

共动系中伽玛暴峰值能量的分布及其与光度的关系*

林一清^{1,2†} 程再军^{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 伽玛暴 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 是伽玛暴的一个很重要的观测物理量, 观测系中伽玛暴 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 分布很宽. 根据各向同性光度 L_{iso} 、初始洛伦兹因子 Γ_0 和暴源系中峰值能量 $E_{p,z}$ 之间的关系式估算伽玛暴的初始洛伦兹因子 Γ_0 , 再把伽玛暴 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 和光度 L_{iso} 修正到共动坐标系, 发现共动系中峰值能量的分布还是很宽. 这意味着观测系中 E_p 的宽分布可能是伽玛暴的真实物理分布. 检验了共动坐标系中光度和峰值能量之间的关系, 发现它们之间仍然存在相关性. 最后, 进一步对伽玛暴的辐射物理进行限制, 认为共动坐标系中峰值能量分布很宽可能是由于辐射电子的洛伦兹因子 γ_e 分布很宽.

关键词 伽玛射线暴, 峰值能量, 方法: 统计

中图分类号: P145; **文献标识码:** A

1 引言

伽玛射线暴(Gamma-Ray Bursts, 简称伽玛暴、GRBs)是一种恒星级、来自于宇宙学距离的伽玛波段流量急剧增加又急剧衰减的现象. 自伽玛暴被发现以来, 一直吸引着天文学、宇宙学、物理学等领域的科学家们的兴趣.

伽玛暴能谱的研究对理解伽玛暴的本质非常重要. 对伽玛暴谱成分的解释及其谱随时间的演化可以反映伽玛暴能量的大小和爆发源区域的粒子加速与分布等辐射区域的一些基本物理信息, 为伽玛暴辐射机制的研究提供了重要的线索^[1].

伽玛暴的能谱大部分是非热连续谱, 部分暴的高能端可以一直延伸到千兆电子伏(GeV), 且没有明显的截止, 称为高能尾巴^[2-4]. 大部分伽玛暴的能谱可以由Band函数给出一个很好的唯象的拟合^[5], 它实际上是在拐折能量处平滑连接起来的两段幂律谱. 伽玛暴的非热谱表明辐射源是光学薄的, 一般认为是由幂律分布的相对论电子的同步辐射或逆康普顿过程产生的^[6-7].

伽玛暴 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 是伽玛暴的一个很重要的观测物理量, 它与一些观测(如: 流量、光度和各向同性能)之间的相关性可以作为理解伽玛暴物理的一个

2016-10-21收到原稿, 2017-01-23收到修改稿

*国家自然科学基金项目(61504113)资助

[†]yqlin@xmut.edu.cn

重要线索. Amati等人2002年发现峰值能量 E_p 与各向同性性能 E_{iso} 之间存在紧密的相关性^[8]; Wei等人2003年发现峰值能量 E_p 与各向同性光度 L_{iso} 之间的关系^[9]; 其后, Liang等人2004年在一些伽玛暴内对峰值能量 E_p 和流量的关系进行了验证^[10]. 另外, 初始洛伦兹因子 Γ_0 也是理解伽玛暴物理的一个重要参数. 理论上说, 暴源系中的峰值能量 $E_{p,z} = E_p(1+z)$ 不仅仅依赖于各向同性光度 L_{iso} , 也依赖于外流初始的洛伦兹因子 Γ_0 . 目前, 伽玛暴一些多变量之间的联系已经被找到, 而这些关系对于理解伽玛暴的物理机制非常有用^[11–12].

到目前为止, 比较完整的伽玛暴谱性质主要由2004年发射的Swift卫星和2008年发射的费米空间望远镜(Fermi Gamma-Ray Space Telescope, 简称Fermi)观测得到. 这两个观测卫星具有不同的观测能段、不一样的灵敏度, 得到不一样的观测数据^[13–14]. 但是对它们暴样本的数据分析发现, 它们观测到的伽玛暴 E_p 分布没有本质不同, E_p 分布都很宽, 大约从几个keV到MeV^[15]. 那么, 这个分布是伽玛暴的真实物理分布, 还是由于多普勒放大作用造成的? 本文通过初始洛伦兹因子 Γ_0 、各向同性光度 L_{iso} 和暴源系中的峰值能量 $E_{p,z}$ 之间的经验关系式得到伽玛暴的 Γ_0 , 然后根据 $E'_p = E_{p,z}/\Gamma_0$ 和 $L'_{\text{iso}} = L_{\text{iso}}/\Gamma_0^2$ 把观测到的 E_p 和各向同性光度 L_{iso} 修正到共动坐标系, 分析伽玛暴的 E_p 在共动系中的分布及其与光度在共动系中的关系. 2012年Ghirlanda等人研究了共动系中的伽玛暴, 分析了共动系中峰值能量的分布^[16]. 但是他们的样本来自于不同的观测卫星(他们的暴样本由Swift定位, 但是只有一小部分的峰值能量 E_p 由Swift/BAT观测, 大部分的峰值能量 E_p 是由Konus-Wind卫星观测, 2008年6月以后由Fermi卫星观测), 并且他们只有31个暴可以估算出初始洛伦兹因子. 跟他们相比, 我们利用了更大更新的数据样本, 同时, 我们只选取Fermi卫星观测的数据样本, 具有一致性.

2 样本

虽然Swift和Fermi都得到比较完整的伽玛暴谱性质, 但是宽波段的观测才是揭示Band函数性质的关键, 而Swift/BAT的观测能段比较窄(15–150 keV), BAT观测到的只是伽玛暴谱中很小的一部分, 绝大部分伽玛暴的 E_p 超过了BAT的观测范围. 所以我们选择了Fermi暴做为统计 E_p 分布的样本. Fermi卫星包含两个仪器: 大面积望远镜(Large Area Telescope, 简称LAT)具有较宽视场, 可观测到高能段伽玛射线, 覆盖能段从大约20 MeV到超过300 GeV^[17]; GRB监测器(Gamma-Ray Burst Monitor, 简称GBM)专门为GRBs的研究而设计, 可以做全天空的巡天, 能段范围从8 keV到40 MeV^[18]. Fermi卫星扩展了伽玛暴观测的能段范围, 能比较完整地记录伽玛暴辐射能谱, 更好地揭示了伽玛暴谱的成分及其演化. 目前, GBM是研究GRB在keV至MeV能量波段内辐射最好的仪器, 而这个波段是GRB瞬时辐射最集中的能段. 我们分析了从2008年6月Fermi卫星发射到2016年12月Fermi/GBM观测到的已知红移的GRB数据. 由于GBM的定位比较差, 所以已知红移的GBM暴的样本很少, 只有98个暴. 我们提取在暴持续时间内这些Fermi/GBM暴的时间演化谱, 导出 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 和相应的光度 L_{iso} . 再根据多变量(各向同性光度 L_{iso} 、初始洛伦兹因子 Γ_0 和暴源系中峰值能量 $E_{p,z}$)之间的关系式^[19]:

$$\lg \Gamma_0 = (3.33 \pm 0.38) + (0.46 \pm 0.07) \times \lg L_{\text{iso},52} - (0.43 \pm 0.15) \times \lg E_{p,z}, \quad (1)$$

计算得到这些伽玛暴的 Γ_0 , $L_{\text{iso},52}$ 表示 $L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$, 最后把峰值能量 E_p 和各向同性光度 L_{iso} 修正到共动坐标系, 在表1中列出, 其中有些暴的名称, 如GRB 090510s中的“s”表示的是短暴.

表 1 我们样本中Fermi/GBM暴的观测数据和伽玛暴的初始洛伦兹因子
Table 1 Observational data and the initial Lorentz factor of Fermi/GBM bursts of the GRBs in our sample

GRB	α^a	β^a	z	E_p/keV	$L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	Γ_0
080810	-0.91 ± 0.12		3.35	313.5 ± 73.6	1.45 ± 0.11	113.88
080916A	-0.9 ± 0.1		0.689	109 ± 9	0.07 ± 0.02	65.34
080916C	-0.91 ± 0.02	-2.08 ± 0.06	4.35	424 ± 24	31.44 ± 0.00	376.57
081007	-1.4 ± 0.4		0.5295	40 ± 10	0.028 ± 0.002	69.84
081109	-1.28 ± 0.09		0.9787	240 ± 60	0.020 ± 0.001	24.79
081221	-0.42 ± 0.03	-2.91 ± 0.08	2.26	77 ± 1	4.79 ± 0.13	408.22
081222	-0.55 ± 0.07	-2.1 ± 0.06	2.77	134 ± 9	4.79 ± 0.28	302.26
090323	-0.89 ± 0.03		3.57	697 ± 51	10.57 ± 0.11	197.12
090328	-0.93 ± 0.02	-2.2 ± 0.1	0.736	653 ± 45	0.44 ± 0.01	71.11
090423	-0.77 ± 0.35		8.26	82 ± 15	10.11 ± 2.76	357.84
090424	-0.9 ± 0.02	-2.9 ± 0.1	0.544	177 ± 3	0.150 ± 0.003	80.01
090510s	-0.8 ± 0.03	-2.6 ± 0.3	0.903	4400 ± 400	24.87 ± 1.66	192.81
090516	-1.51 ± 0.11		4.109	$185.6^{+98.4}_{-42.5}$	2.29 ± 0.50	164.14
090618	$-1.26^{+0.06}_{-0.02}$	$-2.5^{+0.15}_{-0.33}$	0.54	$155.5^{+11.1}_{-10.5}$	0.36 ± 0.01	126.8
090902B	-0.7 ± 0.01	$-3.85^{+0.21}_{-0.31}$	1.822	775 ± 11	43.31 ± 0.35	443.29
090926A	-0.75 ± 0.01	$-2.59^{+0.04}_{-0.05}$	2.1062	314 ± 4	30.49 ± 0.84	533.8
090926B	-0.13 ± 0.06		1.24	91 ± 2	0.076 ± 0.003	66.47
091003A	-1.13 ± 0.01	-2.64 ± 0.24	0.8969	486.2 ± 23.6	1.00 ± 0.01	113.61
091020	-0.2 ± 0.4	-1.7 ± 0.02	1.71	47.9 ± 7.1	1.01 ± 0.20	264.77
091127	-1.27 ± 0.06	-2.2 ± 0.02	0.49	36 ± 2	0.357 ± 0.004	240.11
091208B	$-1.48^{+0.05}_{-0.05}$		1.063	$144.2^{+18}_{-13.9}$	0.29 ± 0.01	104.85
100117As	$-0.14^{+0.33}_{-0.27}$		0.92	287^{+74}_{-50}	0.64 ± 0.08	115.38
100206As	$-0.09^{+0.12}_{-0.11}$	$-2.35^{+0.24}_{-0.43}$	0.4068	439^{+73}_{-60}	0.70 ± 0.03	114.74
100414A	-0.58 ± 0.01		1.368	$627.6^{+12.5}_{-12.1}$	7.23 ± 0.11	229.74
100615A	$-1.24^{+0.08}_{-0.06}$	$-2.27^{+0.11}_{-0.12}$	1.398	$85.73^{+7.82}_{-9.33}$	0.36 ± 0.01	135.57
100625As	$-0.64^{+0.12}_{-0.11}$		0.452	$509.2^{+77.5}_{-61.5}$	0.35 ± 0.01	77.23
100728A	-0.75 ± 0.01	$-3.04^{+0.23}_{-0.57}$	1.567	$344.3^{+9.1}_{-7.9}$	1.26 ± 0.01	128.6

^a α 、 β 为谱指数.

表 1 续
Table 1 Continued

GRB	α	β	z	E_p/keV	$L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	Γ_0
100728B	-0.9 ± 0.1		2.106	131 ± 15	0.72 ± 0.03	138.89
100802A	$-1.17^{+0.21}_{-0.15}$		4	149^{+41}_{-96}	0.08 ± 0.01	39.57
100814A	$-0.64^{+0.14}_{-0.12}$	$-2.02^{+0.09}_{-0.12}$	1.44	$106.4^{+17.5}_{-20.2}$	0.22 ± 0.01	97
100816As	-0.31 ± 0.05	-2.77 ± 0.17	0.8049	136.7 ± 4.7	0.47 ± 0.02	141.84
100906A	$-1.34^{+0.08}_{-0.06}$	$-1.98^{+0.06}_{-0.07}$	1.727	$106^{+17.5}_{-20.2}$	0.73 ± 0.01	161.27
101219B	0.33 ± 0.36	-2.12 ± 0.12	0.55	70 ± 8	0.028 ± 0.002	55.25
101224As	$-0.83^{+0.38}_{-0.30}$		0.718	330^{+402}_{-150}	0.34 ± 0.07	85.62
110213A	-1.44 ± 0.05		1.46	$98.4^{+8.5}_{-6.9}$	0.37 ± 0.01	128.14
110731A	-0.8 ± 0.03	-2.98 ± 0.30	2.83	304 ± 13	4.60 ± 0.01	207.33
110818A	-1.33 ± 0.08		3.36	256.3 ± 55.3	0.98 ± 0.07	103.5
111107A	-1.38 ± 0.21		2.893	108 ± 32	0.47 ± 0.07	112.91
111228A	-1.9 ± 0.1	-2.7 ± 0.3	0.714	34 ± 3	0.07 ± 0.00	112.15
120119A	-0.98 ± 0.03	-2.36 ± 0.09	1.728	189.2 ± 8.3	0.407 ± 0.001	96.35
120326A	-0.98 ± 0.14	-2.53 ± 0.15	1.798	46.45 ± 3.67	0.15 ± 0.01	109.61
120624B	-0.85 ± 0.01	-2.36 ± 0.08	2.1974	566 ± 20	3.803 ± 0.004	157.06
120711A	-0.94 ± 0.01	-2.4 ± 0.04	1.405	973 ± 35	9.61 ± 0.01	215.43
120712A	-0.6 ± 0.2	-1.8 ± 0.02	4.1745	124 ± 26	7.07 ± 0.80	326.25
120716A	-0.48 ± 0.22	-2.19 ± 0.17	2.486	115 ± 19	0.403 ± 0.003	106.92
120907A	-0.75 ± 0.25		0.97	154.5 ± 32.90	0.024 ± 0.003	33.19
120909A	-1.3 ± 0.1		3.93	370 ± 140	3.42 ± 0.33	149.08
120922A	-1.6 ± 0.7	-2.3 ± 0.1	3.1	37.7 ± 3.5	0.37 ± 0.02	155.48
121128A	-0.8 ± 0.12	-2.41 ± 0.10	2.2	62.2 ± 4.6	2.06 ± 0.08	305.8
121211A	-0.3 ± 0.34		1.023	95.96 ± 12.60	0.002 ± 0.000	11.34
130215A	-1.0 ± 0.2	-1.60 ± 0.03	0.597	155 ± 63	0.113 ± 0.003	73.32
130420A	-1.00 ± 0.13		1.297	56 ± 3	0.121 ± 0.004	100.06
130427A	-0.789 ± 0.003	-3.0 ± 0.02	0.3399	830 ± 5	0.778 ± 0.001	93.32
130518A	-0.86 ± 0.01	-2.27 ± 0.04	2.488	396 ± 9	13.38 ± 0.09	314.72
130610A	-1.0 ± 0.1		2.092	294.9 ± 42.9	0.48 ± 0.03	81.38
130612A	-1.3 ± 0.3		2.006	61.9 ± 10.5	0.56 ± 0.06	172.51
130925A	-1.5 ± 0.05		0.347	107 ± 3	0.0001 ± 0.0000	2.96
131011A	-0.79 ± 0.08	-2.0 ± 0.1	1.874	220 ± 30	3.21 ± 0.01	228.48
131105A	-1.2 ± 0.1	-1.8 ± 0.1	1.686	203.9 ± 31.1	0.85 ± 0.03	131.61
131108A	-0.91 ± 0.02	-2.6 ± 0.1	2.4	373 ± 14	11.29 ± 0.12	301.86

表 1 续
Table 1 Continued

GRB	α	β	z	E_p/keV	$L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	Γ_0
131231A	-1.10 ± 0.01	-2.14 ± 0.01	0.642	146 ± 3	0.0212 ± 0.0001	34.41
140206A	-0.2 ± 0.1	-2.4 ± 0.1	1.98	120 ± 6	0.55 ± 0.01	129.62
140213A	-1.01 ± 0.03	-2.41 ± 0.04	1.2076	80 ± 2	0.37 ± 0.01	146.1
140304A	-1.1 ± 0.1		5.3	185 ± 35	5.70 ± 0.44	228.58
140423A	-0.25 ± 0.11	-1.97 ± 0.06	3.26	125 ± 9	2.72 ± 0.14	227.79
140506A	-0.9 ± 0.2	-2.0 ± 0.1	0.889	141 ± 36	0.020 ± 0.001	31.82
140508A	-1.07 ± 0.02	-2.38 ± 0.09	1.027	256.2 ± 11.8	1.08 ± 0.01	150.88
140512A	-1.33 ± 0.03		0.725	588 ± 84	8.93 ± 0.21	298.3
140606B	-1.22 ± 0.04		0.384	473 ± 82.6	0.025 ± 0.001	23.94
140620A	-1.1 ± 0.1		2.04	77 ± 5	0.43 ± 0.02	138.5
140623A	-1.46 ± 0.1		1.92	350^{+220}_{-100}	0.21 ± 0.02	53.04
140703A	-1.10 ± 0.06		3.14	177 ± 14	0.11 ± 0.01	45.14
140801A	-0.4 ± 0.04	-3.6 ± 0.4	1.32	122 ± 3	1.98 ± 0.02	258.44
140808A	-0.4 ± 0.1	-2.9 ± 0.3	3.29	115.2 ± 7.7	7.45 ± 0.47	373.91
140907A	-0.97 ± 0.08		1.21	113 ± 7	0.066 ± 0.002	57.08
141004A	-1.3 ± 0.1		0.573	147 ± 28	0.09 ± 0.01	67.38
141028A	-0.71 ± 0.03	-1.93 ± 0.03	2.33	249.9 ± 12.6	7.13 ± 0.02	292.9
141220A	-0.8 ± 0.05		1.3195	180 ± 9	0.81 ± 0.02	145.2
141221A	-1.07 ± 0.13		1.452	152.4 ± 28.3	0.14 ± 0.02	66.77
141225A	-0.35 ± 0.17	-2.0 ± 0.1	0.915	187 ± 29	0.11 ± 0.01	62.37
150301B	-1.1 ± 0.1	-2.0 ± 0.2	1.5169	180 ± 38	0.80 ± 0.04	139.02
150314A	-0.60 ± 0.01	-2.32 ± 0.04	1.758	311 ± 5	17.02 ± 0.08	431.39
150403A	-0.72 ± 0.02	-1.85 ± 0.03	2.06	311 ± 14	7.30 ± 0.06	279.42
150514A	-1.34 ± 0.07	-2.51 ± 0.17	0.807	73 ± 6	0.19 ± 0.01	122.75
150727A	-0.7 ± 0.1		0.313	149 ± 10	0.0031 ± 0.0001	15.42
150821A	-1.21 ± 0.01	-2.27 ± 0.10	0.755	322 ± 18	0.155 ± 0.002	59.53
151027A	-1.41 ± 0.04		0.81	340 ± 63	0.058 ± 0.003	36.51
151111A	0.0 ± 0.2		3.5	107 ± 8	0.321 ± 0.020	88.99
160509A	-0.89 ± 0.01	-2.11 ± 0.02	1.17	370 ± 7	0.502 ± 0.003	87.73
160624As	-0.4 ± 0.28		0.483	841 ± 358	0.35 ± 0.03	61.35
160625B	-0.74 ± 0.0	-2.36 ± 0.01	1.406	657 ± 5	2.143 ± 0.004	127.87
160629A	-1.05 ± 0.03		3.332	295.5 ± 19.3	3.24 ± 0.17	169.38
160804A	-1.1 ± 0.1		0.736	74 ± 3	0.03 ± 0.01	53.49

表 1 续
Table 1 Continued

GRB	α	β	z	E_p/keV	$L_{\text{iso}}/(10^{52} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1})$	Γ_0
160821Bs	-1.37 ± 0.22		0.16	84 ± 19	0.031 ± 0.003	60.07
161014A	-0.74 ± 0.09		2.823	167 ± 15	2.16 ± 0.12	189.34
161017A	-1.04 ± 0.09		2.013	298.5 ± 45	0.10 ± 0.01	40.52
161117A	-0.43 ± 0.07	-2.27 ± 0.04	1.549	68.04 ± 2.66	0.62 ± 0.01	187.01
161129A	-1.13 ± 0.06		0.645	197 ± 21	0.047 ± 0.002	43.68

3 E'_p 的分布及其和 L'_{iso} 的相关性

根据上述样本以及(1)式, 我们计算得到这些伽玛暴的初始洛伦兹因子 Γ_0 , 画出它们的分布. 并且对它用高斯函数进行拟合, 如图1所示, 图形右上角的数据表示高斯分布的标准差 σ 和等值半宽 w . 从图中可以看出这些伽玛暴初始洛伦兹因子 Γ_0 的分布符合高斯分布.

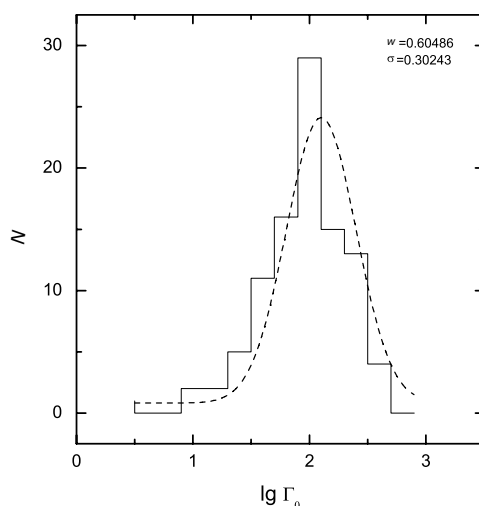


图 1 伽玛暴初始洛伦兹因子 Γ_0 的分布(实线), 虚线表示对图形进行高斯拟合的结果.

Fig. 1 The distribution of the initial Lorentz factor Γ_0 of GRBs (solid line), and a Gaussian fitting to the data (dashed line).

在图2中, 我们先画出观测系中峰值能量 E_p 的分布, 如图2右图所示, 从中可以看出这些暴的 E_p 分布很宽, 大约从10 keV到2 MeV, 集中在200 keV. 那么观测的 E_p 分布很宽, 到底是伽玛暴的真实物理分布, 还是由于多普勒放大造成的? 基于这样的考虑, 我们根据得到的伽玛暴的初始洛伦兹因子 Γ_0 , 由公式 $E'_p = E_{p,z}/\Gamma_0$ 把观测到的 E_p 修正到共动坐标系, 并做出它们的分布, 如图2左图所示. 从图2左图可以看到共动系中峰值能量的分布大约从几百eV到几十keV. 为了更客观地体现两个分布的宽窄程度, 我们在图2中对两个分布进行高斯拟合, 用虚线表示. 高斯分布的标准差 σ 和等值半宽 w (如图形的右上角)

表明了共动系中峰值能量的分布跟观测系中峰值能量分布一样, 都很宽, 说明了观测系中峰值能量分布比较宽可能是伽玛暴的真实物理分布.

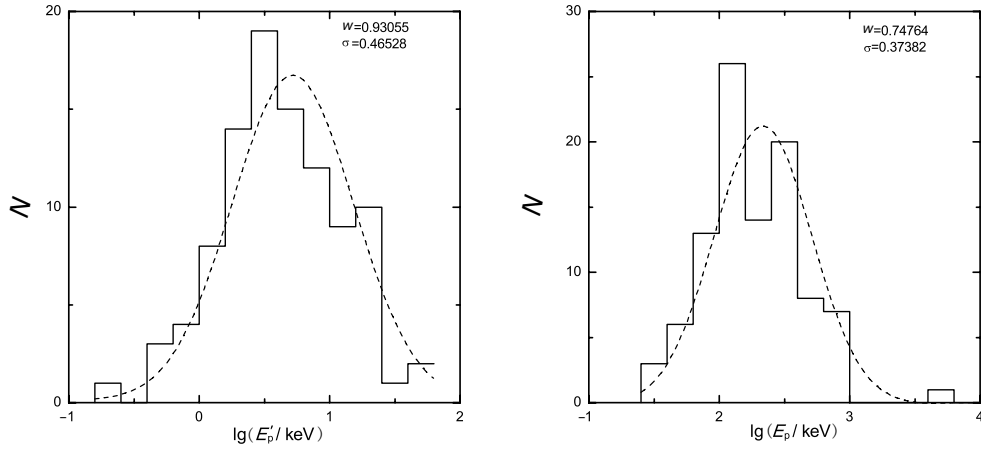


图 2 不同坐标系中峰值能量的分布, 右图为观测系中 E_p 的分布, 左图为共动系中 E'_p 的分布, 虚线为高斯拟合的结果.

Fig. 2 The distribution of the peak energies in the co-moving frame (left) and the observer's frame (right). The dashed lines correspond to the Gaussian fitting.

2003年Wei等人在观测系中考察了各向同性光度和峰值能量之间的关系, 发现两者之间存在紧密的相关性^[9]. 我们进一步考察共动系中各向同性光度 L'_{iso} 和峰值能量 E'_p 的关系分布, 如图3所示. 从分布图中可以看出共动系中各向同性光度 L'_{iso} 和峰值能量 E'_p 也具有相关性.

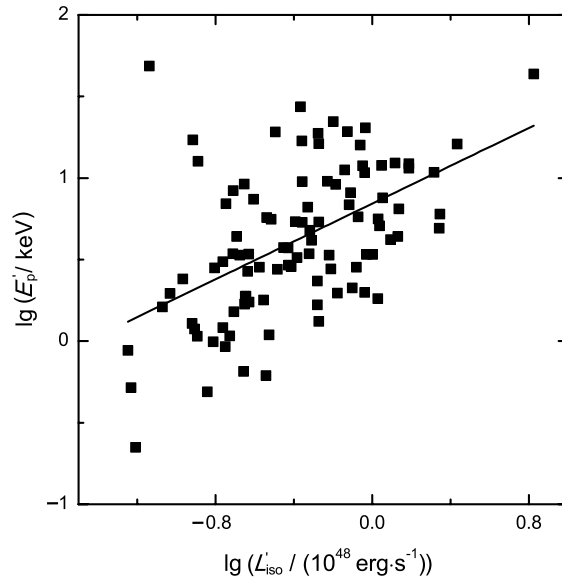


图 3 E'_p - L'_{iso} 在伽玛暴共动系中的关系图, 图中实线表示对各向同性光度 L'_{iso} 和峰值能量 E'_p 关系的线性拟合.

Fig. 3 The two dimensional distribution between E'_p and L'_{iso} in the GRB co-moving frame. The solid line corresponds to the linear fitting of the L'_{iso} and E'_p relation.

4 结论和讨论

伽玛暴的谱信息提供了伽玛暴发生的物理过程最直接的信息. 伽玛暴 νf_ν 谱的峰值能量 E_p 是伽玛暴一个很重要的观测物理量, 峰值能量 E_p 的分布及其与其他一些暴特征量之间的相关性对伽玛暴的辐射机制和能源产生提供依据. 不同观测仪器观测到的 E_p 分布没有本质的不同, 但是都有很宽的分布, 从大约几个keV到MeV. 本样本中伽玛暴的峰值能量 E_p 从10 keV到2 MeV, 集中在200 keV. 但是, 根据初始洛伦兹因子把峰值能量 E_p 修正到共动坐标系后, 发现峰值能量的分布也很宽, 说明了观测系中峰值能量分布可能是真实的.

伽玛暴的能谱分布对研究它的辐射物理至关重要, 宽波段的能谱分布通常显示两个峰, 这可以很好地用同步辐射或者逆康普顿过程来解释^[6-7], 而同步辐射峰值:

$$E_p \sim \hbar \delta \gamma_e^2 \frac{eB'}{m_e c}, \quad (2)$$

其中 $\hbar$ 为普朗克常数, δ 为辐射区域的多普勒因子, γ_e 为在 E_p 处辐射电子的洛伦兹因子, 即: γ_e^2 反映辐射区的粒子加速, m_e 和 e 分别是电子的质量和电量, c 为光速, B' 为共动系中的磁场强度. 由上式得: $\frac{E_p}{\delta} = \frac{E_p}{2\Gamma_0} \sim \hbar \gamma_e^2 \frac{eB'}{m_e c}$, 即: 共动系中峰值能量 E'_p 强烈地依赖于 γ_e^2 和 B' . 伽玛暴由于具有非常高的光度, 共动系中辐射区域的磁场强度很大, 使得电子处于快冷却区域. 而共动系中峰值能量分布很宽可能是由于峰值能量处辐射电子在不同源中的洛伦兹因子 γ_e 分布很宽引起的.

参 考 文 献

- [1] Lyu F, Liang E W, Liang Y F, et al. ApJ, 2014, 793: 36
- [2] Zhang B. ChJAA, 2007, 7: 1
- [3] Mundell C G, Guidorzi C, Steele I A. AdAst, 2010, 2010: 718468
- [4] Gehrels N, Rameirez-Ruiz E, Fox D B. ARA&A, 2009, 47: 567
- [5] Band D, Matteson J, Ford L, et al. ApJ, 1993, 413: 281
- [6] Ghisellini G, Maraschi L, Dondi L. A&AS, 1996, 120: 503
- [7] Zhang J, Sun X N, Liang E W, et al. ApJ, 2014, 788: 104
- [8] Amati L, Frontera F, Tavani M, et al. A&A, 2002, 390: 81
- [9] Wei D M, Gao W H. MNRAS, 2003, 345: 743
- [10] Liang E W, Dai Z G, Wu X F. ApJ, 2004, 606: L29
- [11] Liang E W, Zhang B. ApJ, 2005, 633: 611
- [12] Rossi F, Guidorzi C, Amati L, et al. MNRAS, 2008, 388: 1284
- [13] 林一清. 天文学报, 2010, 51: 374
- [14] Lin Y Q. ChA&A, 2011, 35: 141
- [15] Gruber D, Goldstein A, Weller von Ahlefeld V, et al. ApJS, 2014, 211: 12
- [16] Ghirlanda G, Nava I, Ghisellini G, et al. MNRAS, 2012, 420: 483
- [17] Atwood W B, Abdo A A, Ackermann M, et al. ApJ, 2009, 697: 1071
- [18] Meegan C A, Lichti G, Bhat P N, et al. ApJ, 2009, 702: 791
- [19] Liang E W, Lin T T, Lu J, et al. ApJ, 2015, 812: 116

The Peak Energy Distribution of the GRBs in the Co-moving Frame and Its Relation with Luminosity

LIN Yi-qing^{1,2} CHENG Zai-jun^{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 bursts (GRBs) are one of the most violent events in the universe. The observations of GRBs can be all-time and in all electromagnetic wavelength bands after over forty-years development. The Fermi Gamma-Ray Space Telescope (Fermi) was launched into orbit by NASA (National Aeronautics and Space Administration) from the Cape Canaveral on 2008 June 11, which can measure the spectra in a very wide energy band (from 8 keV to more than 300 GeV), and can be used to promptly record the radiations of GRBs. The observations with the Fermi/GBM (Gamma-Ray Burst Monitor) have dramatically deepened our knowledge of the broad-band spectra of GRBs. The peak energy E_p in the νf_ν spectrum of GRBs is an important observational quantity, which distributes widely among GRBs. In this paper, we have analyzed the E_p distribution for a sample of the redshifts-known GRBs observed with Fermi/GBM from June 2008 to December 2016. The catalog contains 98 GRBs. We estimate the value of the initial Lorentz factor Γ_0 based on the multi-variable correlation among the isotropic gamma-ray luminosity L_{iso} , the cosmological rest-frame peak energy $E_{p,z}$, and the initial Lorentz factor Γ_0 . Then both E_p and L_{iso} are corrected to the GRB co-moving frame. We find that the E_p distribution of GRBs is broad too, which means that the wide distribution of the peak energy E_p in the observer's frame might be an intrinsic property of GRBs, and in the co-moving frame the isotropic gamma-ray energy and the peak energy are still correlated. We also constrain the possible radiation mechanisms of GRBs, and suggest that the broad E_p distribution may result from the broad distribution of the Lorentz factor γ_e of the electrons among different sources.

Key words gamma-ray bursts, peak energy, methods: statistical