



爱因斯坦探针
einstein probe

EP科学机遇： 极亮X射线源长期光变研究

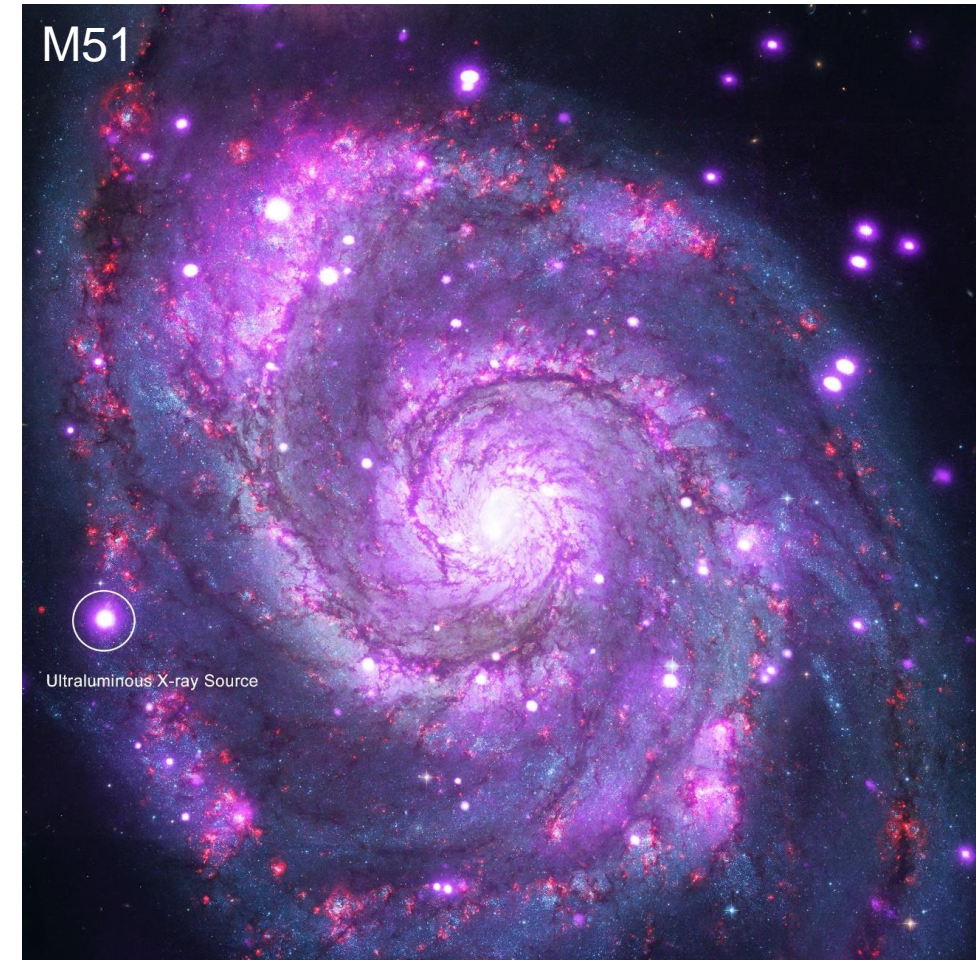
陶炼、冯骅

EP Science Workshop, 香山饭店

2023-06-06

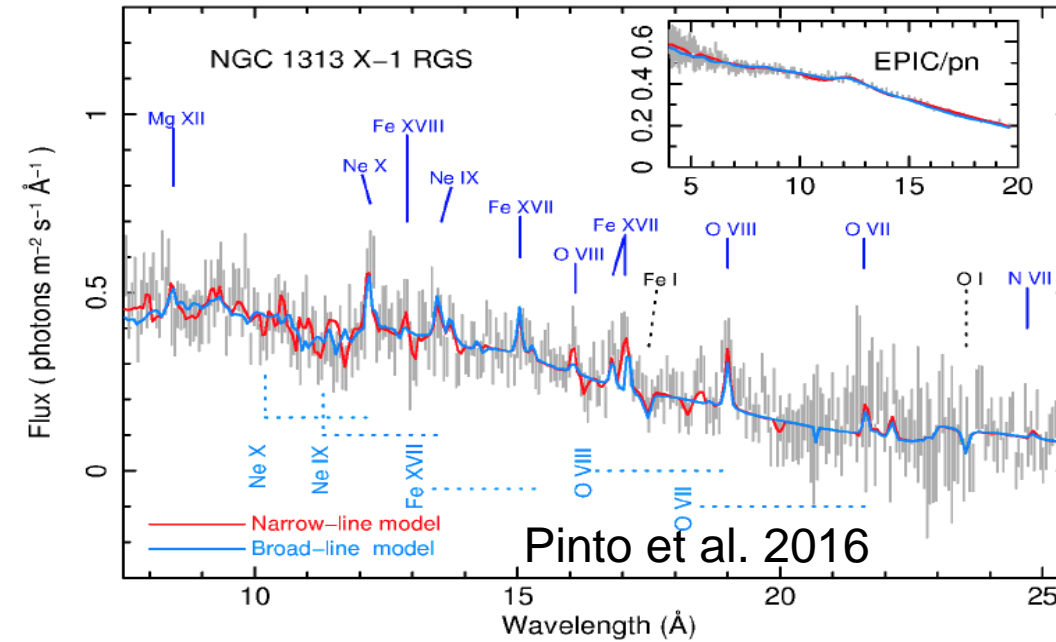
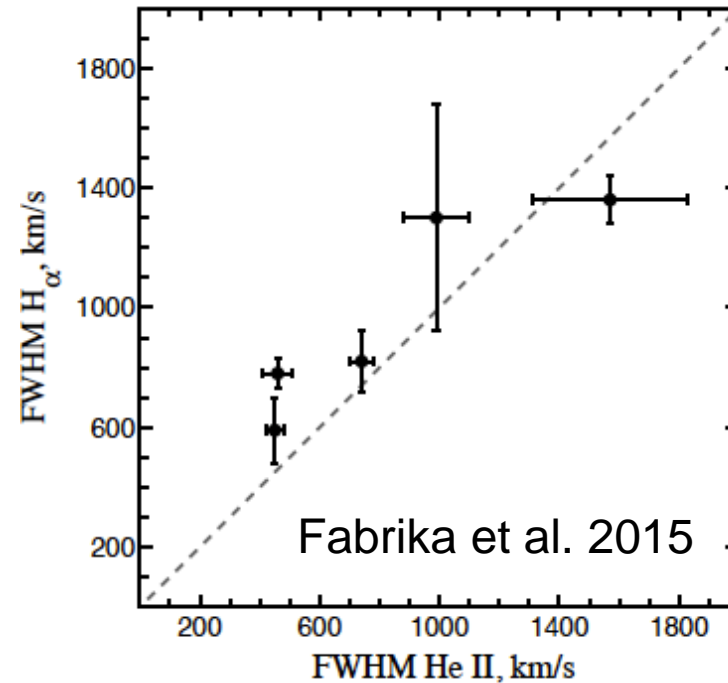
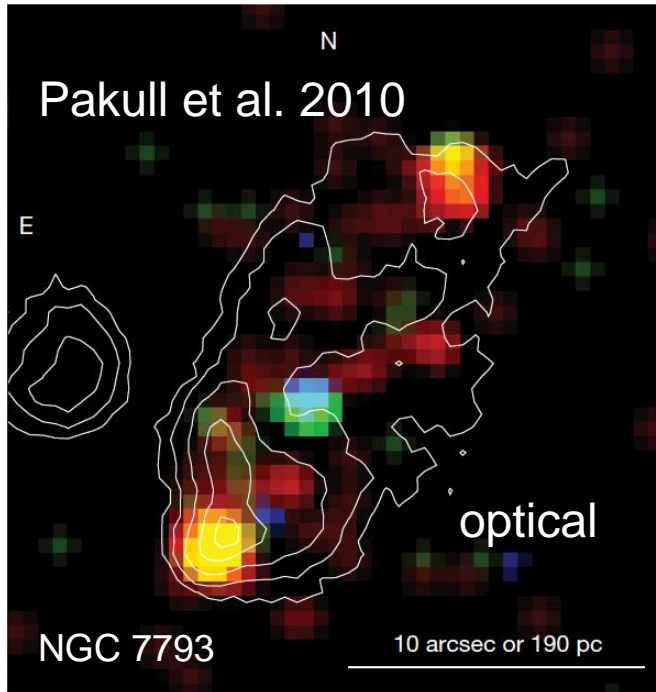
一、极亮X射线源 (ULXs) : 简介

- 非星系核点源
- X射线双星
 - 不规则光变
 - 暗的光学对应体
- 高光度
 - $>10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ (恒星级质量黑洞 L_{Edd})
 - $L_{\text{Edd}} = 1.3 \times 10^{38} (M/M_{\odot}) \text{ erg s}^{-1}$
 - 本质:
 - 超爱丁顿吸积天体
 - 更大质量的黑洞



一、极亮X射线源 (ULXs) : 物理本质

■ 超爱丁顿吸积天体



■ 星云 (光学、射电)

- 几十到数百个pc

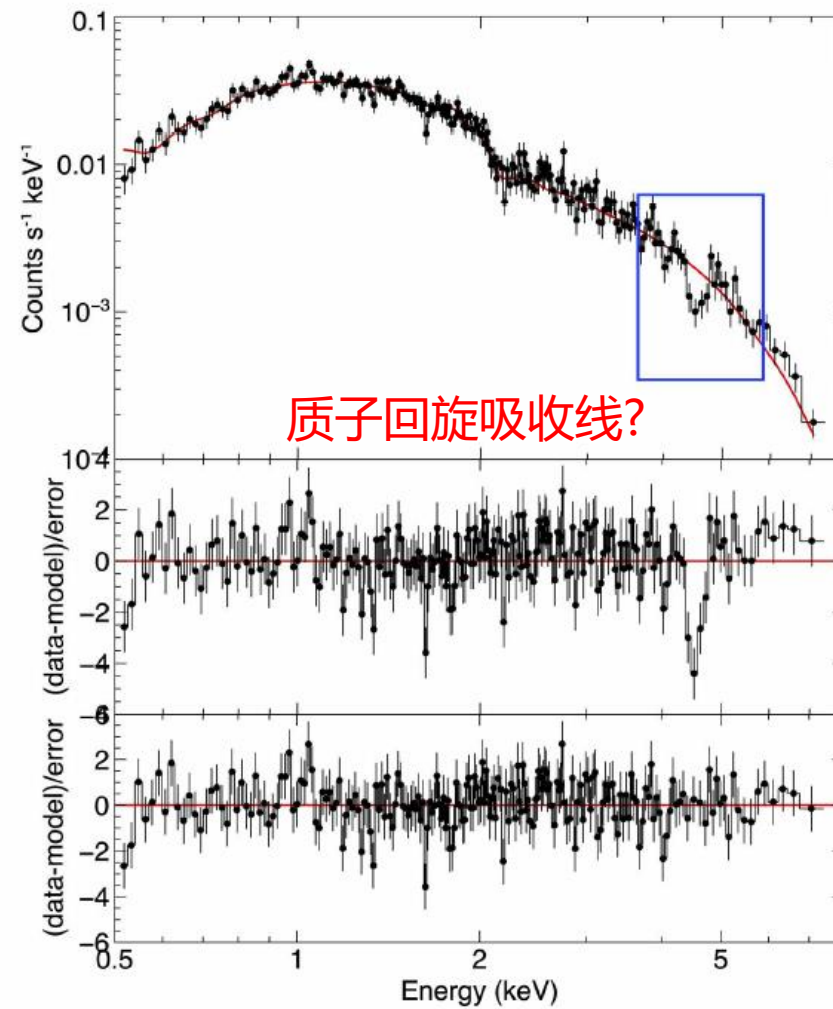
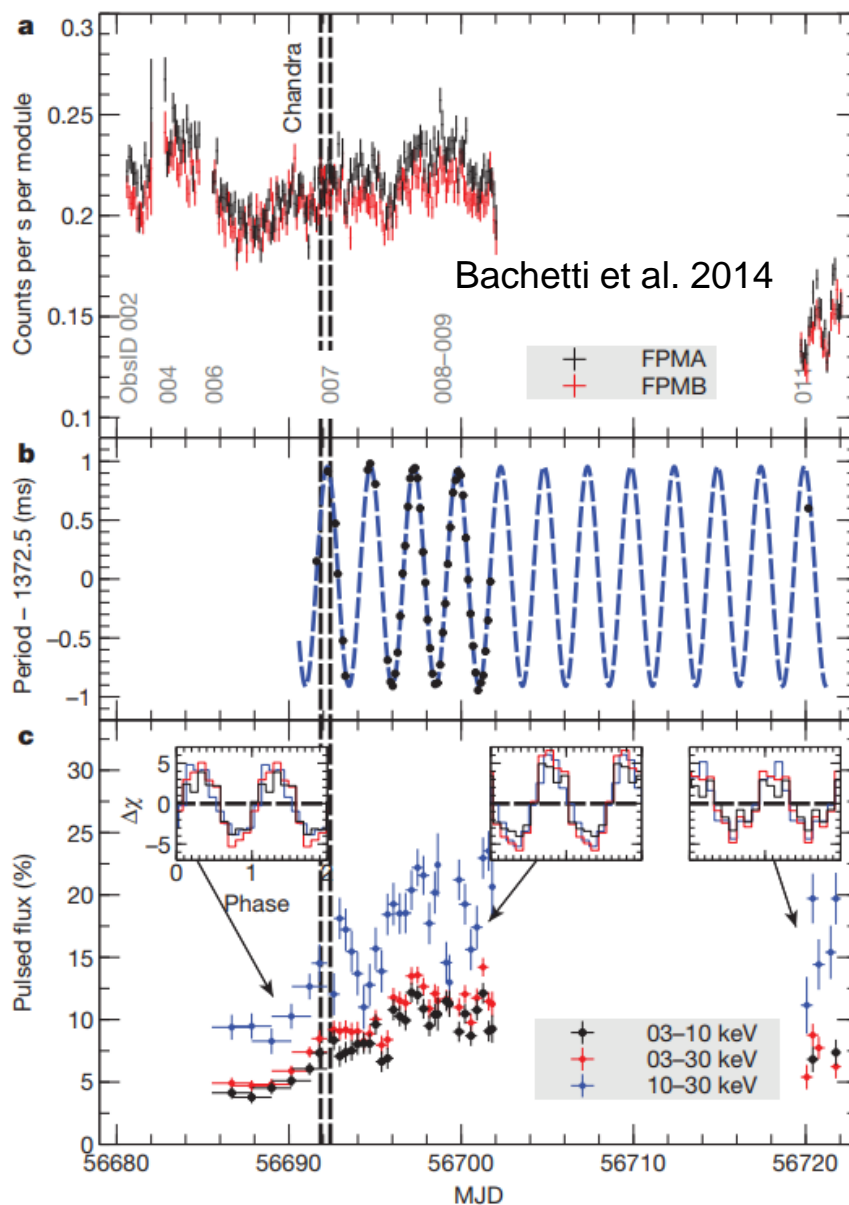
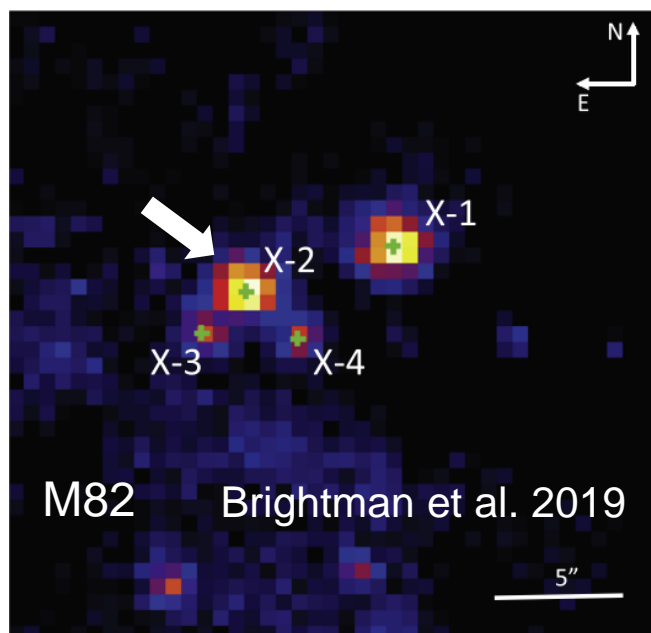
■ 光学发射线

- He II versus H α

■ X射线吸收线

- ~0.1-0.4 光速

一、极亮X射线源：物理本质



Brightman et al. 2018

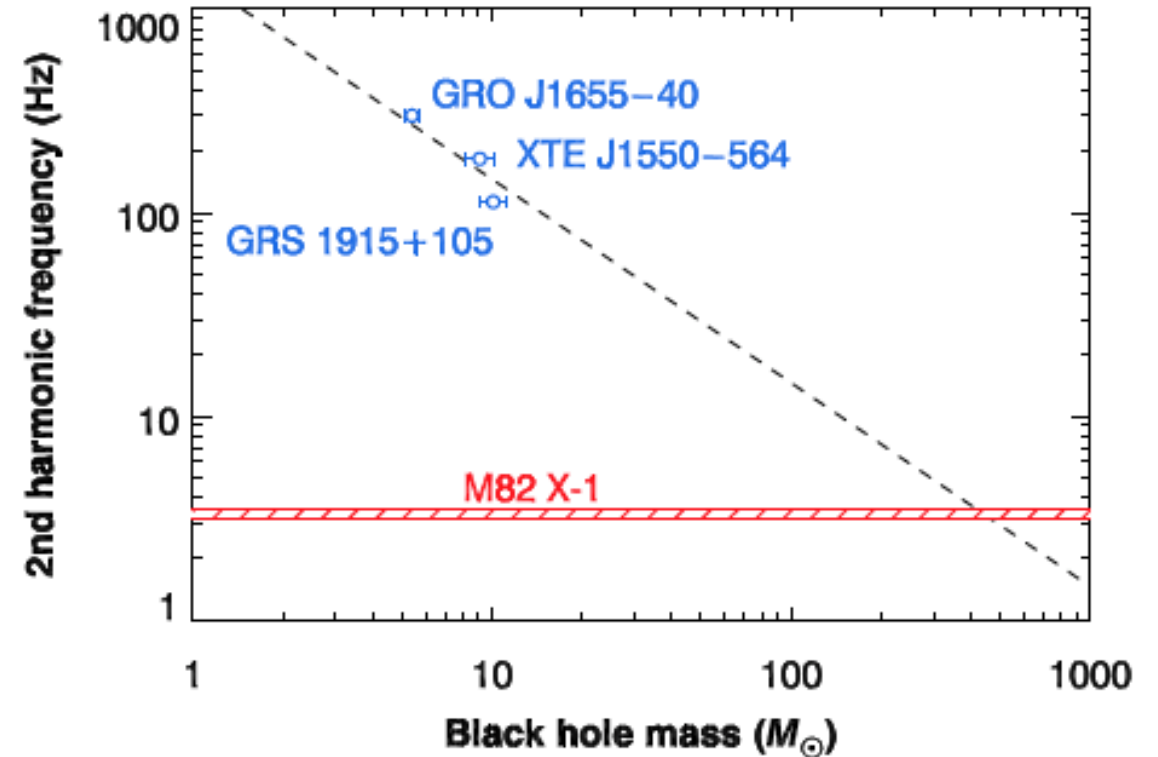
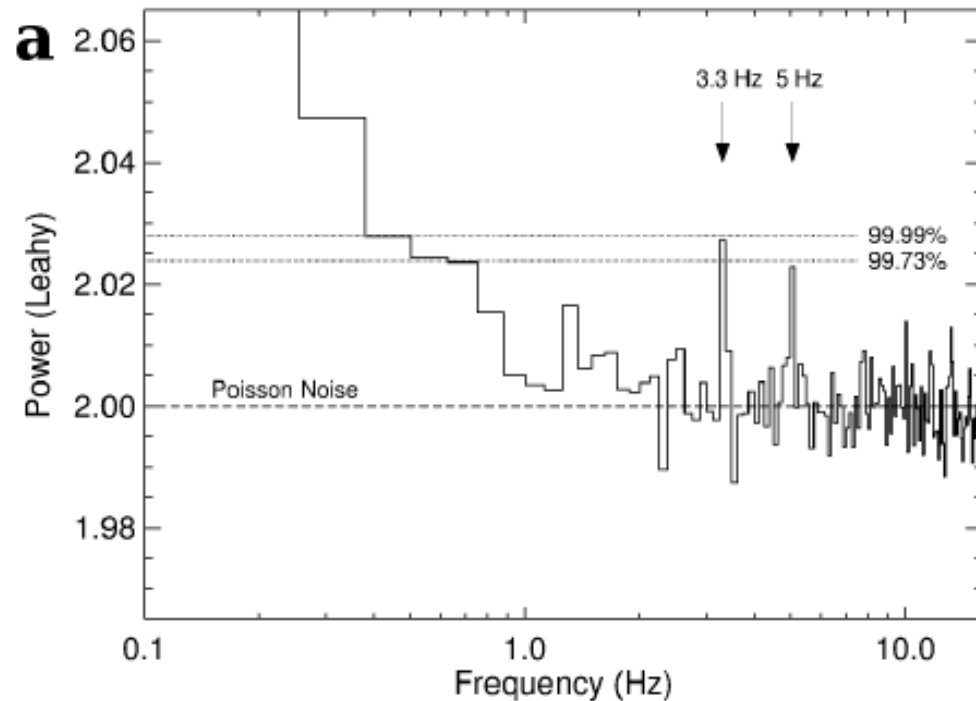
超爱丁顿吸积天体：脉冲星

- 脉冲辐射~8个源
- 回旋吸收线

一、极亮X射线源：物理本质

■ 中等质量黑洞

- M82 X-1：频率比3:2，高频QPO？ 更大的黑洞质量？

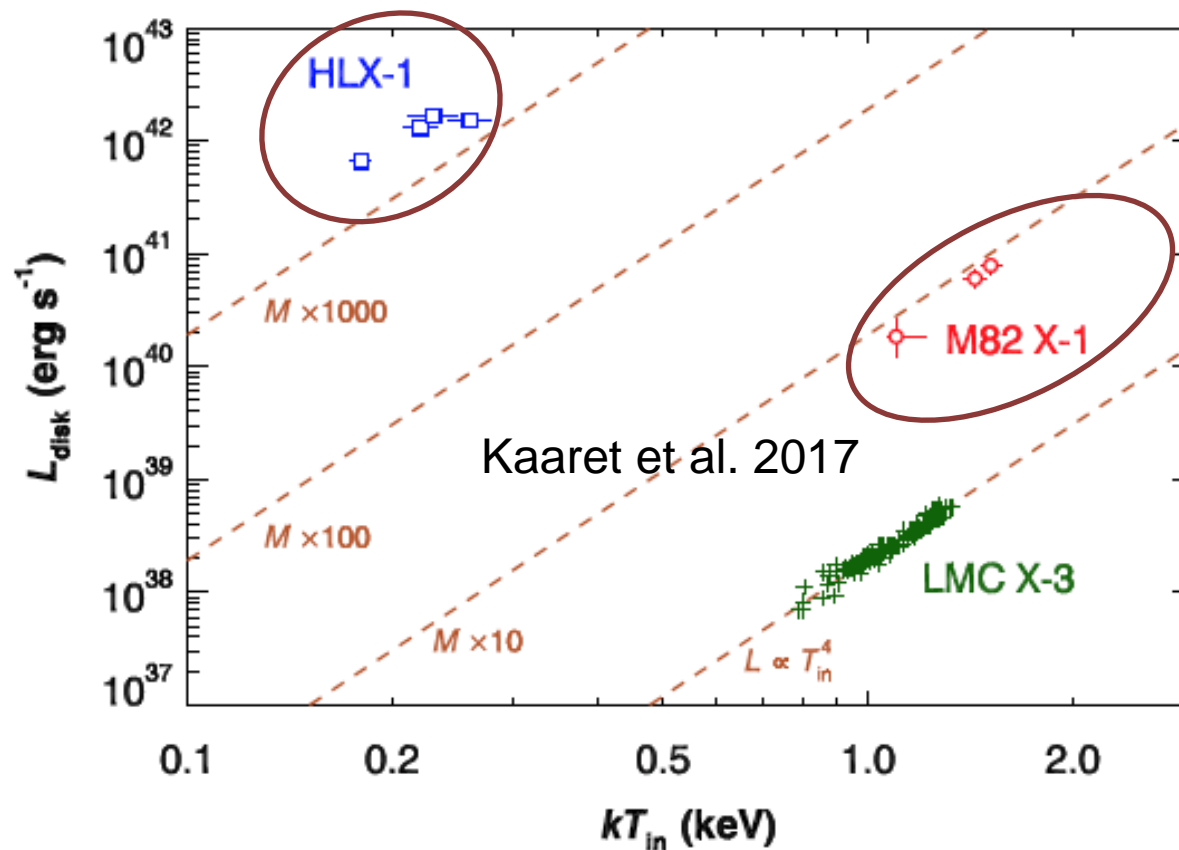
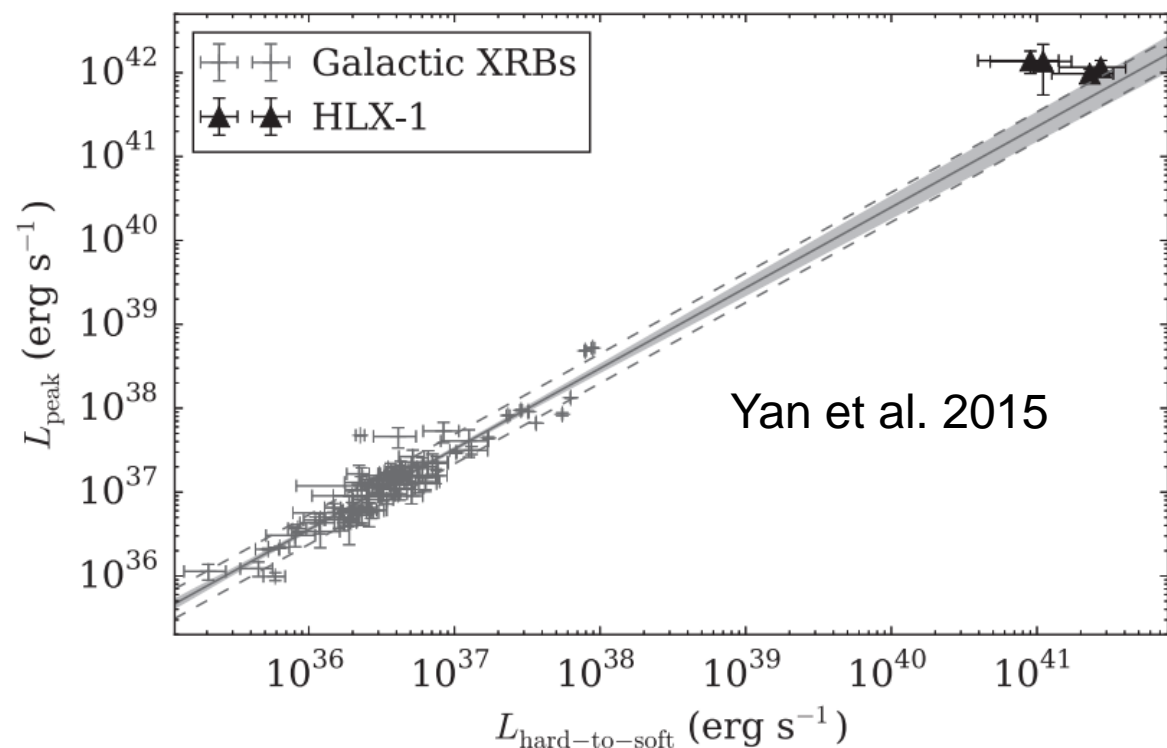


Pasham et al. 2014

一、极亮X射线源：物理本质

■ 中等质量黑洞候选体

- ESO 243-49 HLX-1, M82 X-1, hyperluminous X-ray sources



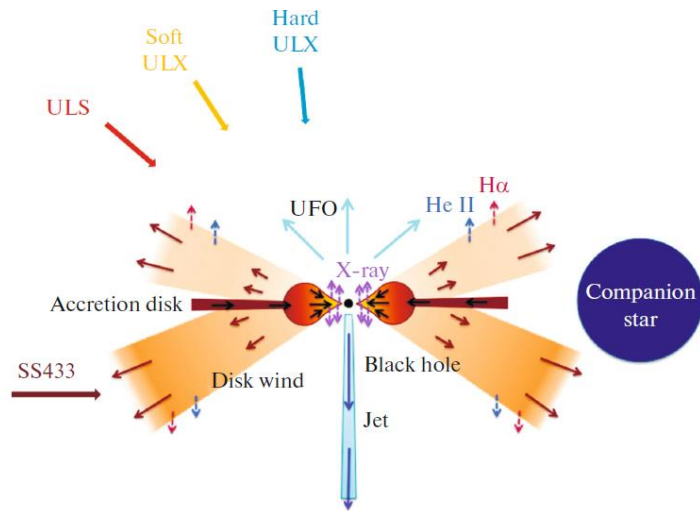
■ 态转换

■ 吸积盘的光度-温度关系

一、极亮X射线源：研究意义

■ 超临界吸积物理

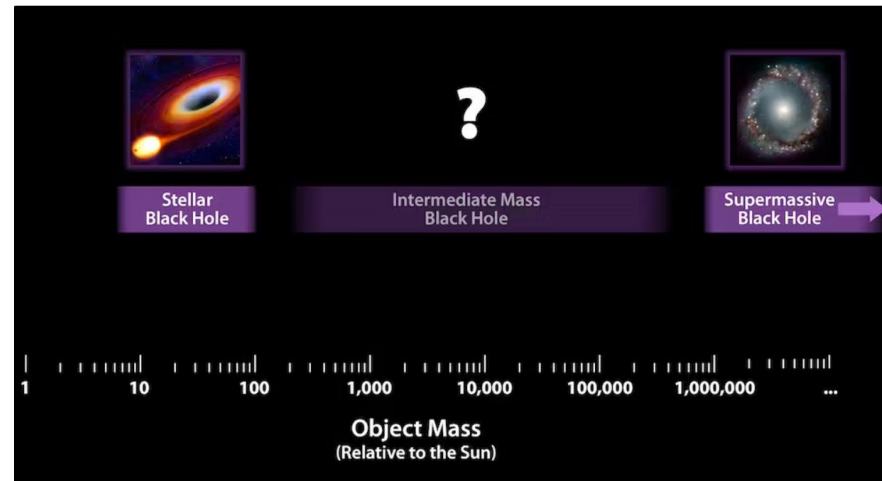
- 极高吸积率下吸积物理
- 高红移处 ($z > 7$) 超大质量黑洞的形成



Fabrika et al. 2021

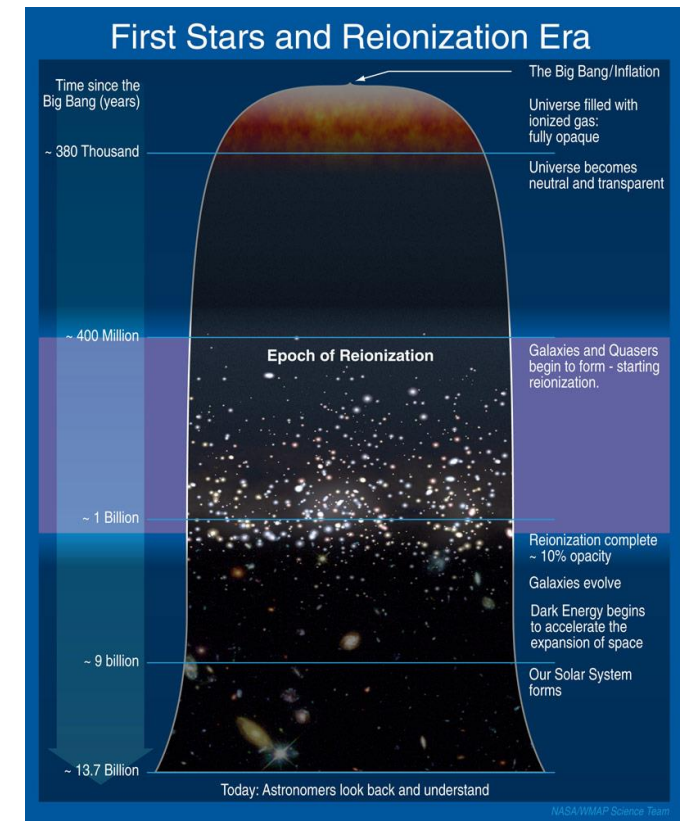
■ 中等质量黑洞候选体

- 在双星中的形成机制
- 与恒星级质量黑洞、超大质量黑洞的联系



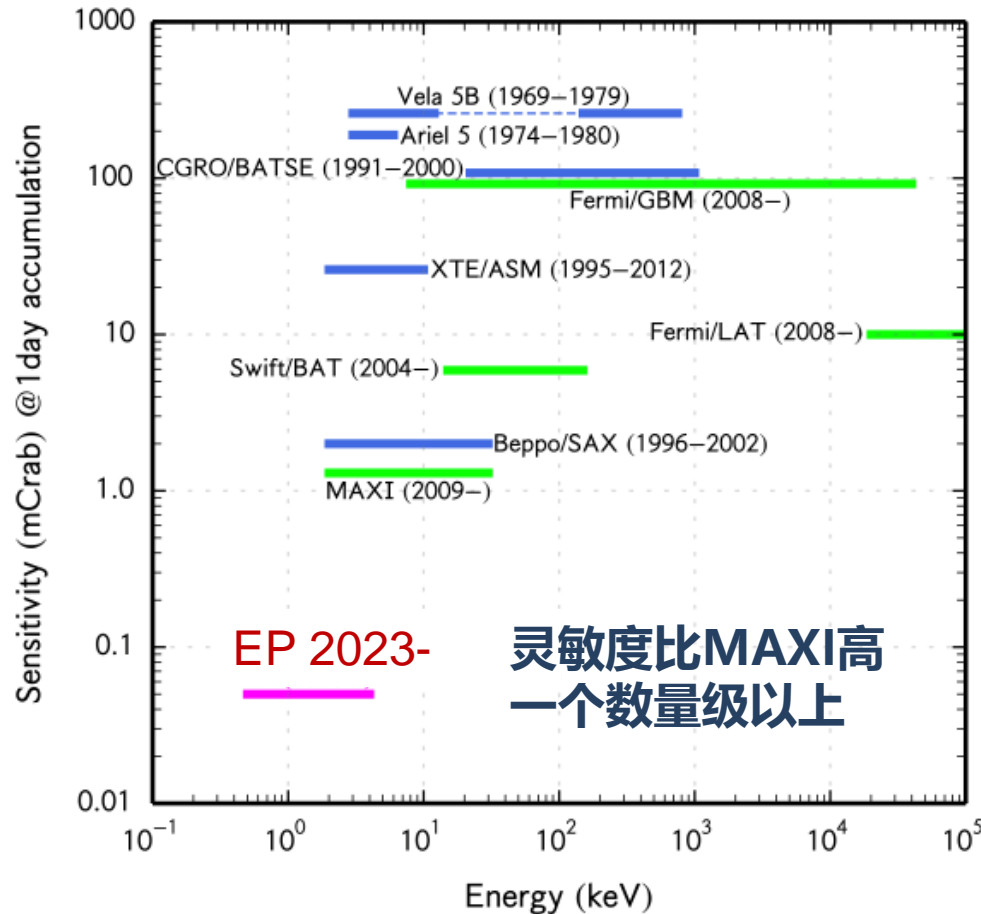
■ 早期宇宙

- 宇宙再电离时期，星系际介质IGM加热源



二、EP带来的研究机遇

■ 爱因斯坦探针卫星（计划2023年底发射）



■ 极亮X射线源研究的新机遇

- EP/WXT: 大视场 (3600 deg^2), 高灵敏度, 在轨自触发
- EP/FXT: 深度后随 ($\sim 10^{-13} \text{ erg/cm}^2/\text{s}@1\text{ks}$)

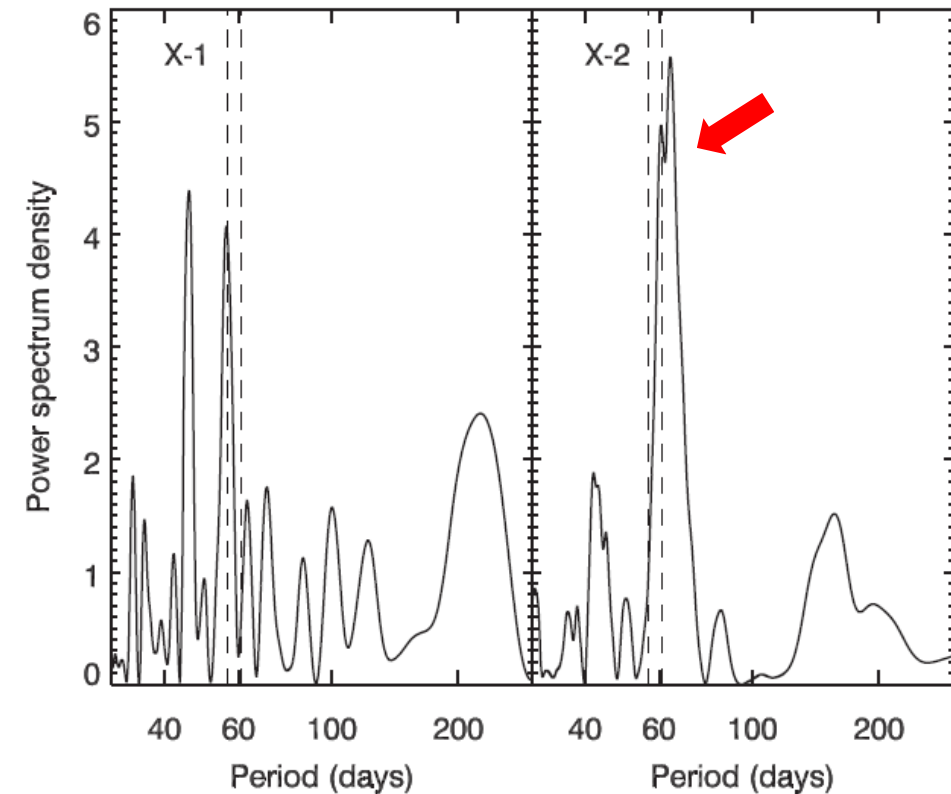
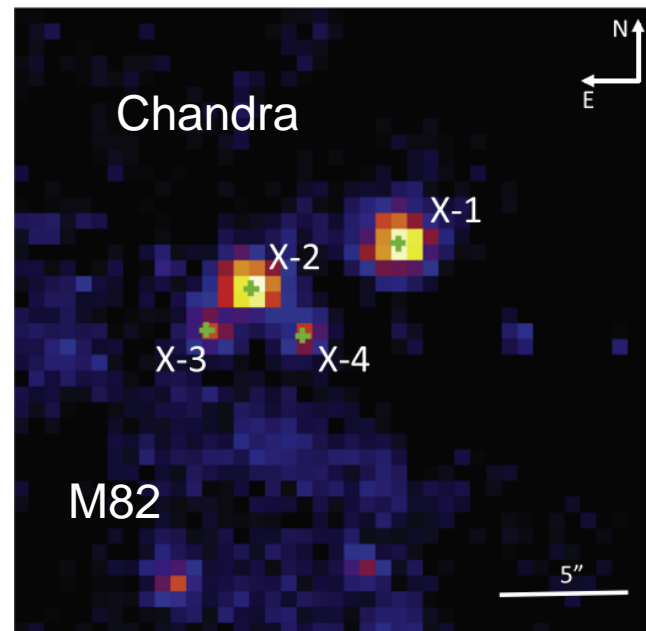
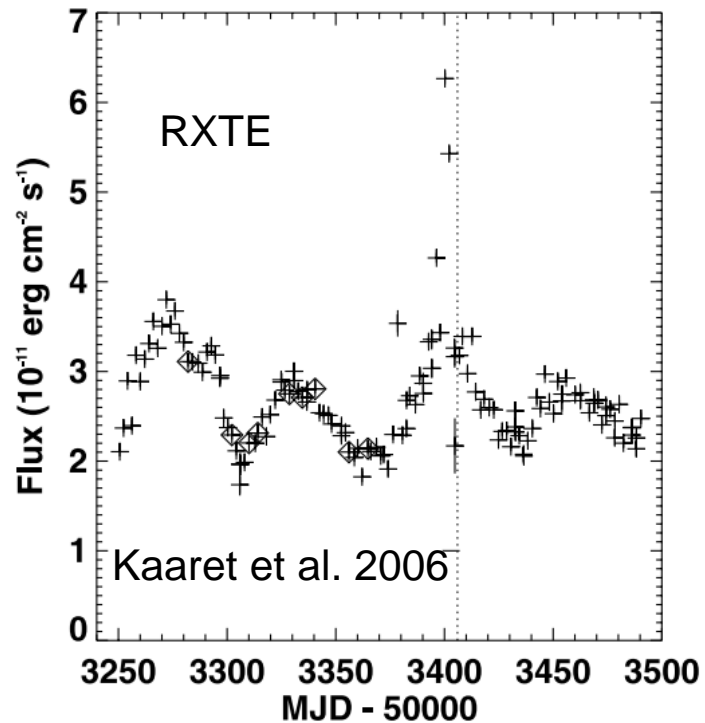
极亮X射线源的长期光变研究

二、EP带来的研究机遇

- 极亮X射线源光变的长时标周期性调制
- 极亮X射线的暂现行为
- 极亮X射线里黑洞和中子星的比例
- 寻找中等质量黑洞

二、EP带来的研究机遇：长时标周期

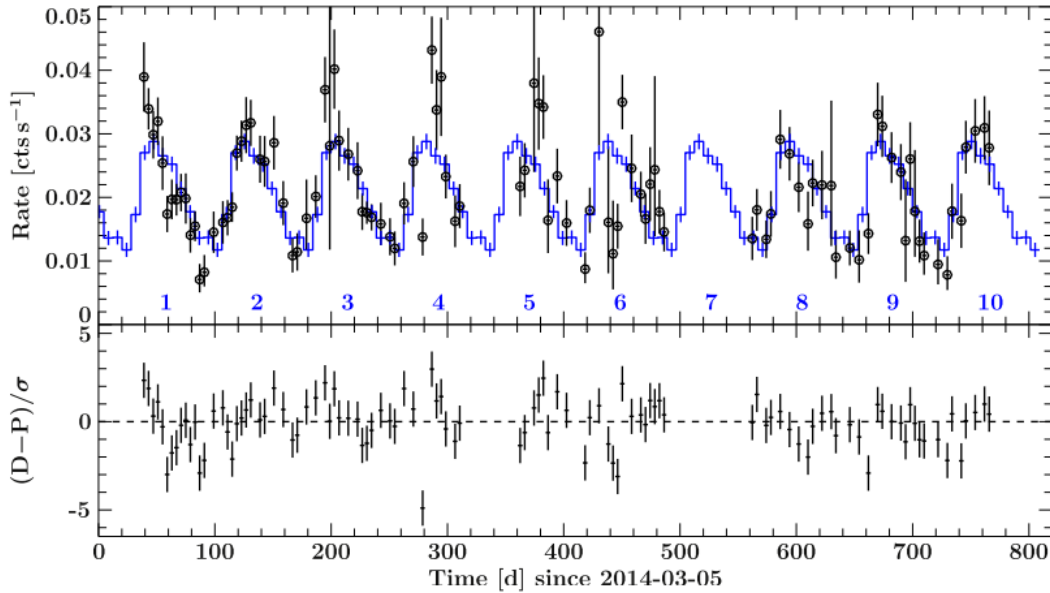
- 极亮X射线源光变的长时标周期性调制
 - M82 X-2: 62天超轨周期 (轨道周期~2.5天)



二、EP带来的研究机遇：长时标周期

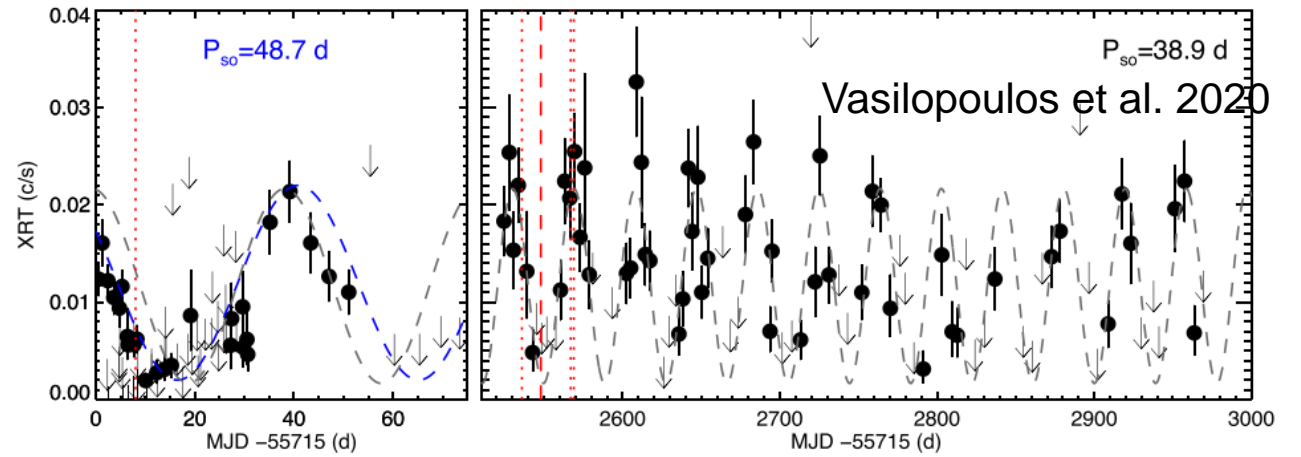
极亮X射线源光变的长时标周期性调制

在极亮X射线脉冲星中更加普遍

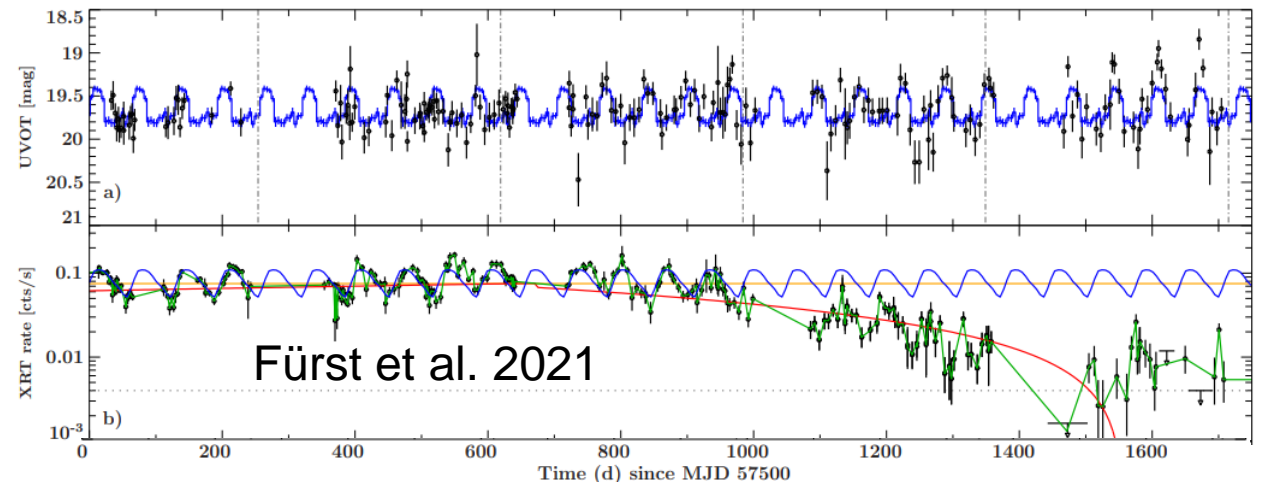


Walton et al. 2016

NGC 5907 ULX-1: 78 天超轨周期 (轨道5-30天)



M51 ULX-7: 39-44 天超轨周期 (轨道周期~2天)



Fürst et al. 2021

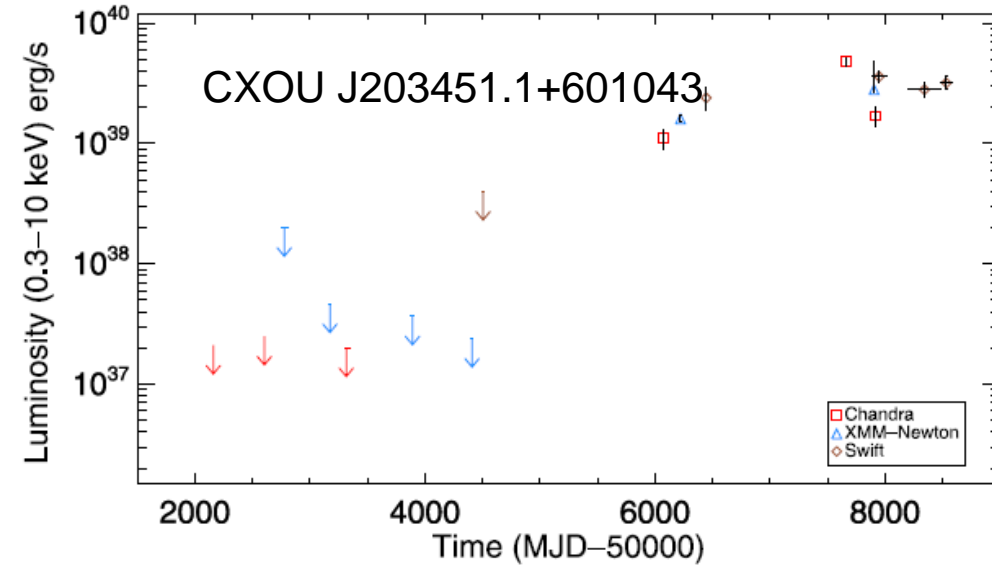
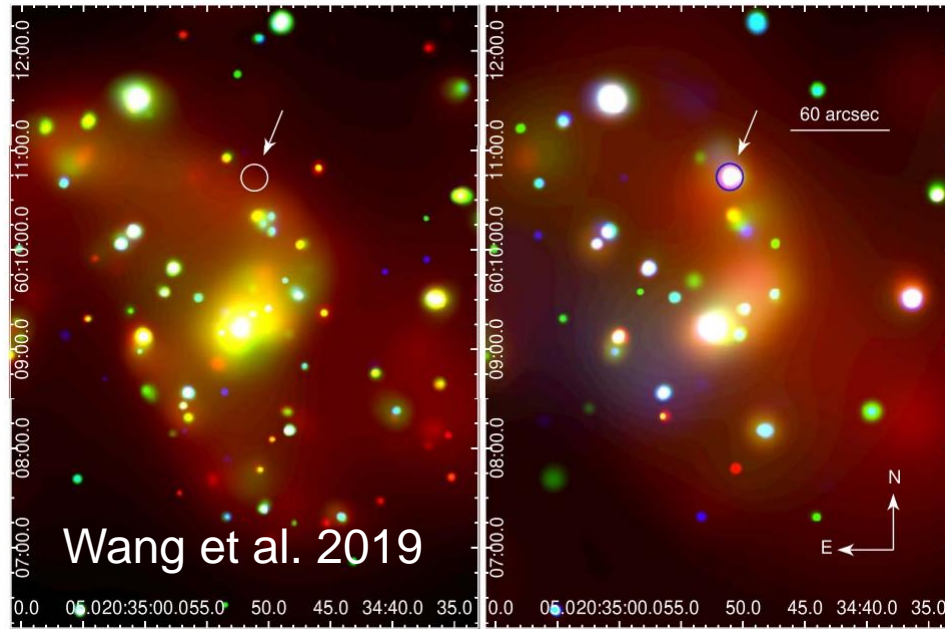
NGC 7793 P13: ~65天轨道周期

二、EP带来的研究机遇：长时标周期

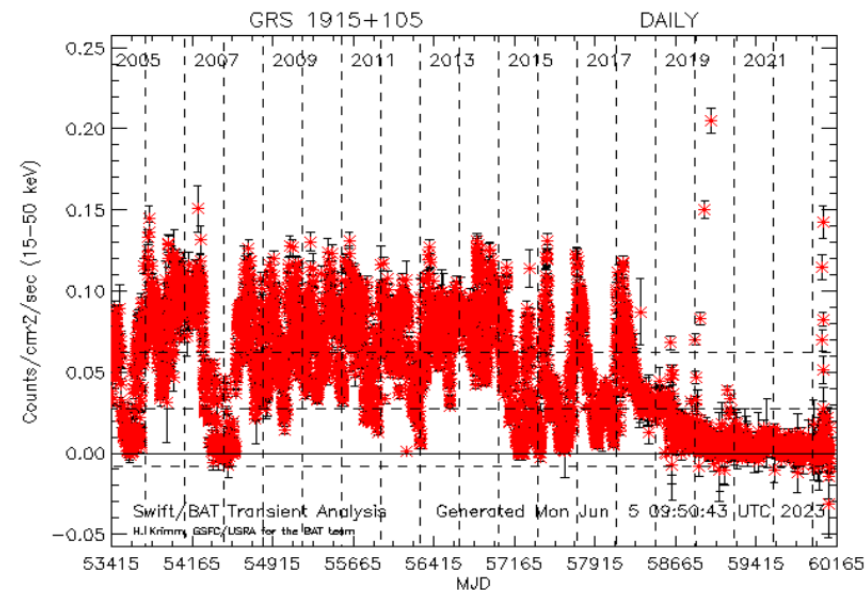
- 利用EP监测一批极亮X射线源，搜寻长时标周期信号：
 - 与河内吸积X射线脉冲星超轨周期的区别与联系：
 - 如Her X-1, LMC X-4, SMC X-1
 - 为什么在极亮X射线脉冲星中这种周期性调制更普遍？
 - 为什么有些源中，周期是双星轨道周期，而有些源中却是超轨周期？
 - 研究周期性调制的物理起源：
 - 进动的翘曲盘：遮挡效应
 - 吸积盘（吸积流）的Lense–Thirring进动
 - 周期性的螺旋桨效应
 -

二、EP带来的研究机遇：ULXs的暂现行为

- 暂现型极亮X射线源：
 - 亮-暗态转换，时标年量级



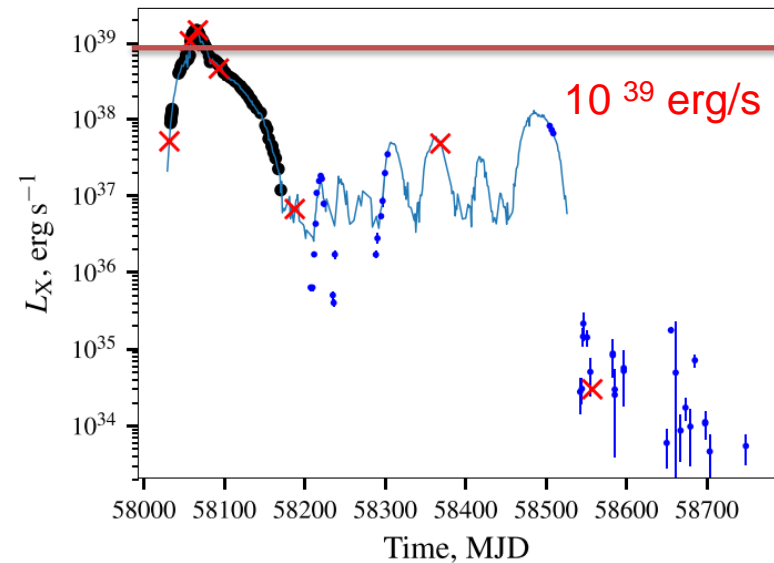
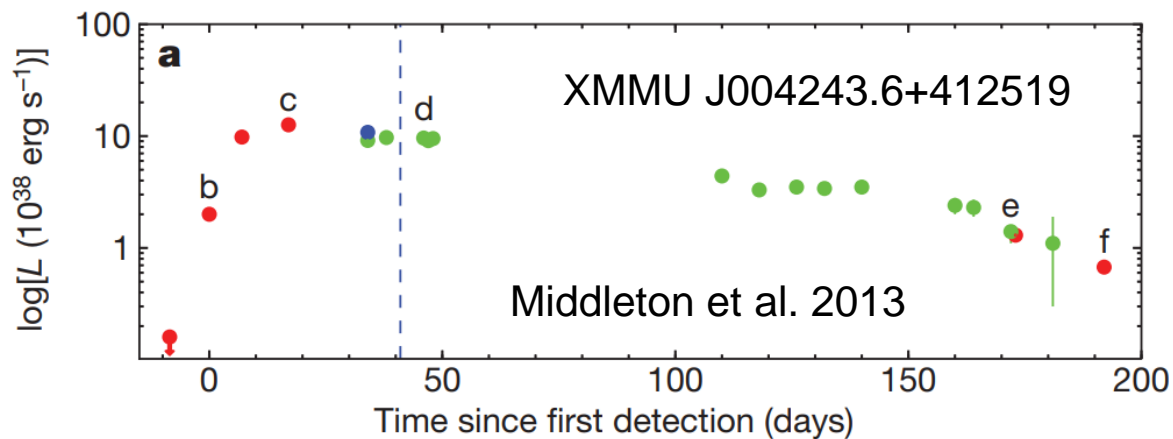
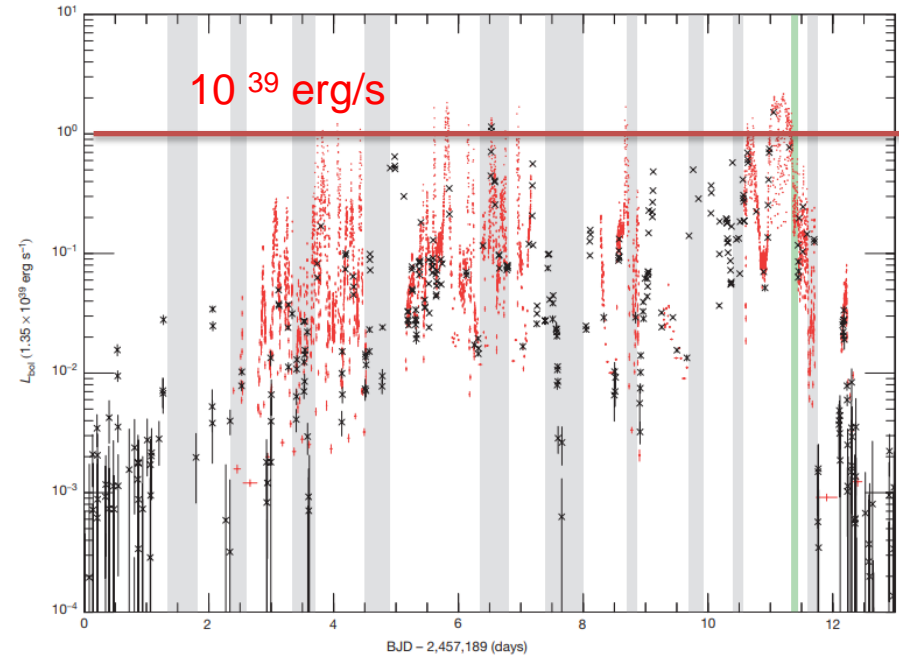
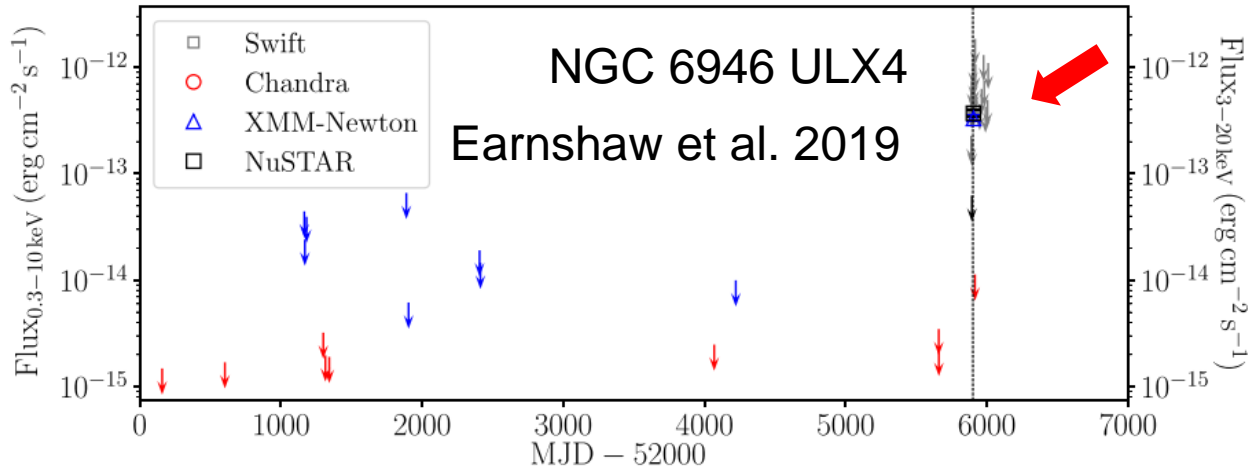
- CXOU J203451.1+601043: 多年沉寂后, 变为极亮X射线源, 之后一直保持高光度
- 类比: GRS 1915+105, 高吸积率, 亮->暗



GRS 1915+105

二、EP带来的研究机遇：ULXs的暂现行为

■ 暂现型极亮X射线源：时标~数月（天）

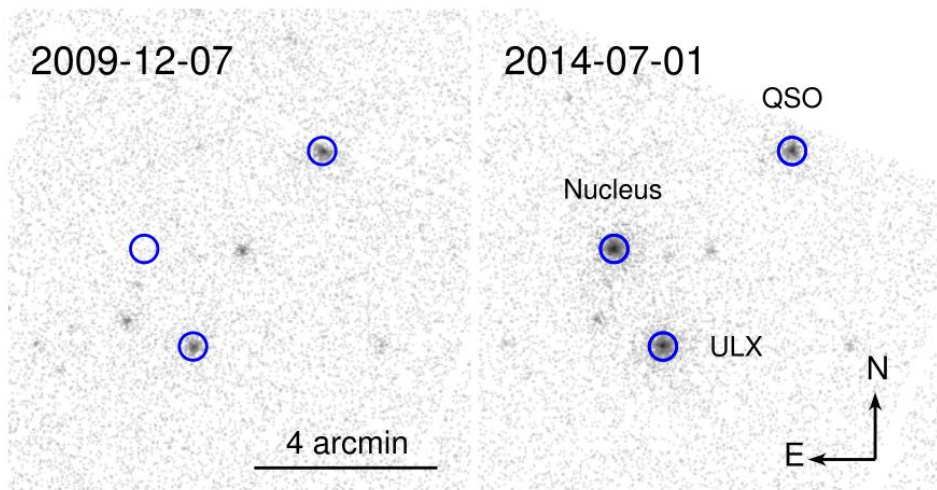


河外

河内

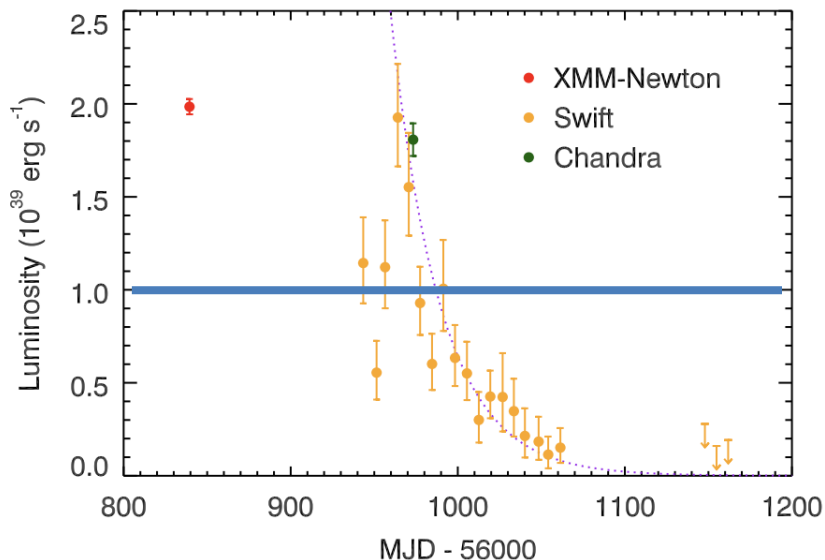
二、EP带来的研究机遇：ULXs的暂现行为

- 暂现型极亮X射线源：时标~数月（天）

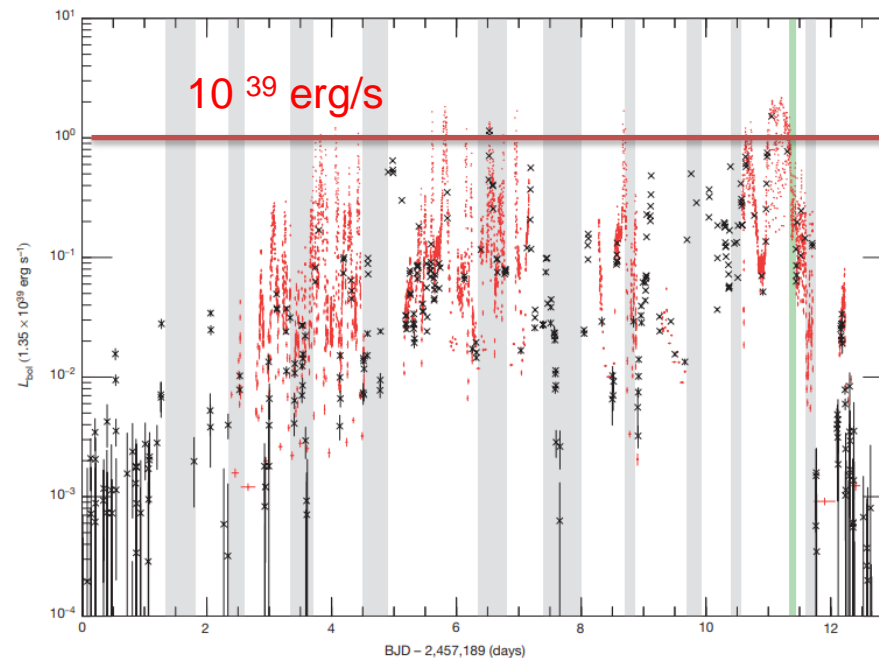


NGC 247
Feng et al. 2015

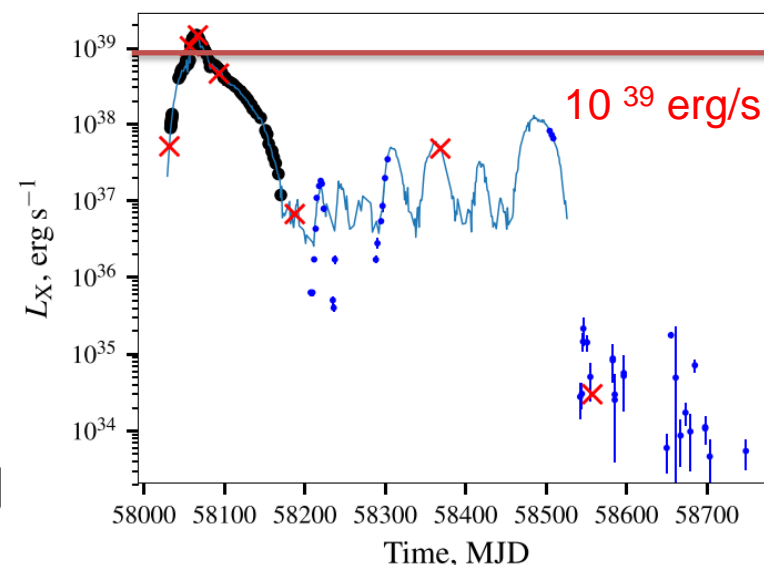
河外



河内



V404 Cyg
Kimura et al.
2016



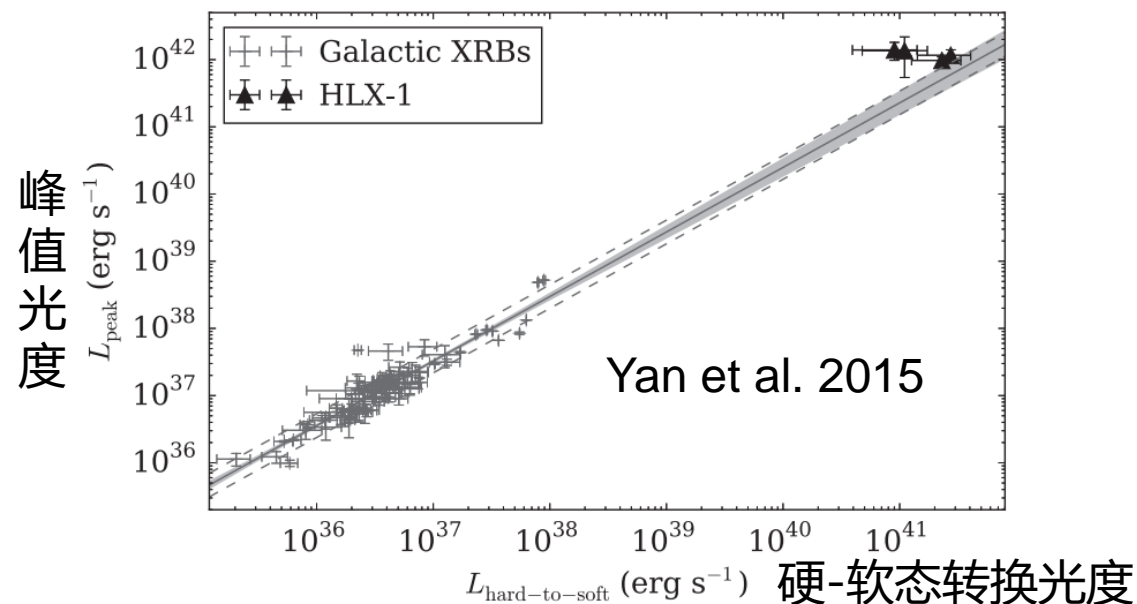
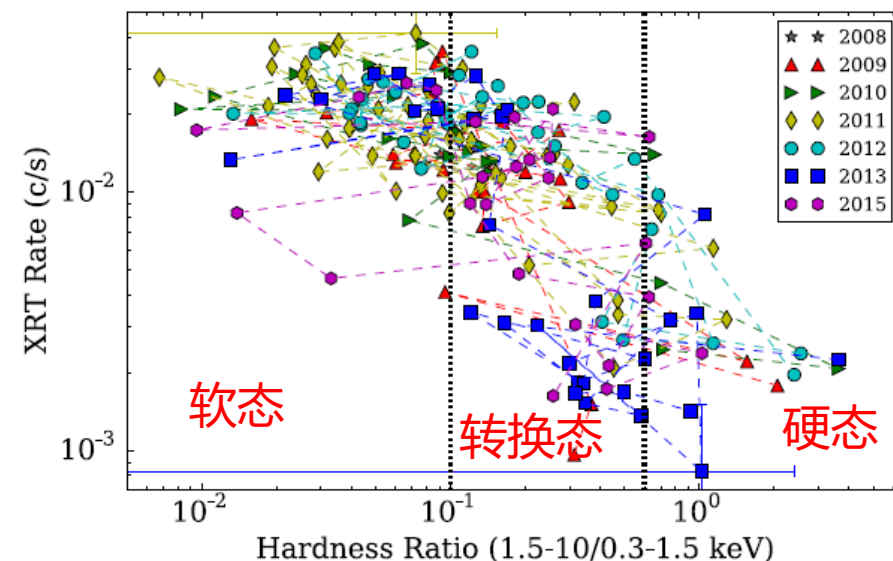
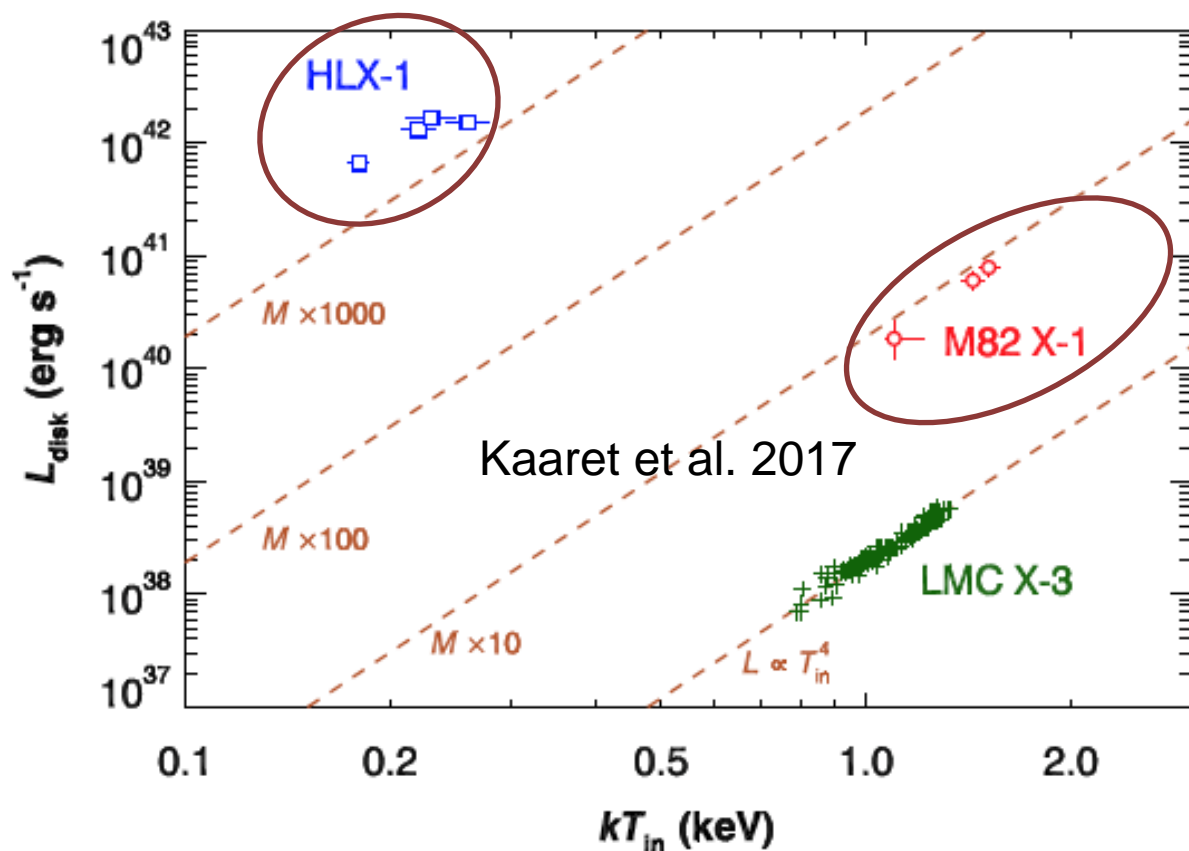
Swift
J0243.6+6124
Doroshenko
et al. 2020

二、EP带来的研究机遇：ULXs的暂现行为

- 利用EP搜寻暂现型极亮X射线源
 - 长时标（年）
 - 短时标（月、天）
- 问题：
 - 多种类型高光度暂现现象的物理起源
 - 与河内高吸积率暂现天体的区别与联系

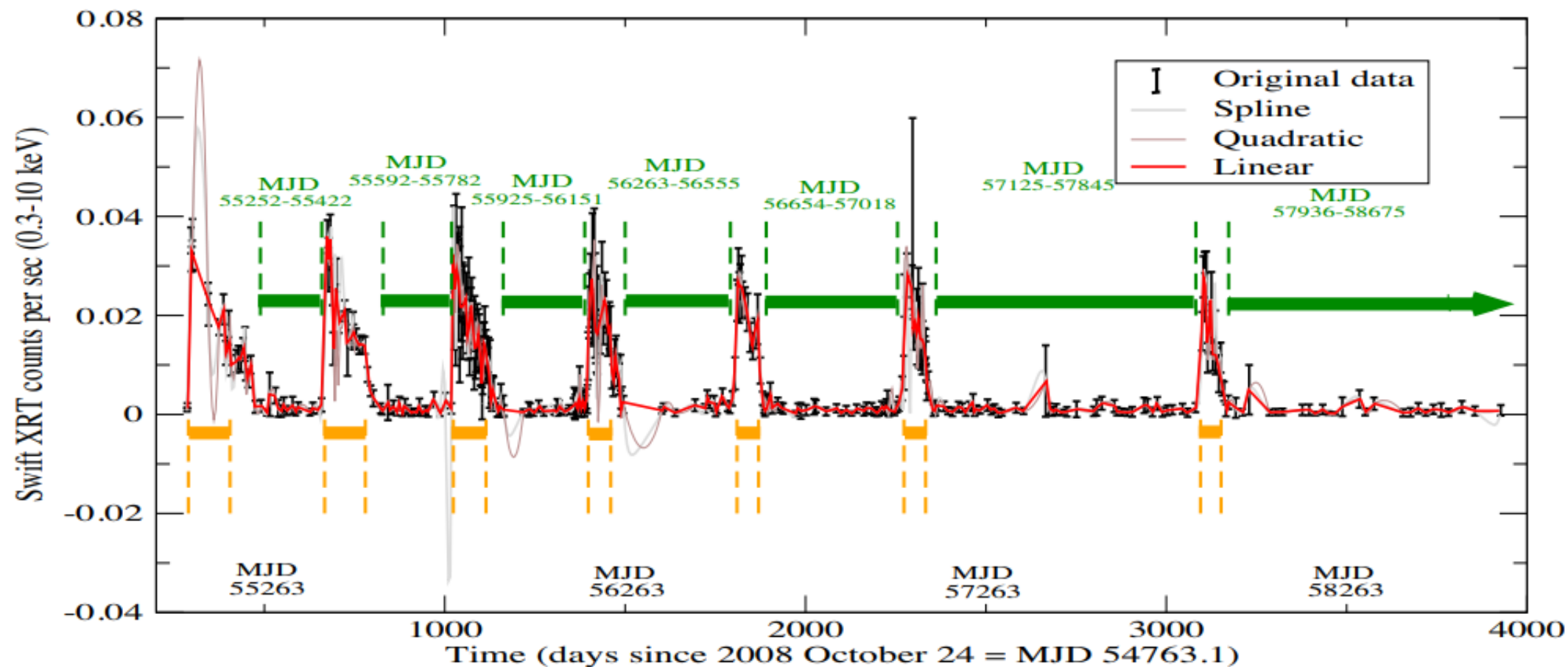
二、EP带来的研究机遇：中等质量黑洞

- 能态演化、 $L_{\text{disk}}-T_{\text{in}}$ 关系鉴别中等质量黑洞



二、EP带来的研究机遇：中等质量黑洞

■ ESO 243-49 HLX-1的长期监测



二、EP带来的研究机遇：中等质量黑洞

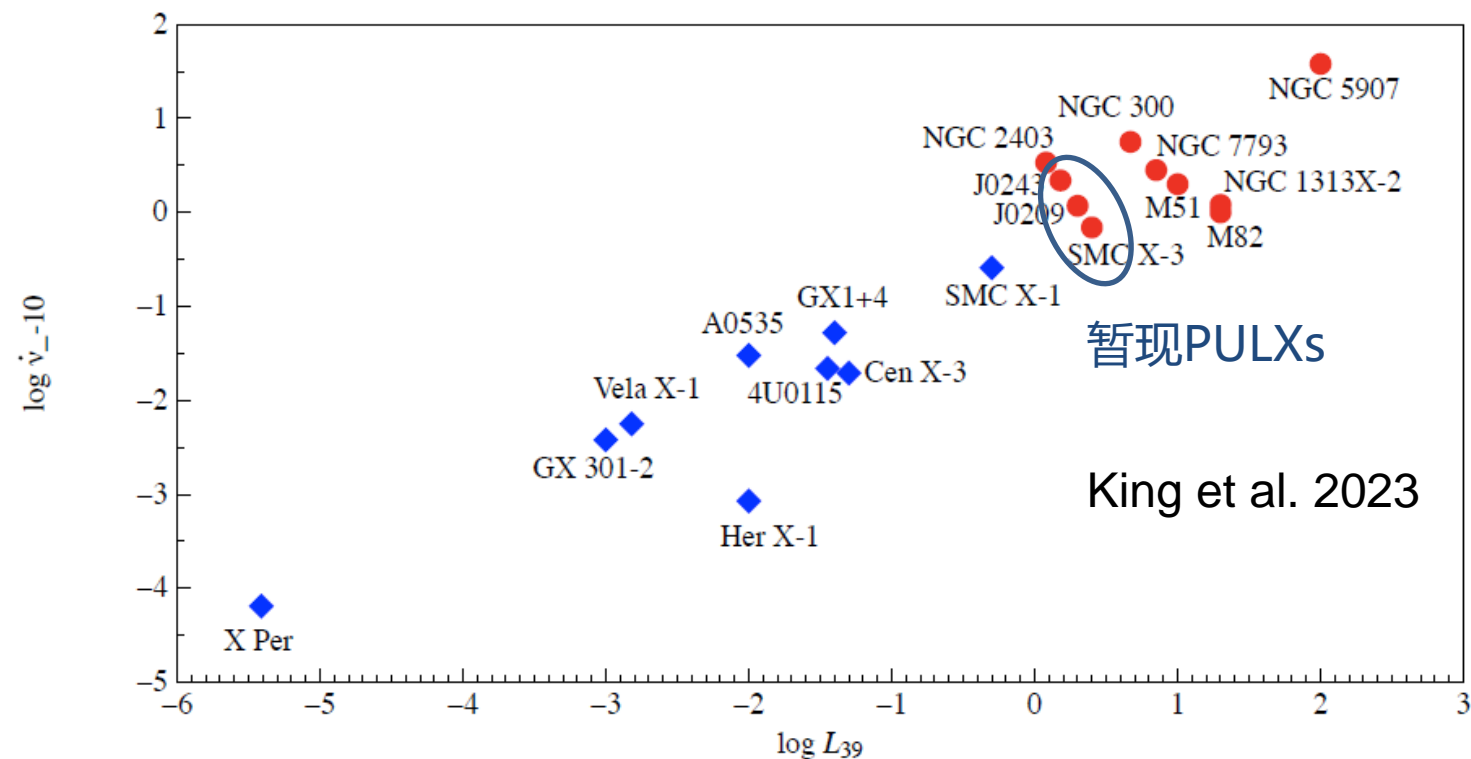
- 利用EP的监测数据搜寻中等质量黑洞候选体
- 长期监测ESO 243-49 HLX-1

二、EP带来的研究机遇：BH-ULX versus NS-ULX

■ 极亮X射线脉冲星列表

Object	$L_{X,max}$, erg s $^{-1}$	P , s	\dot{P}_{max} , s $^{-1}$
M 82 X-2	1.8×10^{40}	~ 1.37	-2.7×10^{-10}
NGC 7793 P13	$\sim 10^{40}$	~ 0.43	-3×10^{-11}
NGC 5907 ULX-1	$\sim 10^{41}$	~ 1.1	-8×10^{-10}
NGC 300 ULX-1	4.7×10^{39}	~ 31.5	-5.6×10^{-7}
M 51 ULX-7	7×10^{39}	~ 2.8	-10^{-9}
M 81 X-6	3.6×10^{39}	2681	—
NGC 1313 X-2	2×10^{40}	~ 1.5	-3.3×10^{-8}
M 51 ULX-8	4.8×10^{39}	—	—
CXOU J073709.1+653544	$\sim 10^{39}$	~ 18	-1.1×10^{-7}
SMCX-3	2.5×10^{39}	~ 7.8	-7.4×10^{-10}
RXJ0209.6-7427	$\sim 2 \times 10^{39}$	~ 9.3	-1.75×10^{-8}
SwiftJ0243.6+61241	$\sim 2 \times 10^{39}$	~ 9.8	$\sim 2.2 \times 10^{-8}$

Fabrika et al. 2021



二、EP带来的研究机遇：BH-ULX versus NS-ULX

- 利用EP监测一批极亮X射线源
 - 是否有螺旋桨效应
 - ULX里的中子星比例和磁场强度分布
 - 极亮X射线中子星和河内吸积X射线脉冲星的区别与联系

三、灵敏度

	$L_x @ 5 \text{ Mpc}$ (erg s ⁻¹)	$L_x @ 10 \text{ Mpc}$ (erg s ⁻¹)
WXT 1 ks	3.0×10^{40}	1.2×10^{41}
FXT 1 ks	7.2×10^{38}	2.9×10^{39}