



中国科学院粒子天体物理重点实验室
KEY LABORATORY OF PARTICLE ASTROPHYSICS, CAS



慧眼 - $HXMT$

Insight-HXMT & RXTE

Sco X-1中kHz QPO观测性质研究

贾淑梅

中国科学院高能物理研究所

“X射线天文学60周年及中国X射线天文研究”研讨会—2022.06.16



CONTENTS

- 1 Sco X-1基本情况
- 2 Insight-HXMT简介
- 3 慧眼对Sco X-1中各类QPO观测
- 4 kHz QPO性质研究
- 5 总结



01 Sco X-1



▶ **最亮的X射线源, $\sim L_{\text{edd}}$**

第一个探测到kHz QPO的XRB (van der Klis, 1996)

$D=2.8\text{kpc}$, NS ($\sim 1.4M_{\text{sun}}$) + M star ($\sim 0.4M_{\text{sun}}$)

▶ **时变研究: RXTE**

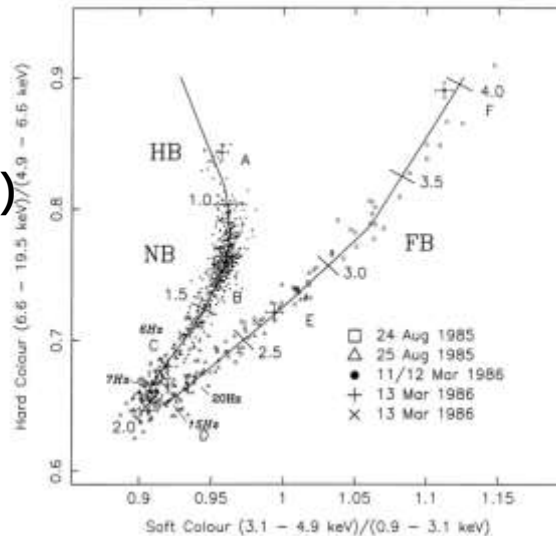
QPO随HID (Z-track)

HB、NB ($\sim 45\text{Hz}$, HBO)

HB、NB (kHz QPO)

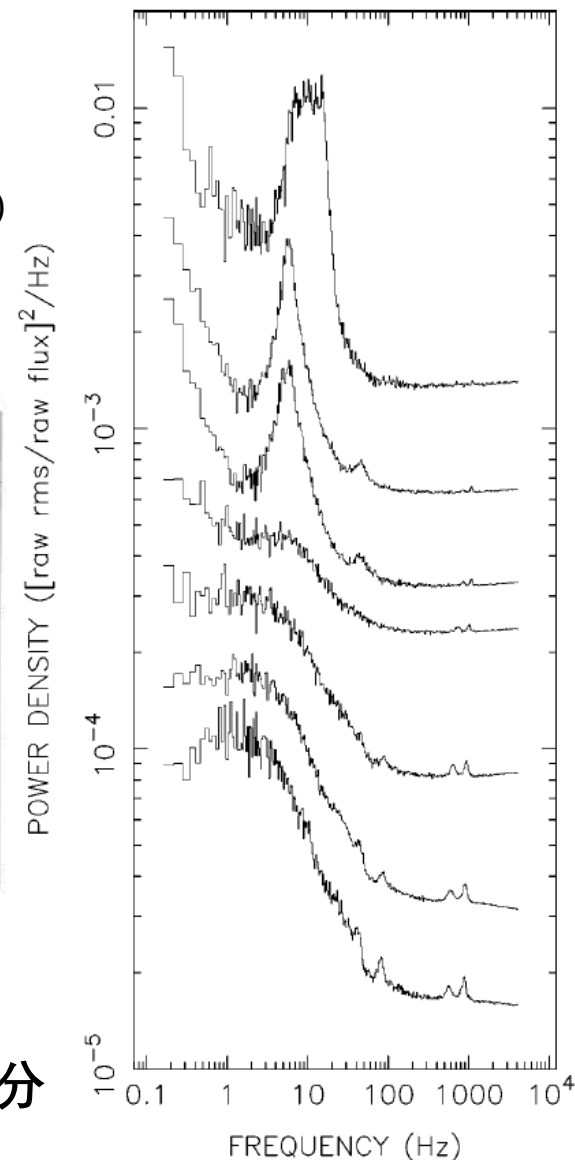
NB ($\sim 6\text{Hz}$, NBO)

FB ($\sim 16\text{Hz}$, FBO)



▶ **源强, 死时间、pile-up**

Sco X-1 QPO性质随能量的演化关系研究仍不充分



02 Insight-HXMT



- ① **探测能段宽:** 1-15 keV,
5-30 keV, 20-250 keV
- ② **时间分辨率高:** HE~2 μ s,
ME~264 μ s, LE~1ms
- ③ **有效面积大:** 5000 cm²,
952 cm², 384cm²
- ④ **无Pile-up效应**

适合开展亮源研究

- **发射时间:** 2017年6月15日
- **设计寿命:** 4 年
- **轨道:** circle

轨道高度: ~550km

轨道周期: ~96分钟

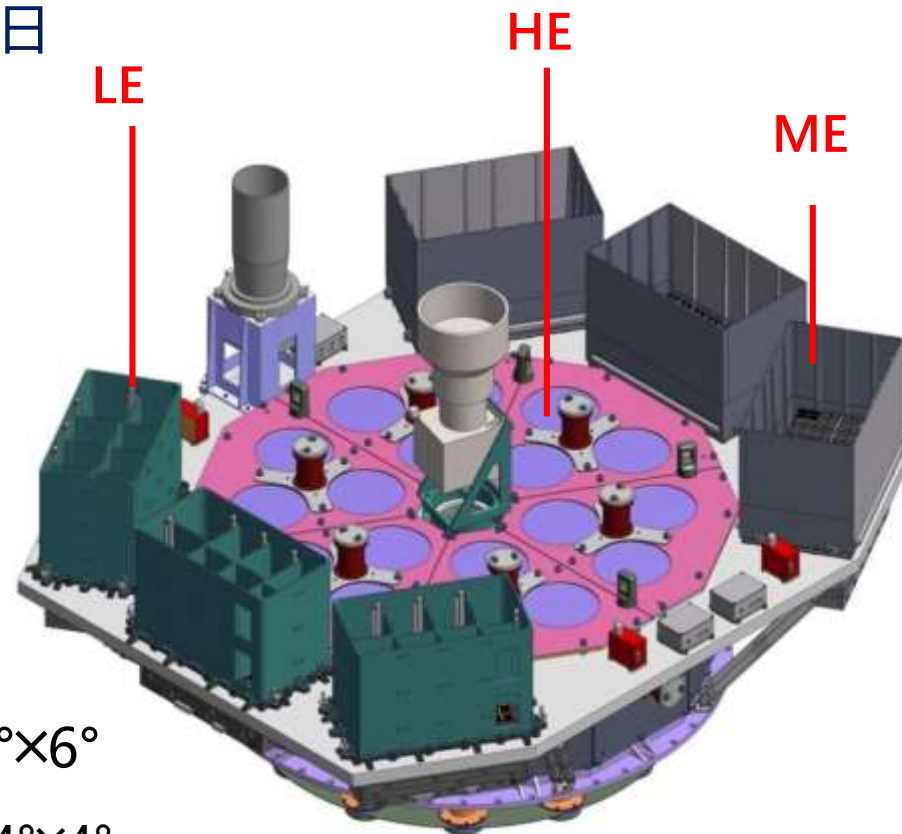
轨道倾角: 43°

- **有效载荷:**

LE: 96~SCD, 1.6°×6°; 4°×6°

ME: 1728~Si-PIN, 1°×4 °; 4°×4°

HE: 18~NaI/CsI, 1.1°×5.7°; 5.7°×5.7°

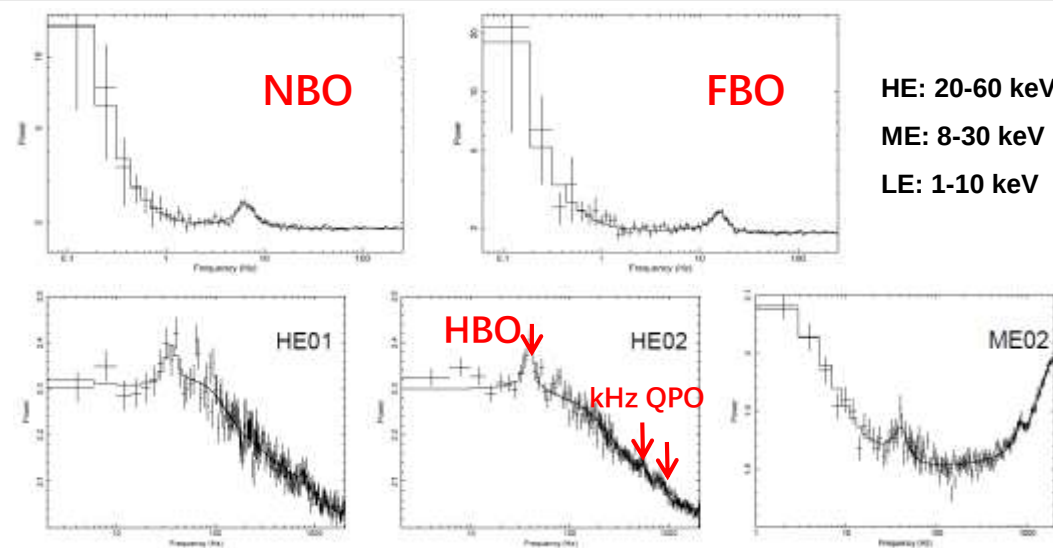
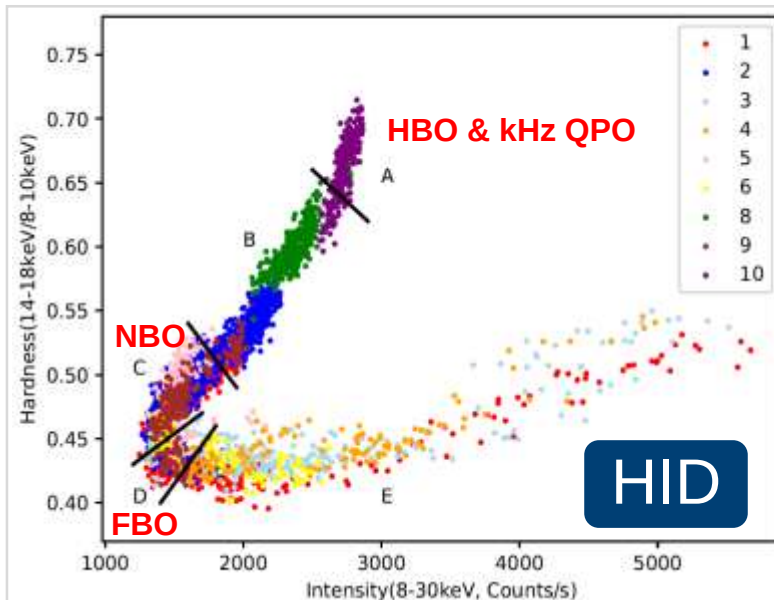


利用慧眼卫星数据进行Sco X-1各类QPO的观测研究

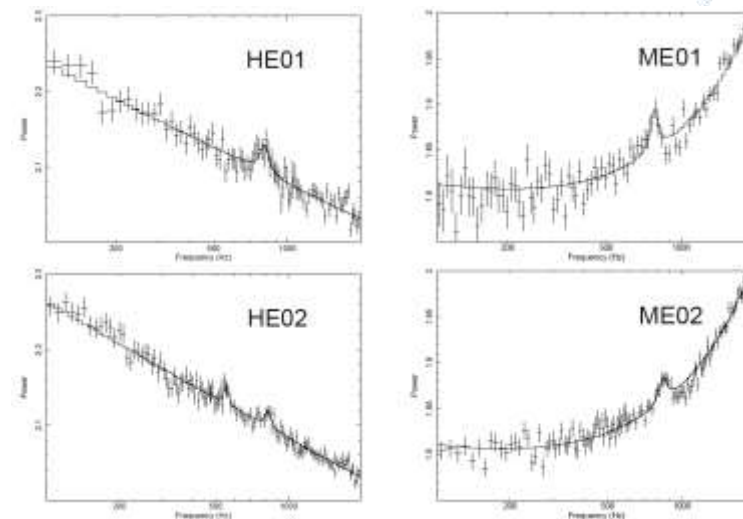
03 QPO性质研究



② 数据分析结果



中心频率不随能量变化, rms随能量而增大



慧眼: 首次在最高能段 (>20keV)
探测到kHz QPO

模型: kHz QPO吸积盘内边缘
(开普勒运动), 热辐射为主,
难以达到这么高的能量

→ 对kHz QPO模型提出挑战

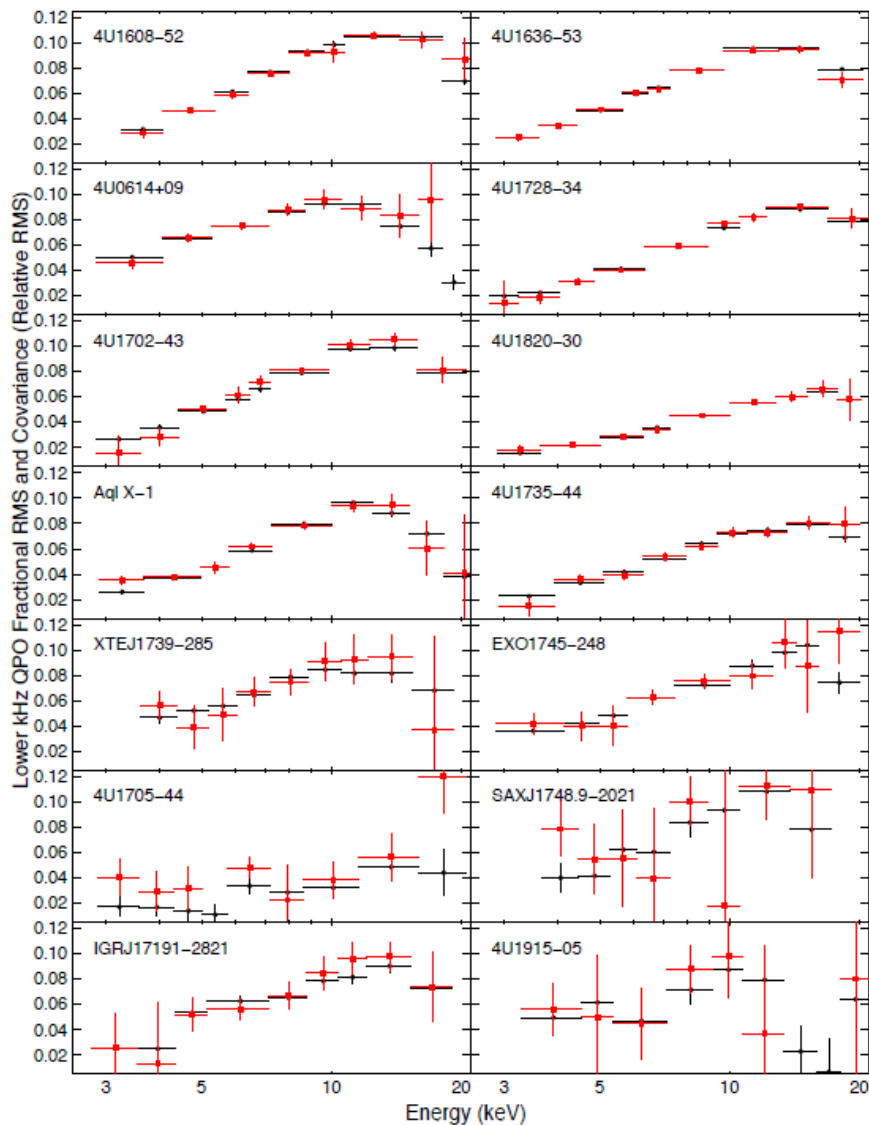
→ 辐射能段?

Jia et al., 2020

04 kHz QPO



① 随能量演化关系 研究现状



Atoll源: kHz QPO随能量演化关系

Z源: pile-up, 死时间, 数据量大
无详细随能量演化的研究

kHz QPO辐射能段未给出限制

Sco X-1: 慧眼数据 + RXTE

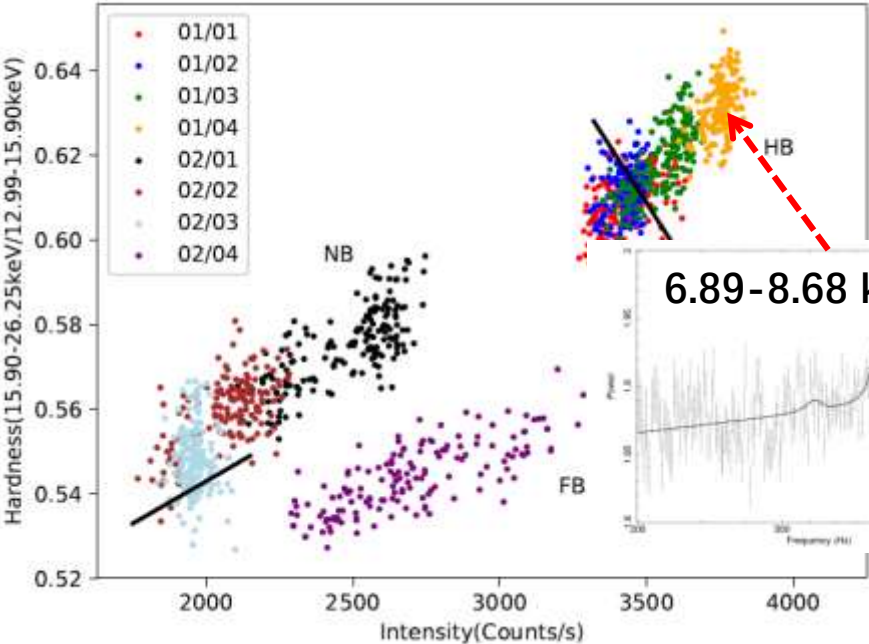
- kHz QPO能量上下限
- kHz QPO的产生机制

(Troyer et al. 2018)

04 kHz QPO



② 辐射能段搜寻



RXTE: P030406

~250 us, 多能段

16个子能段

6.89-8.68 keV

8.68-12.99 keV

12.99-100 keV

Energy Band	P30406-01/04		P30406-02/03	
	upper kHz QPO	lower kHz QPO	upper kHz QPO	lower kHz QPO
significance	26.25-38.44 keV	-	-	-
	24.01-38.44 keV	~ 1.2σ	-	-
	21.78-38.44 keV	~ 2.3σ	~ 0.9σ	-
	19.56-38.44 keV	~ 3.7σ	~ 3.2σ	-
	18.09-38.44 keV	...	...	-
	17.00-38.44 keV	...	...	-
	15.90-38.44 keV	...	...	-
	15.17-38.44 keV	...	...	-

能量上限：逐能段累积

1.2σ

24.01-38.44 keV

0.9σ 2.3σ

21.78-38.44 keV

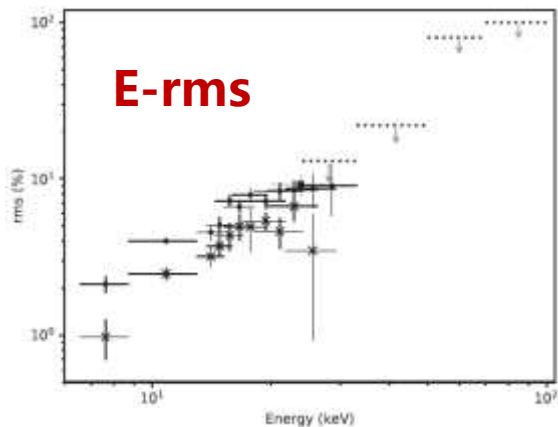
3.2σ 3.7σ

19.56-38.44 keV

04 kHz QPO



② 辐射能段搜寻



- kHz QPO辐射能段:

RXTE:

HB ~ 6.89-24.01 keV

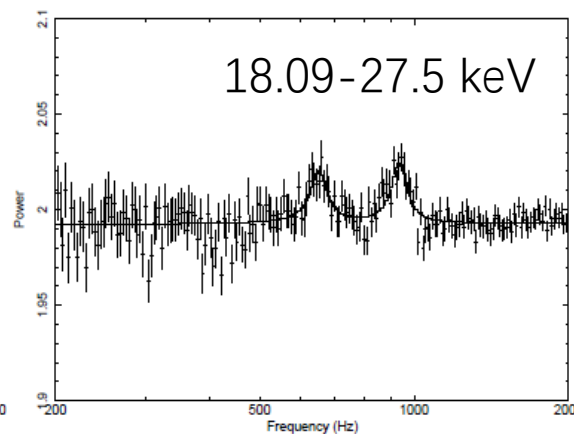
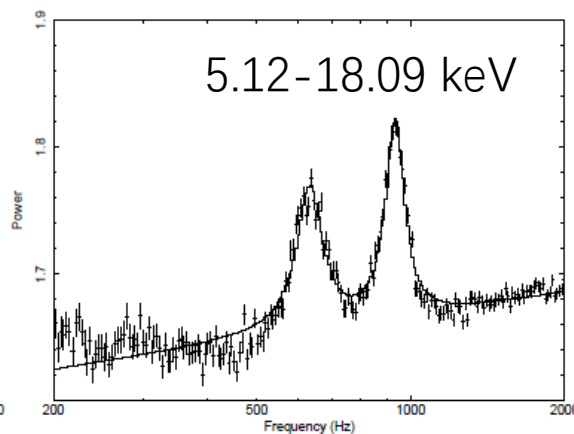
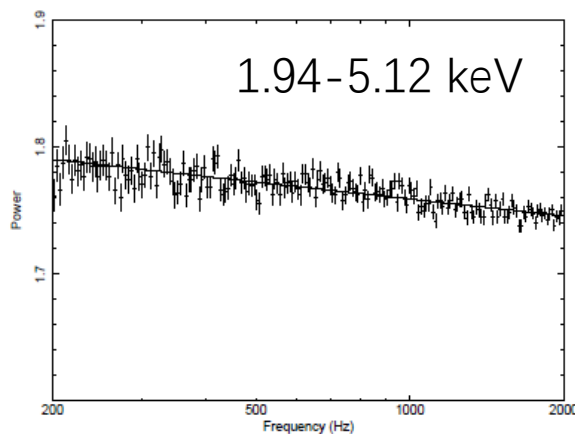
Lower NB ~ 8.68-19.56

Insight-HXMT/HE&ME: HB ~ 9-27.5 keV

- 对能量下限进行确认 (RXTE: P30035) :

kHz QPO的能量下限~6 keV

→ 辐射能段 ~ 6-27.5 keV

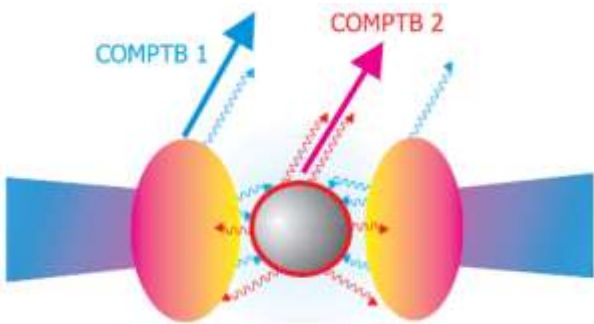


→ kHz QPO不会来自于吸积盘或中子星表面的黑体辐射

04 kHz QPO

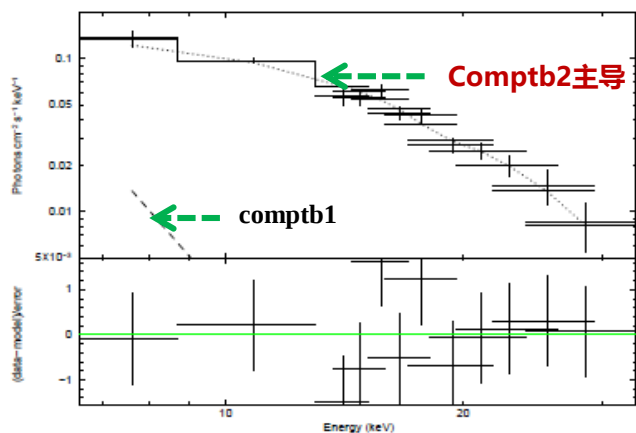
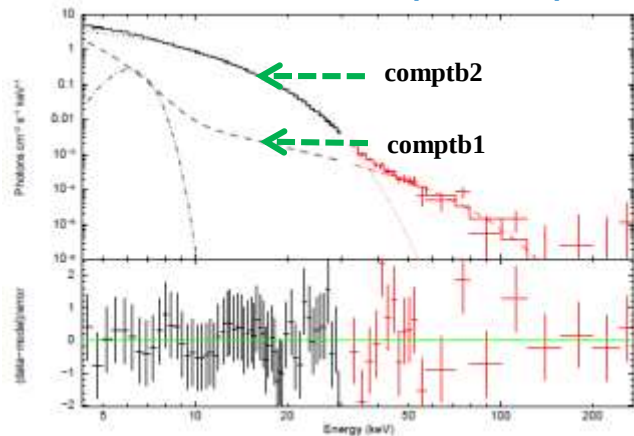


③ 起源机制讨论



kHz QPO rms谱与能谱联合拟合

(RXTE PCA/HEXTE) — comptb1 + comptb2



$$S_{\text{RMS}} = \text{rms} * R/A$$

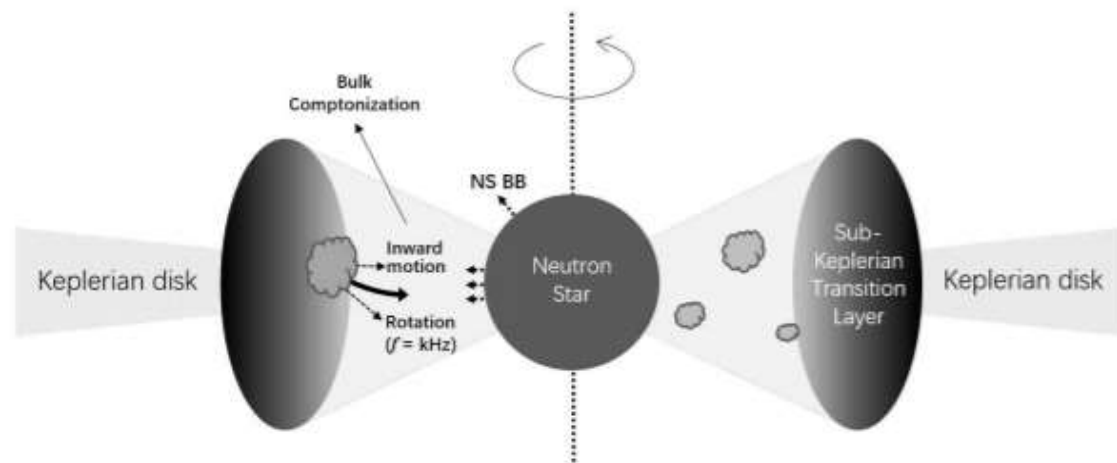
■ 提出kHz QPO产生模型:

辐射能段: ~ 6-27.5 keV

起源位置: kHz QPO起源于转换层内侧

产生机制: Sub-Keplerian运动—频率

辐射机制: Bulk motion—rms谱更硬



从辐射能段、起源位置、产生机制、辐射机制方面进行描述，与观测结果符合较好。

05 总结

- Insight-HXMT探测到Sco X-1完整的HID图, 各分支QPO:

NBO(~ 6 Hz)、FBO(~ 16 Hz)、HBO(~ 40 Hz)、kHz QPO(~ 800 Hz)

- 首次在最高能量 (> 20 keV) 探测到kHz QPO, 非热起源
- 结合慧眼和RXTE数据, 首次搜寻了kHz QPO的辐射能段

RXTE : 6.89-24.01 keV

HXMT: 9-27.5 keV

→ 不会来自于吸积盘和中子星表面的黑体辐射

- kHz QPO起源: rms谱与能谱相联合拟合

→ 起源于转换层的内侧

→ bulk motion — rms谱更硬



谢谢!