



南京大學

本科畢業論文

院 系 天文與空間科學

專 業 天文學

題 目 對 CDF-S X 射線巡天中發現的高紅移
黑洞潮汐撕裂事件候選體的調查

年 級 13 學 號 131210024

學生姓名 王無忌

指導老師 羅斌 職 稱 教授

提交日期 2017 年 6 月

南京大学本科生毕业论文（设计）中文摘要

毕业论文题目：对 CDF-S X 射线巡天中发现的高红移黑洞潮汐撕裂事件候选体的调查

天文与空间科学 院系 天文学 专业 13 级本科生姓名：王无忌

指导教师（姓名、职称）：罗斌教授

摘要：

处于不活跃星系中心的超大质量黑洞在潮汐撕裂并吸积接近其的恒星时，在 X 射线或极紫外波段会产生流量突增并在一段时间内衰减的现象。我们基于 Chandra 的数据对在 CDF-S 天区发现的黑洞潮汐撕裂事件的候选体——XID 403 做了相应探究。因为相比之前的观测，XID 403 在 2014 年的巡天中有流量的升高而被发现，其红移为 1.51。在之后的 17 次观测中，XID 403 的光子计数率下降了 50%。首先，我们利用从 2014 年探测到 XID 403 开始到 2016 年 7 Ms 观测结束为止的数据绘制了光变曲线，并对其流量的衰减进行了 $t^{-5/3}$ 幂律形式的拟合。接着对 XID 403 的 X 射线谱进行了幂律谱和盘吸收模型拟合。在光学波段，我们研究了该源长时标（约 4 年）的光变曲线，发现其在光学波段没有爆发现象。我们还收集了该源宿主星系多波段的数据，绘制了其光谱能量分布。我们估计中心黑洞的质量范围，为 $10^5 - 10^7 M_{\odot}$ 。通过这篇研究，我们倾向于认为 XID 403 这个 X 射线点源是来自超质量黑洞的潮汐撕裂事件，但是我们也不排除它作为一个强光变 AGN 的可能。

关键词：X 射线吸积；超大质量黑洞；潮汐撕裂事件

南京大学本科生毕业论文（设计）英文摘要

THESIS: Investigating the high-redshift tidal disruption event candidate in the CDF-S

DEPARTMENT: School of Astronomy and Space Science

SPECIALIZATION: Astronomy

UNDERGRADUATE: Wuji Wang

MENTOR: Professor Bin Luo

ABSTRACT:

When a star approaches a supermassive black hole in a quiescent galaxy, it will be tidally disrupted and accreted by the SMBH. As a consequence, there will be an immediate flux increase in X-ray or EUV band and a decay in a time period. We do an investigation of the TDE candidate, XID 403, in CDF-S based on the Chandra data. The XID 403, $z=1.51$, was found in Chandra survey in 2014 because of its increase of soft X-ray flux compared to the earlier observations. It showed a 50% decay of the count rate during the following 17 observations. We plot the light curve of it and fit with a $t^{-5/3}$ law using the data since 2014, first detection, till 2016, end of the 7 Ms observation. We fit the spectra of XID 403 with both power law and accretion disk models. In optics band, we plot a long term (about 4 years) light curve of its host galaxy and find no obvious breakout. We also gather multiwavelength data of its host galaxy and plot the SED of it. We estimate the mass range of the central black hole: $10^5 - 10^7 M_{\odot}$. Through this work, we tend to consider that the XID 403, point X-ray source, comes from a TDE of a SMBH. However, we cannot exclude the possibility that the XID 403 might be an AGN with high variation.

KEY WORDS: X-ray accretion; supermassive black holes; TDE

目 录

1	引言	1
2	CDF-S XID 403	7
3	X 射线性质	8
3.1	X 射线光变曲线	8
3.2	X 射线光谱分析	12
4	多波段性质探究	13
4.1	光学波段光变曲线	13
4.2	宿主星系的光谱能量分布 (SED)	15
5	讨论	16
6	总结	16
	参考文献	I
	致谢	VII

对 CDF-S X 射线巡天中发现的高红移黑洞潮汐撕裂事件候选体的调查

1 引言

众所周知，黑洞是宇宙中密度极高的一类天体，由于其特殊的物理性质，使得黑洞的探测面临很大的挑战。目前观点认为几乎在每个大质量星系的中心（活跃或不活跃）都存在超大质量黑洞^[1-4]，黑洞的形成和演化与星系的演化有密不可分的关系^[2, 4]。一般来说，超大质量黑洞的质量范围为 $10^5 \sim 10^9 M_{\odot}$ 。目前大约有 85 个星系中心的超大质量黑洞通过动力学模拟的方法探测到^[4]，动力学探测也是发现不活跃星系中心超大质量黑洞的有效方法之一（例如银河系中心的超大质量黑洞^[5]）；而对于存在于活动星系核（AGN）中的超大质量黑洞，由于 AGN 的光变、光谱发射线等显著的特征，使得探测认证研究较为直接^[2, 6]，同时也较为便捷。

对于存在于不活跃星系中心的超大质量黑洞，当其距离观测者很远，中心的动力学特征难以分辨时，通常要借助间接的探测方法，例如黑洞潮汐撕裂事件^[7]。当恒星经过超大质量黑洞附近时，在引力的驱使下，其被黑洞俘获，并在潮汐力作用下被撕裂进而被黑洞吸积产生短期爆发的现象称为黑洞潮汐撕裂事件。由于产生黑洞潮汐撕裂事件的黑洞质量较 AGN 中黑洞小，所以此短期盘吸积，吸积盘的能谱峰值处于极紫外或软 X 射线波段^[8]。特别对于 $M_{BH} < 10^7 M_{\odot}$ 的黑洞，其短期爆发的光度可超过其爱丁顿光度^[9]。

目前对于潮汐撕裂事件的研究很多^[7, 9]，但是探测到并初步证实的有限（大约 70 个）^[9]，能被进一步证实的就更少。理论计算表明对于 $M_{BH} < 10^{7.5} M_{\odot}$ 的超大质量黑洞，其发生潮汐撕裂事件的概率约为 $10^{-4} \text{ galaxy}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ^[3, 10, 11]（观测得到的概率约为 $10^{-5} \text{ galaxy}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ^[12]）。由此我们可以看出探测到潮汐撕裂事件是不容易的，特别是在光学和紫外波段，由于宿主星系的干扰，短期的光变不容易察觉，使得发现的难度进一步增大。但是在 X 射线波段，短期的爆发光度上限可达 $10^{45} \text{ ergs s}^{-1}$ ，并且宿主星系在此波段的干扰较小，所以 X 射线波段的探测要多余光学和紫外。Swift, ROSAT, XMM-Newton, Chandra X-ray Observatory（参见

Auchetti et al. 2017^[9] 还有其中的参考文献) 都发现过黑洞潮汐撕裂事件。

第一批软 X 射线的黑洞潮汐撕裂事件的候选体是由 ROSAT 发现的。ROSAT 凭借其在软 X 射线波段 (0.1 – 2.4 keV) 的灵敏度, 很低的探测器噪声, 覆盖全天的观测 (ROSAT All-Sky Survey) 等等优势, 成为了当时发现潮汐撕裂事件最合适的仪器。NGC5905^[13, 14], IC3599^[15, 16], RX J1242-1119^[17], RX J1624+7554^[18] 和 RX J1420+5334^[19] 成为了第一批被认证的软 X 射线潮汐撕裂事件。在图1和图2中, 我们展示一些之前工作得到的潮汐撕裂事件的光变曲线作为参考。

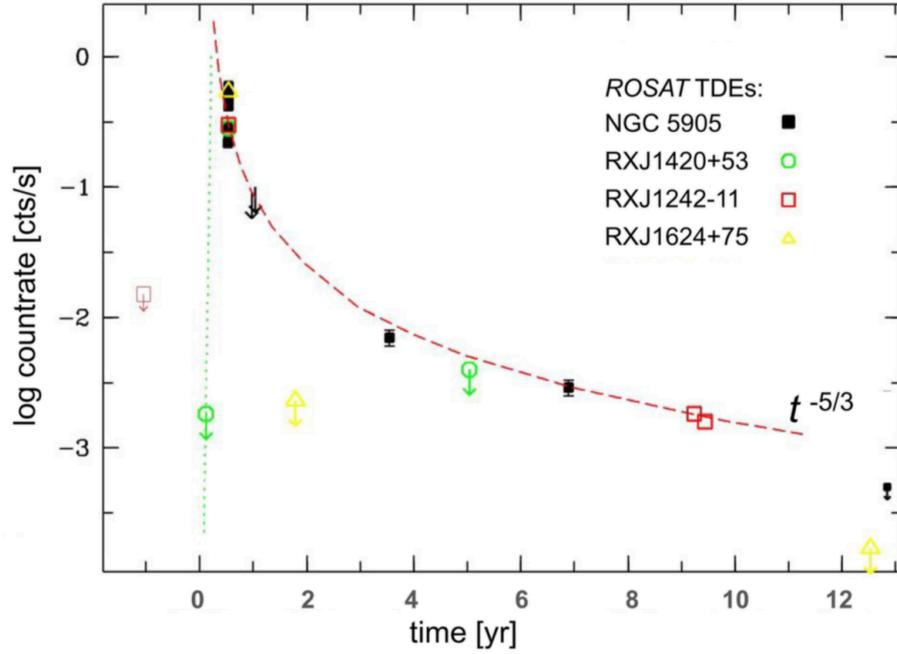


图 1: ROSAT 观测的光变曲线合, 数据的横坐标调整到达到峰值的时间与 NGC 5905 相同。图片来自 Komossa 2015^[7]。

Mainetti et al. 2016^[20] 的工作很好地总结了关于黑洞潮汐撕裂的理论公式^[21, 22], 下面我们引用他们的总结, 并对公式做一些说明。超大质量黑洞对于恒星的潮汐撕裂半径为

$$r_T \sim R_* \left(\frac{M_{BH}}{M_*} \right)^{1/3} 10^2 R_\odot \left(\frac{R_*}{1 R_\odot} \right) \left(\frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot} \right)^{1/3} \left(\frac{1 M_\odot}{M_*} \right). \quad (1)$$

即恒星距离黑洞的距离在此范围内时, 自引力不足以抗衡其受到的潮汐力而被撕裂。其中, R_* 和 M_* 代表恒星的半径和质量, M_{BH} 代表中心超大质量黑洞的质量。由公式可以看出潮汐撕裂半径 r_T 与中心黑洞的质量有关, 并由此可以推知对一定质量的黑洞可能没有可观测的爆发, 即恒星会在黑洞的视界内被潮汐撕裂 (例如对于 $M_* \sim 1 M_\odot$, 有 $M_{BH} > 10^8 M_\odot$)。从关系 $r_T < r_S$, 以及黑洞视界半径 (无旋

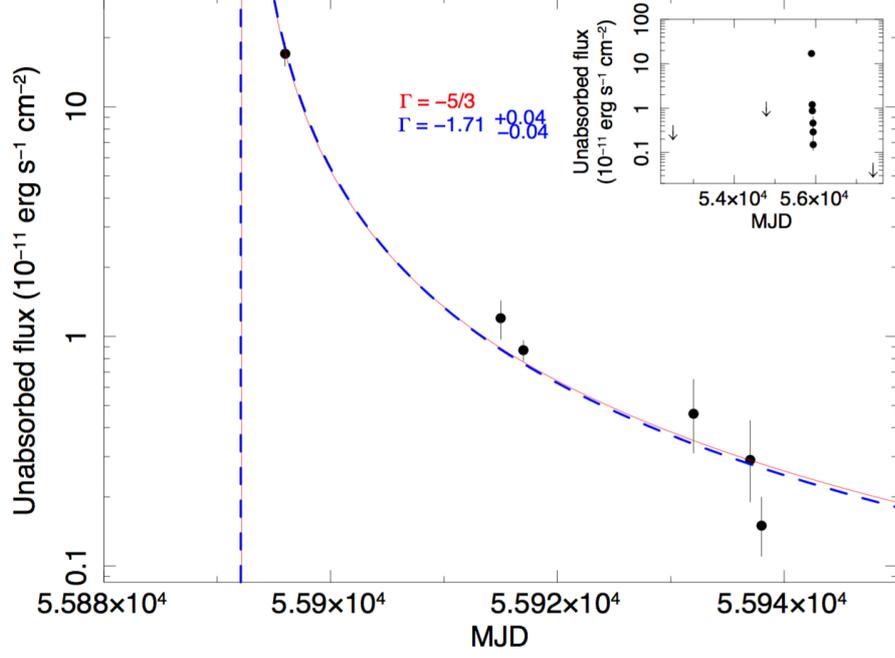


图 2: XMMSL 1J063045 的光变曲线, 红实线为 $-5/3$ 拟合, 蓝虚线为指数自由拟合。图片来自 Mainetti et al. 2016^[20] 的工作。

黑洞)

$$r_S = \frac{2GM_{BH}}{c^2}, \quad (2)$$

得到产生可观测的潮汐撕裂事件的黑洞质量上限

$$M_{BH} < \frac{c^3}{G^{3/2}} \frac{R_*^{3/2}}{M_*^{1/2}} \sim 10^8 M_\odot \left(\frac{R_*}{1R_\odot}\right)^{3/2} \left(\frac{1M_\odot}{M_*}\right)^{1/2}. \quad (3)$$

因此我们可以认为观测到的爆发是由平静的质量稍小的黑洞潮汐撕裂恒星并吸积时产生的。对于恒星在轨道近心点的距离 $r_p \geq r_T$ 的情形, Guillochon & Ramirez-Ruiz 2013, 2015^[23, 24] 指出, 此时恒星会被部分撕裂 (在此不做讨论)。除非有额外的能量注入或者恒星在被撕裂之前处于双曲轨道上^[22], 一般来说, 瓦解后的恒星碎片会被束缚在黑洞附近。同时, 从 Rees 1988^[22] 的讨论中我们可以知道, 当类太阳恒星进入到 r_T 并被撕裂后, 总会有一部分残骸被抛到双曲线轨道上, 最终逃离黑洞。下面简单假设, 一半的恒星残骸被黑洞束缚, 我们介绍束缚的残骸的演化以及其被黑洞吸积的过程。Mainetti et al. 2016^[20] 中指出, 束缚的残骸会到其轨道近心点的最短时间为

$$t_{min} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{GM_{BH}}{\Delta E^{3/2}} \sim 40d \left(\frac{R_*}{1R_\odot}\right)^{3/2} \left(\frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot}\right)^{1/2} \left(\frac{1M_\odot}{M_*}\right). \quad (4)$$

这些残骸由于存在角动量, 会成环, 并且在黑洞周围形成吸积盘 (一些关于盘形成的数值模拟工作请参考 Lodato et al. 2015^[25] 和其中的参考文献)。但是, Rees

1988^[22] 指出这些残骸在被黑洞吸积之前不会在束缚轨道上存在很久（不会绕转很多周期）。假定恒星的残骸运动遵循开普勒运动定律，不同轨道半径的残骸由于处于黑洞势井的深度不同而有不同的周期^[22]，且在近心点的回落速率为^[20, 26, 27]

$$\dot{M}_{fb}(t) \sim \frac{(2\pi GM_{BH})^{2/3}}{3} \frac{M_*/2}{\Delta E} \sim \frac{2}{3} \frac{M_*/2}{t_{min}} \left(\frac{t}{t_{min}}\right)^{-5/3}。 \quad (5)$$

同时我们还可以推得光度随时间变化的关系，

$$L(t) \sim \eta \dot{M}_{fb}(t) c^2 \sim 1.7 \times 10^{46} \frac{erg}{s} \frac{\eta}{0.1} \left(\frac{R_*}{1R_\odot}\right) \left(\frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot}\right)^{1/3} \left(\frac{t}{0.109yr}\right)^{-5/3}。 \quad (6)$$

但是其中包含一个辐射效率因子 η 。关于 η ，没有很好的方法确定，一般估计为 0.1。同时，如果我们可以从光学的光谱信息中得知宿主星系（黑洞）的距离（红移），那么黑洞的质量可由以下公式推知^[20]，

$$d \sim 0.1 Mpc \left(\frac{M_{BH}}{1M_\odot}\right)^{1/2} \left(\frac{10^{-10} \text{ ergs/s/cm}^2}{F_{peak}}\right)^{1/2}。 \quad (7)$$

其中要假定 L_{peak} 与爱丁顿光度大致相同，此外还要从光谱拟合等方法中得知 F_{peak} 。

为了方便从现有和后续的大量观测数据中寻找、认证潮汐撕裂候选体，Auchettl et al. 2017^[9] 根据其对所用数据的分析和之前类似的分类工作^[7]，总结出了一套有关 X 射线潮汐撕裂事件的分类方法。通过这套分类方法，我们可以得知在观测上，不同的潮汐撕裂事件应该具有哪些共通的性质。同时，这套分类方法还为我们进行全面的潮汐撕裂事件研究提供了理论基础，也便于我们区分其与其它 X 射线爆发事件（如 AGN）。

根据他们的工作，X 射线潮汐撕裂事件候选体通过认证可以被分为六类：X 射线潮汐撕裂事件，很有可能的 X 射线潮汐撕裂事件，可能的 X 射线潮汐撕裂事件，隐藏的（veiled）X 射线潮汐撕裂事件，非 X 射线潮汐撕裂事件和未知分类。分类依据为候选体在 X 射线观测中表现出的性质，但也采用多波段的数据以区别其它天体物理过程。

- X 射线潮汐撕裂事件：

1. 有明确的 X 射线光变曲线（明确的光变曲线——有足够多的观测覆盖候选体，从中可以看出确定的变化趋势、曲线形状等）；同时至少在爆

发前和爆发平息后有一次（或者更多次）观测，从而可以确定爆发前后的光度上限。

2. 光变曲线可以显示出候选体的光度突然上升，然后在几个月甚至几年的时间范围内逐渐衰减。
3. 大体上光变曲线的变化趋势是单调递减的，但也不排除部区域有（不必要的）小波动的可能。
4. 探测到的最大的 X 射线光度要比紧邻爆发之前的上限高出两个数量级。
5. 在候选体的数据可以覆盖的范围内只有 X 射线爆发的观测而没有反复的 X 射线活动被探测到。
6. X 射线爆发的位置和宿主星系吻合。
7. 在光学波段的光变曲线或者其它途径没有证据证明宿主星系存在 AGN 活动。
8. 宿主星系没有大尺度的喷流。
9. 超新星爆发和伽马暴的可能性被排除。

• 很有可能的 X 射线潮汐撕裂事件：

1. 因为观测次数的限制，没有十分明确的光变曲线。即使诸如 X 射线发射的变化、发射的产生等细节不是十分明确，我们通过光变曲线也应该可以得知其大致的形状和变化趋势。同时至少在爆发前和爆发平息后有一次（或者更多次）观测，从而可以确定爆发前后的光度上限。
2. 排除候选体是 AGN 的可能性，或确定是 AGN 的可能性很小。
3. 其余满足 X 射线潮汐撕裂事件的第 2-6 和 8-9 条要求。

• 可能的 X 射线潮汐撕裂事件：

1. 基于现有的 X 射线数据（有限的或足够的），我们无法确定爆发峰值的出现或是发现峰值随机或是周期性出现。
2. 探测到的最大的 X 射线光度要比紧邻爆发之前的上限高出一个数量级。
3. X 射线候选体的位置和宿主星系吻合。

4. 宿主星系在任何波段上都没有大尺度的喷流。
5. 候选体是 AGN，伽马暴或是超新星的概率很小。
6. (非必需) 在其它的文献中被作者归类为光学的潮汐撕裂事件。

- 隐藏的 X 射线潮汐撕裂事件：

对于归为此类的候选体要具有确定的光学 / 紫外光变曲线。从光变曲线中可以看出光学 / 紫外波段发射先增强，然后有遵循幂律谱的衰减或者可以看出冕线 (coronal lines) 的强度随时间减弱。他们的位置同样要与宿主星系一致，同时宿主星系不能表现出 AGN 活动。从光学发射线中要推断出其温度大约为 10^4 K。此外，这些候选体要么没有 X 射线的发射，要么 X 射线的发射在原本的光学消失或衰减以后出现。

- 非 X 射线潮汐撕裂事件：

1. 候选体为已知的 AGN，存在大尺度的喷流；候选体为已知的有超新星对应体的伽马暴源；为其它的天体，例如低质量 X 射线双星。候选体因为其它观测而被归为以上几类天体，例如存在光学波段的发射线或是 X 射线荧光使其被确认为 AGN。
2. 源的位置 (在误差范围内) 不与宿主星系中心吻合。
3. (非必需) X 射线的辐射在观测时间跨度内变化不剧烈。
4. 有证据表明 X 射线变化或 X 射线波段的发射在很长时间内处于同一量级。

- 未知分类：

在此分类中的源存在相应的文献证据表明其在 X 射线或光学 / 紫外波段有爆发。但由于缺少数据或是离宿主星系中心距离过大，不能确定它们是或不是潮汐撕裂事件。同时没有文献或是数据的证据表明它们是 X 射线或是光学 / 紫外潮汐撕裂事件，也不能排除其作为 AGN 的可能性。

在这篇文章中，将介绍我们对 Luo et al. 2014^[28] 中发现的潮汐撕裂事件候选体的研究。在第二章中，我们简要介绍 Chandra 的深场巡天和源的发现，以及源的一些简单的性质。在第三章中，我们将介绍源的 X 射线数据的处理，X 射线光变

曲线的绘制，谱的拟合等工作。在第四章中，我们介绍源的多波段（主要是光学）数据处理以及源宿主星系的一些参数。在第五章中，我们就所得的结果进行分析，计算源的一些参数，例如 M_{BH} ，就源是否为潮汐撕裂事件进行讨论。最后，第六章总结所有工作和结果。

2 CDF-S XID 403

对于河外星系的深场巡天观测已经被证实是探测宇宙形成演化的有效手段^[29,30]。其中 X 射线的巡天项目在近些年更是达到了足够的灵敏度和天区覆盖范围，使得我们有机会研究很多暗弱的天体，例如 AGN，星爆星系，正常星系，星系团和星系群（特别是在 AGN 中的探测中，中心的处于活跃吸积状态的超大质量黑洞贡献了我们所接收到的 X 射线光子的大部）。X 射线深场巡天在天文研究中扮演着“时光机器”的角色，因为某一类型的暗弱天体一般存在与离观测者相距很远的地方，换句话说，存在于很长时间以前。除此以外，相比于大天区的浅场巡天，深场巡天经常能探测到很多真正意义上的微弱光度的天体。最后，被探测到天体的流量，无论暗亮，都会被加合并与河外星系背景进行比较，从 X 射线波段完善了我们对河外星系背景辐射的研究。

X 射线深场巡天，从 Chandra X 射线望远镜^[31] 和 XMM-Newton^[32] 发射后的近 20 年中取得了巨大的成就。目前最深场的 X 射线巡天观测来自 Chandra Deep Field-South (CDF-S)，这片天区也是全天进行多波段深场观测最好的区域。目前 Xue et al. 2011^[33] (Chandra 4 Ms 曝光，覆盖 465 arcmin²)，Ranalli et al. 2013^[34] (XMM-Newton 覆盖 830 arcmin²) 和 Luo et al. 2017^[35] (Chandra 7 Ms 曝光，覆盖 465 arcmin²，共 1008 个 X 射线源) 的工作给出了 CDF-S 天区在 X 射线波段观测得到的源目录。虽然 Chandra 在 CDF-S 的总曝光时间已经达到了 7 Ms，但是由于 Chandra 足够小的点扩散函数 (point-spread function; PSF) 和 CDF-S 区域足够低的背景光子，使得曝光时间可以进一步延长进而发现更多的源。除此以外，已经探测到的 CDF-S 中的源都受益于改进之后的光子统计方法。这种方法可以让我们更好的确定源的位置，测光性质，光谱特征和变化。其中对于源光度变化的研究得益于 CDF-S X 射线观测时间基线的显著延长^[36]。

Luo et al. 2014^[28] 在 CDF-S 中发现了一个光度有显著变化的源 (XID 403)，它

的坐标为 RA=53.094719, DEC=-27.694609 (J2000, 坐标更新自 Luo et al. 2017^[35])。在 2014-06 之前的 14 年观测 (52 次观测) 中并没有看到这个源的爆发, 但 2014 年的 17 次观测在软 X 射线波段 (0.5-2 keV) 的光子数相比之前有显著升高。之前 4 Ms 观测探测到的源光子数约为 10 个, 而 2014 的 17 次观测 (曝光时间 <1 Ms) 得到的光子数约为 86 个 (均为软 X 射线波段光子数)。

这个源在稍硬的 X 射线波段 (2-8 keV) 没有表现出爆发。综合之后的 3 Ms 观测数据来看, 这个源在 2014 年 6 月到 2016 年 3 月的观测中, 光子计数率 (count rate [$\frac{\text{counts}}{\text{seconds}}$]) 大约有 50% 的下降, 并且拟合其 X 射线光谱给出幂律谱的光子指数 (photon index) >2.4, 光度上限约为 10^{-14} ergs s⁻¹ cm⁻²^[28]。我们认为这个源的爆发可能是由于潮汐撕裂导致的。如果确认, 这将是迄今为止发现的红移最高的潮汐撕裂事件 (Hsu et al. 2014^[37] 给出 $z=1.51$)。

我们的候选体有一个光学对应体, 坐标为 RA_op=53.094680, DEC_op=-27.694646^[38], 与 Chandra 观测给出的坐标相差约 0.4" (在误差范围内)。The Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey (CANDELS^[39, 40]; PIs: S.Faber, H.Ferguson) 的数据库中给出这个光学对应体在 U, B, R, i, z 波段的 AB 星等分别为 24.54, 24.40, 23.91, 23.58, 23.24^[38]。但距离此光学对应体约 1.9" 外有另外一个亮星系 (R 波段 AB 星等约为 21.91, RA_op2=53.094074, DEC_op2=-27.694773^[38]), 这会对以后的跟进观测造成干扰。

3 X 射线性质

3.1 X 射线光变曲线

潮汐撕裂事件在 X 射线波段 (或是极紫外) 的爆发可以使我们观测到平时处于宁静态的超大质量黑洞。但是我们很难说这些爆发不是由于 AGN 的活动或者其他的天体物理过程产生的。为了解决这一问题, 长期观测得到的 X 射线光变曲线可以将潮汐撕裂事件的爆发和 AGN 的周期光变加以区分。

下面我们介绍 XID 403 的 X 射线光变曲线的绘制。利用 Chandra 的 Advanced CCD Imaging Spectrometer (ACIS) 所拍摄的数据, 我们首先做了孔径测光来验证第一次爆发的观测时间。使用 Chandra Interactive Analysis of Observations (ciao4.8;

CLDB 4.7)¹，我们对经过 ACIS Extrat (AE)²处理^[41]的 event file 和 exposure map 在源坐标附近进行了修剪 (dmcoppy)，得到了 $164 \times 165 \text{ pixel}^2$ 的 fits 文件，并对数据在能量上进行了 soft (0.5-2.0 keV), hard (2.0-7.0 keV) 和 full (0.5-7.0 keV) 的区分 (以便研究爆发在不同能量段上的性质)。下面进行孔径测光，我们使用 $20''$ - $40''$ 的圆环作为背景的抽取范围。通过在 CDF-S 已知源目录³中查找，我们发现有一个源落在了所选背景的区域 (RA_con= 53.101059, DEC_con= -27.690714)。计算背景光子数时需要将其排除。下一步，计算源和背景的 psf 大小，分别用于源光子的抽取和背景源的排除，我们采用 ciao 的 psf 函数计算源的 psf。对每一次观测，输入三个波段的几何平均能量 (soft: 1 keV, hard: 3.7417 keV, full: 1.8708 keV) 和源的 off-axis angle (event file header 中含有)，得到了源的 psf 大小 (ecf=0.9: r_psf 范围中包涵 90% 的能量)。对于背景源 psf 的计算，使用 ciao 的 psfsize_srcs 函数进行计算，同样得到了 soft, hard 和 full 波段 ecf = 0.9 的 psf 大小。下一步，进行孔径测光，计算出源 psf 内和背景区域内的光子数。最后我们利用 AE (5.10 Broad Band Photometry) 中关于孔径测光的处理步骤，计算了没有探测到源的概率：

$$Prob_{no_source} = binomial(SRC_{cnts}, SRC_{cnts} + BKG_{cnts}, \frac{1}{1 + BACKSCAL})。 \quad (8)$$

其中 SRC_{cnts} 和 BKG_{cnts} 为源 r_psf 中总的光子数和背景区域中的光子数，

$$BACKSCAL = \frac{BKG_{area} \times bkg_{exposure}}{SRC_{area} \times src_{exposure}}。 \quad (9)$$

BACKSCAL 的计算与 AE 有所区别，我使用了曝光平均，其余与 AE 相同。在计算了每一次的 $Prob_{no_source}$ 后，我们认为 $Prob_{no_source} < 0.01$ 的视为源被观测到。对于 hard 和 full 波段来说，结果同 Luo et al. 2014^[28] 一致：在这两个波段无法观测到爆发。对于 soft 波段，除了 ObsID8595 和 ObsID8592 两次较早的观测 (2007-10-19, 2007-10-22) $Prob_{no_source} < 0.01$ 以外，余下的观测发现从 ObsID16183 (2014-06-09) 开始观测到连续爆发的现象 (从 ObsID17677, 2015-11-15 的观测以后, $Prob_{no_source} > 0.01$, 这认为是爆发过后恢复宁静态)。

确定了爆发开始的时间范围以后，我们进行了光变曲线的绘制。因为 CDF-S 的单个观测光子数很少，为了提高信噪比，我们按照 AE 提供的方法，对从 ObsID16183

¹<http://xc.harvard.edu/ciao/index.html>

²细节参见 http://www.astro.psu.edu/xray/docs/TARA/ae_users_guide.html。

³<http://www.astro.psu.edu/users/niel/cdfs/cdfs-chandra.html>

开始以后的 48 次观测进行了合并。合并的原则是尽量使得每个 epoch 的观测在观测时间上相接近。如表1所示, 我们把 48 次观测分为了 6 个 epochs。对每一个 epoch 的观测, 我们进行抽谱, 使用 Xspec (v.12.9.0) 拟合光谱并用 *flux* 命令计算 0.5-2.0 keV 流量 (具体拟合见 3.2 节)。如图3, 我们绘制了有观测以后的光变曲线 (最左侧的点为 4 Ms 观测的上限), 并拟合出了爆发开始的时间——2011-06-25。同时, 我们用 $t^{-5/3}$ 对光变曲线进行了拟合。从图中可以看出, 在误差范围内, 光度的下降基本符合公式 (6) 给出的 $t^{-5/3}$ 衰减趋势。其中流量换算到光度时, 使用了 Hsu et al. 2014 给出的红移 (1.51) 计算光度距离 $d = 11221.4$ Mpc (使用 `astropy.cosmology`⁴, WMAP9 的宇宙学常数^[42])。

在第一章我们提到了了 Auchettl et al. 2017^[9] 通过对 66 个潮汐撕裂事件候选体的统计研究总结出的 X 射线潮汐撕裂事件的分类。我们从所得到的光变曲线出发 (前 5 条), 看一下 XID 403 与 X 射线潮汐撕裂事件这一分类的契合度:

1. 有明确的 X 射线光变曲线 (有清晰的形状、趋势, 足够的数据点), 同时至少在爆发前有一次观测。综上, 我们的数据可以满足这一条件。
2. 光变曲线可以显示出光度突然上升, 然后在几个月甚至几年的时间范围内衰减。因为 4 Ms 的最后一次观测和接下来 CDF-S 观测之间的时间间隔较大, 所以不容易确定光度是否是短时间内突然上升。
3. 大体上光变曲线的变化趋势是单调递减的, 但局也不排除部区域有小波动的可能。我们的光变曲线同样满足这一条件。
4. 探测到的最大的 X 射线光度要比爆发之前的上限高出两个数量级。从图中可看出, 4 Ms 观测的上限给出 $L_{upper} \sim 10^{41}$ ergs s^{-1} , 而最大的光度 $L_{max} \sim 10^{42}$ ergs s^{-1} 。所以我们的源不满足这一条件。
5. 在源所可以观测的范围内 X 射线的发射只有爆发而没有反复的 X 射线活动被探测到。我们的光变曲线满足这一条件。

⁴<http://docs.astropy.org/en/stable/cosmology/index.html>

Epoch	ObsID	曝光时间 (ks)	平均观测时间	0.5-2.0 keV counts	0.5-2.0 keV 源区域内背景 counts
1	16183;16180;16456; 16641;16457;16644; 16463;17417;17416	342.47	2014-07-28	46	5.44
2	16454;16176;16175; 16178;16177;16620; 16462;17535;17542; 16184;16182;16181	615.70	2014-10-15	73	12.12
3	17546;16186;16187; 16188;16450;16190; 16189;17556	364.10	2014-11-20	44	8.88
4	16179;17573;17633; 17634;16453;16451	239.43	2015-03-04	31	5.27
5	16461;16191;16460; 16459	259.18	2015-05-30	24	5.15
6	17552;16455;16458; 17677;18709;18719; 16452;18730;16185	366.46	2015-11-28	33	9.08

表 1: 48 次观测合并，平均观测时间为每一次观测的开始时间（约简儒略日 MJD）与曝光时间的加权平均。

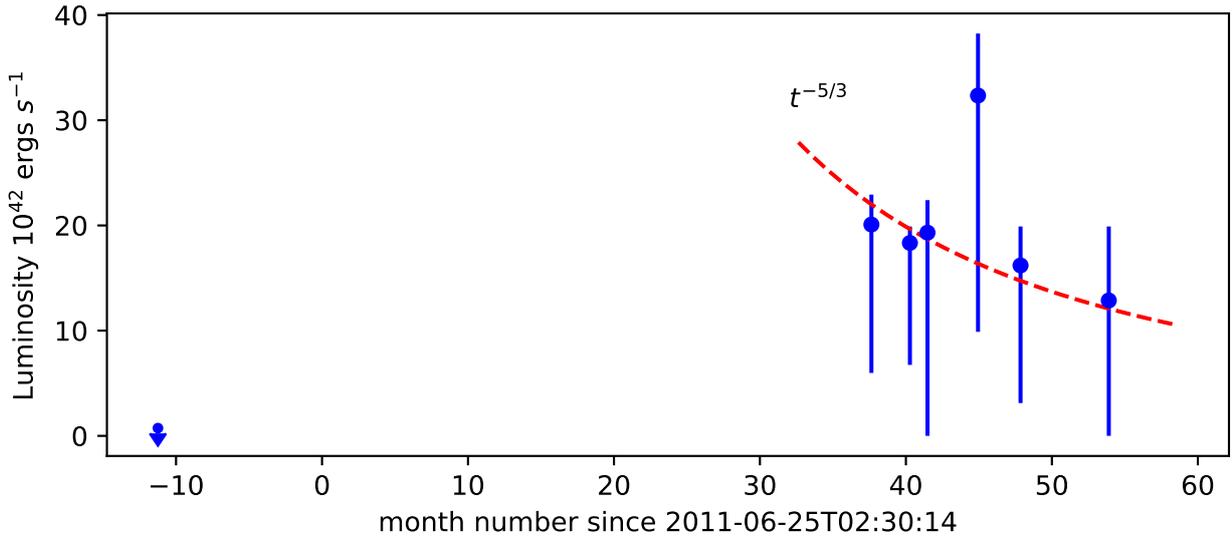


图 3: X 射线光变曲线，最左的点为 4 Ms（第一次爆发观测前的所有观测合并）观测的光度上限， $L_{upper} = 7.34 \times 10^{41} \text{ ergs s}^{-1}$ ，横坐标所示时间为 4 Ms 的最后一次观测时间。

3.2 X 射线光谱分析

对于 ObsID16183 以后的 6 个 epochs, 我们首先分别抽谱拟合, 拟合使用 *wabs* 和 *zpowerlaw* 进行 ($wabs \times zpowerlw$), 同时也对总的谱进行了相同模型的拟合。所用模型中包含 4 个参数: 归一化常数, 红移 (z), 幂律谱指数 (*photon index*) 和银河系 HI 吸收 (N_H)。其中 N_H 的值固定为 $0.0088 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ (CDF-S 天区的吸收平均值), z 取 1.51, 其余为自由变量。因为每次个谱的光子数较少 (0.5-8.0 keV), 所以统计量用 C-statistic。拟合结果见表2。从拟合结果中可以看出 *photon index* 基本在 3 左右, 对比 Mainetti et al. 2016^[20] 的源和在 Auchetti et al. 2017^[9] 的工作中被分入 X 射线潮汐撕裂事件和很可能的 X 射线潮汐撕裂事件 X 射线潮汐撕裂事件的源的 *photon index* 来看: Auchetti et al. 2017^[9] 的工作得到的 *photon index* 范围很大 (0.63-7.7) 我们的结果基本符合; 而 Mainetti et al. 2016^[20] 给出的 *photon index* 很高 (9.8)。因为 Mainetti et al. 2016^[20] 的工作得到的 9.8 的 *photon index*, 所以他们使用了盘吸收模型 (*diskbb*) 进行拟合。仿照他们的工作, 我们同样对总的谱进行了 $zwabs \times diskbb$ 拟合。其中四个参数: $z=1.51$, $N_H 0.0088 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, *diskbb* 常数和温度取为自由参数。得到的温度为: $T = 0.42_{-0.07}^{+0.11} \text{ keV}$ 。拟合结果如图4所示。

Epoch	0.5-2.0 keV flux ergs s ⁻¹ cm ⁻²	<i>photon index</i>
1	$(1.333_{-0.9361}^{+0.189}) \times 10^{-15}$	$3.26_{-0.68}^{+0.73}$
2	$(1.217_{-0.7694}^{+0.104}) \times 10^{-15}$	$3.06_{-0.60}^{+0.68}$
3	$(1.2821_{-1.2821}^{+0.2049}) \times 10^{-15}$	$3.02_{-0.70}^{+0.76}$
4	$(2.147_{-1.4908}^{+0.391}) \times 10^{-15}$	$4.17_{-0.92}^{+0.95}$
5	$(1.075_{-0.068}^{+0.246}) \times 10^{-15}$	$4.03_{-1.40}^{+1.43}$
6	$(8.5411_{-8.5411}^{+1.3999}) \times 10^{-16}$	$2.87_{-0.78}^{+0.89}$
combine	$(1.1152_{-0.1543}^{+0.0978}) \times 10^{-15}$	$2.89_{-0.31}^{+0.32}$

表 2: powerlaw 拟合结果, epoch 的选取与表 1 相同, 拟合的能量范围为 0.5-8.0 keV, *photon index* 的误差置信区间 90%, flux 的误差为置信区间 68%。

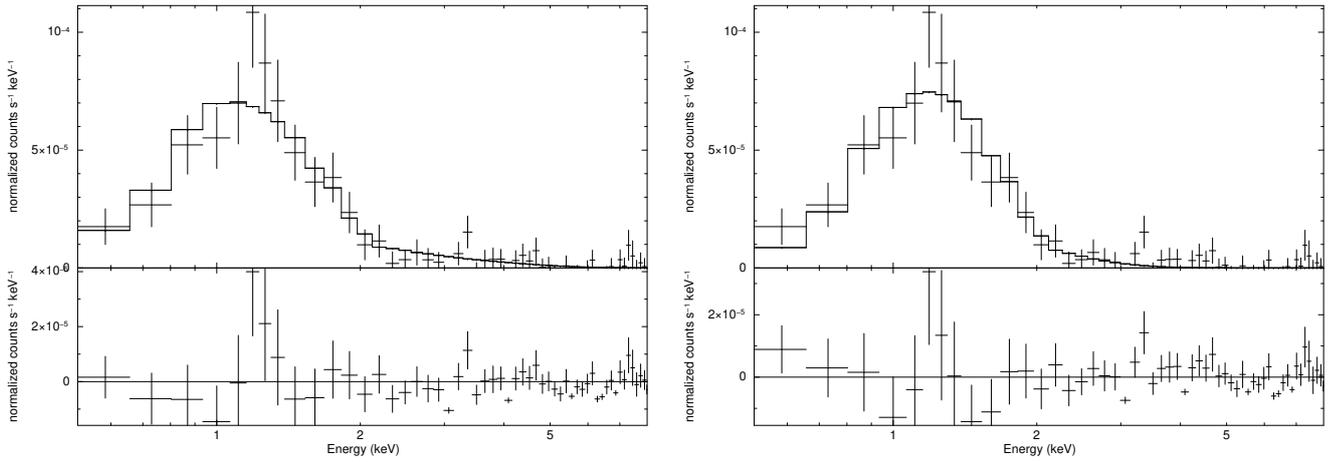


图 4: Xspec 拟合结果, 左边的为 powerlaw 拟合结果, 右边的为 diskbb 拟合结果。其中可以看到大约在 1.2 keV 附近有一个流量的突起, 经过筛查比较, 我们认为这是噪声。

4 多波段性质探究

4.1 光学波段光变曲线

对于潮汐撕裂事件的认证工作, 其中重要的一点是将其与 AGN 区分。一般认为 AGN 光度在光学波段的变化与 X 射线波段的变化相关, 所以通过对其光学波段光度可变性的研究可以降低 (如果光度基本不变) XID 403 作为 AGN 的概率。同时, 也有一些潮汐撕裂事件因为其在光学 / 紫外波段的光度变化而被认证^[7]。一般而言, 光学 / 紫外的潮汐撕裂事件其光谱能量分布 (SED) 的峰值温度低于 X 射线的温度^[7], 且在光学 / 紫外波段表现出变化的潮汐撕裂事件一般没有 X 射线的辐射; 而对于 X 射线潮汐撕裂事件, 在光学波段可能出现先于 X 射线的变化。我们通过对 XID 403 (宿主星系) 在光学波段的研究也可以为以后潮汐撕裂事件多波段性质研究提供更多依据。

下面介绍宿主星系光学波段的光变曲线绘制。首先, Luo et al. 2014^[28] 中提及了 ESO, VLT (Very Large Telescopes) / VMOS (Visible MultiObject Spectrograph) 的观测, 所以我们从 VMOSR 波段的观测数据开始。此外, VLT / FORS2 (FOcal Reducer/low dispersion Spectrograph 2) 的观测也涵盖了 CFD-S 天区。我们在 ESO 数据库⁵中设置源光学对应体的坐标 (见第二章), 搜索范围 (search box: 00 20 00), 观测时间 (2010-07 至 2015-01), 观测所用仪器和滤镜 (VLT/VIMOS, R 波段;

⁵http://archive.eso.org/eso/eso_archive_main.html

VLT/FORS2, 不设), 筛选得到了准可用的观测数据。对于 VMOS 的观测, 进一步筛选 XID 403 是否存在与每次一的观测视场中。我们发现从 2010-08-26 到 2014-10-20 共计 45 次观测拍摄到了 XID 403。由于有些观测的时间相近 (同一晚的观测), 所以我们从中选取了: 2010-08-26, 2010-10-07, 2011-08-21, 2013-08-11, 2013-08-12, 2013-08-13, 2014-09-24, 2014-09-27, 2014-09-28, 2014-09-29, 2014-10-01, 2014-10-20 共计 13 次不同时间的观测进行研究。

接下来, 因为我们需要的数据在 ESO 数据库中全部是原始数据, 所以我们自己进行了平底帧, 平场的修正。随后发现, 每一次观测的 fits 文件中世界坐标系统 (WCS) 不统一。因此我们使用 astronomy.net 将处理好的数据进行了 WCS 的修正。虽然修正结果仍然不是很统一 (特别是源位于视场边缘的观测: 2014-09-24, 2014-09-29, 2014-10-01, 2014-10-20), 但大致可以使用。

最后我们使用了 [photutils.aperture](http://photutils.readthedocs.io/en/stable/photutils/aperture.html)⁶ 进行孔径测光。由于第二节提到过的临近源干扰问题, 所以结果可能有偏差。对于测光的标准星, 我们从 CANDELS^[43] 的星表中选取在我们所用的观测中出现的星 (在观测视场内且 CLASS_STAR>0.98)。因为没有标准星出现在全部 13 次观测中, 所以我们只能筛选出各次观测中出现过的星, 并确定一颗标准星进行测光。结果如图5所示, 从中我们大致可以看出 R 波段基本没有变化。

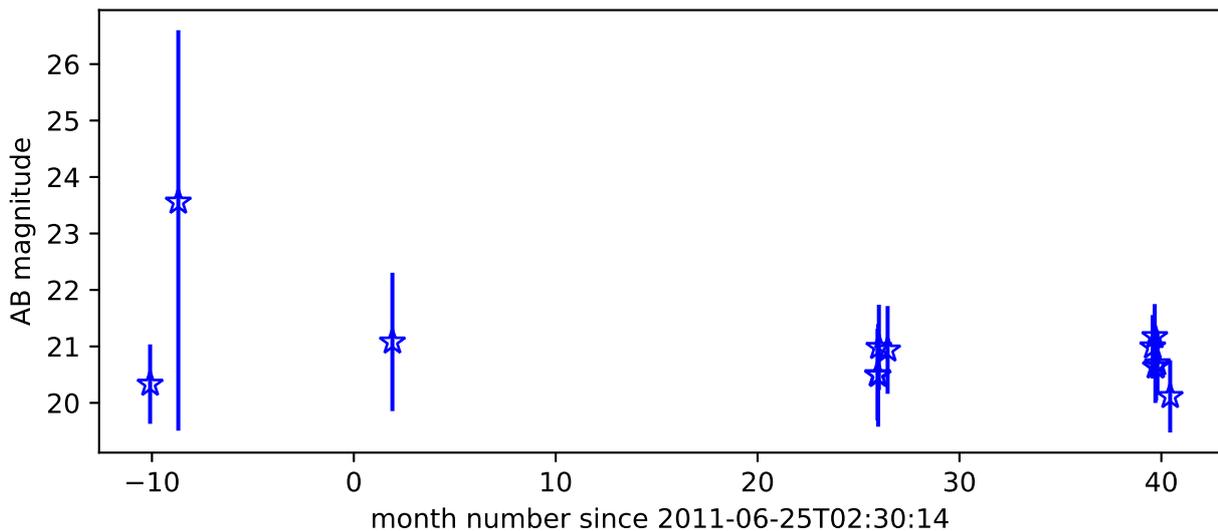


图 5: VMOS R 波段光变曲线

对于 FORS2 的数据, 我们发现在设置的搜索条件下只有窄带滤镜 HeII 的观

⁶<http://photutils.readthedocs.io/en/stable/photutils/aperture.html>

测，宿主星系在此波段中的流量很小，无法进行测光。另外，我们还寻找了 Gemini 天文台（其望远镜的观测涵盖 CDF-S 天区）的数据库⁷。在搜索中，我们设置源光学对应体的坐标（见第二章），搜索范围（search radius: 1200''），观测时间（2010-07 至 2015-01），观测类型（mode: imaging）。我们发现只有 Gemini-South/GMOS 望远镜在所设置的条件下有可用数据。接着在使用 Gemini pipeline⁸对原始进行处理以后，我们发现其观测视场中不包含我们的 XID 403。

4.2 宿主星系的光谱能量分布（SED）

Santini et al. 2015^[38] 的工作中计算收录了 GOODS^[44]（Great Observatories Origins Deep Survey-South）天区中所有源的 SED 信息。我们根据 RA 和 DEC 从中找到了我们的源⁹，并利用其数据重新绘制了 SED，如图6所示。从中我们可以看出这是一个恒星形成星系的 SED。同时 Santini et al. 2015^[38] 的工作中指出此星系的红移 $z=1.57$ ， $M_s = 10^{10.43} M_\odot$ ，恒星形成率 $SFR(IR + UV) = 47.5 M_\odot \text{ year}^{-1}$ 。

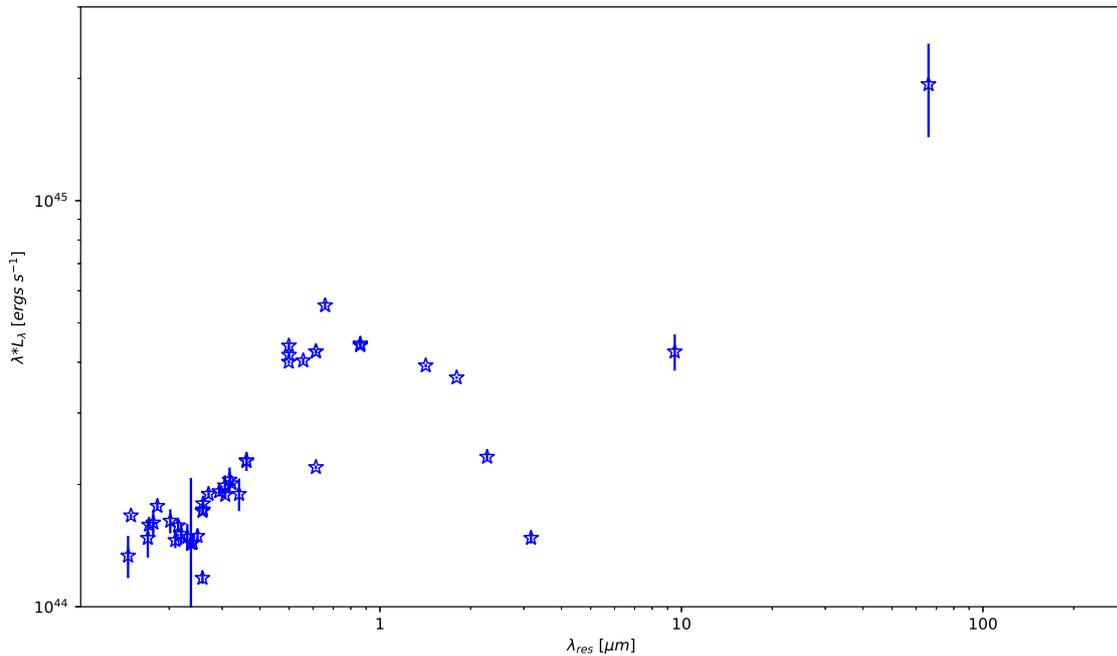


图 6: 宿主星系 SED。数据来自 Santini et al. 2015^[38] 的工作。

⁷<https://archive.gemini.edu/searchform>

⁸http://ast.noao.edu/sites/default/files/GMOS_Cookbook/

⁹http://arcoiris.ucolick.org/Rainbow_navigator_public

http://rainbowx.fis.ucm.es/Rainbow_navigator_public/

5 讨论

通过对潮汐撕裂事件的研究，我们想知道的最重要的信息就是产生它的超大质量黑洞的质量。我们可以根据公式 (7)，从源的光度距离反推黑洞的质量。第三章中提到我们计算的 $d = 11221.4 \text{ Mpc}$ ，又由谱的拟合可以得出 $F_{peak} \approx 2.5 \times 10^{-15} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，从而计算出 $M_{BH} \approx 3 \times 10^5 M_{\odot}$ 。计算中我们假定了爆发的最大光度和爱丁顿光度大致相同（这对于 $M_{BH} < 10^{7.5} M_{\odot}$ 是有可能的）。因为我们的数据并没有涵盖流量上升的部分，所以可以认为爆发的最大光度要比我们拟合出的还要高，若估计流量的上限为 $10^{-14} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，则得到 $M_{BH} = 1.2 \times 10^6 M_{\odot}$ 。

另外我们可以从宿主星系的恒星质量来推断其中心超大质量黑洞的质量。我们知道 $M_s = 10^{10.43} M_{\odot}$ 通过简单的关系 $M_{BH} = \frac{M_s}{1000}$ 我们可以很快算出 $M_{BH} = 2.7 \times 10^7 M_{\odot}$ 。因为两种计算方法均存在一些不确定性，所以我们大致得到黑洞的质量范围为 $10^5 - 10^7 M_{\odot}$ 。

下面验证一下 $10^7 M_{\odot}$ 是不是在范围的估计。若黑洞的质量为 $M_{BH} = 2.7 \times 10^7 M_{\odot}$ ，反推出 $F_{peak} = 2.1 \times 10^{-13} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，相当于 $L = 3.2 \times 10^{45} \text{ ergs s}^{-1}$ ，基本与 X 射线潮汐撕裂事件的光度上限相当。若假定爆发的流量峰值为 $F_{peak} = 10^{-14} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，黑洞的质量为 $M_{BH} = 2.7 \times 10^7 M_{\odot}$ ，那么相对应的光度距离为 50000 Mpc 相当于红移 $z \sim 5$ ，这当然是不可能的。所以在红移约为 1.5 的前提下， $M_{BH} \sim 10^7 M_{\odot}$ 时，相应的 X 射线辐射峰值也要提高。从我们的数据来看，上述情形是有可能发生的。同时，这种估计方法 ($d \sim M_{BH}$) 要求假定爆发的光度达到爱丁顿光度。从第一章的内容来看，这也是有可能的。

通过第四章中的工作，我们认定 XID 403 与其宿主星系的位置在误差范围内一致（符合 X 射线潮汐撕裂事件分类要求的第 6 条）。虽然通过 Chandra 和 VLT/VMOS 的观测基本确认了这个源没有反复的光度变化，但是我们还是不能确定的排除它作为一个具有强光变的 AGN 的可能性（一般 AGN 的光变幅度约为两倍）。

6 总结

当恒星经过超大质量黑洞附近时，由于黑洞对恒星的引力超过其自引力而使得恒星在黑洞的视界面外被撕裂。而后，一部分恒星的残骸在黑洞周围形成吸积盘进而被黑洞吸积，在 X 射线、紫外或光学产生短期爆发现象^[7, 22]。这样的现象

称为潮汐撕裂事件。

到现在为止，只有大约 70 个潮汐撕裂事件的候选体被发现^[9]。对于潮汐撕裂事件的研究可以让我们更好的认识星系中心的超大质量黑洞，理解其演化的物理机制等。对于有可能发生在矮星系中的潮汐撕裂事件，可以为我们寻找中等质量黑洞提供便利条件^[45, 46]。同时研究潮汐撕裂事件也为我们探究从恒星级黑洞到超大质量黑洞的物质组成提供了一条途径^[47]。

在 2014 年，Luo et al. 2014^[28] 在 CDF-S 中发现了一个新爆发的点源。我们结合了 CDF-S 一共 102 次的观测，对这个爆发的本质进行了探究。首先，第三章我们介绍了对 Chandra 数据处理。先对 102 次观测分别进行孔径测光，并通过公式 (8) 计算了各次观测的 $Prob_{no_source}$ 。从 ObsID16183 (2014-06-09) 开始的 48 次观测认为是有爆发的观测 (最后 ObsID17677, 2015-11-15 之后的观测为从爆发恢复到宁静态的观测)。接着，我们针对这 48 次观测分为 6 个 epochs (见表1) 进行光谱拟合。对于 48 次观测总的谱，我们分别使用了 $zpowerlw$ 和 $diskbb$ 模型进行拟合。结果为 $photonindex = 2.89_{-0.31}^{+0.32}$, $T = 0.42_{-0.07}^{+0.11}$ keV。对于各个 epoch 的拟合结果见表2，同时我们依据拟合的流量绘制了光变曲线并拟合了变化趋势 (图3)。从结果中我们可以看出这个源的盘温度很高^[9, 20]，光变曲线的衰减基本符合 $t^{-5/3}$ 关系。

接着，在第四章中介绍了我们对源多波段性质的探究工作。利用 VLT/VMOS 在 R 波段的观测数据，我们绘制了光变曲线 (图5)。从中可以看出光学波段，宿主星系基本没有爆发和光度变化，基本排除了其作为光学 AGN 的可能。我们同时呈现了 Santini et al. 2015^[38] 计算的 SED (图6)。并从中得到了宿主星系的恒星质量 $M_s = 10^{10.43} M_\odot$ ，恒星形成率 $SFR(IR+UV) = 47.5 M_\odot \text{ year}^{-1}$ 。通过公式 (7) 和一些假设计算出了黑洞的质量范围 $10^5 - 10^7 M_\odot$ 。

根据我们的 X 射线光变曲线和源在软 X 射线波段的吸积盘热辐射性质，我们基本确定这是一个潮汐撕裂事件。但是还不能排除这是一个具有强光变的 AGN。同时，针对 Auchettl et al. 2017^[9] 工作中关于 X 射线潮汐撕裂事件分类要求的 7-9 条，我们还需要在光学光谱、射电数据 (喷流)、伽马射线等方面对 XID 403 进行深入研究。

参考文献

- [1] Kormendy J, Richstone D. Inward Bound—The Search For Supermassive Black Holes In Galactic Nuclei[J/OL]. ARA&A, 1995, 33 : 581.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.aa.33.090195.003053>.
- [2] Kormendy J, Gebhardt K. Supermassive black holes in galactic nuclei[C/OL] // Wheeler J C, Martel H. American Institute of Physics Conference Series, Vol 586 : 20th Texas Symposium on relativistic astrophysics. 2001 : 363–381.
<http://dx.doi.org/10.1063/1.1419581>.
- [3] Magorrian J, Tremaine S, Richstone D, et al. The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers[J/OL]. AJ, 1998, 115 : 2285–2305.
<http://dx.doi.org/10.1086/300353>.
- [4] Kormendy J, Ho L C. Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies[J/OL]. ARA&A, 2013, 51 : 511–653.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-astro-082708-101811>.
- [5] Genzel R, Eisenhauer F, Gillessen S. The Galactic Center massive black hole and nuclear star cluster[J/OL]. Reviews of Modern Physics, 2010, 82 : 3121–3195.
<http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.82.3121>.
- [6] Ho L C. Nuclear Activity in Nearby Galaxies[J/OL]. ARA&A, 2008, 46 : 475–539.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.astro.45.051806.110546>.
- [7] Komossa S. Tidal disruption of stars by supermassive black holes: Status of observations[J/OL]. Journal of High Energy Astrophysics, 2015, 7 : 148–157.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jheap.2015.04.006>.
- [8] Ulmer A. Flares from the Tidal Disruption of Stars by Massive Black Holes[J/OL]. ApJ, 1999, 514 : 180–187.
<http://dx.doi.org/10.1086/306909>.

- [9] Auchettl K, Guillochon J, Ramirez-Ruiz E. New Physical Insights about Tidal Disruption Events from a Comprehensive Observational Inventory at X-Ray Wavelengths[J/OL]. *ApJ*, 2017, 838 : 149.
<http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/aa633b>.
- [10] Wang J, Merritt D. Revised Rates of Stellar Disruption in Galactic Nuclei[J/OL]. *ApJ*, 2004, 600 : 149–161.
<http://dx.doi.org/10.1086/379767>.
- [11] Stone N C, Metzger B D. Rates of stellar tidal disruption as probes of the supermassive black hole mass function[J/OL]. *MNRAS*, 2016, 455 : 859–883.
<http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stv2281>.
- [12] Donley J L, Brandt W N, Eracleous M, et al. Large-Amplitude X-Ray Outbursts from Galactic Nuclei: A Systematic Survey using ROSAT Archival Data[J/OL]. *AJ*, 2002, 124 : 1308–1321.
<http://dx.doi.org/10.1086/342280>.
- [13] Bade N, Komossa S, Dahlem M. Detection of an extremely soft X-ray outburst in the HII-like nucleus of NGC 5905.[J]. *A&A*, 1996, 309 : L35–L38.
- [14] Komossa S, Bade N. The giant X-ray outbursts in NGC 5905 and IC 3599:() hfill Follow-up observations and outburst scenarios[J]. *A&A*, 1999, 343 : 775–787.
- [15] Grupe D, Beuermann K, Mannheim K, et al. X-ray outburst of the peculiar Seyfert galaxy IC 3599^{**}. [J]. *A&A*, 1995, 299 : L5.
- [16] Brandt W N, Pounds K A, Fink H. The unusual X-ray and optical properties of the ultrasoft active galactic nucleus Zwicky 159.034 (RE J1237+264)[J/OL]. *MNRAS*, 1995, 273 : L47–L52.
<http://dx.doi.org/10.1093/mnras/273.1.L47>.
- [17] Komossa S, Greiner J. Discovery of a giant and luminous X-ray outburst from the optically inactive galaxy pair RX J1242.6-1119[J]. *A&A*, 1999, 349 : L45–L48.

- [18] Grupe D, Thomas H-C, Leighly K M. RX J1624.9+7554: a new X-ray transient AGN[J]. A&A, 1999, 350 : L31–L34.
- [19] Greiner J, Schwarz R, Zharikov S, et al. RX J1420.4+5334 - another tidal disruption event?[J]. A&A, 2000, 362 : L25–L28.
- [20] Mainetti D, Campana S, Colpi M. XMMSL1J063045.9-603110: a tidal disruption event fallen into the back burner[J/OL]. A&A, 2016, 592 : A41.
<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201628737>.
- [21] Hills J G. Possible power source of Seyfert galaxies and QSOs[J/OL]. Nature, 1975, 254 : 295–298.
<http://dx.doi.org/10.1038/254295a0>.
- [22] Rees M J. Tidal disruption of stars by black holes of 10 to the 6th-10 to the 8th solar masses in nearby galaxies[J/OL]. Nature, 1988, 333 : 523–528.
<http://dx.doi.org/10.1038/333523a0>.
- [23] Guillochon J, Ramirez-Ruiz E. Hydrodynamical Simulations to Determine the Feeding Rate of Black Holes by the Tidal Disruption of Stars: The Importance of the Impact Parameter and Stellar Structure[J/OL]. ApJ, 2013, 767 : 25.
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/767/1/25>.
- [24] Guillochon J, Ramirez-Ruiz E. Erratum: “Hydrodynamical Simulations to Determine the Feeding Rate of Black Holes by the Tidal Disruption of Stars: The Importance of the Impact Parameter and Stellar Structure” (2013, ApJ, 767, 25)[J/OL]. ApJ, 2015, 798 : 64.
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/798/1/64>.
- [25] Lodato G, Franchini A, Bonnerot C, et al. Recent developments in the theory of tidal disruption events[J/OL]. Journal of High Energy Astrophysics, 2015, 7 : 158–162.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jheap.2015.04.003>.

- [26] Evans C R, Kochanek C S. The tidal disruption of a star by a massive black hole[J/OL]. ApJ, 1989, 346 : L13–L16.
<http://dx.doi.org/10.1086/185567>.
- [27] Lodato G, King A R, Pringle J E. Stellar disruption by a supermassive black hole: is the light curve really proportional to $t^{-5/3}$?[J/OL]. MNRAS, 2009, 392 : 332–340.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.14049.x>.
- [28] Luo B, Brandt W N, Bauer F. A New Highly Variable X-ray Source at $z \sim 1.5$ in the Chandra Deep Field-South Survey[J]. The Astronomer’s Telegram, 2014, 6625.
- [29] Brandt W N, Hasinger G. Deep Extragalactic X-Ray Surveys[J/OL]. ARA&A, 2005, 43 : 827–859.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.astro.43.051804.102213>.
- [30] Brandt W N, Alexander D M. Cosmic X-ray surveys of distant active galaxies. The demographics, physics, and ecology of growing supermassive black holes[J/OL]. A&A Rev., 2015, 23 : 1.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00159-014-0081-z>.
- [31] Weisskopf M C, Tananbaum H D, Van Speybroeck L P, et al. Chandra X-ray Observatory (CXO): overview[C/OL] // Truemper J E, Aschenbach B. Proc. SPIE, Vol 4012 : X-Ray Optics, Instruments, and Missions III. 2000 : 2–16.
<http://dx.doi.org/10.1117/12.391545>.
- [32] Jansen F, Lumb D, Altieri B, et al. XMM-Newton observatory. I. The spacecraft and operations[J/OL]. A&A, 2001, 365 : L1–L6.
<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20000036>.
- [33] Xue Y Q, Luo B, Brandt W N, et al. The Chandra Deep Field-South Survey: 4 Ms Source Catalogs[J/OL]. ApJS, 2011, 195 : 10.
<http://dx.doi.org/10.1088/0067-0049/195/1/10>.

- [34] Ranalli P, Comastri A, Vignali C, et al. The XMM deep survey in the CDF-S. III. Point source catalogue and number counts in the hard X-rays[J/OL]. *A&A*, 2013, 555 : A42.
<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201321211>.
- [35] Luo B, Brandt W N, Xue Y Q, et al. The Chandra Deep Field-South Survey: 7 Ms Source Catalogs[J/OL]. *ApJS*, 2017, 228 : 2.
<http://dx.doi.org/10.3847/1538-4365/228/1/2>.
- [36] Yang G, Brandt W N, Luo B, et al. Long-term X-Ray Variability of Typical Active Galactic Nuclei in the Distant Universe[J/OL]. *ApJ*, 2016, 831 : 145.
<http://dx.doi.org/10.3847/0004-637x/831/2/145>.
- [37] Hsu L-T, Salvato M, Nandra K, et al. CANDELS/GOODS-S, CDFS, and ECDFS: Photometric Redshifts for Normal and X-Ray-Detected Galaxies[J/OL]. *ApJ*, 2014, 796 : 60.
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637x/796/1/60>.
- [38] Santini P, Ferguson H C, Fontana A, et al. Stellar Masses from the CANDELS Survey: The GOODS-South and UDS Fields[J/OL]. *ApJ*, 2015, 801 : 97.
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637x/801/2/97>.
- [39] Grogin N A, Kocevski D D, Faber S M, et al. CANDELS: The Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey[J/OL]. *ApJS*, 2011, 197 : 35.
<http://dx.doi.org/10.1088/0067-0049/197/2/35>.
- [40] Koekemoer A M, Faber S M, Ferguson H C, et al. CANDELS: The Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey-The Hubble Space Telescope Observations, Imaging Data Products, and Mosaics[J/OL]. *ApJS*, 2011, 197 : 36.
<http://dx.doi.org/10.1088/0067-0049/197/2/36>.
- [41] Broos P S, Townsley L K, Feigelson E D, et al. Innovations in the Analysis of Chandra-ACIS Observations[J/OL]. *ApJ*, 2010, 714 : 1582 – 1605.
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637x/714/2/1582>.

- [42] Hinshaw G, Larson D, Komatsu E, et al. Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Parameter Results[J/OL]. *ApJS*, 2013, 208 : 19.
<http://dx.doi.org/10.1088/0067-0049/208/2/19>.
- [43] Guo Y, Ferguson H C, Giavalisco M, et al. CANDELS Multi-wavelength Catalogs: Source Detection and Photometry in the GOODS-South Field[J/OL]. *ApJS*, 2013, 207 : 24.
<http://dx.doi.org/10.1088/0067-0049/207/2/24>.
- [44] Giavalisco M, Ferguson H C, Koekemoer A M, et al. The Great Observatories Origins Deep Survey: Initial Results from Optical and Near-Infrared Imaging[J/OL]. *ApJ*, 2004, 600 : L93–L98.
<http://dx.doi.org/10.1086/379232>.
- [45] Maksym W P, Ulmer M P, Eracleous M C, et al. A tidal flare candidate in Abell 1795[J/OL]. *MNRAS*, 2013, 435 : 1904–1927.
<http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stt1379>.
- [46] Maksym W P, Lin D, Irwin J A. RBS 1032: A Tidal Disruption Event in Another Dwarf Galaxy?[J/OL]. *ApJ*, 2014, 792 : L29.
<http://dx.doi.org/10.1088/2041-8205/792/2/L29>.
- [47] Volonteri M. Astrophysics: Making black holes from scratch[J/OL]. *Nature*, 2010, 466 : 1049–1050.
<http://dx.doi.org/10.1038/4661049a>.

致 谢

这篇论文的工作是在罗斌教授的指导下完成的，感谢罗斌老师这一年来对我工作的悉心指导。同时也感谢在工作中提供给我帮助的同学，朋友和不相识的科学工作者们。