

引力波事件电磁辐射对应体的研究取得系列进展

以紫金山天文台为主的一个团队近年来在引力波事件电磁对应体相关研究方面取得了一系列成果。通过分析 Hubble, VLT, Gemini, Keck 等望远镜历史数据, 在“长短暴”GRB 060614, “短暴”GRB 050709 中发现了巨新星 (Li-Paczynski macronova/kilonova) 候选体; 并最早采用结构化喷流模型来解释短暴的余辉数据, 提出“结构化喷流的偏轴辐射可以显著的提高短暴/引力波事件的成协率”。

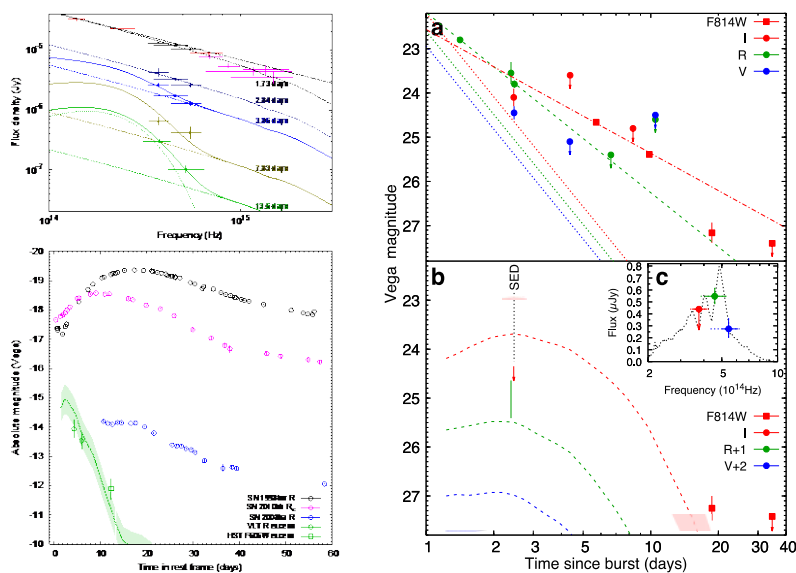


图 1. 左上 GRB 060614 光学余辉的能谱演化, 注意在 3.8 天之后能谱显著变陡 (Jin et al. 2015), 左下 GRB 060614 中巨新星光变与超新星有显著区别, 而与 GW 170817 成协巨新星类似。右 GRB 050709 的光学光变曲线, 注意 I 波段和 R 波段的衰减行为迥异, 意味着 I 波段存在一个新的能谱成分; 并且 2.5 天处的 VLT I, R, V 波段测得的流量是线状结构, 与余辉模型全然不符 (Jin et al. 2016)。

GRB 060614 同时具有长、短暴的部分特征, Nature 曾同时刊发 4 篇论文讨论其起源但无法达成一致, 因而被称为“长短暴”。而我们系统分析光学能谱, 发现早期可以很好地拟合为幂律谱, 但 3.8 天之后能谱显著变陡, 意味着数据中除余辉还包含着另一个能谱很软的新成分 (见图 1 左), 该成分与巨新星模型预言一致, 晚期温度约为 2700K (Jin et al. 2015), 显著的低于超新星, 而与巨新星理论模型所预言的 ~2500 K (Barnes & Kasen 2013) 一致, 且光变曲线和晚期温度 (见图 1 左) 都与后来发现的 GW170817 成协的巨新星 AT2017gfo 一致。GRB 050709 是人类首次探测到光学对应体的短暴, 该光学信号一直被解释为伽玛暴余辉辐射。而我们发现 VLT 在暴后 2.5 天测得的光学能谱呈“线状”, 与余辉的连续能谱显著不同, 而与一些巨新星模型预言一致; 此外, 相邻 I 和 R 波段, 其衰减行为却大相径庭, 意味着 I 波段存在一个能谱很软的成分 (见图 1 右), 该成分与巨新星的行為一致。

我们还首次对巨新星与短暴/长短暴的关联性进行了统计分析，发现每个短暴/长短暴可能都伴随着一个巨新星，这表明巨新星普遍存在（Jin et al. 2016），是引力波事件的极具前景的电磁辐射对应体候选体。在首例中子星引力波事件 GW170817 就探测到了明亮巨新星 AT2017gfo 的事实支持了我们的推断。最近我们的研究又发现在 GRB 070809 的余辉中也存在巨新星信号。

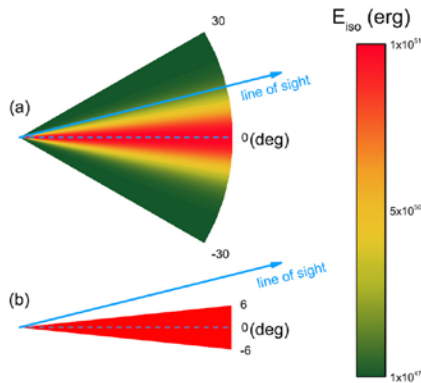


图 2. 偏轴情形下的 sGRB 探测前景；(a)为结构化喷流模型，(b)为均匀喷流模型。

几乎在 GW170817 发现的同时，Jin et al. (2018 ApJ; arXiv:1708.07008) 分析了 GRB150424A 以及 GRB 160821B 的数据，没有发现明确的巨新星信号，但发现了明显的喷流拐折，统计得到短暴的典型半张角约为 0.1 弧度，进而得到近邻宇宙的中子星并合率约为 $\sim 1000 \text{Gpc}^{-3} \text{yr}^{-1}$ 。我们还指出，由于 aLIGO/Virgo 等第二代引力波探测器对中子星并合事件的有效观测距离较近，因此在结构化喷流模型下（见图 2）偏轴的伽玛暴尽管较弱，但依然有望被探测到，这会显著提高短暴和引力波事件的成协率；但在均匀喷流模型下，由于强的相对论集束效应，偏轴事例无法可靠提高短暴和引力波事件的成协率。因此结构化喷流模型有助于理解在首例中子星并合引力波事件 GW170817 中就看到了短暴 GRB170817A 这个让人“意外”的事实。值得指出的是：紫金山天文台的研究组还最早用结构化喷流模型来解释短暴的余辉数据（Jin et al. 2007 ApJL），目前这类模型已被广泛的用于对 GRB 170817A 余辉数据的解读。我们得到的中子星并合率也与引力波探测给出的中子星并合率一致。

我们 4 篇代表性论文得到包括 Review of Modern Physics, Nature, Science 等论文的正向引用，目前 ADS 总引用已超过 360 篇次。

相关论文:

1. Jin et al. 2018, ApJ, 857, 128 (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...857..128J>)
2. Jin et al. 2016, Nature Communications, 7, 12898 (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2016NatCo...712898J>)
3. Yang et al. 2015, Nature Communications, 6, 7323 (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015NatCo...6E7323Y>)
4. Jin et al. 2015, ApJ Letters, 811, L22 (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2015ApJ...811L..22J>)