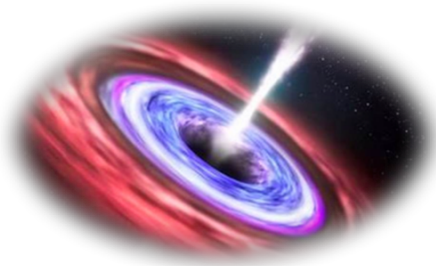
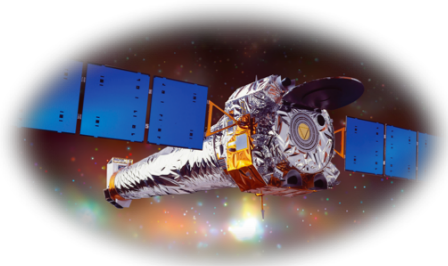


X射线高能天体物理 的观测研究： 个人研究回顾

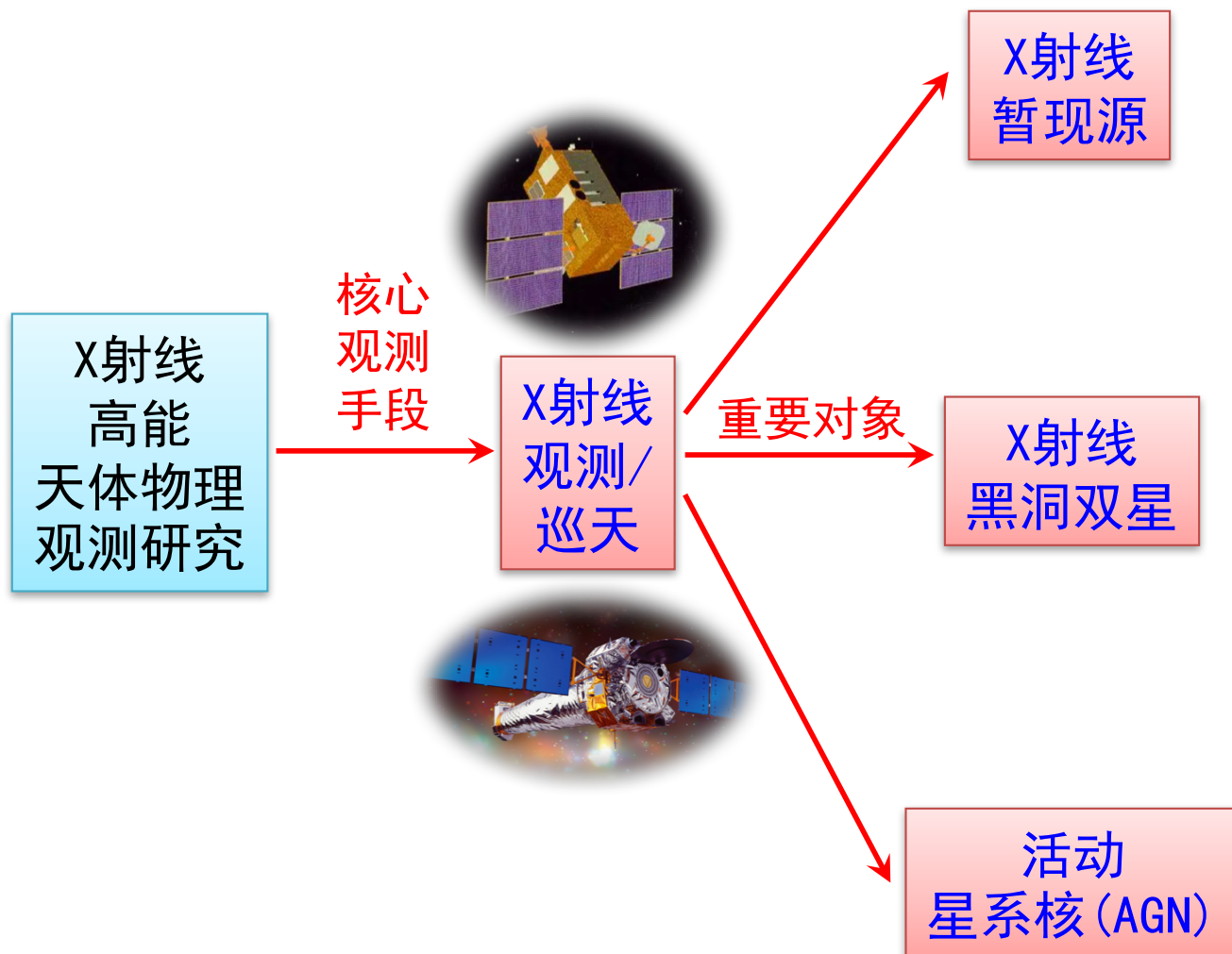


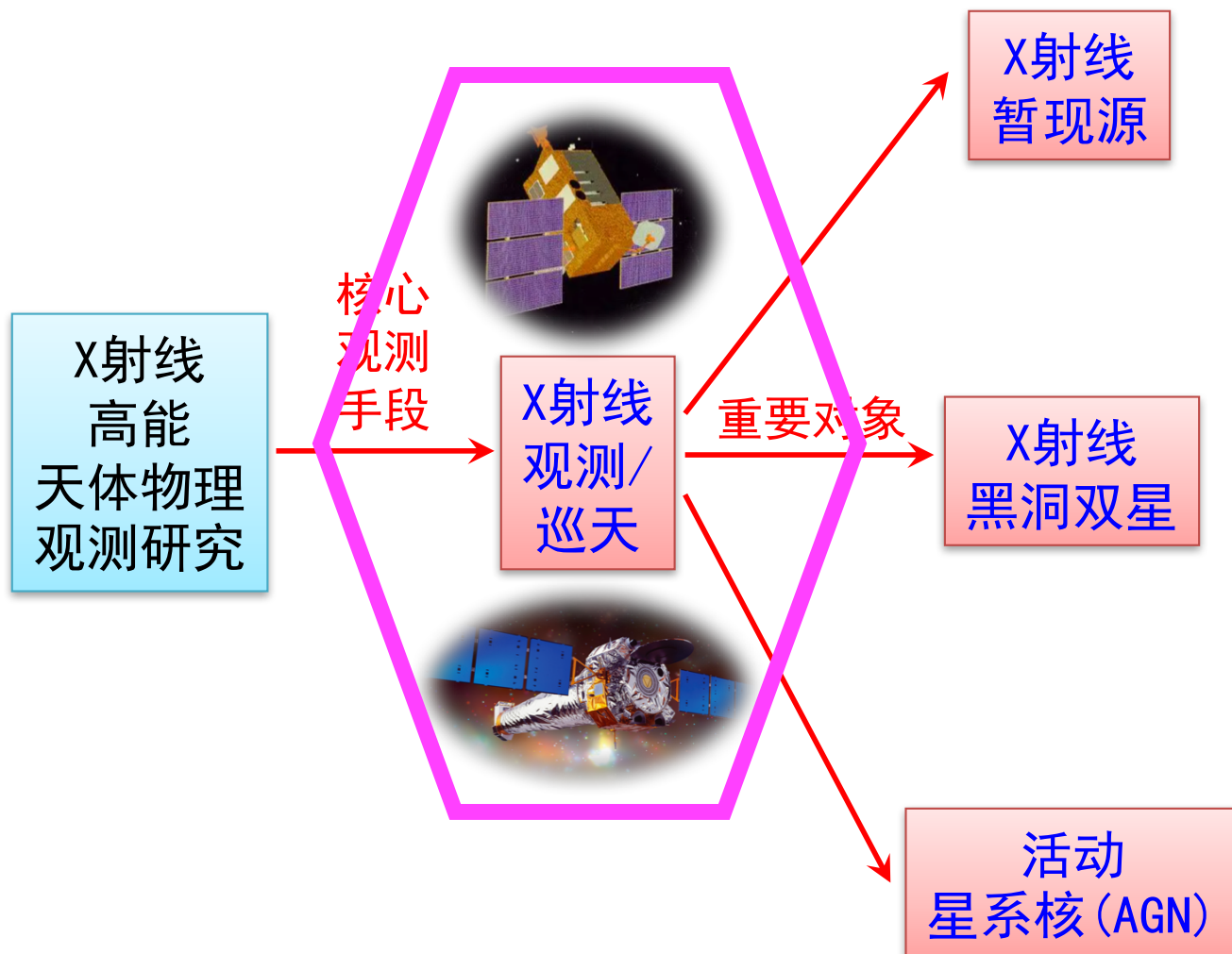
薛永泉

<http://staff.ustc.edu.cn/~xuey>

中国科学技术大学
物理学院天文学系



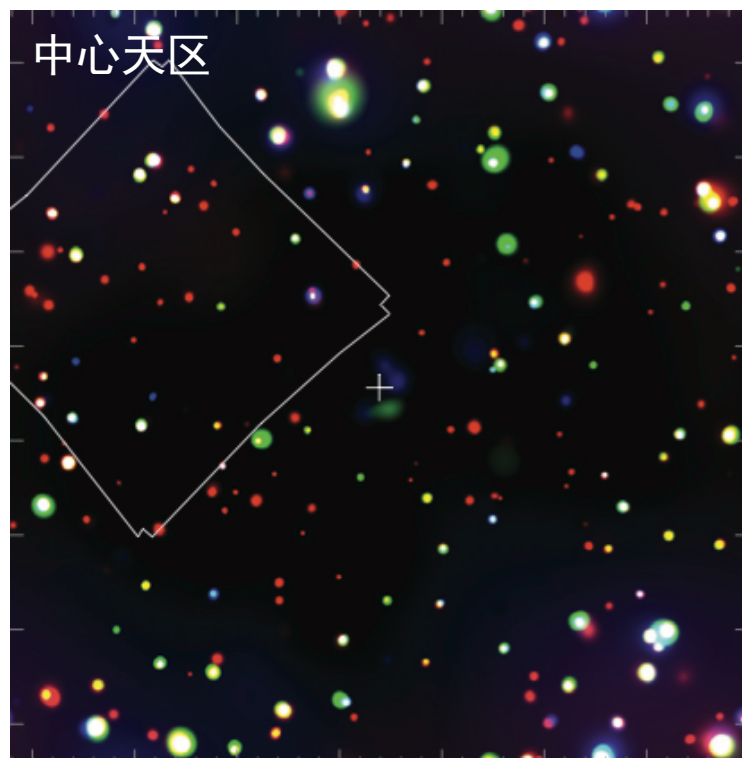




作为核心成员推进实施最深、最灵敏X射线巡天

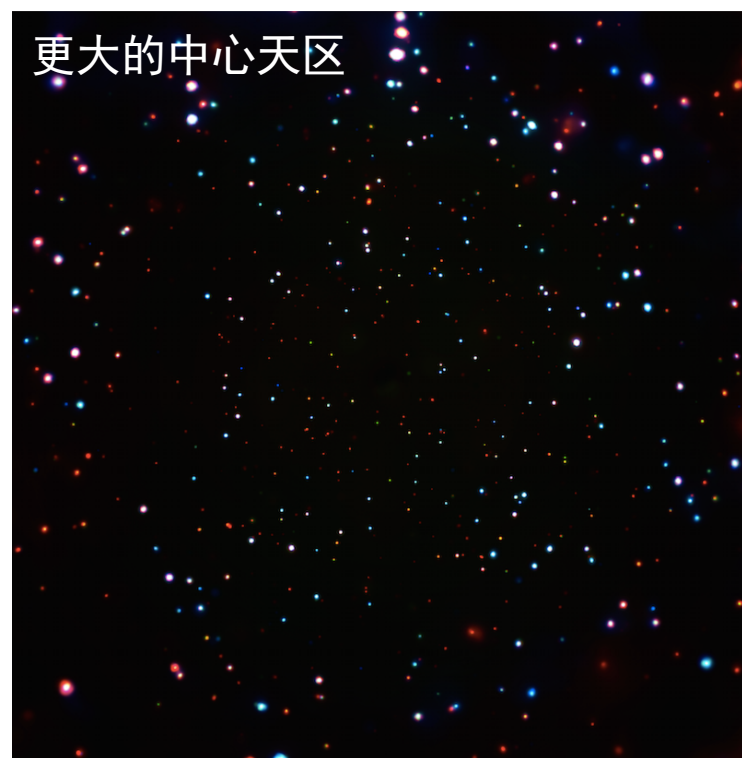
动机：开拓新的X射线巡天发现空间——钱德拉深场

钱德拉南天深场推进过程



4百万秒钱德拉南天深场
(当时第一深场)

(Xue, Luo, Brandt et al. 2011, ApJS)



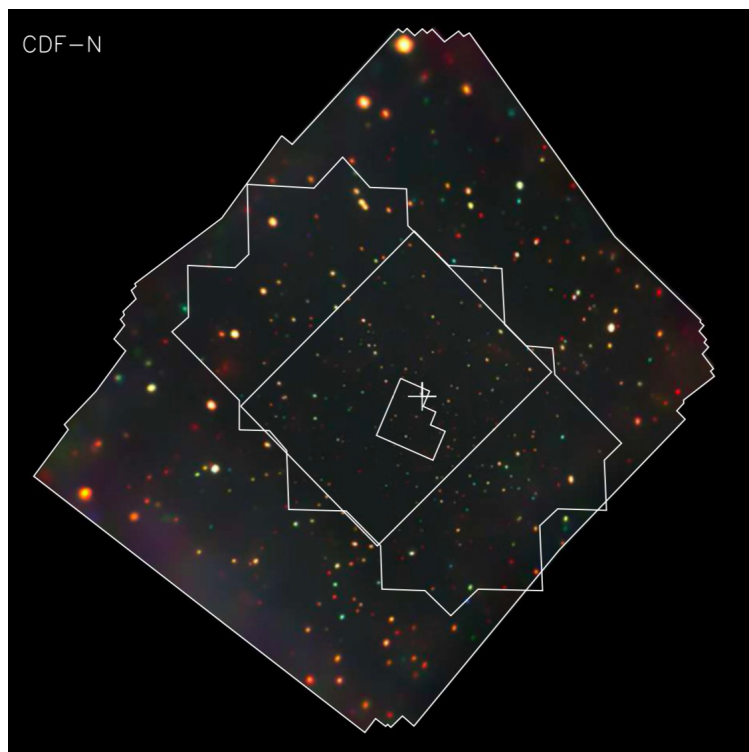
7百万秒钱德拉南天深场
(迄今第一深场)

(Luo, Brandt, Xue et al. 2017, ApJS)

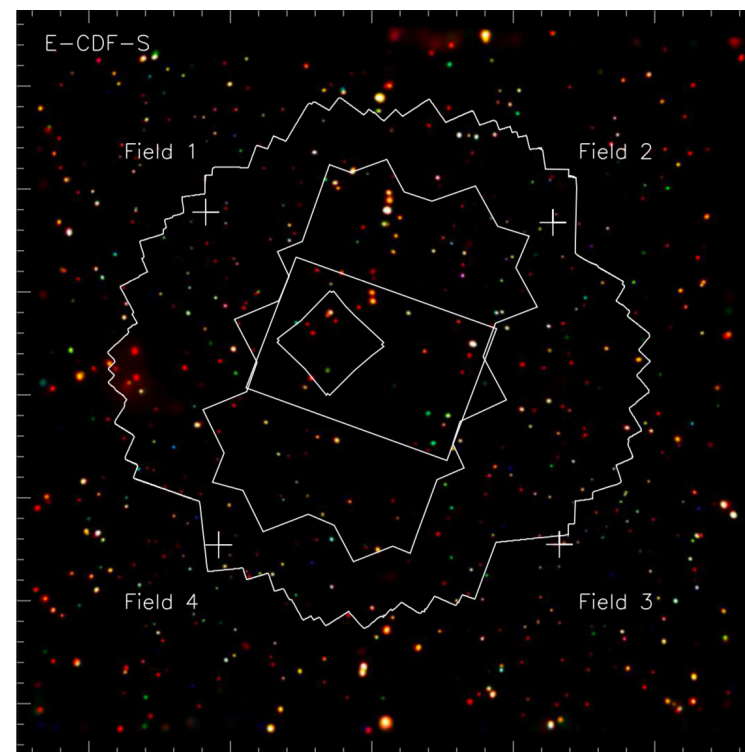
- 最为灵敏的X射线巡天：大量遥远的AGN和星系
- 最高的AGN空间分布面密度： $23900/\text{deg}^2$

作为核心成员推进实施最深、最灵敏X射线巡天

钱德拉北天深场与扩展钱德拉南天深场的改进点源表



2百万秒钱德拉北天深场
(迄今第二深场)



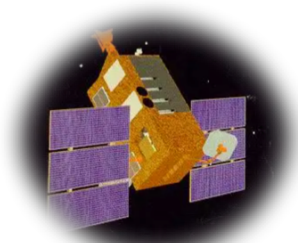
250千秒扩展钱德拉南天深场
(南天深场的有益补充)

(Xue, Luo, Brandt et al. 2016, ApJS)

- 钱德拉深场显著推进多领域研究：X射线暂现源、活动星系核、星系、星系群、宇宙X射线背景辐射、黑洞-星系协同演化等
- 大幅深化对于宇宙的认识

X射线
高能
天体物理
观测研究

核心
观测
手段



X射线
观测/
巡天

重要对象

X射线
暂现源



X射线
黑洞双星



活动
星系核 (AGN)

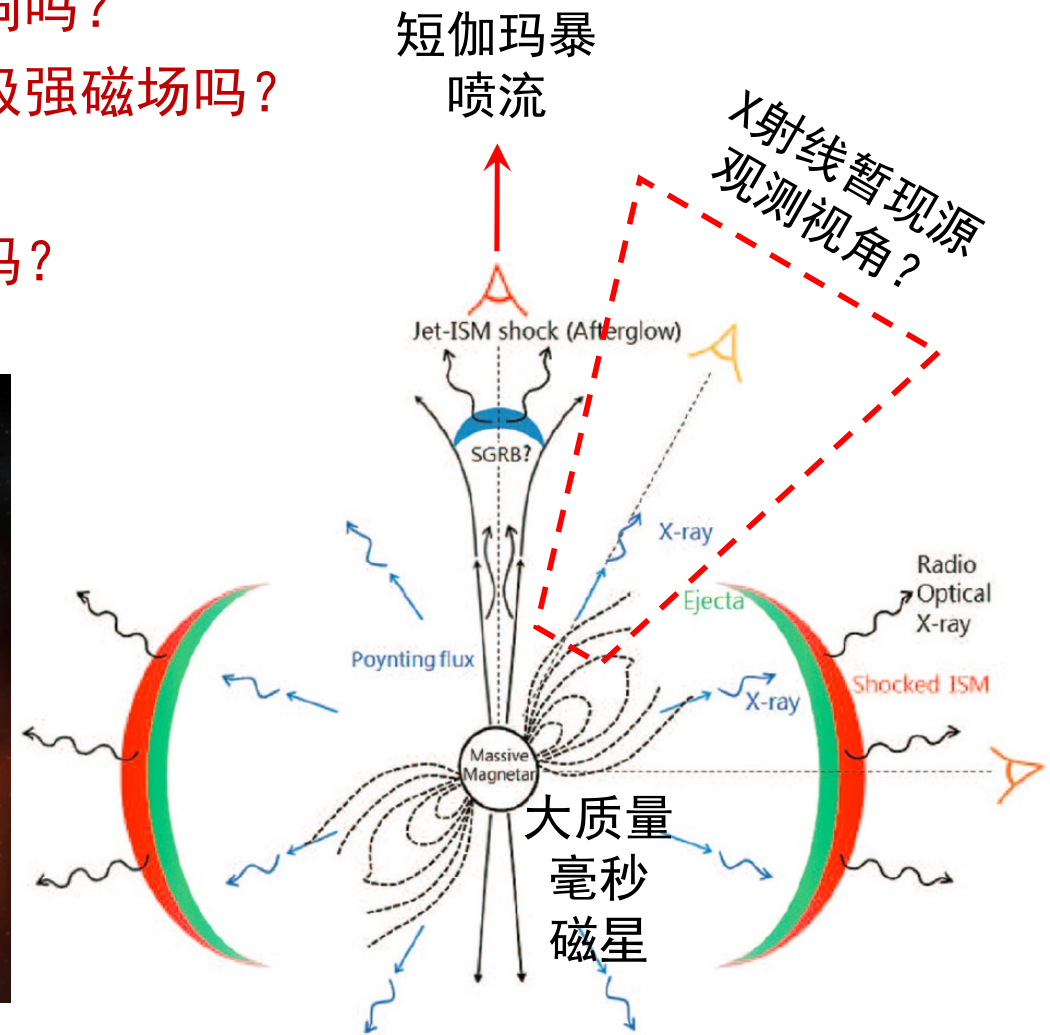
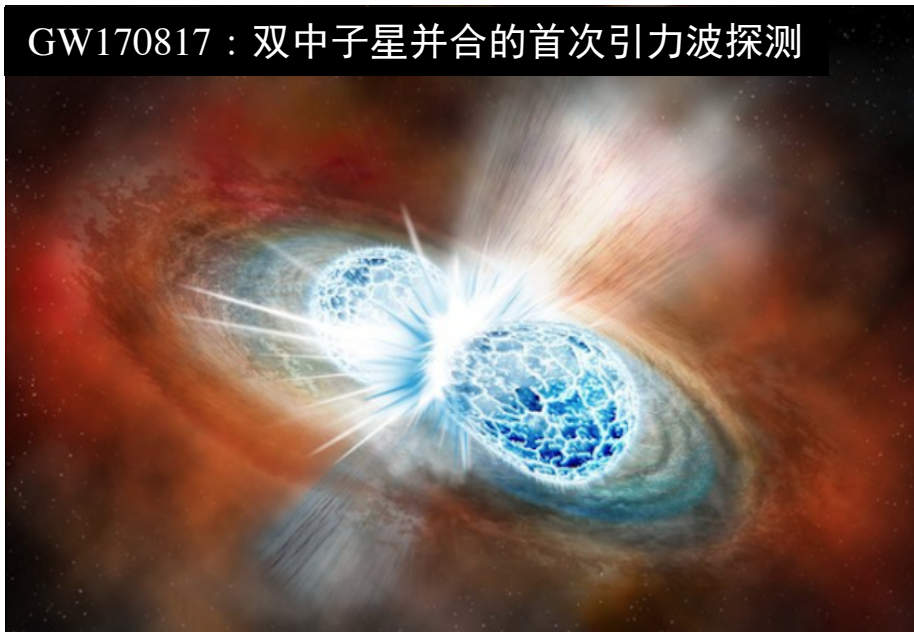


发现首例双中子星并合形成的磁星所驱动的X射线暂现源

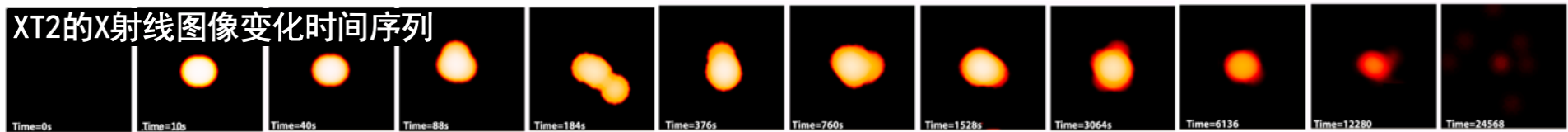
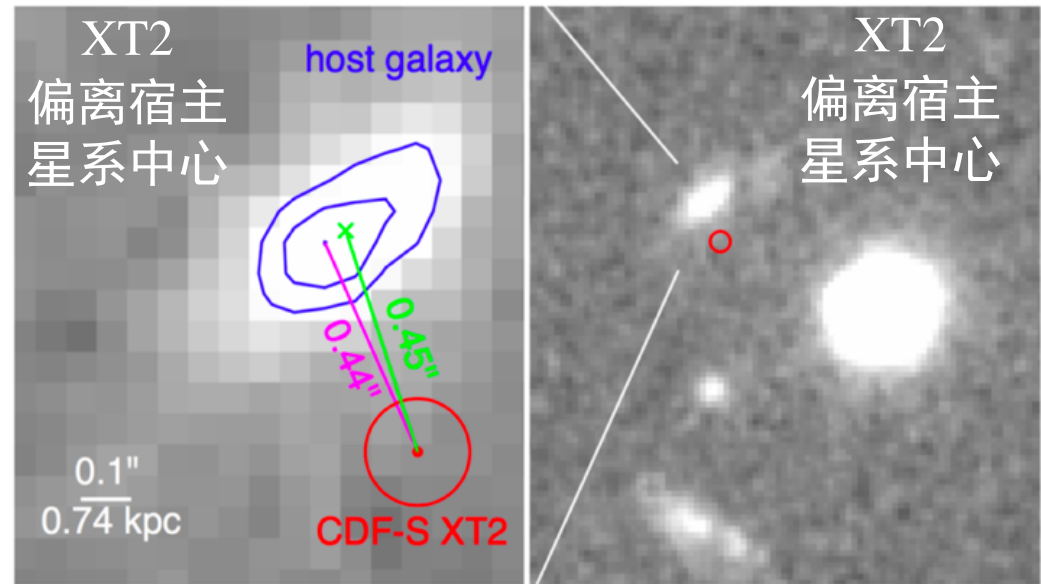
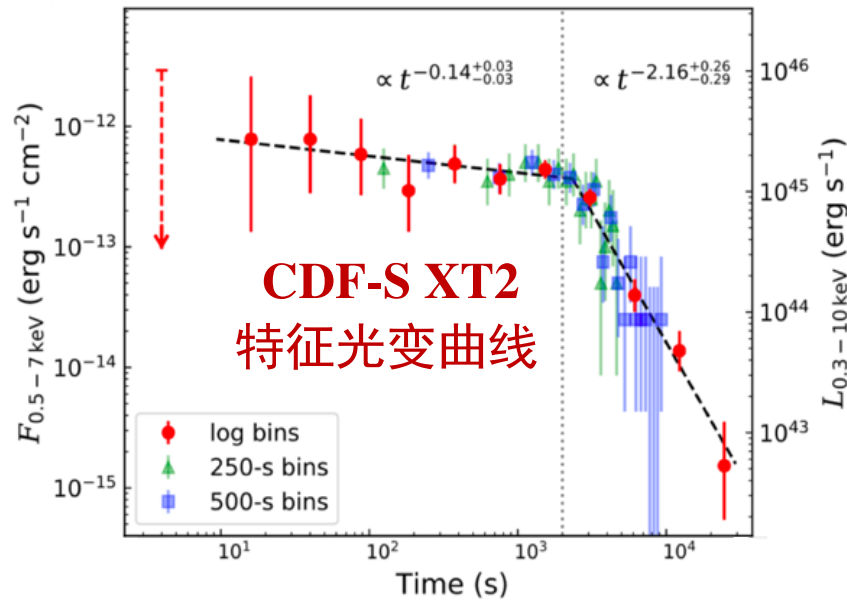
关键科学问题：

- 双中子星并合的产物可以不是黑洞吗？
- 中子星可以有很硬的物态方程与极强磁场吗？
- 大质量毫秒磁星是否存在？
- 存在观测双中子星并合的新手段吗？

GW170817：双中子星并合的首次引力波探测



发现首例双中子星并合形成的磁星所驱动的X射线暂现源



(Xue et al. 2019, Nature)

- 特征光变曲线：形状、时标、光度
- 无伽玛暴探测：视线偏离喷流
- 宿主星系 ($z=0.738$) 属性：双中子星/双致密星并合起源
- 事件发生率：符合GW170817结果、双中子星并合起源

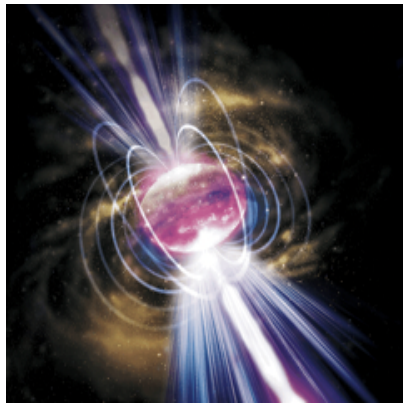


(image: C. He & G. Y. Wang)

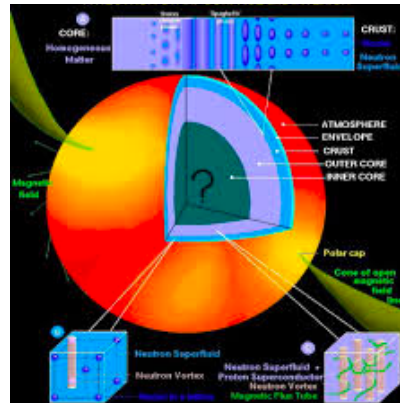
发现首例双中子星并合形成的磁星所驱动的X射线暂现源

科学价值：

- 双中子星并合直接产物可以是高质量毫秒磁星
- 约束中子星物态方程与极强磁场等基本物理
- 研究双中子星并合及中子星属性的新视角
 - ✓ 引力波观测
 - ✓ 短伽玛暴观测
 - ✓ X射线观测



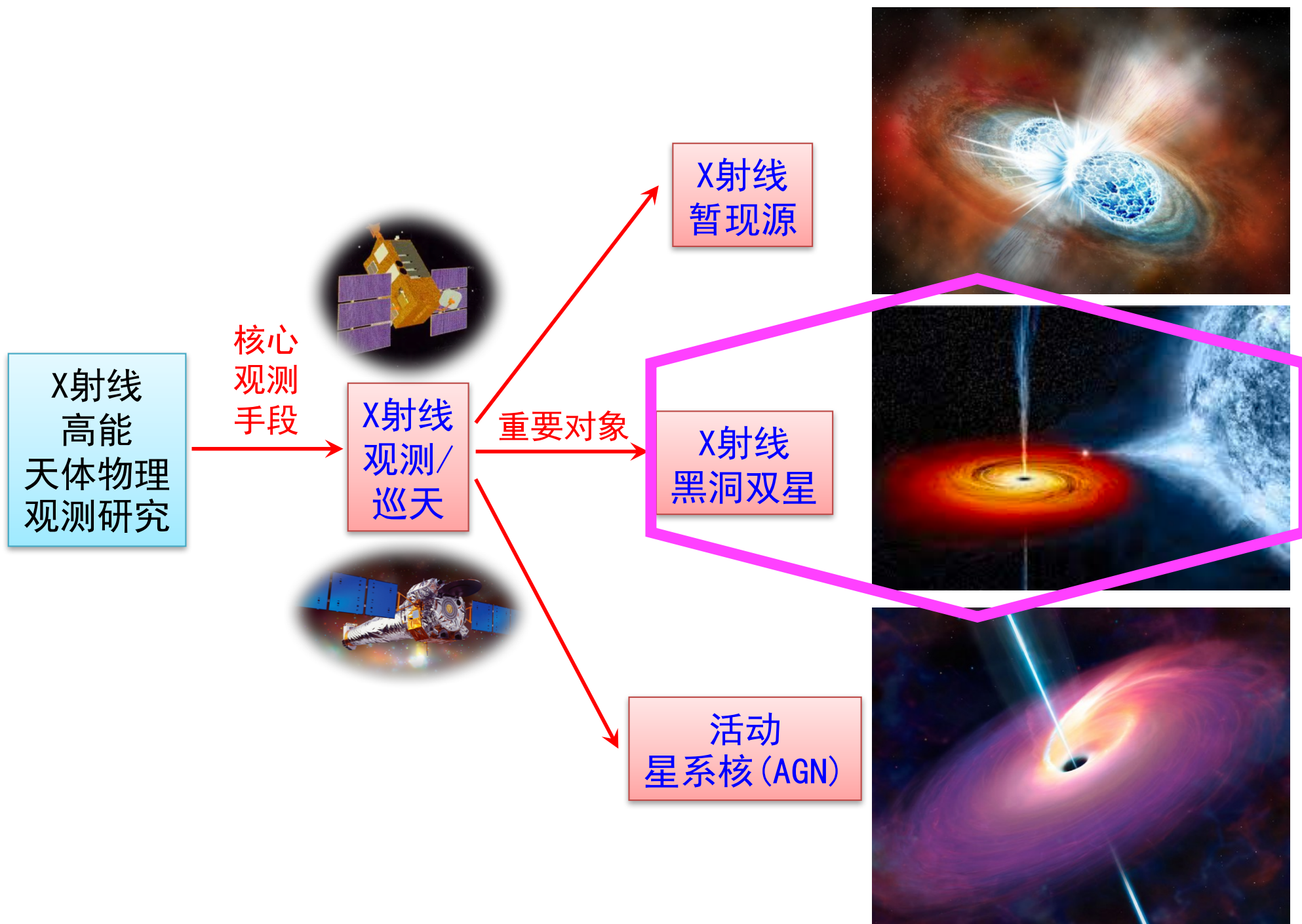
大质量毫秒磁星



中子星内部物质

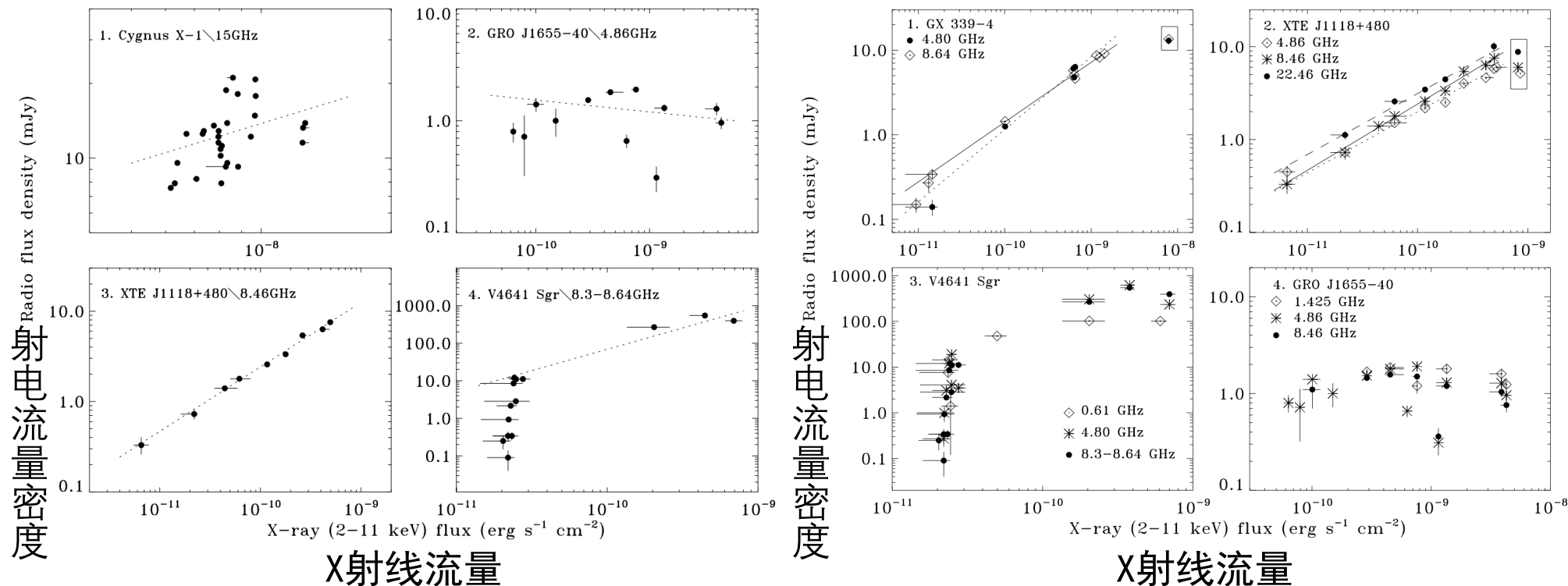


钱德拉X射线天文台



发现微类星体不具有普遍一致的射电/X射线辐射相关性

动机：所有的微类星体在低硬态时都有 $f_R \sim f_X^{0.7}$ 吗？

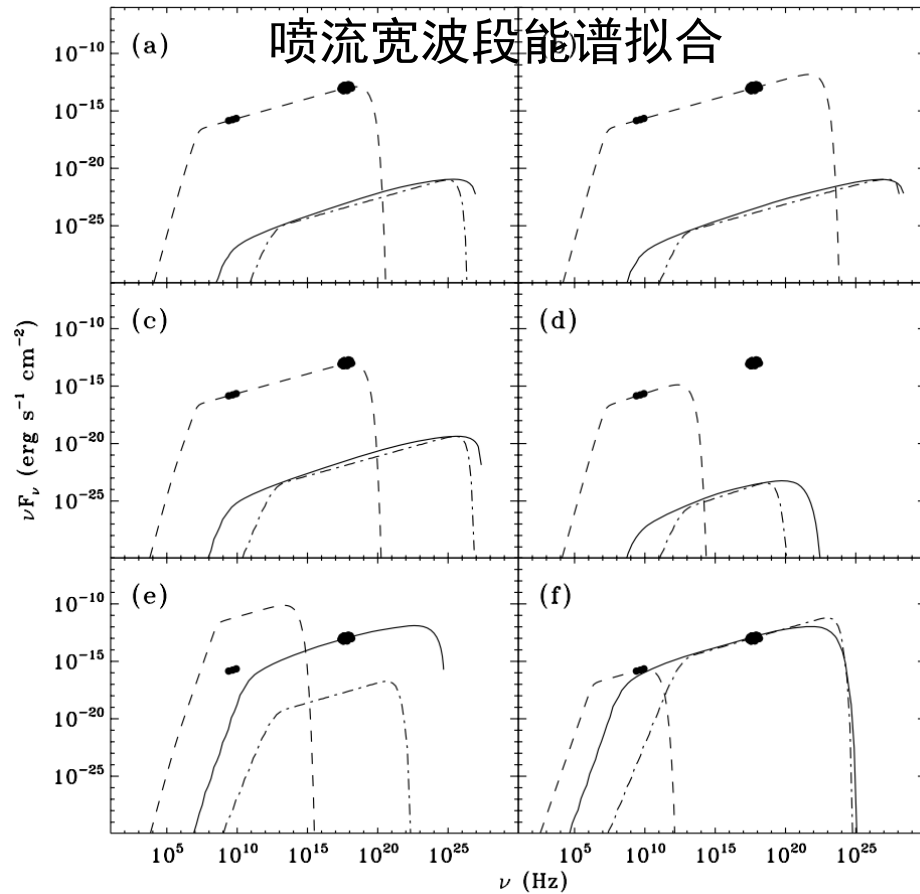


(Xue & Cui 2007, A&A)

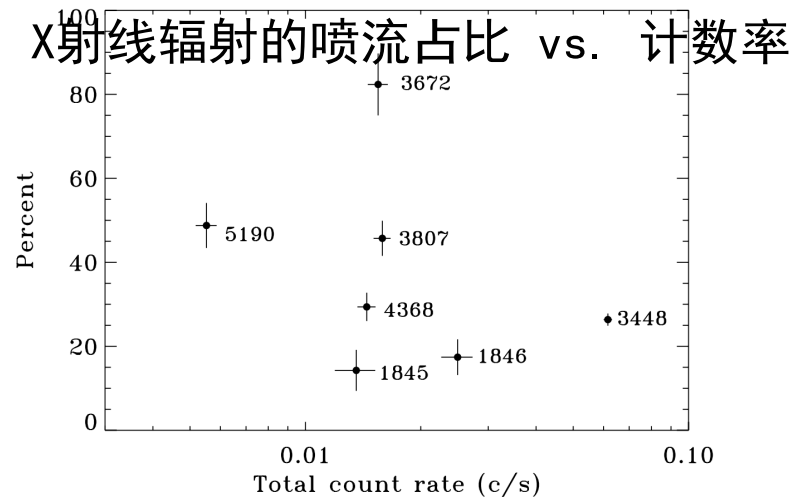
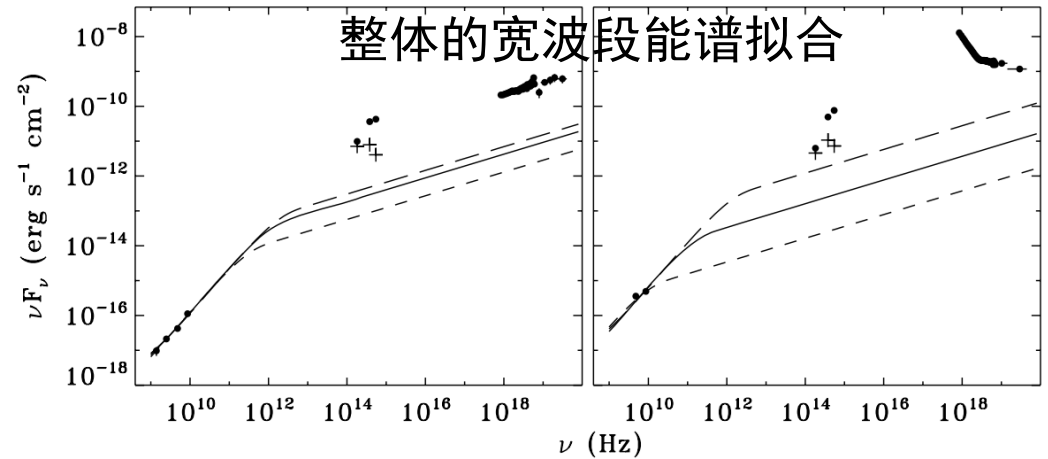
- 射电/X射线辐射的相关性具有多样性：没有、很弱、很强……
- 大多数时候有一定程度的射电/X射线辐射相关性，可能有频率依赖性
- 表明了吸积流与喷流耦合的复杂性

揭示两个微类星体的喷流辐射机制及X射线辐射起源

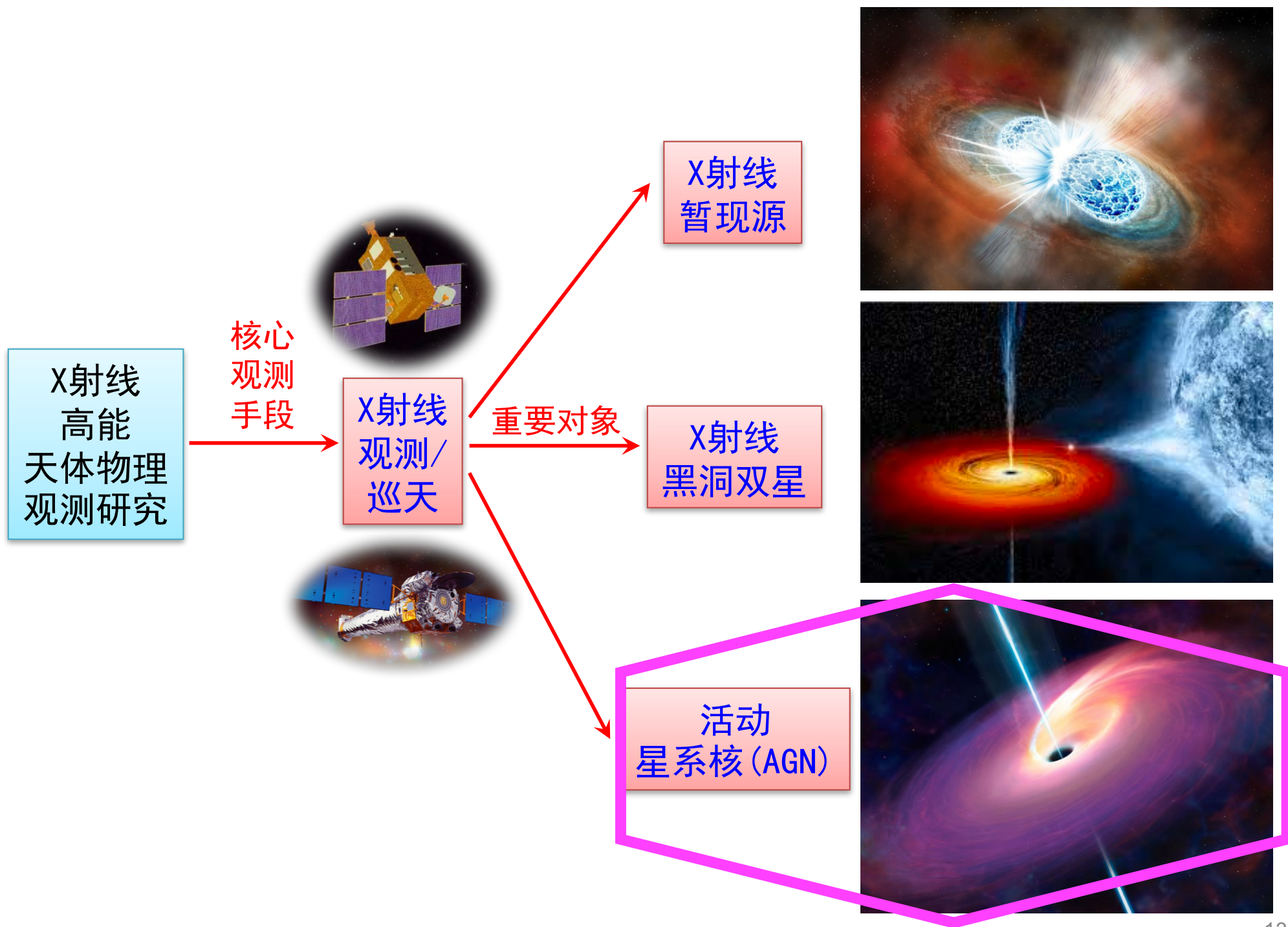
动机：微类星体喷流辐射的主导机制？整体X射线辐射的起源？



(Xue, Wu, Cui 2008, MNRAS)



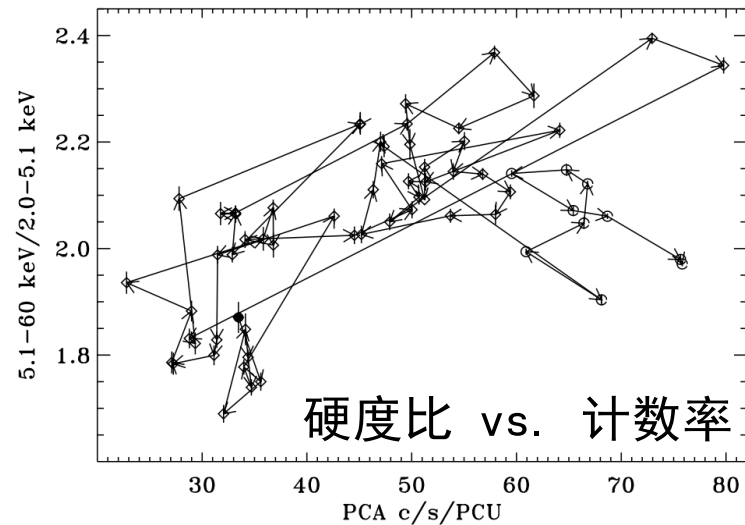
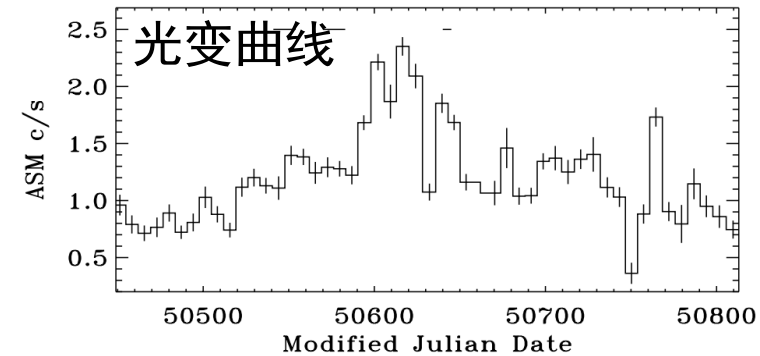
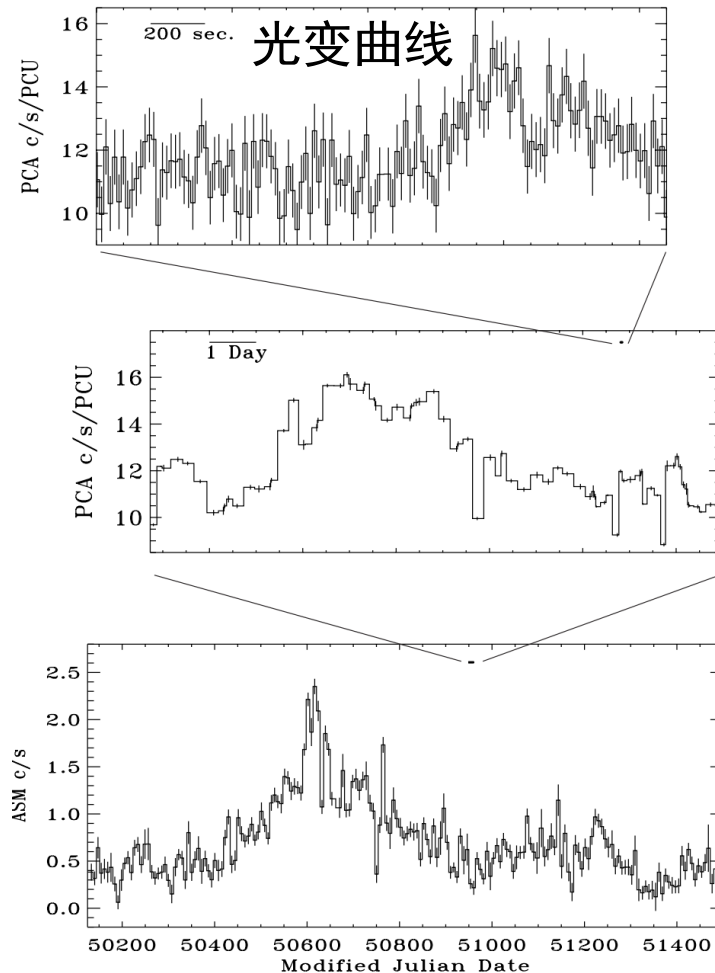
- 喷流辐射可以单纯用同步辐射（不需要逆康普顿散射）过程来解释
- 源较亮时，X射线辐射由吸积盘主导
- 源较暗时，喷流对X射线辐射的贡献变重要甚至主导



(images: NASA, internet)

系统研究TeV耀变体马卡良501的X射线光变

动机：TeV耀变体的X射线光变行为是怎样的？



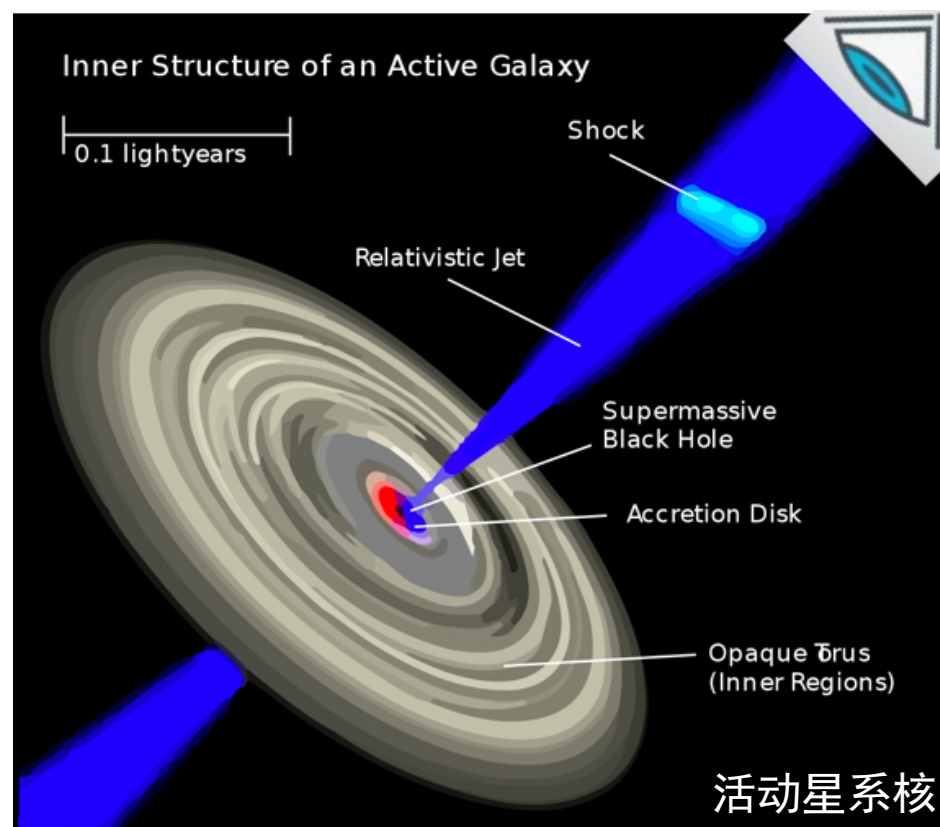
(Xue & Cui 2005, ApJ)

- 在年-月-分钟的很广的时标下均有耀发
- 明显的耀发层级性意味着产生耀发的物理过程不依赖于物理尺度的大小
- 存在明显的光谱迟滞现象，且光谱整体上变亮变硬

发现上升时标最短的活动星系核耀发

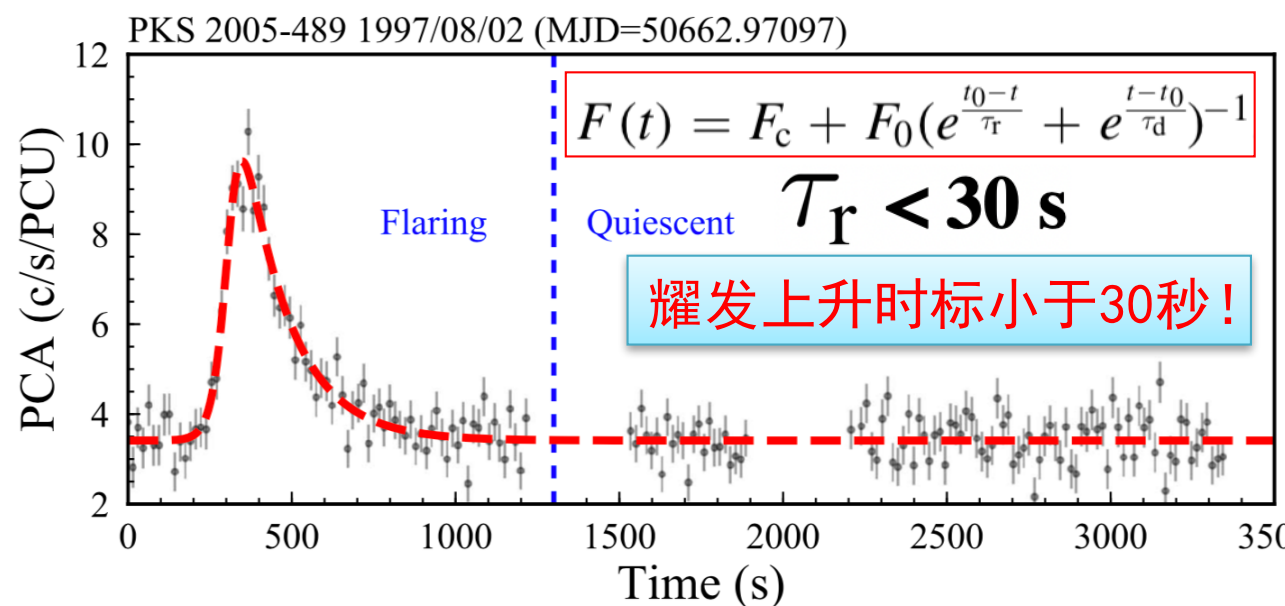
关键科学问题：

- 活动星系核（TeV耀变体）的X射线耀发能有多快？
- 快速耀发对于辐射区结构及光变模型能有多严限制？

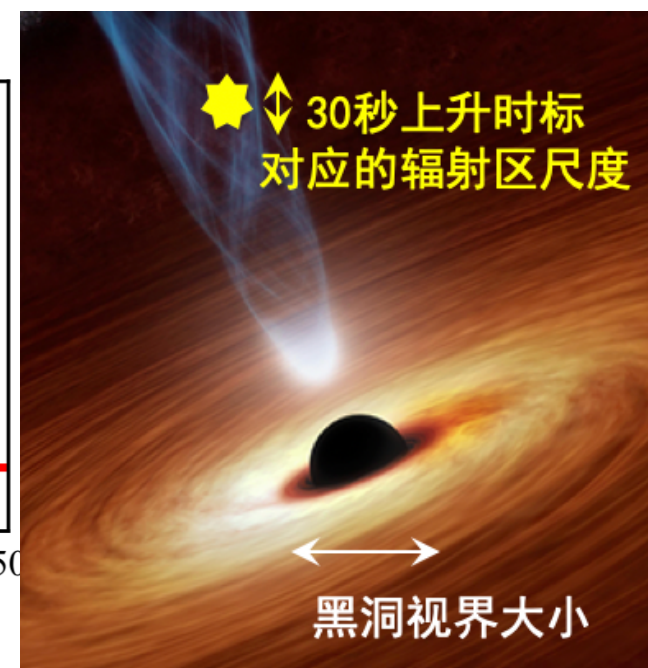


TeV耀变体

发现上升时标最短的活动星系核耀发



(Zhu, Xue et al. 2018, ApJ)

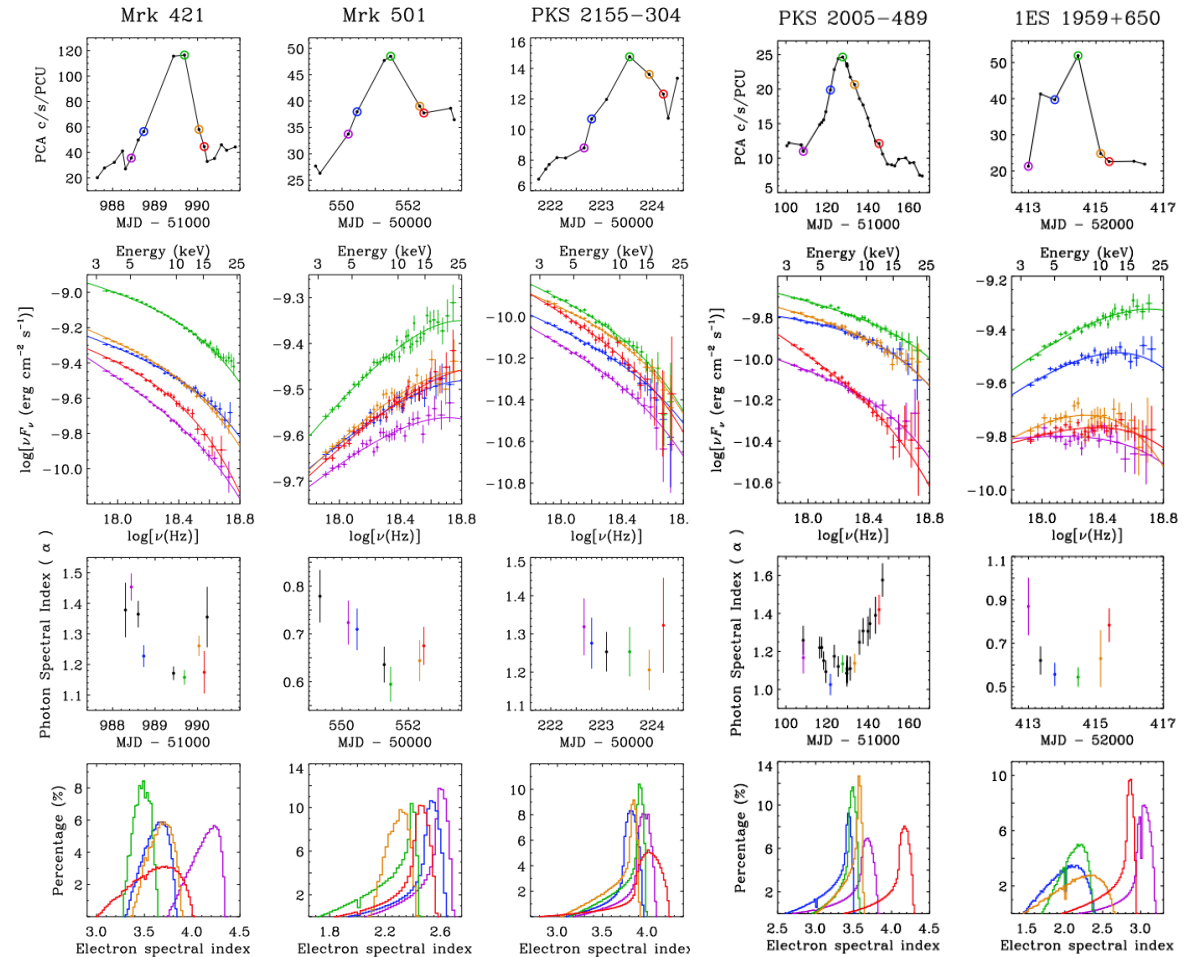
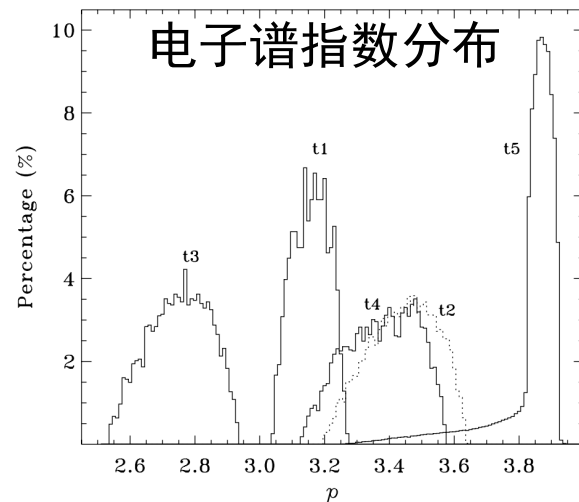
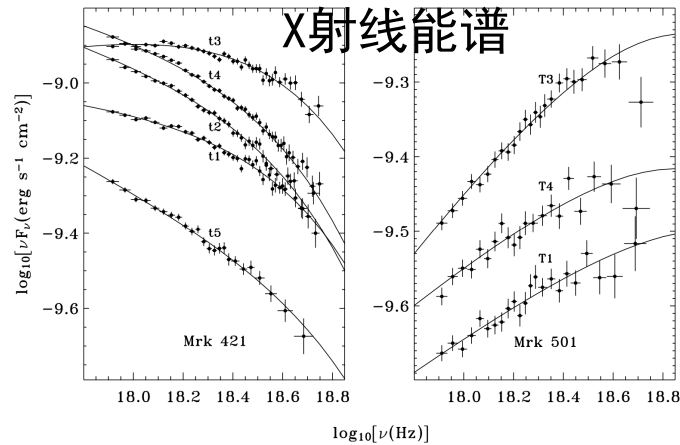


科学价值:

- 最严格观测证据: 黑洞尺寸不是耀发辐射区尺度的严格下限 (亚视界!)
- 对喷流结构、辐射及光变模型提供严格观测限制

系统研究TeV耀变体X射线光谱光变的物理原因

动机：导致TeV耀变体X射线光谱光变的主要原因是什么？



(Xue, Yuan & Cui 2006, ApJ; Wang, Xue et al. 2018, ApJ)

- 同步辐射模型：电子谱指数、电子能量密度、电子最大洛伦兹因子、磁场
- X射线光谱光变：通常至少三个参数要变化，且电子谱指数是其中之一

发现AGN长时标X射线光变的功率要比预想中的大

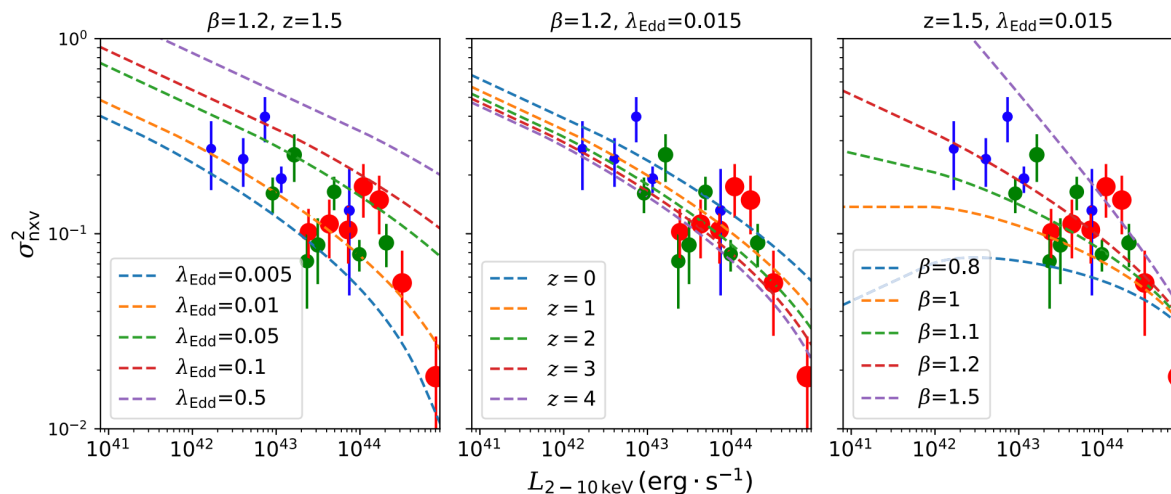
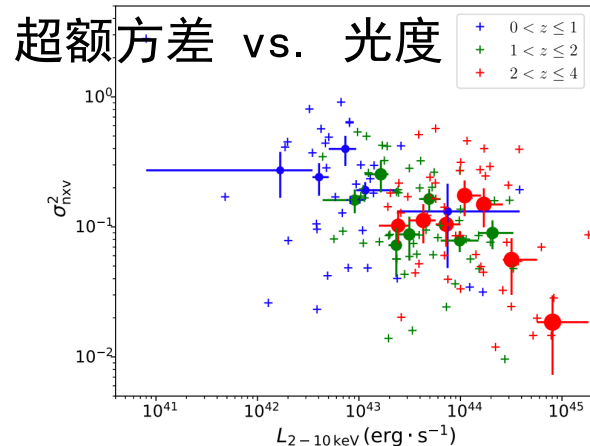
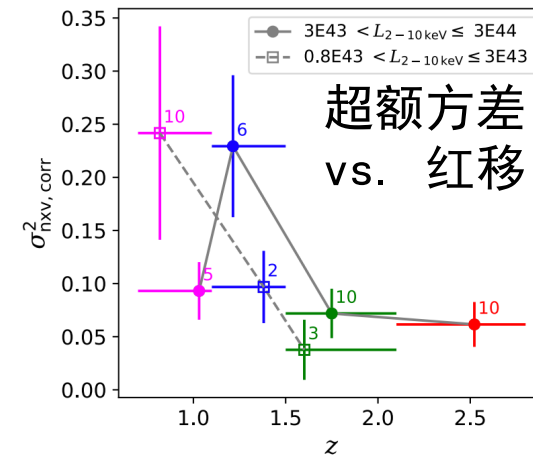
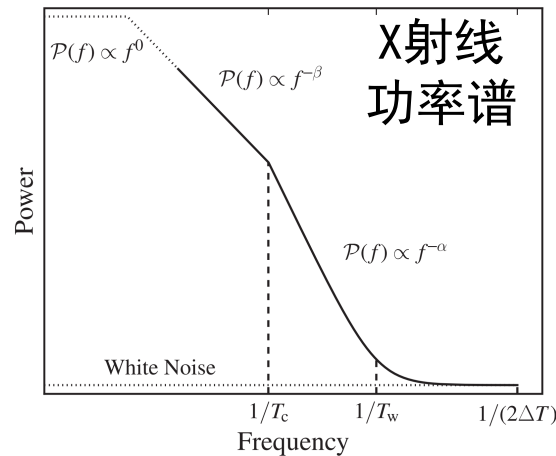
动机：AGN在长时标下的X射线光变行为是怎样的？

超额方差

$$\sigma_{\text{nxv}}^2 = \int_{\frac{1}{T_{\text{rest}}}}^{\frac{1}{2\Delta t_{\text{rest}}}} \text{PSD}(\nu) d\nu$$

$$\sigma_{\text{nxv}}^2 = (1+z)^{-\beta+1} \int_{\frac{1}{T_{\text{obs}}}}^{\frac{1}{2\Delta t_{\text{obs}}}} \text{PSD}(\nu) d\nu$$

(Zhu & Xue 2016, ApJ;
Zheng, Xue et al. 2017, ApJ)

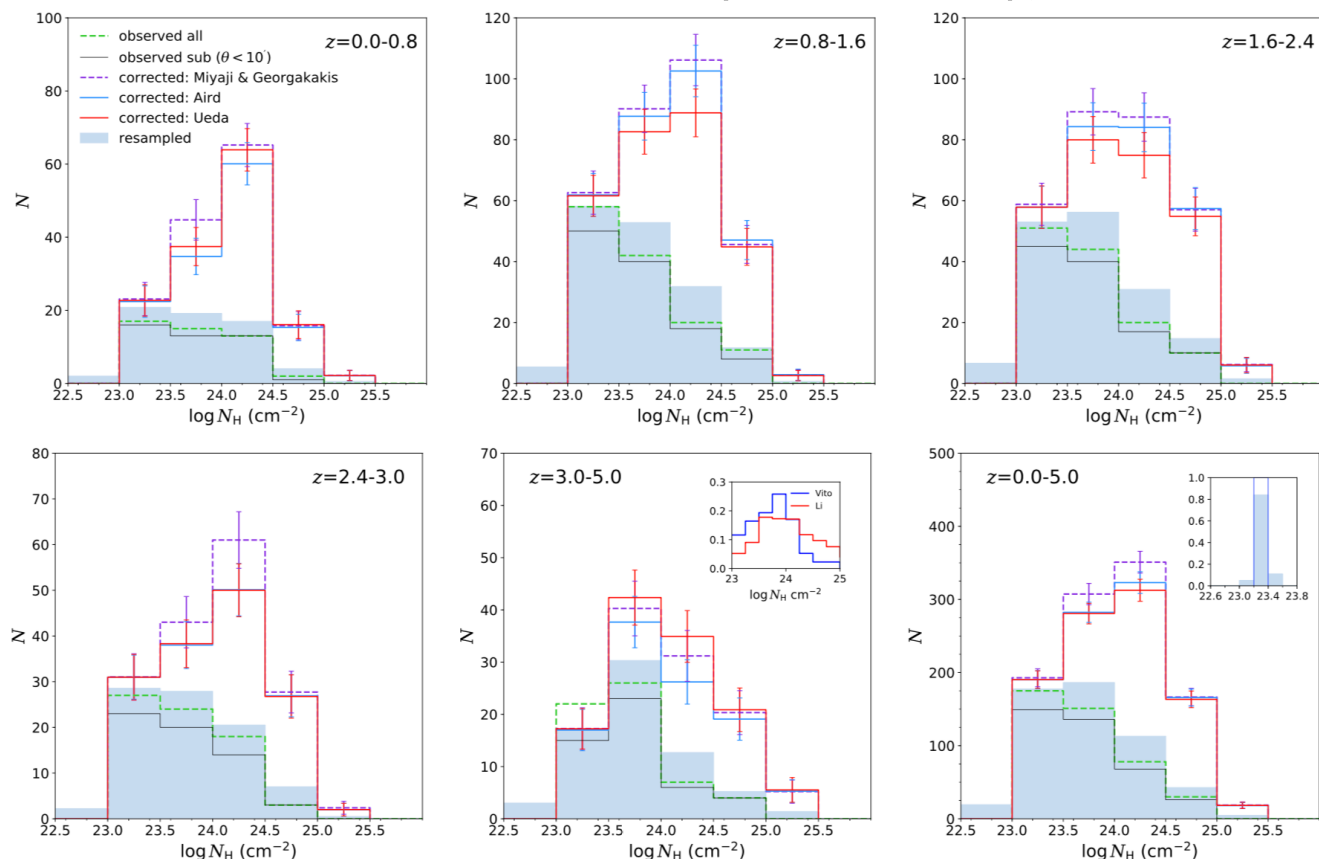


- AGN长时标X射线光变幅度整体上随着红移变大而减小
- AGN的X射线光变幅度整体上与X射线光度成反比
- $\beta \sim 1.2$ ：AGN长时标X射线光变的功率比预想中的大

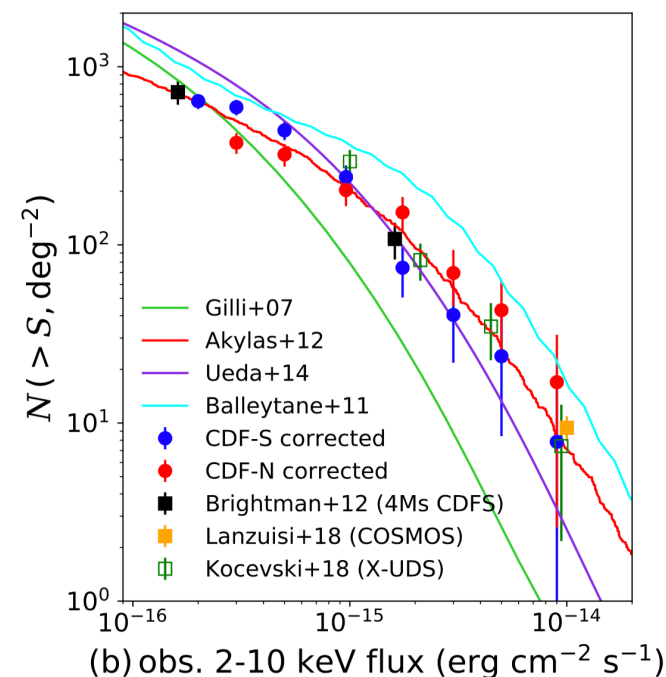
研究高度遮蔽AGN的物理属性及宇宙学演化

动机：高度遮蔽乃至康普顿厚AGN的物理性质及宇宙学演化是怎样的？

不同红移区间里的本征中性氢柱密度分布



$\log N - \log S$
(计数关系)

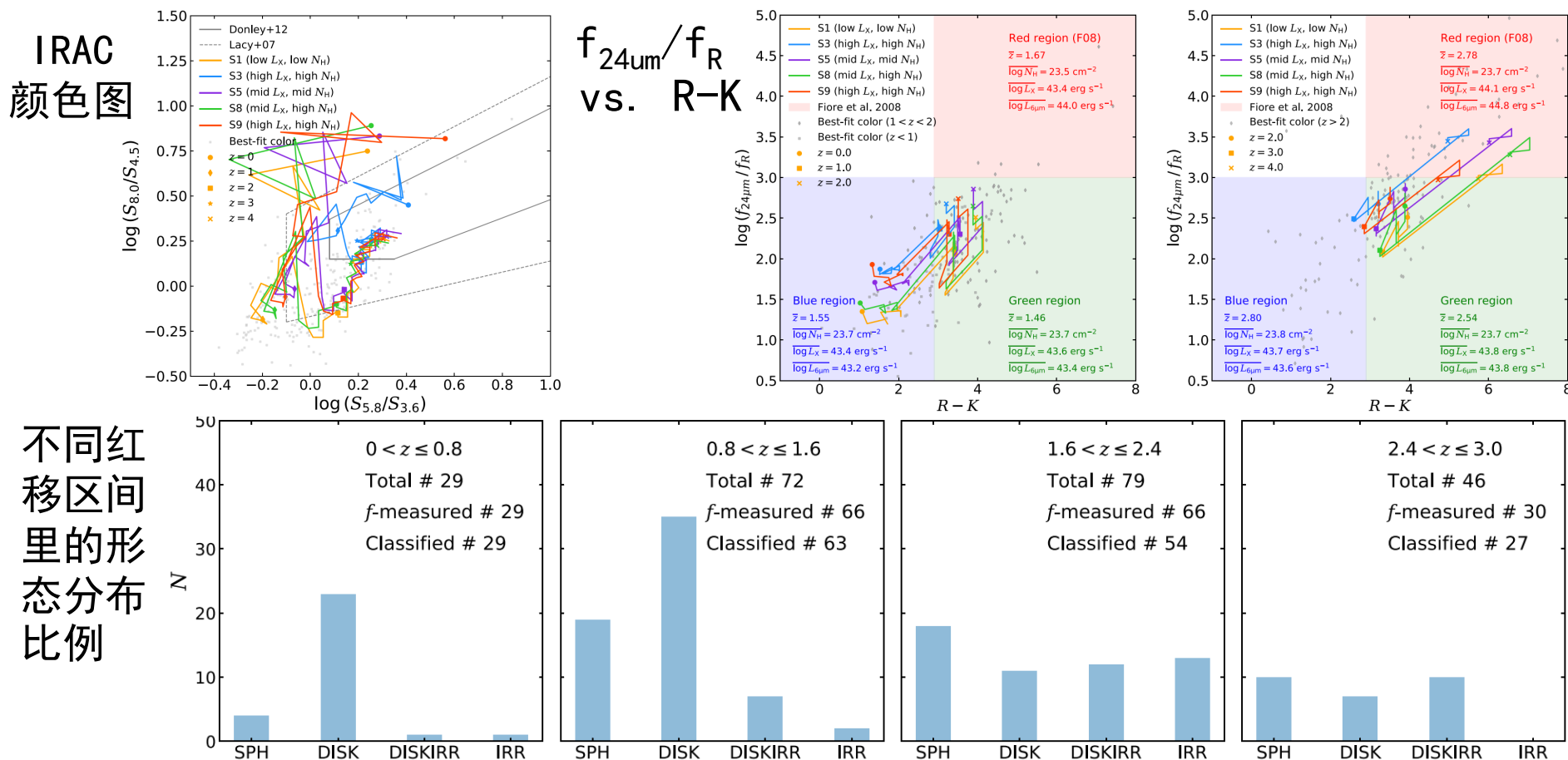


(Li, Xue et al. 2019, ApJ)

- 给出高度遮蔽AGN本征中性氢柱密度分布及其宇宙学演化
- 康普顿厚AGN在高度遮蔽AGN中的占比约50%且此比例不随红移演化
- 康普顿厚AGN的计数关系 ($\log N - \log S$) 支持预言中等计数的模型

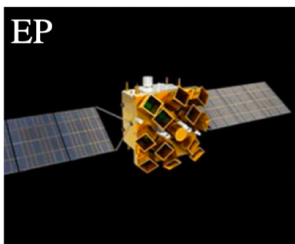
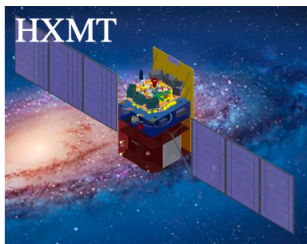
审视高度遮蔽AGN的核区遮蔽环境及其触发机制

动机：高度遮蔽AGN的核区遮蔽环境是怎样的？其主导触发机制是什么？



(Li, Xue et al. 2020, ApJ)

- IRAC颜色、 $f_{24\mu m}/f_R$ + $R-K$ 颜色判据不能有效选出X射线高度遮蔽AGN
- 大多数高度遮蔽AGN宿主星系的形态是规则的：盘或核球
- 核区遮蔽环境比想象中的复杂，主导触发机制是一些长期缓慢的过程



X射线
高能
天体物理
观测研究

核心
观测
手段

X射线
观测/
巡天

重要对象

X射线
暂现源

X射线
黑洞双星

活动
星系核 (AGN)



谢谢大家！未来可期！