

中國科學院為能物招補完備 Institute of High Energy Physics Chinese Academy of Sciences

慧眼发现SwiftJ0243.6+6124中最高能回旋线 🎴

博学笃志 格物明德

报告人: 孔令达

2022年6月16日

▲主要内容:



●Swift J0243.6+6124的磁场测量

●探测高能回旋线

●后续工作







超亮源X射线源(ULX)

- 球对称若磁场吸积极限: L_{Edd}~ 10^38 erg/s
 中等质量黑洞?
- 极亮脉冲星: *L_X* : 10³⁹-10⁴² erg/s

强磁场 (10^13-15 G) : Rm > Rsph

<u>弱磁场(10^11 G): Rsph > Rm</u>

M82 X-2, NGC 7793 P1, NGC 5907 ULX1, NGC 300 ULX1 ...

判断哪种模型产生ULX,磁场精确测量十分重要!

- 通过力矩模型(spin-up) 拟合自转频率变化,和螺旋桨效应等: 10^11-10^15 G
- CRSF的测量也无法确切给出强磁场证据:

M51 ULX-8 : 4.5 keV CRSF (~3.8 σ , proton CRSF: 10^15 G; electron CRSF: 10^11 G)

NGC 1313 X-1 : 8.77 keV CRSF (~ 3σ , CRSF? Blueshifted ionized iron/ultrafast outflow?)

NGC 300 ULX-1 : 13 keV CRSF (CRSF 10¹² G/hard tail)

• ULX既有强磁场的证据也有弱磁场的证据

偶极+多级磁场模型! (spin-up与螺旋桨效应反映了远离中子 星的偶极磁场性质,连续谱和回旋线反应中子星极冠区多级磁场性质!) SMC X-3 (Tsygankov et al. 2017), GRO J1744-28 (Doroshenko et al. 2020a), ULX M82 X-2 (Brice et al. 2021), M51 ULX-8 (Middleton et al. 2019)...



非热谱成分演化



源的能谱主要反应了极冠区的辐射







完整地给出了宽光度范围下的 非热谱演化。 并估计了Swift 0243的磁场。 $L_{crit} = 1.5 \times 10^{37} B_{12}^{16/15}$,

若令L2=Lcrit 可估计源磁场 B~2.5*10^13 G

热成分与铁线成分的演化

光学厚的包层



铁线成分演化

宽铁线来自于吸积盘内边缘的相对论展宽, 需要低磁场:10^11 G

(Jaisawal et al. 2019)





Spin-up与力矩模型



8









NuSTAR/XRT显示极低光度下(3*10^34 erg/s)依然有吸积发生! 低频截断:吸积盘距离中子星很远。

B~1.3*10^12 G (k=0.5);

吸积盘几何与功率谱性质

 L_X , erg s⁻¹



1. 薄盘变成辐射压盘!

2. L~1.5*10^38 erg/s 为特征光度

3. 没有螺旋桨效应!

辐射压盘(L2),特征光度发生 在(L1),B~(3-9)*10^12G (k~0.1-0.2)

比连续谱估计低(L2更 符合临界光度)

低温黑体成分与光学厚外流





Tao et al., 2019



不随脉冲有调制 的低温,大面积 黑体成分可能对 应着一个外流成 分!

低磁场

Swift J0243.6+6124具有复杂磁场?

•强磁场(B~10^13G):

<mark>能谱演化</mark>; 宽铁线(光学厚包层); 力矩模型(模型依 赖)

•低磁场(B~10^12G):

辐射压盘;~3*10^34 erg/s 不发生螺旋桨效应;外流;宽 铁线(吸积盘内边缘);力矩模型(模型依赖)

高磁场都是由极冠区的吸积得到的; 低磁场都是由磁球与吸积盘的作用得到。

磁场几何:偶极(衰减慢)+多级磁场(衰减快)

极高磁场需要回旋线给出确凿证据:Ecyc > 100 keV 只有慧眼高能大面积的探测能力,才可以测量>100 keV的回旋吸收线!

慧眼对高能回旋线的最强的探测能力

高能的大面积优势:~5100 cm^2 慧眼对100 keV回旋线的探测能力:







峰值处相位平均能谱



爆发峰值处的相位平均谱没有看到明显的回旋吸收线结构



背景在200keV以上开始主导





复杂磁场模型: 偶极场(蓝):~(0.6-1.3)*10^12G(k=0.5);(3-9)*10^12(k=0.1-0.2) 多极磁场+偶极磁场 多极场(红):~1.6*10^13G





吸积率低:偶极场与盘相互作用

吸积率高:多极场与吸积盘作用



- 多极场下的吸积柱几何?
- 多高光度多极磁场吸积开始主导?
- CRSF vs Lx

$Lx > 4.4*10^{38} \text{ erg/s}$





使





吸积柱在低光度处于更高的 区域,并且保持稳定(CRSF 能量基本稳定)。



109(4) keV的CRSF线(4.5 sigma)。

正在进行Ecyc-Lx关系研究



L~3*10^34 erg/s:单峰(偶极场吸积,铅笔模型) 低光度(L<L1):双峰(偶极场吸积,风扇模型) L1<L<L2:单峰(多极场下吸积,铅笔模型) L>L2:双峰(多极场下吸积,风扇)





3*10^34<Lcrit<10^37 erg/s→ B<1.5*10^12 G 寻找CRSF ~ 10 keV ? Ecyc-Lx: 正/反相关 ?

总结

- 继2020年在GRO J1008-57中认证最高90 keV的基频回旋线后,我们第一次在 NSULX源中以极高的显著性(>5 \sigma) 20146 keV的基频回旋线,这将再一次打破世界纪录!(2020年 GRO J1008-57慧眼给出90 keV测量!)
- 通过电子回旋线的测量首次给出了PULX中的磁场测量(1.6×10¹³ G)! 第一次从观测上证明了PULX的多极磁场+偶极磁场结构模型!