

X Persei'nin Zamanlama Analizi ve Geçici QPO Özelliğinin Keşfi

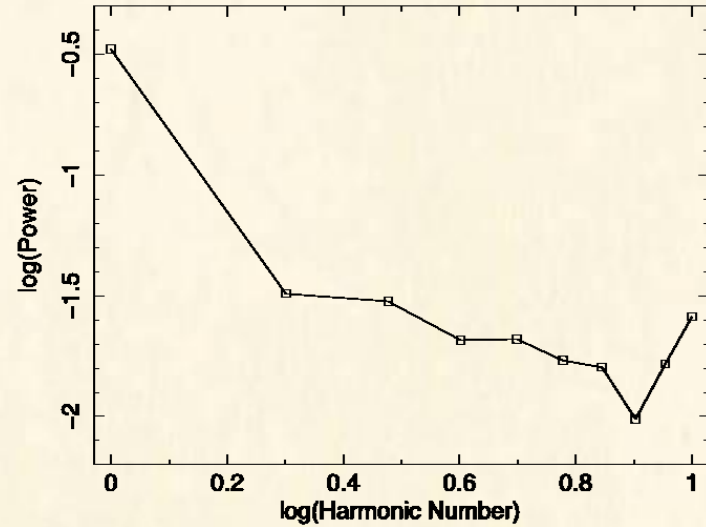
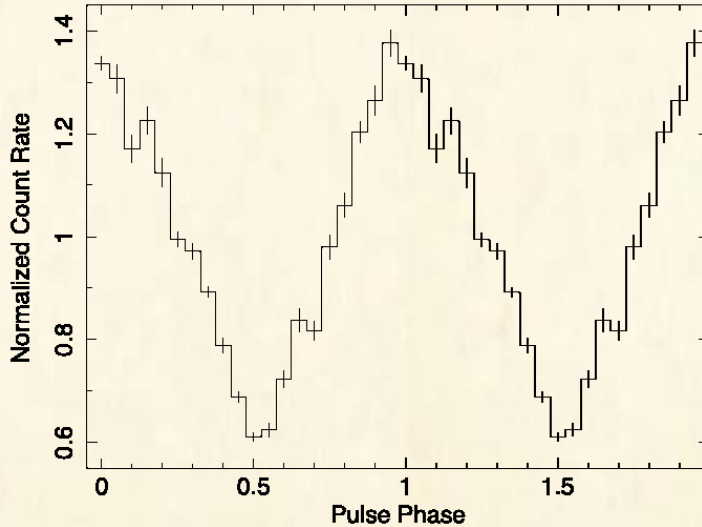
Z. Acuner, S. Ç. İnam, Ş. Şahiner*,
M. M. Serim, A. Baykal, J. Swank

(2014, MNRAS **444**, 457 - 465)

X Persei

- Sürekli ışınım yapan, düşük parlaklıklı aktarım güçlü atarca
- *Be* tipi eş-yıldızı çevresinde geniş ve neredeyse dairesel bir yörüngede
- Optik ve kızılötesindeki değişkenlikler, X-ışını ışık eğrisine genelde yansımıyor.
- Parlak dönemlerde H_{α} ve diğer Balmer serisi emisyon çizgileri kuvvetli

Sistemdeki atarcanın puls profili



Optik bileşenin bazı özellikleri

(Lyubimkov et al.1997)

Tayf tipi	-	B0 Ve
Efektif sıcaklık	T_{eff}	31000 K
Kütlesi	M_c	13 – 20 M_{\odot}
Yarıçapı	R_c	5 – 10 R_{\odot}
Ekvatorial hızın izdüşümü	$v \sin i$	$\sim 200 \text{ km s}^{-1}$
Uzaklık (Telting et al. 1998)	d	$\sim 0.95 \text{ kpc}$

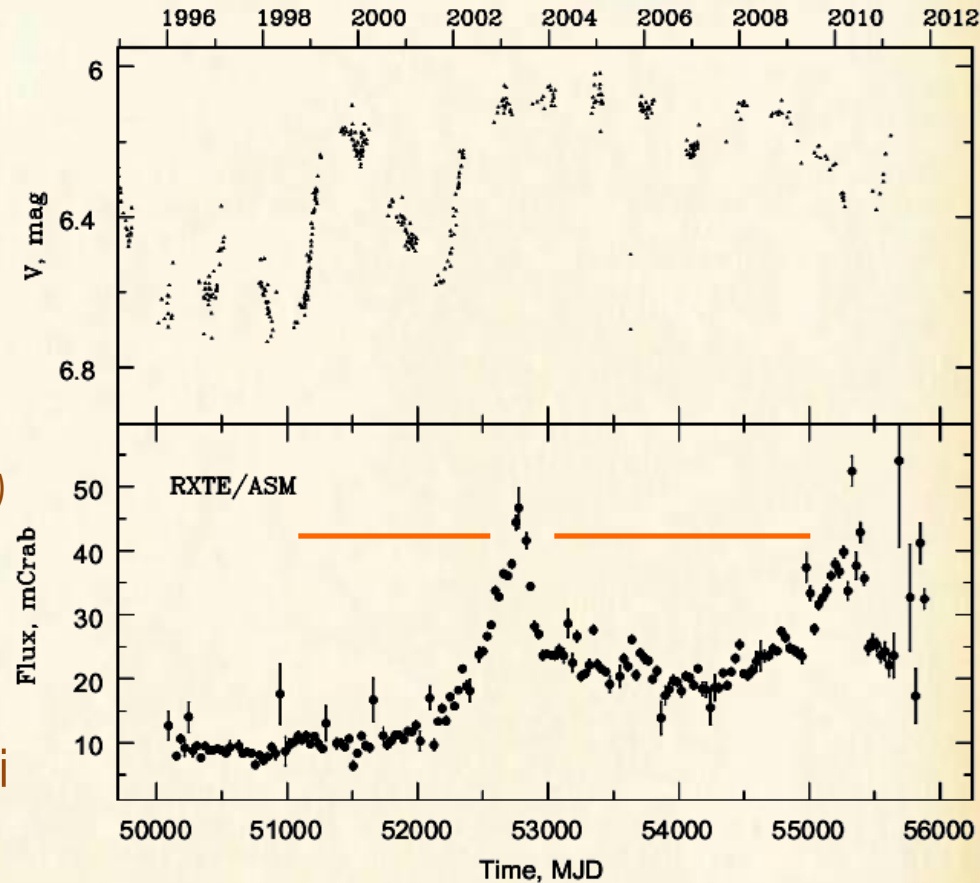
Atarcanın bazı özellikleri

(Delgado-Marti et al. 2001)

Yörünge periyodu	P_{orb}	$\sim 250.3 \text{ d}$
Puls periyodu	P_{spin}	$\sim 837.6 \text{ s}$
Eksantrisite	e	0.11
Yarı-büyük eksenin izdüşümü	$a_x \sin i$	454 lt-s
Periastron(Enberi) boylamı	ω	288°
X-ışını parlaklığı	L_x	$\sim 10^{34}-10^{35} \text{ erg s}^{-1}$
Manyetik Alan (Coburn et al. 2001)	B_s	$2.5 \times 10^{12} \text{ G}$

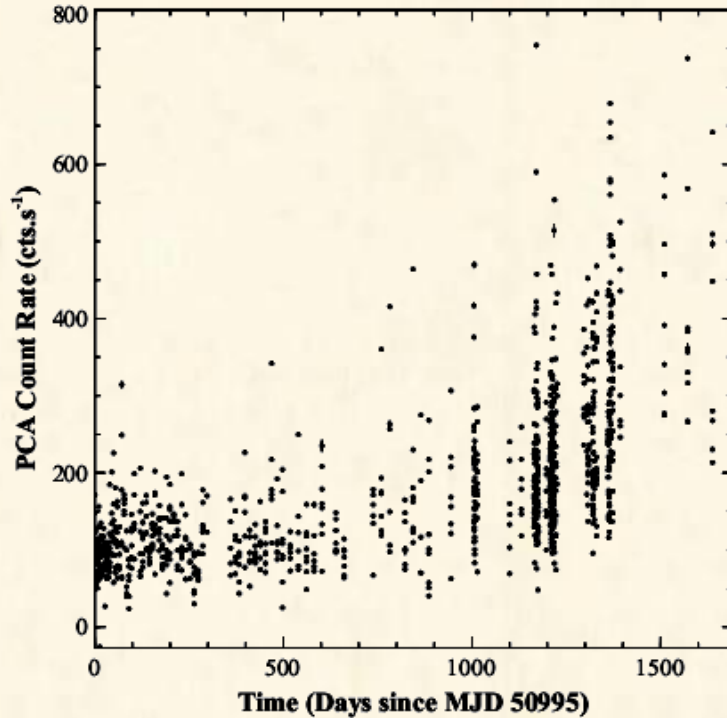
X Persei

- 2000 – 2006 yılları arası, optik bileşen çevresindeki disk büyürken, artan kütle aktarımı nedeniyle X-ışını akısı da artmıştır. (Grundstrom et al. 2007)
- Bu aktivite 2011 e kadar devam etmiştir.
- İki parlama arasındaki süre, hesaplanan disk büyüme süreleri ile tutarlıdır. (Clark et al. 2001)
- Bu çalışmada 1998 – 2010 yılları arası *RXTE* ve *INTEGRAL* gözlemleri kullanılarak kaynağın zamanlama analizi yapılmıştır.



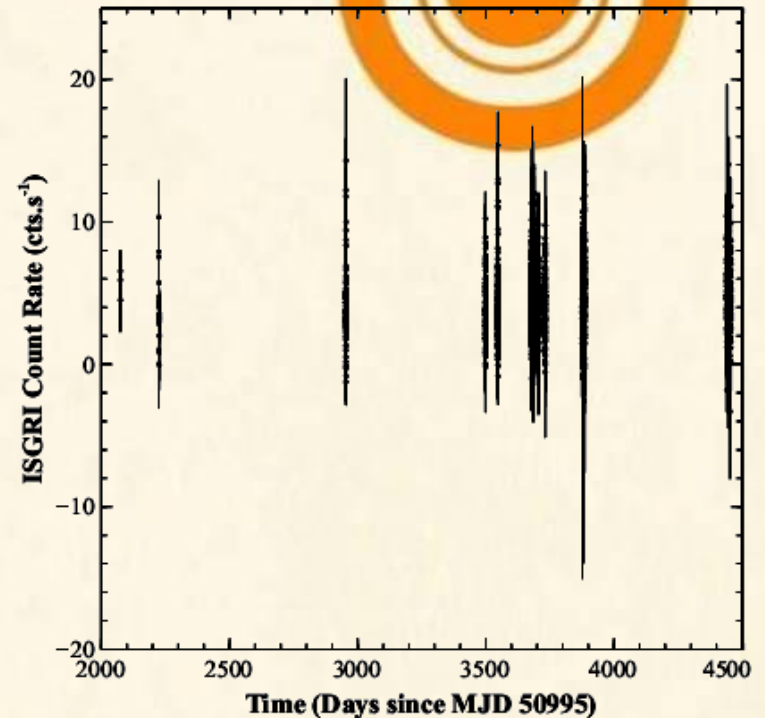
(Lutovinov et al. 2012)

Gözlemler



RXTE – PCA

- 1 Temmuz 1998 – 17 Şubat 2003
- 148 gözlem ~ 800 ks
- "Good_Xenon" verileri ile 3-20 keV 0.1 s gruplanmış ışık eğrisi



INTEGRAL – IBIS/ISGRI

- 5 Mart 2004 – 12 Eylül 2010
- 766 gözlem ~ 2 Ms
- "II_LIGHT" kodu ile 20-40 keV 10 s gruplanmış ışık eğrisi



Puls zamanlama analizi

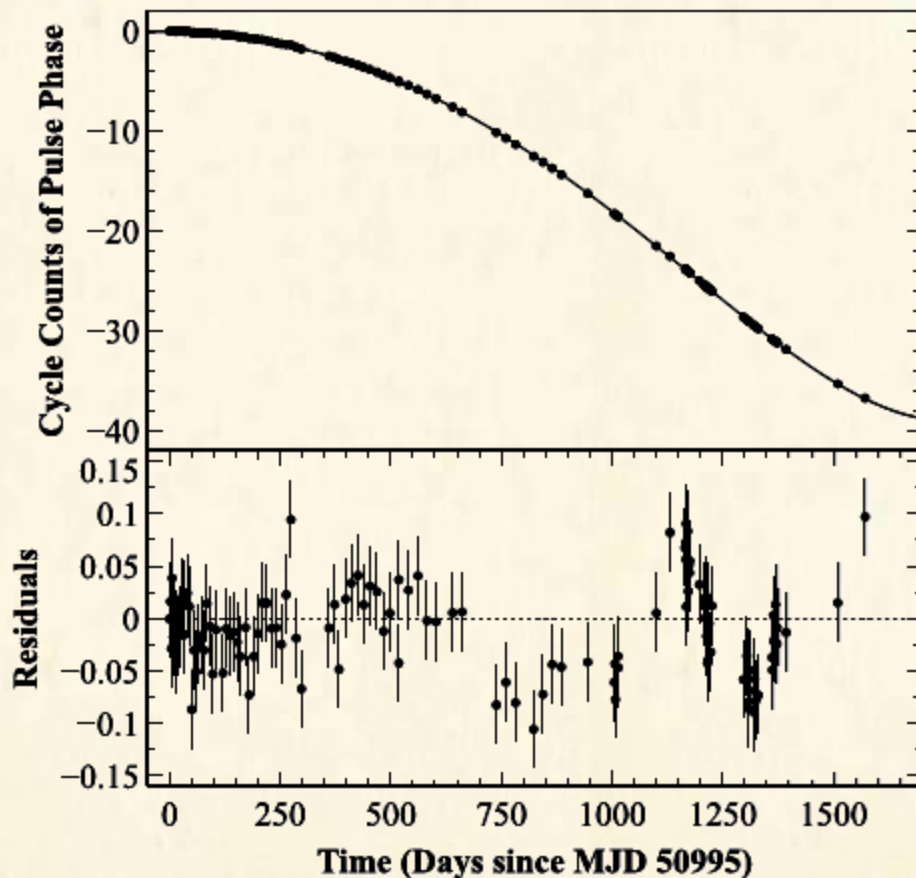
- Periyot geçmişinin güncellenmesi
- Frekans değişim oranları
- Gürültü gücü analizi

Güç tayfı analizi

- Kuasi-Periyodik Osilasyon (QPO)
- Uzun dönemli ortalama güç tayfı

RXTE: Zamanlama Analizi

- Puls profilleri Fourier harmonikler ile temsil edilir.
- Çapraz korelasyon analizi (Deeter & Boynton 1985)
- Puls geliş zamanları 5. derece polinom ile modellenmiştir.



$$\delta\phi = \delta\phi_o + \delta\nu(t - t_o) + \sum_{n=2}^5 \frac{1}{n!} \frac{d^n\phi}{dt^n} (t - t_o)^n$$

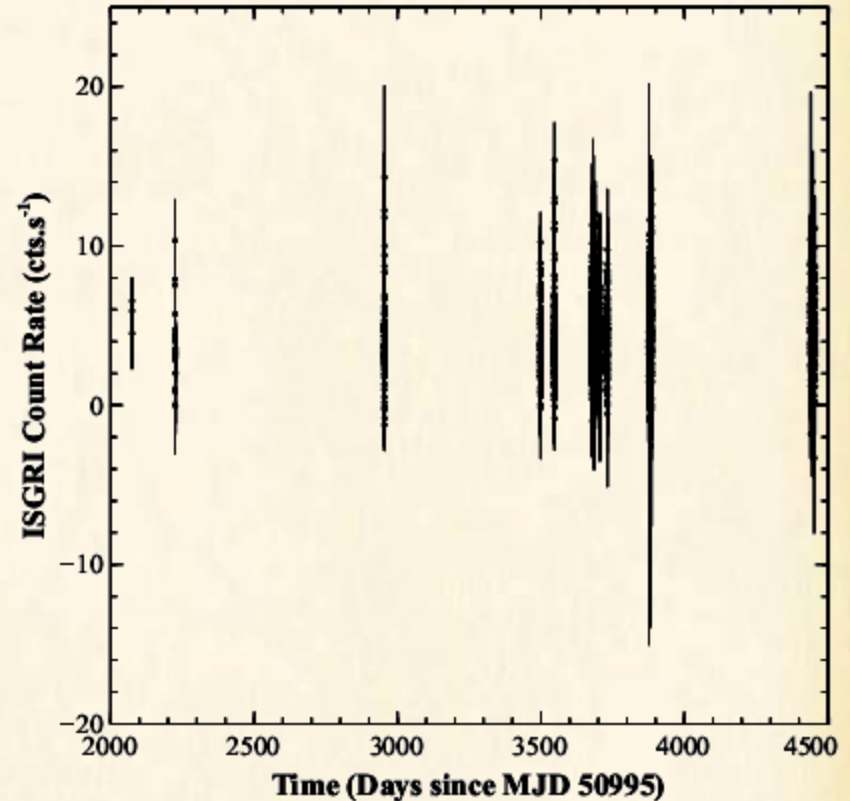
Parameter	Value
Epoch (t_0) (d, in MJD)	50995.038(1)
Timing parameters at t_0 :	
Spin period (s)	837.666(6)
Spin frequency (Hz)	$1.19379(9) \times 10^{-3}$
$\dot{\nu}$ (Hz s $^{-1}$)	$-5.5(3) \times 10^{-15}$
$\ddot{\nu}$ (Hz s $^{-2}$)	$6.6(6) \times 10^{-23}$
$\dddot{\nu}$ (Hz s $^{-3}$)	$-3.6(9) \times 10^{-30}$
$\nu^{(4)}$ (Hz s $^{-4}$)	$9(2) \times 10^{-38}$

INTEGRAL: Periyot Ölçümleri

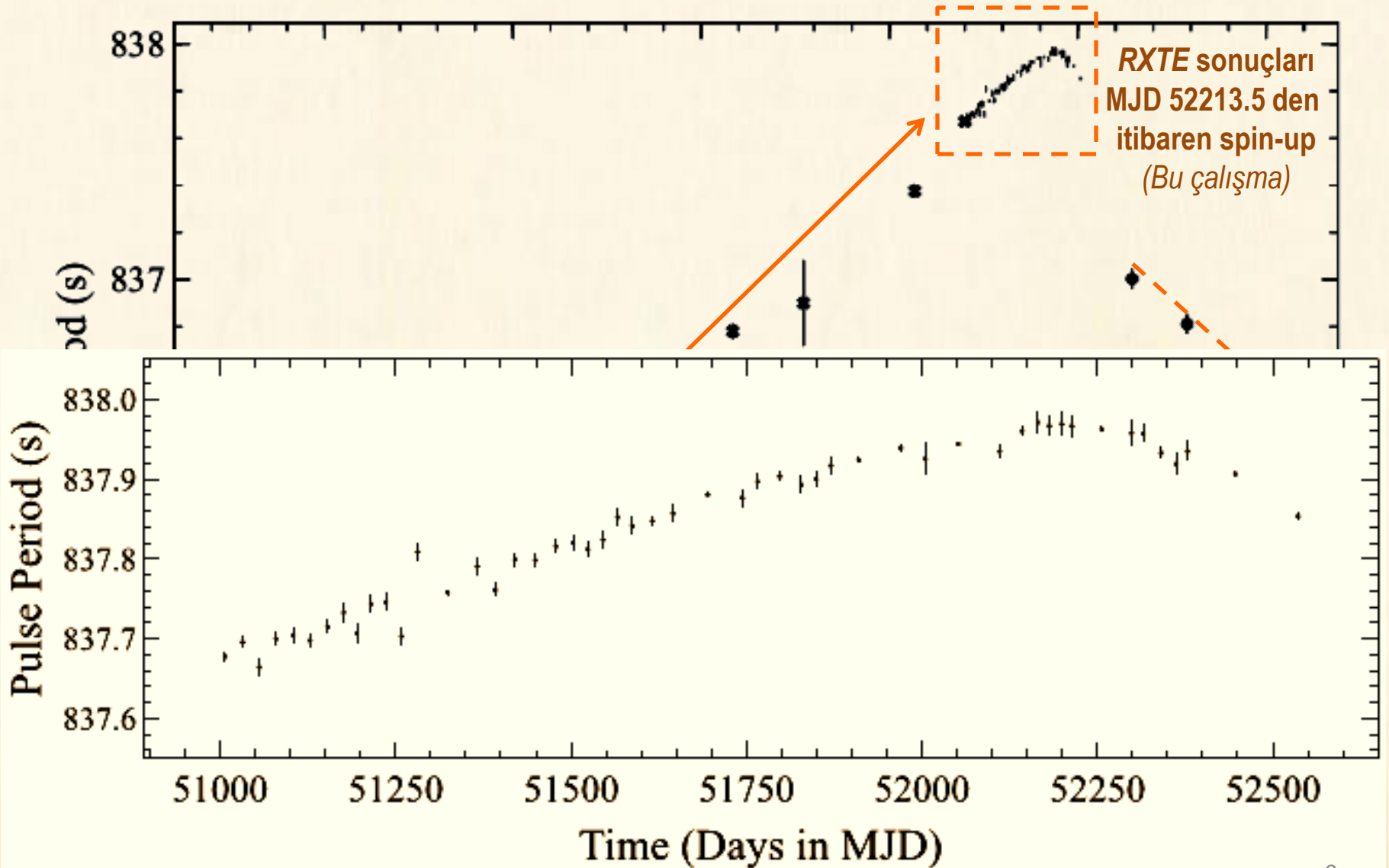
- Daha önce Lutovinov et al. (2012) tarafından farklı bir teknikle analiz edilmişti.
- Işık eğrisindeki uzun boşluklar faza bağlamaya olanak vermiyor.
- 6 data seti bağımsız olarak analiz edildi.
- ~ 7-10 günlük parçalardan oluşturulan puls profilleri ile çapraz korelasyon analizi
- Puls geliş zamanları doğrusal modellenerek

$$\delta\phi = \delta\nu(t - t_0)$$

- Puls periyotları düzeltildi.

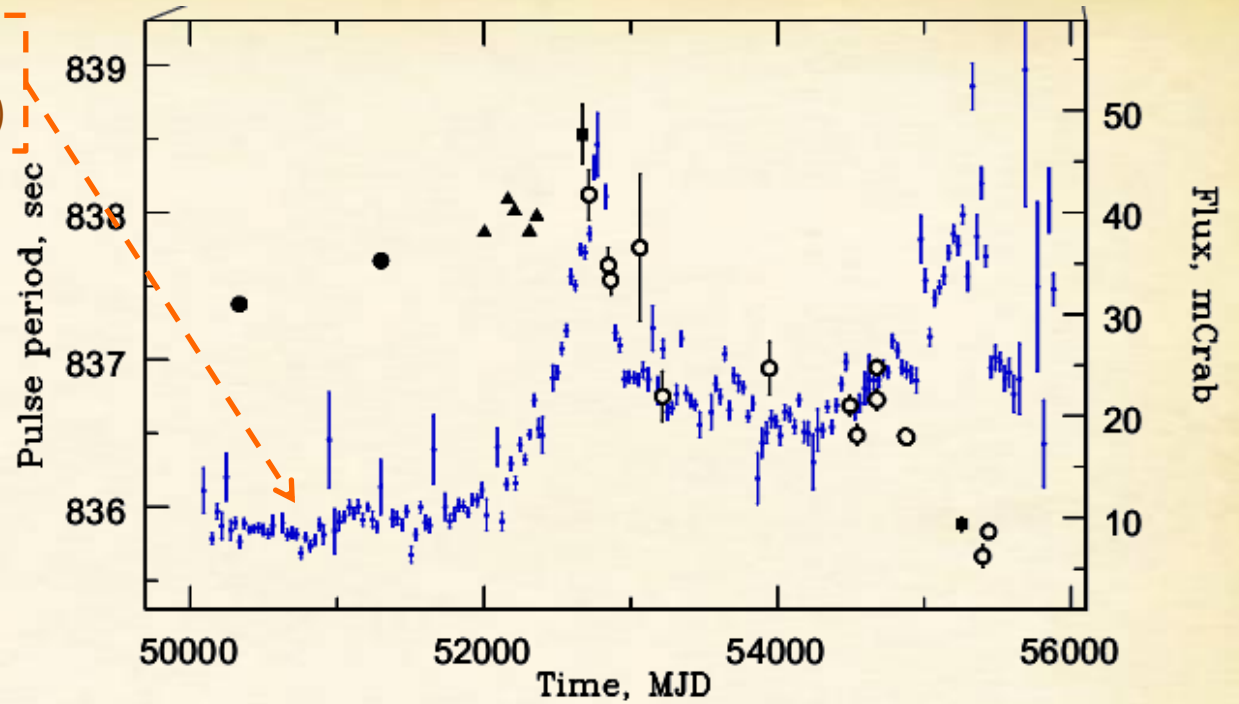


X Per'in Puls Periyodu Geçmişi



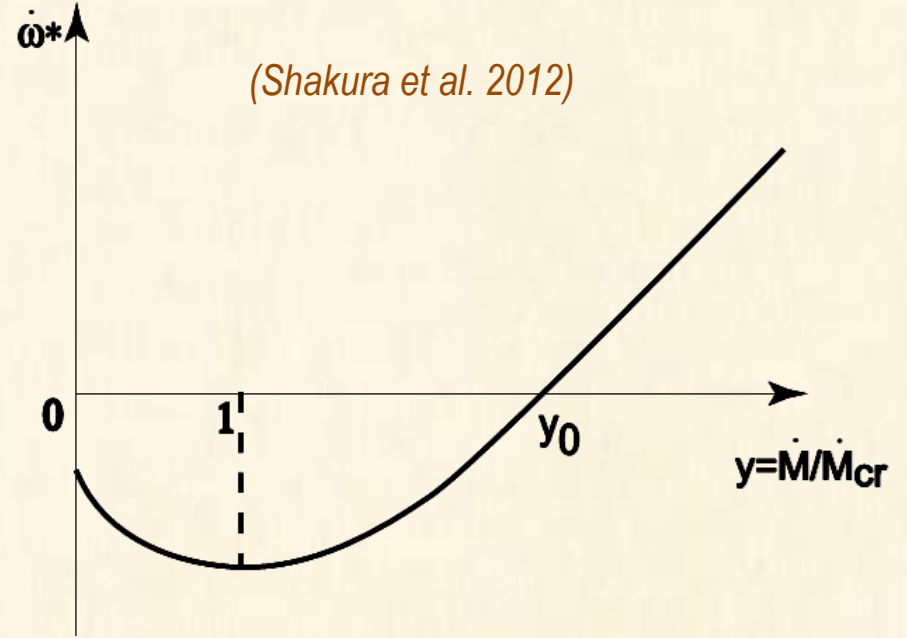
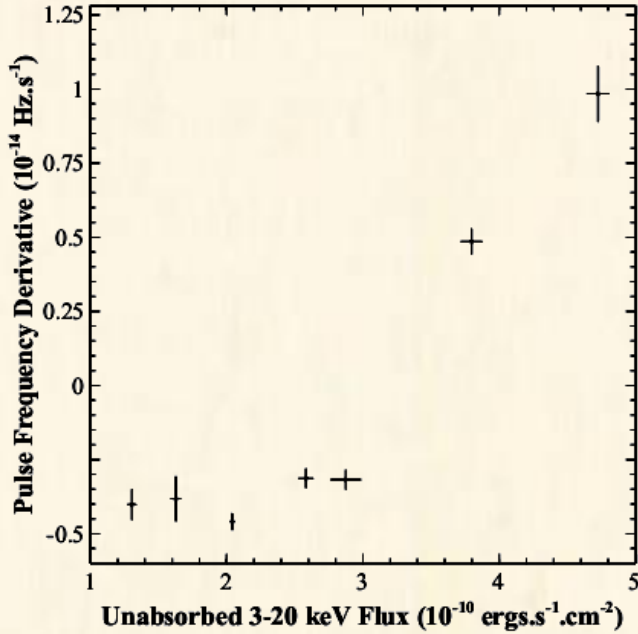
RXTE / ASM

(Lutovinov et al. 2012)



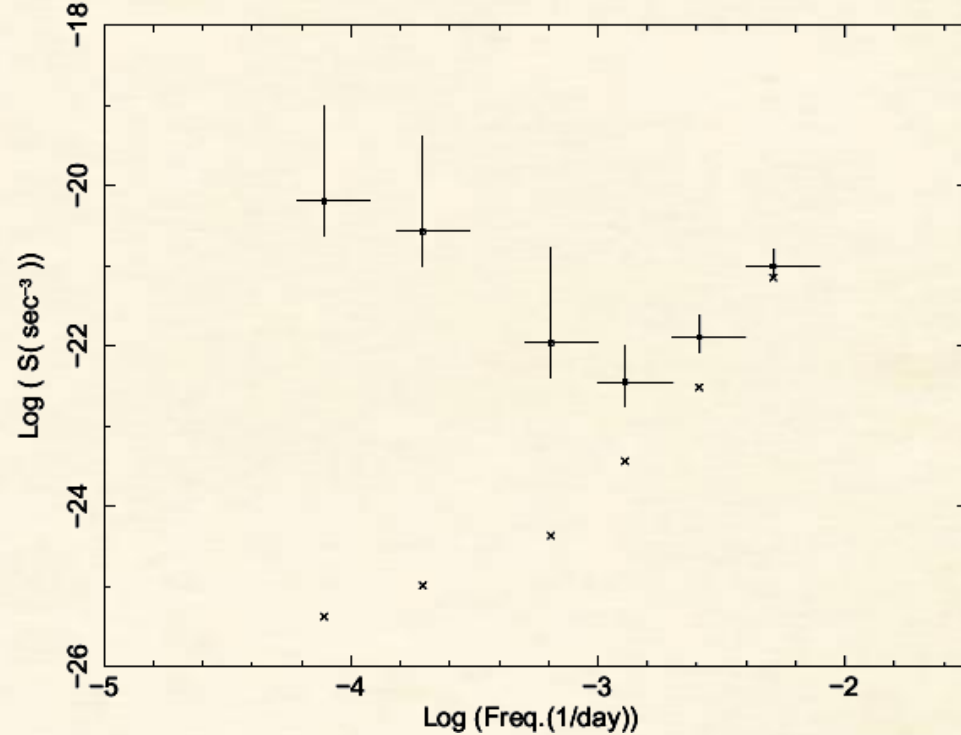
- Lutovinov et al. (2012) *INTEGRAL* verilerini, alternatif bir imaj rekonstrüksiyon metodu ile işlemiştir. (Krivonos et al. 2010)
- Bu sebeple onların ISGRI ışık eğrisi ≈ 3.7 Ms
- Ölçtükleri; Maks. spin-up hızı $\dot{P}/P \approx -5 \times 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$ (MJD 53000 öncesi)
Ort. spin-up hızı ise $\dot{P}/P \approx -3.6 \times 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$
- spin-up / spin-down hızlarındaki değişim , X-ışını parlaklığı ile ilişkili !!

X-ışın akısı vs. Frekans türevi:



- ~ 200 günlük *RXTE* parçalarından frekans türevi ve X-ışın akısı ölçümleri
- Maks. Spin-up hızı $\dot{P}/P \simeq -2.6 \times 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$
- Rüzgar yolu ile madde aktarımı yapan nötron yıldızları için; frekans türevi kütle aktarım hızının bir fonksiyonudur. (Shakura et al. 2012)
→ Kritik bir değerin üzerindeki aktarım hızları için, frekans değişim hızı X-ışını akısı ile korelasyon gösterir.

Gürültü Gücü Analizi



Güç yoğunluğu değerlendirilmesi: Deeter polinom metodu (Deeter 1984)

- Gürültü gücü: $10^{-20} - 10^{-23} \text{ Hz s}^{-2}$
 - Yüksek kütleli X-ışını Çiftlerinde en düşük değer
 - $1/35 \text{ yr}^{-1}$ ile $1/1 \text{ yr}^{-1}$ arası eğim 0.85
 - Dik güç yasası indisi \rightarrow frekans türevinde kırmızı gürültü
- \rightarrow Sistemde geçici kütle aktarım diski oluşumu

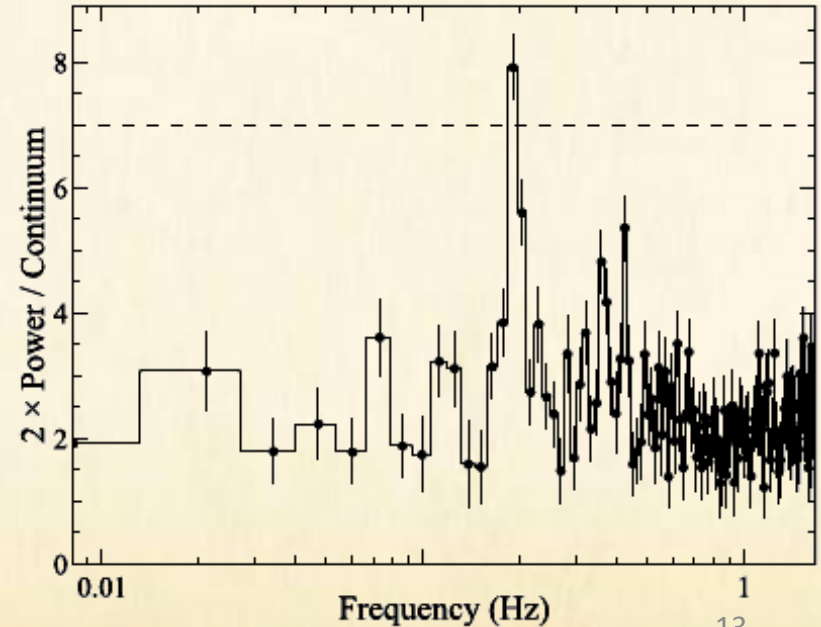
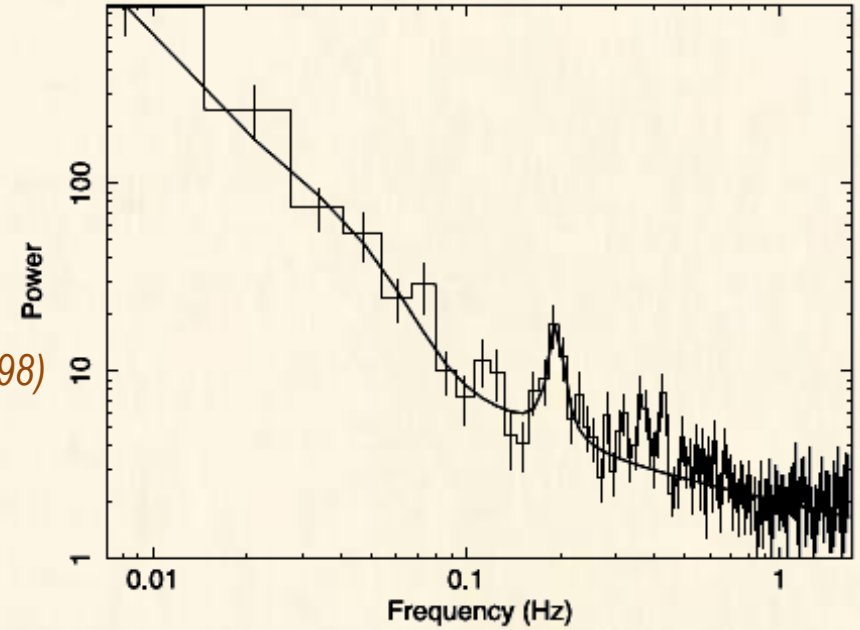
QPO'nun Keşfi

Geçmişte raporlanan QPO ~ 0.05 Hz (Takeshima 1998)

RXTE ışık eğrilerinin güç tayfı analizi:

- I. Çift güç yasası (power law) sürekliliği
- II. $\sim 0.01 - 0.08$ Hz arası geniş, Gauss tipi gürültü
- III. ~ 0.2 Hz frekansında dar, Lorentz tipi fazlalık

- ✓ QPO frekansı **0.195 Hz** (5σ üzerinde)
- ✓ Yanlış sinyal olasılığı 1×10^{-8}
- ✓ Kalite Faktörü $Q = 10.8$
- ✓ RMS büyüklüğü % 4.8



- Kepler frekansı modeline göre;

(van der Klis et al. 1987)

$$\nu_k = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{GM}{r_0^3} \right)^{1/2}$$

→ İç disk yarıçapı (r_0) $\sim 5 \times 10^8$ cm

$$r_0 \sim 0.52 \mu^{4/7} (2GM)^{-1/7} \dot{M}^{-2/7}$$

(Ghosh & Lamb 1979)

$$\mu = B \times R^3$$

$$L \simeq GM\dot{M}/R$$

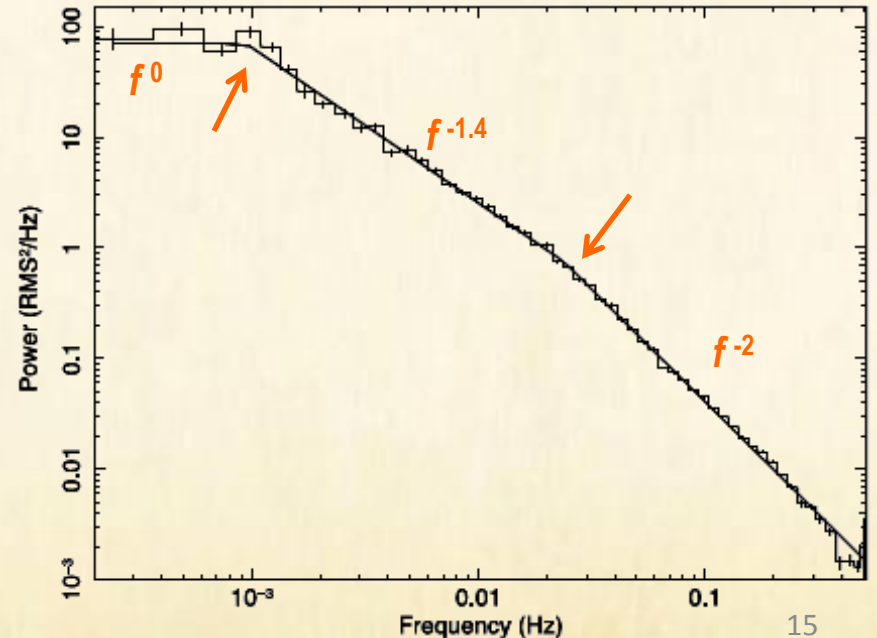
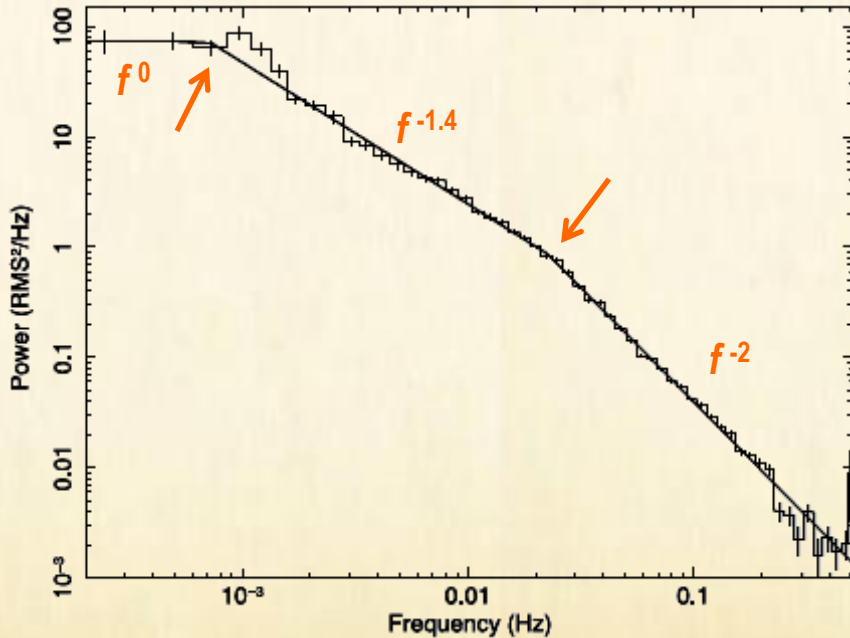
→ Kütle aktarım hızı $\sim 2.4 \times 10^{14}$ g s⁻¹

→ Yüzey manyetik alanı $\sim 3.6 \times 10^{11}$ G

Uzun dönemli ortalama güç tayfı

Sönük (2.4×10^{34} erg s⁻¹) ve Parlak (7×10^{34} erg s⁻¹) dönem için iki tayf (her biri ~ 400 d)

- Çift kırılmalı güç yasası modeli ile tutarlı (Revnivtsev et al. 2009)
→ Madde akışı iki farklı aktarım bileşeni tarafından sağlanıyor
- Kırılma frekansları kaynağın X-ışını parlaklığından etkilenmiyor.
→ Kütle aktarım hızındaki değişimler, belirgin bir geometri değişimine sebep olmuyor.



Sonuçlar

- Frekans türevi ile X-ışını akısı ilişkisi;
→ “Küresel-Benzeri Aktarım Teorisi”ne göre Rüzgar yolu ile madde aktarımı
- Gürültü gücü analizine göre; → frekans türevinde kırmızı gürültü
→ Sistemde geçici kütle aktarım diski oluşumu
- QPO görülmesi nedeniyle Disk oluşum senaryosu kuvvetlenmiştir.
- Ortalama güç tayfı analizine göre;
→ Madde akışı iki farklı aktarım bileşeni tarafından sağlanıyor

Rüzgar + Disk