

GX 301-2 中子星的辐射与内部结构

从回旋吸收线到磁倾角测量

报告人：丁远泽 (yding@caltech.edu)

导师：王伟 (wangwei2017@whu.edu.cn)

合作者：Osamu Nishimura、刘淇、葛明玉、卢方军、屈进禄、宋黎明、张澍、张双南

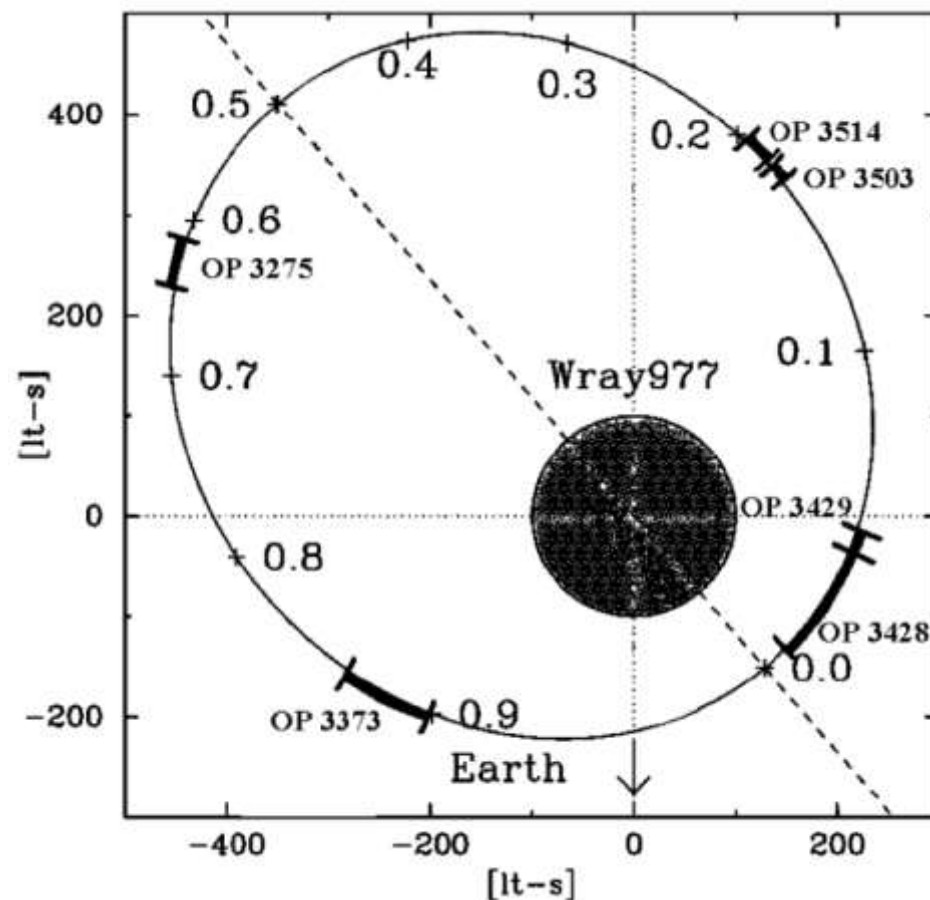
2022年6月16日 北京

Main Contents

- 1.研究背景：GX 301-2及CRSFs
- 2.慧眼卫星对GX 301-2回旋吸收线研究：平均谱与相位分解谱
- 3.GX 301-2能谱模型及模拟
- 4.GX 301-2中子星磁倾角的限制 – 正交转子
- 5.讨论和总结

大质量双星系统GX 301-2

- 轨道周期41.5 天，中子星自转周期~680s。
- 每个轨道周期，两次爆发（近星点，远星点）。
- 星风吸积为主，但可能存在瞬态盘吸积，可以有效传递角动量。

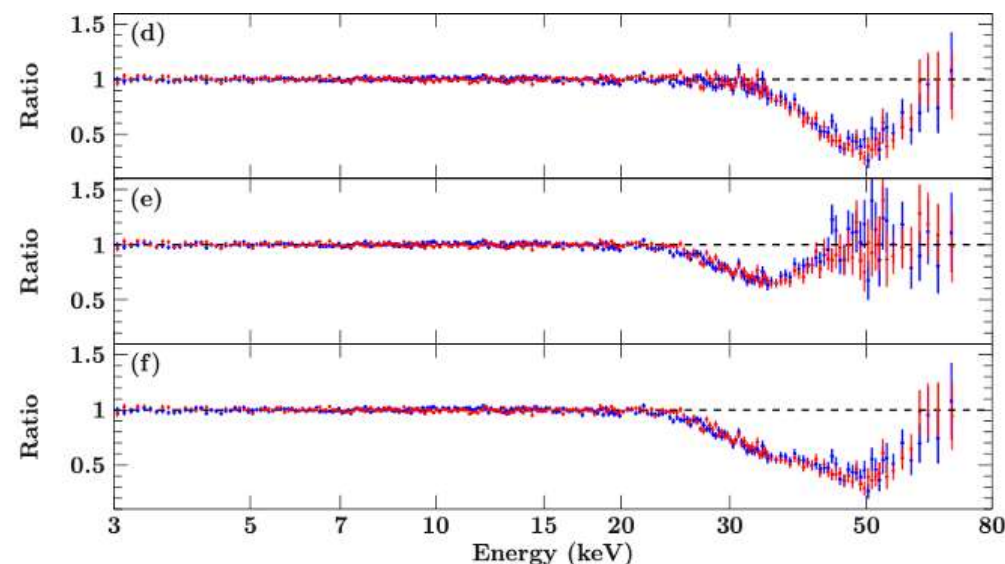


电子回旋吸收线(CRSFs)

- 强磁场中的电子，在不同朗道能级间迁徙。

- $$E_{\text{cyc}} = \frac{n}{1+z} 11.6[\text{keV}] B_{12}$$

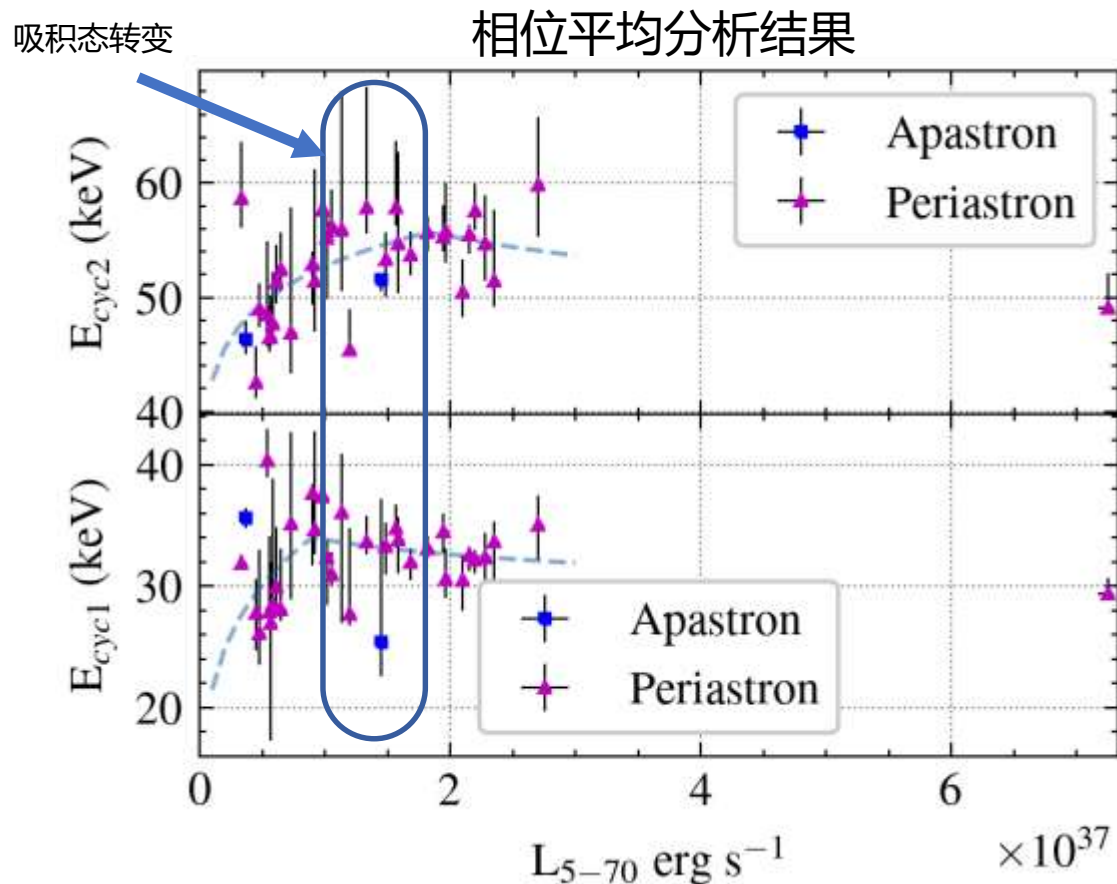
- 磁极附近物质结构信息
- 辐射区几何信息



Fürst et al. (2018)

GX301-2吸收线结构—观测

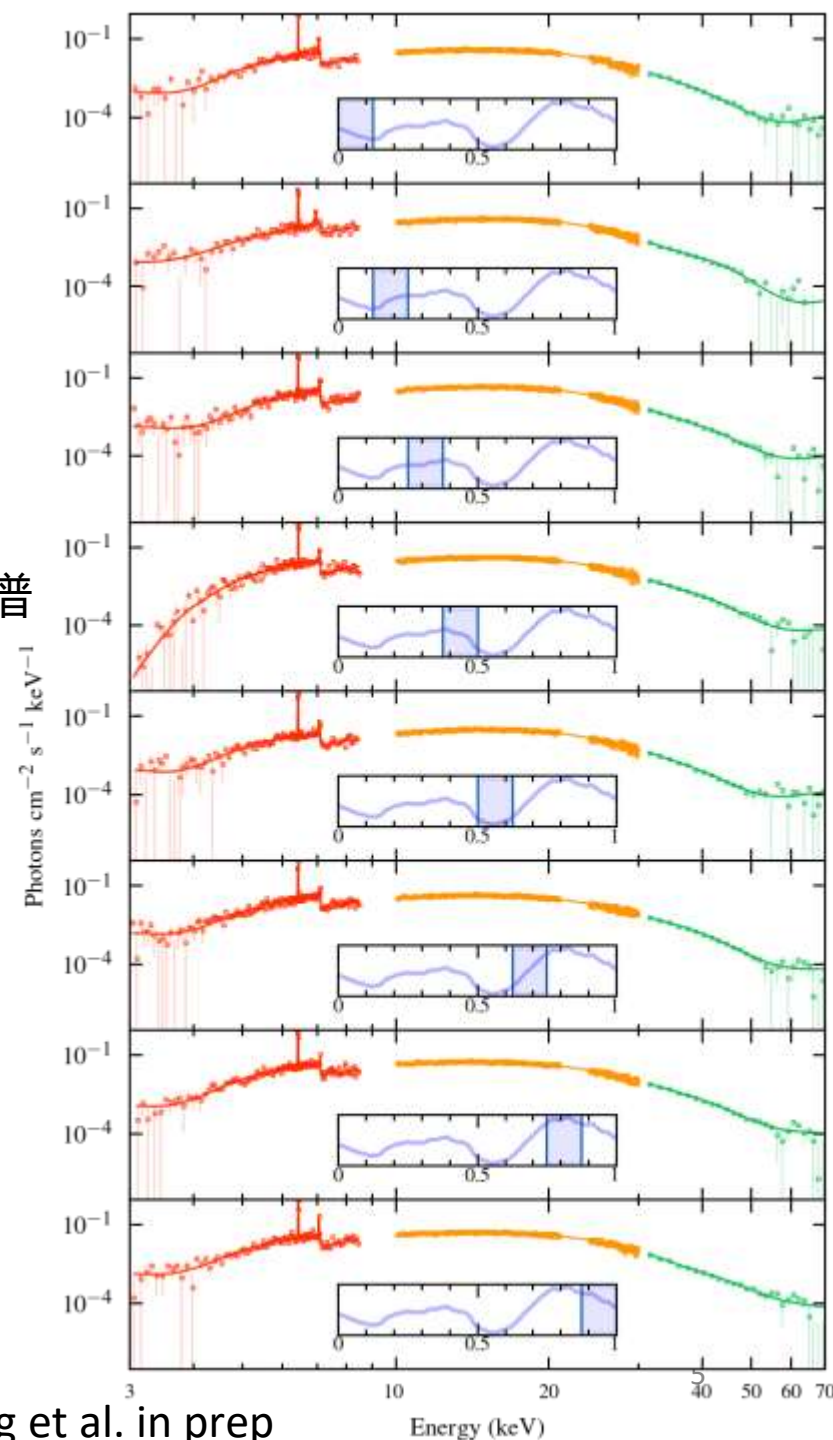
- 在平均谱中已确认临界光度的出现，但在分解谱中，回旋线没有光度关联



Ding et al. (2021)

相位分解谱

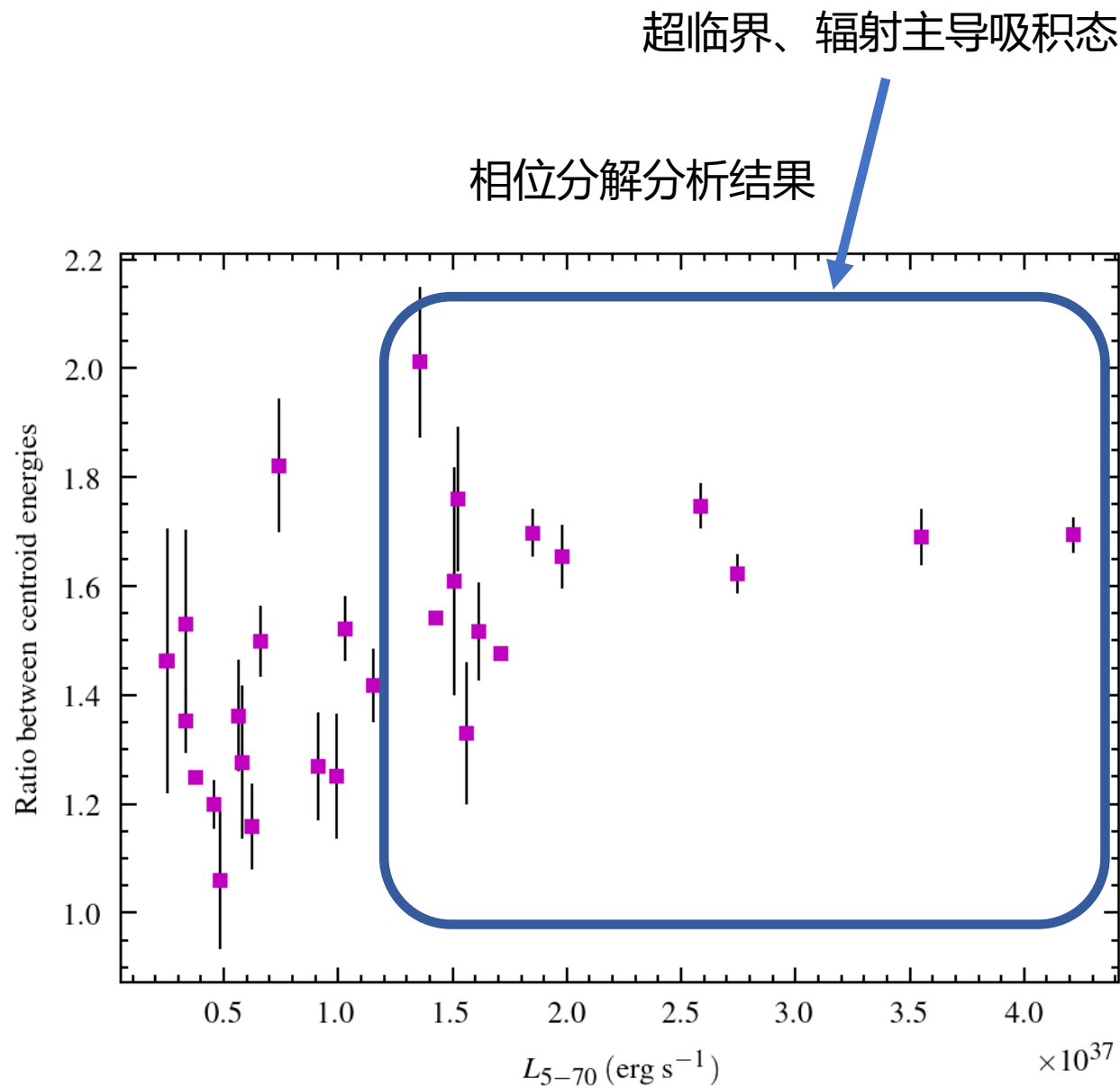
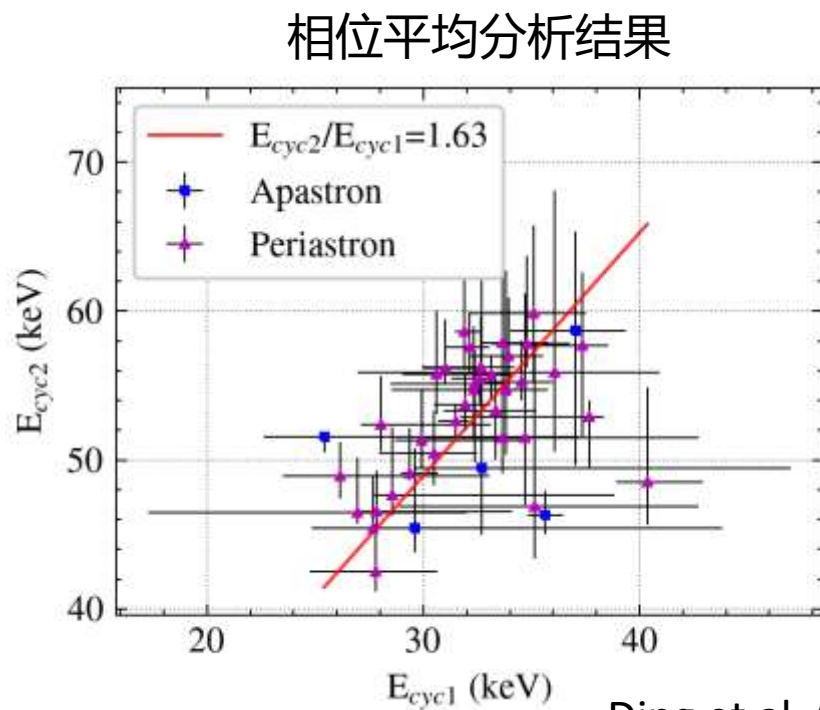
29 good exposures



Ding et al. in prep

吸收线的结构—观测

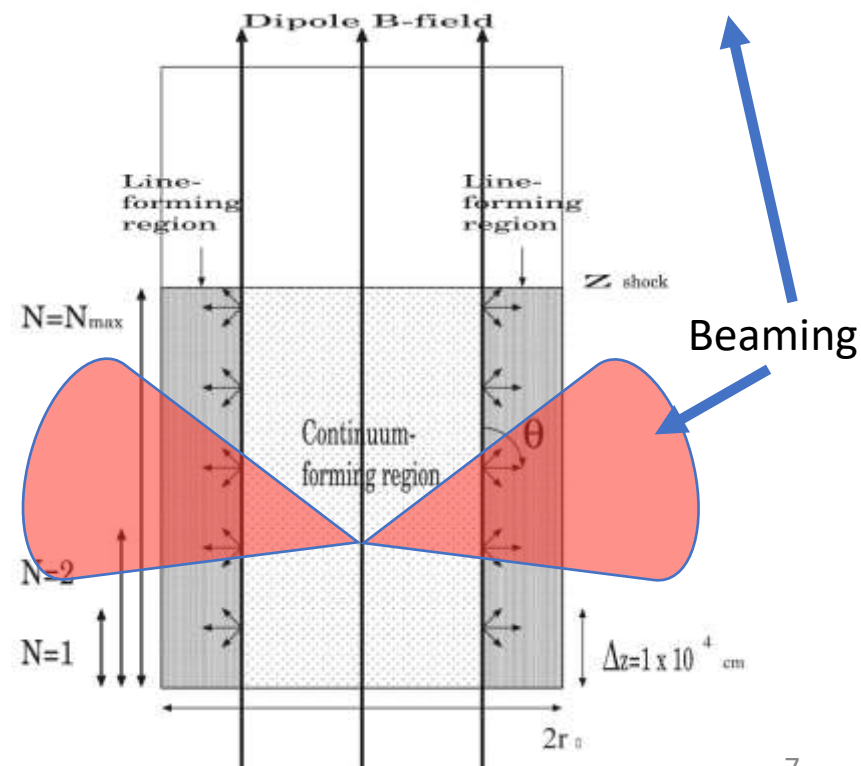
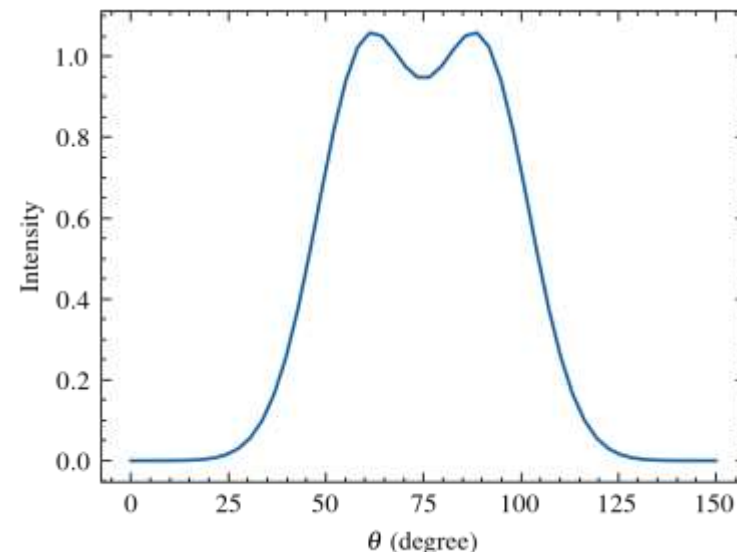
- 光度较大时，比值介于1.6-1.7（与平均谱结果相同）
- 只有特定的线形可以被观测到？



吸收线的结构—数值模拟

Simulation Setup:

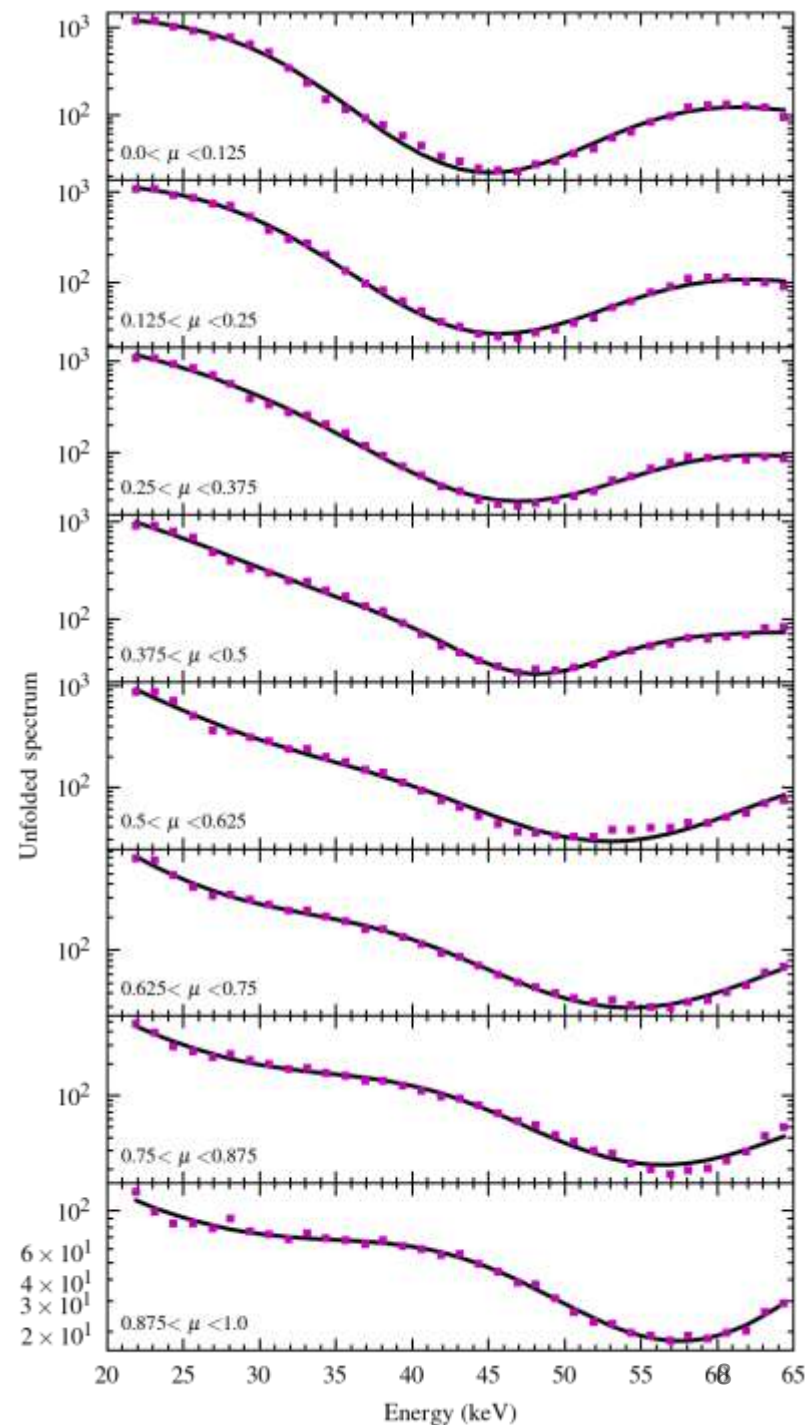
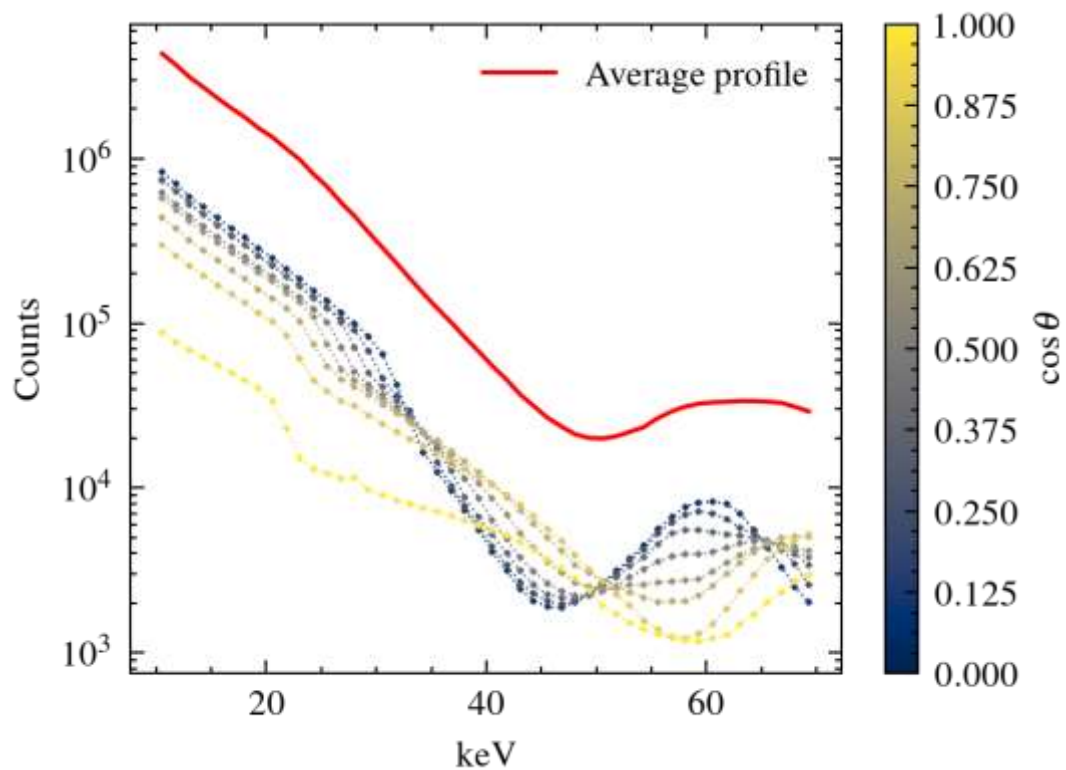
- 考虑一个超临界、辐射压主导的吸积柱 ($L \simeq 10^{37} \text{ ergs}^{-1}$)
- NPEX从圆柱中线上注入，假设fan-like beaming pattern
- 假设中子星表面的吸收线对应70 keV (考虑红移，即 $\sim 8 \times 10^{12} \text{ G}$)
- 使用Becker & Wolff (2007)的吸积柱解
- Monte Carlo求解辐射转移方程(radiation transfer)



Nishimura (2015)

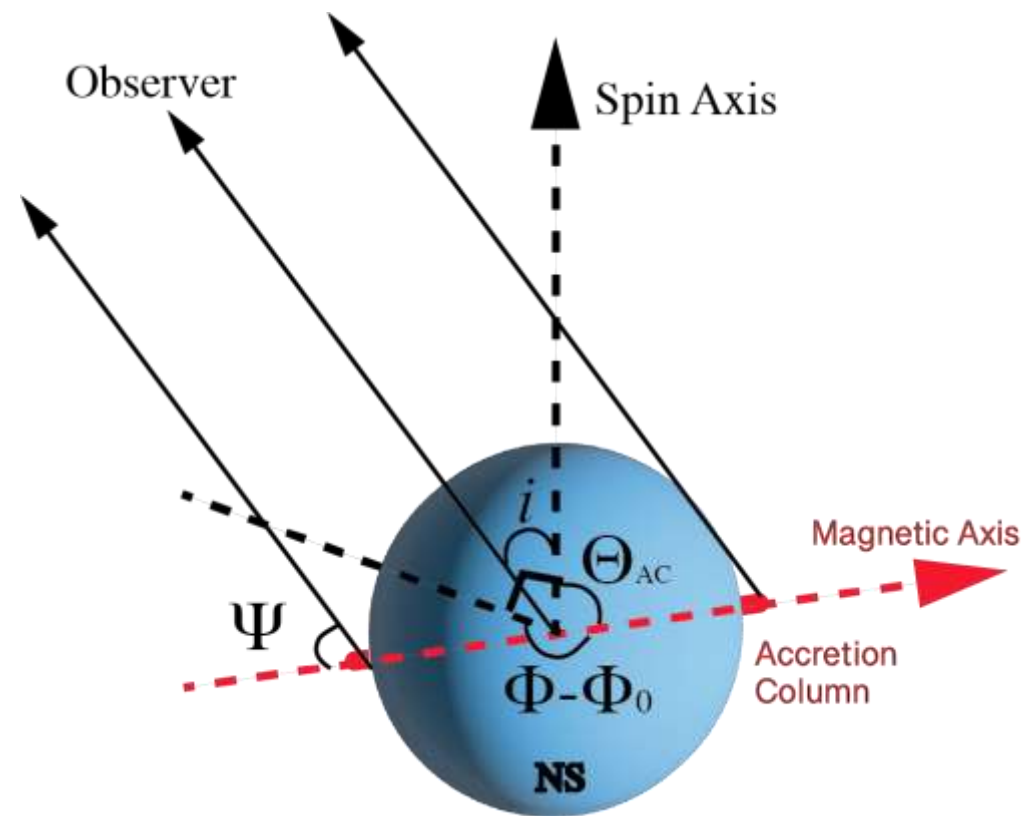
吸收线的结构—数值模拟

- 产线区doppler boosting会造成不同出射角度的谱线，吸收线位置发生变化



吸收线的结构—观测与模拟的对比

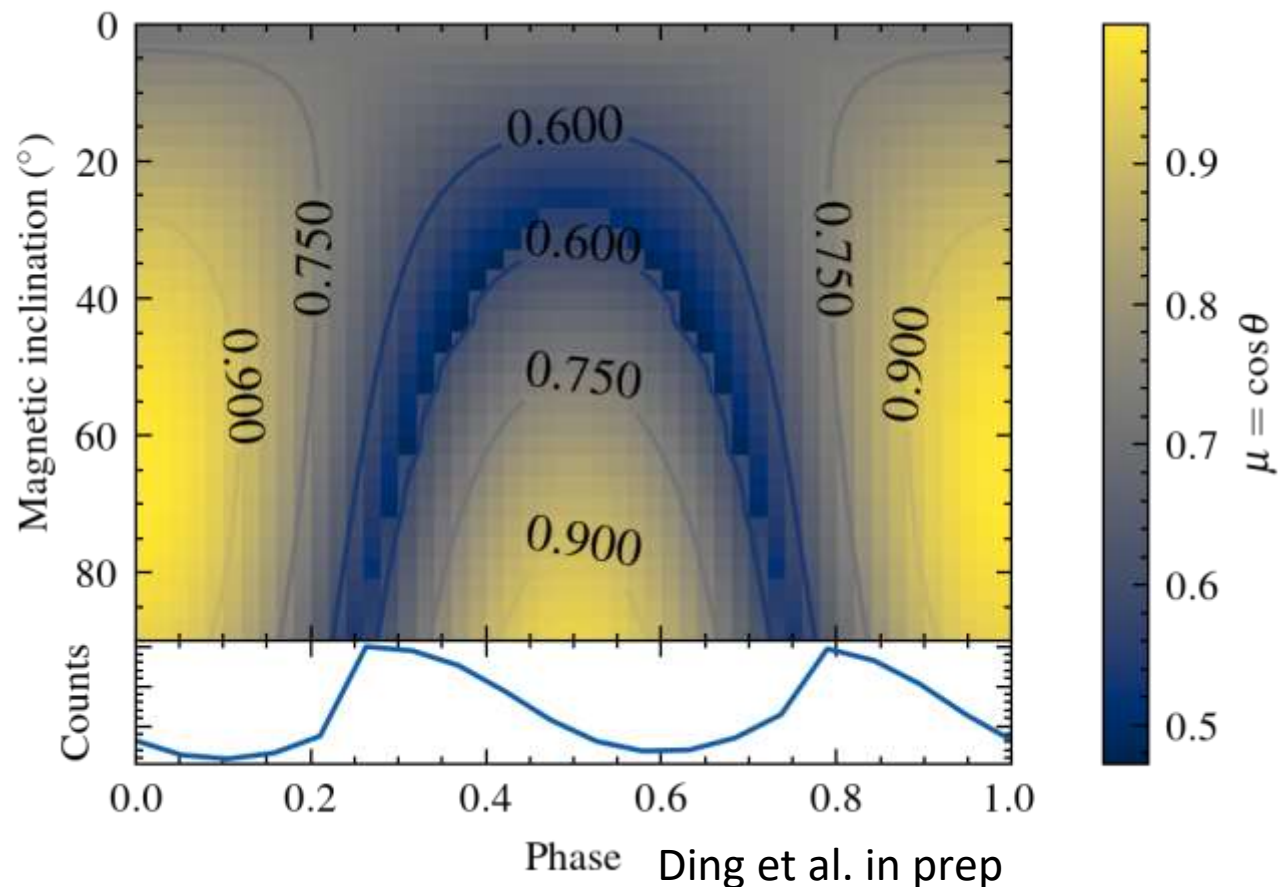
- 相对论效应和辐射区域几何会导致只有部分角度出射的辐射可见
- 理论研究表明，NS长期演化会导致磁倾角 Θ_{AC} 出现双峰分布，准直($\Theta_{AC}=0^\circ$)和正交($\Theta_{AC}=90^\circ$)。
- 射电脉冲星偏振观测给出 Θ_{AC} ；
- 吸积中子星中目前没有任何磁倾角观测信息，而且 Θ_{AC} 演化和射电脉冲星有区别。



Ding et al. in prep

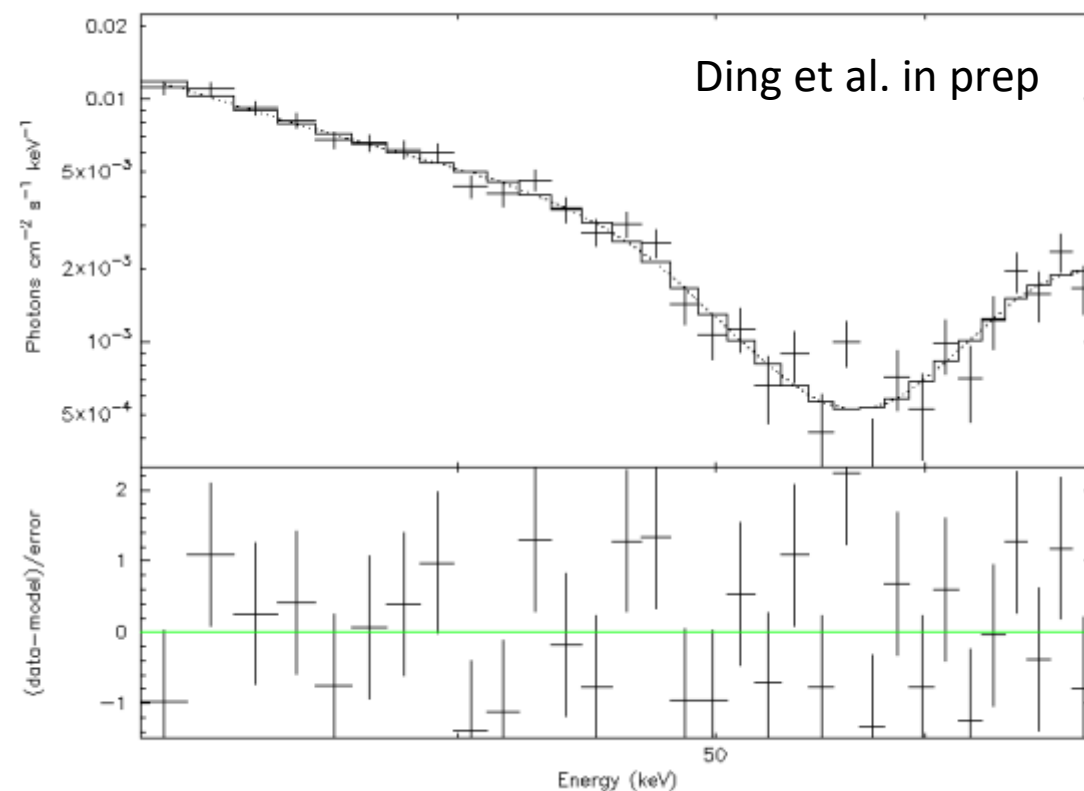
吸收线的结构—观测与模拟的对比

- 存在自旋-轨道准直机制
- 对于不同的磁倾角，可以算出中子星在不同转动相位时，无穷远观者看到的光子出射角度。
- 可见准直和正交转子得到的谱应当有很大区别



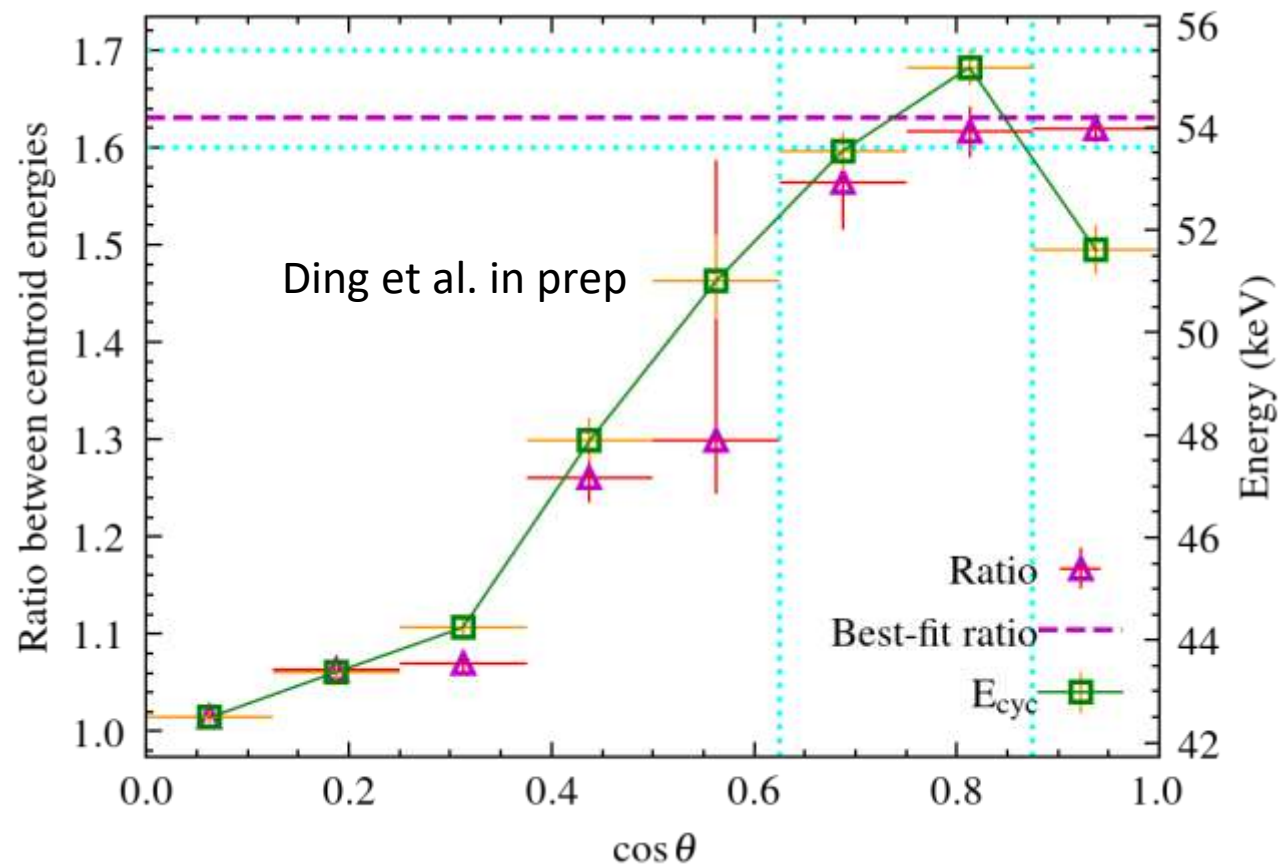
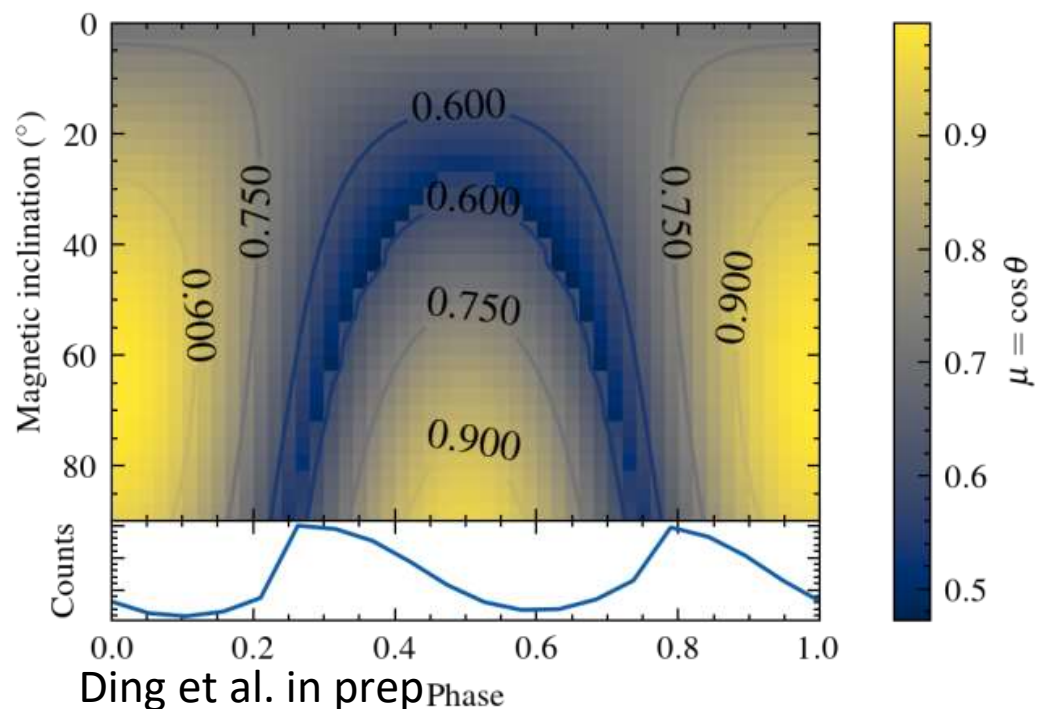
吸收线的结构—观测与模拟的对比

- 引入HXMT的响应矩阵和背景，
可以模拟特定秒数观测得到的能谱
- 进行拟合，得到线心能量比值



限制中子星的磁倾角

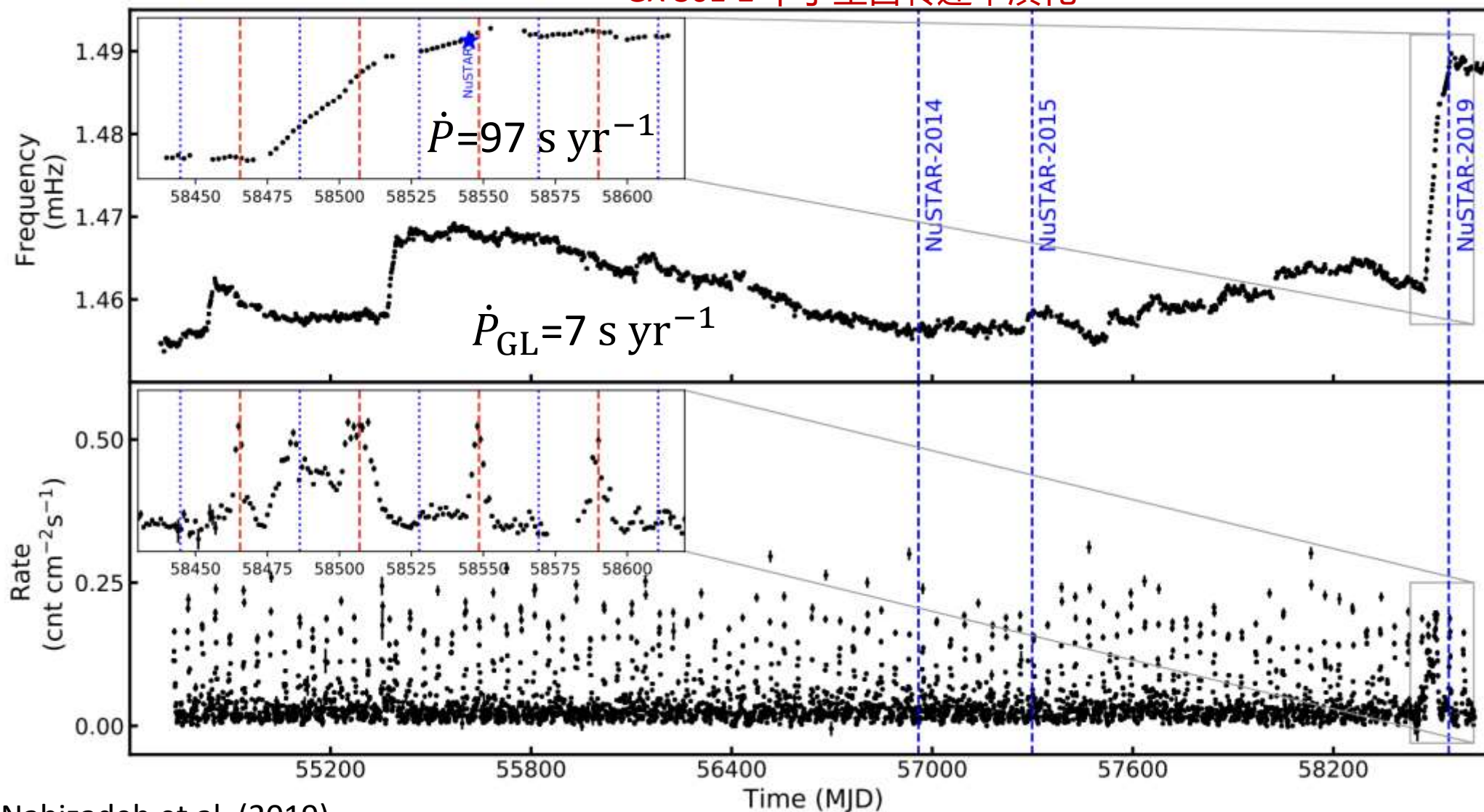
- 光子相对磁场出射角较小时($\cos\theta > 0.75$), 回旋线能量比值接近平均谱中测得的最佳拟合值, 说明观测光子的出射角都很小, 倾向于正交解



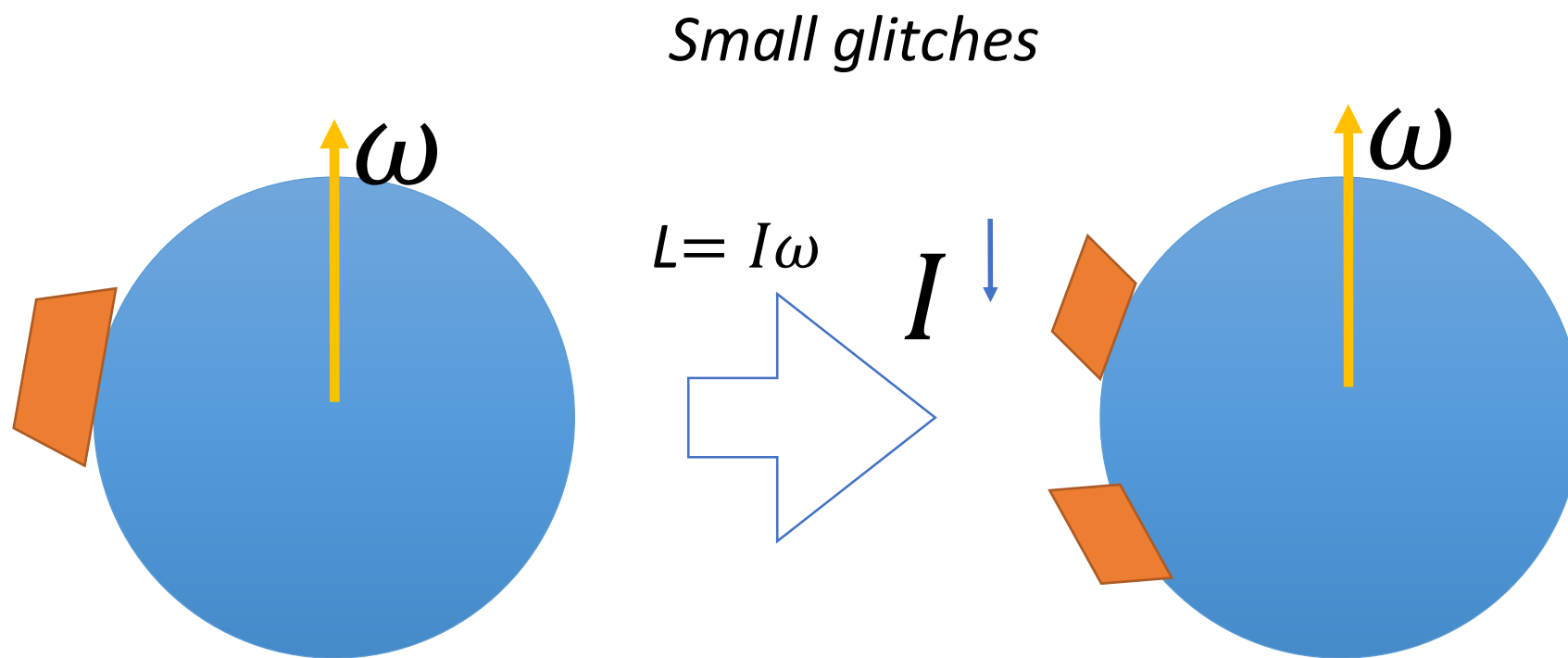
脉冲轮廓的双峰特征也支持磁轴-转轴正交

磁倾角与自转演化

GX 301-2 中子星自转速率演化



磁倾角与自转演化



Idea from Melatos & Phinney (2001)

结论与展望

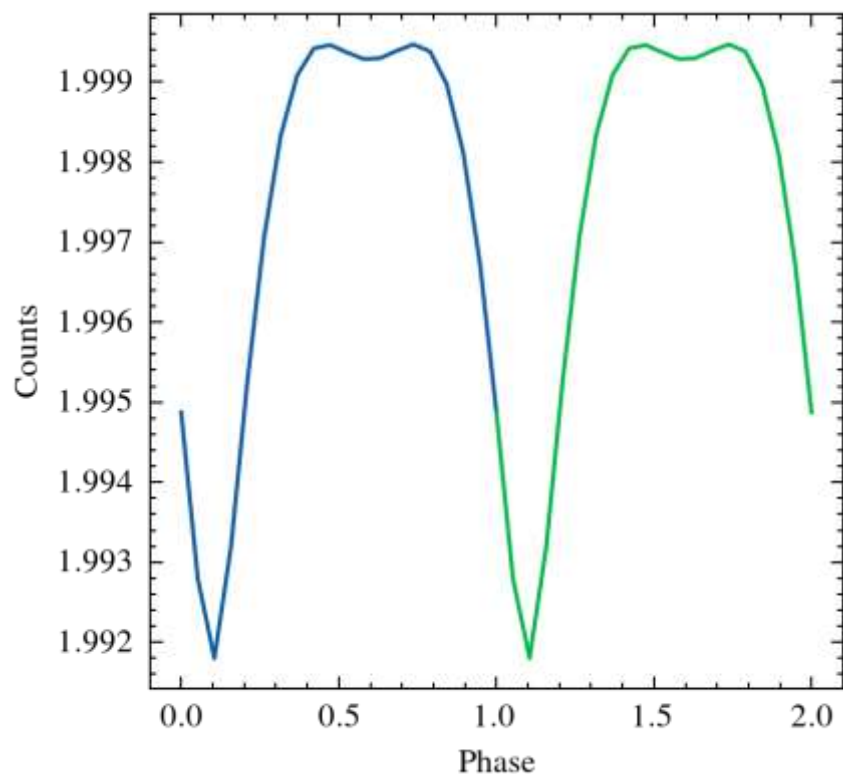
- 通过对中子星脉冲分解谱的分析，我们得到了中子星回旋吸收线随自转相位的变化特征。
- 通过蒙特卡洛法求解吸积柱模型中的辐射转移过程，可以预测出射能谱的谱型
- 由出射能谱的谱型可以推得光子出射角，进而得到中子星的磁倾角
- x射线能谱可以提供一个新的独立的测量中子星磁倾角的方法，特别是吸积系统中是首次测量（此前仅射电脉冲星可以通过偏振轮廓测量）
- 可以验证x射线中子星的演化规律，有希望提供质量-半径关系以外的，研究中子星内部结构的方法
- 提供了新的估计中子星不对称性的方法，对未来引力波观测有指导意义

谢谢大家！

吸收线的结构—模拟与观测对比

如果我们假设beaming pattern是扇形或者类似扇形，准直解的吸积柱不会受到星体掩盖，产生的脉冲轮廓是单峰。

准直解



正交解

