

УДК 524.7-732

КОРОТКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SPI-ACS INTEGRAL

© 2010 П. Ю. Минаев^{1,2*}, А. С. Позаненко¹, В. М. Лозников¹¹Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия²Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

Поступила в редакцию 16 декабря 2009 г.; принята в печать 19 марта 2010 г.

Исследованы короткие гамма-всплески ($T_{90} < 2$ с), зарегистрированные в эксперименте SPI-ACS обсерватории INTEGRAL. В усредненной кривой блеска как коротких гамма-всплесков, так и неотожествленных коротких событий, обнаружено продленное излучение. Показано, что доля коротких гамма-всплесков от общего количества всех гамма-всплесков эксперимента SPI-ACS может составлять от 30 до 45%. Обнаружено, что доля коротких жестких гамма-всплесков растет с увеличением нижнего энергетического порога срабатываний. Приведены свидетельства в пользу отсутствия класса сверхкоротких гамма-всплесков.

Ключевые слова: *гамма-всплески*

1. ВВЕДЕНИЕ

Бимодальность в распределении длительностей гамма-всплесков впервые обсуждалась в работе [1]. Впоследствии она была подтверждена на большем статистическом материале по данным эксперимента BATSE [2], где был предложен устойчивый параметр, характеризующий длительности гамма-всплеска T_{90} (время, за которое скорость счета возрастает на 90% над фоном). Гамма-всплески с $T_{90} > 2$ с имеют более мягкий спектр по сравнению с короткими (максимум в энергетическом спектре νF_ν смещен в область низких частот), обладают спектральной временной задержкой — временной профилем в более мягких энергетических каналах “запаздывает” относительно профиля в жестких каналах. Считается, что длительные гамма-всплески связаны с коллапсом очень массивных звезд [3]. Природа коротких гамма-всплесков до конца не выяснена. Недавние наблюдения показали, что короткие гамма-всплески могут быть связаны со слиянием релятивистских объектов (нейтронных звезд или черных дыр) в компактных двойных системах (см., например, [4, 5]). Это подтверждается отсутствием признаков сверхновой в кривых блеска оптического послесвечения коротких гамма-всплесков.

Очевидно, что класс коротких гамма-всплесков сильнее подвержен наблюдательной селекции

вследствие меньшей длительности и более жесткого энергетического спектра события. Действительно, чем короче гамма-всплеск, тем большей интенсивности он должен быть, чтобы быть зарегистрированным на фиксированном временном интервале, часто превышающем длительность всплеска. Кроме того, эффективность регистрации фотонов уменьшается с увеличением их энергии для большинства детекторов, используемых для регистрации гамма-всплесков.

Одна из проблем отождествления короткого события с гамма-всплеском связана с существованием источников повторного мягкого гамма-излучения (SGR), кривые блеска которых очень похожи на кривые блеска гамма-всплесков [6].

В экспериментах BATSE [7, 8], Konus [9], ВерроSAX [10] в усредненной кривой блеска коротких гамма-всплесков было найдено продленное излучение (возможно, послесвечение) в мягком гамма-диапазоне (более 25–50 кэВ) длительностью более 30 с (Табл. 1). Продленное излучение длительностью в десятки секунд также найдено в кривых блеска некоторых индивидуальных гамма-всплесков в экспериментах Swift, BATSE, HETE-2, Konus [11]. Наиболее наглядным примером такого гамма-всплеска является GRB060614 [12], где главный короткий эпизод по своим спектральным свойствам аналогичен коротким гамма-всплескам, но формально определенный параметр длительности T_{90} составляет 102 с. Природа продленного излучения до сих пор не выяснена.

*E-mail: minaevp@mail.ru

В работе [13] высказано предположение, что продленное излучение является продолжением активности “центральной машины” гамма-всплеска, а не началом рентгеновского послесвечения, так как оно найдено в жестком энергетическом диапазоне (жестче 80 кэВ).

В работе рассмотрены усредненные кривые блеска коротких гамма-всплесков и различные распределения гамма-всплесков, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL, также проведено их сравнение с соответствующими зависимостями для гамма-всплесков, зарегистрированных в других экспериментах.

2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Детальное описание эксперимента SPI-ACS INTEGRAL можно найти в работе [14]. Здесь отметим, что нижний энергетический порог регистрации составляет порядка 80 кэВ (Табл. 2), временное разрешение — 50 мс. Таким же по длительности является минимальный интервал при автоматическом поиске гамма-всплесков. Другие интервалы составляют 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1, 2 и 5 с.

Данная работа является продолжением исследования продленного излучения коротких гамма-всплесков, найденного в [13, 15]. Использован также каталог SPI-ACS INTEGRAL [16]. В нем содержатся данные о 388 событиях, среди которых лишь 179 являются подтвержденными гамма-всплесками. Наибольший вклад (порядка 40%) в группу неподтвержденных коротких событий вносят события длительностью $T_{90} \leq 0.05$ с (0.05 с — временное разрешение SPI-ACS INTEGRAL). Подробнее эта группа событий описана ниже.

Нами был также использован каталог коротких гамма-всплесков, составленный в работе [13], и содержащий данные о 86 коротких подтвержденных гамма-всплесках, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL за период 2002–07 гг. Он дополняет и расширяет каталог [16] в части коротких всплесков.

Для обработки отобрано 53 кривых блеска, поскольку для остальных событий кривые блеска в полном объеме недоступны. Эти гамма-всплески составляют первую группу исследованных событий. Вторая группа — короткие, не подтвержденные другими космическими обсерваториями, кандидаты в гамма-всплески из каталога [16] длительностью $T_{90} < 2$ с (105 событий). Третья группа является подмножеством второй группы — это короткие неподтвержденные кандидаты в гамма-всплески из каталога [16] длительностью $T_{90} \leq 0.05$ с (43 события). Четвертая, контрольная группа состоит из событий, связанных с взаимодействием SPI-ACS INTEGRAL с заряженными частицами.

Процедура обработки кривых блеска подробно описана в работе [13]. Здесь отметим лишь основные результаты: в индивидуальных кривых блеска GRB031214 и GRB061221 найдено статистически значимое продленное излучение (вследствие этого данные кривые блеска не были использованы при построении усредненной кривой блеска); в усредненных кривых блеска первой и второй групп (51 и 105 событий соответственно) коротких событий также найдено продленное излучение длительностью порядка 25 с (Рис. 1). Так как продленное излучение найдено в усредненных кривых блеска коротких гамма-всплесков в различных экспериментах (SPI-ACS INTEGRAL, BATSE, Konus, ВерроSAX), то можно предположить, что это реально существующее явление. На имеющемся материале о коротких гамма-всплесках можно делать только статистические заключения, основанные на усреднении различных выборок (подтвержденных и неподтвержденных гамма-всплесков). Мы не можем утверждать, что продленное излучение является свойством каждого короткого гамма-всплеска. Тем не менее, продленное излучение, найденное в усредненной кривой блеска неподтвержденных коротких событий, свидетельствует о том, что часть из них является реальными гамма-всплесками. Для независимой проверки отобраны короткие события, связанные со срабатываниями детекторов от заряженных частиц ($T_{90} < 0.1$ с, четвертая группа гамма-всплесков). В усредненной кривой блеска 34 таких событий продленное излучение отсутствует (Рис. 2), поэтому нет оснований отвергать предположение о том, что часть неподтвержденных коротких событий является реальными гамма-всплесками.

3. ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Продленное излучение коротких гамма-всплесков

В усредненной кривой блеска первой группы коротких событий (подтвержденные гамма-всплески) найдено продленное излучение длительностью 25 с и интенсивностью (46 ± 15) отс/с (Рис. 1). Найденное в усредненной кривой блеска неподтвержденных коротких событий (вторая группа) продленное излучение говорит о том, что часть событий этой группы принадлежит классу реальных гамма-всплесков, а не к срабатываниям от заряженных частиц, поэтому общая доля коротких гамма-всплесков значительно больше, чем считалось ранее. Если предположить, что интенсивность продленного излучения одинакова для всех коротких гамма-всплесков, то их количество в группе неподтвержденных событий можно оценить исходя из отношения интенсивностей продленного излучения в усредненных кривых блеска первой и

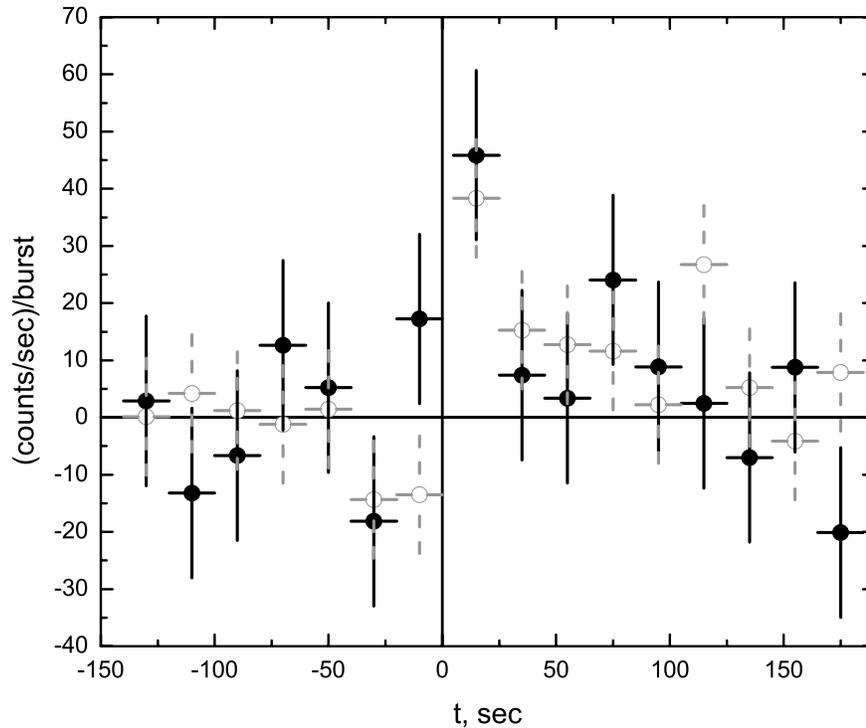


Рис. 1. Усредненная кривая блеска: черные точки — группа 1 (51 короткий подтвержденный гамма-всплеск), открытые серые точки — группа 2 (105 неподтвержденных коротких событий из каталога [16]). Ошибки приведены на уровне 1σ . Временное разрешение 20 с. По оси ординат представлено количество отсчетов в секунду в расчете на 1 событие. Значения, соответствующие главному пику (временной интервал 0–5 с) находятся вне рисунка по оси ординат.

Таблица 1. Продленное излучение в усредненной кривой блеска коротких гамма-всплесков

Эксперимент	Диапазон энергий, кэВ	Число исслед. GRBs	Длительность излучения, с
BATSE	25–110	76	100 [8]
BATSE	50–300	100	100 [7]
Konus	10–750	125	100 [9]
ВерроSAX	40–700	93	30 [10]
INTEGRAL	более 80	53	25 ¹
INTEGRAL	более 80	43	125 ²

¹ - Данная работа, первая группа событий

² - Данная работа, третья группа событий

второй групп всплесков (для оценки использовался временной интервал 5–25 с относительно главного пика). Таким образом, доля реальных гамма-всплесков в группе неподтвержденных событий формально составляет $(84 \pm 35)\%$.

3.2. Распределение $\log N - \log C_{max}$

Для исследуемых групп построено распределение $\log N - \log C_{max}$ (Рис. 3), где N — количество всплесков с темпом счета в максимуме кривой блеска, превышающим значение C_{max} . Завал кривой, соответствующий первой группе событий

Таблица 2. Распределение гамма-всплесков по длительности

Эксперимент	Диапазон энергий ¹ , кэВ	Временное разреш. ² , мс	Доля КГВ ³ , %	Общее кол-во КГВ ⁴	log(T_{90}) ⁵ , с		
					КГВ	ПГВ ⁶	ДГВ ⁷
LILAS/Phobos-2	6–1000	250	5 ± 3 [25]	3			
BAT/Swift	15–150	4	10 ± 2 [30]	49	-0.31 ± 1.07	0.99 ± 0.31	1.88 ± 0.16
IBIS/ISGRI	15–1000	50	4 ± 3 [31]	2			
RHESSI	30–1500	– ⁸	19 ± 2 [20]	81	-0.46 ± 0.13	n/f ⁹	1.26 ± 0.09
BeppoSAX	40–700	1000	19 ± 2 [32]	191	0.31 ± 0.14	n/f	1.40 ± 0.03
BATSE/CGRO	50–300	64	25 ± 1 [2]	100	-0.13 ± 0.06	n/f	1.54 ± 0.02
Suzaku	50–5000	15.6	20 ± 2 [33]	211	-0.23 ± 0.20	n/f	1.32 ± 0.05
SPI-ACS/INTEGRAL	80–10000	50	30–45	145	-0.81 ± 0.02	n/f	1.26 ± 0.04
PHEBUS/Granat	100–1600	250	27 ± 4 [34]	47			
APEX/Phobos-2	120–1400	250	38 ± 7 [25]	28			

¹ – энергетический диапазон, в котором происходит выделение гамма-всплеска. Диапазон энергий может не совпадать с диапазоном, используемым для вычисления параметра T_{90} . Подробнее см. описание экспериментов.

² – минимальный временной интервал для автоматической регистрации гамма-всплеска

³ – короткие гамма-всплески

⁴ – кол-во коротких гамма-всплесков, использованных для оценки

⁵ – характерная (наиболее вероятная) длительность

⁶ – промежуточная группа гамма-всплесков

⁷ – длительные гамма-всплески

⁸ – алгоритм поиска событий см. в работе [20]

⁹ – поиск промежуточной группы не проводился

(подтвержденные короткие гамма-всплески из нашего каталога [13]) в области малых значений C_{max} , вероятно, обусловлен эффектом селекции, который заключается в просчете событий низкой интенсивности. Кривые, соответствующие источникам 2 и 3 групп событий, наиболее близки к однородному распределению источников в евклидовом пространстве (“закон $-3/2$ ”). Поэтому, если предположить, что неподтвержденные короткие гамма-всплески имеют ту же природу, что и подтвержденные, то общее распределение $\log N - \log C_{max}$ будет удовлетворять закону $-3/2$, что подтверждает современные представления о пространственном распределении коротких гамма-всплесков как объектах близкой Вселенной ($z < 1$ [17]). Действительно, при одном и том же потоке, чем короче

событие, тем с меньшего расстояния его можно зарегистрировать при фиксированном времени регистрации и тем ближе к “закону $-3/2$ ” будет наблюдаемое распределение $\log N - \log C_{max}$.

3.3. Распределение гамма-всплесков по длительности

Как сказано во Введении, считается, что распределение гамма-всплесков по длительности является бимодальным. Однако, эксперимент BAT/Swift показал, что бимодальное распределение гамма-всплесков по длительности неудовлетворительно. Как предложено в работе [18], распределение гамма-всплесков по длительности

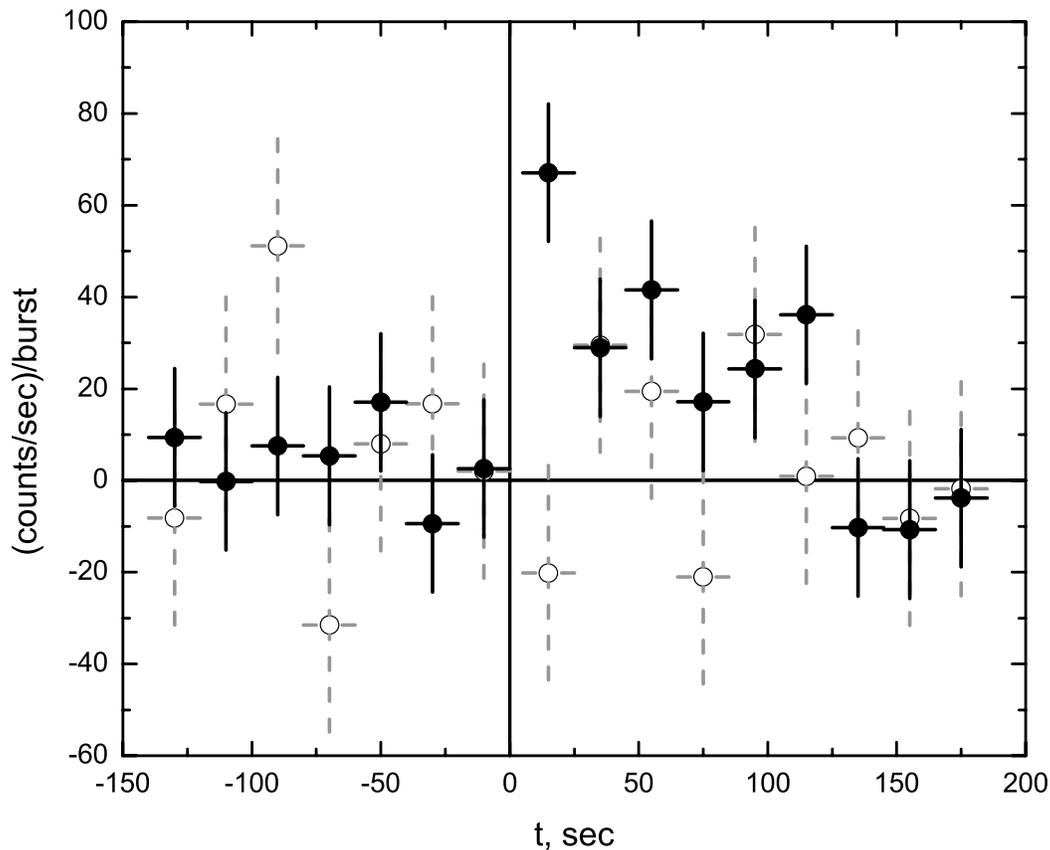


Рис. 2. Усредненная кривая блеска: черные точки — группа 3 (43 неподтвержденных сверхкоротких событий из каталога [16], открытые серые точки — группа 4 (34 неподтвержденных события, связанные со срабатываниями от заряженных частиц). Ошибки приведены на уровне 1σ . Временное разрешение 20 с. По оси ординат представлено количество отсчетов в секунду в расчете на 1 событие. Значения, соответствующие главному пику (временной интервал 0–5 с) находятся вне рисунка по оси ординат.

в эксперименте BAT/Swift можно аппроксимировать тремя лог-нормальными распределениями. Добавляется промежуточная (по отношению к коротким и длительным) группа гамма-всплесков. Поиск промежуточной группы гамма-всплесков также проводился в экспериментах BATSE [19] и RHESSI [20]. Природа третьей группы гамма-всплесков не ясна. Возможно, ее появление связано с различными эффектами селекции. Действительно, срабатывание телескопа BAT/Swift предполагает два разных алгоритма, один из них — обнаружение точечного источника на изображении (image triggering), другой — срабатывание при превышении общего темпа счета над фоновым значением (rate triggering). Первый алгоритм зависит от интегрального потока, а второй, в основном, — от максимального потока. Кроме того, определение длительности существенно зависит от модели фона и энергетического диапазона. Например, длительность T_{90} одного и того же короткого всплеска, определенная в разных энергетических каналах, заметно различаются (см.

напр. [21]). Выбор модели фона тоже может влиять на определение величины T_{90} одного и того же всплеска (см. напр. вычисление длительности GRB 030325 в работах [16, 22]). И, наконец, распределение длительности может быть смещено вследствие близости интервала дискретизации данных и изучаемой величины T_{90} (см. также подпись к Рис. 8).

Распределение гамма-всплесков по длительности и аппроксимация 3 лог-нормальными распределениями в эксперименте BAT/Swift показаны на Рис. 4. Таким образом, доля коротких гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте BAT/Swift составляет около 10% (Рис. 4, Табл. 2). Данная величина получена как интеграл под кривой лог-нормального распределения короткой моды всплесков и совпадает с долей, официально признанных короткими (см. например [21]). Конечно, определение принадлежности конкретного гамма-всплеска к тому или иному классу требует

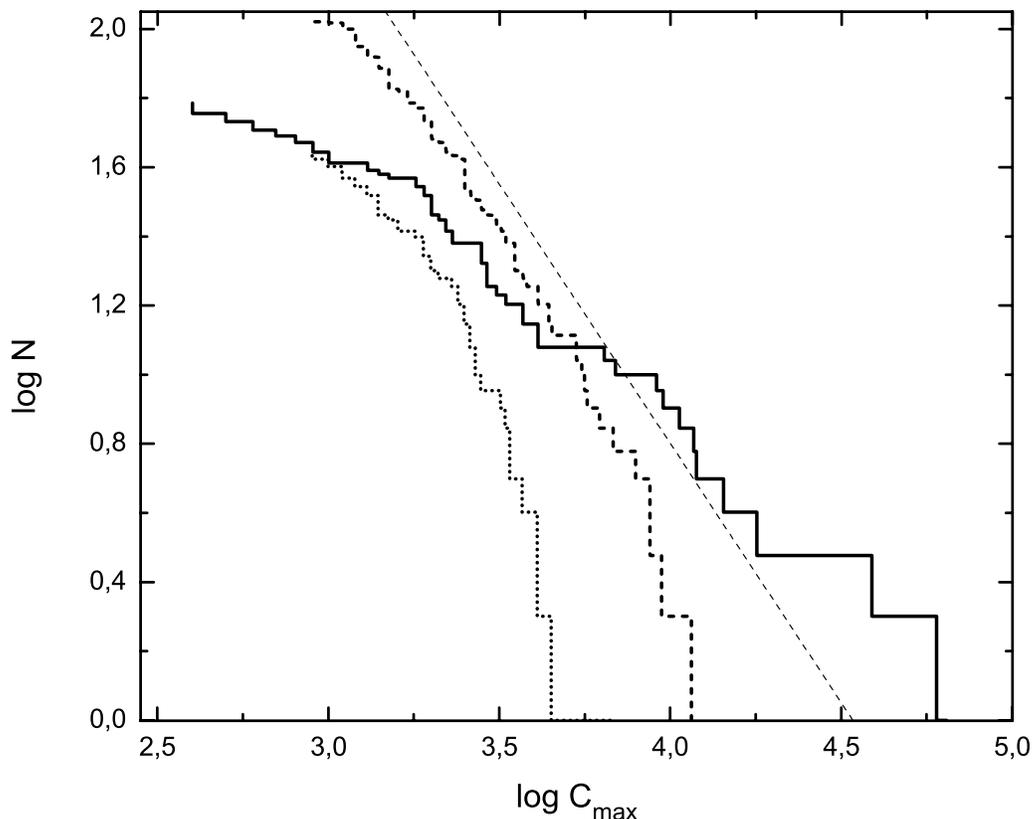


Рис. 3. Распределение $\log N - \log C_{max}$: сплошная линия — группа 1 (подтвержденных из нашего каталога), штриховая линия — группа 2 (неподтвержденных из каталога [16]), пунктирная линия — группа 3 (неподтвержденных сверхкоротких из каталога [16]). Тонкая штриховая ($\log N - \log C_{max} \propto -3/2$) соответствует однородному распределению источников в 3-мерном евклидовом пространстве.

более детального рассмотрения всех его свойств, см., например, [23].

В экспериментах BATSE, ВерроSAX и Suzaku распределение гамма-всплесков по длительности хорошо описывается двумя лог-нормальными распределениями, и доля коротких гамма-всплесков составляет порядка 25, 19 и 20% от всех зарегистрированных событий соответственно (Рис. 5, Табл. 2).

В первом каталоге эксперимента APEX [24] доля коротких гамма-всплесков составляла порядка 10%. После статистического анализа было обнаружено, что доля коротких гамма-всплесков в эксперименте APEX может составлять до 38% [25].

Доля подтвержденных другими космическими обсерваториями коротких гамма-всплесков, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL, составляет порядка 16%. Но если относить все неподтвержденные короткие события (вторая группа) к гамма-всплескам, то общая доля коротких гамма-всплесков, зарегистрированных SPI-ACS INTEGRAL, составит примерно 45% (Рис. 6), что является верхним пределом количества

коротких гамма-всплесков эксперимента SPI-ACS INTEGRAL. Нижний предел равен 30% в предположении, что доля реальных гамма-всплесков в группе неподтвержденных событий составляет 84%.

Из Рис. 6 и Табл. 2 следует, что характерная длительность коротких гамма-всплесков в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL значительно меньше, чем в других экспериментах, а доля сверхкоротких событий, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL, значительно выше, чем ожидается в предположении лог-нормального распределения. Избыток событий длительностью 50 мс может быть связан с количеством коротких событий ($T_{90} < 50$ мс). Возможно, что часть из них имеет другую природу (в том числе события, имитированные заряженными частицами) или относится к другому подклассу гамма-всплесков. По этим причинам при аппроксимации распределения гамма-всплесков по длительности, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL, не учитывались события длительностью 50 мс. Определенное как интеграл лог-нормального распределения короткой моды, количество коротких гамма-

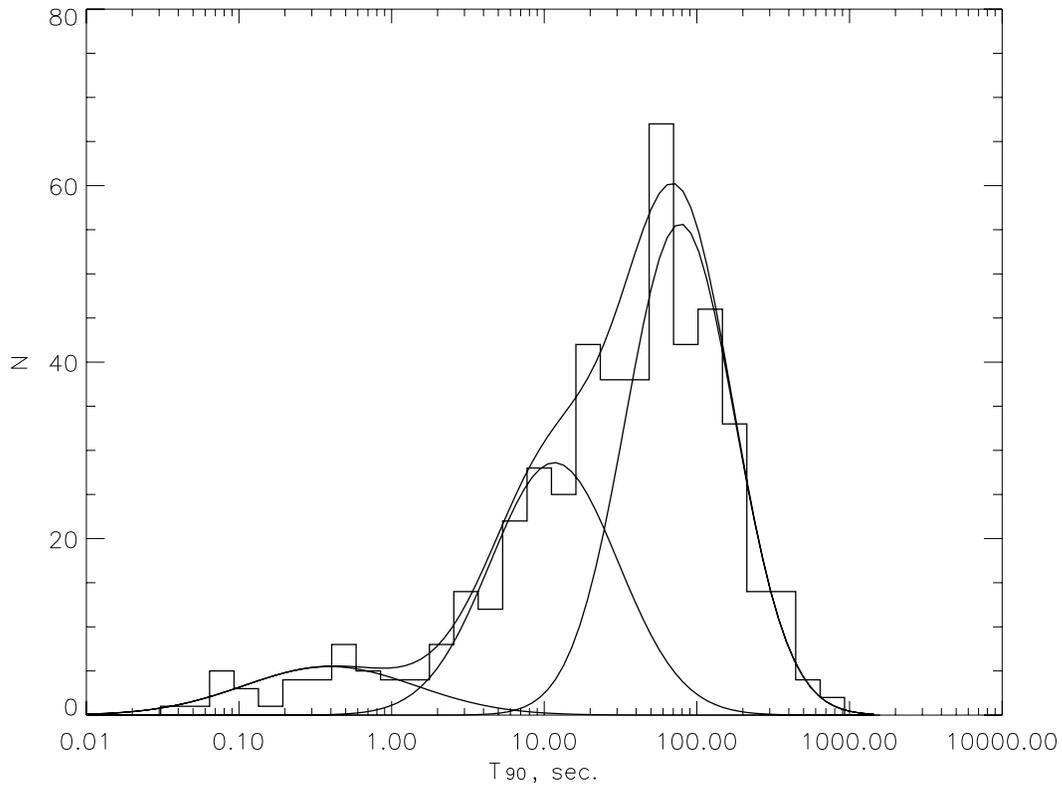


Рис. 4. Распределение гамма-всплесков по длительности в эксперименте Swift. Показана аппроксимация тремя лог-нормальными распределениями.

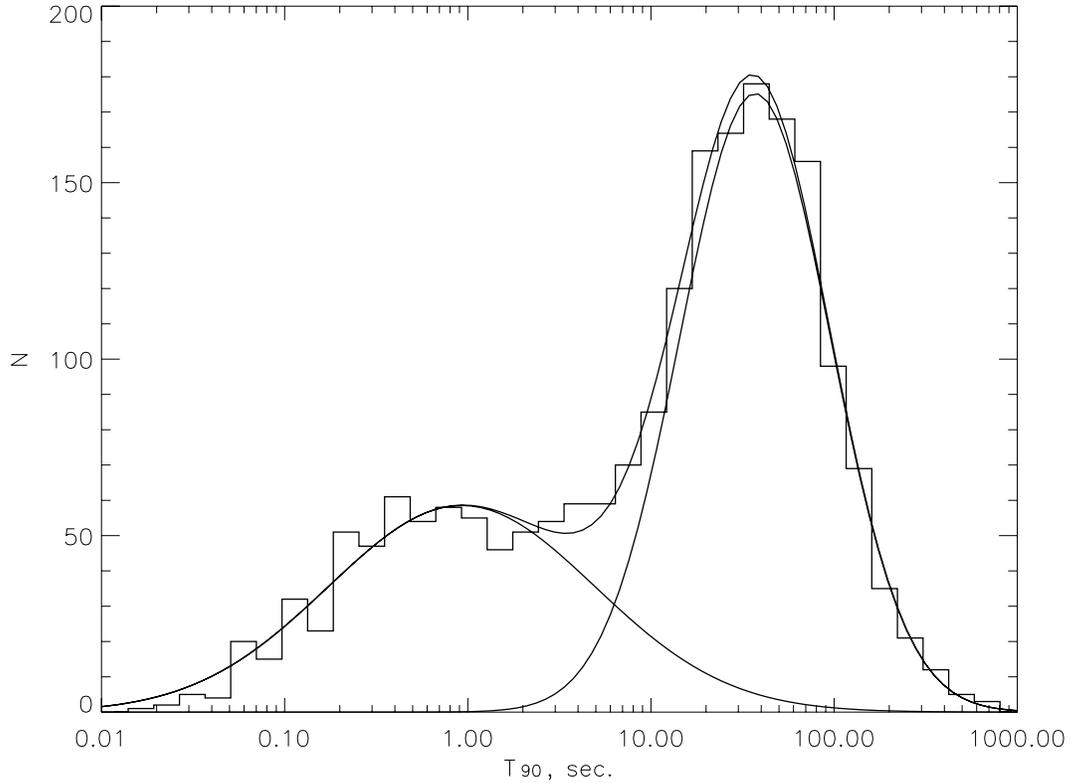


Рис. 5. Бимодальное распределение гамма-всплесков по длительности в эксперименте BATSE. Показана аппроксимация двумя лог-нормальными распределениями.

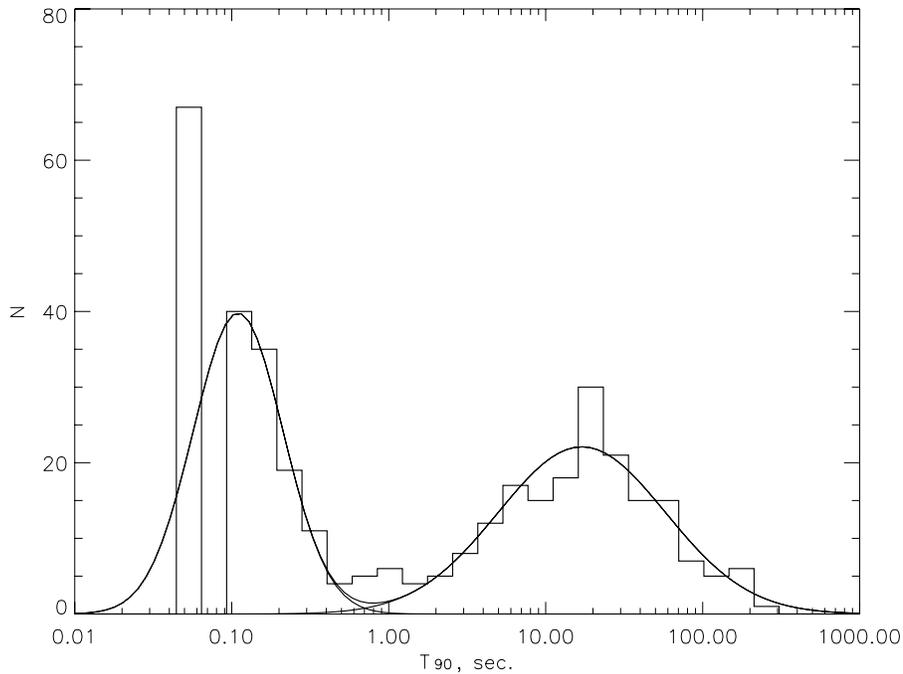


Рис. 6. Бимодальное распределение гамма-всплесков по длительности в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL. Показана аппроксимация двумя лог-нормальными распределениями.

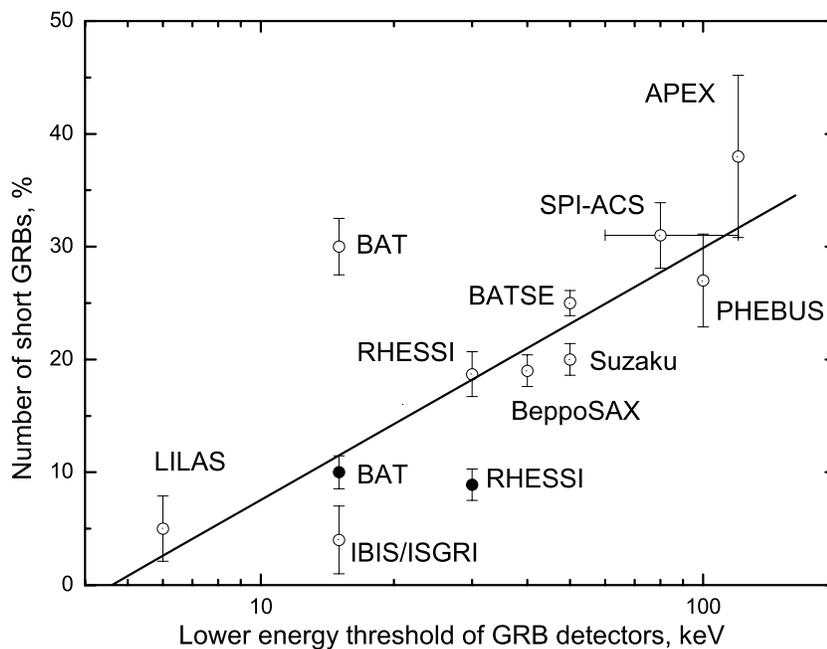


Рис. 7. Зависимость доли коротких гамма-всплесков от нижнего энергетического порога срабатываний в различных экспериментах. Открытыми точками показана доля коротких гамма-всплесков в предположении бимодального распределения всплесков по длительности, закрашенными точками — в предположении тримодального распределения для экспериментов BAT/Swift и RHESSI. Хорошо видно увеличение доли коротких всплесков с ростом нижней границы энергетического диапазона.

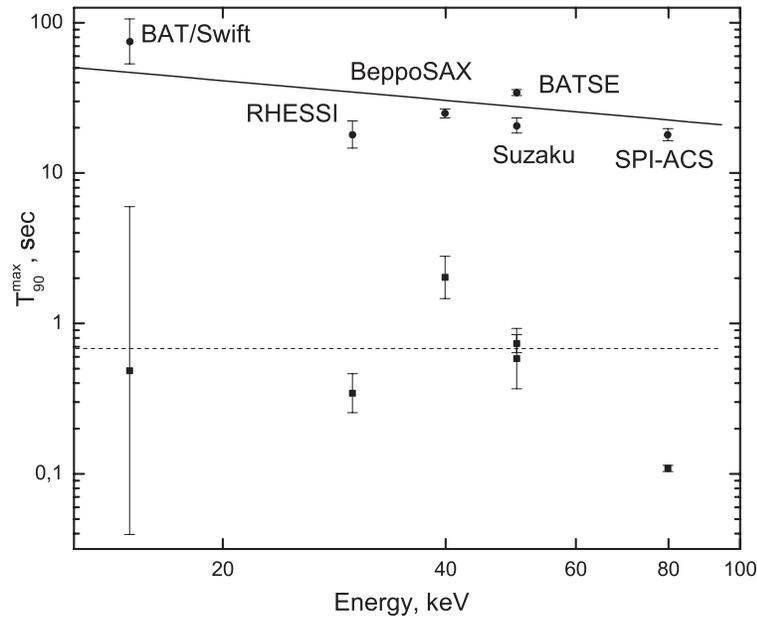


Рис. 8. Зависимость характерной длительности гамма-всплесков от нижней границы энергетического диапазона, в котором происходит вычисление параметра T_{90} , в различных экспериментах. Квадратами показаны значения T_{90}^{max} короткой моды, кружками — T_{90}^{max} длинной моды. Штриховой линией показано среднее значение T_{90}^{max} короткой моды. Точка, соответствующая T_{90}^{max} короткой моды эксперимента SPI-ACS, не используется при данной оценке, так как временное разрешение кривой блеска, составляющее 50 мс, не позволяет точно определить значение T_{90}^{max} . Ошибки длительности, приведенные на рисунке, соответствуют одному стандартному отклонению при определении максимумов лог-нормальных распределений при совместной подгонке экспериментальных данных.

всплесков в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL длительностью менее 100 мс составляет около 70, что в пределах ошибки совпадает с количеством неподтвержденных коротких гамма-всплесков длительностью 50 мс (67 всплесков), что также подтверждает наше предположение о возможной причине избытка данных событий.

Зависимость доли коротких гамма-всплесков от величины нижнего энергетического порога срабатываний E_{min} в различных экспериментах показана на Рис. 7. Из него следует, что эта доля растет с увеличением нижнего энергетического порога срабатываний. Данный факт можно объяснить тем, что короткие гамма-всплески имеют более жесткий спектр, чем длительные, и поэтому они эффективней регистрируются в более жестком энергетическом диапазоне. На Рис. 7 также показана доля коротких гамма-всплесков в эксперименте BAT/Swift в предположении бимодального распределения гамма-всплесков по длительности (открытая точка) и доля коротких гамма-всплесков в эксперименте RHESSI с учетом промежуточной группы гамма-всплесков (закрашенная точка). Видно, что данные точки существенно не подчиняются обнаруженной зависимости доли коротких гамма-всплесков от нижнего энергетического порога срабатываний. Это свидетельствует в пользу существования третьей, промежуточной груп-

пы гамма-всплесков в эксперименте BAT/Swift и о нецелесообразности введения данной группы в эксперименте RHESSI. Во всех остальных случаях, где для описания распределения T_{90} введение третьей группы не требуется, доля коротких гамма-всплесков подчиняется простой зависимости $22.4 \log(E_{min})$. Вопрос о природе промежуточной группы остается открытым.

Как видно из Рис. 4–6 и Табл. 2, характерная продолжительность длительных всплесков уменьшается с увеличением нижней границы энергетического диапазона, в котором происходит вычисление параметра T_{90} . Зависимость наиболее вероятной длительности T_{90} распределения длинной моды гамма-всплесков от минимальной энергии диапазона регистрации E_{min} можно описать степенным законом $T_{90}^{max} \propto E_{min}^{-\alpha}$, с показателем $\alpha = 0.43 \pm 0.14$ (Рис. 8). Интересно, что данная зависимость в пределах ошибки совпадает с зависимостью длительности отдельных импульсов кривой блеска длительных гамма-всплесков от энергетического диапазона ($T_{peak} \propto E^{-0.4}$), найденной в работе [26]. Очевидно, что если кривая блеска состоит из одного единственного импульса, то эти зависимости описывают одно и то же явление. Однако подавляющее большинство длительных всплесков все же состоит из нескольких пульсов. В этом случае совпадение зависимостей длительности всего

всплеска и отдельных импульсов от энергии говорит о том, что с увеличением количества импульсов, составляющих кривую блеска, длительность отдельного импульса уменьшается. Действительно, уменьшение длительности импульса с увеличением количества импульсов, составляющих кривую блеска, была найдена другим методом в [27]. Физические причины уменьшения длительности всплесков в увеличении границ энергетических диапазонов пока не найдены.

С другой стороны, наиболее вероятное значение T_{90} для коротких гамма-всплесков не проявляет значимой зависимости от энергетического диапазона (см. Рис. 8). Возможно, это связано с отсутствием спектрально-временного запаздывания в кривых блеска коротких гамма-всплесков.

3.4. “Сверхкороткие” гамма-всплески

В усредненной кривой блеска третьей группы (неподтвержденные короткие события длительностью $T_{90} \leq 0.05$ с) также найдено продленное излучение на интервале порядка 125 с и суммарной интенсивностью (213 ± 35) отс/с (Рис. 2). Поэтому можно предположить, что природа “сверхкоротких” гамма-всплесков та же, что и “обычных” коротких. Большая интенсивность продленного излучения сверхкоротких гамма-всплесков может быть связана с более близким их расположением, как это уже обсуждалось в разделе 3.2. Возможно, однако, что сверхкороткие гамма-всплески ($T_{90} \leq 0.1$ с) составляют отдельный класс событий [28], наряду с выделяемыми в настоящее время длительными и короткими гамма-всплесками, и что физический механизм их генерации имеет другую природу — они могут быть связаны с испарением гипотетических первичных черных дыр. Сверхкороткие гамма-всплески, по версии Клайна [28], имеют следующие свойства: 1) более жесткий спектр по сравнению с „обычными“ короткими гамма-всплесками; 2) угловое распределение на небесной сфере неоднородно. Эти события концентрируются в направлении ($l \sim 120^\circ$, $b \sim 0^\circ$), т.е. примерно на антицентр Галактики; 3) они являются близкими (расстояние до них порядка 300 пк) объектами Галактики.

Проверить эти утверждения по данным SPI-ACS нельзя, однако можно сопоставить продленное излучение с гамма-всплесками от первичных черных дыр. Теоретическая кривая блеска, соответствующая испарению первичной черной дыры, состоит из очень короткого эпизода, длительность которого составляет доли секунды, см., например, [28, 29]. Продленное излучение у таких событий не должно наблюдаться в гамма-диапазоне. То есть продленное излучение, обнаруженное для группы всплесков с $T_{90} \leq 0.1$ с, не

совместимо с гипотезой о их возникновении при испарении первичных черных дыр.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы короткие гамма-всплески, зарегистрированные с помощью спектрометра SPI обсерватории INTEGRAL за период 2002–07 гг. В усредненных кривых блеска трех групп событий найдено значимое продленное излучение длительностью 25 с и более. Продленное излучение, найденное в усредненной кривой блеска коротких событий, не подтвержденных другими обсерваториями, может служить доказательством того, что часть событий в этой выборке является реальными гамма-всплесками. Таким образом, доля коротких гамма-всплесков, зарегистрированных с помощью SPI-ACS INTEGRAL, значительно больше, чем считалось до сих пор и может составлять от 30 до 45% от всех гамма-всплесков, зарегистрированных в этом эксперименте.

Доля коротких, более жестких, гамма-всплесков растет с увеличением нижнего энергетического порога срабатывания детекторов (Табл. 2).

При исследовании распределения длительностей и продленного излучения коротких гамма-всплесков SPI-ACS INTEGRAL не получено убедительных свидетельств в пользу существования отдельного класса сверхкоротких гамма-всплесков.

БЛАГОДАРНОСТИ

В заключение мы хотели выразить благодарность С.А. Гребеневу, С.В. Молькову и И.В. Человекову за обсуждение работы, а также В.В. Соколову и Н.Ф. Войханской за замечания, устранение которых способствовало улучшению статьи. Работа поддержана программой РАН “Происхождение, строение и эволюция объектов Вселенной.”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. P. Mazets, S. V. Golenetskii, V. N. Il'inskii, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **80**, 3 (1981).
2. C. Kouveliotou, C. A. Meegan, G. J. Fishman, et al., *Astrophys. J.* **413**, L101 (1993).
3. B. Paczynski, *Astrophys. J.* **494**, L45 (1998).
4. S. I. Blinnikov, I. D. Novikov, T. V. Perevodchikova, et al., *Pis'ma Astronom. Zh.* **10**, 422 (1984).
5. E. Berger, P. A. Price, S. B. Cenko, et al., *Nature* **438**, 988 (2005).

6. E. P. Mazets, R. L. Aptekar, and T. L. Cline, *Astrophys. J.* **680**, 545 (2008).
7. V. Connaughton, *Astrophys. J.* **567**, 1028 (2002).
8. D. Lazzati, E. Ramirez-Ruiz, and G. Ghisellini, *Astronom. and Astrophys.* **379**, L39 (2001).
9. D. D. Frederiks, R. L. Aptekar, S. V. Golenetskii, et al., in *Third Rome Workshop on Gamma-Ray Bursts in the Afterglow Era*, Ed. by M. Feroci, F. Frontera, N. Masetti, and L. Piro (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2004), 197.
10. E. Montanari, F. Frontera, C. Guidorzi, et al., *Astrophys. J.* **625**, L17 (2005).
11. J. P. Norris and J. T. Bonnell, *Astrophys. J.* **643**, 266 (2006).
12. N. Gehrels, J. P. Norris, V. Mangano, et al., *Nature* **444**, 1044 (2006).
13. P. Minaev, A. Pozanenko, and V. Loznikov, *Pis'ma Astronom. Zh.* **10** (2010).
14. A. v. Kienlin, N. Arend, G. Lichti, et al., *Proc. of the SPIE*, **4851**, 1336 (2003).
15. P. Minaev, A. Pozanenko, and V. Loznikov, *AIP Conference Proceedings* **1133**, 418 (2009).
16. A. Rau, A. von Kienlin, K. Hurley, et al., *Astrophys. J.* **438**, 1175 (2005).
17. N. Gehrels, *AIP Conference Proceedings* **1000**, 3 (2008).
18. I. Horvath, L. Balazs, and P. Veres, *AIP Conference Proceedings* **1133**, 412 (2009).
19. I. Horvath, *Astrophys. J.* **508**, 757 (1998).
20. J. Ripa, A. Meszaros, C. Wigger, et al., *Astronom. and Astrophys.* **498**, 399 (2009).
21. N. Gehrels, E. Ramirez-Ruiz, and D. B. Fox, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **47**, 567 (2009).
22. F. Ryde, L. Borgonovo, S. Larssonm et al., *Astronom. and Astrophys.* **411**, L331 (2003).
23. T. Q. Donaghy, D. Q. Lamb, T. Sakamoto, et al., arXiv:astro-ph/0605570
24. I. Mitrofanov, A. Pozanenko, J.-L. Atteia, et al., in *Gamma Ray Bursts: Observations, Analyses, and Theories*, Ed. by C. Ho, R. Epstein, and E. Fenimore (Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1992), 203.
25. A. S. Kozyrev, I. G. Mitrofanov, A. B. Sanin, et al., *Astron. Lett.* **30**, 435 (2004).
26. E. E. Fenimore, J. J. M. in't Zand, J. P. Norris, et al., *Astrophys. J.* **448**, L101 (1995).
27. I. Mitrofanov, A. Pozanenko, M. Briggs, et al., *Astrophys. J.* **504**, 925 (1998).
28. D. B. Cline, B. Czerny, C. Matthey, et al., *Astrophys. J.* **633**, L73 (2005).
29. V. Petkov, E. Bugaev, and P. Klimai, *Pis'ma Astronom. Zh.* **34**, 563 (2008).
30. <http://swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/>
31. G. Vianello, D. Gotz, and S. Mereghetti, *Astronom. and Astrophys.* **495**, 1005 (2009).
32. F. Frontera, C. Guidorzi, E. Montanari, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 192, (2009).
33. <http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/HXD-WAM/WAM-GRB/>
34. C. Barat, частное сообщение (2007).

SHORT GAMMA-RAY BURSTS OF SPI-ACS INTEGRAL EXPERIMENT

P.Yu. Minaev, A.S. Pozanenko, V.M. Loznikov

We analyze short-duration gamma-ray bursts ($T_{90} > 2$ s) recorded in the SPI-ACS experiment of the INTEGRAL observatory. We found an extended emission in the averaged light curve of both short-duration gamma-ray bursts and unidentified short-duration events. We show that the fraction of short-duration gamma-ray bursts among all the gamma-ray bursts recorded in the SPI-ACS experiment may be as high as 30 to 45%. We find the fraction of short gamma-ray bursts to augment while increasing the lower energy threshold. We report evidence for the absence of the class of very short gamma-ray bursts.

Key words: *gamma-ray burst: general*