

Продлённое излучение в кривых блеска космических гамма-всплесков, зарегистрированных экспериментом SPI-ACS INTEGRAL

Г.Ю. Мозгунов,
П.Ю Минаев,
А.С. Позаненко
ИКИ РАН

Проводится поиск и исследование продлённого излучения космических гамма-всплесков. В работе начат систематический поиск продленного излучения для длинных гамма-всплесков, зарегистрированных в эксперименте SPI-ACS/INTEGRAL. Для поиска продлённого излучения используется алгоритм суммирования отсчетов в последовательных временных интервалах до достижения определённого уровня статистической значимости. Особое внимание уделено вопросам определения модели фона на больших интервалах времени. Предложен алгоритм количественного выделения продленного излучения. Представлены первые результаты поиска и исследования продленного излучения.

(1) ВВЕДЕНИЕ

Гамма-всплески — это самые мощные катастрофы во вселенной. Они происходят на космологических расстояниях, ближайший к нам всплеск был зарегистрирован на космологическом красном смещении $z=0,008$, а самый далёкий на $z=9,4$. Частота этих событий порядка 1 раза в день. Существуют два типа гамма-всплесков: длинные, длительность которых больше 2х секунд, часть из которых связана со сверхновыми и короткие, связанные со слиянием релятивистских двойных систем. Процесс излучения принято разделять на две фазы: активная, во время которой происходит излучение гамма-фотонов и пассивная, во время которой происходит обнаружение менее энергетичных фотонов и которое не связано с выделением энергии.

Продлённое излучение: гамма-излучение, продолжающееся после завершения активной фазы всплеска. Основная проблема состоит в том, что оно слабо отличается от фона. Природа продлённого излучения остаётся невыясненной.

Данная работа посвящена исследованию индивидуальных кривых блеска зарегистрированных в эксперименте SPI-ACS INTEGRAL, с целью поиска продлённого излучения, его каталогизации и выяснение его принадлежности к основной или пассивной фазе

(2) ЭКСПЕРИМЕНТ SPI-ACS INTEGRAL

В работе анализировались данные антисовпадательной защиты ACS [1] спектрометра SPI, размещенной на обсерватории INTEGRAL.

Эксперимент SPI-ACS является одним из лучших инструментов для поиска и исследования продлённого излучения, поскольку обладает высокой чувствительностью за счет огромной площади BGO детекторов (5250 см²), регистрирует фотоны почти со всех направлений в широком энергетическом диапазоне (80 – 10000 кэВ) и имеет стабильный уровень фона на масштабах времени порядка 1000 сек, что чрезвычайно важно для нашей задачи.

(3) ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для формирования выборки использовался мастерлист [2], представляющий собой компиляцию каталогов гамма-всплесков и циркуляров GCN.

Для того чтобы вычесть фон мы определяем наилучшую из двух моделей: кубической и линейной, и вычитаем её из исходной кривой. Т.к. длительность продлённого излучения может быть совершенно разной, мы выбираем наибольший возможный интервал, порядка двух тысяч секунд до всплеска и трёх тысяч после. Если же определить модель фона не получается, например когда фон слишком нестабильный, то такие события не участвуют в дальнейшем рассмотрении.

После вычитания фона мы можем построить интегральную кривую, определить максимальные потоки на шкалах в 50 мс и 1 с, а также интегральный поток, а также определить основной параметр длительности гамма-всплеска T90 – время за которое детектор фиксирует 90% отсчётов. Эти данные необходимы будут для построения каталога гамма-всплесков

Предстоит обработать порядка 4000 гамма-всплесков, зафиксированных SPI-ACS с 2002 по 2018 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] von Kienlin A. [et al.], INTEGRAL Spectrometer SPI's GRB detection capabilities. GRBs detected inside SPI's FoV and with the anticoincidence system ACS // A&A 411, L299–L305 (2003)
[2] Hurley K. <http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/chronological.txt>.

(4) ПОИСК ПРОДЛЁННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

По аналогии с T90 мы можем построить график зависимости длительности T_x от доли наблюдаемых отсчётов S_x . Начиная с 5ти процентов и до 95ти с шагом 5 мы считаем время за которое детектор фиксирует данное число отсчётов и заносим их на график ниже. При прохождении быстропеременной активной фазы излучения длительность менялась незначительно, но в области медленно меняющегося продлённого излучения длительность стала существенно расти. По горизонтальной оси – вычисленная нами длительность, а по вертикальной соответствующая ей доля отсчётов.

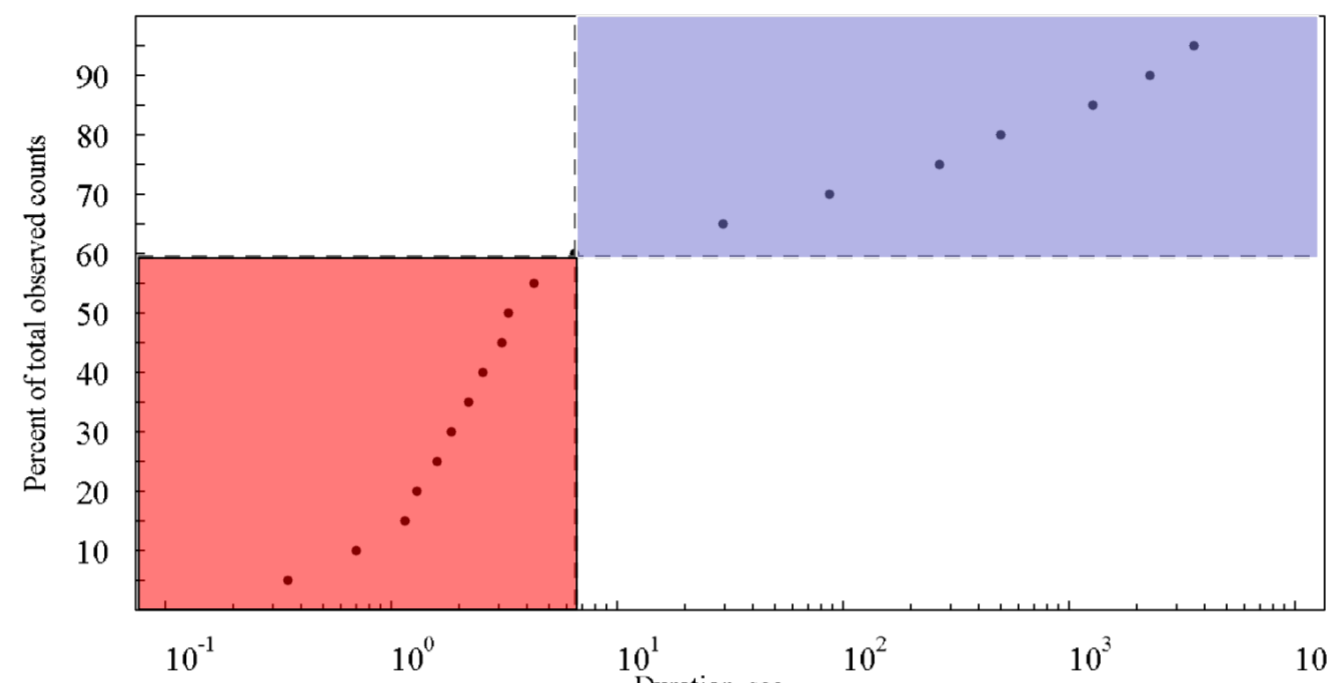


Рис. 1. Последовательность для GRB 021206. Синим цветом выделена область доминирования продлённого излучения, красным – активной фазы.

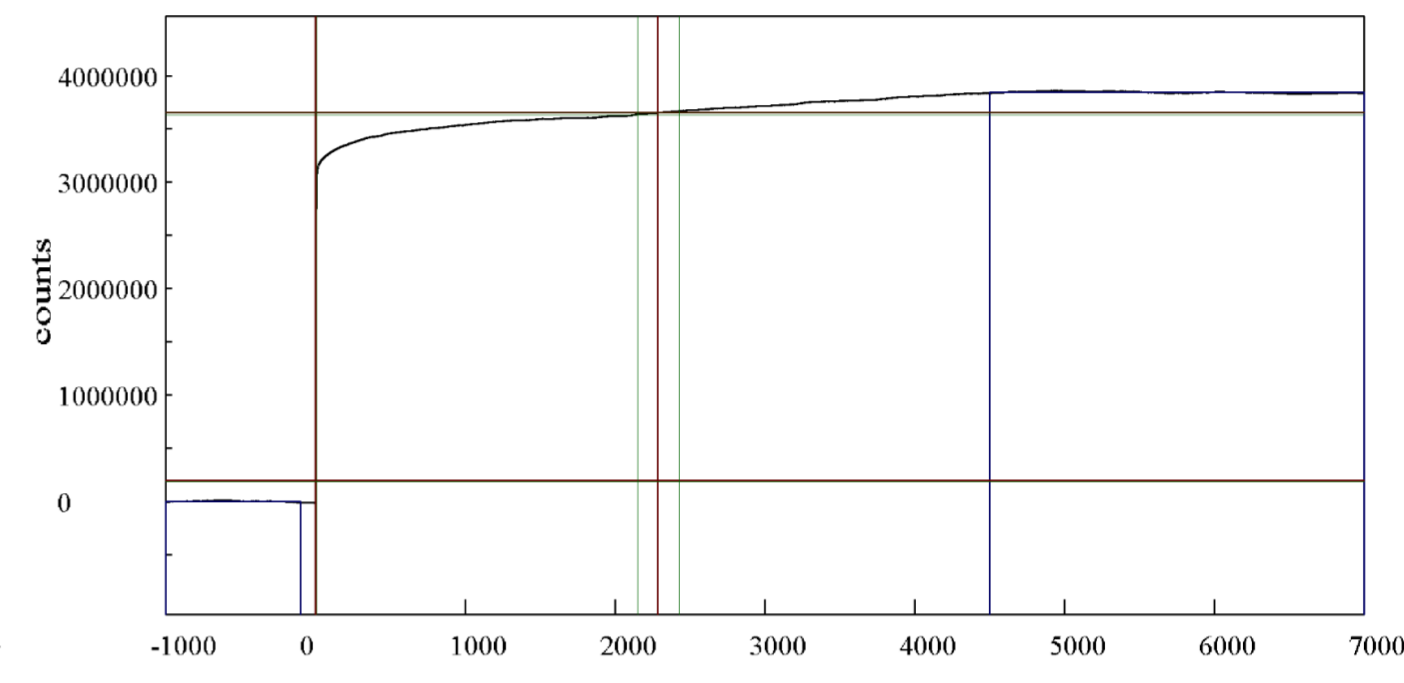


Рис. 2. Интегральная кривая с уровнями 0,5, 95, и 100% и их ошибками и соответствующие им моменты времени для определения T90 для GRB 021206.

На примере получившейся картинке хорошо видно, что наблюдается излом около 60% отсчётов и на длительности примерно 8 секунд. Это происходит из-за того, что вклад в интегральную кривую начинает вносить по большей части продлённое излучение, и чтобы набрать то же самое число отсчётов что и ранее, должно пройти большее время. Это самое время – 8 секунд – мы можем считать приблизительным моментом начала продлённого излучения.

Чтобы отделить продлённое излучение от фона был использован специальный алгоритм обработки кривой блеска. Мы суммировали поток в соседних временных интервалах (исходное временное разрешение составляет 50мс) до накопления статистической значимости более N_σ стандартных отклонений. Величина N_σ не является постоянной, а зависит от числа накопленных интервалов: $N_\sigma = A_0 - \alpha \lg T$, где T – суммарная длительность накопленных интервалов, а параметры A_0 и α определяют пороговый уровень значимости и подбираются индивидуально для каждого всплеска. Это позволит располагать точки более равномерно, что улучшит последующую аппроксимацию. Результат работы алгоритма представлен на Рисунке 2, где изображена кривая блеска гамма-всплеска после вычитания фона и процедуры суммирования

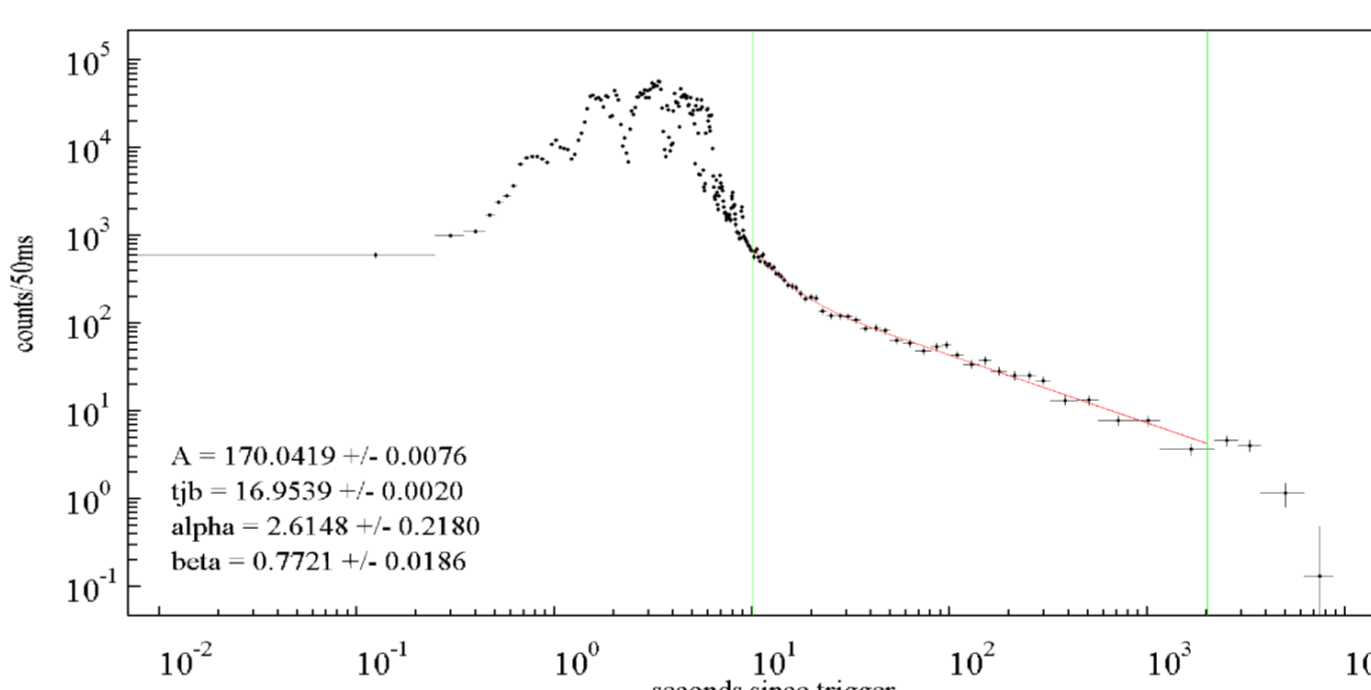


Рис. 3. Перебинированная кривая блеска GRB 021206, зеленым выделены интервалы аппроксимации, параметрами α и β – показатели степенных функций

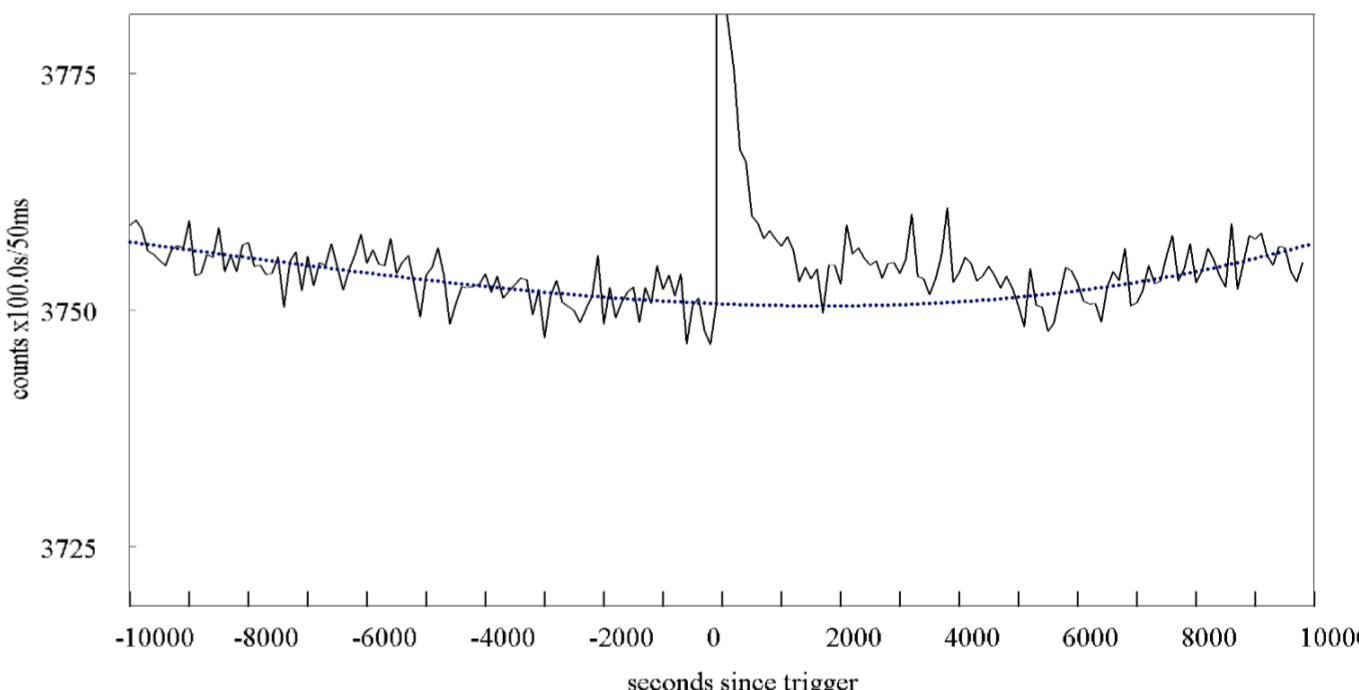


Рис. 4. Исходная кривая блеска GRB 021206, длительность бина 150 с, синим выделена модель фона

Для количественного описания продлённое излучение мы аппроксимируем её степенной функцией с изломом $F = F_0 \left(\left(\frac{t}{t_{jb}} \right)^{\alpha\omega} + \left(\frac{t}{t_{jb}} \right)^{\beta\omega} \right)^{\frac{-1}{\omega}}$, где t_{jb} время излома, а ω – параметр фиксированный на значении -2. Интервалы аппроксимации выбраны ориентируясь на время начала продлённого излучения, определённую ранее. Значимость продлённого излучения в случае всплеска 021206 составила 69,5σ

РЕЗУЛЬТАТЫ

- [1] – Продлённое излучение действительно наблюдается в индивидуальных кривых блеска, но только ярких всплесков
[2] – Предложен алгоритм поиска начала продлённого излучения через последовательность длительностей
[3] – По первым обработанным событиям можно сказать что доля всплесков с продлённым излучением составляет 3%