

УДК 520.6.05

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СВОЙСТВ ДЛИННЫХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ С ПРИСУТСТВИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ: НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ ИХ ИСТОЧНИКОВ

© 2021 г. И. В. Архангельская*

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

*E-mail: irene.belousova@usa.net

Поступила в редакцию 19.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 28.12.2020 г.

В настоящее время источники гамма-всплесков зарегистрированы при значительных красных смещениях z , что указывает на их космологическое происхождение, но требует учета коррекции на космологическое растяжение в процессе анализа их распределения по длительности. Введен новый параметр R , как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, при этом космологическое растяжение не требует учета. При его использовании выделяется как минимум 2 группы длинных всплесков. Различия в динамике формирования высокоэнергетического γ -излучения для этих групп событий позволяют сделать вывод о неоднородности популяции их источников.

DOI: 10.31857/S0367676521040050

ВВЕДЕНИЕ

Обычно рассматриваются 2 типа гамма-всплесков (gamma-ray bursts, GRBs): короткие и длинные, разделяющиеся по длительности на $t_{90} \sim 2$ с (см., например, [1]). В 1997 г. была выделена подгруппа всплесков промежуточной (intermediate) длительности [2] при анализе распределений событий по жесткости H_{32} (вводится как соотношение потока, зарегистрированного в диапазонах 110–325 кэВ и 60–110 кэВ [3]) и длительности t_{90} на 99% уровне значимости при $0.8 \leq t_{90} \leq 50$ с ($\langle t_{90} \rangle \approx 3$ с по данным прибора BATSE (4B current BATSE catalogue [3]) на борту обсерватории им. Комптона (Compton Gamma Ray Observatory – CGRO), работавшей в 1991–2000 гг. [3, 4]. При этом параметры коротких всплесков находились в диапазоне ($t_{90} < 3$ с, $\langle t_{90} \rangle \approx 0.5$ с, $H_{32} > 6.00$), а длинных – в области ($t_{90} > 5$ с, $\langle t_{90} \rangle \approx 30$ с, $H_{32} < 1.85$). Свойства новой подгруппы в дальнейшем широко обсуждались (см., например, [5, 6]).

В настоящее время источники нескольких сотен всплесков наблюдались при значительных красных смещениях z [7, 8], что свидетельствует об их космологическом происхождении. Соответственно, при анализе распределения гамма-всплесков по длительности необходимо рассмат-

ривать коррекцию на ее космологическое растяжение. Результаты изучения распределений по z позволяют сделать вывод о существовании (вне зависимости от возможного выделения событий промежуточной длительности) как минимум 2-х подгрупп источников длинных всплесков с $\langle z_1 \rangle \sim 1.5$ и $\langle z_2 \rangle \sim 2.6$ [9, 10].

Впервые высокоэнергетическое излучение зарегистрировалось во время GRB 970417a: 18 фотонов с $E \sim 650$ ГэВ наблюдались Milagro в пределах его t_{90} [11]. Гамма-излучение всплесков с $E > 120$ МэВ [12] регистрировалось и в экспериментах на борту космической обсерватории им. Комптона. В основном, не наблюдалось быстрой фазы всплесков с $E > 200$ МэВ, но для нескольких событий зарегистрировано послесвечение с максимальной энергией пришедших фотонов $E_{\gamma_{max}} \sim 18$ ГэВ. Наиболее широкий диапазон наблюдаемого γ -излучения в спутниковых экспериментах составлял ~ 10 кэВ... ~ 20 ГэВ. Было зарегистрировано нескольких десятков всплесков в высокоэнергетических диапазонах вплоть до нескольких ГэВ в космических экспериментах (Fermi/LAT [13, 14] и AGILE/MCAL [15]) и до нескольких ТэВ в наземных [16, 17]. Пока такие события не имеют четких ассоциаций с ранее выделенными группами и для более 50% событий отсутствуют данные о z , по-

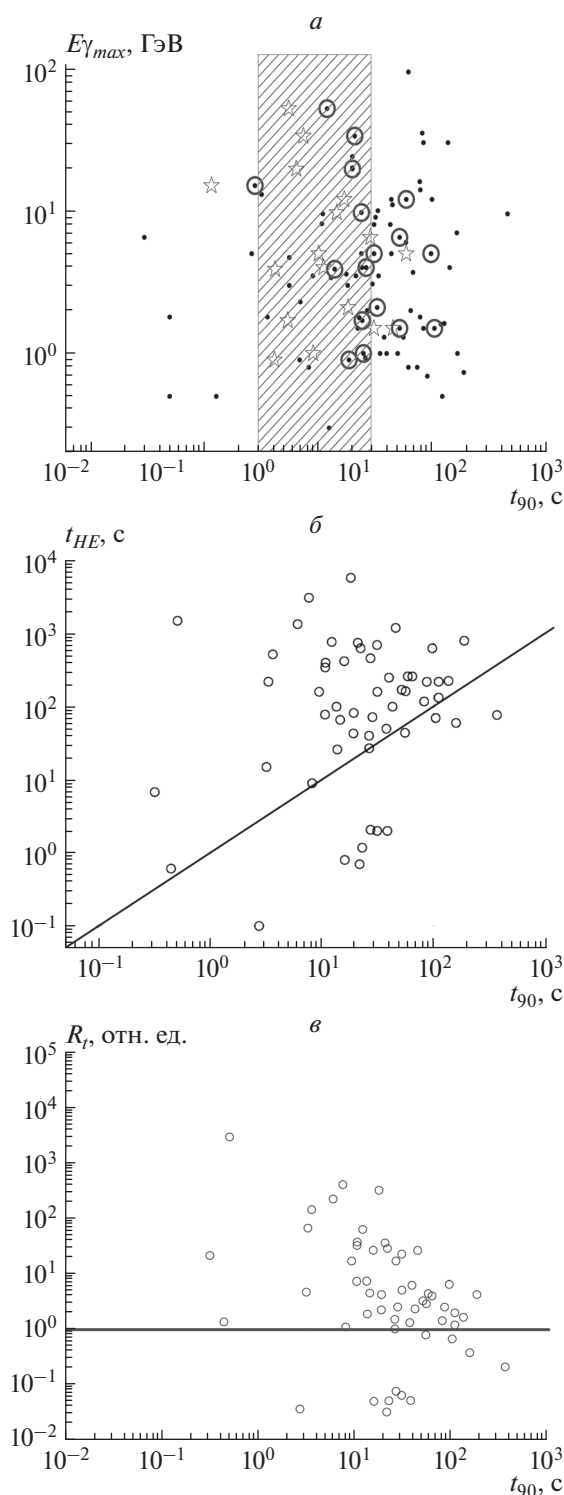


Рис. 1. Распределение гамма-всплесков, зарегистрированных LAT: по длительности t_{90} и максимальной зарегистрированной энергии $E_{\gamma_{max}}$ (черными точками отмечены все всплески, круги показывают всплески с известным красным смещением, а звездочки — длительность этих событий $t_{90,z}$ с учетом космологической коррекции, после чего большая часть таких гамма-всплесков оказывается в интервале $2 < t_{90} < 30$ с (а); по длительности эпизода высокоэнергетического γ -излучения t_{HE} и t_{90} (б); по R_l и t_{90} (в).

этому вводится новый параметр R_l , не требующий учета космологического растяжения.

ПАРАМЕТР R_l КАК ОТНОШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА ФОТОНА С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ К ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВСПЛЕСКА

К сожалению, красное смещение неизвестно примерно для половины всплесков, во время которых наблюдалось высокоэнергетическое γ -излучение. Однако, при учете космологического растяжения, длительность большей части событий смещается в интервал $2 < t_{90} < 30$ с — см. рис. 1а, т.е., необходимо введение нового параметра для анализа, который не требует учета космологического растяжения. Используя соотношение длительности излучения в диапазонах высоких и низких энергий, можно разделить всплески на 2 группы — см. рис. 1б. Для событий первой группы длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} , для второй — больше. Однако более информативным является введение нового параметра R_l как отношения времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, и он не требует учета космологического растяжения. Распределение гамма-всплесков, зарегистрированных LAT, по R_l и длительности t_{90} показано на рис. 1в, а на рис. 2 — примеры конкретных событий, иллюстрирующих использование новой характеристики R_l в классификации гамма-всплесков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время некоторых гамма-всплесков наблюдались γ -кванты очень высоких энергий как в космических, так и в наземных экспериментах (до нескольких десятков ГэВ и до нескольких ТэВ соответственно). Большинство источников гамма-всплесков имеют космологическое происхождение и необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности событий. Новый параметр R_l вводится как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, и он не требует учета космологического растяжения. Как минимум 2 группы длинных всплесков выделяются при его использовании: для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события t_{90} , но для остальных 75% всплесков такие γ -кванты наблюдались более чем через 10 с после их окончания. Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3 групп длинных всплесков: в 1 подгруппе длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} , а во 2 — боль-

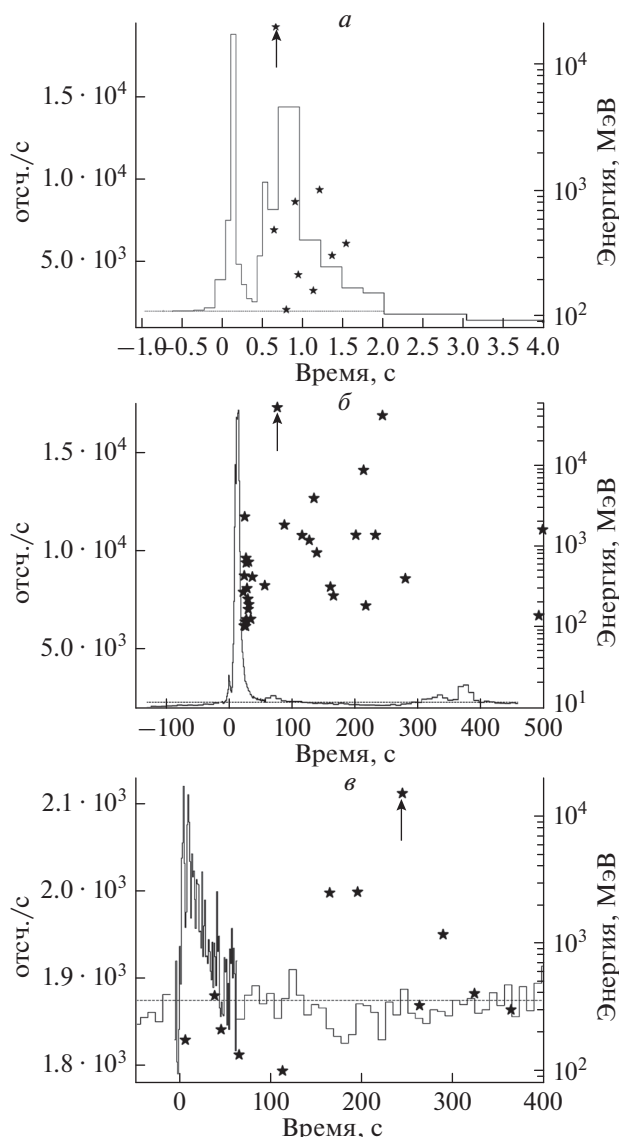


Рис. 2. Примеры конкретных событий, иллюстрирующие использование новой характеристики R_f в классификации гамма-всплесков (по левой оси ординат отложена скорость счета в диапазоне низких энергий 7 кэВ–1 МэВ по данным Fermi/GBM, а по правой – энергия зарегистрированных Fermi/LAT гамма-квантов): GRB141222A как всплеск подкласса 1 с $R_f = 4 \cdot 10^{-2}$ ($t_{90} = 2.8 \pm 2.6 \cdot 10^{-1}$ с, зарегистрированная LAT максимальная энергия гамма-излучения $E_{\gamma_{max}} = 20$ ГэВ, время прихода фотона с максимальной энергией $t_{\gamma_{max}} \sim 0.1$ с относительно триггера, длительность высокоэнергетического γ -излучения $t_{HE} \sim 1.0$ с [18]) (а); GRB160509A как событие подтипа 2a с $R_f = 0.2$ ($t_{90} = 3.7 \cdot 10^2 \pm 8.1 \cdot 10^{-1}$ с, зарегистрированная LAT максимальная энергия гамма-излучения $E_{\gamma_{max}} \sim 52$ ГэВ, время прихода фотона с максимальной энергией $t_{\gamma_{max}} \sim 77$ с относительно триггера, длительность высокоэнергетического γ -излучения $t_{HE} \sim 2.3 \cdot 10^3$ с [19]) (б); GRB131018B как всплеск подгруппы 2б с $R_f = 2.3$ ($t_{90} = (4.0 \pm 1.2) \cdot 10^1$ с, зарегистрированная LAT максимальная энергия гамма-излучения $E_{\gamma_{max}} = 13$ ГэВ, время прихода фотона с максимальной энергией $t_{\gamma_{max}} \sim 90$ с относительно триггера, длительность высокоэнергетического γ -излучения $t_{HE} \sim 2.0 \cdot 10^3$ с [20]) (в). Стрелками указано время прихода фотона с максимальной энергией.

ше, чем t_{90} , причем фотон с максимальной энергией в подгруппе 2а был зарегистрирован в пределах t_{90} , а в подгруппе 2б – существенно позже t_{90} .

Характерная длительность излучения в различных диапазонах определяется конкретными свойствами механизмов его формирования (для гамма-всплесков подробности см., например, [21]) и классификация событий по параметру R_f позволяет сделать вывод о присутствии добавочных процессов с разными параметрами для различных групп при возникновении высокоэнергетического γ -излучения и неоднородности популяции источников длинных всплесков. После дополнительного анализа спектрометрических параметров выделенных подгрупп в диапазонах низких и высоких энергий, а также z будет возможно определить, принадлежит ли одна из популяций к подгруппе всплесков промежуточной длительности или двум ранее выделенным подгруппам на характерных расстояниях $\langle z_1 \rangle \sim 1.5$ и $\langle z_2 \rangle \sim 2.6$.

Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ (договор № 02.a03.21.0005 от 27.08.2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kouveliotou C. // Ann. N.Y. Acad. Sci. 1995. V. 759. P. 411.
2. Belousova I.V., Mizaki A., Rozentel I.L. et al. // Astron. Rep. 1999. V. 43. No. 11. P. 734.
3. Paciesas W.S., Meegan C.A., Pendleton G.N. // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1999. V. 122. P. 465.
4. Schneid E.J., Bertsch D.L., Fichtel C.E. et al. // AIP Conf. Proc. 1991. V. 265. P. 8.
5. Horváth I., Veres P., Balázs L.G. // Balt. Astron. 2009. V. 18. P. 302.
6. Tarnopolski M. // Astrophys. J. 2019. V. 870. Art. No. 105.
7. https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/observations/types/grbs/lat_grbs.
8. https://swift.gsfc.nasa.gov/archive/grb_table.
9. Архангельская И.В. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 3. С. 449; Arkhangel'skaja I.V. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2015. V. 79. No. 3. P. 413.
10. Arkhangel'skaja I.V. // J. Phys. Conf. Ser. 2019. V. 1181. Art. No. 012050.
11. Atkins R., Benbow W., Berley D. et al. // Astrophys. J. 2000. V. 533. Art. No. L119.
12. Kaneko Y., González M., Preece R.D. et al. // Astrophys. J. 2008. V. 677. P. 1128.
13. Atkins R., Benbow W., Berley D. et al. // Astrophys. J. 2007. V. 583. No. 2. P. 824.
14. Ackermann M., Ajello M., Baldini L. et al. // Astrophys. J. 2014. V. 787. P. 15.
15. Labanti C., Marisaldi M., Fuschino F. et al. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. 2009. V. 598. No. 2. P. 470.

16. *Aliu E., Anderhub H., Antonelli L.A. et al.* // *Astropart. Phys.* 2009. V. 30. No. 6. P. 293.
17. *Reimer O.* // *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2009. V. 41 P. 508.
18. <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/141222A.gcn3>.
19. <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/160509A.gcn3>.
20. <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/131018B.gcn3>.
21. *Peér A., Long K., Casella P.* // *Astrophys. J.* 2017. V. 846. Art. No. 54.

Preliminary results of analysis of characteristics of long gamma-ray bursts with high energy component presence: inhomogeneity of sources population

I. V. Arkhangelskaja*

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

**e-mail: irene.belousova@usa.net*

Because of sufficient amount of gamma-ray bursts (GRBs) located at high redshift their origin must be cosmological. Therefore a correction for cosmological dilation of the GRBs duration should be considered. Here we introduce new parameter R_t is ratio of maximum energy photon arrival time to burst duration and it not required cosmological correction. At least 2 groups of long GRBs could be separated using this value: The dynamics of high-energy γ -emission formation for these groups of events is different. Correspondingly, results of preliminary analyses allow conclude long GRBs population inhomogeneity.