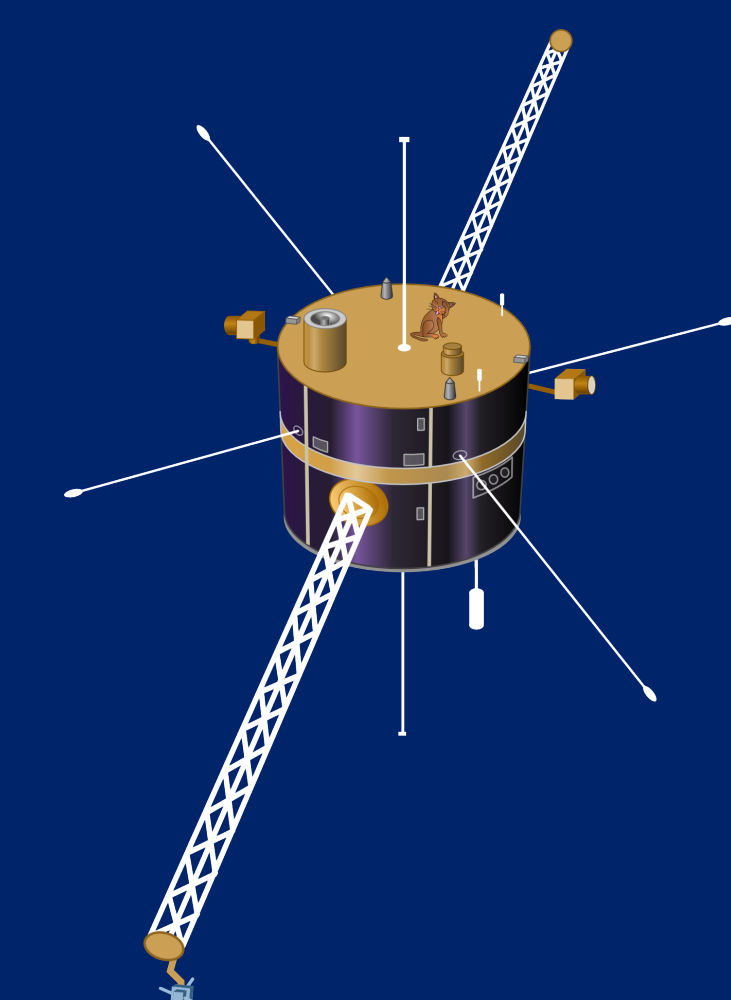


Третий каталог коротких гамма-всплесков, зарегистрированных инструментом Konus-Wind

А.Л. Лысенко, Д.С. Свинкин, Д.Д. Фредерикс,
А.В. Ридная, А.Е. Цветкова, М.В. Уланов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург



Аннотация

В каталоге представлены результаты систематического анализа 199 коротких гамма-всплесков (sGRBs), зарегистрированных в эксперименте Konus-Wind (KW) с января 2011 г. по август 2021 г. Приводятся характеристики кривых блеска (длительности, спектральные задержки), спектральные параметры, а также полные и пиковые потоки энергии в диапазоне 10 кэВ–10 МэВ. С учётом "Второго каталога KW sGRBs" [Svinkin et al., 2016], охватывающего период 1994–2010 гг, полный набор sGRBs, зарегистрированных KW, расширен до ~500 событий. Для этой полной выборки оценены статистические распределения временных, спектральных и энергетических характеристик. Полученные результаты обсуждаются в контексте классификации всплесков по физическим типам: Тип I, от слияния компактных объектов, и Тип II, от коллапса ядра массивной звезды. Отдельно рассмотрены две подвыборки sGRB, а именно, sGRB с продлённым излучением (EE) и кандидаты в гигантские вспышки магнетаров (MGF) в близких галактиках.

Таблица: Распределение параметров sGRBs по спектральным моделям и физическим типам.

Модель или Тип	Число всплесков	τ_{lag21} (мс)	τ_{lag32} (мс)	τ_{lag31} (мс)	α	β	E_p (кэВ)	S^a	F_{peak}^b
PL	7	...	...	...	-1.61 [-1.93, -1.25]	...	...	4.1 [1.5, 6.6]	30 [12, 65]
CPL	467	...	...	...	-0.50 [-1.17, 0.40]	...	522 [121, 1908]	1.9 [0.5, 13.8]	14 [4, 114]
BAND	18	...	...	...	-0.06 [-0.86, 1.58]	-2.3 [-3.0, -1.8]	274 [110, 749]	7.1 [3.0, 45.4]	33 [6, 352]
Type I	356	2 [-16, 45]	2 [-22, 34]	2 [-24, 67]	-0.41 [-1.00, 0.53]	-2.1 [-2.7, -1.7]	596 [252, 1786]	1.8 [0.5, 10.7]	16 [6, 91]
Type lee	27	2 [-6, 33]	4 [-32, 47]	5 [-23, 72]	-0.62 [-1.03, 0.19]	...	1353 [304, 2699]	6.9 [1.0, 104.9]	61 [8, 355]
Type lee+lee/II	38	2 [-6, 58]	6 [-28, 76]	10 [-14, 145]	-0.62 [-1.05, 0.33]	...	727 [191, 2424]	5.3 [0.9, 101.0]	33 [5, 326]
MGF candidates	5	0 [-2, 3]	0 [-3, 1]	4 [-3, 27]	-0.12 [-0.89, 0.57]	...	817 [322, 1649]	7.2 [1.1, 25.7]	275 [42, 738]
All	492	4 [-15, 87]	3 [-22, 42]	5 [-24, 91]	-0.50 [-1.22, 0.50]	-2.3 [-3.0, -1.8]	512 [121, 1899]	2.0 [0.5, 14.5]	15 [4, 121]

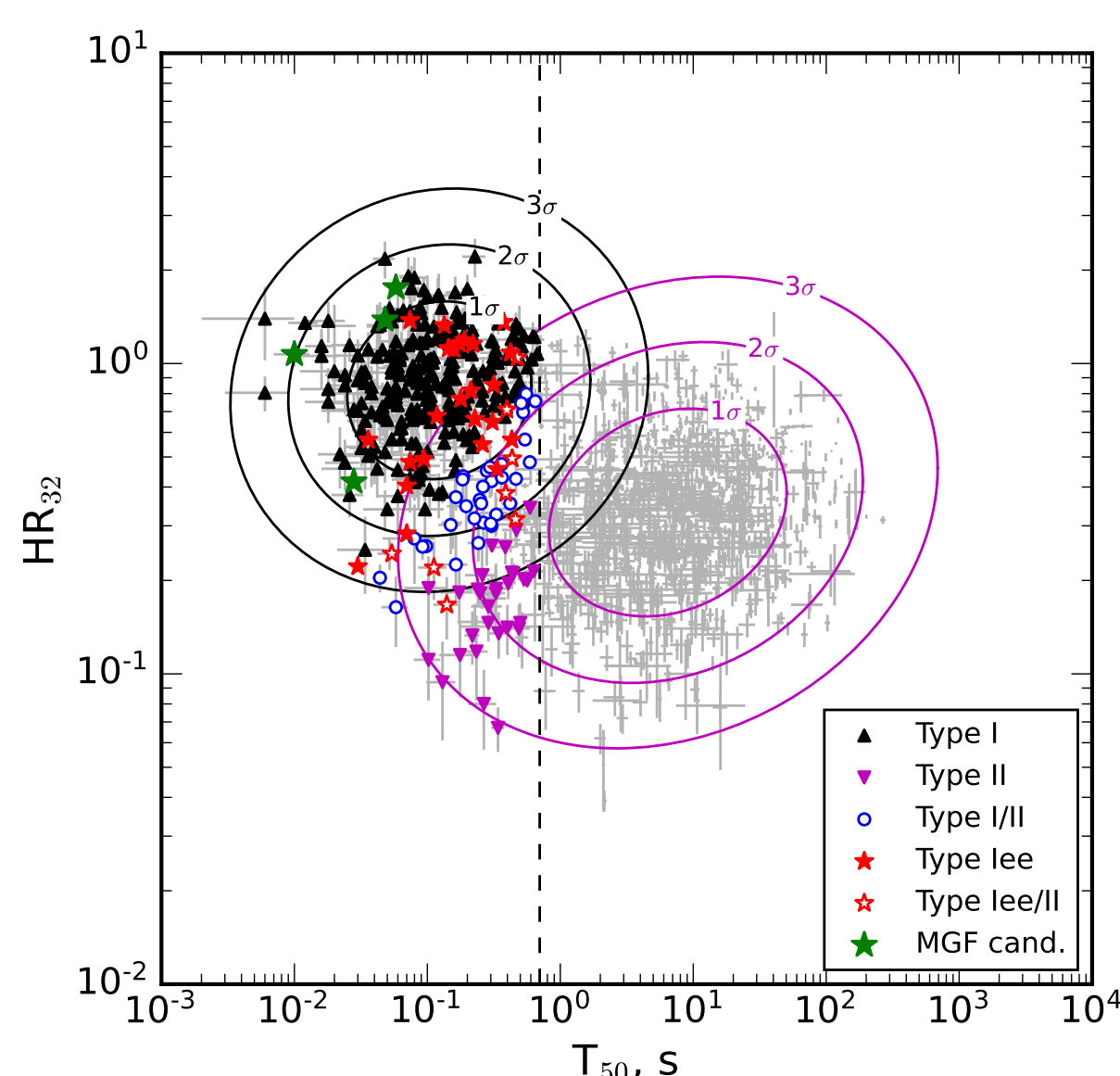
^aВ единицах 10^{-6} эрг см^{-2} .

^bВ единицах 10^{-6} эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$.

Konus-Wind

- KA WIND запущен 1 ноября 1994 г.
- С июля 2004 г. – на орбите вокруг точки L1 (~1.5 млн км от Земли, до 7 lt s).
- KW [Artekar et al., 1995]: 2 детектора NaI(Tl) с полями зрения 2π и диапазоном 20 кэВ–15 МэВ (в текущих калибровках).
- Непрерывный мониторинг всей небесной сферы условиях исключительно стабильного фона с чувствительностью до 10^{-7} эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$.
- Фоновый режим: Временные профили в 3х широких каналах: G1 (~20–80 кэВ), G2 (~80–300 кэВ), G3 (~300–1200 кэВ) с временным разрешением 2.944 с.
- Триггерный режим: Временные профили в тех же 3х каналах с переменным разрешением от 2 до 256 мс, общей длительностью ~240 с. 64 многоканальных спектра в двух частично перекрывающихся энергетических диапазонах: I диапазон ~20 кэВ–1200 кэВ, 64 канала. II диапазон ~400 кэВ–20 МэВ, 60 каналов. Времена накопления многоканальных спектров: 64 мс – для спектров № 1–4, 256 мс–8.192 с – для спектров № 5–56, 8.192 с – для спектров № 57–64.

Выборка коротких гамма-всплесков (sGRBs)



В качестве границы между короткими и длинными гамма-всплесками было выбрано значение $T_{50} = 0.7$ с (T_{50} – временной интервал между 25% и 75% квантилями полного числа отсчётов всплеска). С учетом этого критерия выборка KW sGRB за 2011–2021 гг насчитывает 199 событий. Каталог IPN-локализаций их источников: Svinkin et al. [2022]. Для поиска sGRBs с продлённым излучением (EE) использовались следующие критерии: короткий начальный импульс (IP) с последующим более слабым излучением без интенсивных пиков и заметной спектральной эволюции.

Всплески были разделены на физические типы на основании деления на два гауссовых кластера в плоскости жёсткость–длительность, $HR_{32} - T_{50}$ [Svinkin et al., 2016]. Согласно этой классификации выборка sGRBs 1994–2021 гг. содержит 356 всплесков Типа I (Type I, всплески от слияния компактных объектов), 44 всплеска Типа II (Type II, всплески от коллапса массивных звёзд), 50 всплесков неопределённого типа Type I/II, 27 всплесков Типа I с EE (Type lee), 11 всплесков неопределённого типа Type lee/II.

Набор sGRBs, зарегистрированных Konus-Wind с 1994 по 2023 гг. содержит пять событий, чьи области локализации перекрываются с близлежащими галактиками. Это GRB 051103 в группе галактик M81/M82 [Frederiks et al., 2007], GRB 070201 в галактике Андромеда M31 [Mazets et al., 2008], GRB 070222 в галактике M83 [Burns et al., 2021], GRB 200415A в галактике Скульптор (NGC 253) [Svinkin et al., 2021], и недавний GRB 231115A [Frederiks et al., 2023] в галактике M82.

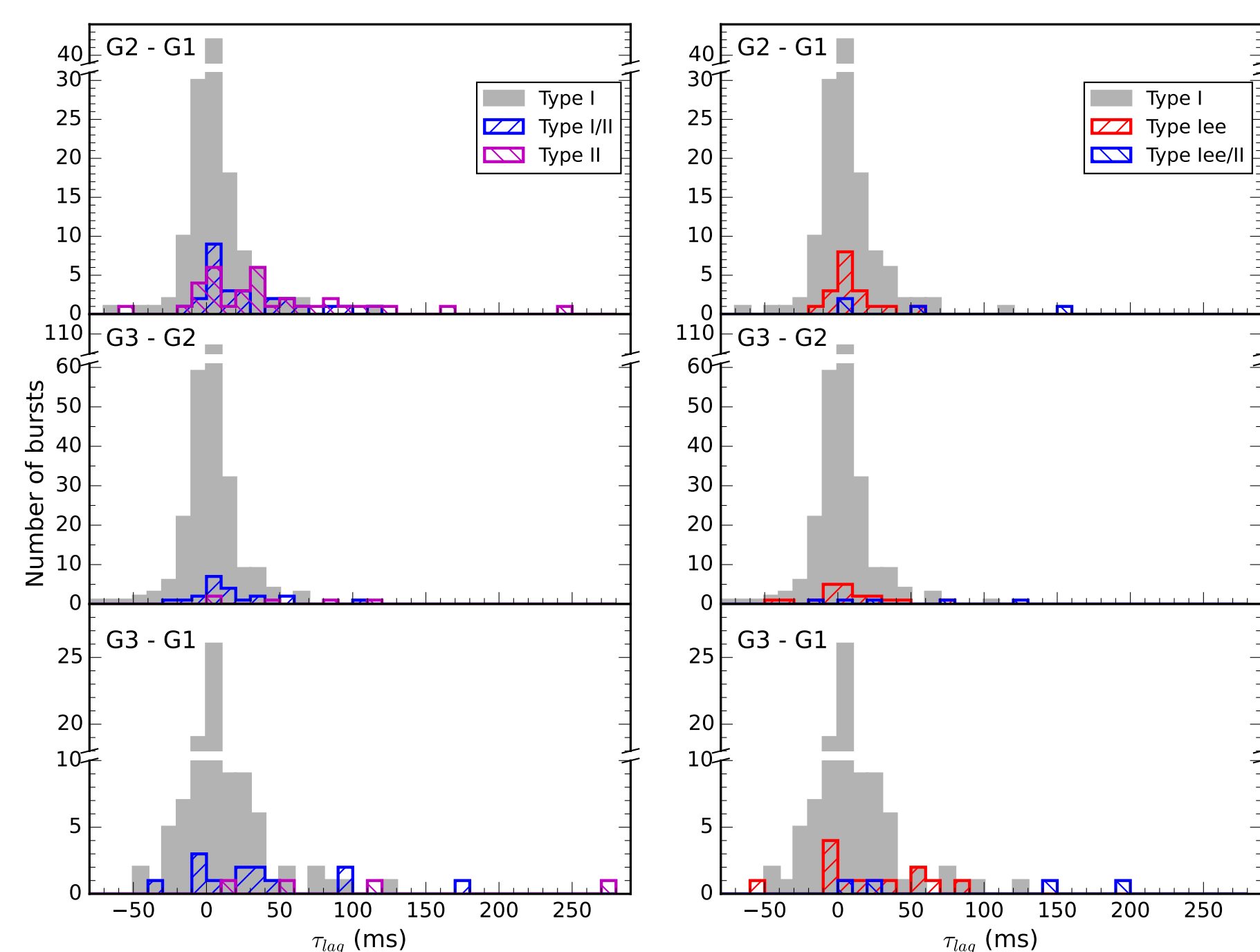
Онлайн материалы

Характеристики отдельных всплесков и данный постер доступны на сайте ФТИ им. Иоффе



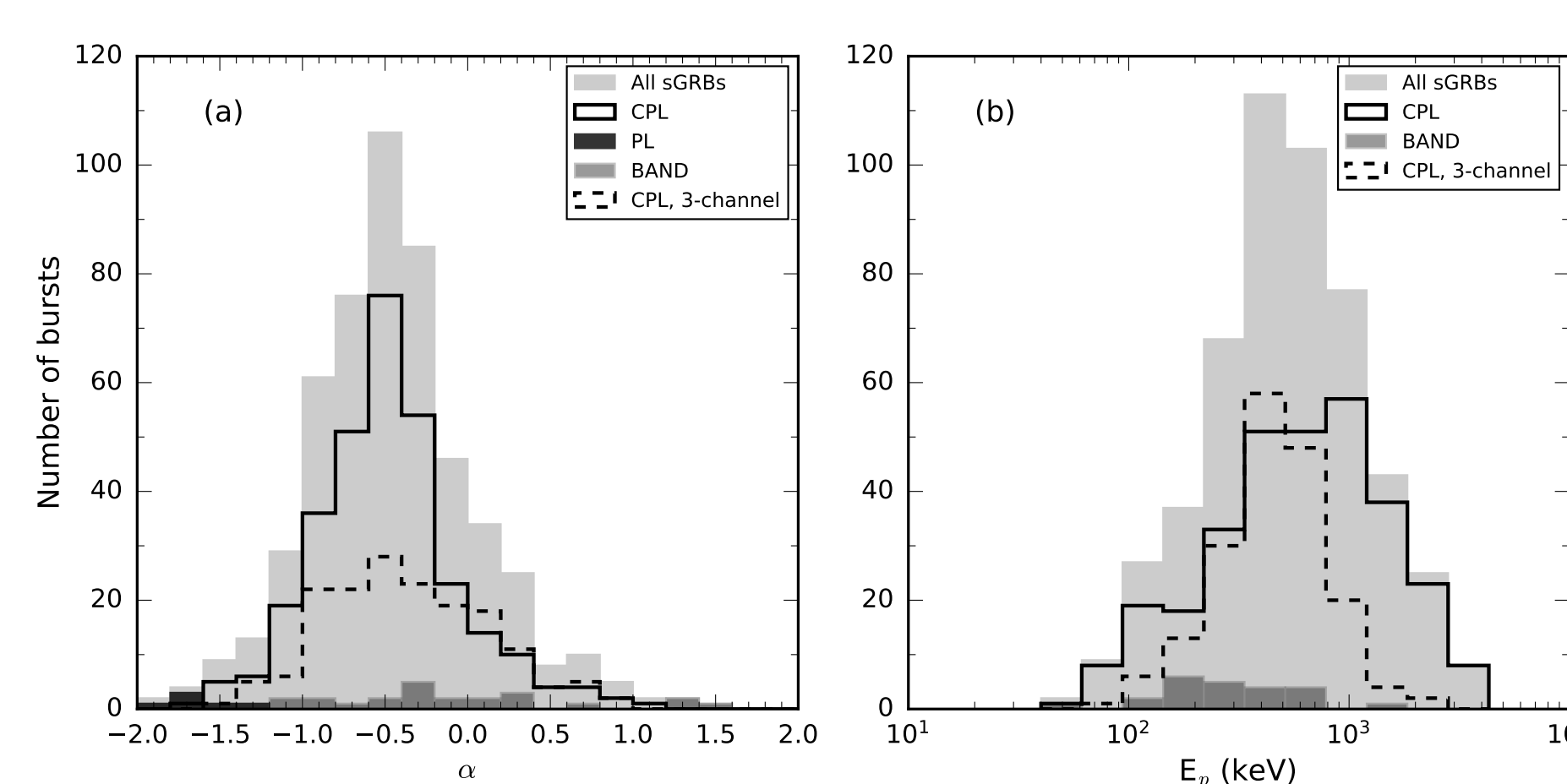
<http://www.ioffe.ru/LEA/shortGRBs/Catalog3/>

Спектральные задержки



Спектральные задержки между кривыми блеска в G1, G2, G3 рассчитаны на основании кросс-корреляционной функции (CCF). Положительная задержка означает, что излучение на более высокой энергии опережает излучение на более низкой.

Спектральные параметры



Спектральные аппроксимации проводились тремя функциями Степенной моделью (PL):

$$f_{PL} \propto E^\alpha. \quad (1)$$

Степенной моделью с экспоненциальным завалом в области высоких энергий (CPL):

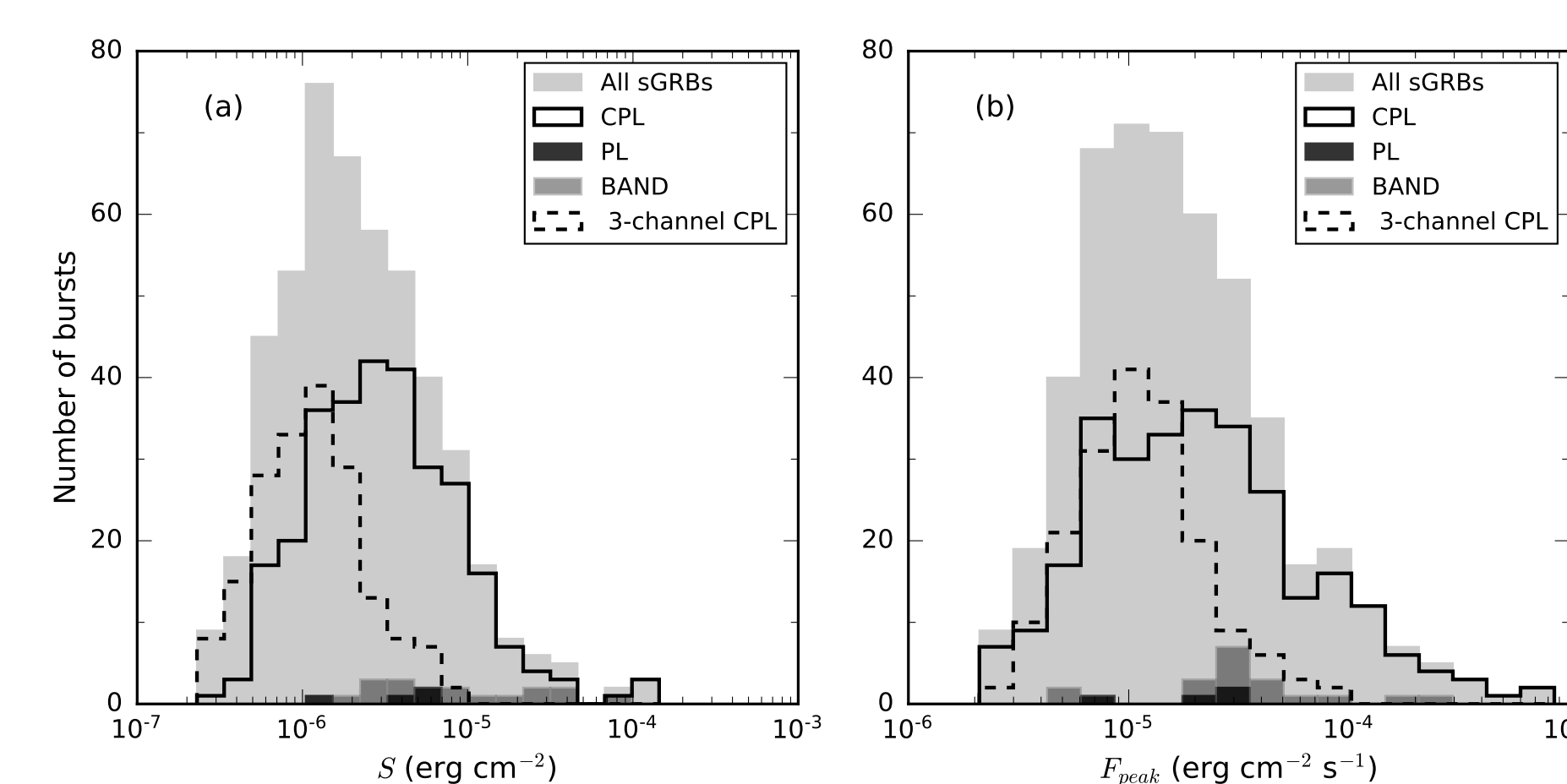
$$f_{CPL} \propto E^\alpha \exp\left(-\frac{E(2+\alpha)}{E_p}\right). \quad (2)$$

Функцией Банды (BAND):

$$f_{BAND} \propto \begin{cases} E^\alpha \exp\left(-\frac{E(2+\alpha)}{E_p}\right), & E < \frac{E_p(\alpha-\beta)}{2+\alpha} \\ E^\beta \exp(\beta - \alpha) \left[\frac{E_p(\alpha-\beta)}{2+\alpha}\right]^{\alpha-\beta}, & E \geq \frac{E_p(\alpha-\beta)}{2+\alpha}. \end{cases} \quad (3)$$

E_p – пиковая энергия спектра EF_E , α – фотонный индекс в области низких энергий, β – фотонный индекс в области высоких энергий. Предпочтительная модель выбиралась на основании F-test.

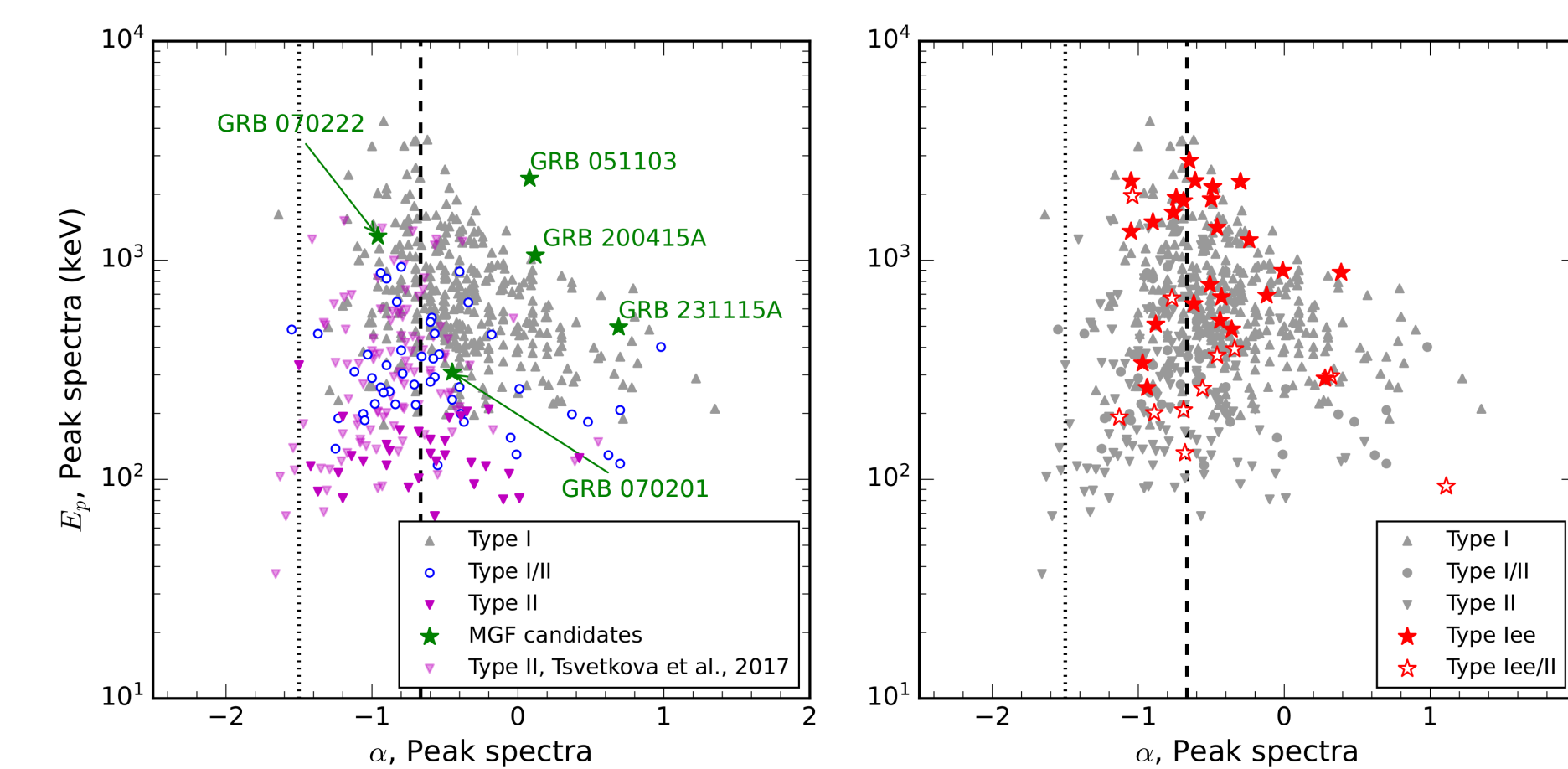
Интегральные (S) и пиковые (F_{peak}) потоки



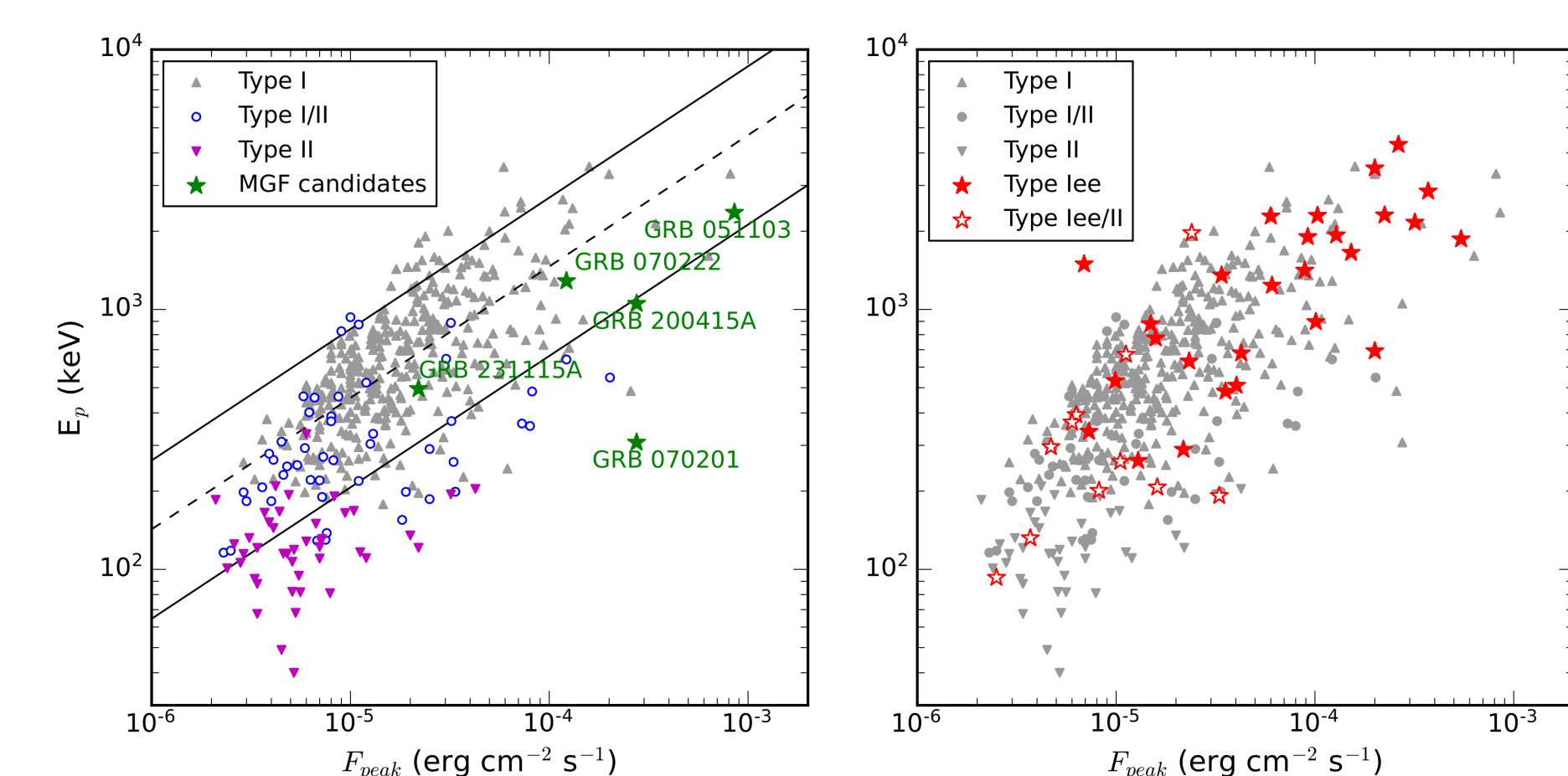
S и F_{peak} оценивались в диапазоне 10 кэВ–10 МэВ на основании энергетического потока, полученного при аппроксимации предпочтительной моделью. F_{peak} оценен на временном масштабе 16 мс.

Параметры всплесков и классификация

В Таблице 1 приведены медианные значения и доверительные интервалы (на уровне 90%) параметров для полного набора sGRB 1994–2021 гг. и для различных подклассов.



Большинство sGRBs характеризуются $\alpha > -2/3$ и не согласуются с простой моделью синхротронного излучения. По сравнению со всплесками Типа II из настоящей работы и из Tsvetkova et al. [2017] всплески Типа I характеризуются большими значениями α и E_p .



Для всплесков Типа I в системе наблюдателя соотношение жёсткость–интенсивность имеет вид $E_p \propto F_{peak}^{0.51 \pm 0.04}$ (аналог соотношения Йонетку для длинных всплесков)

Заключение

Для полной выборки 494 sGRBs, зарегистрированных Konus-Wind с 1994 по 2021 гг., были получены распределения спектральных задержек, спектральных параметров (α , β , E_p), интегральных и пиковых потоков. Получены параметры распределений этих величин (медианные значения и доверительные интервалы на уровне 90%) для подклассов коротких всплесков: всплесков Типа I (356 событий), всплесков Типа I с продлённым излучением (27 событий), кандидатов в гигантские вспышки (5 событий). Проанализированный набор коротких всплесков является самым большим набором ярких коротких всплесков в настоящее время, что делает статистическое исследование свойств sGRB Konus-Wind важным для понимания природы их источников.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-12-00250.

Список литературы

- Artekar R. L. et al. Konus-W Gamma-Ray Burst Experiment for the GGS Wind Spacecraft Space Sci. Rev. 71, 1, 265 (1995)
- Burns E. et al. Identification of a Local Sample of Gamma-Ray Bursts Consistent with a Magnetar Giant Flare Origin Astrophys. J. Letters 907, 2, id. L28 (2021)
- Frederiks D.D. et al. On the possibility of identifying the short hard burst GRB 051103 with a giant flare from a soft gamma repeater in the M81 group of galaxies Astronomy Letters 33, 1, pp 19-24 (2007)
- Frederiks D.D. et al. Konus-Wind detection of GRB 231115A (a probable Magnetar Giant Flare from M82) GRB Coordinates Network, 35062 (2023)
- Mazets E.P. et al. A Giant Flare from a Soft Gamma Repeater in the Andromeda Galaxy (M31) Astrophys. J. 680, 1, pp. 545-549 (2008)
- Svinkin D. et al. The Second Konus-Wind Catalog of Short Gamma-Ray Bursts Astrophys. J. Suppl. Series, 224, 2, id. 10 (2016)
- Svinkin D. et al. A bright γ -ray flare interpreted as a giant magnetar flare in NGC 253 Nature 589, 7841, pp. 211-213 (2021)
- Svinkin D. et al. The Second Catalog of Interplanetary Network Localizations of Konus Short-duration Gamma-Ray Bursts Astrophys. J. Suppl. Series, 259, 2, id. 34 (2022)
- Tsvetkova A.E. et al. The Konus-Wind Catalog of Gamma-Ray Bursts with Known Redshifts. I. Bursts Detected in the Triggered Mode Astrophys. J., 850, 2, id. 161 (2017).