

GRB 170817A的洛伦兹因子和观测角*

林一清^{1,2†}

(1 厦门理工学院光电与通信工程学院 厦门 361024)

(2 福建省光电技术与器件重点实验室 厦门 361024)

摘要 伴随着引力波事件GW170817的短暴GRB (Gamma-Ray Burst) 170817A首次提供了双中子星并合与短暴相联系直接证据. 但是短暴GRB 170817A具有非常弱的光度, 意味着观测的视线方向可能偏离喷流轴方向. 根据短暴静止系的峰值能量 $E_{p,i}$ 和各向同性光度 L_{iso} 之间的关系以及洛伦兹因子 Γ 和 L_{iso} 之间的关系估算了短暴GRB 170817A以及长短暴GRB 060614观测角与喷流边缘的夹角 θ'_{obs} 和洛伦兹因子 Γ , 结果表明GRB 170817A的 $\Gamma = 45 \pm 27$, $\theta'_{\text{obs}} = 2.2 \pm 0.5^\circ$, 而GRB 060614的 $\Gamma = 214 \pm 93$, $\theta'_{\text{obs}} = 0.5 \pm 0.1^\circ$. 这个结果相当于GRB 170817A的正轴各向同性光度 $L_{\text{iso,on}} = (2.1 \pm 0.7) \times 10^{49} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 比典型的短暴少2-3个数量级. GRB 060614的 $L_{\text{iso,on}} = (5.12 \pm 1.91) \times 10^{51} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 与典型短暴相当. 这意味着GRB 060614可能属于短暴类型, 而GRB 170817A可能本质上就是一个弱暴.

关键词 伽马射线暴, 黑洞, 中子星, 引力波

中图分类号: P145; **文献标识码:** A

1 引言

伽马射线暴(Gamma-Ray Burst, GRB)是来自宇宙空间的伽马射线在短时间内忽然增强的极端高能爆发现象. 经典的GRB分类是根据GRB持续时间 T_{90} (T_{90} 指光子数累积计数5%–95%)的分布结构, 把GRB分为长暴($T_{90} > 2 \text{ s}$)和短暴($T_{90} < 2 \text{ s}$)两种类型^[1]. 目前普遍认为长暴起源于大质量恒星的引力塌缩^[2], 而短暴可能来源于致密星(双中子星或者中子星与黑洞)双星系统的并合^[3].

目前为止, 对于长暴的起源已经获得了强有力的证据(仅对于瞬时辐射的具体机制还有些问题需要澄清). 但是, 在2017年8月之前还没有直接的证据证明短暴起源于双致密星的并合. 引力波辐射被探测之前, 人们对于伽马暴双致密星并合起源的主要证据是一种独特的紫外-光学-近红外暂现源辐射的探测, 即: 所谓的Li-Paczynski巨新星(也称千新星)的探测^[4–6]. 双星并合过程中几乎各向同性的抛射物富含中子, 因此会产生大量不稳定的放射性元素, 这些元素在衰变过程中将产生类似超新星过程的辐射, 辐射的峰值光度为普通新星的1000倍, 因此被称为“千新星”^[4–7].

2019-07-03收到原稿, 2019-08-23收到修改稿

*国家自然科学基金项目(U1231101)资助

[†]yqlin@xmut.edu.cn

2017年8月17日, 激光干涉引力波天文台(Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory, LIGO)首次探测到来自双中子星并合的引力波GW170817^[8]. 与GW170817成协的短暴GRB 170817A也在1.74 s后被Fermi卫星上的伽马射线暴探测器(GBM)探测到^[9]. 此后的光学、紫外、近红外的多波段后续观测确认了短暴GRB 170817A起源于双中子星的并合. 短暴GRB 170817A的各向同性能量 E_{iso} 约为 4×10^{46} erg, 比典型伽马短暴的 E_{iso} (约 10^{50} erg)低3–4个量级. 根据传统的观点, 如果伽马暴的辐射起源于相对论喷流, 这么低的能量说明观测的视线方向可能是偏离喷流轴方向的. 理论上, 观测到偏轴喷流的概率也要比正轴大. GRB 170817A在静止系中的峰值能量 $E_{\text{p},i}$ ($E_{\text{p},i} = E_{\text{p}}(1+z)$, 其中 E_{p} 为观测系中的数值, z 为红移)和 E_{iso} 之间的关系($E_{\text{p},i} - E_{\text{iso}}$ 关系)不满足Amati关系^[10], 也表明GRB 170817A可能是偏轴观测^[11]. 早期的低流量X射线和随后的光学余辉也支持GRB 170817A的瞬时辐射起源于偏轴喷流^[12]. 但是, 由于各种观测事实, 这个观测角很难确定. 引力波的拟合参数表明观测角小于 28° ^[8]. Swift观测卫星和新一代轨道望远镜NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array)的观测表明观测角为 $\sim 30^\circ$ ^[13]. Wu等人的分析表明观测角为 30_{-4}^{+7} ^[14]. 深度Chandra观测的限制表明观测角大于 23° ^[15]. 对X射线和射电观测数据的余辉偏轴喷流模型的拟合表明观测角 $\sim 16^\circ - 26^\circ$ ^[16]. 根据双中子星并合后1.4–44 d, ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)和GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope)分别在338.5 GHz和1.4 GHz波段的监测, Kim等人认为观测角可能为 $\sim 41^\circ$ 或 $\sim 17^\circ$ ^[17]. Zou等人根据 $E_{\text{p},i} - E_{\text{iso}}$ 和 $\Gamma - E_{\text{iso}}$ 之间的关系估算观测角为 $10.3_{-1.5}^{+1.8}$ ^[18].

GRB 170817A由于跟引力波GW170817成协引起了天文研究者的极大关注. 而GRB 060614也是一个非常特殊的暴, 它的观测结果对传统的伽马暴分类方法提出重大挑战. GRB 060614的持续时间 $T_{90} = 102$ s, 红移 $z = 0.125$ ^[19], 如果据经典的伽马暴分类方法, GRB 060614毫无疑问应该被认为是长暴. 但是, GRB 060614的两个性质使得它更像一个短暴. 首先, 没有证据表明GRB 060614与超新星成协, 不符合长暴的塌缩星模型^[20–21]; 其次, GRB 060614的一些观测性质、特征都跟典型短暴相似(如它的时间延迟和峰值光度落入短暴的范围, 宿主星系的性质也与其他长暴不一样)^[19]. Lu等人在2008年提出一种新的模型来解释特殊的暴GRB 060614, 这种模型既不同于短暴的双星并合模型, 也不同于长暴的塌缩星模型. 他们认为GRB 060614可能产生于一个中等质量黑洞对恒星的潮汐破坏^[22]. 因此认为伽马暴GRB 060614不应该仅仅根据暴本身的持续时间定义为长暴, 而应该根据暴的余辉、宿主星系以及产生机制等把它定义为一种新的类型—长的短暴^[23].

这里我们用 $E_{\text{p},i}$ 与各向同性光度 L_{iso} 之间的关系式($E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$)以及洛伦兹因子 Γ 与 L_{iso} 之间的关系式($\Gamma - L_{\text{iso}}$)估算短暴GRB 170817A和长短暴GRB 060614的洛伦兹因子 Γ 和观测角与喷流边缘的夹角 θ'_{obs} , 从而估算正轴时它们的 $E_{\text{p},i}$ 和 L_{iso} , 并对两个结果进行比较.

2 关系分析

伽马暴能谱 νf_ν (ν 和 f_ν 分别表示频率和流量密度)的峰值能量 E_{p} 是伽马暴一个很

重要的物理量, 它与一些观测量(如: 流量、光度或各向同性能量)之间存在着相关性. 如: 2002年Amati等人发现各向同性能量 E_{iso} 和 $E_{\text{p},i}$ 之间存在紧密的联系^[10]. 2004年, Yonetoku等人用已知红移的数据得出 $E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$ 之间存在着更紧密的关系^[24]. 但是, 由于具有红移的短暴数据样本缺乏, 他们也没有专门针对短暴的 $E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$ 关系进行分析. 2012年, Zhang等人收集了2005年5月至2009年6月的短暴数据, 拟合了这些短暴的 $E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$ 关系^[25]. 这里我们收集了2017年5月之前具有 $E_{\text{p},i}$ 和 L_{iso} 数据的短暴, 再次检验 $E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$ 之间的相关性, 并且得出它们的拟合参数.

由于短暴的红移很难获得, 相对长暴而言, 短暴的数据非常有限. 还有些短暴尽管有测得红移数据, 但是它们的谱是单幂律指数谱, 我们没办法获得它们的 E_{p} . 我们收集具有红移测量, 并且能够得到 E_{p} 和 L_{iso} 数据的短暴, 共23个, 它们的观测数据如表1所示^[26]. 这些短暴的 E_{p} 和 L_{iso} 的平均值分别是: $E_{\text{p}} = 693 \text{ keV}$, $L_{\text{iso}} = 2.82 \times 10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$.

根据表1的数据, 我们得到短暴 $E_{\text{p},i}$ 和 L_{iso} 的关系如图1所示. 考虑这两个变量的中心值, 对它们进行线性拟合得到 $E_{\text{p},i} - L_{\text{iso}}$ 关系式以及相关参数:

$$\lg E_{\text{p},i} = C_1 + C_2 \lg L_{\text{iso},52}, \quad (1)$$

其中 $C_1 = 2.97 \pm 0.09$, $C_2 = 0.26 \pm 0.1$, $E_{\text{p},i}$ 的单位为keV, $L_{\text{iso},52} = L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$, 线性拟合结果如图1实线所示.

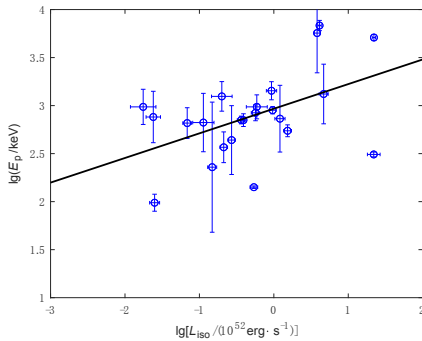


图1 $\lg E_{\text{p},i}$ 和 $\lg L_{\text{iso}}$ 的散点关系图, 实线为用中心值的拟合直线

Fig. 1 The scatter plot for $\lg E_{\text{p},i}$ and $\lg L_{\text{iso}}$, the solid line is linear fit with the central values

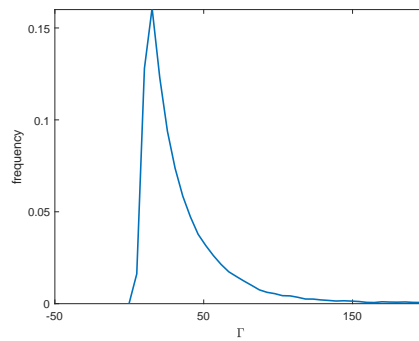


图2 GRB 170817A的洛伦兹因子 Γ 的分布图

Fig. 2 The distribution of the Lorentz factor Γ for GRB 170817A

3 理论模型分析

另外, 洛伦兹因子 Γ 也是理解伽马暴物理的一个重要参数, 它与伽马暴的一些观测量, 例如 E_{p} 、 E_{iso} 和 L_{iso} 之间存在相关性. Lü等人于2012年得到初始洛伦兹因子 Γ 和 L_{iso} 之间的关系式^[27]:

$$\lg \Gamma = C_3 + C_4 \lg L_{\text{iso},52}, \quad (2)$$

其中 $C_3 = 2.40 \pm 0.002$, $C_4 = 0.3 \pm 0.002$.

表 1 我们样本中短暴的观测数据
Table 1 The observational data of the short GRBs in our sample

GRB	T_{90}/s	z	$L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	E_p/keV
170428A	0.2	0.454	0.93 ± 0.16	982_{-245}^{+238}
160821B	0.48	0.16	0.03 ± 0.004	84 ± 19
160624A	0.2	0.483	0.20 ± 0.08	841 ± 358
130603B	0.18	0.356	0.96 ± 0.10	660 ± 60
111117A	0.576	1.31	0.59 ± 0.23	420 ± 140
101219A	0.86	0.718	0.57 ± 0.08	490_{-79}^{+103}
100625A	0.192	0.452	0.39 ± 0.02	486 ± 80
100206A	0.128	0.408	0.36 ± 0.05	502.8 ± 48.9
100117A	0.51	0.915	1.53 ± 0.20	285.5 ± 43.6
090927	0.512	1.37	0.54 ± 0.07	59.67 ± 1.81
090510A	0.96	0.903	4.11 ± 0.22	3583_{-433}^{+468}
090227B	1.28	1.61	22.11 ± 1.17	1960_{-130}^{+150}
081024B	0.64	3.05	3.81 ± 0.34	1405_{-1067}^{+2237}
080905A	0.96	0.122	0.07 ± 0.01	586_{-110}^{+261}
070729	1	0.8	0.11 ± 0.04	370_{-145}^{+375}
070429B	0.32	0.904	0.15 ± 0.02	120_{-40}^{+451}
061217	0.35	0.827	1.21 ± 0.21	400_{-157}^{+490}
061210A	0.1	0.409	0.02 ± 0.006	540_{-187}^{+460}
061201	0.86	0.111	0.02 ± 0.009	873_{-284}^{+458}
060801A	0.7	1.13	4.67 ± 0.70	620_{-206}^{+647}
060502B	0.16	0.287	0.27 ± 0.03	340_{-115}^{+436}
051221A	1.24	0.547	0.21 ± 0.03	238_{-49}^{+106}
000926	1.3	2.07	22 ± 4.77	101 ± 6

考虑一个均匀且有陡变边缘模型的偏轴喷流, 正轴和偏轴时 E_p 之间的关系以及正轴和偏轴时 L_{iso} 之间的关系分别为^[28]:

$$\begin{cases} E_{p,\text{off}} &= a^{-1} E_{p,\text{on}} \\ L_{\text{iso},\text{off}} &= a^{-4} L_{\text{iso},\text{on}} \end{cases}, \quad (3)$$

其中 $L_{\text{iso},\text{off}}$ 表示偏轴的各向同性光度, $E_{p,\text{off}}$ 表示偏轴的峰值能量, $L_{\text{iso},\text{on}}$ 表示正轴的各向同性光度, $E_{p,\text{on}}$ 表示正轴的峰值能量. 设中心引擎出来的喷流的半张角为 θ_j , θ_{obs} 为视线与喷流轴间的夹角, $\theta'_{\text{obs}} = \theta_{\text{obs}} - \theta_j$. 则当洛伦兹因子 $\Gamma \gg 1$, 且 $\theta'_{\text{obs}} \ll 1^\circ$ 时,

$$a = \frac{1 - \beta \cos \theta'_{\text{obs}}}{1 - \beta} \simeq 1 + (\Gamma \theta'_{\text{obs}})^2, \quad (4)$$

$\beta = \sqrt{1 - 1/\Gamma^2}$. 我们分别用观测的各向同性光度 $L_{\text{iso,obs}}$ 和峰值能量 $E_{\text{p,obs}}$ 表示 $L_{\text{iso,off}}$ 和 $E_{\text{p,off}}$, 根据(1)–(3)式得到:

$$\lg \Gamma = C_3 + \frac{C_4}{1 - 4C_2} (4C_1 - 4 \lg E_{\text{p,obs}} + \lg L_{\text{iso,obs}}), \quad (5)$$

$$\lg a = \frac{1}{1 - 4C_2} (C_1 - \lg E_{\text{p,obs}} + C_2 \lg L_{\text{iso,obs}}), \quad (6)$$

这样, 我们就可以在已知伽马暴 L_{iso} 和 E_{p} 的情况下, 根据(5)式和(6)式计算出洛伦兹因子 Γ 和 a , 再代入(4)式计算出观测角与喷流边缘角之间的夹角 θ'_{obs} .

4 数值结果

GRB 170817A的 $E_{\text{p,obs}}$ 和 $L_{\text{iso,obs}}$ 分别为 (215 ± 54) keV^[9]和 $(1.6 \pm 0.1) \times 10^{47}$ erg \cdot s⁻¹^[29]. 根据(5)式和(6)式, 对系数 C_1, C_2, C_3, C_4 , 根据它们的中心值和误差, 按照高斯分布选取一系列数值, 得到一系列的洛伦兹因子和观测角与喷流边缘的夹角, 做出它们的分布图如图2和3所示. 得到GRB 170817A的洛伦兹因子 $\Gamma = 45 \pm 27$, $a = 3.4 \pm 0.3$, 代入(4)式计算得 $\theta'_{\text{obs}} = 2.2 \pm 0.5^\circ$. 由 a 的数值以及关系(3)式, 得到正轴观测时, GRB 170817A的 $E_{\text{p,on}}$ 大约为 (706 ± 183) keV, 与表1中短暴的 E_{p} 平均值接近, $L_{\text{iso,on}} = (2.1 \pm 0.7) \times 10^{49}$ erg \cdot s⁻¹, 比其它短暴的 $L_{\text{iso,on}}$ 要低2–3个数量级.

短暴来源于双致密星并合的几个间接证据, 包括椭圆星系中短暴的位置、是否与超新星成协、大的星系偏移、短暴与所在星系中的恒星形成区域具有弱空间相关性等. 将GRB 060614的观测数据与Li-Paczynski巨新星理论进行对比, 发现GRB 060614不同于根据持续时间 T_{90} 来区分的长暴. 因此我们在这里计算GRB 060614的洛伦兹因子并且与GRB 170817A的结果进行比较. GRB 060614的 $E_{\text{p,obs}}$ 和 $L_{\text{iso,obs}}$ 分别为 $280_{-58.67}^{+168.7}$ keV和 $(1.99 \pm 0.7) \times 10^{49}$ erg \cdot s⁻¹^[26]. 我们同样用 $L_{\text{iso,obs}}$ 和 $E_{\text{p,obs}}$ 表示 $L_{\text{iso,off}}$ 和 $E_{\text{p,off}}$, 求解(5)式和(6)式, 得到洛伦兹因子 $\Gamma = 214 \pm 93$, 再根据(4)式计算出观测角和喷流边缘角之间的夹角 $\theta'_{\text{obs}} = 0.5 \pm 0.1^\circ$, 我们在表2中列出短暴GRB 170817A和长短暴GRB 060614的计算结果.

表2 GRB 060614和GRB 170817A的计算结果

Table 2 The results of GRB 060614 and GRB 170817A				
GRB	$L_{\text{iso}}/(10^{49} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	E_{p}/keV	Γ	$\theta'_{\text{obs}}/^\circ$
060614	1.99 ± 0.7	$280_{-58.67}^{+168.7}$	214 ± 93	0.5 ± 0.1
170817A	0.016 ± 0.001	215 ± 54	45 ± 27	2.2 ± 0.5

我们也可以得到GRB 060614的 $a = 4.1 \pm 0.01$, 根据 a 的数值以及偏轴和正轴观测的关系(3)式, 我们得到正轴观测时, GRB 060614的 $E_{\text{p,on}}$ 大约为 (913 ± 341) keV, $L_{\text{iso,on}} = (5.12 \pm 1.91) \times 10^{51}$ erg \cdot s⁻¹, 与GRB 170817A相差2个数量级, 是表1中短暴 L_{iso} 平均值的1/4.

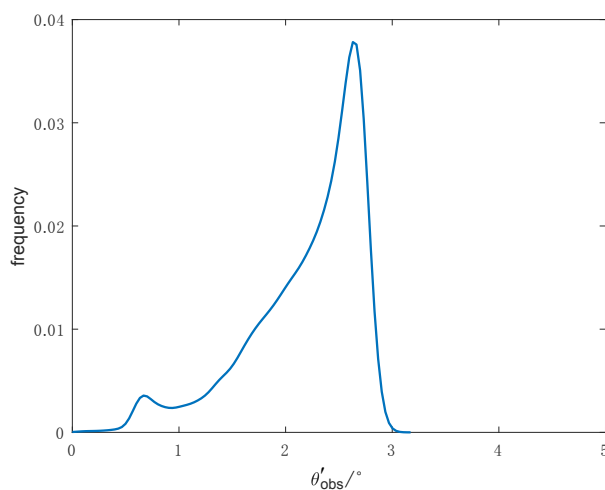


图 3 GRB 170817A 的观测角与喷流边缘角之间的夹角 θ'_{obs} 的分布

Fig. 3 The distribution of the angle θ'_{obs} between off-viewing angle to the edge of the jet for GRB 170817A

5 结论和讨论

截止目前, LIGO 实验组已经通过两轮的科学运行实现了两项重大突破. 2015年9月14日首次直接探测到由两颗恒星级黑洞并合产生的引力波GW150914, 是人类科技史上具有里程碑意义的一次重大发现^[30]. 但是, 通常人们认为双黑洞并合没有喷射物, 因此无法产生丰富的电磁辐射现象, 人们期待着观测到双中子星或者黑洞-中子星的并合事件. 2017年8月17日, LIGO-VIRGO 合作组第1次探测到双中子星并合引力波事件GW170817^[8], 并且世界上数十家机构协同合作, 在多个电磁波段探测到它的电磁对应体, 宣示了引力波-电磁波联合天文学时代的到来! 天体物理学家通过对 GRB 170817A 和 GW170817 中心引擎以及瞬时辐射、余辉进行的密集观测, 获得了大量的数据, 证实了短伽马暴 GRB 170817A 来源于双中子星并合过程, 并且在双中子星并合过程中可以产生千新星.

我们可以看到, 虽然恒星物理是天体物理研究中相对成熟的研究方向, 但我们对双星演化形成致密双星系统过程的认识仍然存在很大的局限性. GW170817 电磁对应体的观测给我们带来一些意料之外的惊喜. 比如 GW170817 的电磁对应体 GRB 170817A 的光度非常小, 比正常的短伽马暴低 2-3 个数量级, 这是否意味着 GRB 170817A 是一个特殊的短伽马暴? 上面的计算得到正轴观测时, 伽马暴 GRB 170817A 的 $L_{\text{iso,on}} = (2.1 \pm 0.7) \times 10^{49} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 比短暴的 L_{iso} 要低 2-3 个数量级, 而作为具有千新星探测的伽马暴 GRB 060614 $L_{\text{iso,on}} = (5.12 \pm 1.91) \times 10^{51} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 比 GRB 170817A 的 L_{iso} 大 2 个数量级, 跟典型短暴的 L_{iso} 接近. 这意味着短暴 GRB 170817A 可能本质上是一个弱暴.

现在普遍认为, 短暴来源于双致密星的并合(如中子星与黑洞、中子星和中子星). 双星并合后产物分成“中心天体”和“并合抛射物”两个部分, 而伽马暴的能量可能来源于吸积盘的物质被中心天体吸积时所释放的引力能. 中子星与黑洞并合以及双中子星

的并合两种情况下产生的短GRB可能是不同的^[31]. Yu等人2018年对Swift/BAT (Burst Alert Telescope)观测的51个短暴进行统计,认为具有延展性辐射的短暴来自于双中子星的并合,而没有延展性辐射的短暴来源于中子星和黑洞的并合^[31]. 最常见的恒星级黑洞可能具有几十个太阳质量,而中子星的质量一般认为不超过3个太阳质量. 我们有理由相信更大质量的黑洞-中子星并合跟更强的伽马暴相联系,而双中子星并合产生弱暴,即:可能双中子星并合会产生一个弱短暴,而黑洞-中子星并合产生强短暴. 所以双中子星并合产生的GRB 170817A是一个弱短暴,至于它的中心残存天体到底是黑洞还是中子星依然不确定.

不过,虽然普遍认为短暴GRB 170817A来源于双中子星的并合,但是严格地说不能排除小黑洞和中子星的并合起源. 而事实上,一个中子星质量的黑洞可能存在于相对论双星系统,这样的双星可以来自于原初黑洞与中子星的碰撞^[32]. 如果是这种情况,双星并合后产生的毫无疑问就是黑洞. 将来更精确的地面引力波探测器,如升级的LIGO,将可以大幅提升并合事件的探测率. 而空间探测器,如天琴^[33],将可能探测到并合之前的引力波信号. 这将有助于揭开短暴的起源通道问题以及并合后产物的问题,为恒星演化理论提供重要的一块拼图.

致谢 感谢华中科技大学邹远川教授的讨论,感谢廖斌在程序上的帮助.

参考文献

- [1] Kouveliotou C, Meegan C A, Fishman G J, et al. *ApJ*, 1993, 413: L101
- [2] Woosley S E, Bloom J S. *ARA&A*, 2006, 44: 507
- [3] Narayan R, Paczyński B, Piran T. *ApJ*, 1992, 395: L83
- [4] Kasen D, Badnell N R, Barnes J. *ApJ*, 2013, 774: 25
- [5] Li L X, Paczyński B. *ApJ*, 1998, 507: L59
- [6] Tanvir N R, Levan A J, Fruchter A S, et al. *Nature*, 2013, 500: 547
- [7] 耿金军, 肖笛, 王善钦, 等. *中国科学: 物理学力学天文学*, 2018, 48: 079802
- [8] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et al. *PhRvL*, 2017, 119: 161101
- [9] Goldstein A, Veres P, Burns E, et al. *ApJ*, 2017, 848: L14
- [10] Amati L, Frontera F, Tavani M, et al. *A&A*, 2002, 390: 81
- [11] Pozanenko A S, Barkov M V, Minaev P Y, et al. *ApJ*, 2018, 852: L30
- [12] Kasliwal M, Nakar E, Singer L P, et al. *Science*, 2017, 358: 1559
- [13] Evans P A, Cenko S B, Kennea J A, et al. *Science*, 2017, 358: 1565
- [14] Wu Y Y, MacFadyen A. *ApJ*, 2019, 880: L23
- [15] Haggard D, Nynka M, Ruan J J, et al. *ApJ*, 2017, 848: L25
- [16] Granot J, Gill R, Guetta D, et al. *MNRAS*, 2018, 481: 1597
- [17] Kim S, Schulze S, Resmi L, et al. *ApJ*, 2017, 850: L21
- [18] Zou Y C, Wang F F, Moharana R, et al. *ApJ*, 2018, 852: L1
- [19] Gehrels N, Norris J P, Barthelmy S D, et al. *Nature*, 2006, 444: 1044
- [20] Galama T J, Vreeswijk P M, van Paradijs J, et al. *Nature*, 1998, 395: 670
- [21] Gal-Yam A, Fox D B, Price P A, et al. *Nature*, 2006, 444: 1053
- [22] Lu Y, Huang Y F, Zhang S N. *ApJ*, 2008, 684: 1330
- [23] Jin Z P, Yan T, Fan Y Z, et al. *ApJ*, 2007, 656: L57
- [24] Yonetoku D, Murakami T, Nakamura T, et al. *ApJ*, 2004, 609: 935
- [25] Zhang Z B, Chen D Y, Huang Y F. *ApJ*, 2012, 755: 55

- [26] Wang F F, Zou Y C, Liu F X, et al. arXiv:1902.05489
- [27] Lü J, Zou Y C, Lei W H, et al. ApJ, 2012, 751: 49
- [28] Rybicki G B, Lightman A P. Radiative Processes in Astrophysics. New York: Wiley-Interscience, 1979
- [29] Zhang B B, Zhang B, Sun H, et al. NatCo, 2018, 9: 447
- [30] Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et al. PhRvL, 2016, 116: 061102
- [31] Yu Y B, Li L B, Li B, et al. arXiv:1803.10040
- [32] Abramowicz M A, Bejger M, Wielgus M. ApJ, 2018, 868: 17
- [33] Luo J, Chen L S, Duan H Z, et al. CQGra, 2016, 33: 035010

The Lorentz Factor and Viewing Angle of GRB 170817A

LIN Yi-qing^{1,2}

(1 School of Opto-electronic and Communication Engineering, Xiamen University of Technology,
Xiamen 361024)

(2 Fujian Provincial Key Laboratory of Optoelectronic Technology, Xiamen 361024)

ABSTRACT Gamma-ray burst (GRB) 170817A, accompanied by the gravitational wave event GW170817, provides the first direct evidence for a link between a neutron star binary merger and a short duration GRB. GRB 170817A has an extremely weak luminosity, suggesting the jet may be off-axis to the line of sight. The relations between the peak energy $E_{p,i}$ and isotropic luminosity L_{iso} , and between the Lorentz factor Γ and L_{iso} are used to determine the viewing angle θ'_{obs} and the Lorentz factor Γ of short GRB 170817A and long short GRB 060614. The results show that, for GRB 170817A $\Gamma = 45 \pm 27$, and $\theta'_{obs} = 2.2 \pm 0.5^\circ$, for GRB 060614 $\Gamma = 214 \pm 93$, and $\theta'_{obs} = 0.5 \pm 0.1^\circ$. This corresponds to the on-axis isotropic luminosity of GRB 170817A $L_{iso,on} = (2.1 \pm 0.7) \times 10^{49} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, two or three orders of magnitude less than the typical short GRBs. And the on-axis isotropic luminosity of GRB 060614 is $L_{iso,on} = (5.12 \pm 1.91) \times 10^{51} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, comparable to the isotropic luminosity of the typical short GRBs. It suggests that GRB 060614 may belong to the type of short GRBs, and GRB 170817A may be an intrinsically weak short GRBs.

Key words Gamma-Ray Burst (GRB), black holes, neutron star, gravitational wave