

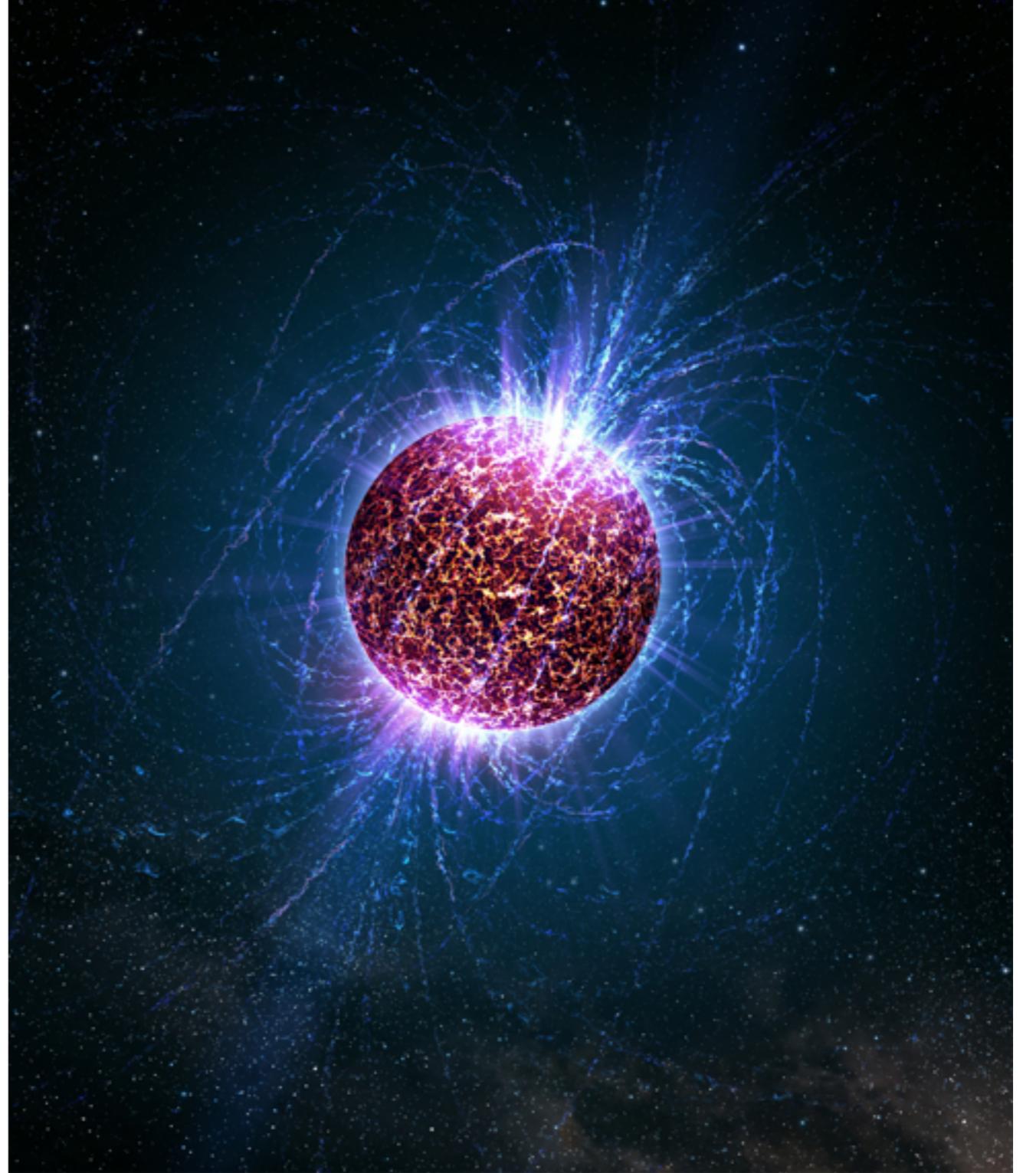
***Termonükleer X-ışın Patlamaları ve  
Nötron Yıldızlarının Kütle ve  
Yarıçapları***

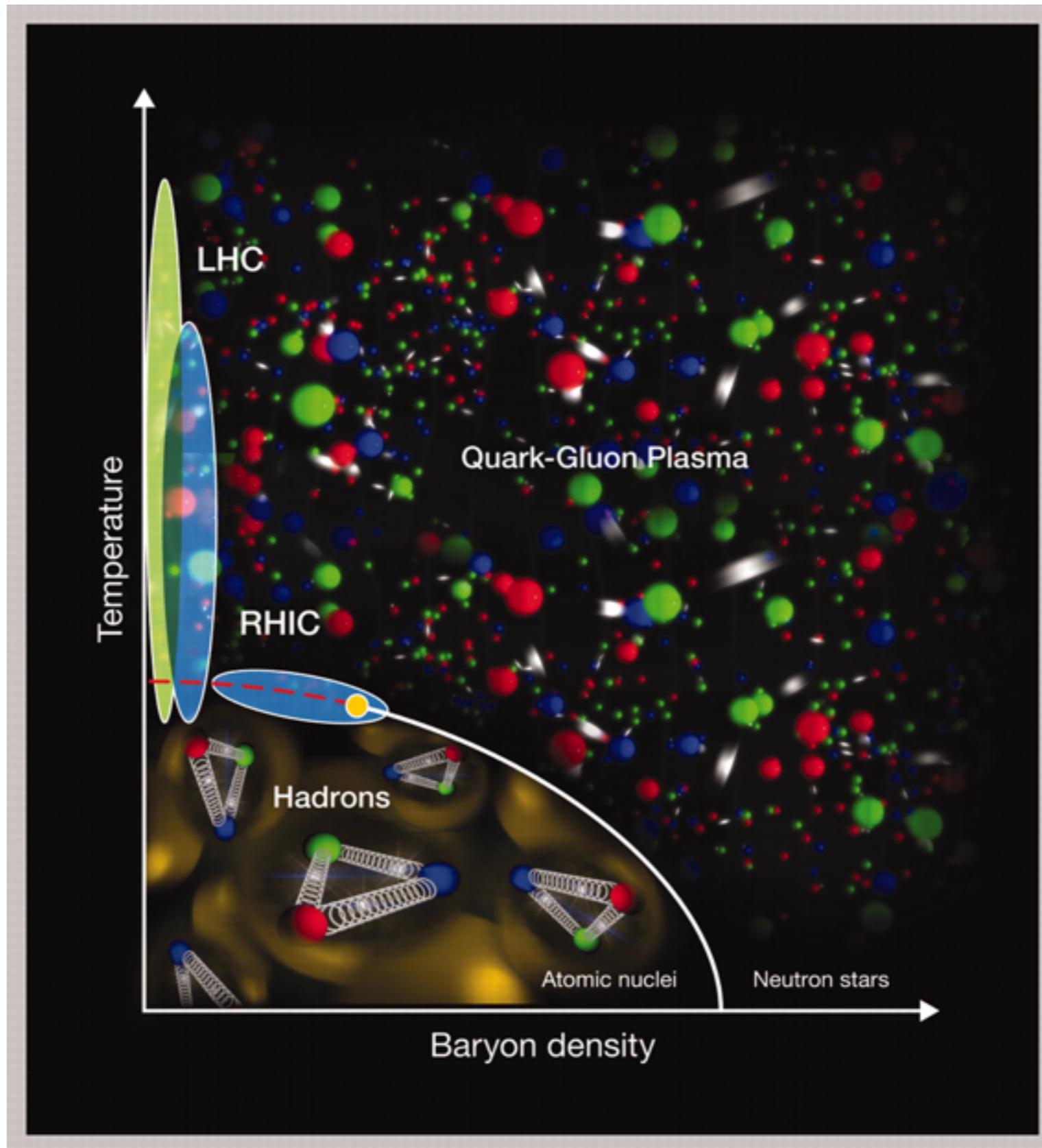
Tolga GÜVER  
İstanbul Üniversitesi

Feryal Özel (UofA)  
Dimitrios Psaltis (UofA)  
Gordon Baym (UIUC)  
Andrew Gould (OSU)  
Antonio Cabrera-Lavers (IAC)  
Herman Marshall (MIT)  
Pat Slane (CfA)  
Matteo Guainazzi (ESA)  
Maria Diaz-Trigo (ESO)

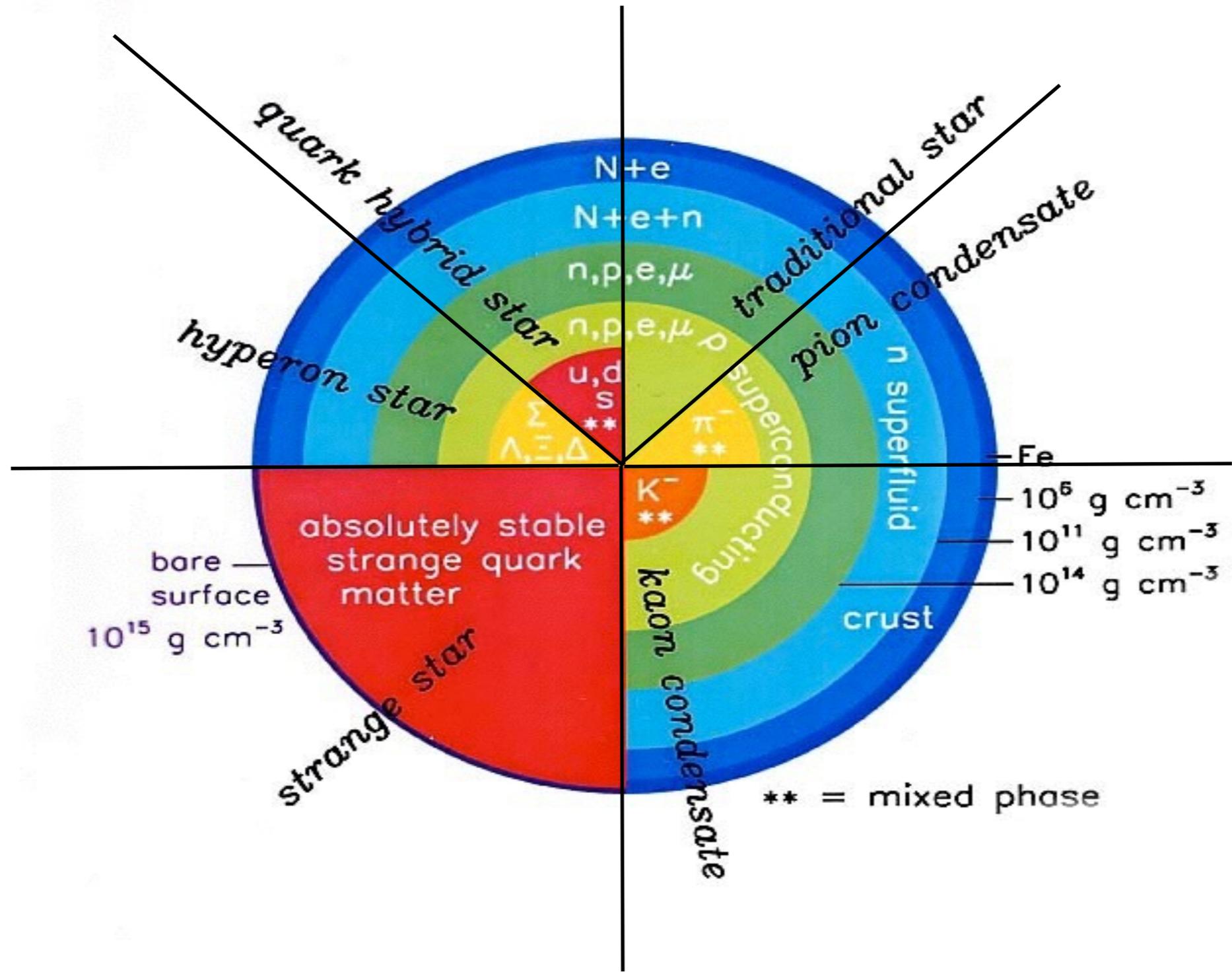
# *Nötron Yıldızları*

- $r \sim 10 \text{ km}$ ,  $M \sim 3 \times 10^{30} \text{ kg}$
- $\rho > 10^{14} \text{ gm/cm}^3$
- Maddenin bilinen en yoğun ve kararlı halini içeriyorlar.

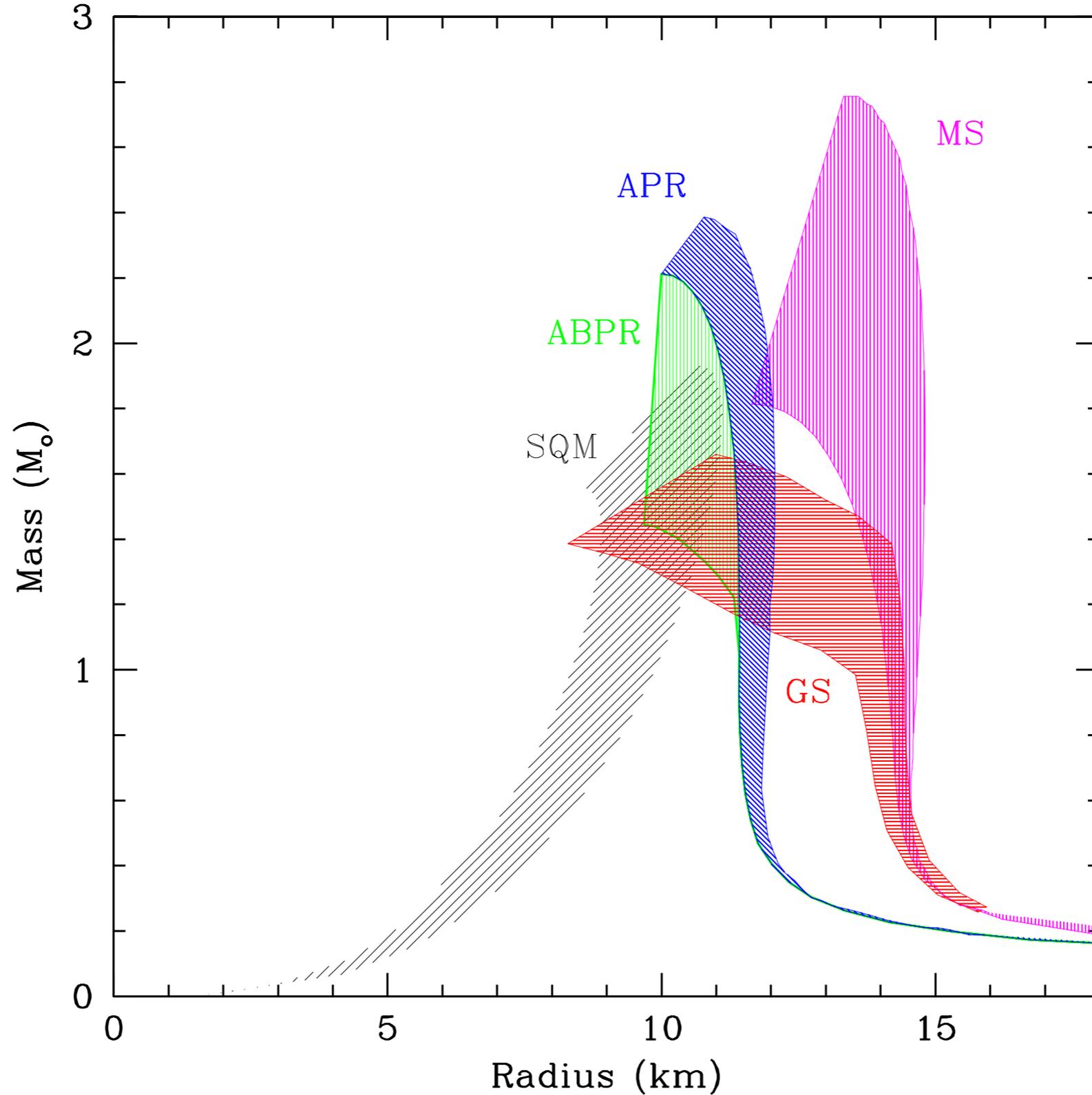




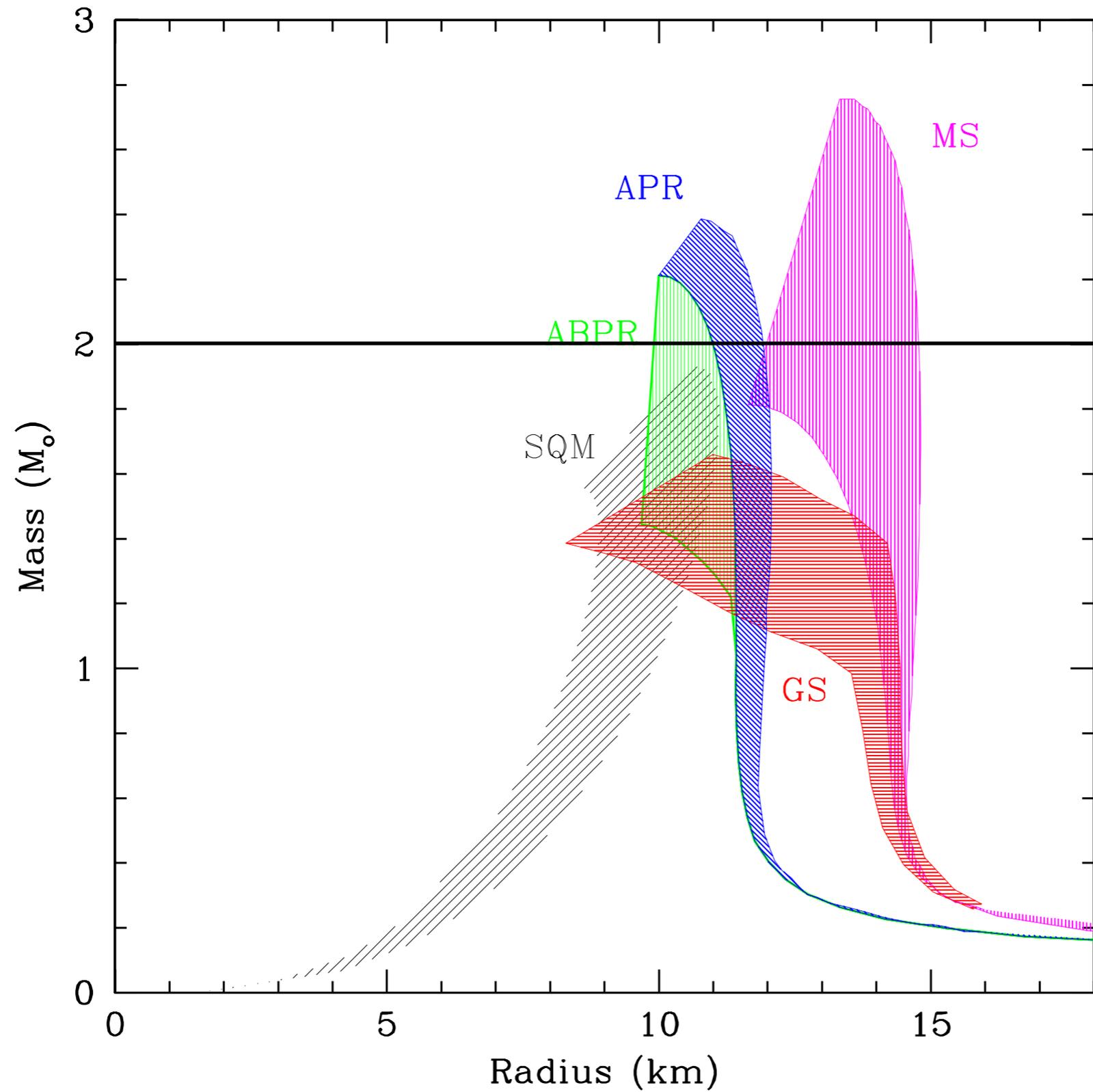
# Nötron Yıldızı Maddesinin Hal Denklemi



# Öngörülen Kütle Yarıçap İlişkileri

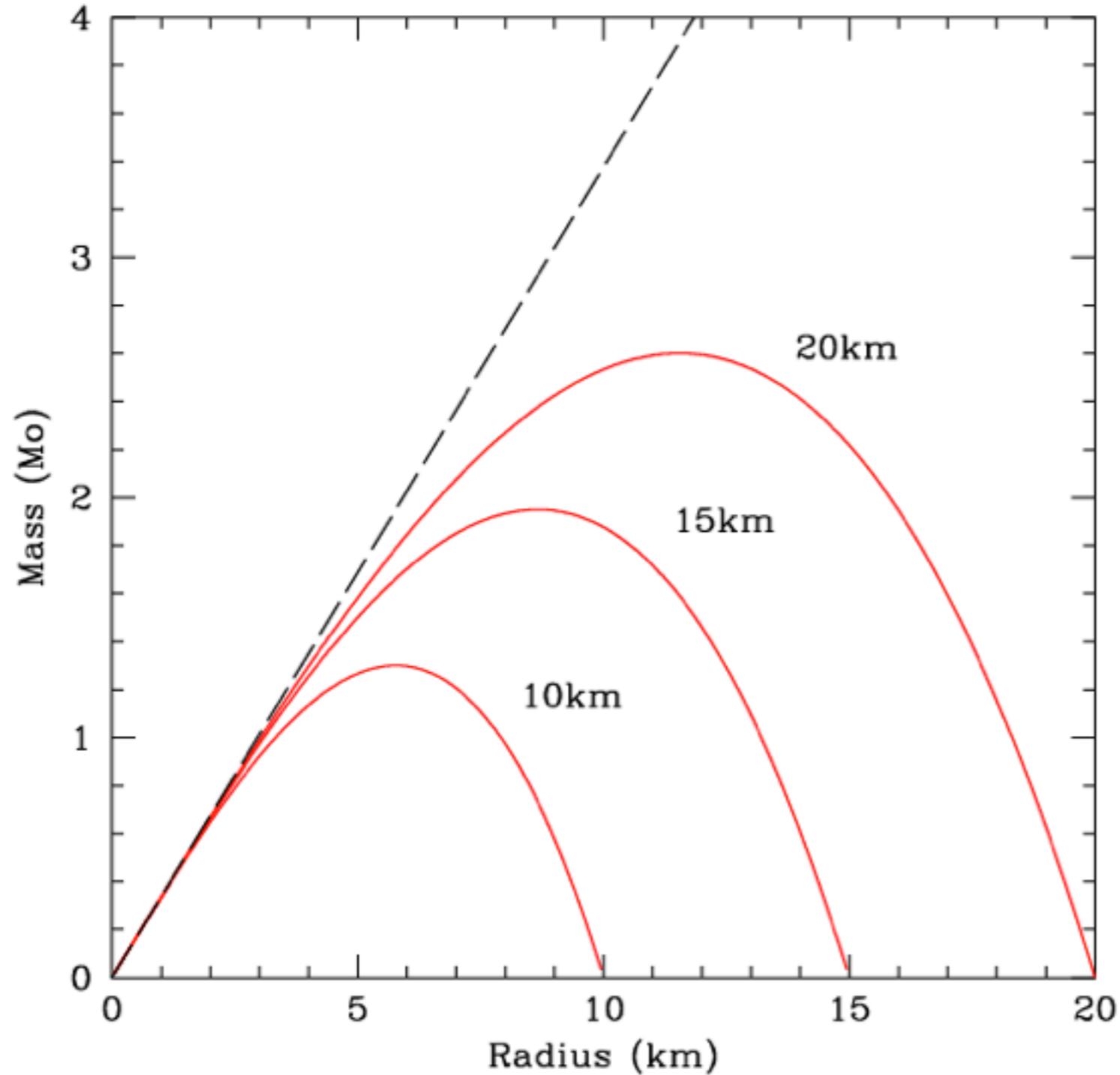


# *Kütle-Yarıçap Ölçümleri*



Demorest ve diğ. 2010

# *Kütle-Yarıçap Ölçümleri*

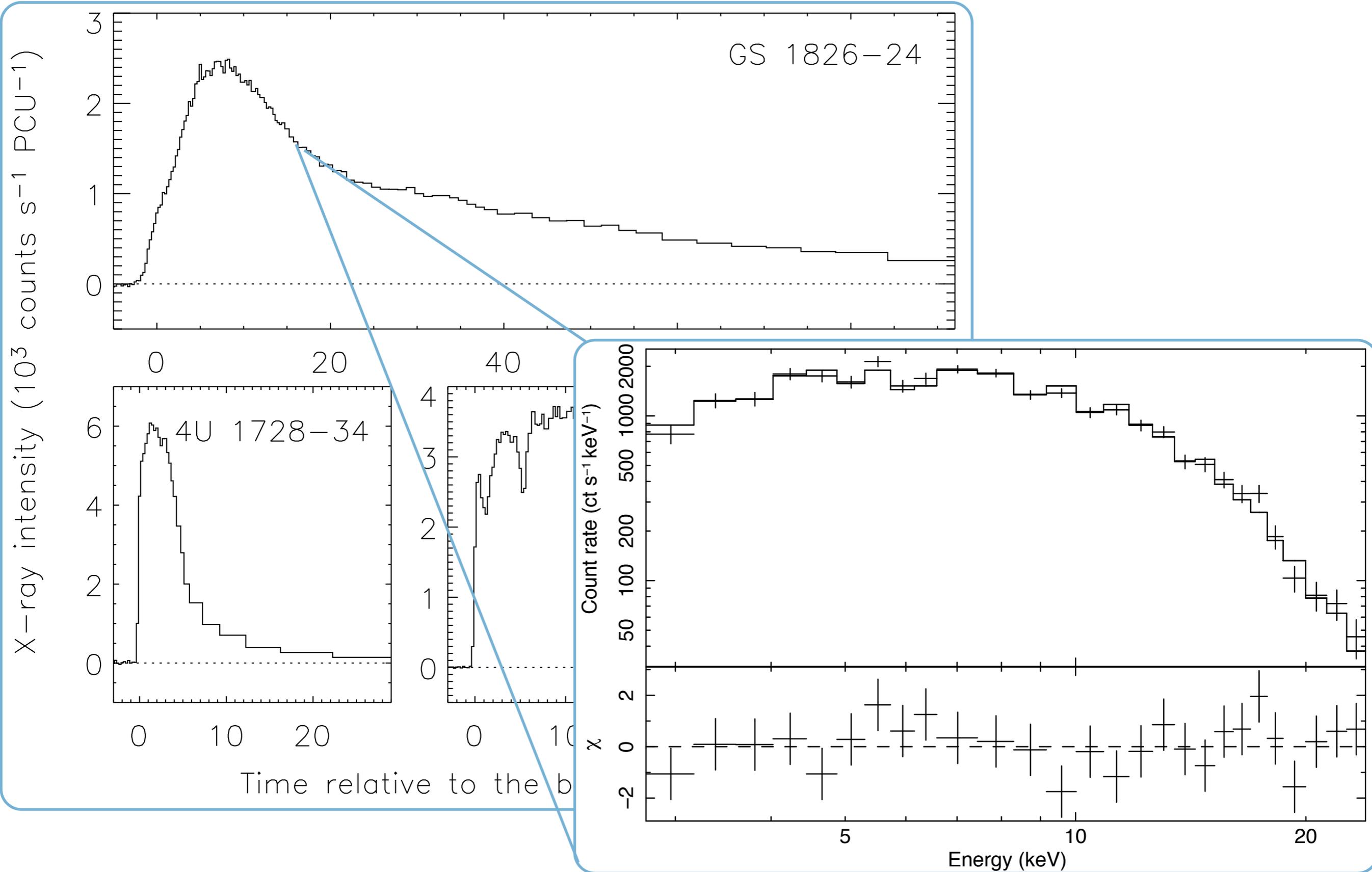


$$A = \frac{R^2}{D^2 f_c^4} \left( 1 - \frac{2GM}{Rc^2} \right)^{-1}$$

# *Termonükleer X-ışın Patlamaları*



# Gözlemler



# Patlama sırasındaki tayfsal Evrim

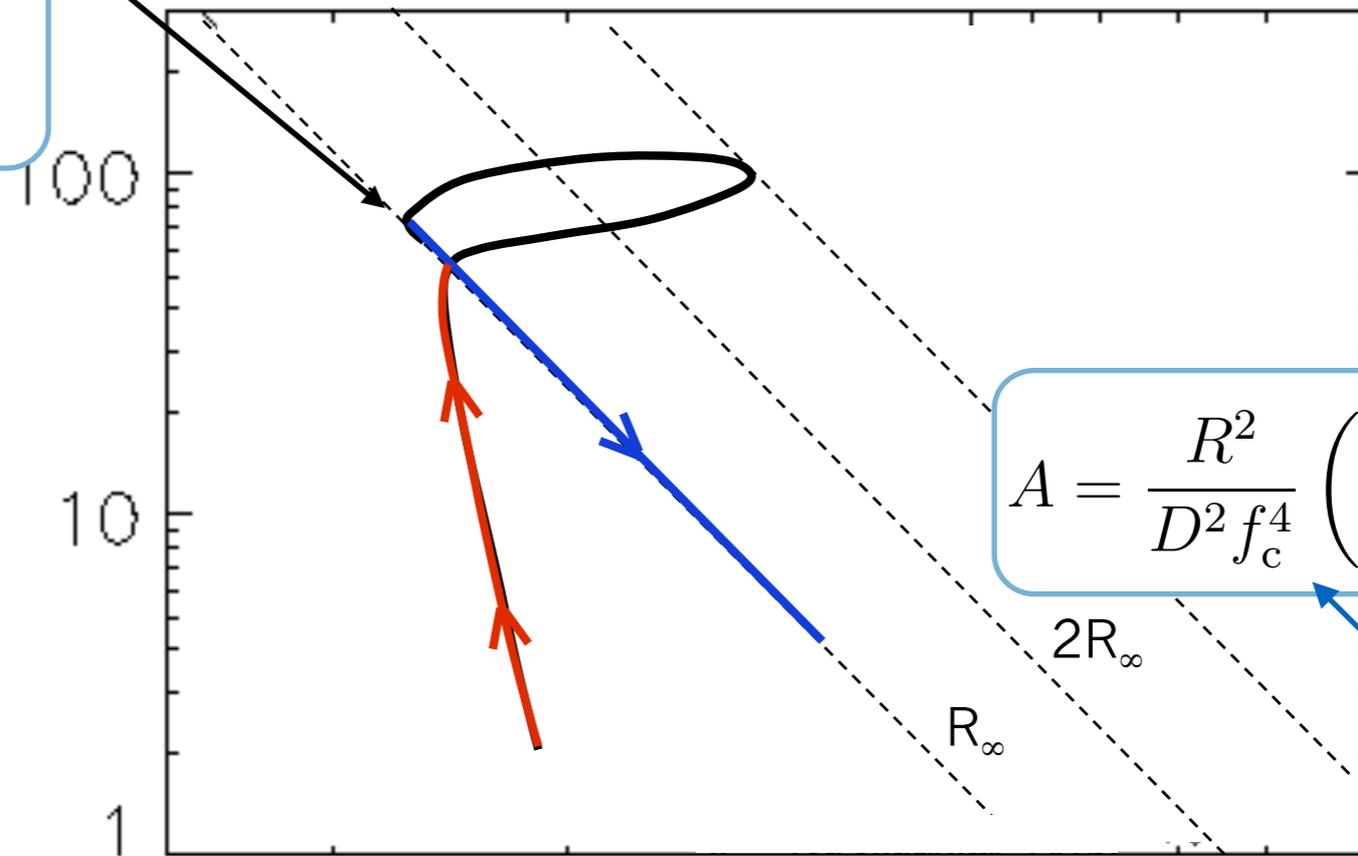
## X-ışın Patlamaları için H-R diyagramı

Touchdown point

$$F_{\text{TD}} = \frac{GMc}{k_{\text{es}}D^2} \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{1/2}$$

(1+X)

Luminosity (arbitr)



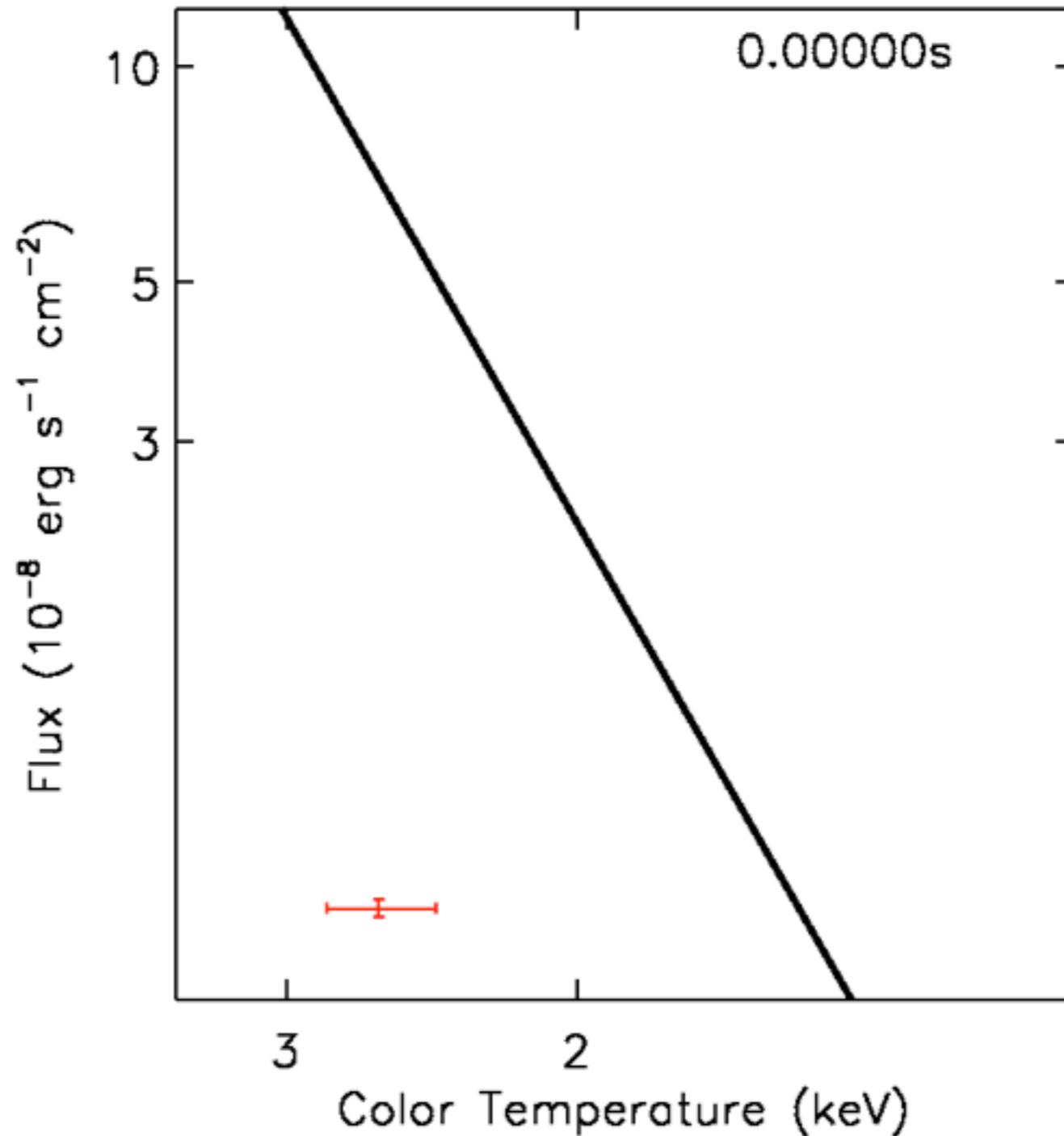
$$A = \frac{R^2}{D^2 f_c^4} \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{-1}$$

$T_c / T_{\text{eff}}$

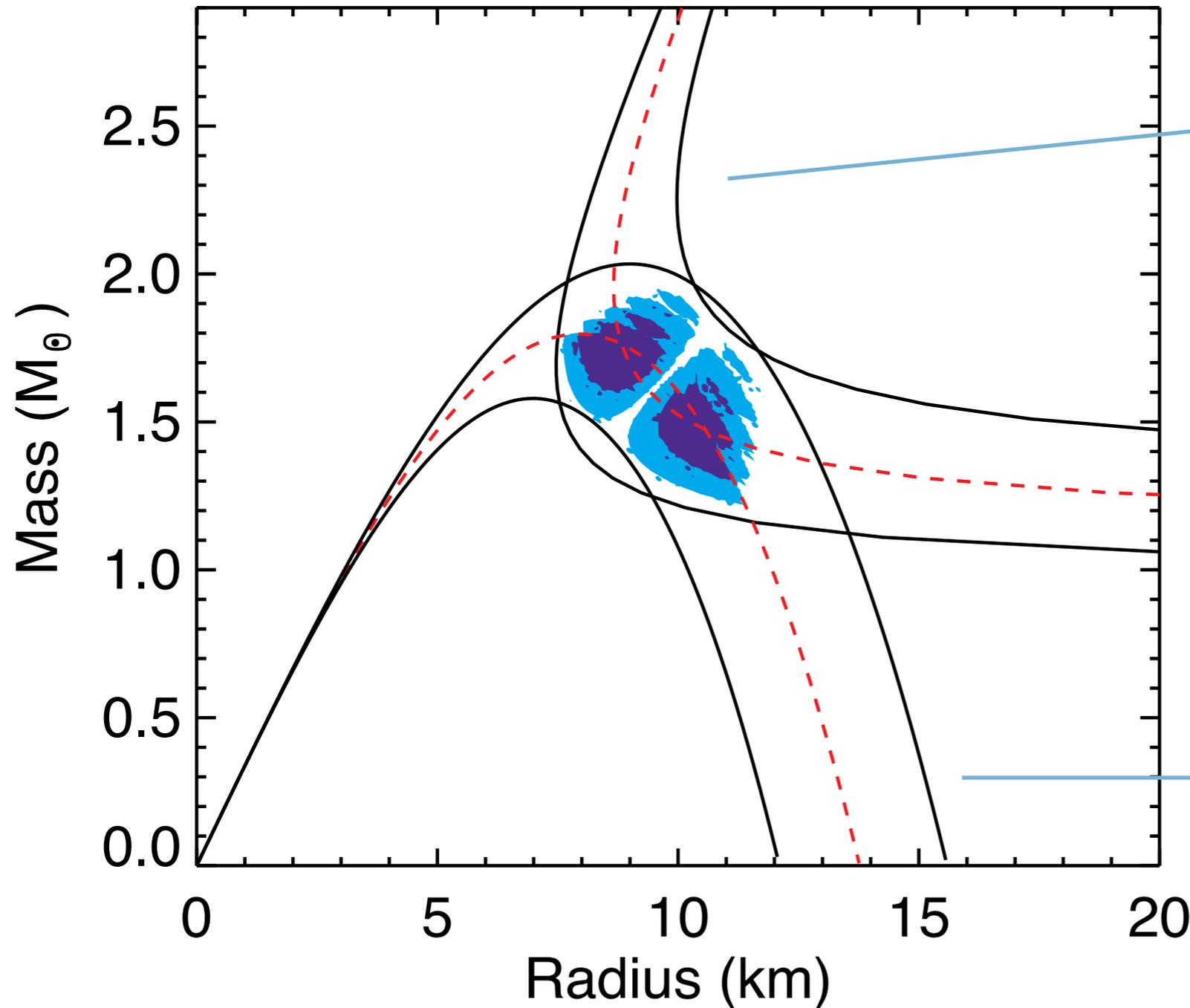
Temperature (keV)

# *Patlama sırasındaki tayfsal Evrim*

X-ışın Patlamaları için H-R diyagramı



# Eddington Limiti ve Görünen Yarıçap



$$F_{\text{TD}} = \frac{GMc}{k_{\text{es}}D^2} \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{1/2}$$

$$A = \frac{R^2}{D^2 f_c^4} \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{-1}$$

# *X-ışın Patlama Verileri*

RXTE uydusu tarafından 1996 - 2008 yılları arasında yapılan gözlemler.

Toplam 48 farklı düşük kütleli X-ışın çiftinden patlama gözlemleri yapıldı.

Toplam 1750 X-ışın patlaması gözlemlendi.

Table 1: X-RAY BURSTERS

Name	RA	DEC	Number of Bursts	$N_{\text{H}}$ ( $10^{22} \text{ cm}^{-2}$ )	$N_{\text{H}}$ Method <sup>a</sup>
4U 0513–40	05 14 06.60	–40 02 37.0	6	0.014 <sup>1</sup>	GC <sup>b</sup>
4U 1608–52	16 12 43.00	–52 25 23.0	26	1.08±0.16 <sup>2</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
4U 1636–53	16 40 55.50	–53 45 05.0	162	0.44 <sup>3</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
4U 1702–429	17 06 15.31	–43 02 08.7	46	1.95	X-ray continuum <sup>d</sup>
4U 1705–44	17 08 54.47	–44 06 07.4	44	2.44±0.09 <sup>4</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
4U 1724–307	17 27 33.20	–30 48 07.0	3	1.08 <sup>1</sup>	GC <sup>b</sup>
4U 1728–34	17 31 57.40	–33 50 05.0	90	2.49 ±0.14 <sup>4</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
KS 1731–260	17 34 12.70	–26 05 48.5	24	2.98	X-ray continuum <sup>d</sup>
4U 1735–44	17 38 58.30	–44 27 00.0	6	0.28 <sup>3</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
EXO 1745–248	17 48 56.00	–24 53 42.0	22	1.4±0.45 <sup>5</sup>	X-ray continuum <sup>d</sup>
4U 1746–37	17 50 12.7	–37 03 08.0	7	0.36 <sup>6</sup>	GC <sup>b</sup>
SAX J1748.9–2021	17 48 52.16	–20 21 32.4	4	0.79 <sup>6</sup>	GC <sup>b</sup>
SAX J1750.8–2900	17 50 24.00	–29 02 18.0	4	4.97	X-ray continuum <sup>d</sup>
4U 1820–30	18 23 40.45	–30 21 40.1	5	0.25 ±0.03 <sup>7</sup>	X-ray edges <sup>c</sup>
AQL X–1	19 11 16.05	+00 35 05.8	51	0.34±0.07 <sup>8</sup>	Counterpart <sup>e</sup>

<sup>a</sup>References : (1) Harris 1996; (2) Güver et al. 2010a (3) Juett et al. (2004, 2006); (4) Wroblewski et al. 2008; (5) Wijnands et al. 2005; (6) Valenti et al. 2007; (7) Güver et al. 2010b; (8) Chevalier et al. 1999

<sup>b</sup>Optical/IR observations of the globular cluster

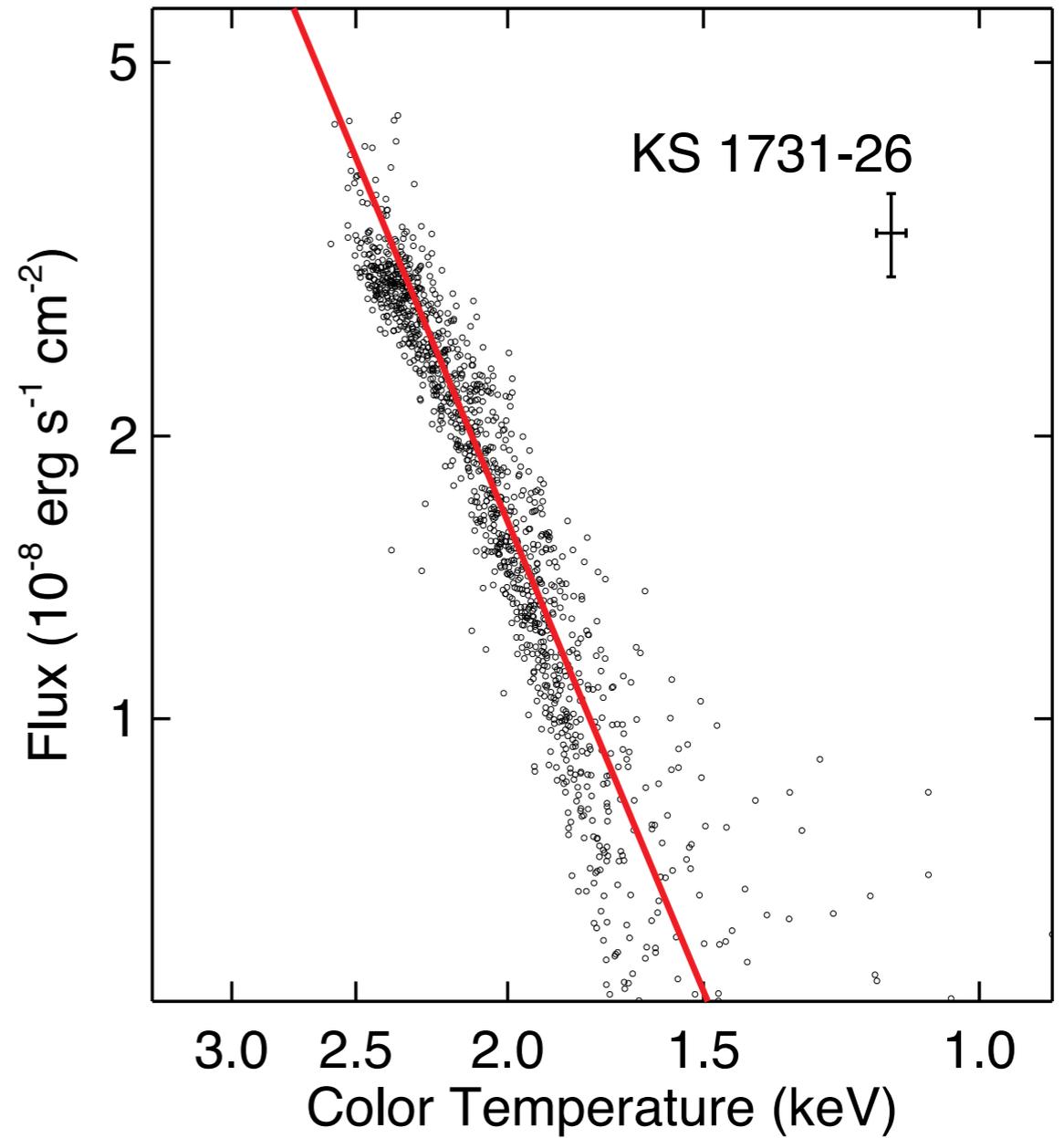
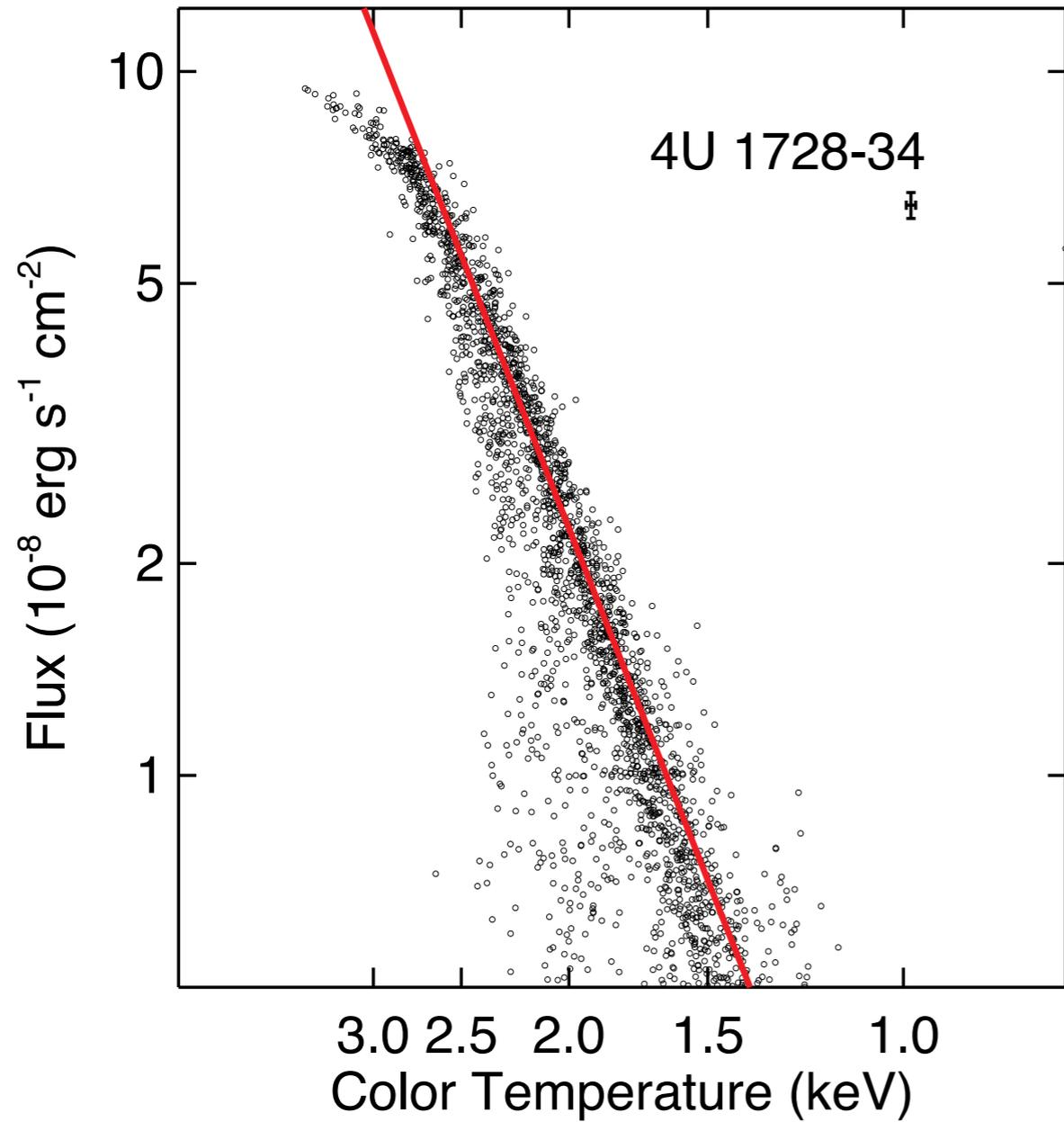
<sup>c</sup>High resolution spectroscopy of X-ray absorption edges

<sup>d</sup>Average of continuum X-ray spectroscopy

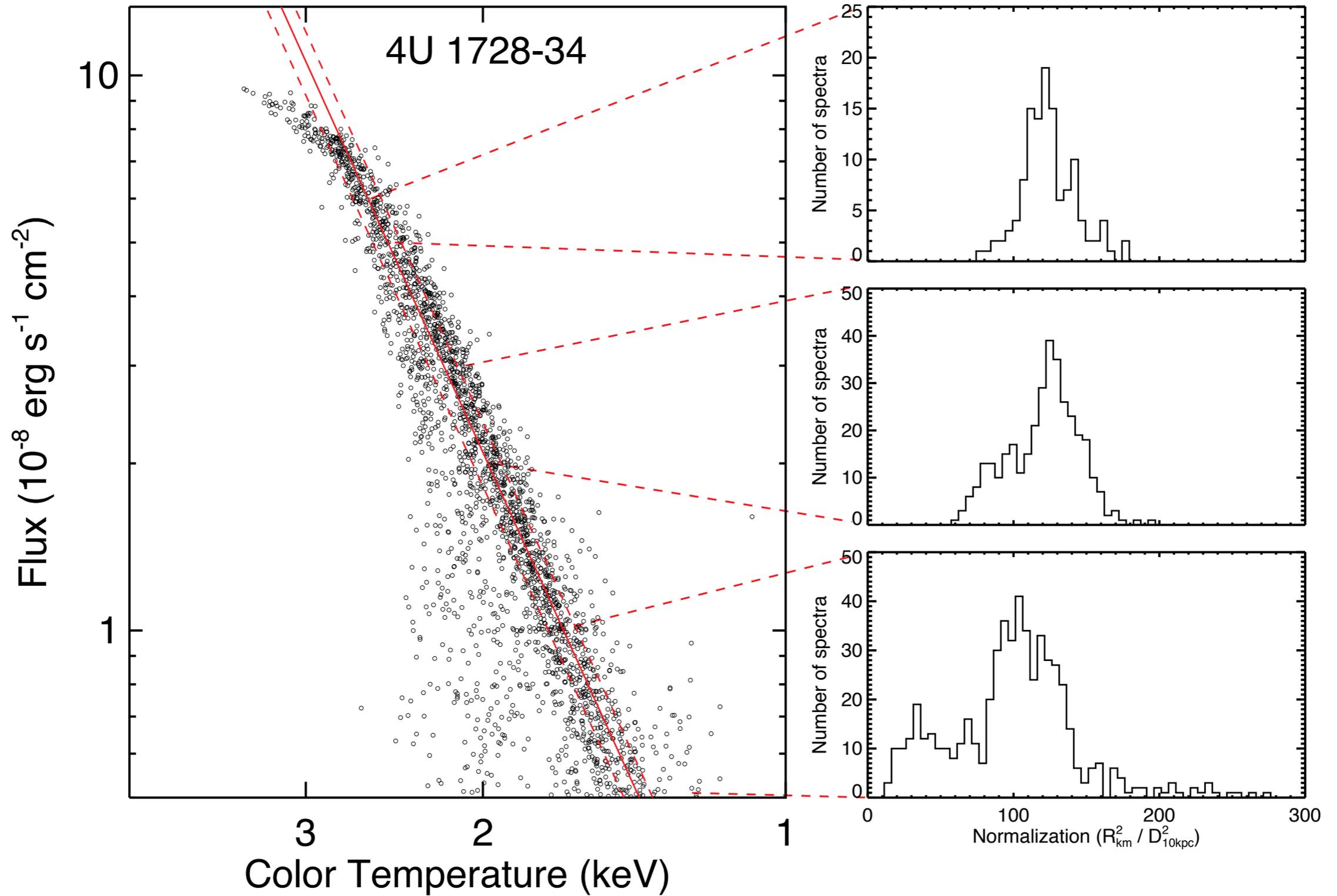
<sup>e</sup>Optical spectroscopy of the counterpart

**Toplam 446 X-ışın patlamasından 13095 spektrum**

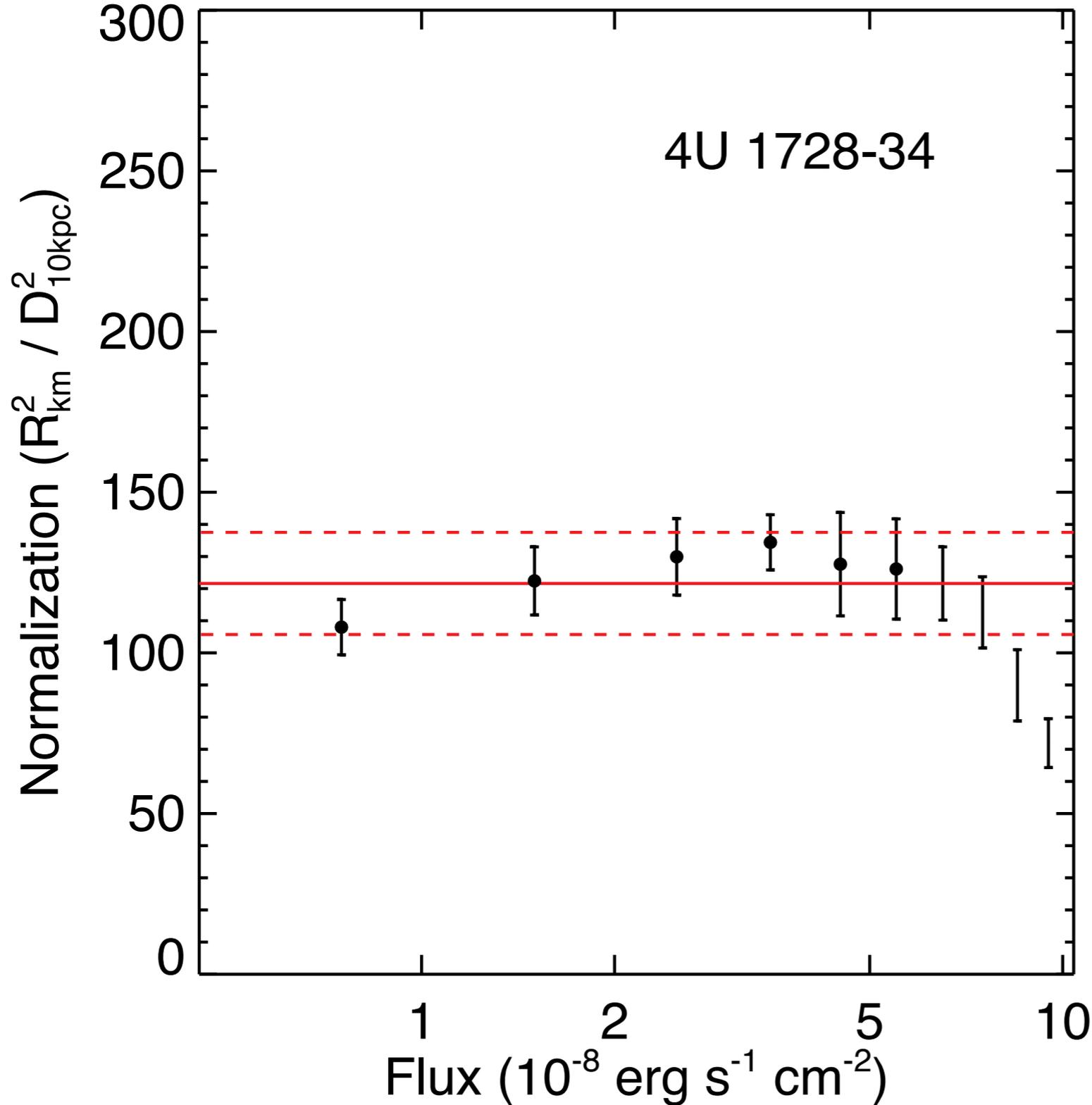
# *X-ışın Patlamalarının Soğuma Evreleri*



# Görünen Yarıçapların Hesaplanması

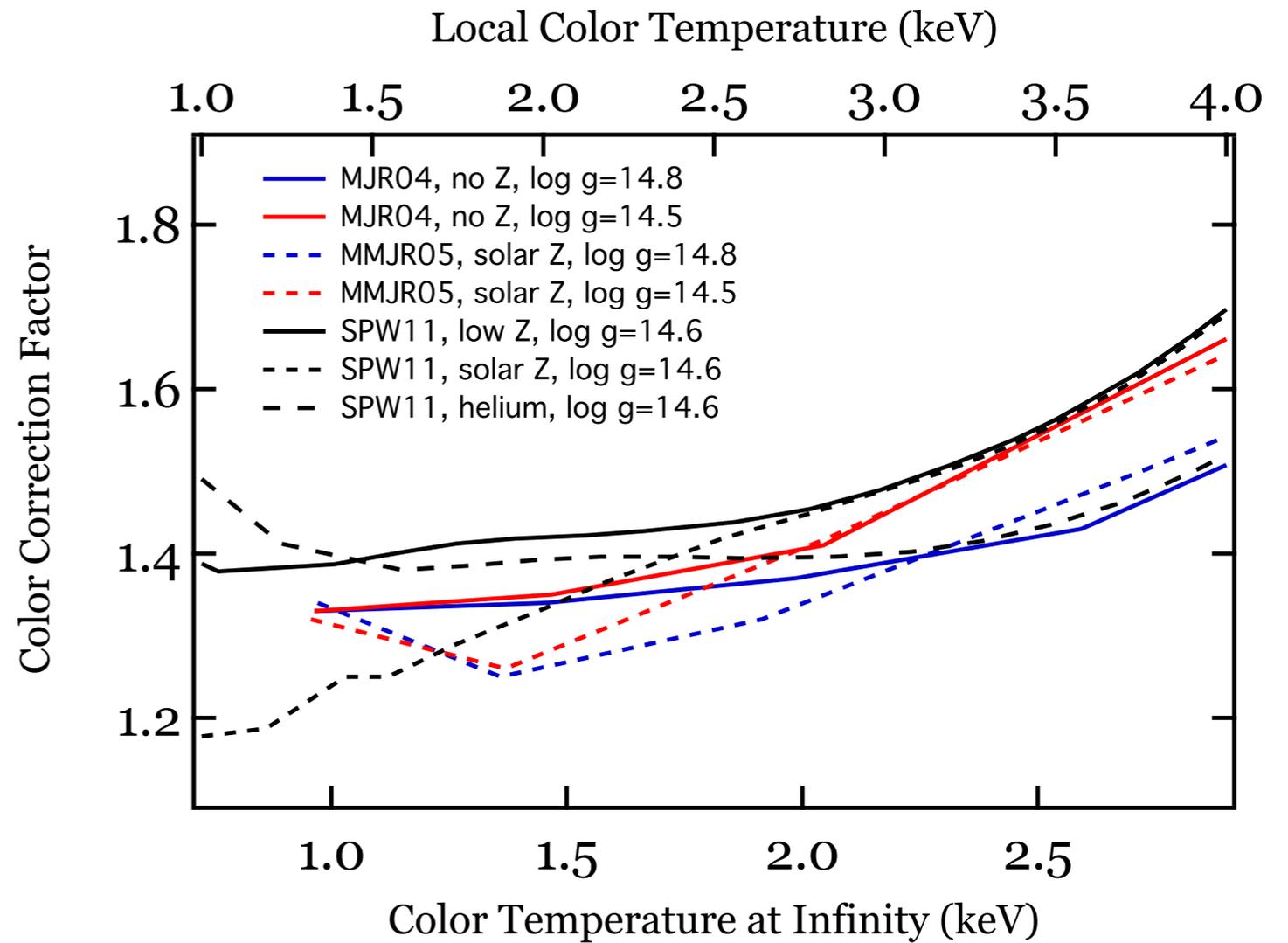
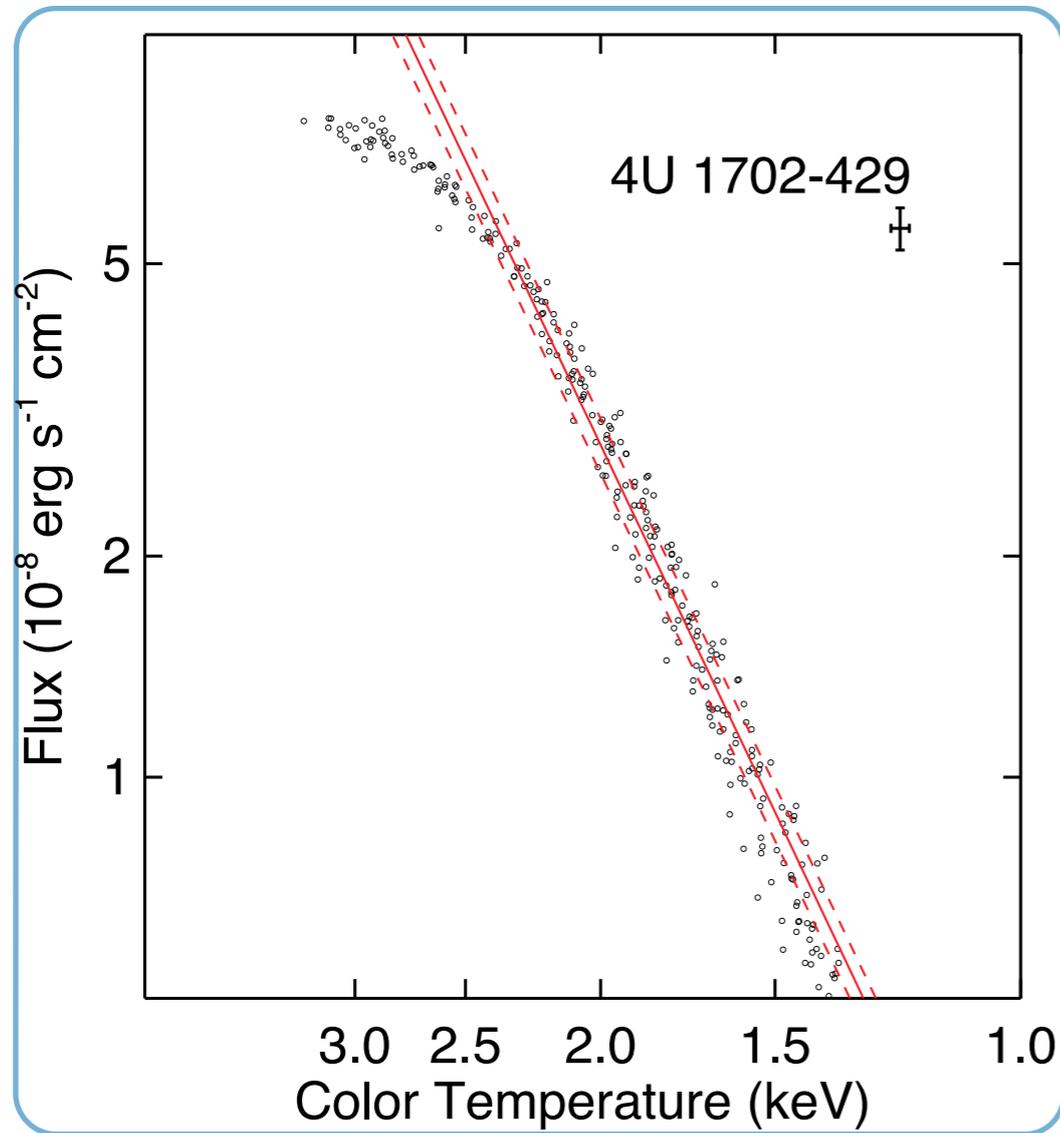


# Görünen Yarıçaplardaki Sistemik Hatalar

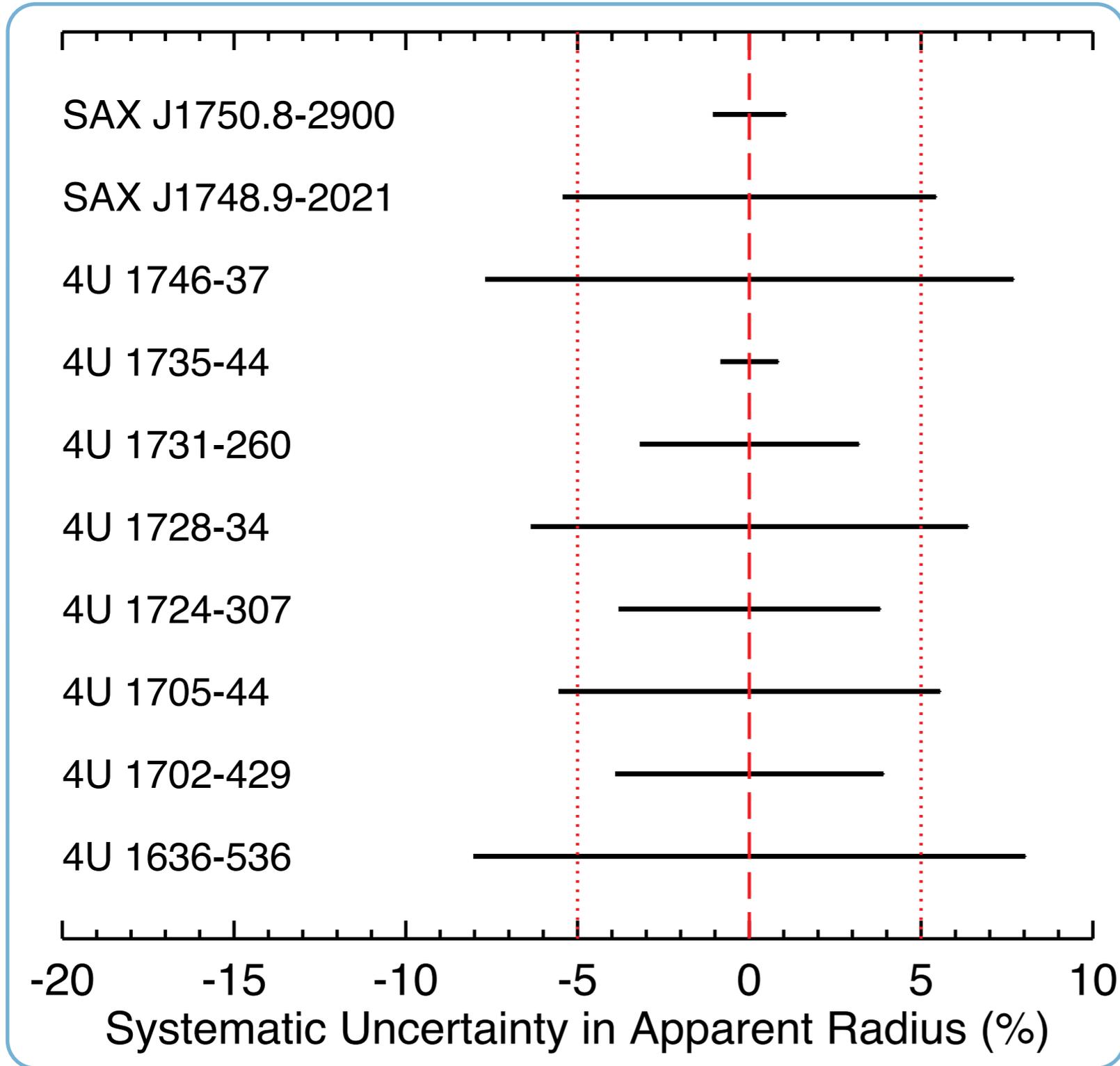


Renk düzeltme faktöründeki %7'lik bir değişim ile modellenenebilir.

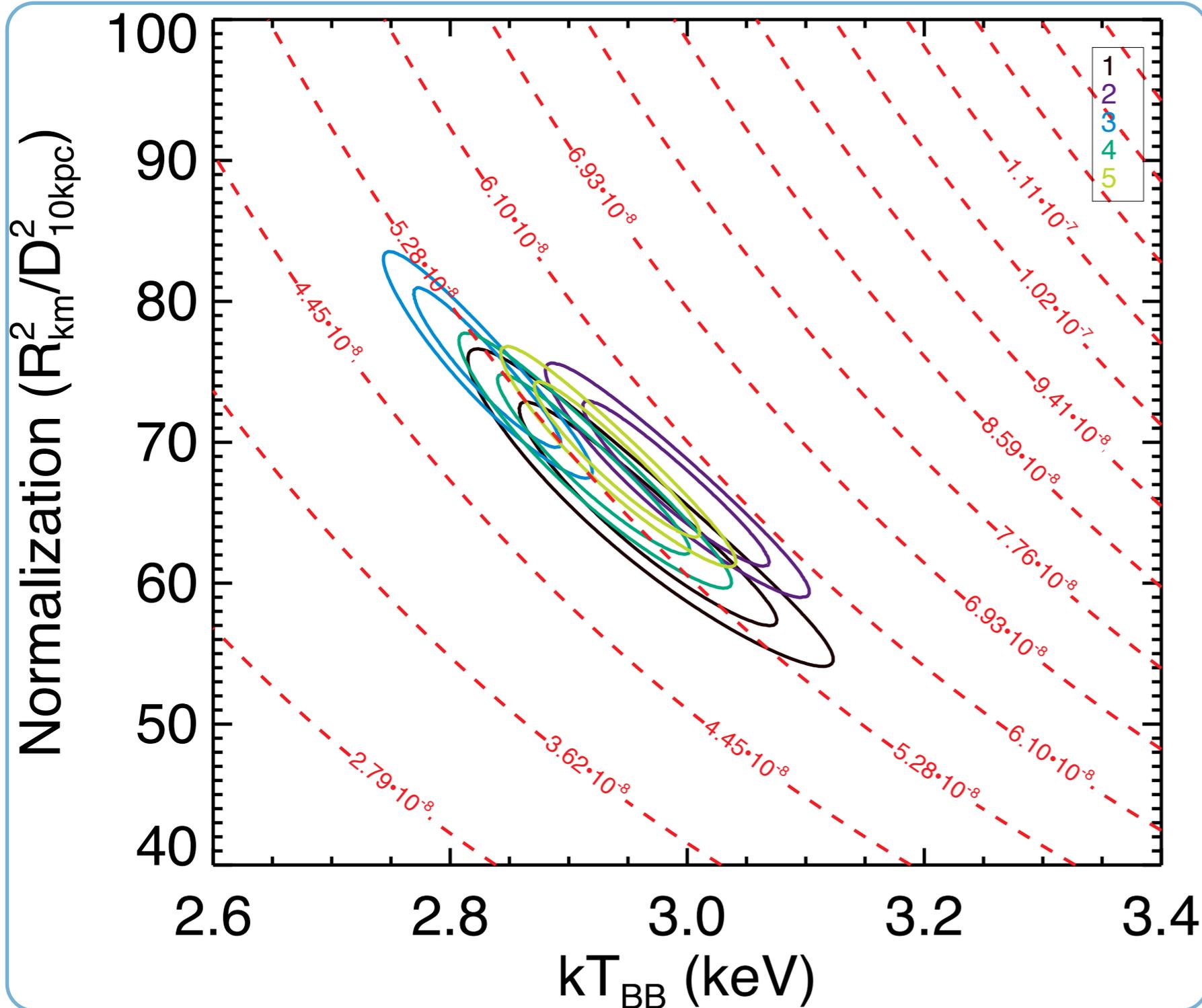
# Renk düzeltmesi faktörünün evrimi üzerine güzel bir örnek, 4U 1702-429



# Görünen yarıçap ölçümlerindeki sistematik hatalar

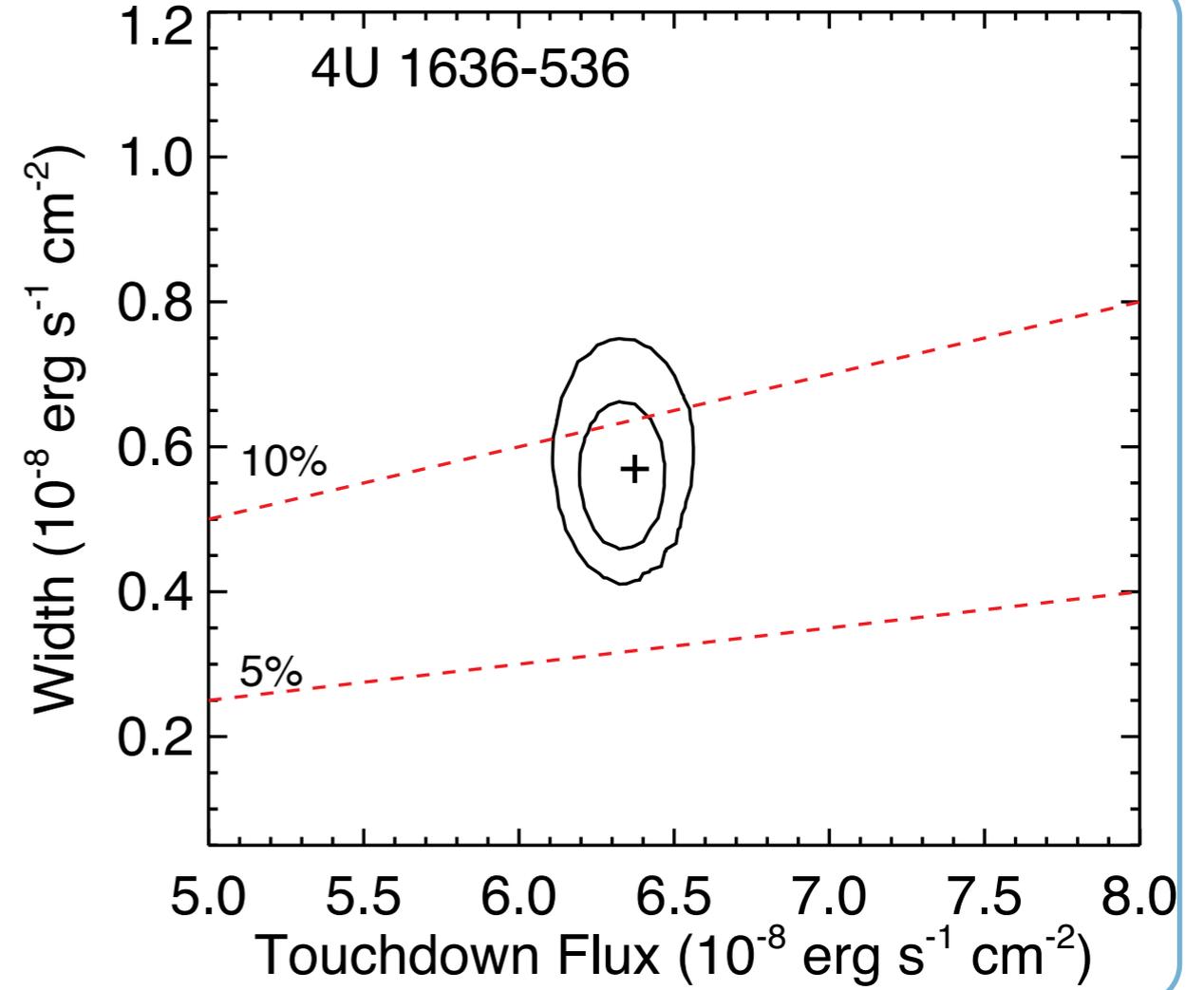
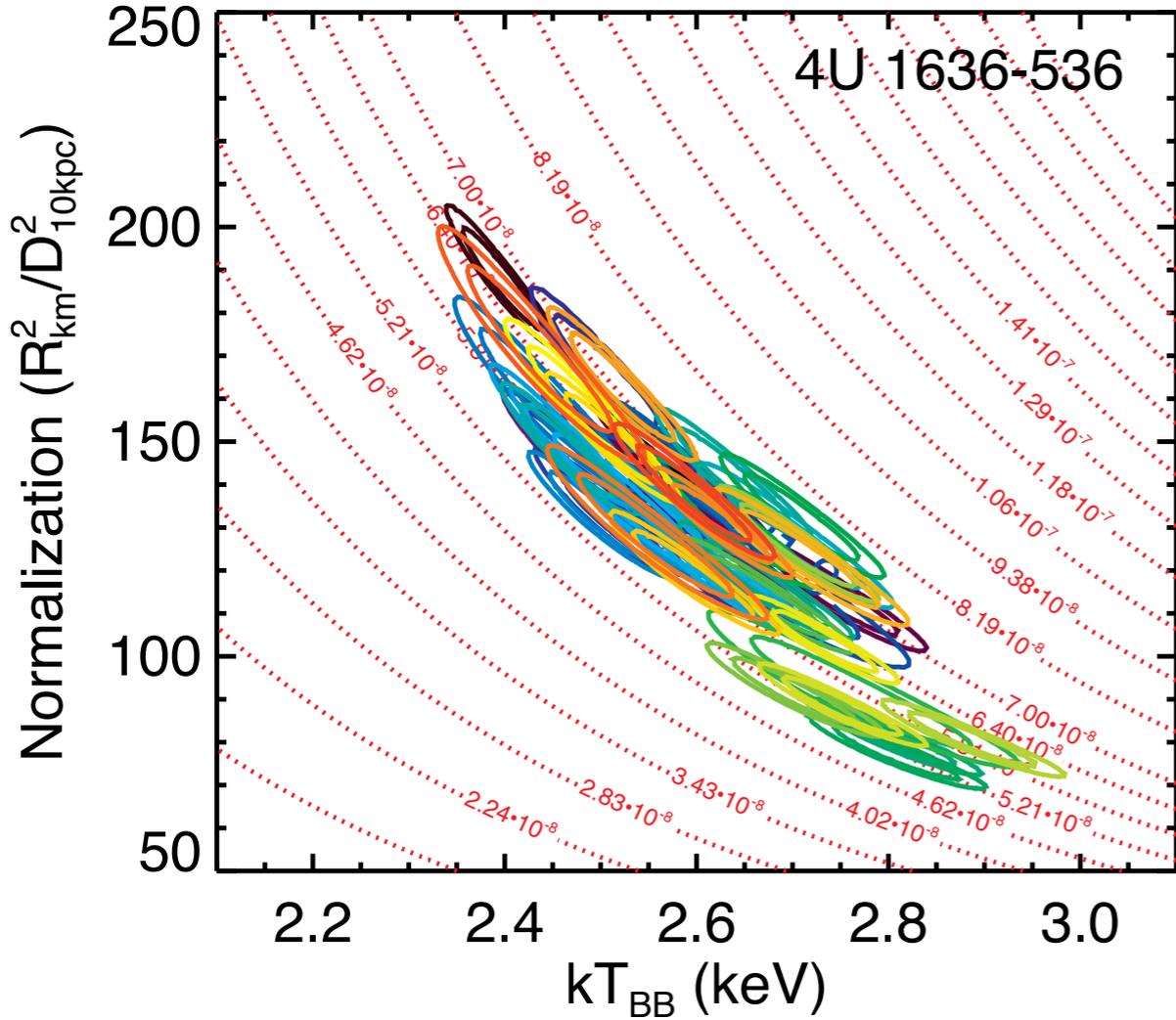


# Eddington limit ölçümlerindeki sistematik hatalar



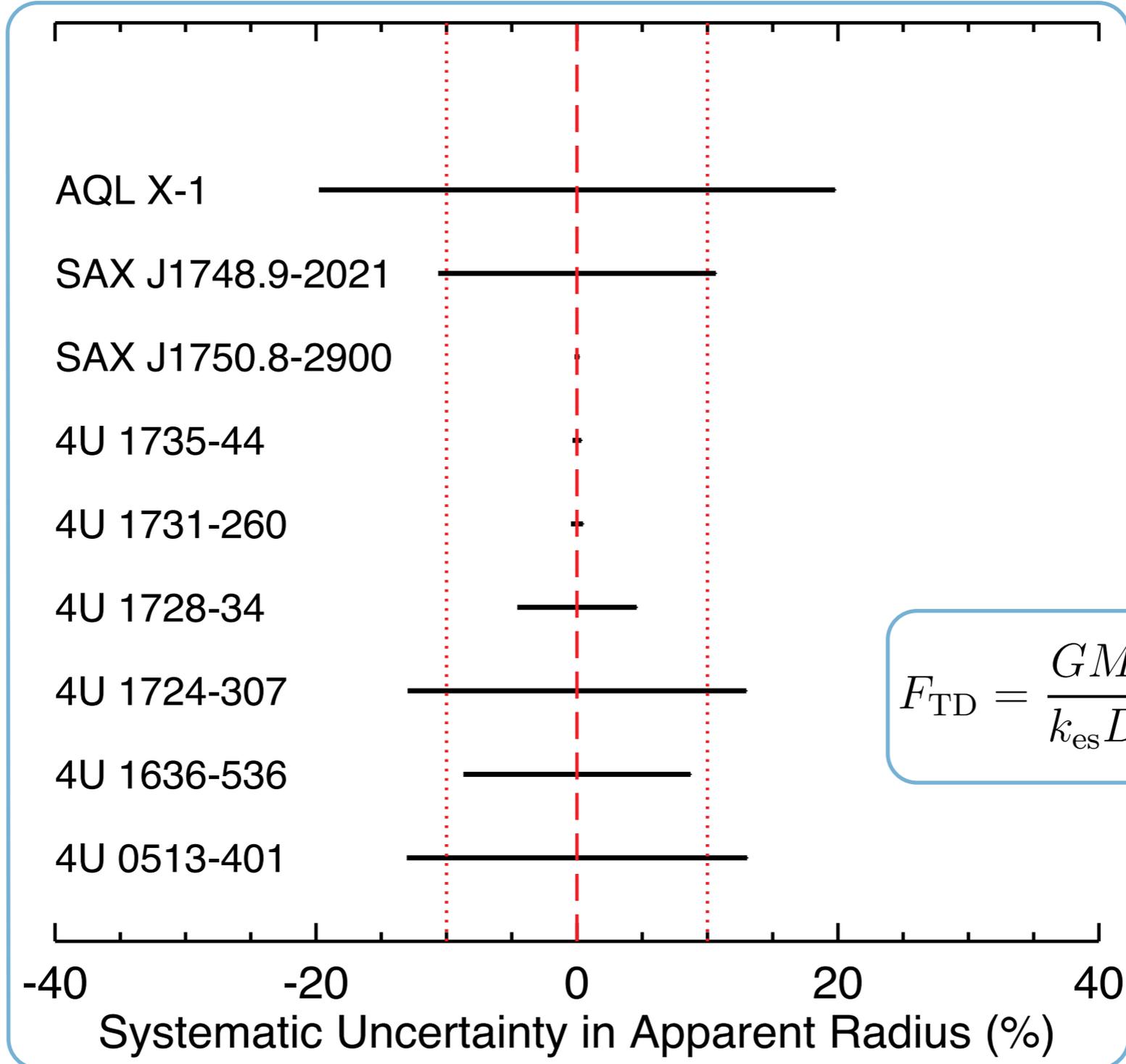
4U 1820-30'dan  
gözlenen tüm  
X-ışın  
patlamaları

# Eddington limit ölçümlerindeki sistematik hatalar



4U 1636-536'dan gözlenen 47 X-ışın patlaması

# Eddington limit ölçümlerindeki sistematik hatalar



$$F_{\text{TD}} = \frac{GMc}{k_{\text{es}}D^2} \left( 1 - \frac{2GM}{Rc^2} \right)^{1/2}$$

# *Ölçümler ve Güncellemeler*

Önceki hesaplarda nötron yıldızları yarıçap ve ışınım gücü hesaplarında için Schwarzschild Metriği kullanılmıştır.

Bu hesaplar Hartle-Thorne yaklaşımına dayanan yeni hesaplamalar ile geliştirildi (Bauböck ve diğ. 2013, 2014).

Eddington Limitindeki elektron saçılma opasitesi terimi sıcaklıktan bağımsız olarak alınmıştı.

Bunun yerine Paczynski (1983) tarafından kullanılan bir ifade ile opasitenin sıcaklığa bağlılığı hesaplara katıldı.

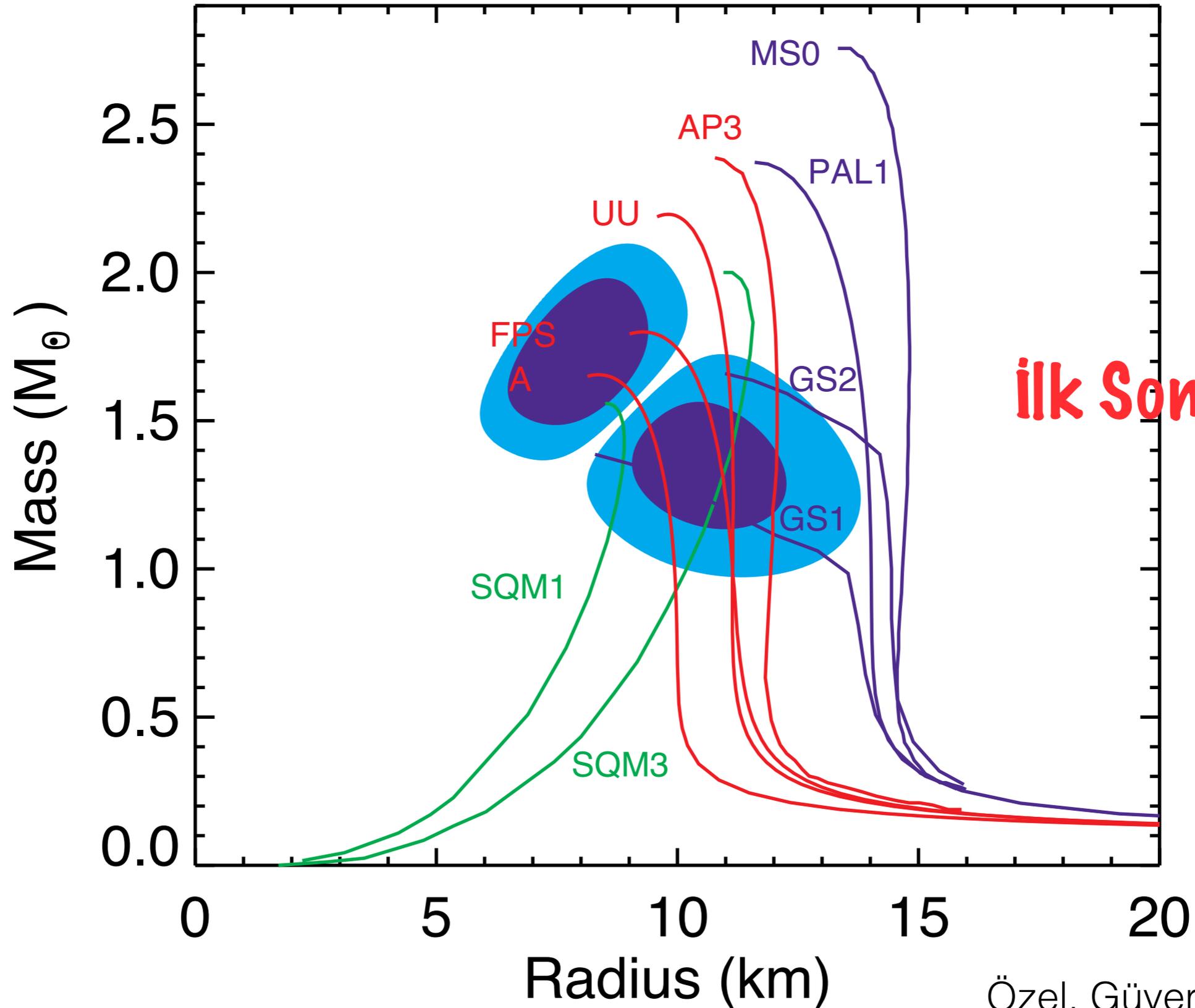
# *Ölçümler ve Güncellemeler*

Daha önceki hesaplamalar tek tek kaynakların kullanılması ve bunlara ait yapılan ölçümlerin istatistik hatalarının kullanılması ile yapılmıştı.

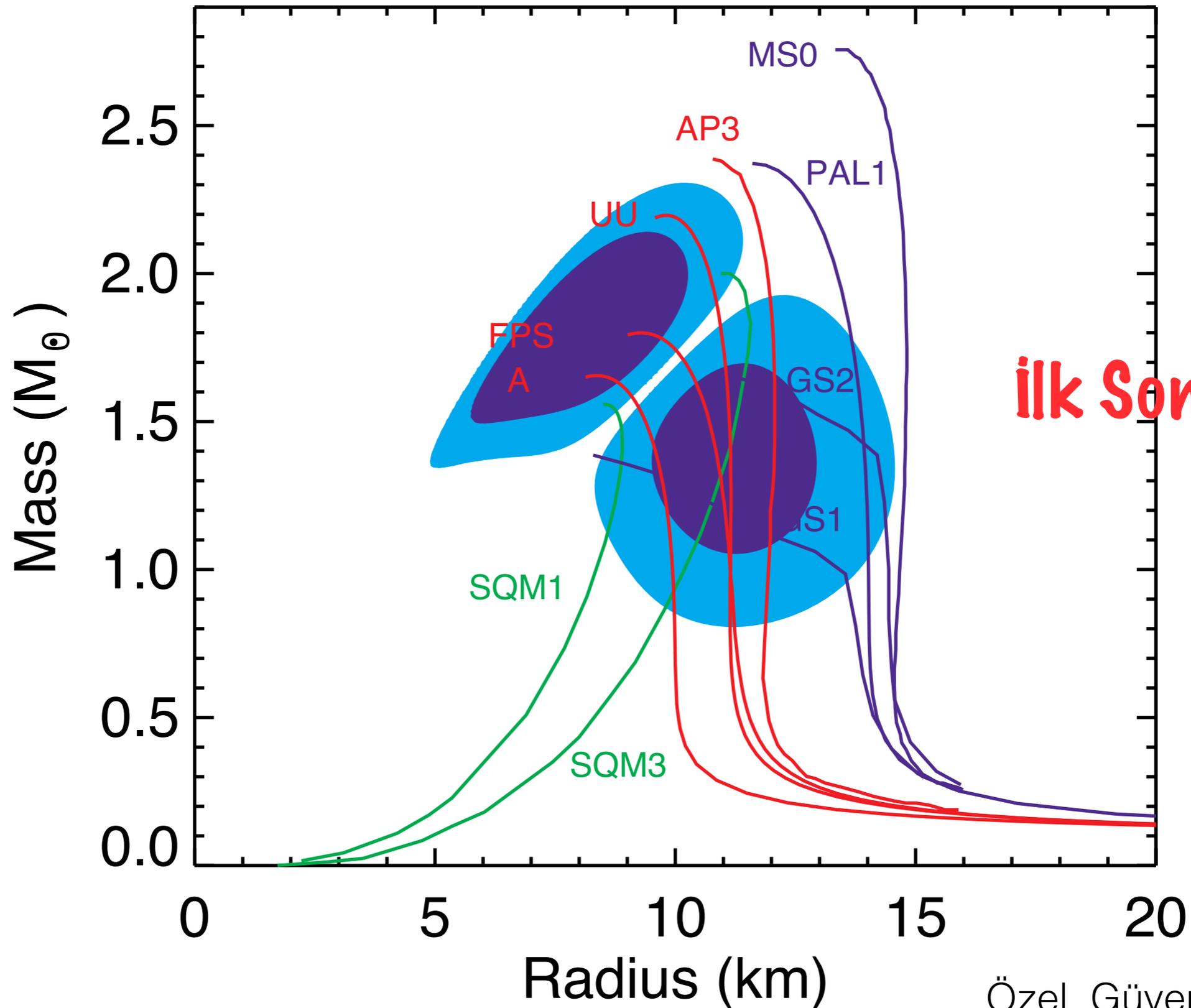
Bu hesaplar, sistemlerin tümünden itibaren elde edilen sistematik hataları da içerecek şekilde güncellendi.

RXTE/PCA 'in mutlak akı kalibrasyonu incelendi (Güver ve diğ. 2015) ve yeni ölçümlerde bu kalibrasyon çalışmasının sonuçları da dikkate alındı.

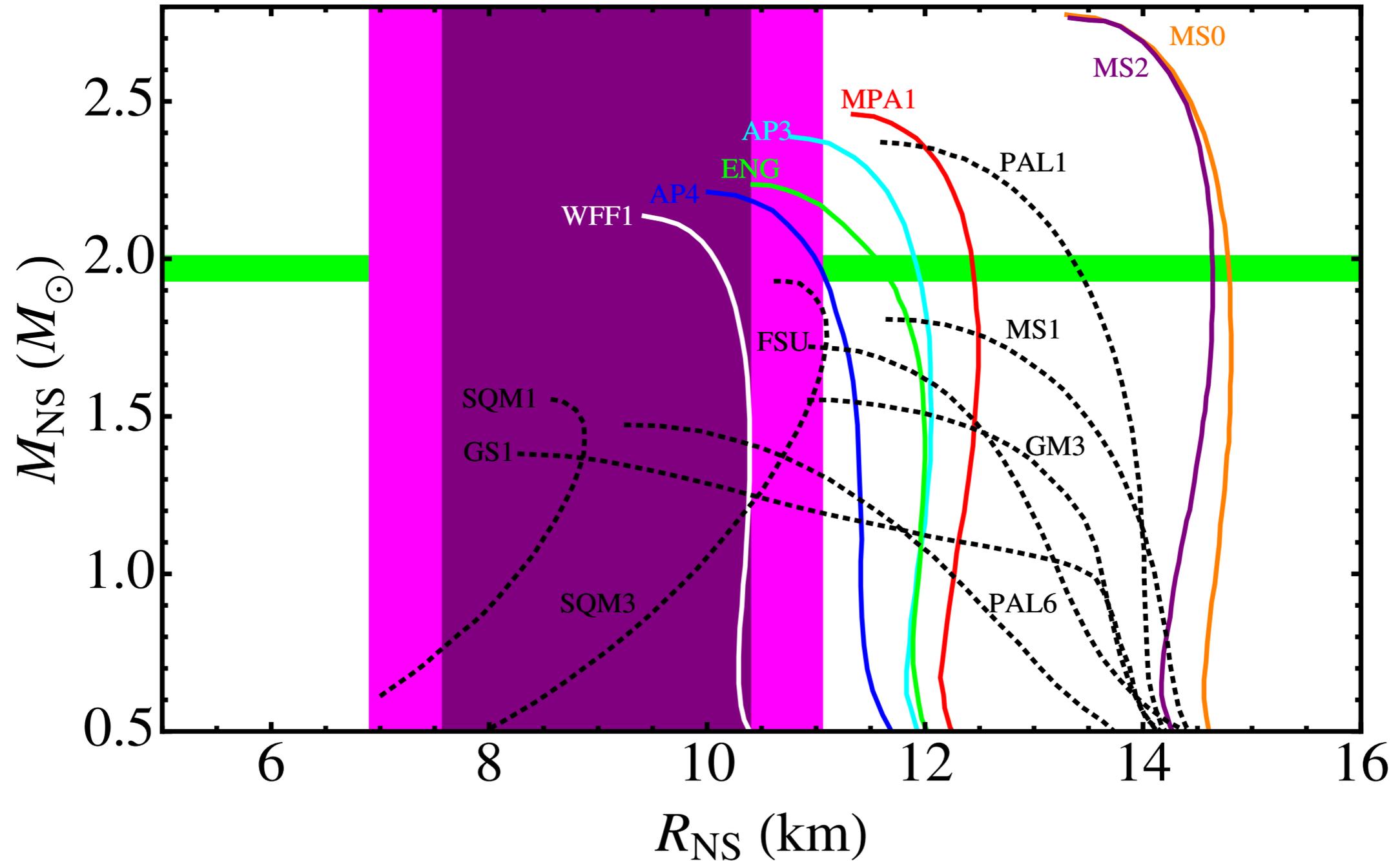
# EXO 1745-248



# *SAX J1748.9-2021*



# Küresel Kümelerdeki Kaynaklar



# *Sonuçlar*

Nötron yıldızlarının kütle ve yarıçap ölçümleri hem astronomi hem de fizik için son derece önemli bilgiler içermekte.

X-ışın patlamaları kütle ve yarıçap ölçümleri için önemli bir fırsat sunmaktalar.

Yaptığımız çalışmalar ile sadece bazı nötron yıldızlarının kütle ve yarıçaplarını ölçmek ile kalmadık aynı zamanda bu ölçümlerdeki sistematik hataları da belirledik.

# *Gelecek*

Gelecek nesil X-ışın uydusu ve alıcılar için hazırlıklar :  
ASTROSAT, NICER, LOFT

Daha fazla bağımsız uzaklık ölçümleri **GEREKLİ** :  
VISTA, UKIDSS,  
**GAIA**,  
radyo paralaks ölçümleri