

The wavelet technique and QPO properties probed with Insight HXMT observation

陈骁

导师：王伟

武汉大学物理科学与技术学院 天体物理中心

“X射线天文学60周年及中国X射线天文研究”研讨会

2022年6月15日

1. 背景介绍： BHXR B、 MAXI J1535-571、 小波分析
2. 关于短时标QPO演化的小波研究
3. 关于长时标QPO出现消失的小波研究
4. 讨论

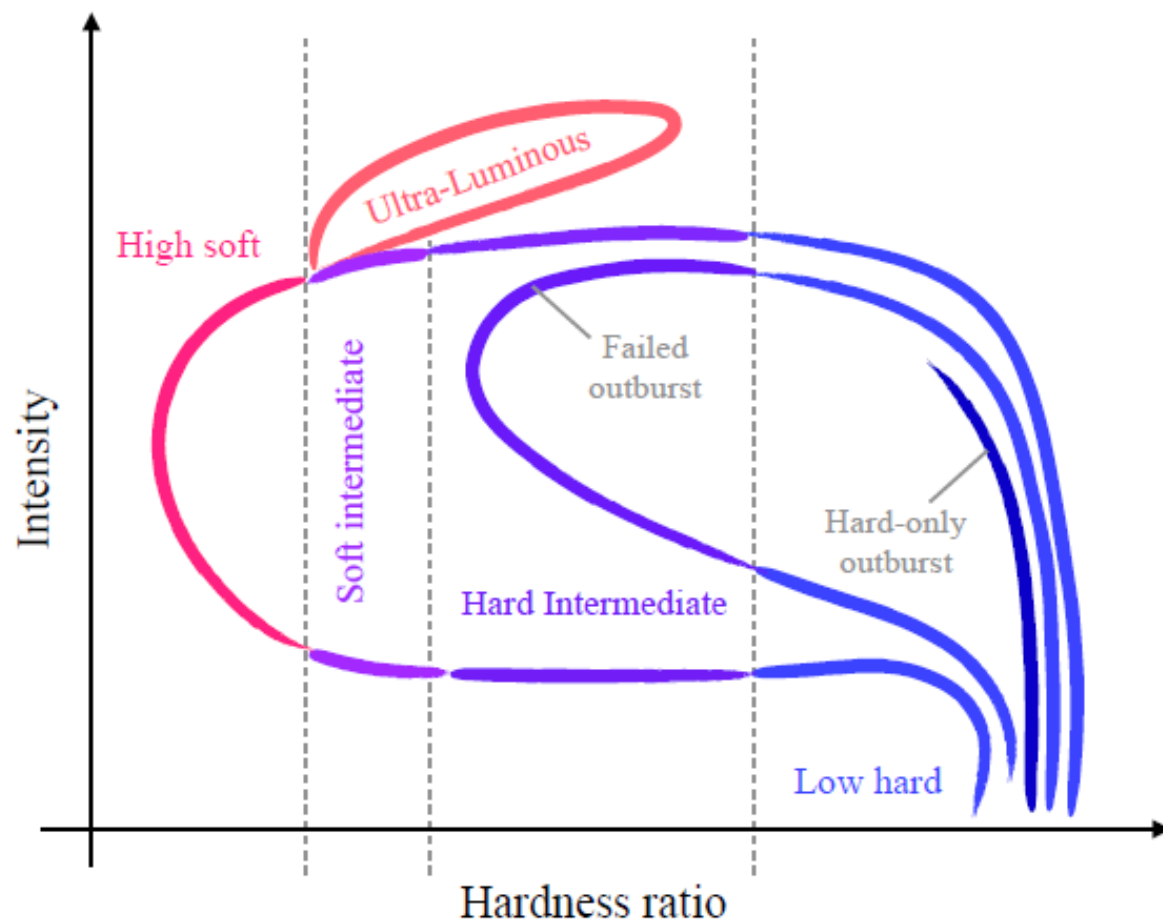
报告内容

黑洞X射线双星

- 爆发演化: LHS-HIMS-SIMS-HSS-SIMS-HIMS-LHS

- QPO
 - HF QPO: 多见于NS XRB
 - LF QPO
 - Type-A: 稀少
 - Type-B: SIMS
 - Type-C: 最常见

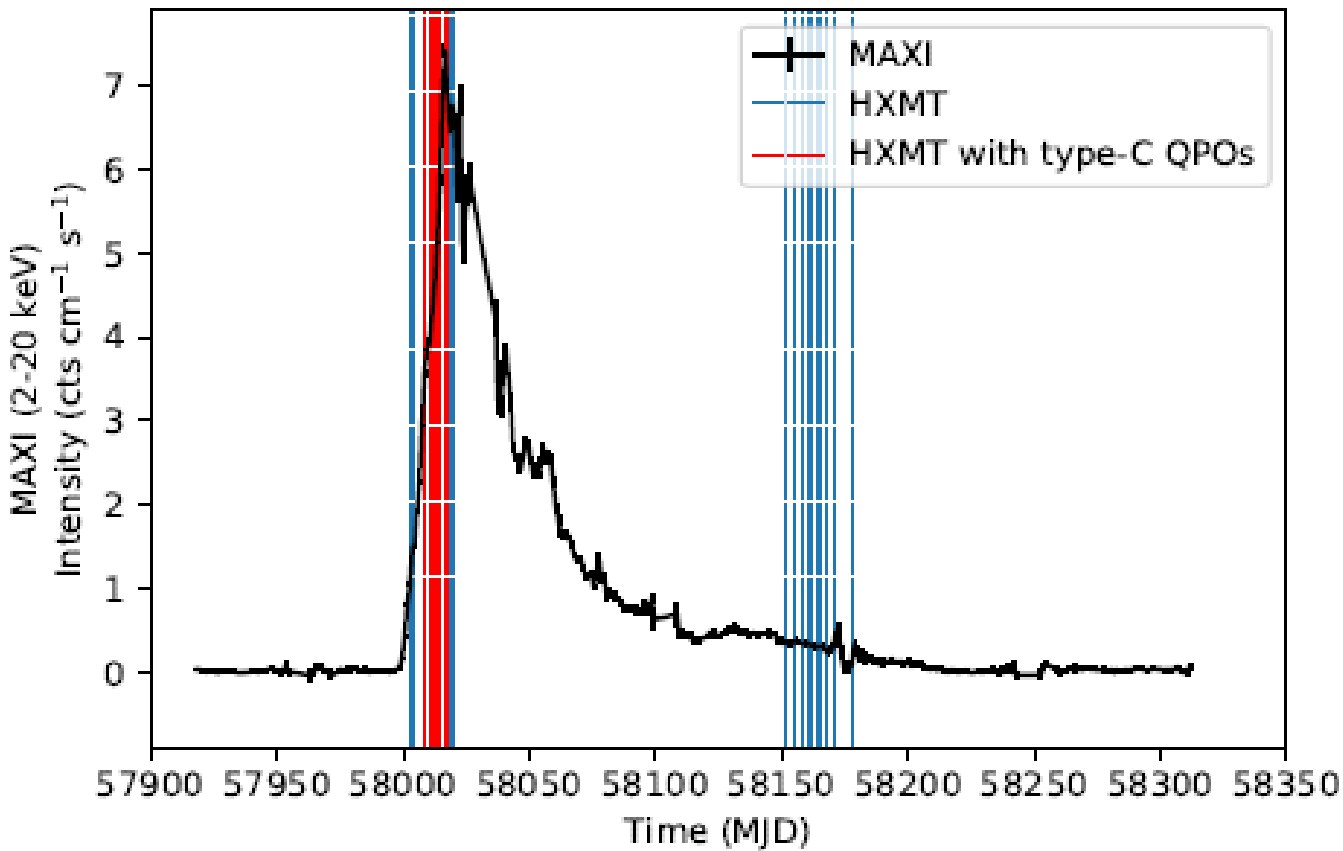
- 能谱: 盘、冕、反射



1. 背景介绍

MAXI J1535-571

• 2017年9月爆发，慧眼观测数据



Zhang et al. 2022

观测号	时间	QPO ME	态
144	2017-09-12	2.59	HIMS
145	2017-09-12	2.61	
301	2017-09-15	2.09	
401	2017-09-16	2.79	
501	2017-09-17	3.40	
601	2017-09-18	3.38	
701	2017-09-19	9.92	SIMS
901	2017-09-21	9.07	
902	2017-09-21	9.22	
903	2017-09-21	8.21	
904	2017-09-21	9.43	

- 144-601 & 901-903: 快速QPO演化
- 701 & 904: 长时标QPO出现和消失
- 701-904: SIMS?

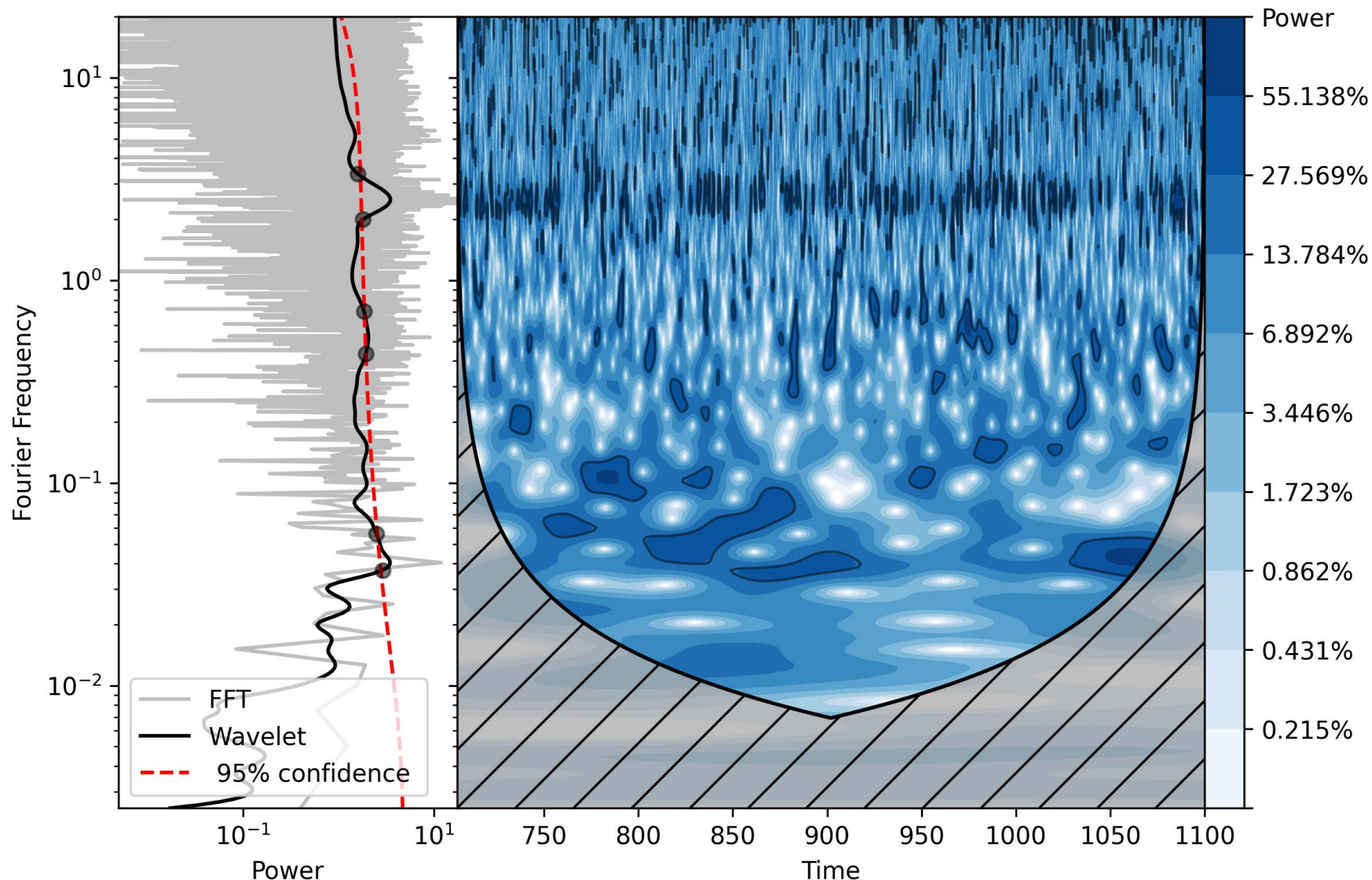
1. 背景介绍

小波分析

- 基于功率谱 (PDS) 的分析：固定时间段平均，隐藏了随时间变化的信息
- 动态功率谱：低效、与所选时间段长短有关

小波分析的优势：

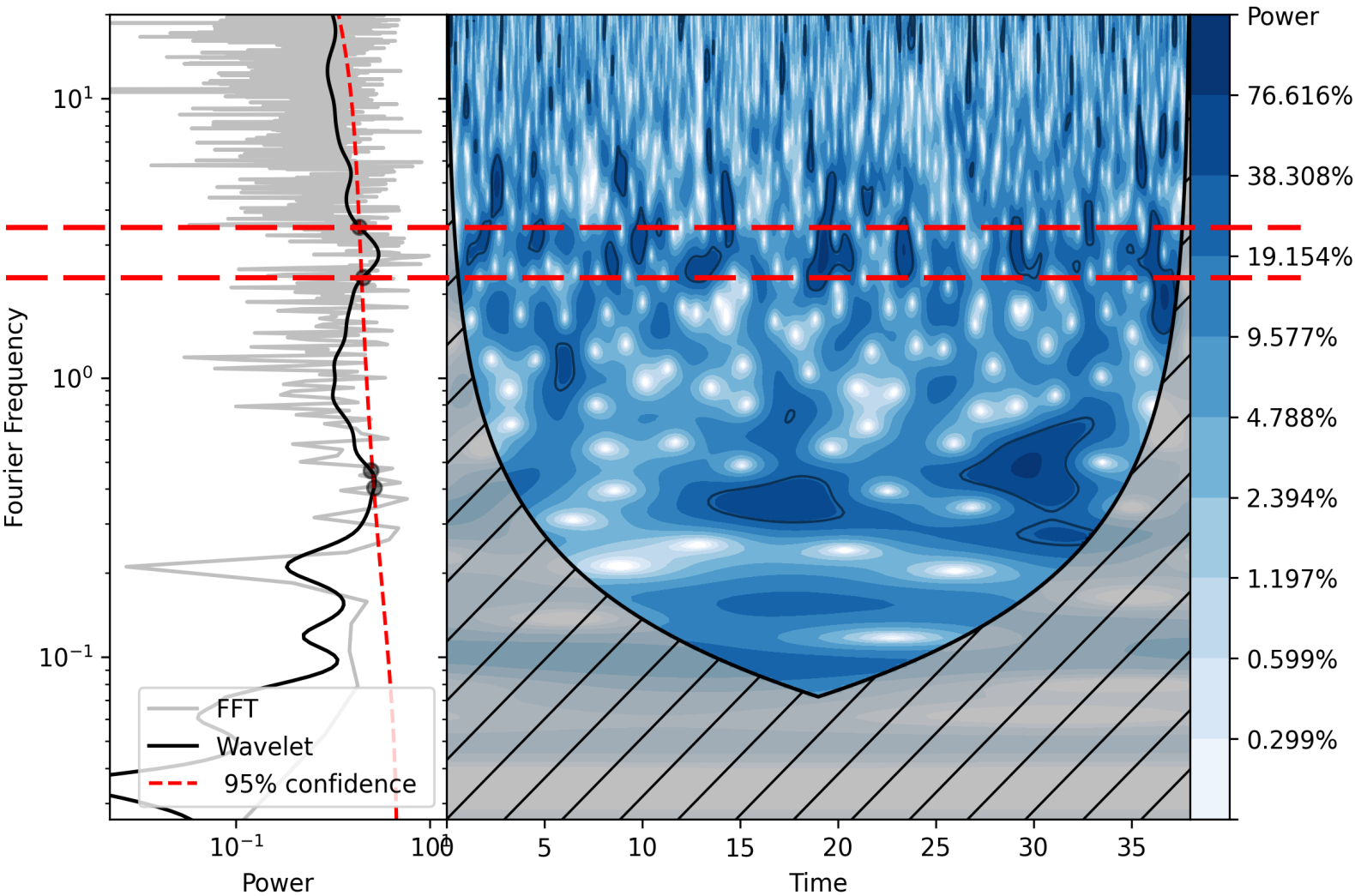
- 时频域的详细信息
- 显示极短时标的变化
- 研究QPO的物理起源提供帮助



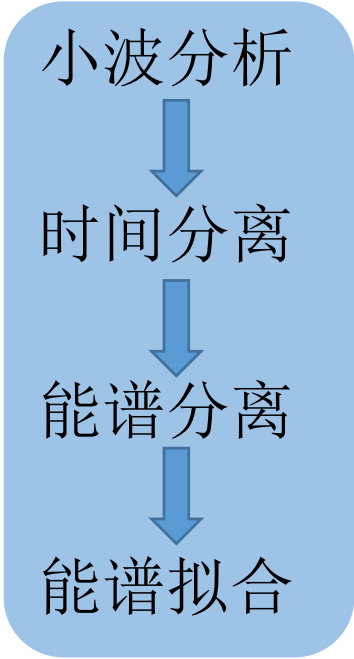
1. 背景介绍

具体方法

慧眼对MAXI J1535-571的观测



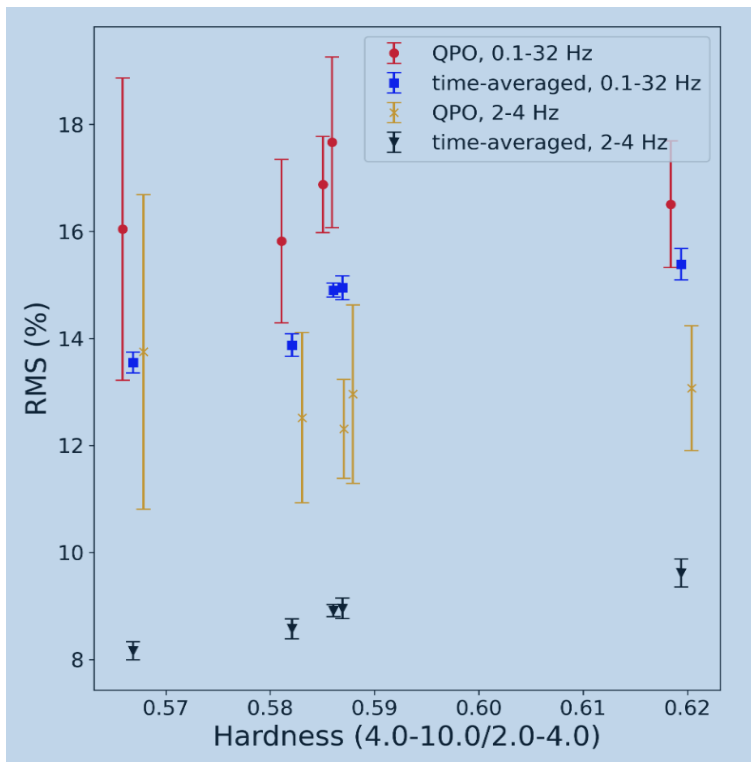
ObsID	LE	ME	HE	state
144	2.55	2.56	2.59	HIMS
145	2.58	2.60	2.56	HIMS
301	2.03	2.07	2.14	HIMS
401	2.76	2.76	2.72	HIMS
501	3.33	3.33	3.36	HIMS
601	3.36	3.31	3.24	HIMS
901	9.16	9.03	8.58	SIMS
902	9.35	9.20	8.70	SIMS
903	8.87	8.31	7.85	SIMS



2. 短时标QPO变化

时间区别验证：PDS与HR

PDS: 2秒时间分辨率



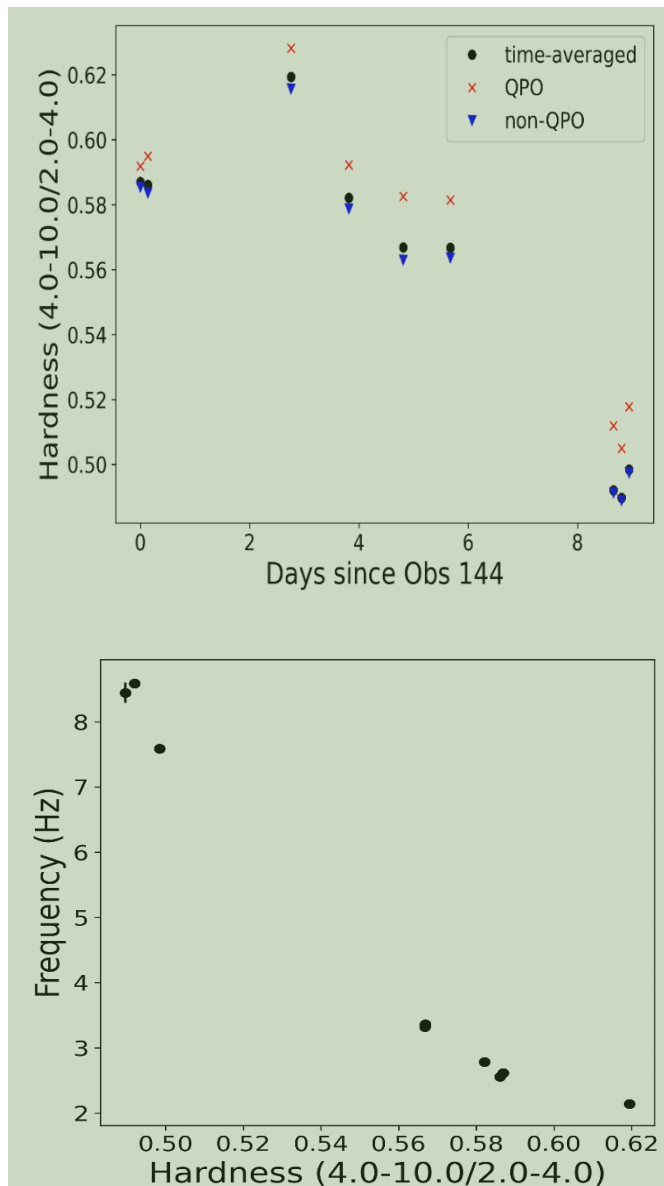
- 0.1-32 Hz & **2-4 Hz**

- Time-averaged: RMS与HR成正比
- QPO: RMS更大, 误差也更大

- 0.1-2 Hz以及4-32 Hz

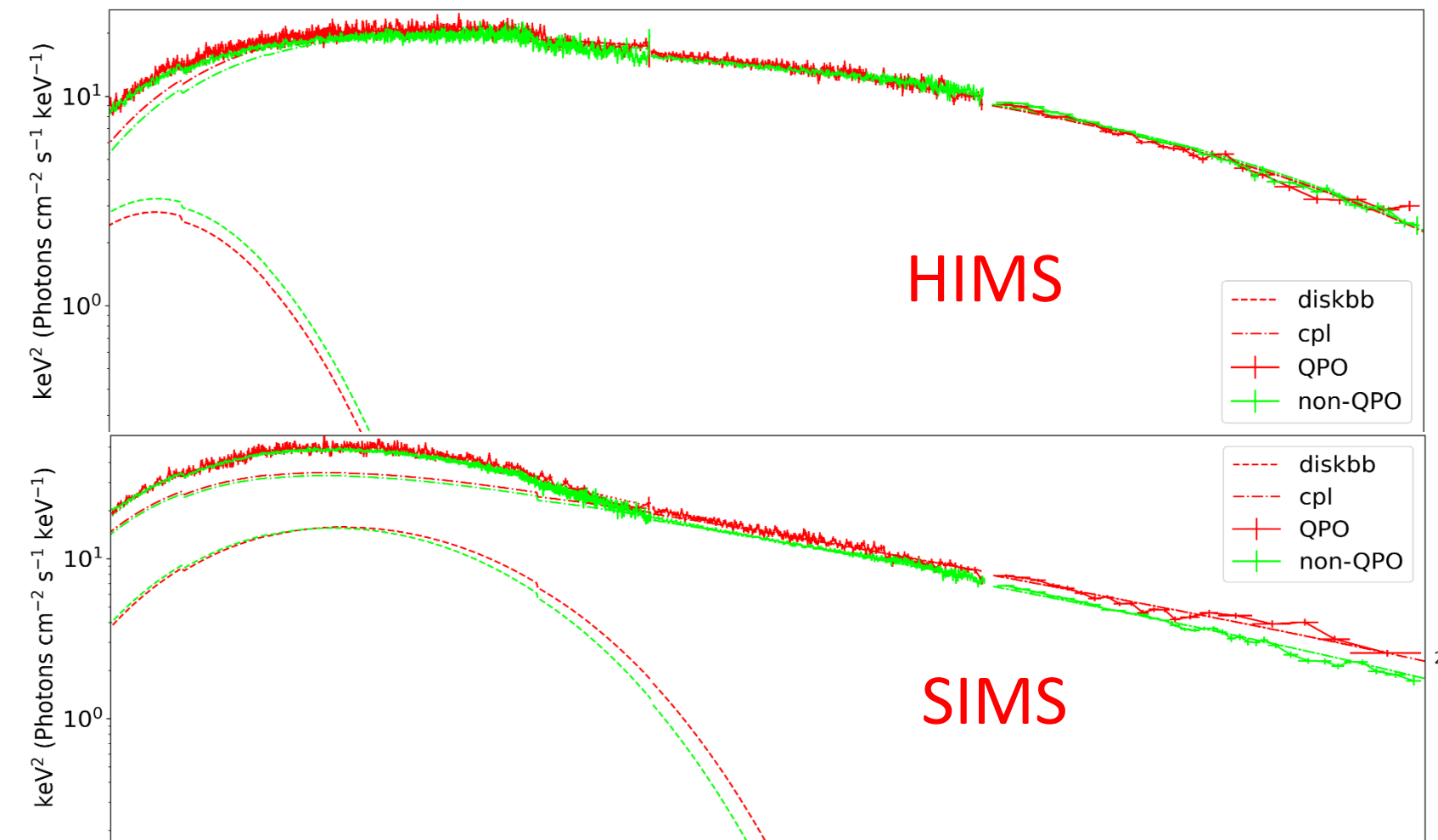
- 无区别

- HR: QPO > non-QPO
- HR与频率: 反相关



2.短时标QPO变化

能谱拟合



HIMS: 区别主要在LE

SIMS: 高能段区别更明显

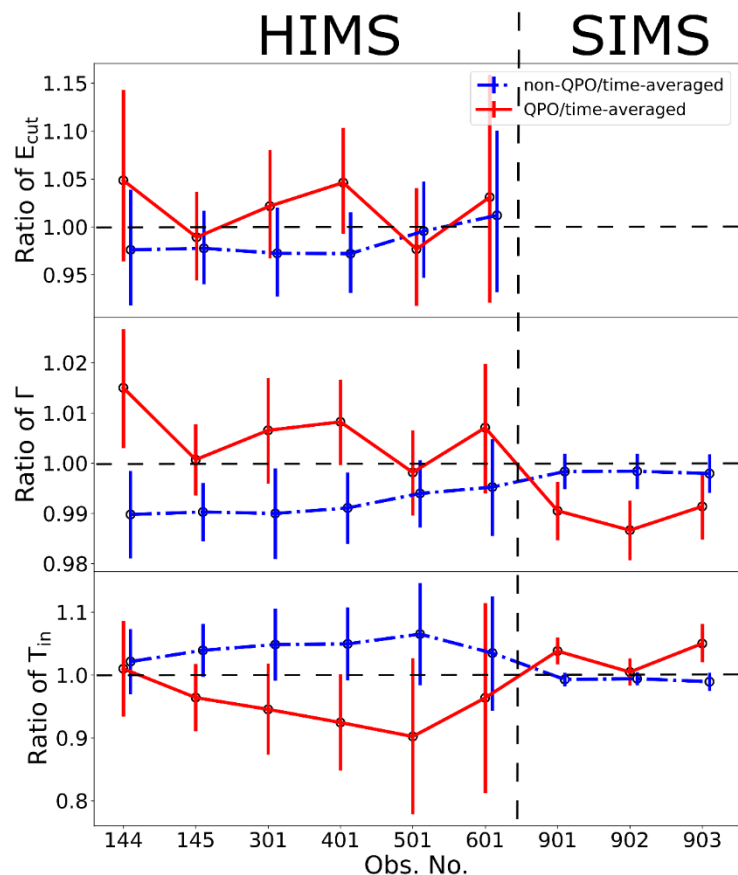
模型: Model: const*tbabs*(diskbb+cutoffpl)

2.短时标QPO变化

拟合结果与流量

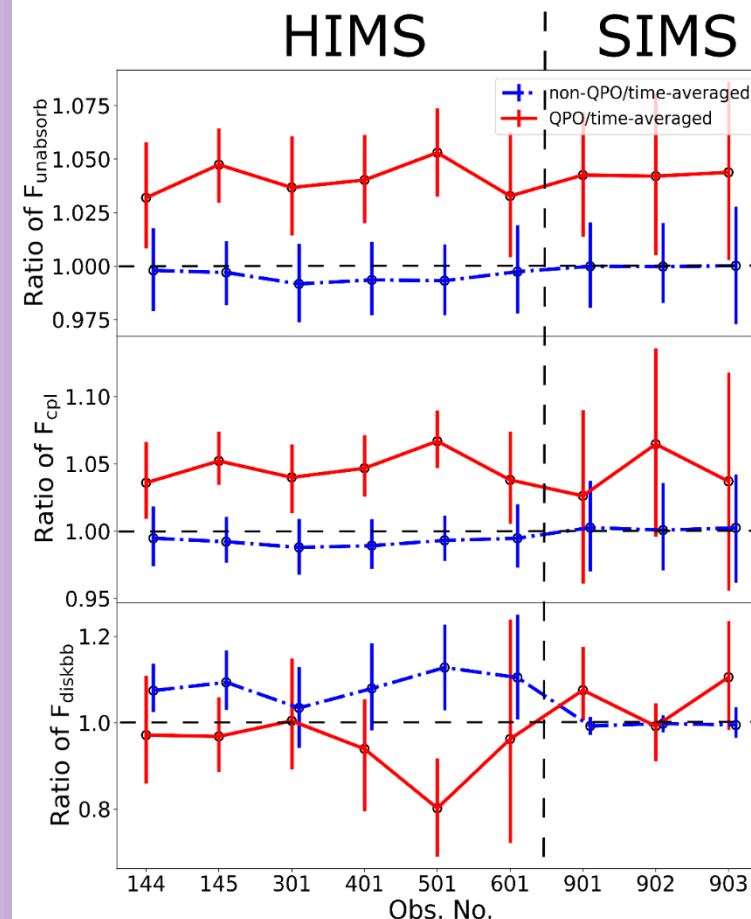
拟合参数

- QPO能谱在HIMS时，更软、温度更低
- SIMS相反



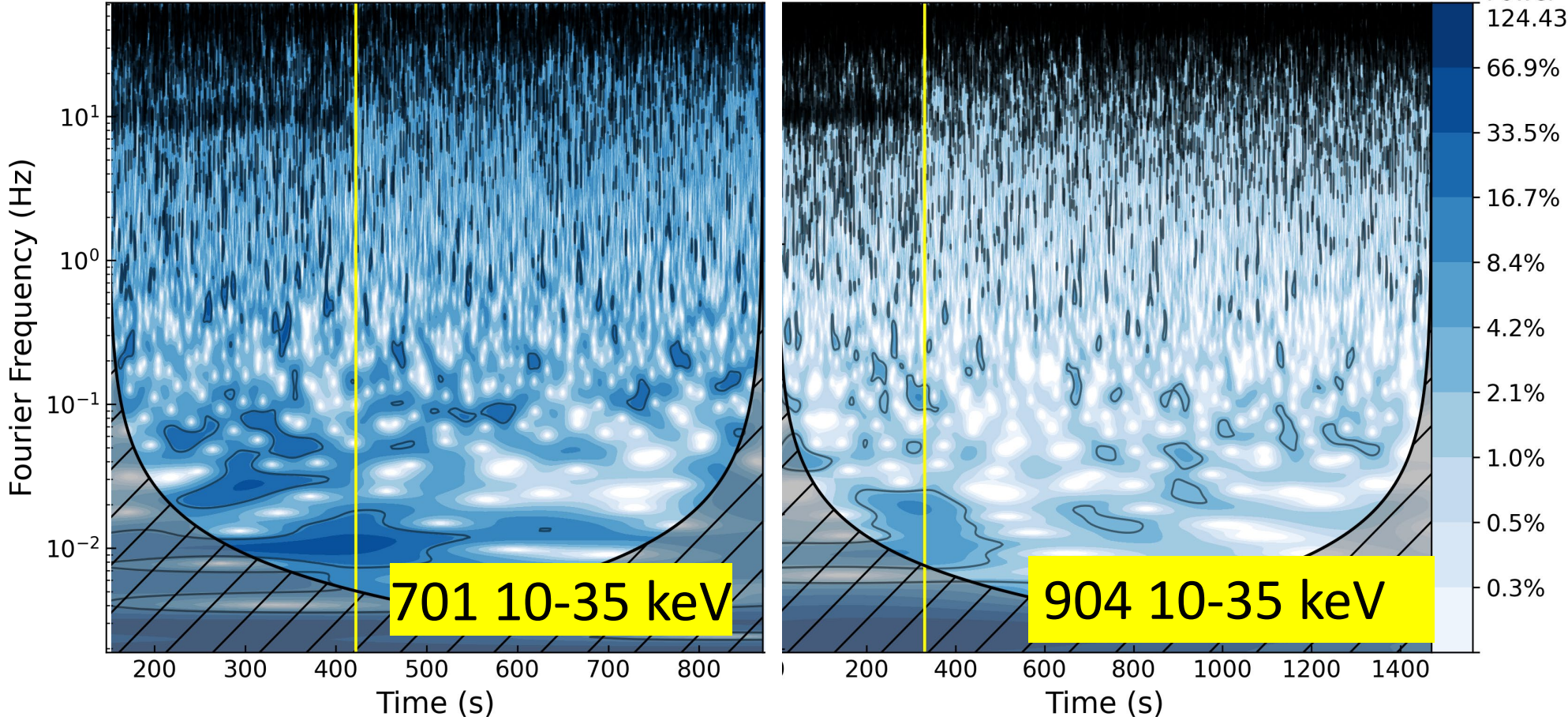
流量

- QPO能谱在HIMS时
 - $F_{\text{disk}} \downarrow$
 - $F_{\text{cpl}} \uparrow$
 - $F_{\text{total}} \uparrow$
 - 在SIMS时，相似或更高
- 盘流量占比下降



2.短时标QPO变化

小波结果



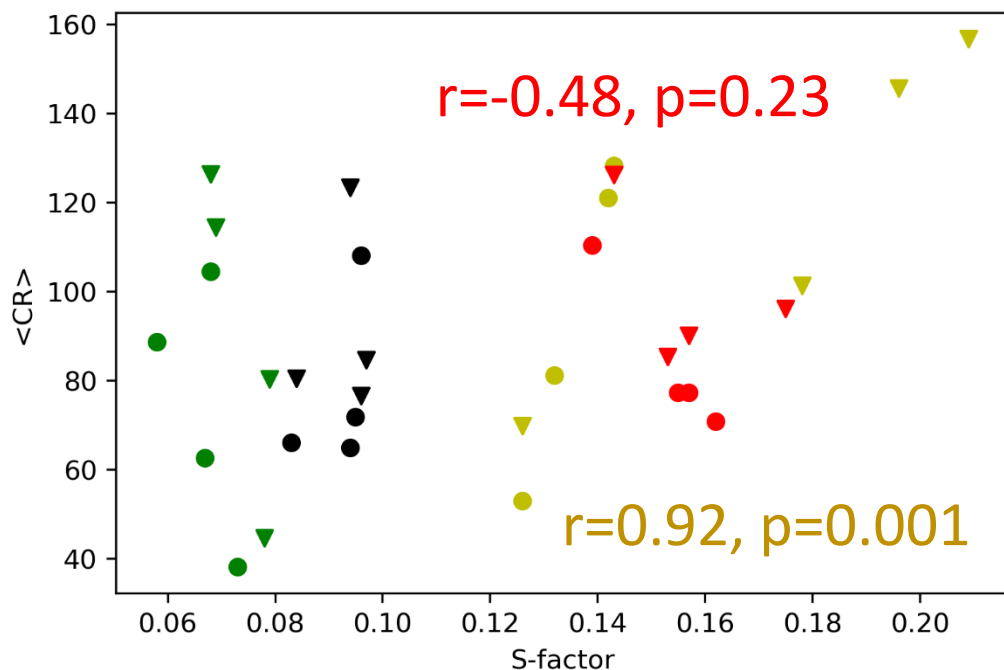
	701 QPO	701 nonQPO	904 QPO	904 nonQPO
<CR>	330.18	305.48	366.31	359.01
HR (12-14/10-12)	0.700	0.665	0.692	0.686

3. 长时标QPO演化

能段分离

- ME: 10-12, 12-14, 14-17, 17-35 keV
- HE: 26-30.3, 30.3-35.5, 35.5-55, 55-100 keV

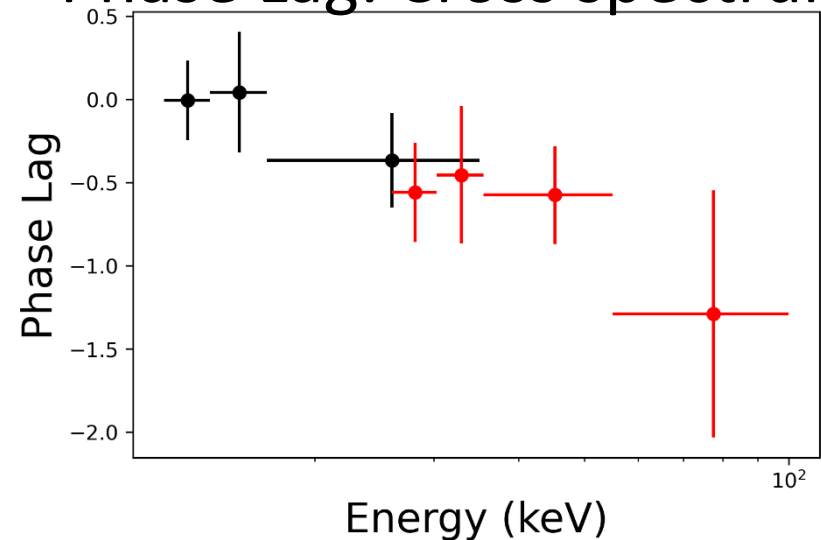
$r=0.44, p=0.09$



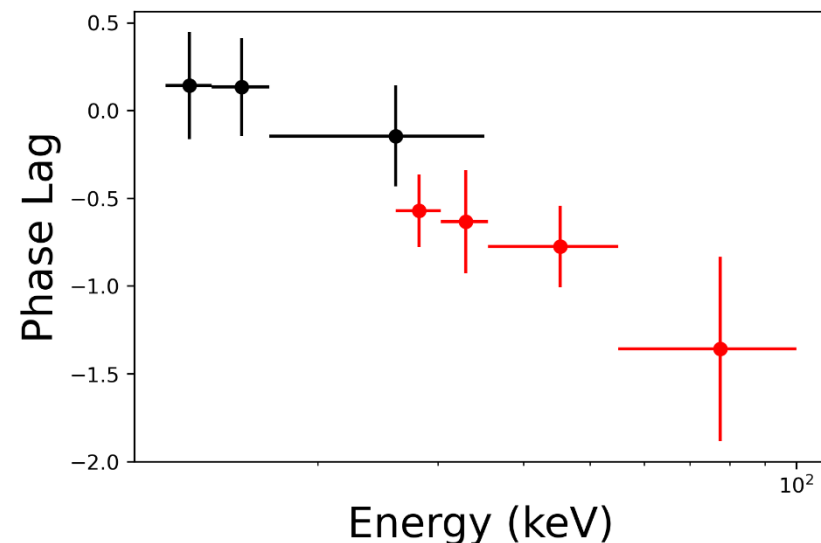
点: 701
三角: 904

HE nonQPO
ME nonQPO
HE QPO
ME QPO

Phase Lag: Cross spectrum



701



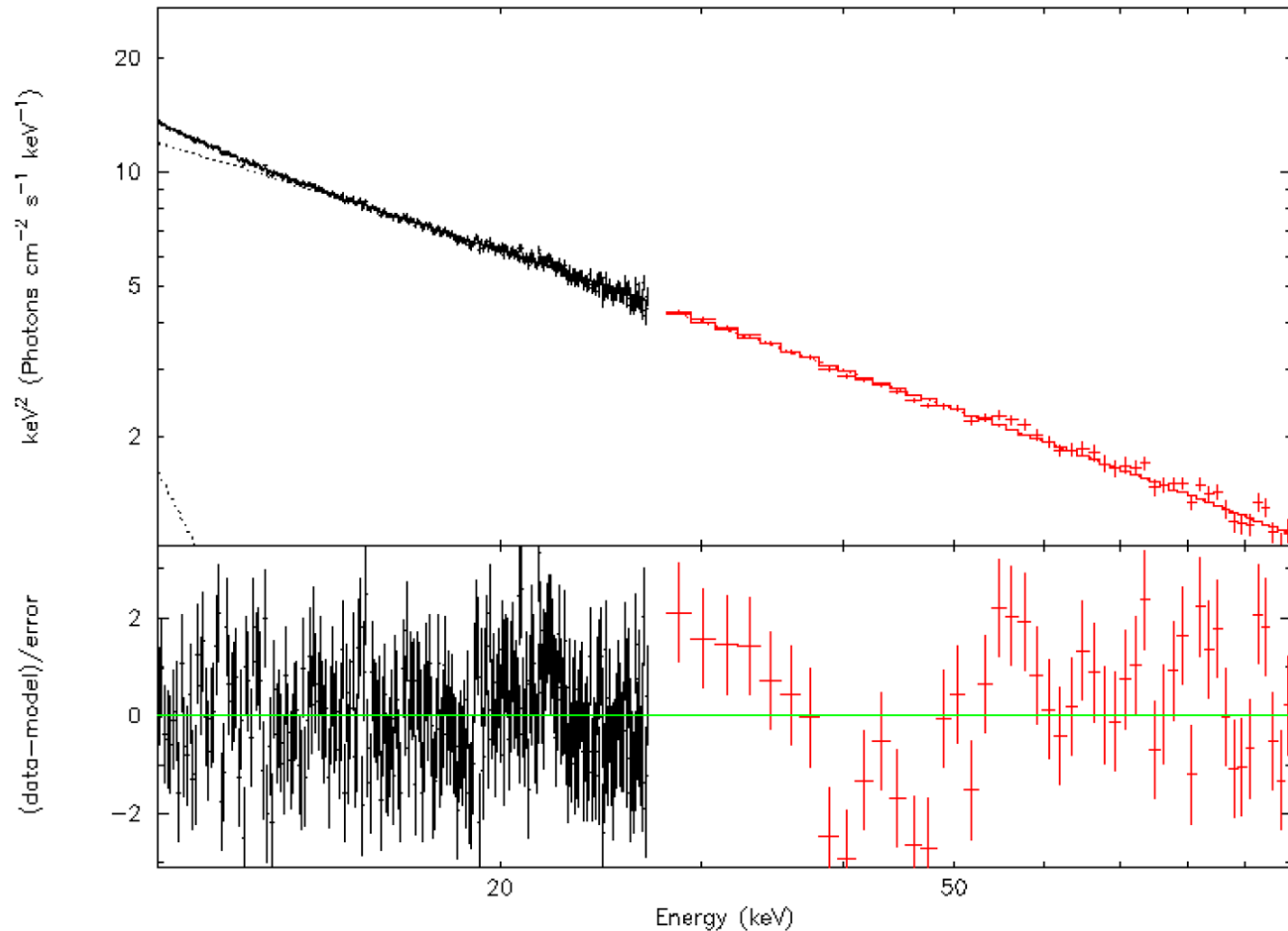
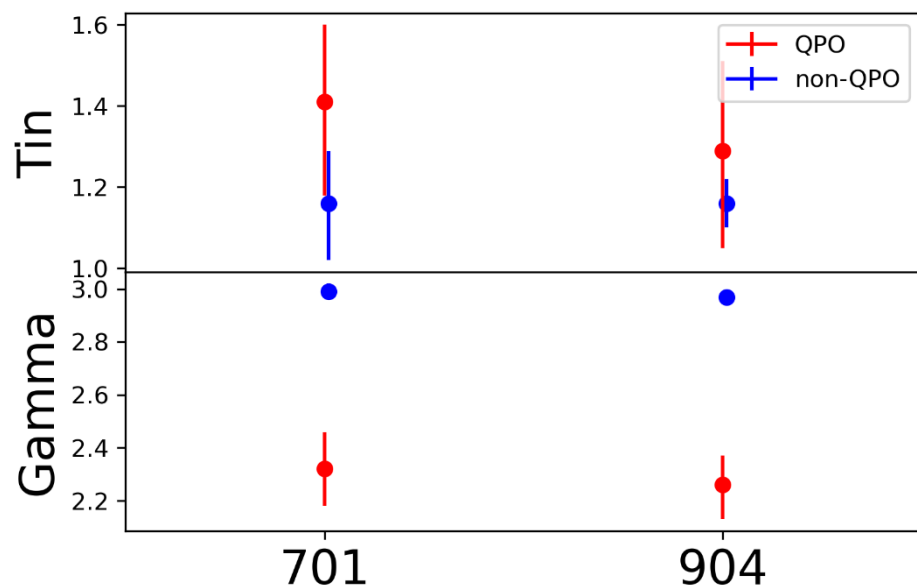
904

S-factor和光子数有关。901-903中QPO时间明显比144-601短。

3. 长时标QPO演化

能谱

- 模型相同
- $\sim 10\text{-}13\text{ keV}$ 存在盘成分
- 没有LE，盘成分误差较大
- 幂律部分，有QPO数值与144-601类似，无QPO数值与901-903类似

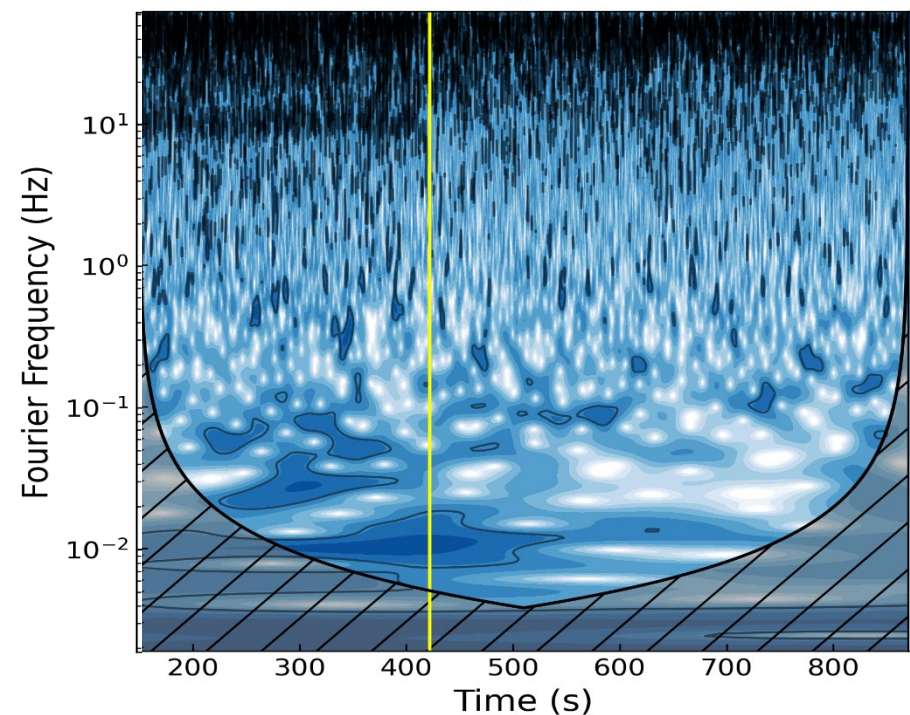
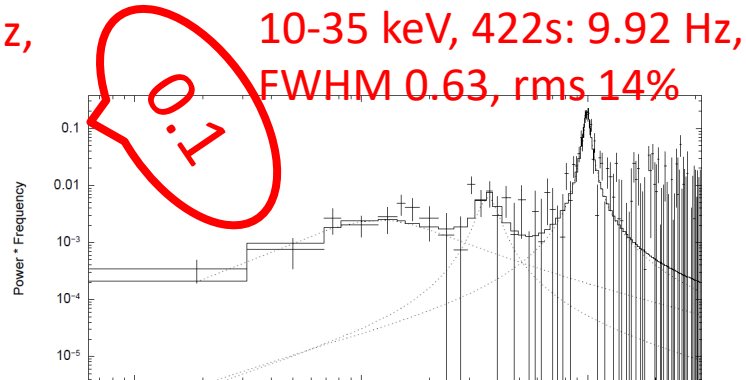
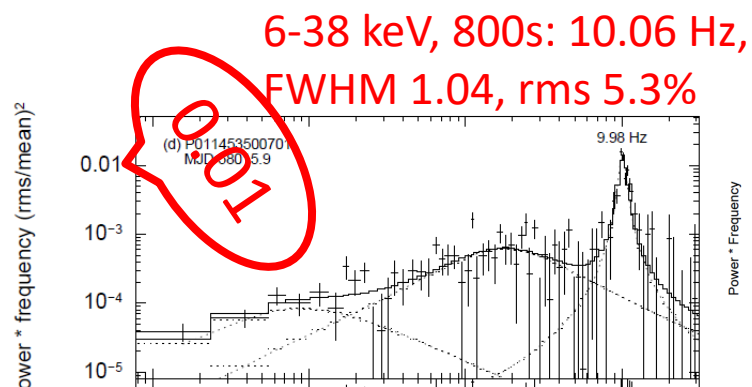
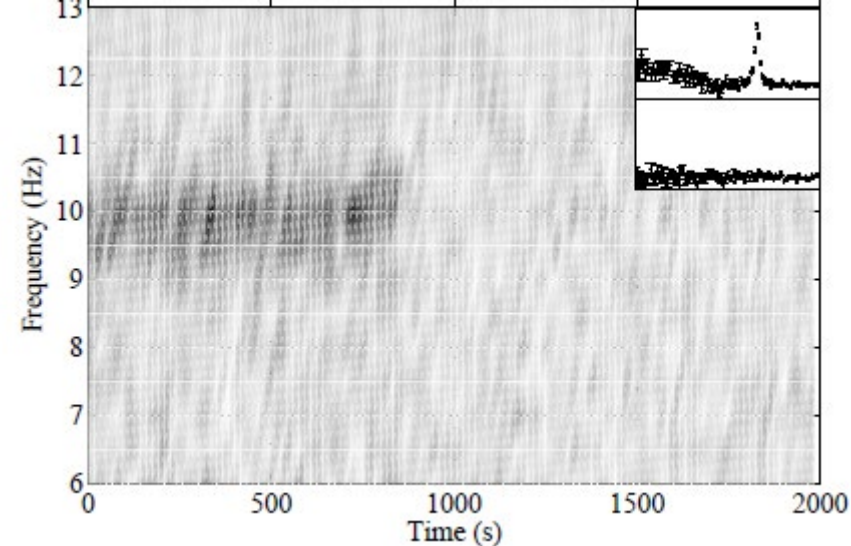


Gamma和Tin改变情况，QPO长时标变化与快速出现消失（SIMS）类似，只是改变更大，应该有相似的物理起源

3. 长时标QPO演化

701: B型或C型?

- 701前422s PDS拟合结果与其144-601的C型QPO结果类似，而且 $Q > 9$;
- 904前330s的QPO也为C型;
- NICER数据：之后的MJD 58016.8到58025可能存在B型 (Stevens et al. 2018)



3. 长时标QPO演化

QPO能谱变化模型解释

当盘与冕同向时，即非QPO情形时，冕包含盘部分更多

盘温度
上升

盘流量
下降

谱变硬

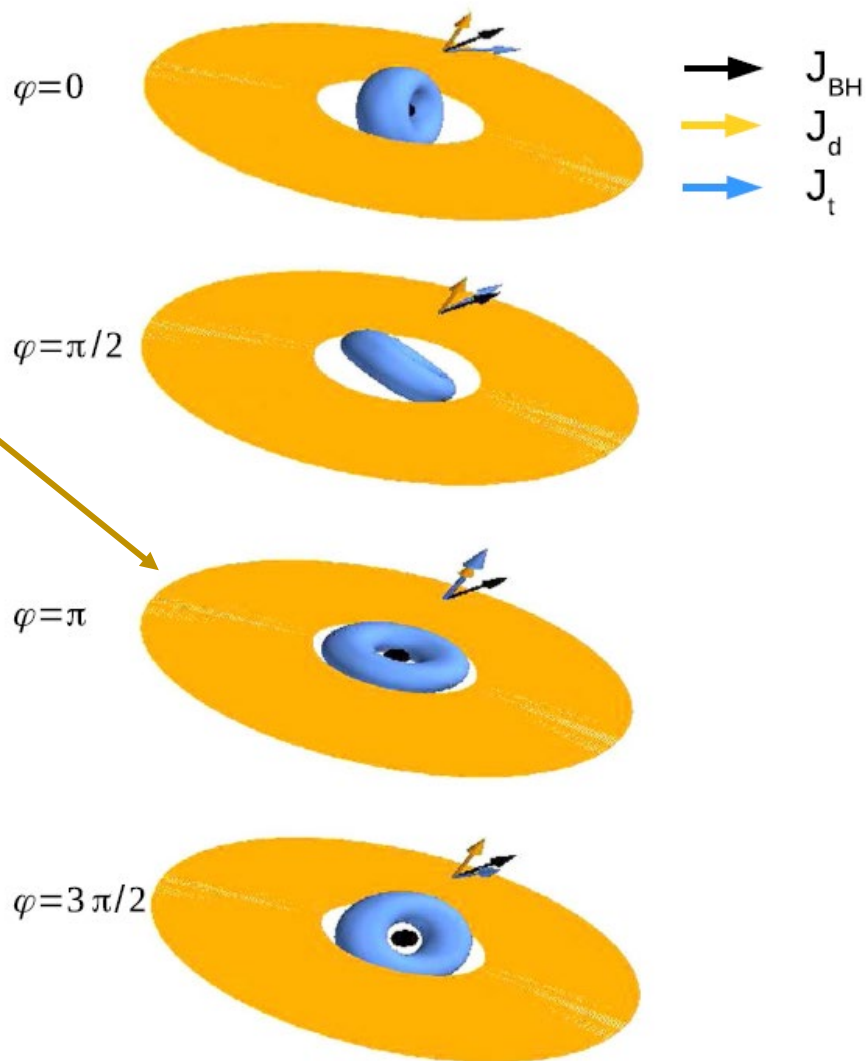
冕流量
上升

盘流量
上升

盘流量
上升或
不变

冕几何改变或
部分ejected

冕流量
下降



You et al. 2018

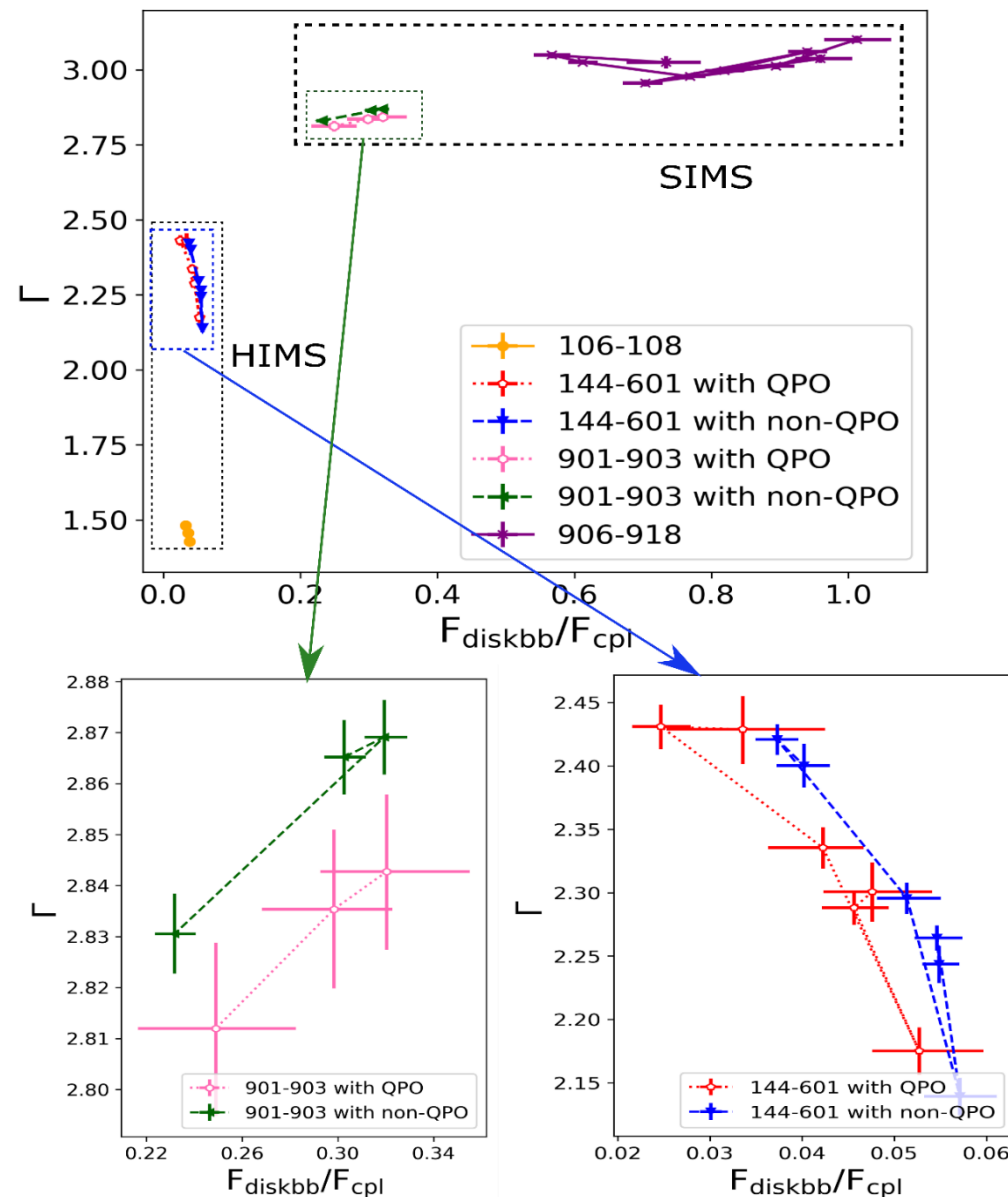
4.讨论

601到901的转变

QPO短时标能谱演化中，144-601与901-903的关系存在相反的行为。

可能的物理解释：

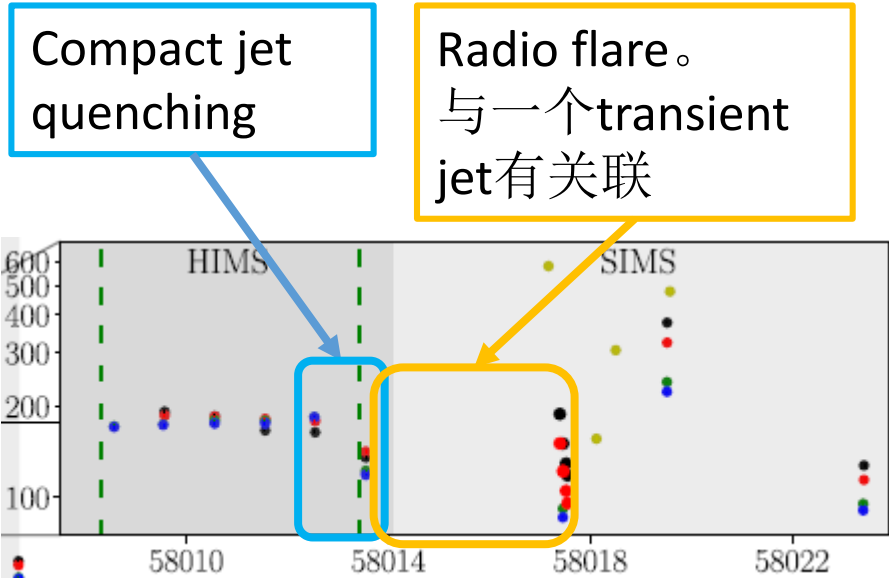
- 在601到901的演化中，两个成分中的外部分ejected，只留下inner hot flow (H1743-322, Sriram et al. 2021)
- 这将导致冕流量下降，盘流量与盘温度上升（盘block下降）



4.讨论

601到901的转变

- 701-904可能和144-601类似依然处在HIMS
- 转变应该由冕引起，且与射电喷流或flare相关：Huang2018的<CR>显示，从144-904，LE持续增大，而ME和HE在701突然减小一半，然后901-904有个波动（对应射电flare）



Russell et al. 2019

ObsID ^a	Start Date	MJD	obs time (ks)	HE rate (cts s ⁻¹) (26 – 100 keV)	ME rate (cts s ⁻¹) (6 – 38 keV)	LE rate (cts s ⁻¹) (1 – 12 keV)	State ^b
105	2017-09-06	58002.317	13	- ^c	355 ± 4	299 ± 1	LHS
106		58002.469	11	- ^c	365 ± 4	374 ± 2	LHS
107		58002.601	11	- ^c	373 ± 5	386 ± 2	LHS
108		58002.734	11	850 ± 27	390 ± 5	405 ± 2	LHS
119	2017-09-12	58008.443	12	632 ± 27	627 ± 5	1447 ± 2	HIMS
120		58008.583	38	623 ± 28	623 ± 5	1501 ± 2	HIMS
121	2017-09-13	58009.029	10	636 ± 24	648 ± 4	- ^d	HIMS
122		58009.156	17	685 ± 28	672 ± 5	- ^d	HIMS
201	2017-09-14	58010.205	11	795 ± 29	742 ± 5	- ^d	HIMS
301	2017-09-15	58011.200	11	787 ± 28	770 ± 5	1638 ± 3	HIMS
401	2017-09-16	58012.260	11	728 ± 24	765 ± 4	1873 ± 2	HIMS
501	2017-09-17	58013.255	11	697 ± 24	788 ± 4	2123 ± 2	HIMS
601	2017-09-18	58014.117	11	714 ± 29	820 ± 5	2208 ± 3	HIMS
701	2017-09-19	58015.974	12	312 ± 27	522 ± 6	3212 ± 4	SIMS
902	2017-09-21	58017.250	12	455 ± 26	655 ± 5	3303 ± 2	SIMS
903		58017.389	12	486 ± 35	755 ± 7	3208 ± 3	SIMS
904		58017.529	32	365 ± 26	613 ± 5		SIMS
905	2017-09-22	58017.902	11	211 ± 26	352 ± 6	3385 ± 5	SIMS
906		58018.032	12	237 ± 30	377 ± 5	3174 ± 3	SIMS

Huang et al. 2018

3. 讨论

- 利用小波分析方法，对MAXI J1535-571的短时标与长时标QPO的演化现象进行了研究
- 短时标QPO变化研究，QPO与非QPO能谱的光变与能谱都存在区别，且该区别在144-601与901-903之间不同
- 701中QPO存在时间约为前422秒，904中QPO存在时间约为前330秒
- 701与904属于C型QPO，并且701-904可能依然处在HIMS
- 小波分析中的S-factor，即QPO持续的时间占比，和光子数有关
- QPO的快速出现消失现象，与长时标消失现象，可能有相似的物理起源
- 从601到904的变化可能由冕的活动引起

谢谢大家！

总结