0,5-7keV arasındaki parlaklığını $L_x = 1,5 \times 10^{33}$ ergs s^{-1} olarak hesaplamışlardır. V2 ve CX1'in konum olarak çakıştığını ama V2'nin optik özellikler, CX1'in ise sönüm dönemindeki sürekli olmayan X-ışını kaynağı özelliği gösterdiğini bulmuşlar ve sonuçlarının bundan dolayı güvenilir olduğunu düşünmüşlerdir.

2005 yılında Cackett ve diğerleri [9] 2003 Haziran ve 2000 Temmuz Chandra verilerinin analizlerini yapmışlardır. Bu verilerin kaynağın sönüm döneminde olduğunu fark etmişlerdir. Verilere güç kanunu ve absorbe edilmiş nötron yıldızı atmosferi(NSA) modellerini uygulamışlardır. NSA modeli yıldızın atmosfer yapısının anlaşılması için tercih edilmiştir. Modelleri uygularken serbest parametre olarak N_H , güç kanunu indeksi ve normalizasyon bırakılmıştır. NSA normalizasyonun değişimi sonuçları çok etkilememiştir. NSA modelinde Zavlin'in çalışması kullanılarak [27] yarıçap 10 km ve kütlesi $1,4 M_\odot$ olarak sabitlenmiş sadece sıcaklık parametresi serbest bırakılmıştır. Gözlemler 8,1 kpc uzaklık için analiz edilmiştir. Her iki gözlem içinde aynı modeller kullanılmıştır. Nötron yıldızından gelen sıcaklık, her iki gözlem için de durağanken güç kanunu modelinde farklılıklar göze çarpmıştır. İlk gözlemde güç kanunu çok uygunken ikinci gözlemde aynı aralıkta foton sayısı çok azdır. Bu farklılığı kütle aktarımındaki değişimden ve iki yıldız arası etkileşimin değişiminden kaynaklandığı yönünde açıklamışlardır.

Çizelge 2.3 Analiz sonuçları [9]

Birinci Gözlem		Birimler
İndirgenmiş χ^2	0,74	
$N_H \times 10^{22}$	$0,7 \pm 0,1$	atom sayısı/cm ²
kT_{eff}	88 ± 5	eV
Güç Kanunu indisi	$2,5 \pm 1,0$	keV
Güç Kanunu norm $\times 10^{-5}$	$\frac{\pm 1,0}{2,2^{+3,5}_{-1,4}}$	keV
Akısı(0,5-10 keV) $\times 10^{-13}$	$1,9 \pm 0,4$	ergs/(sn cm ²)
Akının Güç Kanunu bölümü (0,5-10 keV)	$0,41 \pm 0,2$	
Bolometrik akıya NSA katılımı $\times 10^{-13}$	$1,7 \pm 0,4$	ergs/(sn cm ²)
İkinci Gözlem		Birimler
İndirgenmiş χ^2	0,66	
$N_H \times 10^{22}$	$0,7 \pm 0,2$	atom sayısı/cm ²
kT_{eff}	85 ± 5	eV
Akısı(0,5-10 keV) $\times 10^{-13}$	$0,9 \pm 0,3$	ergs/(sn cm ²)
Bolometrik akı $\times 10^{-13}$	$1,5 \pm 0,3$	ergs/(sn cm ²)

Kaynak için eski çalışmalarda farklı hidrojen kolon yoğunlukları kullanılmıştır. Bu hidrojen yoğunluklarının hepsi 10^{22} cm^{-2} olmak üzere 0,59 [6], 0,69 [7], 0,7 [8], 0,82 [9] olarak kullanılmıştır. Analizler yapılırken yukarıda tek tek açıklandığı gibi genel olarak kaynağa güç kanunu, ısıl Bremsstrahlung (ısıl ışıma), kara cisim, Compton ışıması, nötron yıldızı atmosferi gibi modeller uygulanmıştır.

2.6.2 Optik Gözlemleri

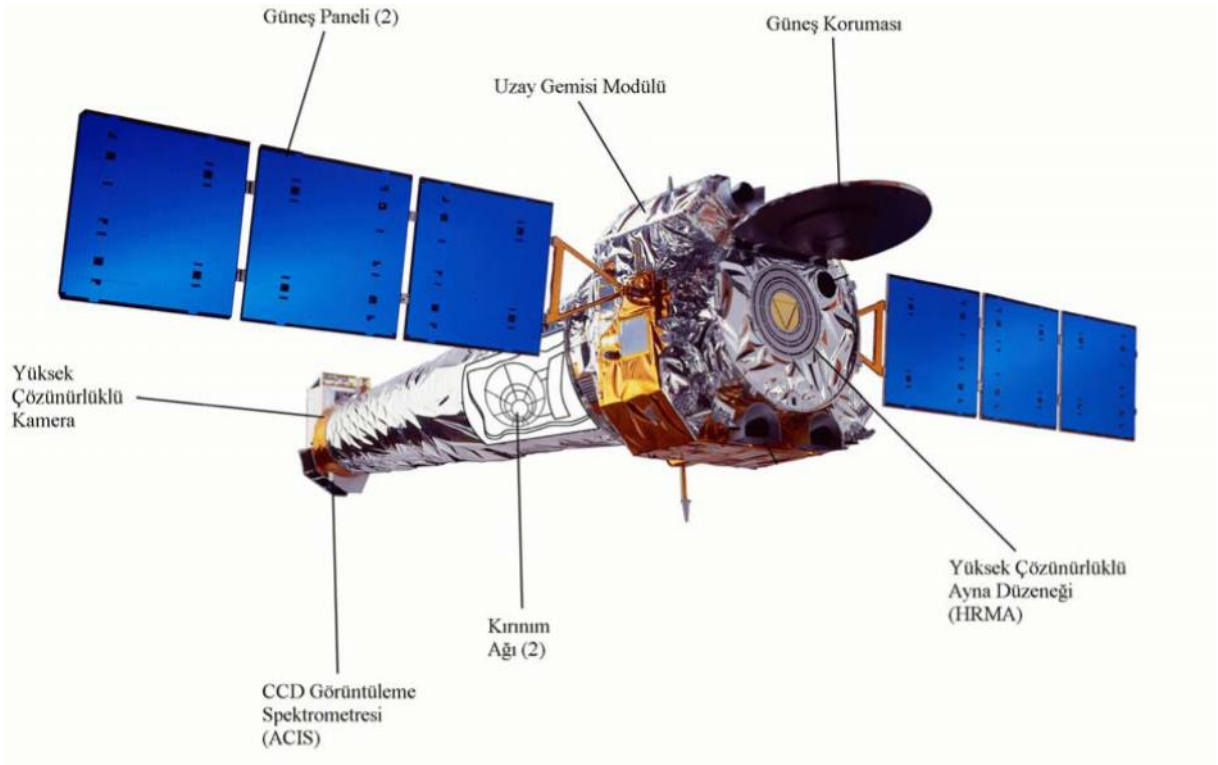
Verbunt ve diğeri [5] Sax J1748.9-2021'in 1998 ağustosunda NTT(New Technology telescope) tarafından Suberb Seeing Imager SUSI2 tarafından alınan verisini incelemiştir. NGC 6440'ın merkezinde birbirine yakın X-ışını kaynakları Sax J1748.9-2021, X1, X2, X3, C,V0, V1,V2 olmak üzere 7 yıldız bulunduğundan bu yıldızları ayırt etmek için filtrelerin açık-kapalı pozisyonlarında görüntüler alarak kaynağın optik verilerine ulaşmışlardır.

Bu kaynakların büyük kısmı V0'da dâhil olmak üzere parlak, kırmızı olarak görülmekteydi. Eğer X-ışını kaynağının optik emisyonun büyük kısmı düşük kütleli X-ışını ikililerinde olduğu gibi yığılma diski tarafından oluşturuluyorsa, optik parçasının mavi olması ve açık kapalı pozisyondaki parlaklık farkının büyük olması beklenir. O bölgedeki kayık yoğunluğundan dolayı parlaklığa bakıp karar verememiş olmalarına rağmen, açık-kapalı pozisyondaki farktan anlaşılmuştur. Bundan dolayı da V0'ın optik eşi olmadığı anlaşılmuştur [5].

V1 ve V2 açık-kapalı pozisyonda en çok parlaklık veren iki yıldız olmuştur. Eğer V1 ve V2 sürekli olmayan X-ışını kaynağının optik eşi ise, kapalı pozisyondaki görüntüsünde kaynağın sönüm döneminde optik akısına katkısının ihmal edilebilir olması gerektiğini beklemişlerdir. Açık pozisyondaki akı ise patlama dönemindeki kaynağın akısına eşit olmalıydı. V1 ve V2 için yaptıkları yaklaşımlardan sonra V2'nin optik eş olarak beklenen karakteristik özelliklerini tamamını taşıdığı gözlemlenmiştir [5].

BÖLÜM 3

CHANDRA UYDUSU



Şekil 3.1 Chandra uydusunun şematik bir görünümü [28]

Chandra X-ışın Uydusu, NASA tarafından 23 Temmuz 1999 tarihinde uzaya fırlatılmış, ünlü Hintli astrofizikçi S. Chandrasekhar'ın adına ithafen bu isim verilmiştir. Chandra, NASA'nın 4 büyük uydu projesinin X-ışın gözlem uydusudur (Şekil 3.1). NASA'nın Chandra X-ışın Uydusu

Columbia Uzay mekiği tarafından yerleştirildi ve bu şimdiye kadar inşa edilenlerin en üstünüydü [16]. Chandra yıldız patlamalarının kalıntıları gibi evrenin yüksek enerjili bölgesinden gelen X-ışınlarını gözlemlemek için dizayn edilmiştir [28].

Chandra'nın olağan dışı yörüngesi ancak Dünya'nın yüksek bir yörüngesinde gözlem yapabilmesi için itici güçlerle kurulan bir sistem geliştirildikten sonra başarılabilirdi. Elips şeklindeki yörüngenin tamamı için geçen süre 64 saat ve 18 dakikadır (Şekil 3.2).

Chandra uydusu, Dünya'nın etrafını kuşatan yüklü parçacıkların sebep olduğu Van Allen kemerlerinin üstündeki yörüngesinin yaklaşık olarak %85'ini harcar. Bu ona 55 saat süresince kesintisiz bir gözlem yapma olanağı sağlar ve böylece daha büyük bir zaman boyunca kullanışlı bir gözlem yapılmış olur [28].



Şekil 3.2 Chandra uydusunun yörüngesinin şematik görünümü [28]

Chandra uydusu yüksek çözünürlüklü aynaları (HRMA) sayesinde diğer X-ışını teleskoplarından 100 defa daha az ışınlı objelere karşı duyarlı olarak tasarlanmıştır.

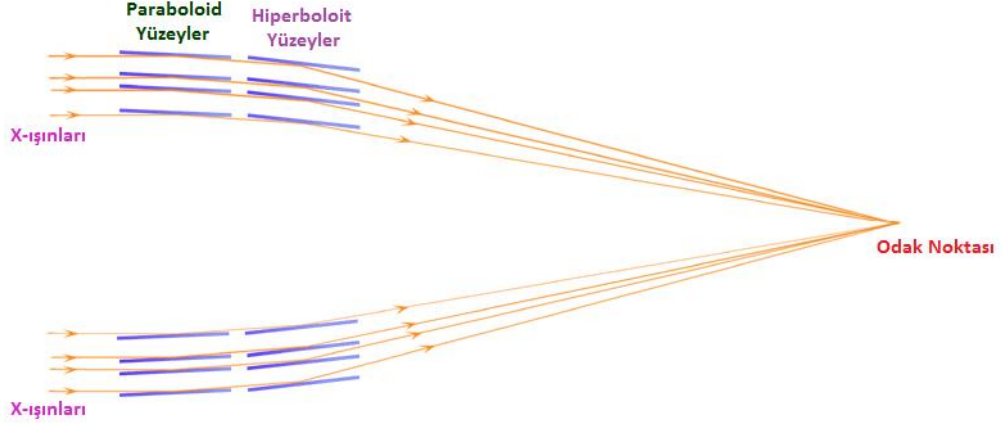
3.1 Chandra Donanımı

Chandra uydusu teleskop sistemi, bilimsel araçlar ve uydu olmak üzere 3 ana kısımdan oluşmaktadır.

3.1.1 Teleskop Sistemi

X-ışınları yüksek enerjilerinden dolayı aynalardan görünür ışıkların yansıdığı gibi yansımaz ve içine işlerler. Bundan dolayı Şekil 3.3'te görüldüğü gibi X-ışınları aynaya çok büyük açılarla gönderilip aynalardan sekmesi sağlanır. Bu aynalar X-ışınlarının geliş açısına nerdeyse paralel

bir şekilde yerleştirilip ışınların odak noktasına ulaşmasını sağlar. Bu yapılarından dolayı X-ışını teleskopları optik teleskoplardan daha farklıdır [28].

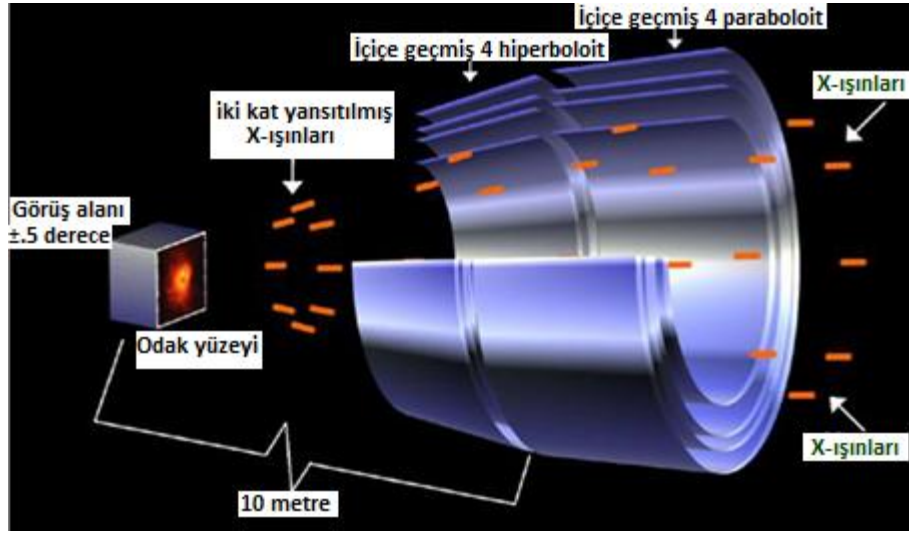


Şekil 3.3 X-ışınlarının aynalardan sektirilerek odak noktasına gidişi [28]

Chandra teleskop sisteminde 4 çift ayna bulunmaktadır. Bu aynalar bilim adamları ve mühendisler tarafından, nadir bulunan ve oldukça yüksek derecede yansıtan bir metal, iridyum ile kaplandı ve böylece daha pürüzsüz yapıldı. Bu aynalar, birbirine kombine edilmiş durumdadır ve X-ışınlarını odaklayacak şekilde ayarlanmışlardır (Şekil 3.4). Chandra uydusunun aynaları optik teleskopların içbükey şeklinden ziyade daha çok namluya benzer. Dört ayna teleskopa gelen yansımış ışınları arttırmak için iç içe geçmiş bir şekilde yerleştirilir. Chandra teleskop sistemi yarım mil öteden gazete sayfasının okunabileceği bir keskin görüşe sahiptir. Ve böylece ondan önceki X-ışını teleskoplarından daha net görüntü elde edilmesine olanak sağlar [28].

3.1.2 Bilimsel Araçlar

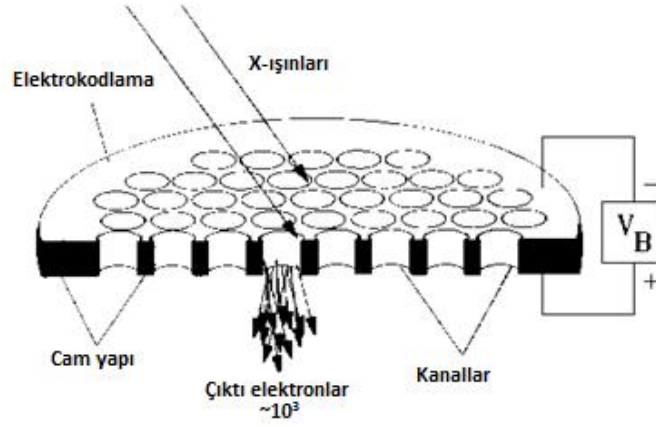
Chandra X-ışın Uydusu, astronomik kaynaklardan gelen X-ışınlarını yakalayıp analiz etmek için keskin görüntüleri düzenleyen birleşik aynalar ile gelen X-ışınlarını onların sayıları, enerjisi ve varış zamanı hakkında bilgi almamızı sağlayan dört aletten oluşmuştur. Aletler gökyüzü cisimlerinin X-ışın görüntülerini kaydetme ve analiz etme yeteneğine sahiptir ve onların fiziksel durumlarını bize daha doğru bir şekilde verebilir [28].



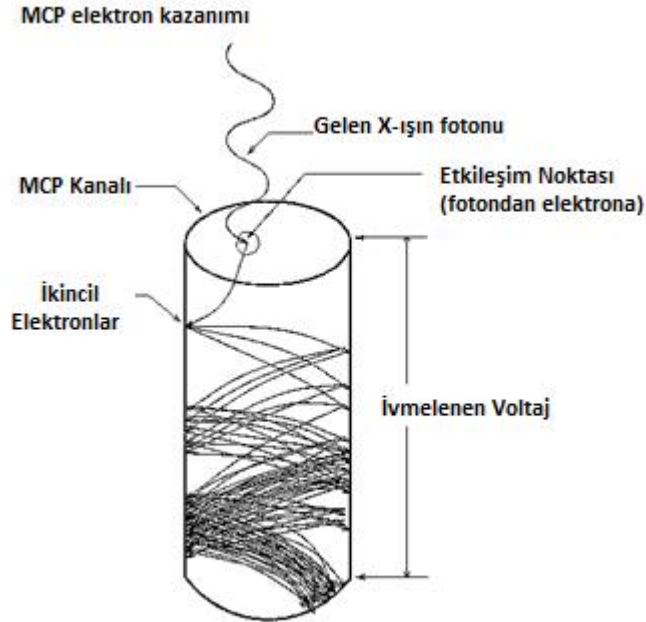
Şekil 3.4 Ayna elemanları [28]

3.1.3 Yüksek Çözünürlüklü Kamera (HRC)

Chandra'nın odağında kullanılan sekiz aynanın oluşturduğu düzenekten yansımış X-ışınlarını alan iki aletten birisi yüksek çözünürlüklü kameradır (HRC). HRC aynalar ile kullanıldığı zaman bir buçuk yay saniyeye kadar küçük detayları ortaya çıkarabilen görüntüler oluşturur. Bu yarım mil uzaklığındaki bir gazeteyi okuyabilme anlamına gelir. HRC'nin ilk bileşeni iki tane Mikro-Kanallı Plaktır (MCP). Her birinin yaklaşık çapı 10 mikrometre (insan saçının 1/8 inceliğinde) ve 1,2 milimetre uzunluğunda 69 milyon küçük kurşun-oksit cam tüplerden oluşan 10 cm² alanı vardır. Tüplerin, X-ışınları çarptığında elektronları serbest bırakabilen özel kaplamaları bulunmaktadır (Şekil 3.5). Bu elektronlar yüksek voltajla tüpten aşağıya doğru ivmelendirilir, böylece tüpün bir tarafına doğru tüpe düşen ivmelenmiş daha fazla elektron serbest kalır (Şekil 3.6). Bu elektronlar tüpün sonundan ayrılır ve otuz milyon elektronlu bir bulut oluştururlar. Tellerin çaprazlama girintileri bu elektronik sinyali alır ve X-ışınlarının kökeninin pozisyonunun yüksek bir doğrulukla belirlenmesini sağlar. Bu bilgilerle astronomlar, kozmik X-ışın kaynaklarının detaylı bir haritasını yapabilirler. HRC özellikle patlayan yıldızların kalıntıları içindeki sıcak madde ve uzak galaksiler, galaksi kümeleri ve belirli olmayan çok sönük kaynaklar için de kullanışlıdır [28].



Şekil 3.5 Mikro kanallı plak [28]

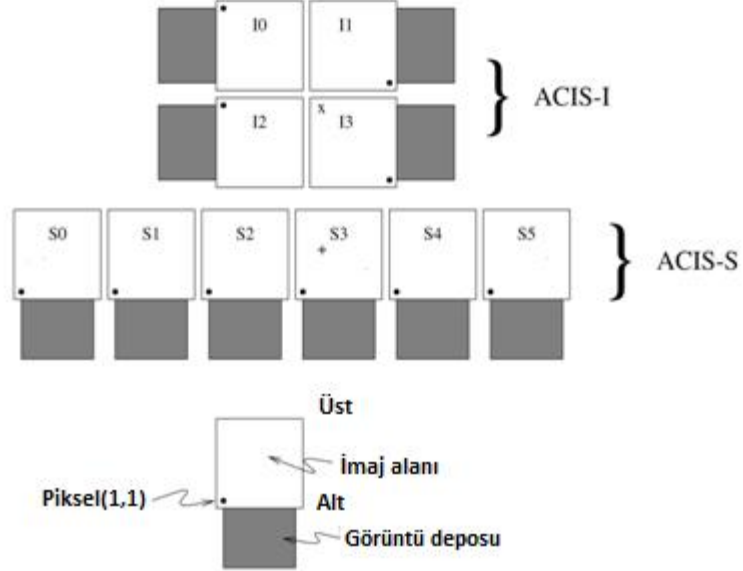


Şekil 3.6 Elektron hareketi [28]

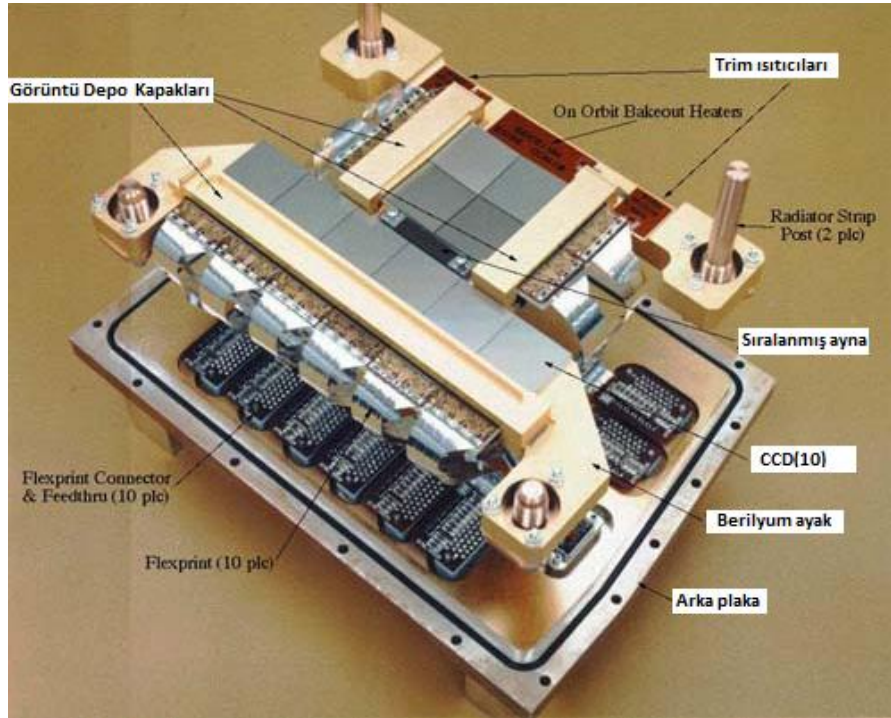
3.1.4 İleri CCD Görüntü Tayf Çekeri (ACIS)

Chandra ileri CCD Görüntü Tayf Çekeri (ACIS), iki odak düzlem aletinden birisidir (Şekil 3.7). Bu aletin ismi yük çiftlendirici aygıt düzenlemesinden yani Charged Couple Device (CCD) dan ibarettir. Bu alet aynı anda X-ışın görüntülerini yapabilir ve aynı zamanda gelen X-ışın fotonunun her birinin enerjisini ölçebilir (Şekil 3.8). Böylece bilim adamları tek bir kimyasal element tarafından üretilmiş cisimlerin sadece X-ışınlarını kullanarak resimlerini yapabilir,

örneğin oksijen, neon ya da demir iyonları tarafından üretilmiş ışığın süpernova kalıntısının bir görünümünü karşılaştırabilir [28].



Şekil 3.7 ACIS odaksal düzlem [28]



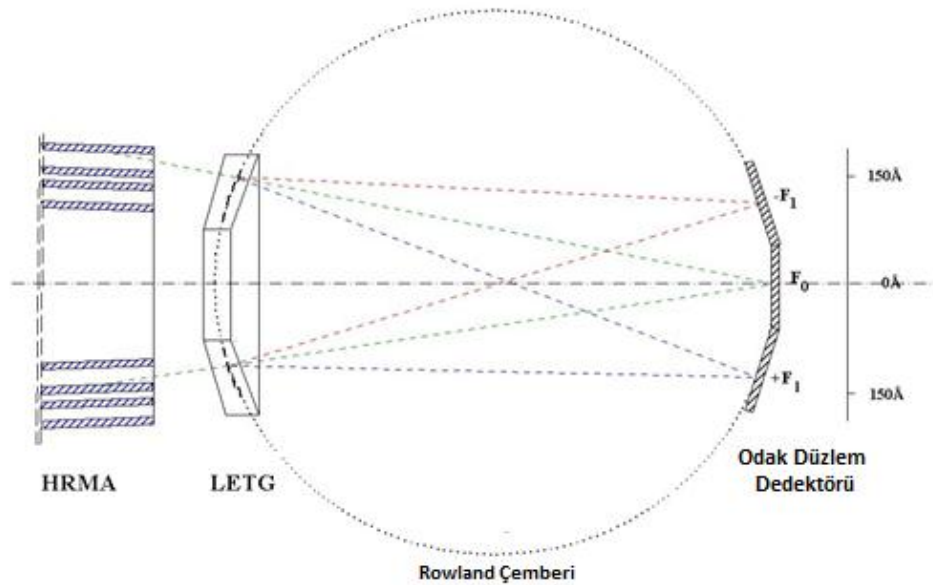
Şekil 3.8 İleri CCD görüntü tayf çakeri (ACIS) [28]

3.1.5 Yüksek çözünürlüklü Tayf Çekerler - HETGS ve LETGS

Yüksek çözünürlüklü Tayf Çeker için Chandra'da Yüksek Enerji Kırınım Ağı Tayf Çekeri (the High Energy Transmission Grating Spectrometer (HETGS)) ve Düşük Enerji Kırınım Ağı Tayf Çekeri (the Low Energy Transmission Grating Spectrometer (LETGS)) olmak üzere iki alet vardır. Her Tayf Çeker, aynaların arkasındaki yerinde döner şekilde aktif olarak çalışır. X-ışınlarını kırınımına uğratan bu süzgeçler, X-ışın enerjilerine hassas bir şekilde bağlı kalarak onların doğrultusunu değiştirirler. Odak düzlemi kameraları HRC veya ACIS'den biri X-ışın kırınımının yerini belirler [28].

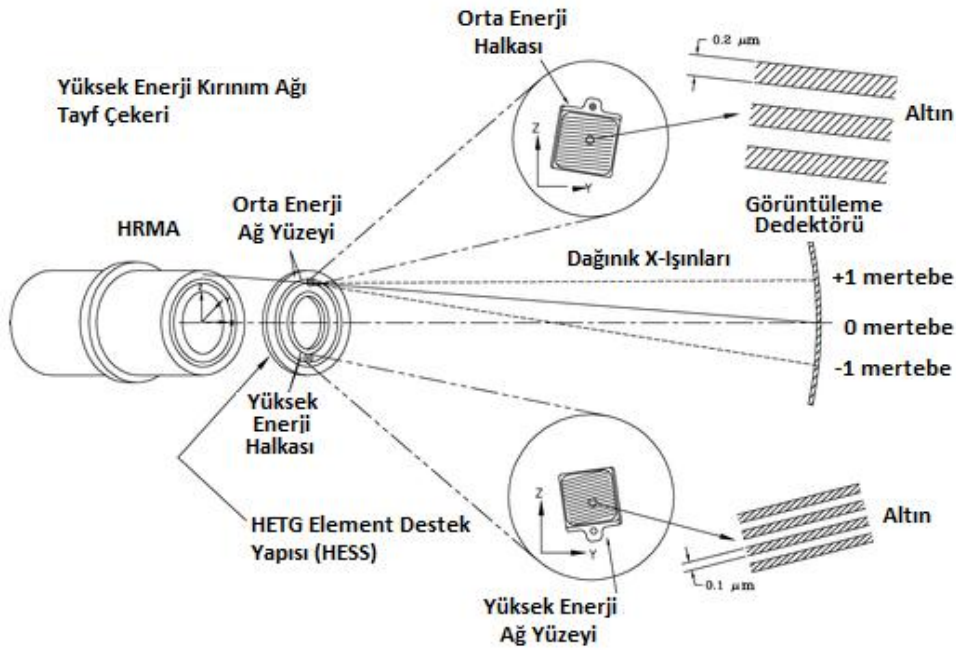
Kırınım ağlarından yararlanarak yüksek çözünürlüklü X-ışın tayfının oluşumu için Chandra'nın odağındaki keskin aynalar ve çözünürlük detektörü eşleştirilmelidir. Kırınım ağı tayfları, enerjiyi binde birden daha yüksek bir doğrulukla ölçebildiği için enerji tayfı detaylarının öğrenilmesinde, tek X-ışın çizgilerini ayırt etmede kullanılır. Bu, sıcaklık, iyonizasyon ve kimyasal bileşimleri anlamamızı sağlar.

LETG kırınım ağı, tellerin düzenli aralıklarla veya belli bir periyotla dizilmesinden oluşur (Şekil 3.9). Saf altın teller 25,4 μm ile doğrusal bir şekilde veya 2 mm aralıkla kabaca üçgensel bir ağ düzenlemesi şeklinde iki farklı destek yapısıyla düzenlenir. LETG kırınım ağı 0,08 keV ile 2 keV enerji aralığını kapsayacak bir şekilde dizayn edilmiş olmasına rağmen LETG kırınımı görünür ışığın altında güzel bir şekilde görülebilir [28].

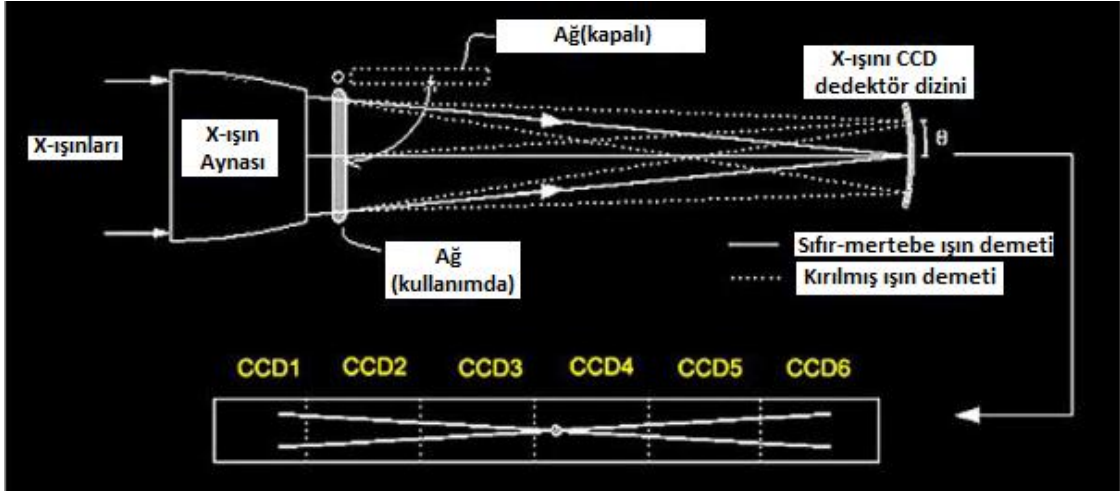


Şekil 3.9 LETGS - Düşük enerji kırınım ağı Tayf Çekeri [28]

HETG kırınım ağı ise yüksek enerji kırınimleri için $0,2 \mu\text{m}$ veya 2000 \AA ve orta enerji kırınımı için $0,4 \mu\text{m}$ veya 4000 \AA olmak üzere daha ince bir periyoda sahiptir. Onları ayırt etmek için ağlar çok az farklı açılarla yerleştirilir ve böylece X-ışınları odak düzleminde kırınıma uğrar. Altın kırınım ağ çubukların büyüklükleri görünür ışığın dalga boyundan daha küçüktür ve bunların yapımı için özel fabrikasyon teknikleri gereklidir. Altın çubuklar X-ışınlarına karşı kısmen geçirgendir ve bundan dolayı kırınım daha verimli bir şekilde X-ışınlarını yüksek çözünürlüklü tayfta yakalanmasını sağlar. HETGS ağları $0,4-10 \text{ keV}$ enerji aralığındaki enerjiyi kapsayacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11).



Şekil 3.10 HETGS – Yüksek enerji kırınım ağı Tayf Çekeri [28]



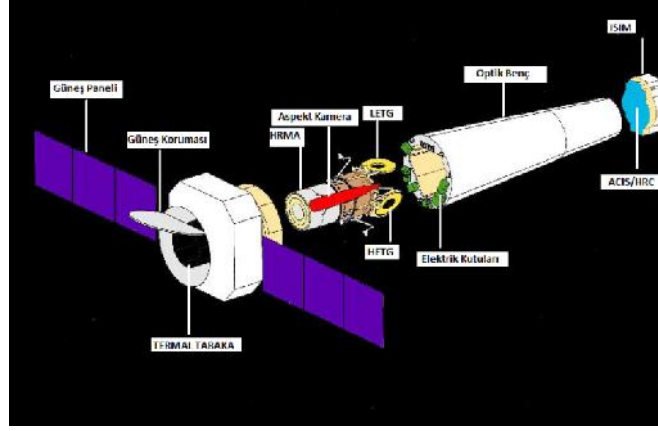
Şekil 3.11 HETGS – Yüksek enerji kırınım ağı Tayf Çekeri [28]

3.1.6 Operasyonlar

Odak düzlemi aletleri Science Instrument Module (SIM) üzerine monte edilir. SIM, bilim aletlerinin odaksal düzlem içerisindeki hareketli mekanizmalarını içerir. SIM’de ayrıca ısısal kontrol için yalıtım mekanizmaları ile bilim aletlerinin iletişimi, komut ve veri yönetiminin operasyonlarını kontrol etmek için elektronik sistemler vardır.

Bilim aletleri Cambridge, Massachusetts’deki Operasyon Kontrol Merkezinden komutlar ile kontrol edilir. Gözlemlerin ön planları daha sonra kullanılmak üzere bilgisayarlara kaydedilir. Chandra gözlemlerinden toplanan veriler, düzenli bir şekilde Deep Space (derin uzay) ağ bağlantısı ile her sekiz saatte bir yere gönderilmek üzere kaydediciler tarafından depolanır. Bu veriler önce Cambridge’deki Chandra X-ışın Merkezindeki Jet Propulsion Laboratuvarına ve oradan da Operasyon Kontrolü bölümüne bilim adamlarının analizi için gönderilir [28].

Chandra Uydusu



Şekil 3.12 Uydu yapısı [28]

Uydu, yapı desteği ve teleskop için gerekli çevre ve bir uydu olarak çalışması için bilimsel aletleri olan bir sistemdir (Şekil 3.12).

Uyduya hareket sağlamak için Chandra iki farklı düzenleyici roketle sahiptir; itici güç ve momentum boşaltması. İtici roketler ateşlemenin hemen ardından Chandra'nın oldukça yüksek irtifadaki eliptik olan son yörüngesine yerleşmesi için kullanılır. Momentum boşaltıcı roketler ise, periyodik olarak Chandra'ya tork üretmek için ve Chandra'nın irtifasını kontrol edilmesini sağlayan reaksiyon tekerleklerindeki birikmiş momentumu azaltmak için kullanılır [28].

Kritik bileşenlerin sıcaklıklarını kontrol etmek için Chandra'nın termal kontrol sistemi radyatör, yalıtkanlar, ısıtıcılar ve termostatları içerir. X-ışını aynalarının sıcaklık değerleri aynaların odakta kalmaları için iyi kontrol edilmeleri özellikle önemlidir. Uydunun birçok kısmının sıcaklığı sürekli bir şekilde kontrol edilir ve görev yerine geri rapor edilir [28].

Chandra'nın elektriksel gücü güneş panellerinden gelir. Gelen bu enerji, üç tane batarya bankasında depolanır ve elektriksel güç sistemi tarafından düzenli ve dikkatli bir şekilde dağıtılır. Güneş panelleri; ısıtıcılar, bilimsel aletler, bilgisayarlar, geçiriciler v.b. için yaklaşık olarak iki kilo watt enerji üretirler.

Radyasyonun teleskopa geldiği yerde konumlanan ve uydunun önünde yer alan güneş şemsiye kapısı, uydu sisteminin en basit ve en önemli elemanıdır. Chandra, yörüngesindeki kontrol noktasını yerleşene kadar güneş şemsiye kapısı kapalıdır. Teleskopun girişine yapacağı gölgelik için güneşe 45 dereceye kadar kapanabilmesine izin verir [28].

Kontrol noktası ve belirlenme sistemi yönü için jiroskop, bir yön kamerası, dünya ve güneş sensörleri ve teleskop her nerede olursa olsun çok yüksek bir doğrulukla kontrol edilebilmesi için reaksiyon tekerlekleri vardır. Bu sistem, uyduya konulması acil durumlarda güvenli modda operasyonları gerçekleştirebilmek için gereklidir [28].

İletişim, kontrol ve veri yönetici sistemi uydunun sinir merkezidir. Bunlar, uydunun yörüngede kalmasını, sensörlerinin görüntülenmesini, uyduya yerden gelen komutlarını alıp gerçekleştirmesini, aletlerden gelen verilerin depolanmasını ve işleme sokulmasını ve bu verilerin gönderilmesini sağlar.

Chandra, alçak mevkide iki antene sahiptir. Bu antenlerden birisi Chandra'nın Operasyon Kontrol Sistemi (OCC) ile çift yönlü iletişimini sağlamaktadır. Uzaktan ölçüm verileri ile Chandra üzerinden gelen veya giden bütün yer komutları bu antenin üzerinden yapılır. Deep Space network ağ istasyonlarından Jet Propulsion Laboratuvarına ve oradan da Cambridge, MA'de Chandra X Işın (CXC) Merkezindeki Operasyon Kontrol Merkezine gönderilirler. Buradaki veri işlemden geçirilip bilim adamları tarafından yorumlandıktan sonra herkese açık olan arşivlere konur [28].

BÖLÜM 4

ANALİZLER

4.1 Veriyi Analize Hazırlama ve Veri Analizi

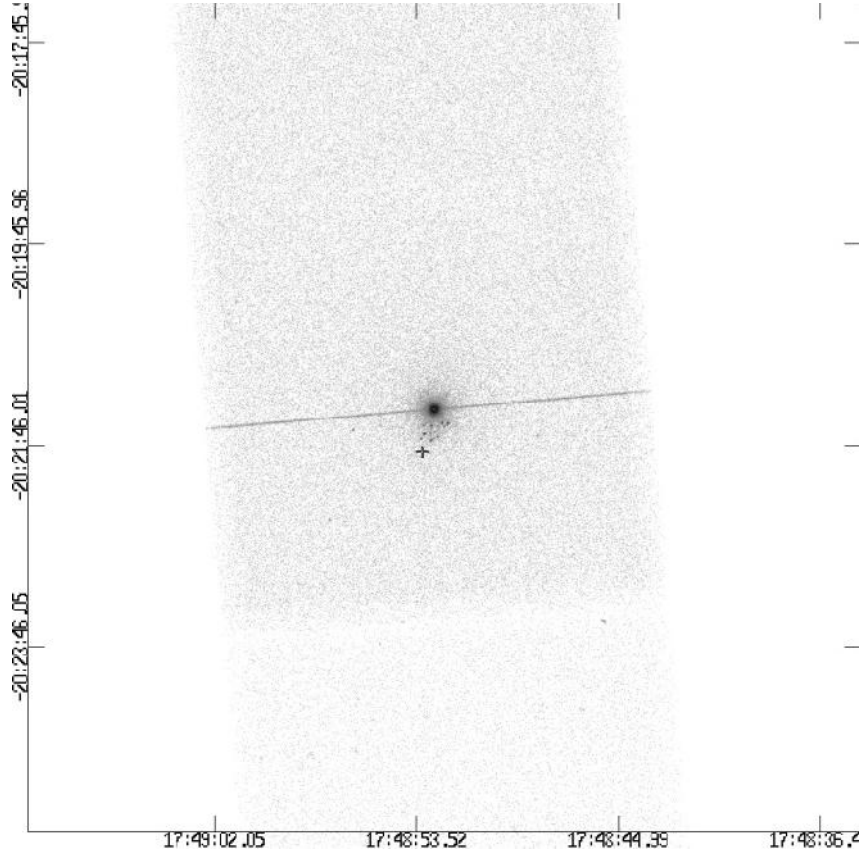
İncelenecek kaynak belirlendikten sonra NASA'nın

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/db-perl/W3Browse/w3browse.pl>

sitesinden yıldızın Chandra uydusu tarafından alınan veri dosyası kullanıldı. Bu tez çalışmasında 2009-07-28 15:05:44 tarihinde 50370 saniye boyunca alınıp 2010-07-29 tarihinde yayınlanan verinin analizi yapıldı.

4.2 Kaynak Görüntüleme ve Arka Plan Işınımı

Bu verinin içinde yıldızın ilk görüntüsünü Şekil 4.1 'de görebilirsiniz. Görüntünün x ekseninde sağ açıklık RA değerleri, y ekseninde ise dik açıklık DEC değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Kaynağın Chandra ile alınmış ilk görüntüsü

Chandra X-ışını uydusu ile alınan veriler bu verilerin kalibrasyonu için hazırlanan *CIAO* isimli program kullanılarak analiz edildi. Programın çalıştırılmasında Linux-Unix tabanlı işletim sisteminin kullanılması önerilmektedir. Analiz işlemine geçilmeden önce terminal(console) ile indirilen veri arasındaki ayarlar yapılarak analiz için gerekli komutlar çalıştırılır.

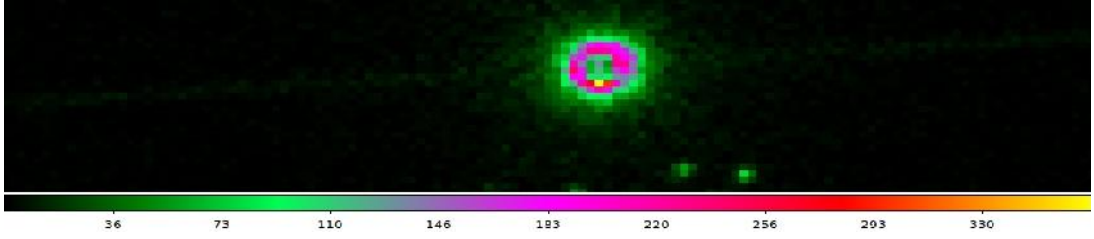
Çalışmada *CIAO* programının en son versiyonu olan 4.3 versiyonu kullanılmıştır. Chandra uydusu veri analizi sırasında veri arşivi tarafından dosyanın içinde bulunan standart kötü piksel (bad pixel) dosyası kullanılmaması gerektiğinden onun yerine analiz sırasında en önemli veri olan seviye 2 olay dosyası (level 2 event file) *evt2.fits* uzantılı dosyası kullanıldı.

Tezde ACIS dedektörü ile elde edilen CCD spektrumları kullanılmıştır. Bu spektrumları elde etmek için, bir kaynak ve bir arka alan bölgesi CCD üzerinden birbirlerine mümkün olduğunca yakın yerlerden seçildi. İkili X-ışını olduğu için arka bölge simit şeklinde seçildi. Bu bölgeler seçildikten sonra *psextract* isimli rutin kullanılarak spektrumlar elde edildi. *mkacisrmf* rutini ile bu dosya yeniden üretildi ve bu dosya kullanıldı.

Analizin ilk aşamasında ışık eğrisi elde edilir. Işık eğrisi incelenip filtreleme yapılacak aralık belirlenir. Filtreleme işlemi, alınan ham veri içinde kaynağa ait olmayan dış etkilerden kurtulmak amacıyla yapılmaktadır. Filtreleme aralığı belirlendikten sonra ilgili komutla kısıtlama aralığı oluşturulur. Kaynağa ait temizlenmiş veri ve kısıtlama aralığı oluşturularak elde edilmiş dosya tüm analiz boyunca kullanılır.

Temizlenmiş veri üzerinde 0,2-10 keV enerji aralığında görüntüler oluşturduk. Bu aralığı seçme sebebimiz Chandra'nın bu aralıkta data almış olmasıydı. Oluşturduğumuz ışık eğrilerini her bir aralıkta farklı sayılarda veri noktası olacak şekilde saniyelik zaman dilimleri seçildi.

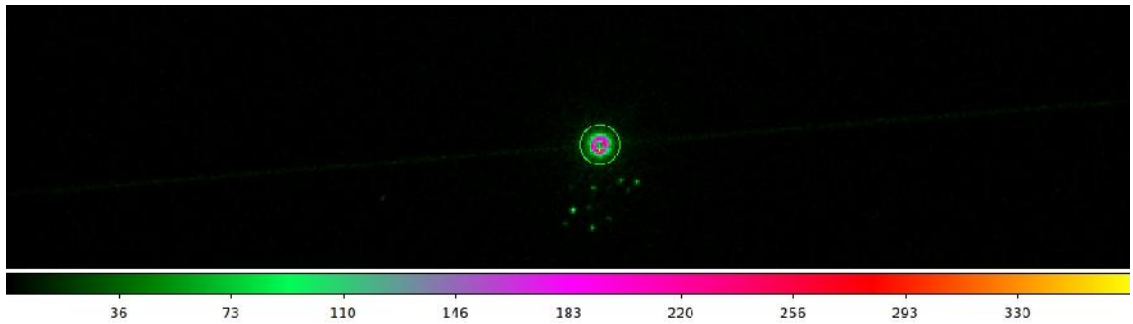
Öncelikle evt2 uzantılı dosyamızı ds9 ile görüntüsünü almak üzere açıyoruz (Şekil 4.1).



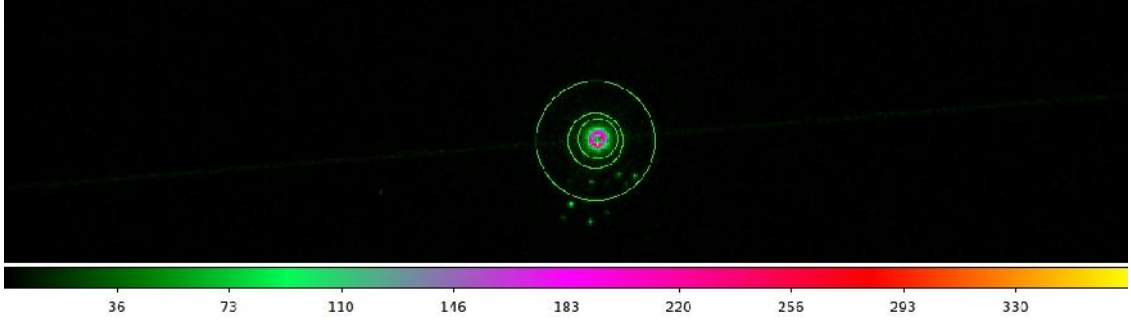
Şekil 4.2 Kaynağın görüntüsü

X eksenindeki sayılar pikselleri renkler ise enerji miktarını gösterir. Yani gözlemciye gelen akılara karşılık piksel sayısıdır.

Açtığımız dosya üzerinde kaynak ve arka alanımızı seçip kaydediyoruz (Şekil 4.3, Şekil 4.4). Kaynak için seçtiğimiz çember sırayla x, y, r olmak üzere (4111.0598, 4148.2348, 9.1708) şeklindedir. Arka alan için ise x, y, r_{iç}, r_{dış} (4109.9605, 4147.5839, 12.5491, 26.9335) şeklinde belirlenmiştir.



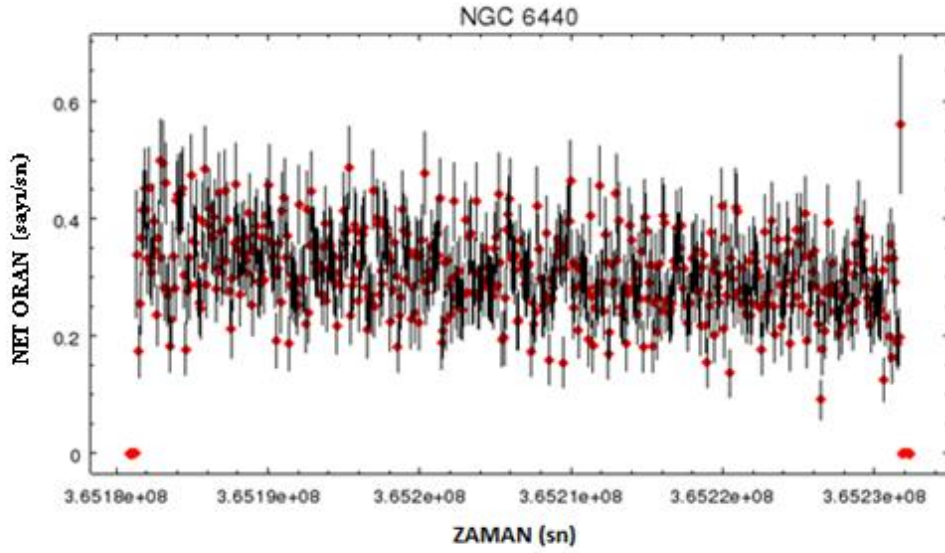
Şekil 4.3 Kaynak alanı seçilmiş görüntü



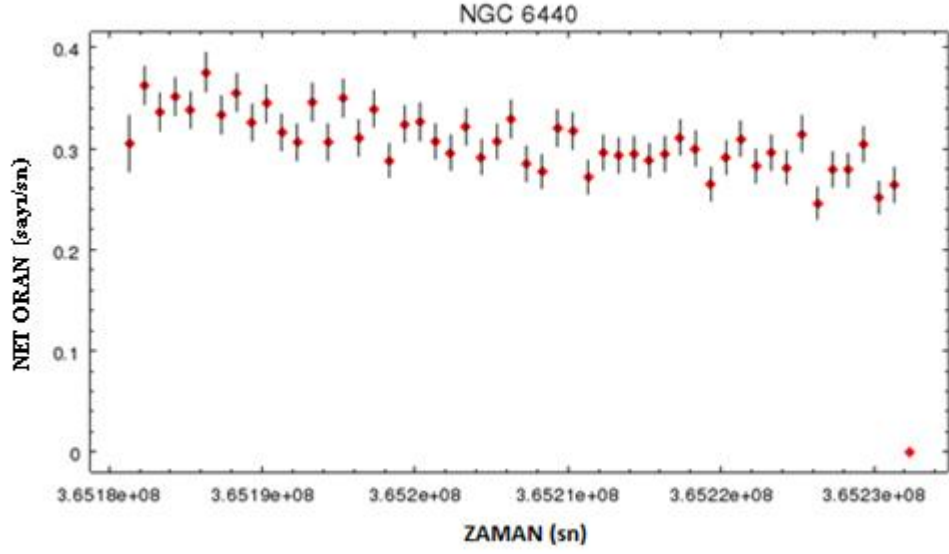
Şekil 4.4 Kaynak ve arka alan seçilmiş görüntü

4.3 Kaynağın Işık Eğrisi

Seçtiğimiz arka alan ve kaynak dosyalarını kullanarak CHIPS programıyla bütün veriyi öncelikle saniyelik zaman dilimleri seçme yöntemiyle belirli aralıklarla veri noktası vermesini sağladık (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Işık eğrisi gelen X-ışını fotonlarının zamanla olan bağlantıları hakkında bilgi verir.

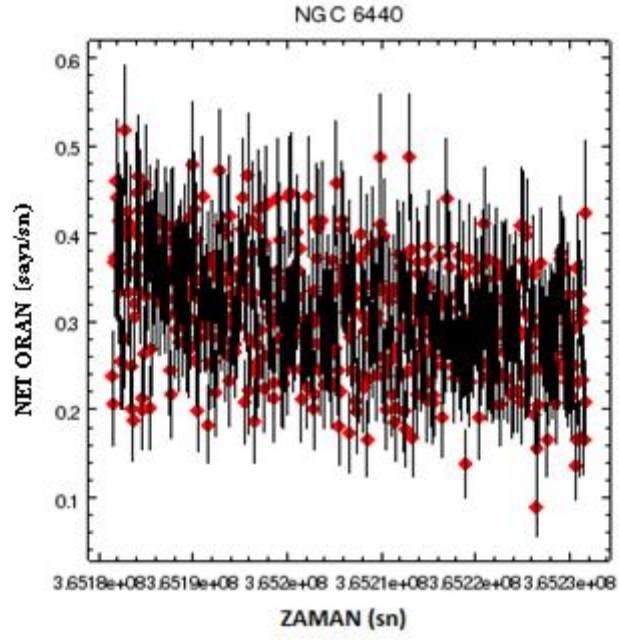


Şekil 4.5 100 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi

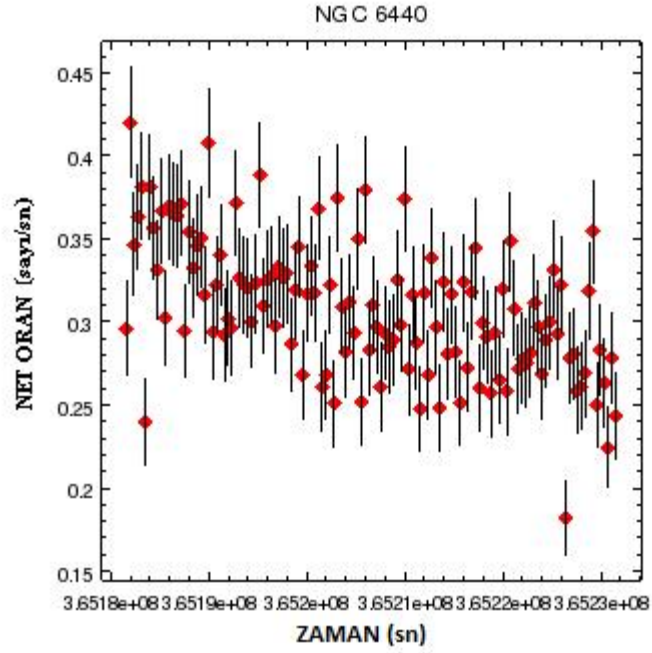


Şekil 4.6 1000 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi

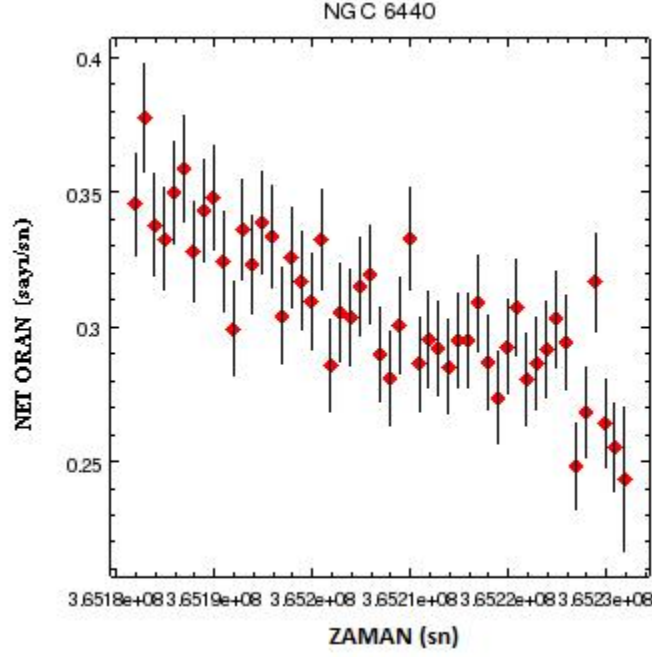
Yukarıdaki iki ışık eğrisinden de anlaşılacağı gibi en başta ve en sonda 0 ve çok yüksek olan değerler vardır. Bunlar ışık eğrimizi etkileyeceği için öncelikle bu kısımları zamanı sınırlandırdık. Bunu yaparkende 10 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş bir ışık eğrisinin dosyasındaki verilere bakarak bu sınırlandırmayı belirledik. Tekrar bu aralıklar için ışık eğrilerini çizdirdik (Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.7 Aralık temizlendikten sonra 100 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi



Şekil 4.8 Aralık temizlendikten sonra 400 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi



Şekil 4.9 Aralık temizlendikten sonra 1000 saniyelik zaman dilimleri seçilmiş verinin ışık eğrisi. Işık eğrilerini oluşturduktan sonra kaynağa ait temizlenmiş veri kullanılarak SHERPA programı yardımıyla kaynağın tayfı oluşturulur. Program aktif hale getirilmeden detektörleri için .pi, .rmf., .arf. uzantılı dosyalar oluşturulur. X-ışın verilerinden elde edilen tayfa teorik tayf modelleri uygulanır. Böylece kaynağın merkezinde X-ışını yayan gazın yapısı belirlenmeye çalışılır.

4.4 Kuramsal Tayf Modelleri

Uzaydaki cisimlerden X-ışınları çeşitli mekanizmalarla yayılmaktadır. Bu ışınlar için yapılan temel öneriler milyonlarca derece Kelvin sıcaklıktaki cisimlerden ısısal ışınlar, manyetik alan etkisinde hareket eden enerjik kozmik ışın elektronları ve yıldız ışığı ya da microdalga fotonları ile çarpışan kozmik ışın elektronlarının ters Compton saçılması şeklinde açıklanır. Termal ışın, optik olarak ince gazdan ısısal Bremsstrahlung, optik olarak kalın objelerden ise kara cisim ışınması şeklinde olabilir.

X-ışını modellerinin genel denklemi kullanılan parametreler; C sabit, N_H hidrojen kolon yoğunluğu, $\sigma_H(E)$ yıldızlararası madde tarafından emilen foton enerjisi için fotoelektrik kesit

alanı başına düşen hidrojen atomu, S iç spektral şekildeki parametre olmak üzere model fonksiyonu f(E);

$$f(E) = C e^{-\sigma_H(E) N_H} f(S,E) \text{ foton sayısı} \times \text{cm}^{-2} \text{ sn}^{-1} \text{ keV}^{-1} \quad (4.1)$$

olarak verilir.

Kaynağın tayf analizini yaparken temel olarak ısısal Bremstrahlung, güç kanunu ve kara cisim ışımalarını kullanacağımızdan sırasıyla her bir model için kuramsal modeli aşağıda incelenmiştir.

Isısal Bremsstrahlung: 10^7 K sıcaklığın üzerindeki sıcak gazlar eğer optik olarak incelense ısısal Bremstrahlung yoluyla X-ışını yayarlar. Optik olarak ince gaz kendi ışımalarını absorbe edecek kadar kalın ve yoğundur. Yani X-ışınlarının üretilmesiyle gözlemlenmesi aynı anda olur. 10^7 K sıcaklığın üzerindeki gaz plazmalarında elementler çoğunlukla iyonize halde olurlar ve bundan dolayı emisyon süreçlerinin büyük kısmı ısısal Bremsstrahlung yoluyla olur. Basit olarak ısısal Bremsstrahlung hareket eden bir elektronun yüklü bir nükleusun yanından geçerken onun etkisiyle parabolik bir eğri şeklinde yol alıp bu sırada ışımaya başlaması olarak ifade edilebilir.

Isısal Bremstrahlung için Kellogg ve diğerleri [29] tarafından verilen

$g(T,E) = 0.9(kT/E)^{0.3+E/200}$ gaunt faktör olmak üzere;

$$S = T, f(S,E) = g(T,E)e^{-E/kT} / E(kT)^{1/2} \quad (4.2)$$

olarak hesaplanır.

Kara Cisim: Termal ışımalardan bir diğeri ise kara cisim ışımasıdır. Kara cisim ışımalarını ise optik olarak kalın ve sıcak cisimler yapar. Çünkü optik olarak kalın cisimler hem emilim hem yayılımdan etkilenirler. Çünkü Bremstrahlung kaynağı kendi ışımalarını absorbe edebilecek kadar kalındır ve bu kaynaklarda kara cisim ışıması da görülebilmektedir. Sıcak bir nötron yıldızında ısısal Bremstrahlung ve kara cisim ışımalarının ikisi birden gözlemlenebilir. Kara cisim ışıması sadece ortamın sıcaklığına bağlıdır ve X-ışını ışımaya denklemi;

$$S = T, f(S,E) = E^2 / [e^{-E/kT} - 1] \quad (4.3)$$

olarak verilir.

Güç Kanunu: Termal olmayan ışımaya yöntemi ise genel olarak güç kanunu modeli ile açıklanır. Işıma manyetik alan içerisinde ivmelenip dairesel bir yolda hareket eden bağlı elektron tarafından yapılır. Elektron manyetik alanın gücünden dolayı alan çizgilerine dik olacak şekilde hareket eder. Manyetik alanın elektronlar üzerine uyguladığı kuvvet elektronların manyetik alan çizgileri etrafında dairesel yörüngeler halinde hareket etmesine sebep olur. Bu hareket sırasında elektron ivmelendiği için etrafa elektro manyetik ışımaya yapar. Işımanın iki temel özelliği vardır; ilki polarize olmuş bir ışımaya olması, ikincisi ise ışımaya güç kanunu yoluyla olmasıdır. Işımanın polarize olmasının sebebi hareketin ivmesinin manyetik alan çizgi yönüne dik olmasındandır, bundan dolayı da elektrik vektörü ivme yönündedir.

Güç Kanunu için X-ışını denklemini ise;

$$S = n, f(S,E) = E^{-n} \quad (4.4)$$

şeklindedir.

4.5 Kaynağın Tayf Analizi

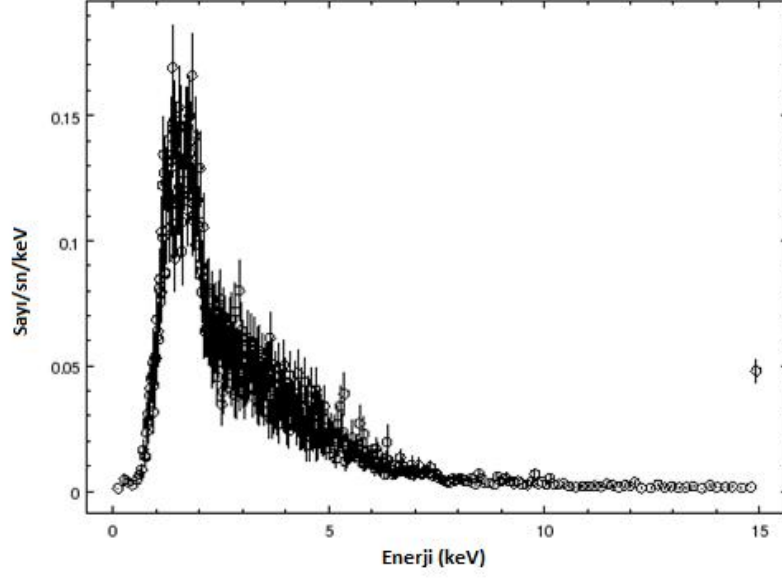
Sax J1748.9-2021'in X-ışını ışık eğrisi 50370 sn boyunca gözlemlenmiştir. Arka alan çıkarılmış ve enerjisi 0,2-10keV aralığında filtrelenmiştir. Modeller uyum analizleri de bu aralıkta yapılmıştır. Uyum derecesi χ^2 testi (ki kare testi) ile hesaplanmıştır.

Analiz sırasında Sherpa programı tarafından kullanılan modelleri sırasıyla açıklayalım. Modellerin başlarındaki xs'ler bu modellerin xspec modelleri olduğu anlamına gelir. XSPEC Sherpa gibi model uygulamaları yapılan bir programdır.

Modeller önce tek tek gözlem verilerine uygulanmışlardır. Her bir model için N_H serbest bırakılmış daha sonra kolon değeri $0,82 \times 10^{22}$ ve $0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm²'ye sabitlenip değerlerde değişim olup olmadığı gözlemlenmiştir. İndirgenmiş χ^2 değeri 1'e yakın olan değerlerin modelleri kaynağımız için daha uyumlu olduğu anlamına gelir. İndirgenmiş χ^2 , χ^2 'in normalize edilmiş yani serbestlik derecesine bölünmüş halidir. $\gamma_i^{göz}$ ve γ_i^{bek} sırasıyla gözlemlenen frekans ve beklenen frekans, N serbestlik derecesi, σ_i varyans olmak üzere denklem 4.5'teki gibi bulunur [30].

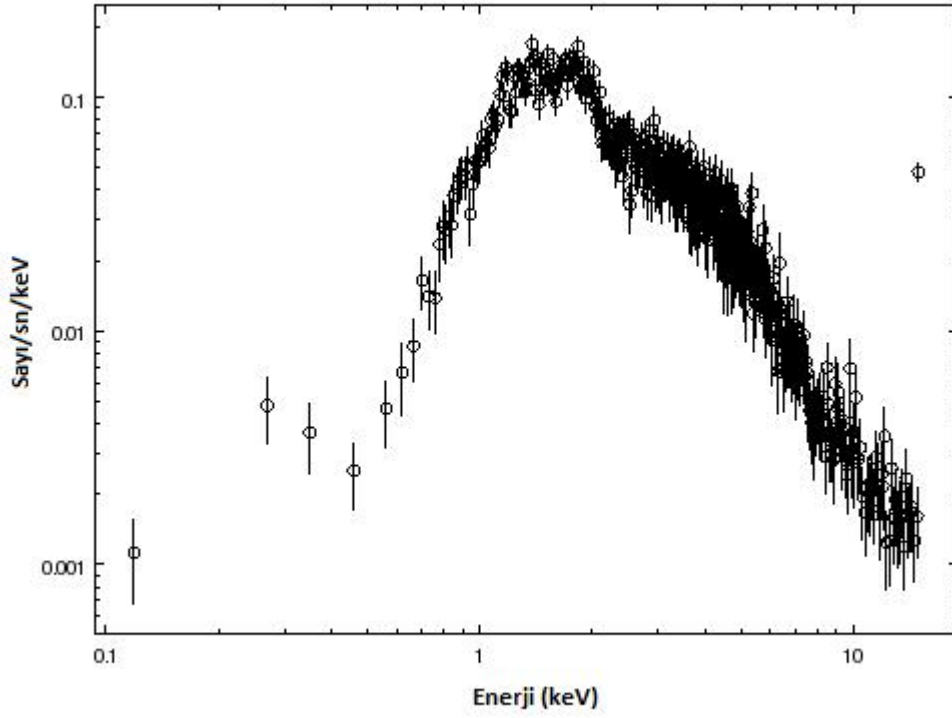
$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N \frac{(\gamma_i^{göz} - \gamma_i^{bek})^2}{\sigma_i^2} \quad (4.5)$$

İlk olarak Sherpa yardımıyla arka alan çıkarılmış kaynağın tayfını çıkardık (Şekil 4.10).



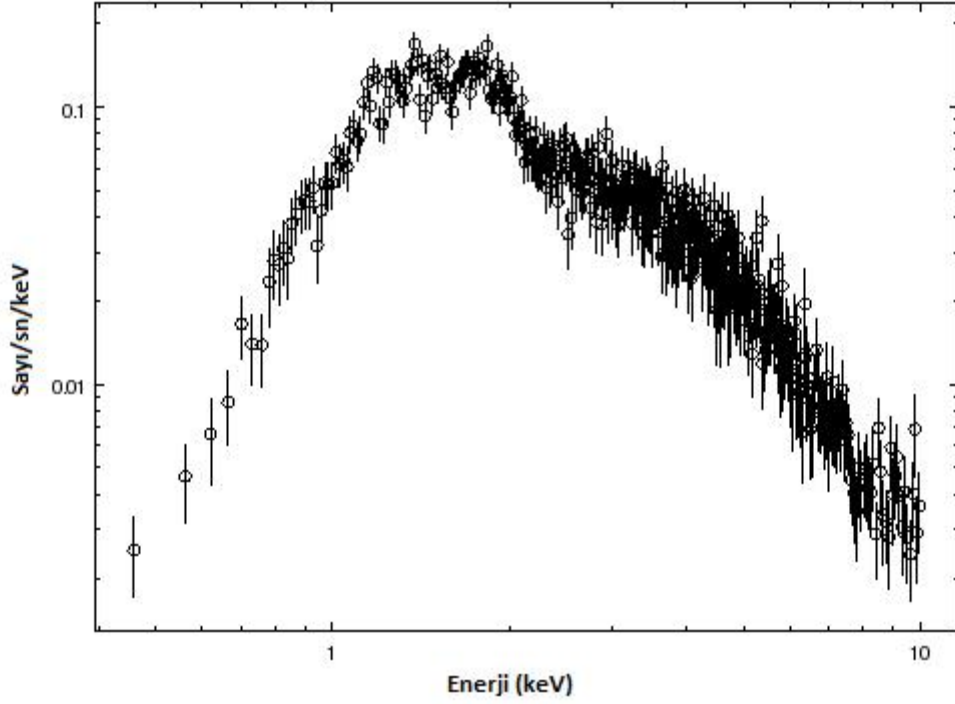
Şekil 4.10 Kaynağın 0,2-15 keV aralığındaki tayfı

Chandra'da 0,2-10 keV aralığında veri alındığı için enerji aralığını 0,2-10 keV aralığında filtreledik ve spektral tayfta modellerin uyum göstermesi ve daha kolay yorumlayabilmek için logaritmik olarak eksenlere yerleştirmeye karar verip logaritmik olarak tekrar çizdirdik (Şekil 4.11).



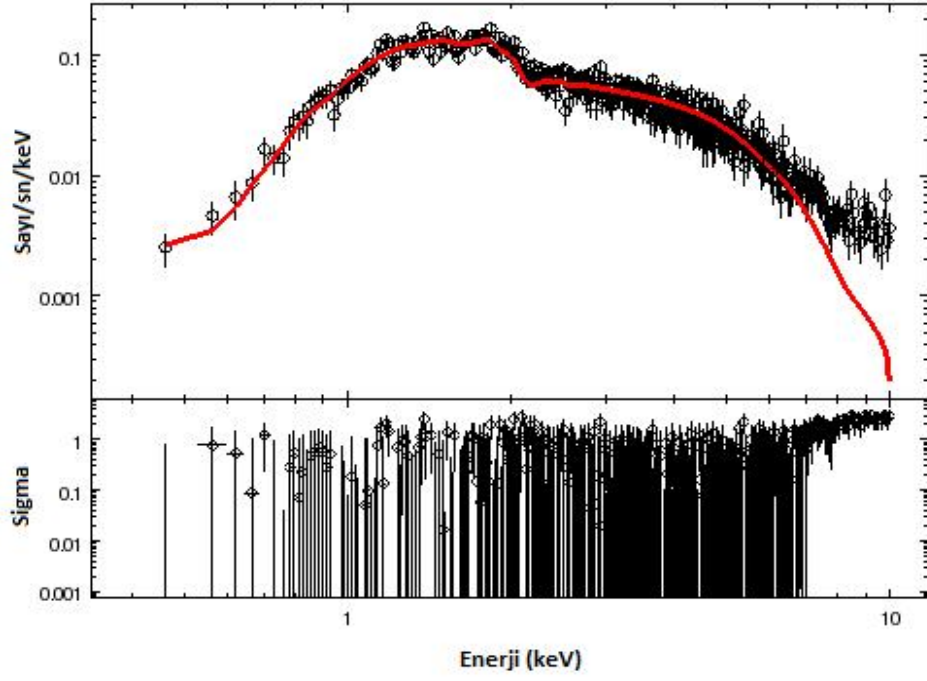
Şekil 4.11 Kaynağın 0,2-10 keV aralığındaki logaritmik tayfı

Logaritmik olarak çizdirdiğimizde 0,5 keV'dan küçük enerjide olan verilerin sınırlı sayıda olduğunu ve güvenilir olmadığını gördük. Bunun üzerine aralığımızı tekrar gözden geçirip 0,5 keV'dan başlattık (Şekil 4.12).

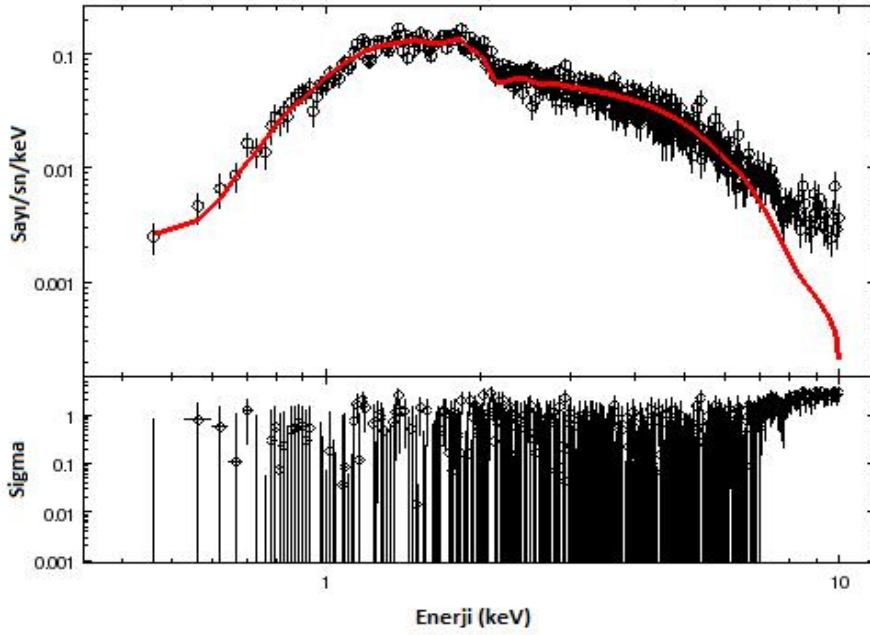


Şekil 4.12 Kaynağın 0,5-10 keV aralığındaki logaritmik tayfı

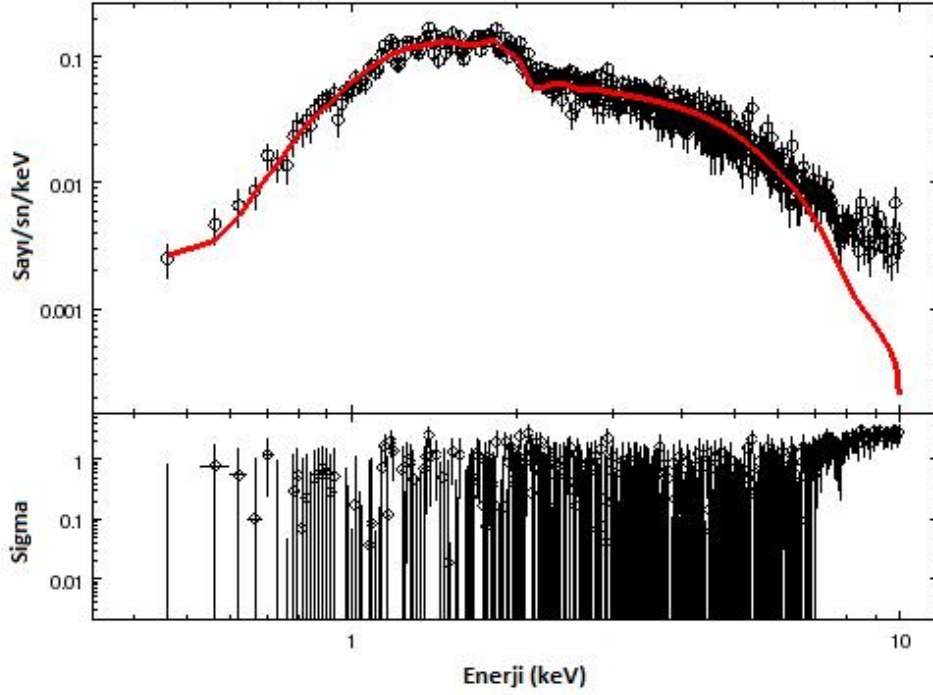
Modelleri fit etmeden önce önceki makalelerden yola çıkarak hidrojen kolon yoğunluğunu belirledik; $N_H = 0,82 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$. Bu değer en son makalelerde kullanılan değerdi. N_H değerini sabit tutmamız gerektiğinde bu değere sabitledik. 0,5-10 keV aralığında modelleri uygulamaya başladık. Bu aralıkta 403 tane veri noktamız bulunmaktadır. Fakat aşağıdaki şekillerde görebileceğiniz üzere bu aralıktaki modellerin en uyumlu olanları dahi 7 keV'tan sonra uyum göstermemektedir. Bundan dolayı bir sonraki adımda analizleri 0,5-7 keV aralığında uyguladık. Çünkü, muhtemelen 7-10 keV aralığına ait veriler, alet kaynaklı problematik verilerdir.



Şekil 4.13 0,5-10 keV aralığında ısısal Bremsstrahlung modeli



Şekil 4.14 0,5-10 keV aralığında güç kanunu modeli



Şekil 4.15 0,5-10 keV aralığında Compton modeli

Modeller incelenirken reduced χ^2 değerleri indirgenmiş χ^2 değerini verir. Bu değer 1'e yakın olduğu durumlarda sonuçlar güvenilir anlamına gelir. DOF (degrees of freedom (serbestlik derecesi)) değerleri arttıkça sonucun güvenilirliği artar. Altı çizili değerler o parametrelerin minimum ve maksimum değerlerine uygulanmadığı ve bu değerlerin güvenilir bir anlam ifade etmediğini gösterir. Değerlerin yanındaki \pm 'den sonraki kısımlar hata paylarını ve değerlerin o aralıkta olabileceğini gösterir. Kalın olarak yazılmış $N_H = 0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² değerlerinin olduğu kolonlarda hidrojen kolon yoğunluğu 0.82'ye sabitlenmiş olduğunda çıkan sonuçlardır. $N_H = 0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² değerinin olduğu kolonda ise hidrojen kolon yoğunluğu yıldızın Çizelge 1.1 'deki optik bilgileri kullanılarak hesaplanmış hidrojen kolon yoğunluğudur.

Tablo ve şekiller incelendiğinde N_H parametresinin sabitlenmediği durumlarda parametrelerin değerleri daha iyi çıkmaktadır. Serbest haldeki N_H değerleri makalelerde karşımıza çıkan aralıkta olup $0,6 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² civarındadır bu da o modellerin uygulanabilirliğini göstermektedir.

Isısal Bremsstrahlung modeli uygulandığında indirgenmiş χ^2 değerleri 1'e yakın çıkmış olmalarına karşın sıcaklık değerleri oldukça büyük çıktığı için güvenilirliği fazla değildir.

Çizelge 4.1 Isısal Bremsstrahlung modeli

Bremsstrahlung				Birimler
İndirgenmiş χ^2	0,90	1,10	0,92	
$N_H \times 10^{22}$	0,62±0,02	0,82	0,57	atom sayısı/cm ²
k T	46,3±1,9	13,2±	<u>100±30,7</u>	keV
norm ×10 ⁻³	1,40±0,08	1,30±	1,60±0,13	

Diğer termal model kara cisim modelini uyguladık fakat hem tablodaki indirgenmiş χ^2 değerlerinden hem de şekillerden anlaşılacağı üzere kara cisim modeline verilerimiz çok iyi bir şekilde uyum sağlayamamıştır.

Çizelge 4.2 Karacisim modeli

Kara Cisim				Birimler
İndirgenmiş χ^2	1,62	3,51	2,59	
$N_H \times 10^{22}$	0,19±0,01	0,82	0,57	atom sayısı/cm ²
kT	1,03±0,01	0,8±0,01	0,86±0,01	keV
norm×10 ⁻⁵	5,02±0,09	5,18±0,07	4,99±0,07	

Temel modellerden güç kanunu modeli uygulanmıştır ve sabitlendiğinde modelin verileri 1'e çok yakın bir indirgenmiş χ^2 değeriyle uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

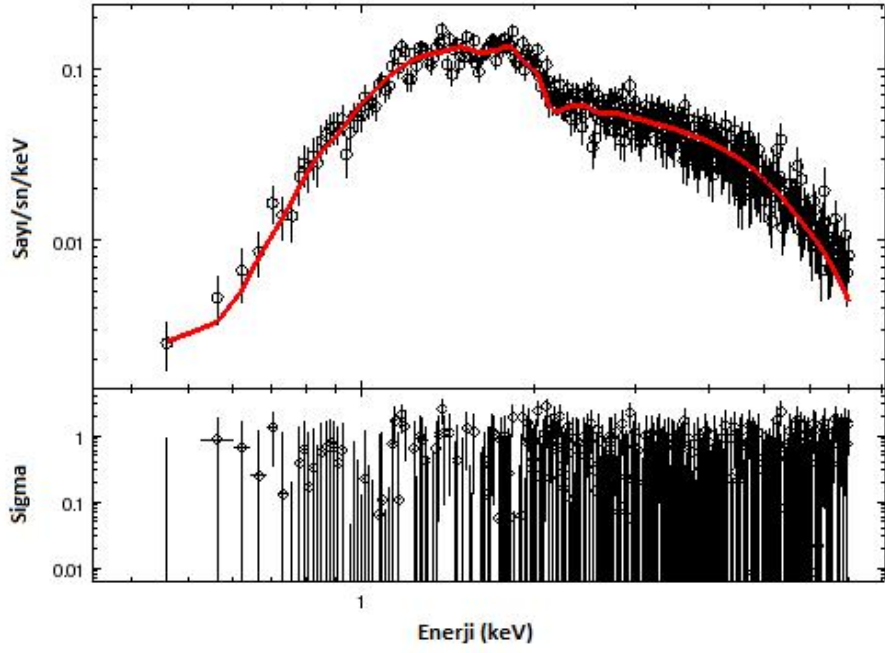
Çizelge 4.3 Güç kanunu modeli

Güç Kanunu				Birimler
İndirgenmiş χ^2	0,90	0,99	0,93	
$N_H \times 10^{22}$	0,65±0,03	0,82	0,57	atom sayısı/cm ²
Foton İndisi	1,33±0,03	1,52±0,022	1,23±0,02	
norm×10 ⁻³	0,74±0,03	0,96±0,02	0,64±0,01	

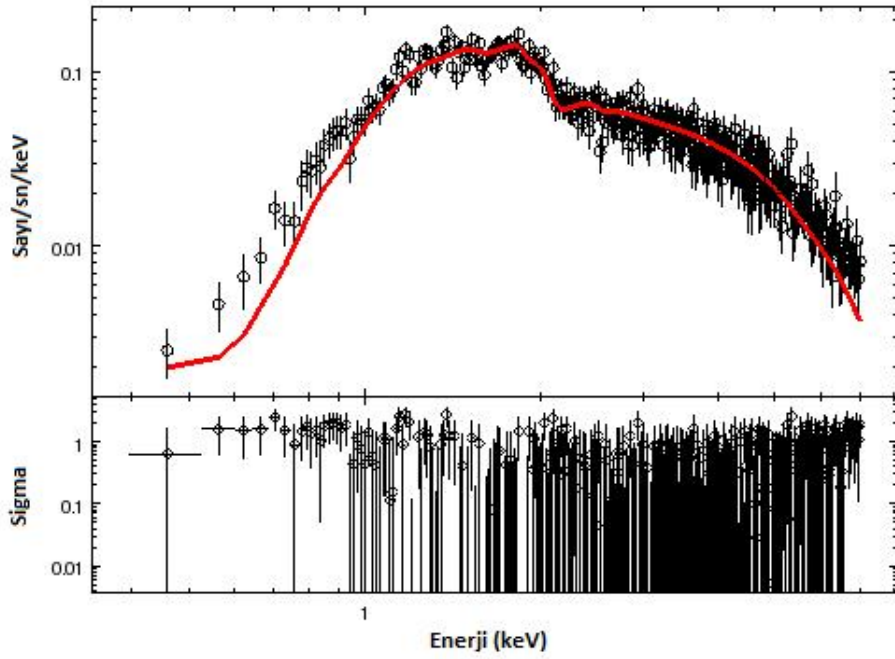
Compton ışıması modeli de uygulanmıştır. Fakat bu model de 1'e yakın indirgenmiş χ^2 değeri vermesine rağmen sıcaklık değerleri sınıra dayandığı için çok güvenilir değil. İlk kolonda T_0 değeri minimum sınıra dayanmış bu yüzden hata payının üst sınırı sadece hesaplanabilmiştir. Normalizasyon değerleri ise ikinci ve üçüncü kolonlarda minimum değerlerinde hesaplanabilmiştir.

Çizelge 4.4 Compton saçılması modeli

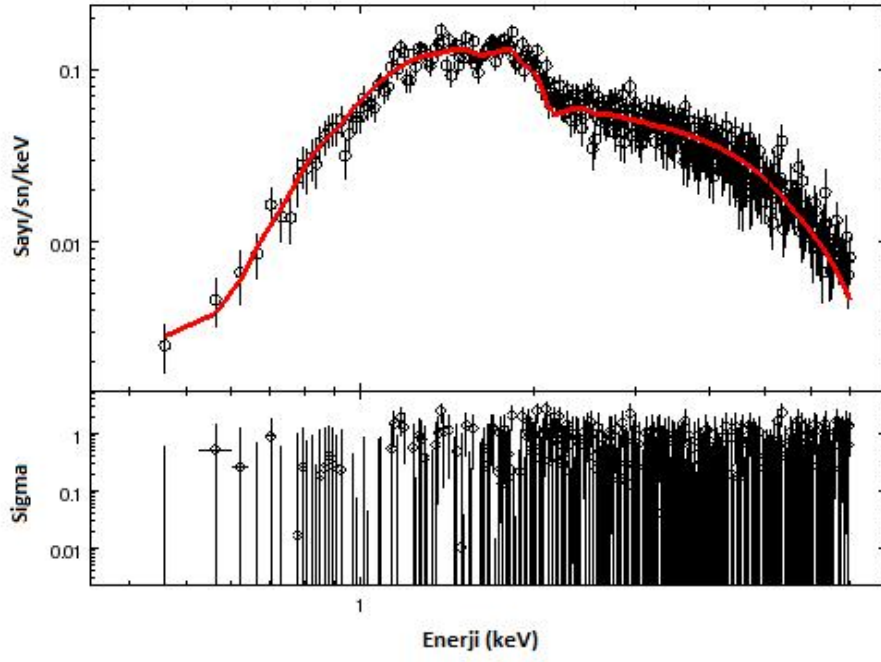
Compton				Birimler
İndirgenmiş χ^2	0,90	1,42	6,36	
$N_H \times 10^{22}$	0,65±0,03	0,82	0,57	atom sayısı/cm ²
T_0	0,028±0,08	<u>0,054±</u>	<u>0,054±</u>	keV
kT	<u>220,02±</u>	<u>308,99±</u>	<u>310,2±</u>	keV
tau	<u>0,53±</u>	0,10±0,001	0,10±0,001	
norm×10 ⁻³	0,03±0,03	<u>0,03±</u> (min)	<u>0,03±</u> (min)	



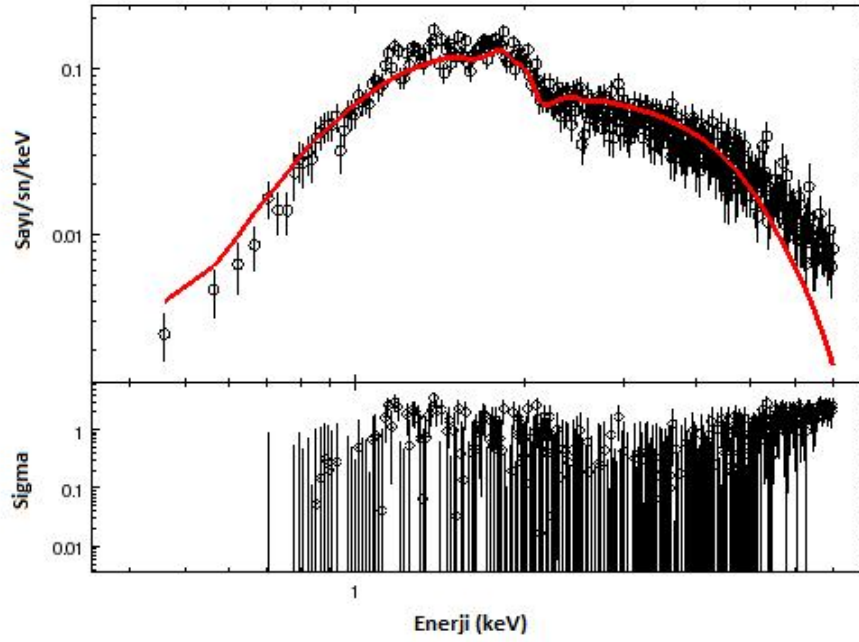
Şekil 4.16 Isısal Bremsstrahlung modeli



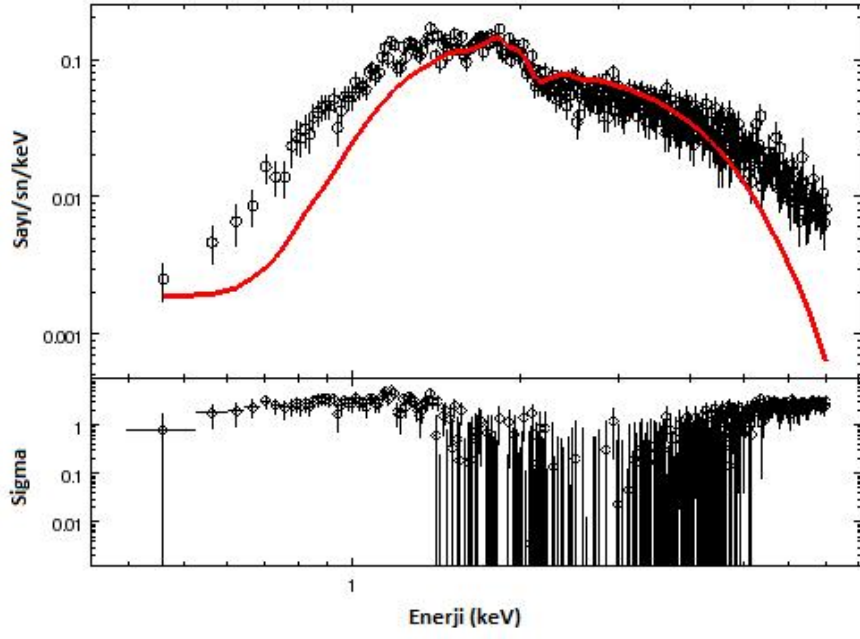
Şekil 4.17 $N_H=0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş ısısal Bremsstrahlung modeli



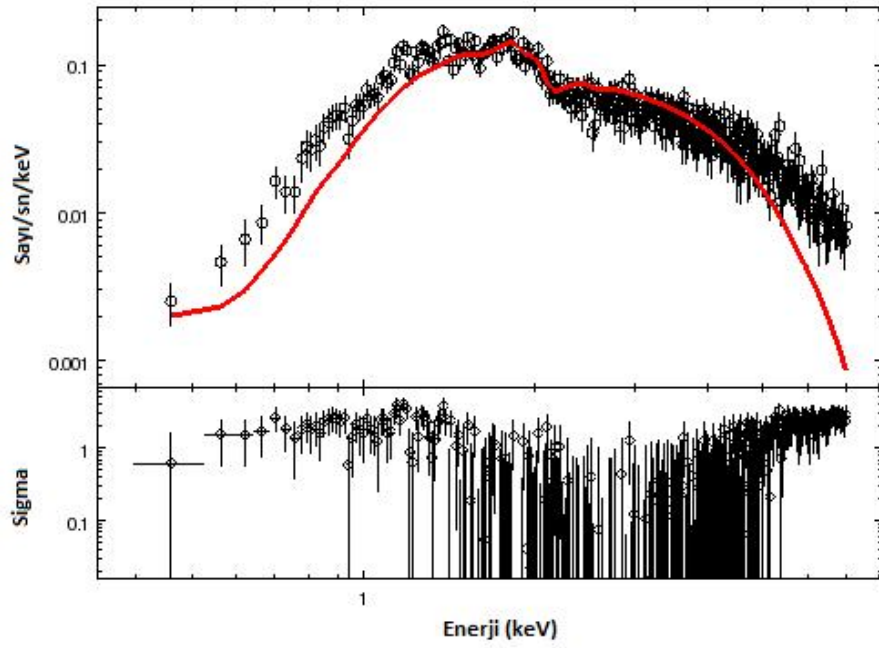
Şekil 4.18 $N_H=0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş ısısal Bremsstrahlung modeli



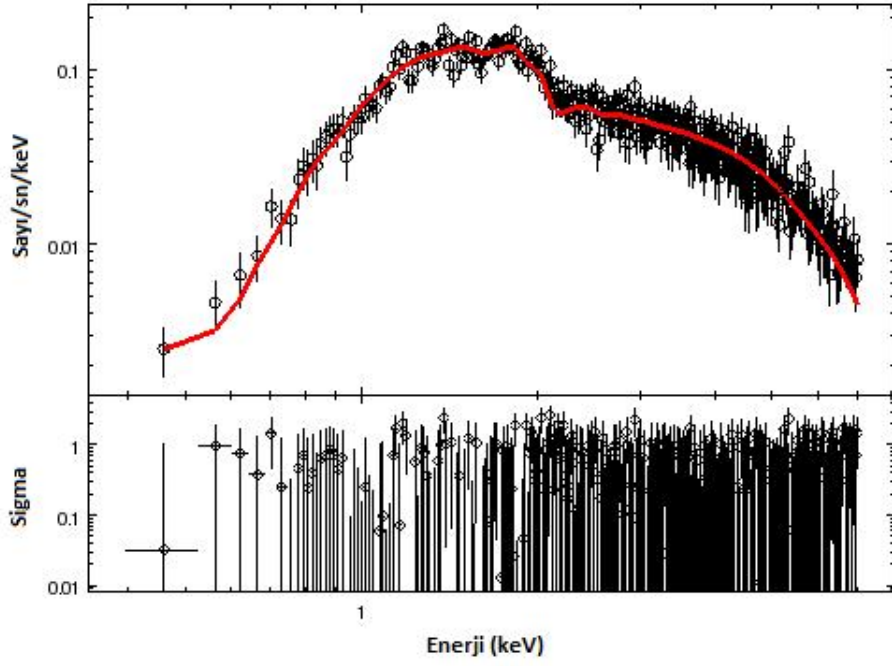
Şekil 4.19 Karacisim modeli



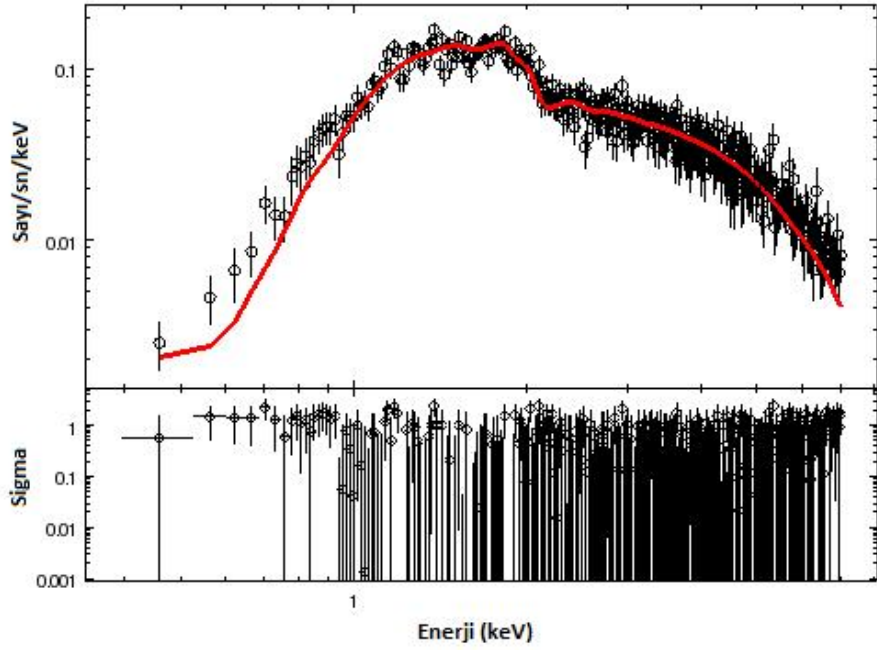
Şekil 4.20 $N_H=0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş kara cisim modeli



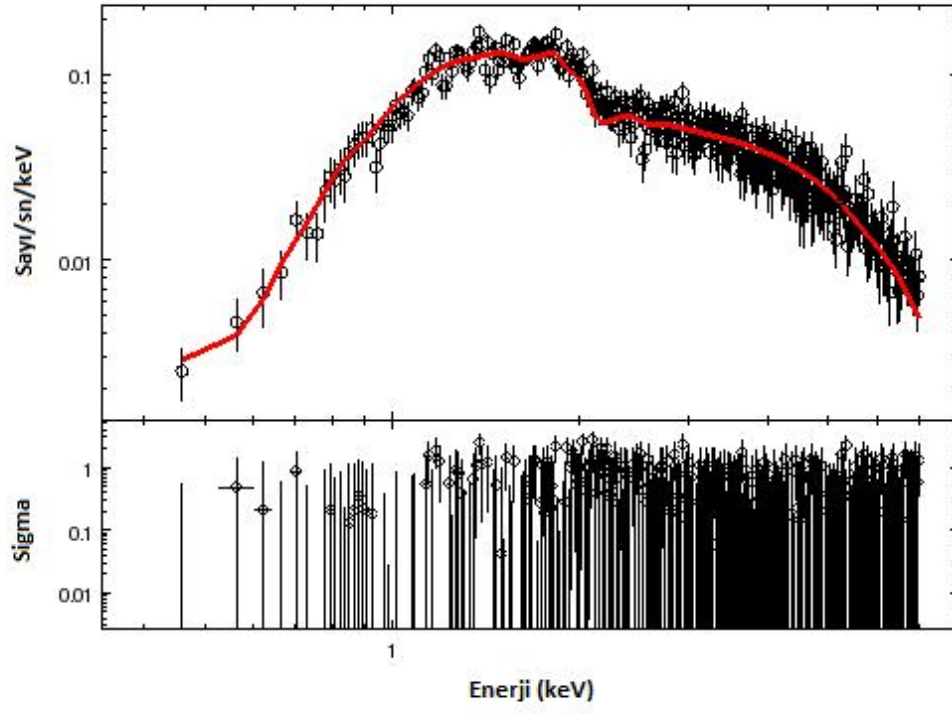
Şekil 4.21 $N_H=0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş kara cisim modeli



Şekil 4.22 Güç kanunu modeli



Şekil 4.23 $N_H=0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş güç kanunu modeli



Şekil 4.24 $N_H=0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² de sabitlenmiş güç kanunu modeli

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

İkili yıldız sistemleri, kendi yörüngelerinde ve kütle merkezlerinin etrafında iki yıldız bulunduran sistemlerdir. Düşük kütleli X-ışın ikili sistemleri (LMXB) ise, bir adet normal yıldız (donör) ve eş yıldız (beyaz cüce, karadelik veya nötron yıldızı) barındırırlar [10]. Küçük kütle çekimine sahip olan donör yıldızdan tıkız yıldıza bir kütle aktarımı olur [12]. Roche-Lobe yoluyla gerçekleşen kütle aktarımı, açısal momentum korunumu kuralına uyarak aktarılan kütlelerin tıkız yıldızın etrafında bir yığışma diski oluşturmasını sağlar. Kütle aktarımı yavaş ve kontrollü olur. Kütle aktarımı sırasında aktarılan maddeler nötron yıldızının dönmeye başlamasına sebep olup milisaniye atarcaların ortaya çıkmasını sağlayabilir [14]. Yığışma diski milyonlarca Kelvin'e kadar ısınıp enerjisini X-ışını yoluyla yaymaya başlar. Klasik bir X-ışın ikilisi neredeyse bütün ışımalarını X-ışını yoluyla yapar. Bu X-ışınları onları uzayın en parlak cisimleri olarak X-ışınları bölgesinde görülmelerini sağlar.

Süpernova patlaması sonucunda yüksek kütleli yıldızların patlayıp kendi içlerine çökmesiyle oluşan nötron yıldızları kütlesi $1,4 M_{\odot}$ olmasına karşın yarıçapı çok küçük olduğu için yoğunluğu çok fazla olan yıldızlardır. Bu yoğunluk, elektronların protonların içine girerek nötronlara dönüşmesine sebep olur. Nötron yıldızları muazzam bir gravitasyonel enerjiye ve yoğunluğa sahiptir. Yoğunlukları 10^{14}g/cm^3 , manyetik alanları 10^{12} gauss (10^8 Tesla) olarak bilinen bu yıldızların çapı ise 20 km civarındadır [15]. Nötron yıldızları ikili sistemler içinde ya da izole halde bulunabilirler. Kütle aktarımı olmayanlar, izole nötron yıldızlarıdır. Kütle aktarımı olanlar ise daha tıkız sistemler

olup kütle aktarımından kaynaklan X-ışını kaynaklarıdır ve bu tip sistemlerde tıkmaz yıldız hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmaktadır.

Madde akışıyla beraber kendi etrafında çok hızlı dönmeye başlayan nötron yıldızı, atarcayı oluşturur. Madde aktarımı devam ettikçe atarcanın dönme periyodu artar. Atarcalar çok güçlü manyetik alanlı nötron yıldızlarıdır. Genç atarcalarda kutup alan gücü 10^{12} gauss iken, yaşlı atarcalarda 10^{10} gauss, milisaniye atarcalarda ise 10^8 gauss ölçülebilmektedir [15]. Atarcaların ışık, radyo ve diğer türden dalgaları dar demetler haline gelip manyetik alanı doğrultusuna uygun halde, biri kuzey kutuptan, diğeri güney kutuptan uzaya yayılırlar. Dünya, bu fişkirmaların hedefi durumuna girdiği anlarda yıldızdan kaynaklanan radyasyon darbeleri farkedilir.

Manyetik alan genç yıldızlarda 10^{12} , X-ışını ikililerinde 10^{10} , milisaniye atarcalarda 10^8 gauss olduğu için sanki kütle aktarımı ile birlikte manyetik alan azalmış gibi gözükür. Normal atarcalardan milisaniye atarcalara giderken neden azaldığı ve neden 10^8 civarında durduğu henüz bilinmemektedir [15].

Milisaniye atarcalar küçük manyetik alanlarından dolayı daha kısa periyotlara ve daha kısa yavaşlama hızına sahiptir. Madde aktarımı hem X-ışını ışınması için termal enerji hem de dairesel süratin yükselmesi için dönme momentini sağlar [15]. X-ışın ikililerinde, yığılma disklerinden dolayı nötron yıldızı dönmeye başlar ve eş yıldızdan gelen maddelerle bu dönme hızlandığı için geri-dönüşüm atarcası olarak isimlendirilerek geri dönüştürülmüş atarcaların milisaniye atarca olduğu da düşündürler [20]. Nötron yıldızlarında olduğu gibi bu ikili sistemler, milisaniye atarcanın yaşı ile ilgili bilgi sahibi olmamızı sağlar. Milisaniye atarcaları, daha çok ikili sistemlerde bulunduğu için yığılma disklerinin milisaniye atarcalara neden olduğu tezi desteklenmektedir. Ama uzaydaki izole milisaniye atarcalara neyin neden olduğu hala bilinmemektedir.

Milisaniye pulsarların 13 tanesi AMP (anormal milisaniye atarcalar) iken, bunlardan SAX J1748.9-2021'in içinde bulunduğu 3 tanesi sürekli olmayan X-ışını kaynaklarıdır (X-ray transient). Bu değişimin sebebi bilinmemekle birlikte nötron yıldızları ile atarcalar

arasında geçiş yıldızı gibi davranıyor olmalarından dolayı bu kaynaklar atarcaların varlığını kanıtlamaktadırlar [21].

Bu kaynağın Chandra uydusundan elde edilen verilerine dört ana tayf modeli: Güç Kanunu, Compton saçılması, Kara Cisim, Isısal Bremsstrahlung SHERPA tayf programı ile uygulanmıştır. Chandra veri analizlerinde enerji-sayım oranı grafikleri ve buna bağlı olarak uyumluluk test sonuçları çıkarılmıştır.

Bu dört ana modelden termal olan modellerden ısısal Bremsstrahlung modeli karacisim ışıması modeline göre indirgenmiş χ^2 değerine bakıldığında daha çok uyumludur. Isısal Bremsstrahlung modeli in't Zand ve diğerlerinin 1999'da yayımladıkları çalışmadaki [7] ısısal Bremsstrahlung modelinin sıcaklık değeri ile hemen hemen aynı çıkmıştır. Isısal Bremsstrahlung modelinin N_H değerini sabitlediğimiz durumda sıcaklık değeri daha anlamlı çıkmasına karşın hata payı hesaplanamamıştır. Optik değerden hesaplanan N_H değerine sabitlediğimizde sıcaklık değeri maksimuma yaklaşmış ve modelin bu şekilde uygulanabilirliğini azaltmıştır. Diğer taraftan karacisim ışımasında N_H parametre değeri serbest, $0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm², $0,57 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² olmak üzere her üç durumda da indirgenmiş χ^2 değerleri 1'e yakın çıkmamıştır. N_H parametresi serbest bırakıldığında indirgenmiş χ^2 değeri 1'e yakın çıkmasına rağmen N_H değeri çok düşük çıkmıştır. N_H değerini sabitlediğimiz durumlarda da modelin güvenilirliği azalmıştır. Her ne kadar termal modeller çok uyumlu olmasada ısısal Bremsstrahlung modeli nispeten uyumlu görülmektedir.

Güç kanunu modeli indirgenmiş χ^2 değeri üç N_H durumunda da iyi çıkmış olmasına karşın en güzel sonucu $N_H = 0,82 \times 10^{22}$ atom sayısı/cm² olarak sabitlediğimiz durumda vermiştir. İndirgenmiş χ^2 değeri 0,99 ve foton indisi ise 1.52 ± 0.02 olarak bulunmuştur.

Daha önceki gözlemlerde, mesela In't Zand ve diğerlerinde [7], Compton modeli tayf analizinde güzel sonuçlar vermesine karşın bu çalışmada en iyi indirgenmiş χ^2 değeri ve eski çalışmalardaki sonuçlara uygun N_H değeri bulunmuş olmasına rağmen, üç N_H durumunun sıcaklık değerleri hepsinde sınıra dayanmış ve hata payı hesaplanamamıştır. Kaynağın gözlemlerine 0,5-7 keV aralığında en iyi uyum sağlayan

model, güç kanunu lehinde olmuştur ancak bir ölçüde ısısal Bremstrahlung modeli de uyum göstermiştir.

Güç kanunu modeli termal olmayan bir ışınım modelidir. Güç kanununda ışınım manyetik alan içerisinde ivmelenip dairesel bir yolda hareket eden bağlı elektron tarafından yayılır. Manyetik alan tarafından elektronlar üzerine uygulanan kuvvet elektronların manyetik alan çizgileri etrafında dairesel bir şekilde hareket etmesine sebep olur. Elektron manyetik alan çizgilerine dik olacak şekilde hareket eder. Hareket sırasında elektron ivmelendiği için etrafa elektro manyetik ışınım yapar. Güç kanununda ışınım polarizedir. Işımanın polarize olması hareketin ivmesinin manyetik alan çizgi yönüne dik olmasındandır. Yani elektrik vektörü ivme yönündedir. Bu durumda yıldız güç kanunu yoluyla ışınım yaptığından dolayı ortamdaki manyetik alanın elektronlar üzerine uyguladığı kuvvetin bu elektronların güç kanunu ışınımı yapmasına sebep olduğunu söyleyebiliriz. Elektronlar manyetik alan çizgilerinden dolayı dairesel bir hareket yapmaktadır. Elektronların elektrik alan yönü de ivmenin yönüyle aynıdır. Bağlı elektronların yaydığı ışınım gözlemlerimiz sırasında gözlemlenmiş olabilir.

Benzer şekilde, kaynağımız termal bir modeli de destekliyor görünmektedir. Hem termal, hem de termal olmayan iki farklı fiziksel ortamın hangisinde yer aldığını anlayabilmek gerçekten çok zordur. Şayet aletsel etkilerin oluşturduğu 7-10 keV arasındaki problematik durum gelişmemiş olsaydı; muhtemelen $0,2-20 \cdot 10^8$ K gibi çok yüksek sıcaklıklardaki ortamlarda Fe XXV ve/veya Fe XXVI çizgileri beklenebilirdi. Dolayısıyla, verilerin gösterdiği aletsel problemler sonucunda bu aralığa bakmak mümkün olmamıştır. Diğer taraftan, verilere uygunluk gösteren ısısal Bremstrahlung ve güç kanunu modelleri ile model bağımsız akı değeri olarak $\sim 4 \cdot 10^{-13}$ erg/s/cm² elde edildi. Bu değer, kaynağın 8,1 kpc uzaklığı sabit alınarak elde edildi. Elde edilen gerek foton indisi değeri, gerekse akı değeri ve de hidrojen kolon yoğunluğu değeri Cackett ve diğerlerinin [9] çalışmasıyla uyum içindedir.

KAYNAKLAR

- [1] Liu Q.Z., van Paradijs J. ve van den Heuvel, E.P.J., (2001), "A Catalogue of Low-Mass X-ray Binaries", *A&A* 368, 1021-1054
- [2] Ortolani S., Barbuy B. ve Bica E., (1994), "The Low Galactic Latitude Metal-rich Globular Cluster NGC 6440" *A&AS*, 108: 653
- [3] Altamirano, D., Casella, P., Patruno, A., Wijnands, R. ve van der Klis, M., (2008), "Intermittent Millisecond X-Ray Pulsations from the Neutron Star X-Ray Transient SAX J1748.9-2021 in the Globular Cluster NGC 6440", *ApJ* 674: L45
- [4] Martins D.H., Harvel C.A. ve Miller D.H., (1980), " Surface Photometry of the Cores of Globular Clusters. I - NGC 6440" *AJ* 85: 521
- [5] Verbunt, F.; van Kerkwijk, M. H.; in't Zand, J. J. M. ve Heise, J., (2000), "X-ray and Optical Follow-up Observations of the August 1998 X-ray Transient in NGC 6440", *A&A* 359: 960
- [6] Pooley, D., Walter H. G. Lewin., Verbunt. F. vd., (2002), "Chandra Observaiton of the Globular Cluster NGC 6440 and the Nature of Cluster X-ray Luminosity Functions" *ApJ* 573:184-290
- [7] in 't Zand, J., Verbunt, F., Strohmayer, T. vd., (1999), "A New X-ray Outburst in the Globular Cluster NGC 6440: Sax J1748.9-2021", *A&A*, 345: 100
- [8] Chandrasekharon, S., (1983), "On stars, their evolution and their stability", Nobel lecture, Nobel Foundation 1984
- [9] Cackett, E. M., Wijnands, R., Linares, M., Miller, J. M, Homan, J. vd. (2005), "X-ray Variability During the Quiescent State of the Neutron Star X-ray Transient in the Globular Cluster NGC 6440" *ApJ*, 620: 922-928
- [10] NASA, X-ray Binaries, http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_l2/binaries.html, 3 Temmuz 2011

- [11] Laboratory for High Energy Astrophysics, X-ray Binaries, <http://lheawww.gsfc.nasa.gov/users/white/xrb/xrb.html>, 2 Temmuz 2011
- [12] Swinburne University of Technology, Low-mass X-ray Binaries, <http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/L/Low-mass+X-ray+Binaries>, 2 Temmuz 2011
- [13] Frank, J., King, A. R. ve Raine, D. J., (2002), Accretion power in astrophysics, 3. Baskı, Cambridge University Press, Cambridge
- [14] The Institute of Astronomy X-Ray Group, Black Holes and X-ray binaries, http://www-xray.ast.cam.ac.uk/xray_introduction/Blackholebinary.html, 2 Temmuz 2011,
- [15] Lyne, A.G. ve Graham-Smith, F., (1998), Pulsar Astronomy, 2. Baskı, Cambridge University Press, Cambridge
- [16] Schneider & Arny, Neutron Stars, <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec19.html>, 1 Temmuz 2011
- [17] Haensel, Paweł Haensel, A. Y., Potekhin, D. ve G. Yakovlev, (2007) Neutron stars: Equation of state and structure, 1, Springer Science+Business Media, New York
- [18] Demorest, P., Pennucci, T., Ransom, S., Roberts, M. ve Hessels, J., (2010), "A Two-Solar-Mass Neutron Star Measured Using Shapiro delay", *Nature* 467
- [19] Hultgren, K., (2007), Binary Pulsars, <http://www.spacephysics.eu/html/Binary%20Pulsars.htm>, 1 Temmuz 2011
- [20] Bhattacharya, D. ve van den Heuvel, E. P. J., (1991), "Formation and evolution of binary and millisecond radio pulsars", *Phys. Rep.*, 203: 1-124,
- [21] Patruno, A., Altamirano, D. vd., (2009) "Phase-coherent timing of the accreting millisecond pulsar SAX J1748.9-2021", *The Astrophysical Journal*, 690: 1856
- [22] Adams, D. J., *Cosmic X-ray Astronomy*, (1980), Adam Hilger Ltd., Bristol
- [23] Grindlay, J. E. ve Gursky, H., (1976), "Discovery of Intense X-ray Bursts from the Globular Cluster NGC 6624" *Astrophys. Journal* 205: L127
- [24] Predehl, P. ve Schmitt, J.H.M.M., (1995), "X-raying the Interstellar Medium: ROSAT Observations of Dust-scattering Halos", *A&A* 293: 889.
- [25] Kaaret, P., Zand, J.J.M. in't., Heise, J. ve Tomsick, J.A. (2003), "Discovery of X-Ray Burst Oscillations from a Neutron-Star X-Ray Transient in the Globular Cluster NGC 6440", *ApJ*, 598: 481
- [26] in't Zand, J.J.M., van Kerkwijk, M.H., Pooley, D., Verbunt, F., Wijnands, R. ve Lewin, W.H.G., (2001), "Identification of the Optical and Quiescent Counterparts to the bright X-ray Transient in NGC 6440", *ApJ*, 563: L41

- [27] Zavlin, V.E., Pavlov, G.G. ve Shibarov, Yu.A., (1996), "Model Neutron Star Atmospheres with Low Magnetic Fields. I. Atmospheres in Radiative Equilibrium." A&A, 315: 141
- [28] NASA, 2008, <http://chandra.harvard.edu/about/deployment.html>, 1 Temmuz 2011
- [29] Kellogg, E., Baldwin, J. R. ve Koch, D., (1975), "Studies of Cluster X-ray Sources, Energy Spectra for the Perseus, Virgo, and Coma Clusters", ApJ, 199: 299
- [30] Pricopi, D. ve Suran, M. D., (2010), "Exploration of Parameter Space for Modeling COROT And Kepler Targets with CESAM Code" Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, 90: 173

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Fatma YİĞİT
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.05.1985/ADANA
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :yigit.fatma@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

<u>Derece</u>	<u>Alan</u>	<u>Okul/Üniversite</u>	<u>Mezuniyet Yılı</u>
Y. Lisans	Fizik	YTÜ	2012
Lisans	Fizik Öğretmenliği	BÜ	2008
Lise	Fen	Adana Ayşe Atıl AÖL	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-	Doğuş Üniversitesi	Araştırma Görevlisi