

慧眼卫星发现黑洞双星系统最高能量的准周期振荡

低频准周期振荡（quasi-periodic oscillation, QPO）发现于上世纪80年代，是一种在 X 射线双星中普遍存在的时变现象，表现为光变曲线上出现类似周期性但是并非精确周期性的调制。30 多年来，低频 QPO 的起源一直是致密天体研究的一个未解难题。目前，存在两类最为流行的模型解释低频 QPO 现象，即物质在旋转落向黑洞的过程中形成的吸积盘上的不稳定性导致 X 射线辐射产生振荡，或者靠近黑洞的冕状 X 射线辐射区的进动或振荡导致 X 射线辐射产生准周期调制。在慧眼（Insight-HXMT）上天之前，只在 30keV 以下的能区发现了低频 QPO 现象，由于热过程和非热物理过程都可以在这个能区发出辐射，难以区分各种低频 QPO 的理论模型。慧眼卫星的有效能段为 1-250 keV，并且在 30 keV 以上具有最大的有效面积，为探测到更高能量的低频 QPO 带来了可能。

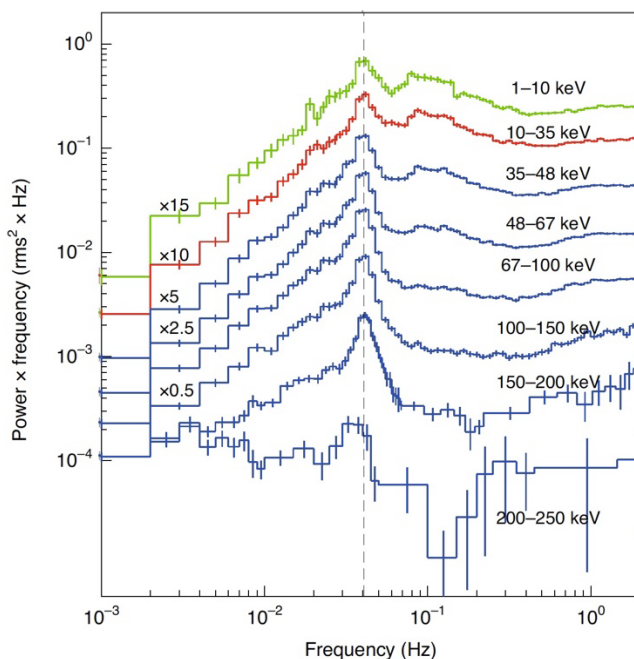


图 1. 慧眼卫星首次探测到了能量在 200 keV 以上的低频 QPO

2018 年 3 月 11 日，黑洞 X 射线双星 MAXI J1820+070 发生爆发，在相当长一段时间里是天空中最亮的 X 射线源之一。慧眼卫星观测强源没有光子堆积效应，因此对这一重要天体进行了长达几个月的高频次定点观测，积累了丰富的观测数据。使用这些观测数据，研究团队发现 MAXI J1820+070 在很宽的能段范围内都存在低频 QPO 现象，并

首次在高于 200 keV 以上的能段探测到了低频 QPO。这是迄今为止发现的能量最高的低频 QPO 现象，比其他卫星发现的 QPO 最高能量提高了近一个数量级，说明该 QPO 并不来自吸积盘的热辐射区域。进一步的分析发现，QPO 的频率和变化幅度都不随能量改变，且能量较低的 QPO 晚于能量较高的 QPO 产生，目前广为流行的模型都无法解释这些观测结果。研究表明，该低频 QPO 最可能的解释是来源于黑洞视界附近的相对论喷流（向外高速运动的等离子体流）的进动，很可能是黑洞自转产生的广义相对论的参考系拖曳效应产生的。这是第一次将高速喷流的源头定位到距离黑洞上百公里（几倍黑洞视界半径）的区域，为迄今为止观测到的距离黑洞最近的相对论喷流，对于研究黑洞附近的广义相对论效应、物质动力学过程和辐射机制等具有重大意义。



图 2. 该低频 QPO 很可能起源于距离黑洞最近的相对论喷流进动

相关研究论文在线发表在 2020 年 9 月 21 日的 Nature Astronomy 上，论文链接为 <https://www.nature.com/articles/s41550-020-1192-2>。研究成果已被数十家新闻媒体（如央视、新华社、人民日报等）报道。