

# Космические исследования в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Конус-Винд: результаты за 24+ года в космосе.

*Р. Л. Аптекарь, Д. Д. Фредерикс, С. В. Голенецкий, Д.С. Свинкин,  
М.В. Уланов, А. Е. Цветкова, А. Л. Лысенко, А. В. Козлова  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе*

и

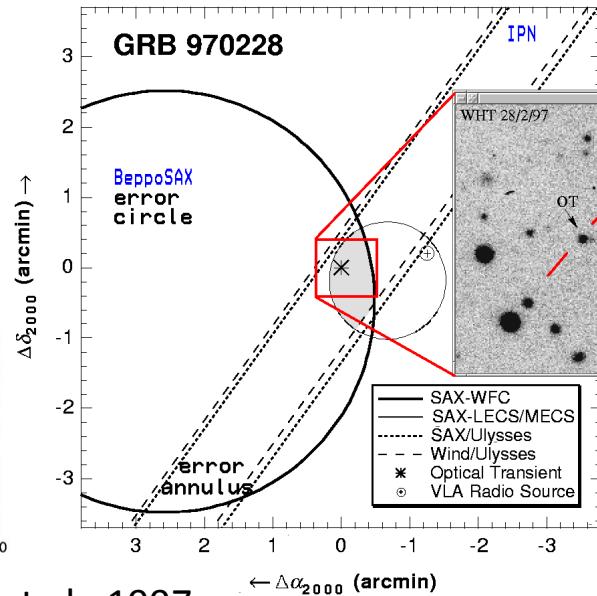
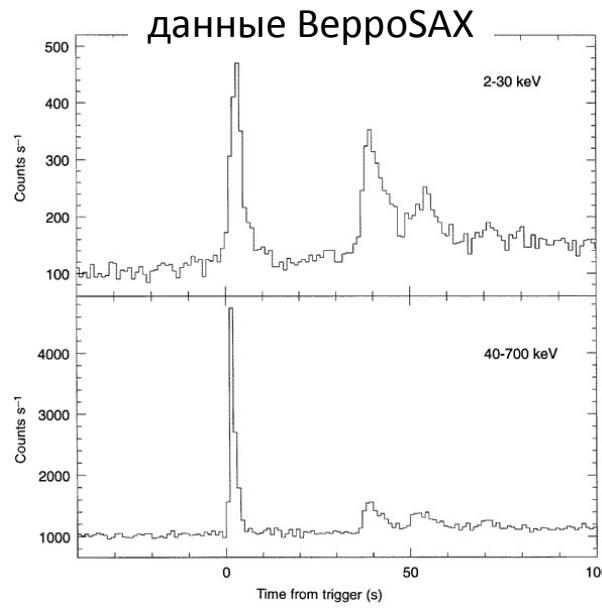
T. L. Cline  
NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD; Emeritus

# Содержание

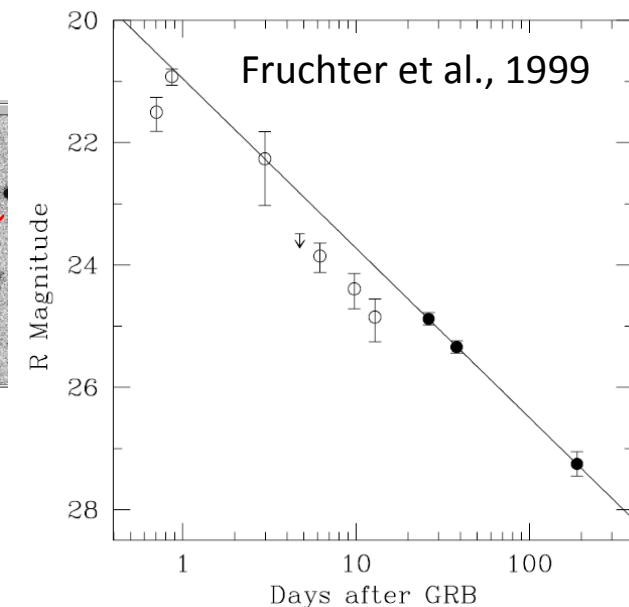
- Гамма-всплески (gamma-ray bursts, GRBs)
- Мягкие гамма-репитеры (soft gamma-repeaters, SGRs)
- Эксперимент Конус-Винд (Konus-Wind, KW)
- Межпланетная сеть гамма-детекторов (Interplanetary Network, IPN)
- Основные результаты
  - Гамма-всплески
  - Мягкие гамма-репитеры:  
галактические и внегалактические гигантские вспышки
  - Солнечные вспышки
  - Жесткие рентгеновские транзиенты
- Заключение

# 20 лет многоволновым наблюдениям гамма-всплесков

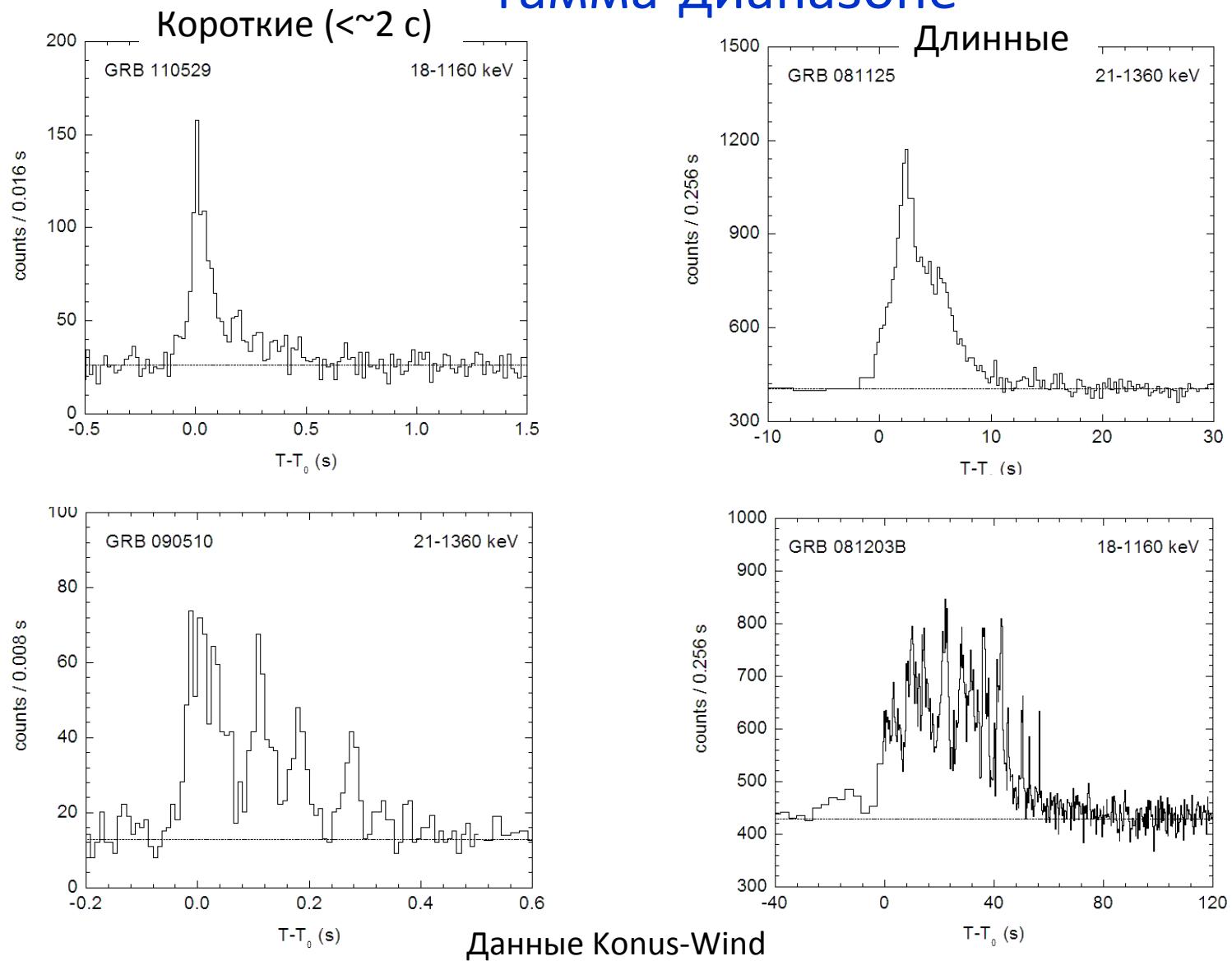
- Гамма-всплески открыты в конце 1960-х в диапазоне энергий  $\sim$ 50-500 кэВ на спутниках Vela.
- 28 февраля 1997 г гамма-всплеск GRB 970228 впервые отождествлен с затухающим источником рентгеновского и оптического излучения (послесвечение).
- Измерено красное смещение GRB 970228,  $z=0.695$ .
- GRB 970508 – обнаружение радио-послесвечения.



Costa et al., 1997

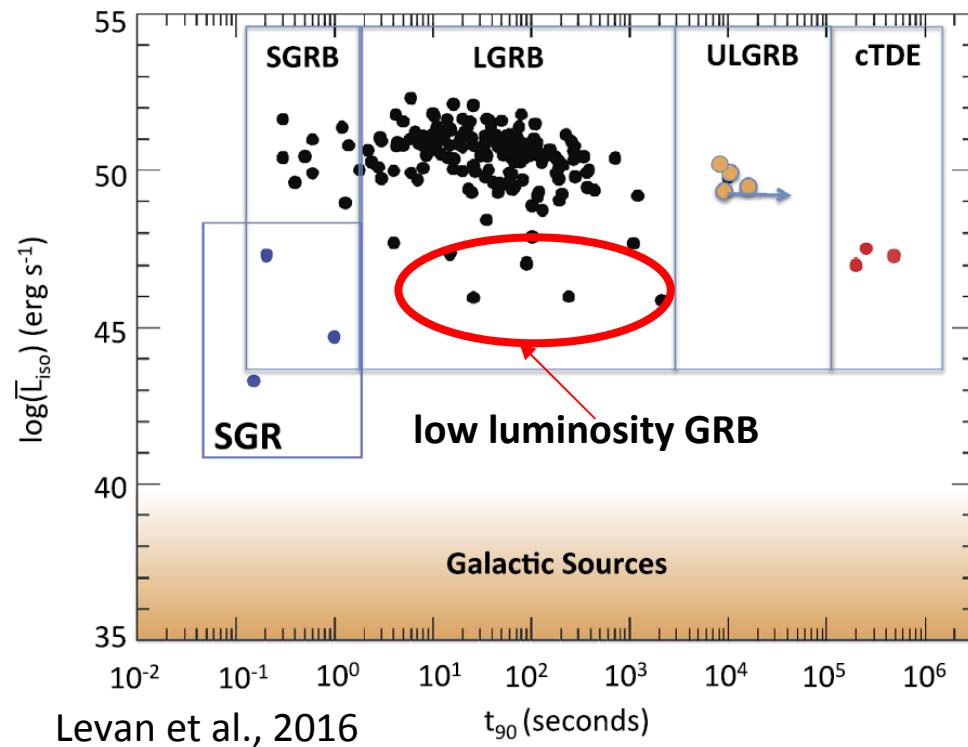


# Кривые блеска гамма-всплесков в гамма-диапазоне



# Зоопарк гамма-транзиентов. Гамма-Всплески.

- Длительности от  $\sim 10$  мс до  $\sim 1000$  с ( $10$  кэВ –  $10$  МэВ).
- Бимодальное распределение по длительности: «короткие» (SGRB) и «длинные» (LGRB) всплески с границей по длительности  $\sim 1$  с (Mazets et al., 1981)
- Выделяют ультра-длинные всплески (ultra long GRB, ULGRB)  $>\sim 1000$  с
- Источники на космологическом расстоянии:  
красное смещение  $z$  от  $0.0085$  (40 Мпк; GRB 980425/SN 1998bw) до  $9.4$  (GRB 090429B).
- Длинные гамма-всплески сопровождаются сверхновым (известно  $\sim 30$  GRBs) типов Тип Ic-BL.
- $L_{\text{max, iso}} \sim 10^{51} - 10^{54} \text{ erg s}^{-1}$   
( $L_{\text{SN Ib/c, max}} \sim 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$ )
- $E_{\gamma, \text{iso}} \sim 10^{51} - 10^{54} \text{ erg} (\sim 10^{-3} - 1 M_{\text{Sun}} c^2)$
- Излучение коллимировано  $\theta \sim 10^\circ$
- С учётом коллимации  $E_{\gamma} \sim 10^{49}-10^{52} \text{ erg}$



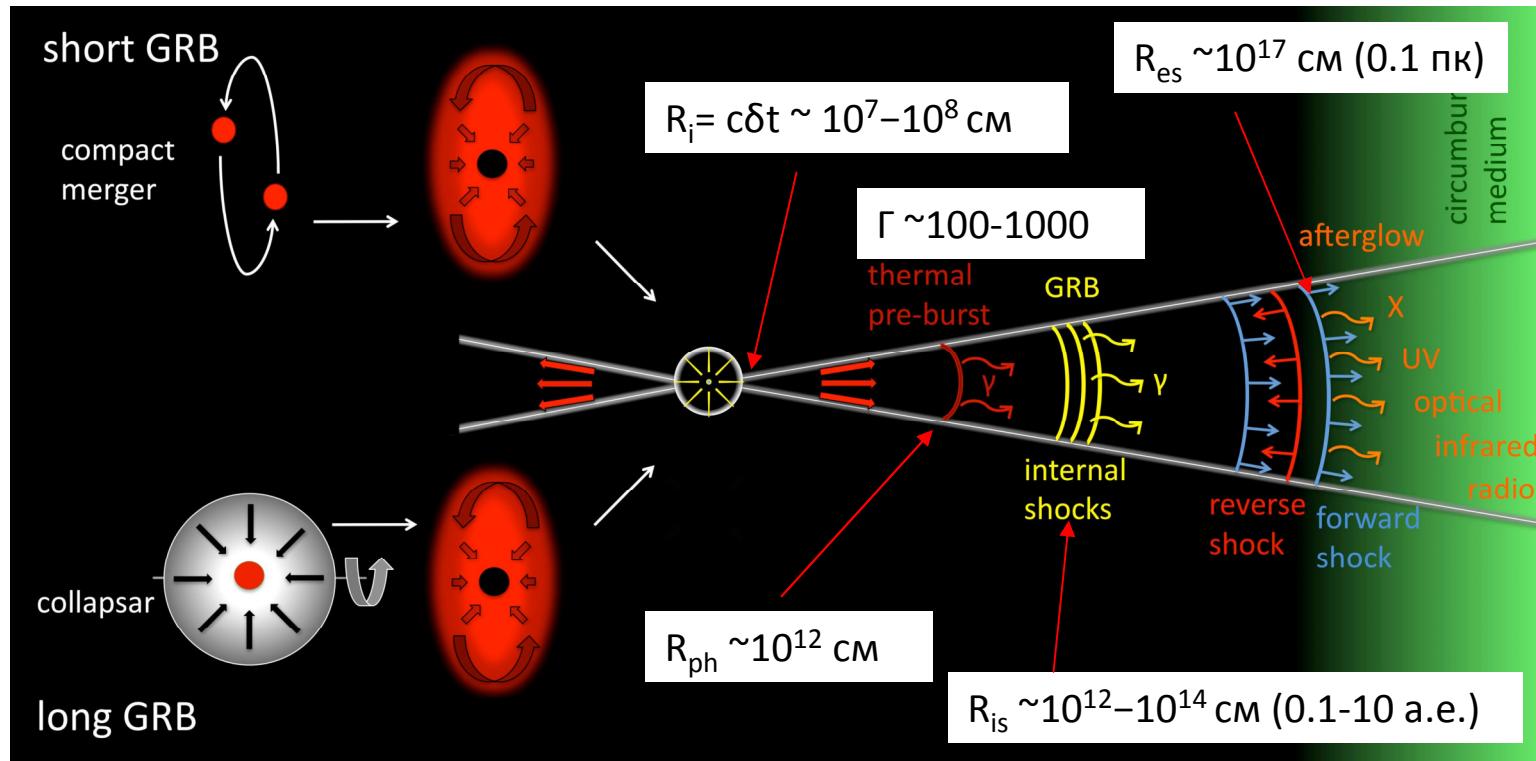
# Физическая классификация GRBs

	<i>Тип I</i>	<i>Тип II</i>
Длительность гамма-излучения	$< \sim 2$ с	$> \sim 2$ с
Рентгеновские послесвечения	наблюдаются не всегда; $\sim$ в 10 раз слабее; рентгеновские вспышки	наблюдаются для большинства GRBs; рентгеновские вспышки
Оптическое послесвечение	наблюдаются редко; слабое	наблюдаются для большинства GRBs
Родительские галактики	галактики всех типов; источники GRBs на больших расстояниях от центров	галактики поздних типов; источники GRBs в наиболее ярких голубых областях
Сверхновые	никогда не наблюдаются; жесткие верхние пределы	Тип Ic-BL
Красные смещения (медианы)	$\sim 0.3$	$\sim 1.8$
Предполагаемые источники	Слияния НЗ-НЗ или НЗ-ЧД	Коллапс ядер массивных звёзд $\sim > 100 M_{\text{sun}}$

Zhang et al., 2006, 2007, 2009

# Модель источника гамма-всплесков

- Гамма-излучение: фотосфера релятивистской струи (джета) или синхротронное излучение  $e^-$ , ускоренных на внутренних ударных волнах джета.
- Послесвечение: ударная волна между джетом и межзвёздной средой.
- Джет:  $\Gamma \sim 100-1000$ ,  $\theta_j < \sim 10^\circ$ ,  $M_b < \sim 10^{-6} M_{\text{Sun}}$



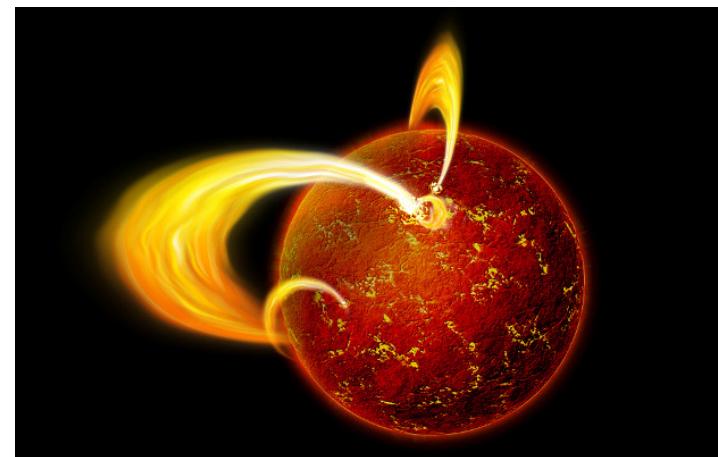
# Мягкие гамма-репитеры (Soft gamma-repeaters, SGRs)

## □ Мягкие гамма-репитеры (SGRs):

- редкие галактические объекты (известно  $\sim 20$ )
- проявляют два типа активности: короткие всплески ( $\Delta T < \sim 1$  с;  $L \sim 10^{38}-10^{42}$  эрг с $^{-1}$ ) и гигантские вспышки
- светимость в гигантской вспышке (GF) до  $\sim 10^{47}$  эрг с $^{-1}$  (зарегистрировано 3 GF)
- GF могут наблюдаться от внегалактических SGR как короткие GRBs (Мазец и Голенецкий, 1981 г.)
- Молодые медленно вращающиеся быстро замедляющиеся НЗ ( $P \sim 2 - 12$  с;  $dP/dt \sim 10^{-13} - 10^{-11}$  с с $^{-1}$ )

## □ Модели:

- молодые нейтронные звезды с экстремальными магнитными полями ( $B \sim 10^{13}-10^{15}$  Гс, по магнито-дипольной формуле),  $B > B_{QED} = 4.4 \times 10^{13}$  Гс
- акреция остаточного диска на нейтронную звезду



## Эксперимент Конус-Винд

- **Wind** – научный КА программы NASA The Global Geospace Science (GGS) запущен 1 ноября 1994 24 года непрерывных наблюдений (!)
- В настоящее время на орбите вокруг точки лагранжа L<sub>1</sub>, с удалением до 2.1 млн. км (~7 световых с) от Земли.
- Конус-Винд (Konus-Wind, KW) – совместный российско-американский эксперимент по изучению транзиентов в гамма-диапазоне 10 кэВ - 10 МэВ.
- Спектрометр разработан в ФТИ.
- Первый российский научный инструмент на американском спутнике.



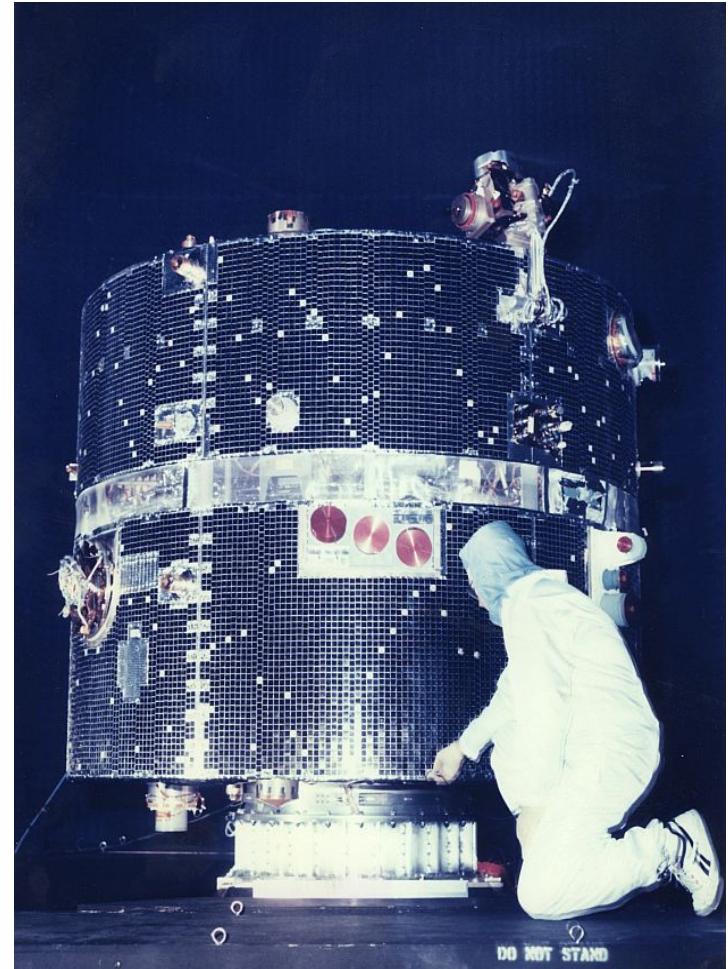
# Эксперимент Конус-Винд

## Инструмент

- Два NaI(Tl) сцинтиляционных гамма-спектрометра ( $130 \times 75$  mm);
- Диапазон энергий  $\gamma$ -квантов 20 кэВ – 15 МэВ,  $S_{\text{eff}} \sim 100-160$  см $^2$ ;
- Режим “Фон”:
  - кривые блеска в диапазоне 20-1500 кэВ (врем. Разрешение 2.944 с);
- Режим “Всплеск” (триггер):
  - кривые блеска с разрешением 2-256 мс
  - 128-канальные спектры (20 кэВ – 15 МэВ);

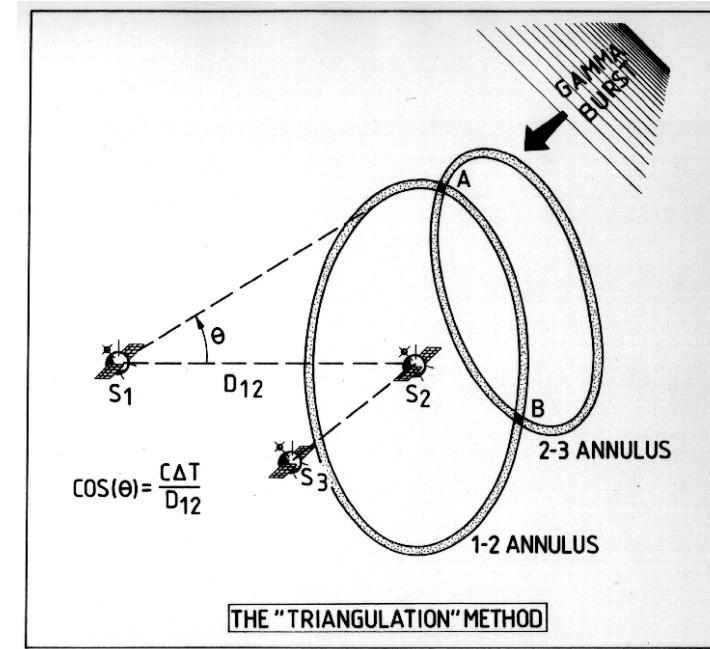
## Приемущества

- широкий энергетический диапазон;
- стабильный фон;
- постоянный обзор всего неба без затенений;
- доля времени наблюдения 95%;
- наблюдение практически всех ярких событий ( $>10^{-6}$  эрг см $^{-2}$  с $^{-1}$ ).



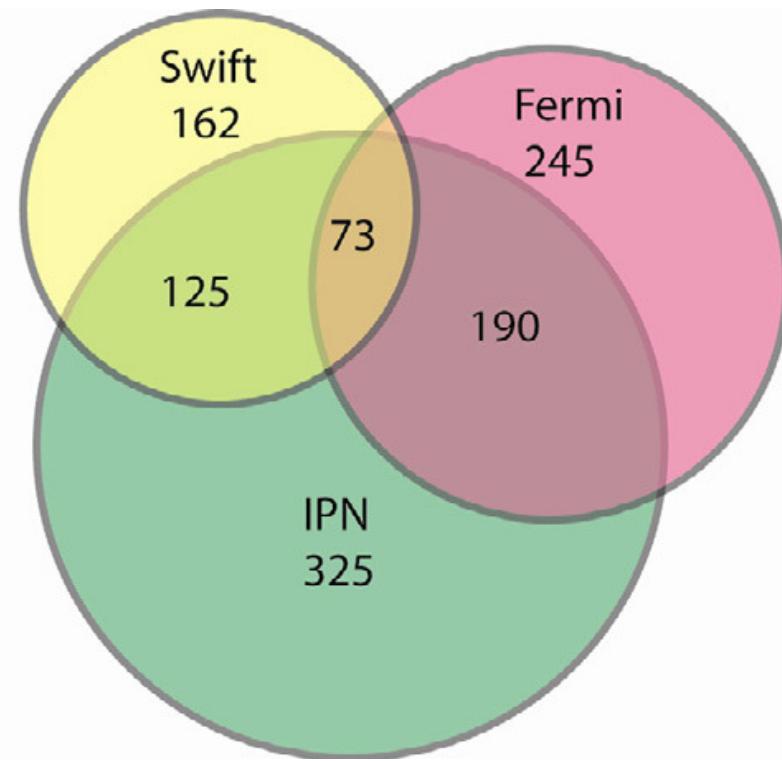
# Конус-Винд – ключевое звено сети локализации гамма-всплесков

- Межпланетная сеть Interplanetary Network (IPN) функционирует с 1990 г.
- В настоящее время включает 7 КА: **AGILE, Fermi, RHESSI, and Swift** (на низкой орбите); **INTEGRAL** (на высокоапогейной орбите с удалением 0.5 св. сек.); **Wind** (до 7 св. сек.) и **Mars-Odyssey** (Марс, до 1200 св. сек.)
- Ранее включала: **MESSENGER, Suzaku, BATSE, Ulysses, etc.**
- IPN обеспечивает непрерывный обзор неба с чувствительностью  $\sim 10^{-6}$  эрг см $^{-2}$  ( $\sim 1$  фот. см $^{-2}$ )
- Конус-Винд имеет наибольшее временное разрешение, чувствительность и точность временной привязки среди удалённых КА, что позволяет получать узкие кольца ( $\sim 10$  arcmin) при триангуляции с околоземными КА.



K. Hurley,  
<http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/>

- Только ~30% гамма-всплесков (GRB) локализуются Swift/BAT (~1 arcmin) или Fermi/LAT (~0.5°) с точностью, необходимой для начала многоволновых наблюдений.
- Триангуляция с удалёнными КА может дополнительно дать до  $\sim 100$  GRB год $^{-1}$ .
- Конус-Винд детектирует ~98% событий с потоком  $>10^{-6}$  эрг см $^{-2}$ .
- IPN также используется для поиска:
  - гамма-всплесков, связанных с источниками нейтрино и  $\gamma$ -квантов сверхвысоких энергий и источниками гравитационных волн;
  - внегалактических гигантских вспышек SGR;
  - $\gamma$ -излучения от сверхновых.



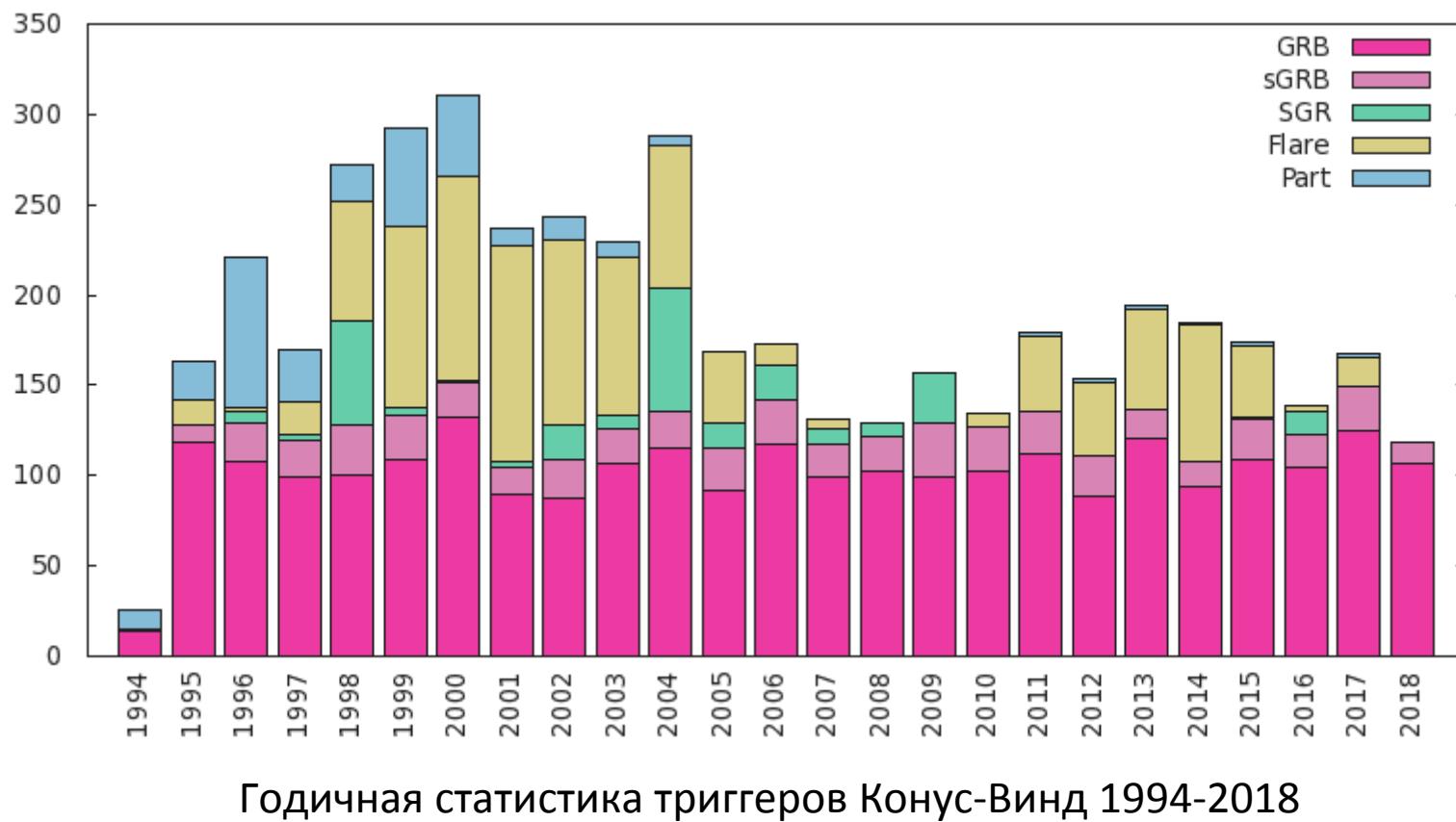
Hurley et al. (2013)

# Эксперимент Конус-Винд

## □ Статистика наблюдений (триггеры):

3050 – GRBs (Fermi ~2500, BATSE ~2700, Swift ~1250),

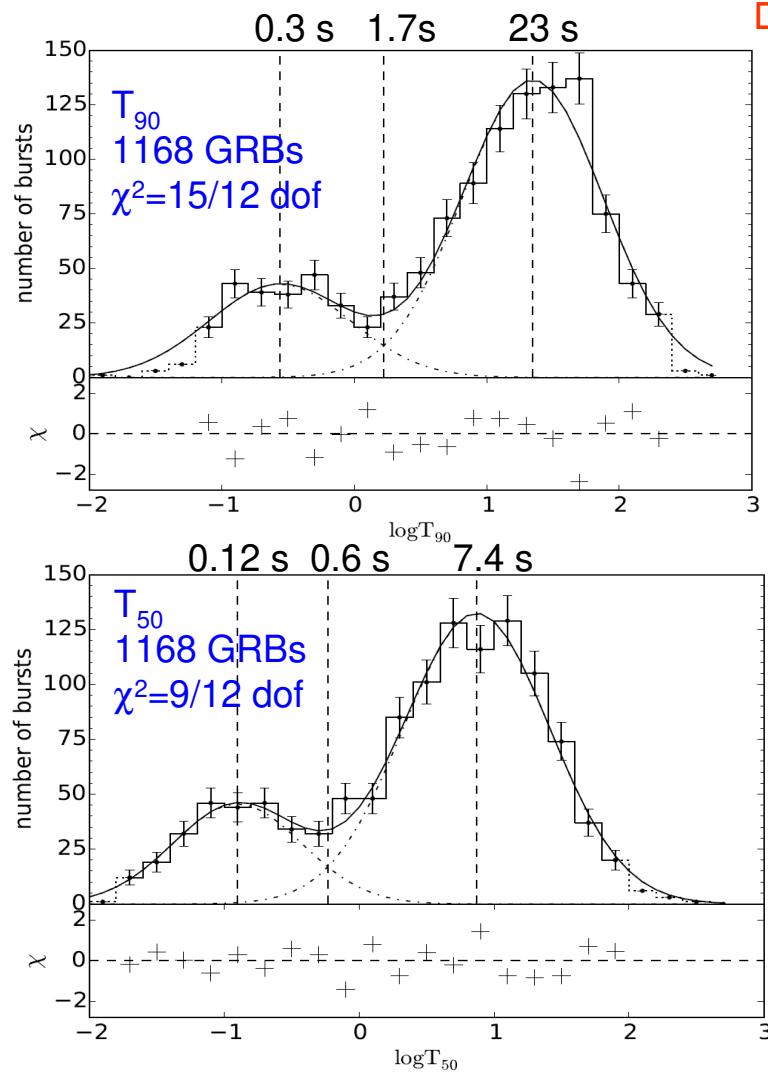
260 – SGRs, 1000 – Solar flares



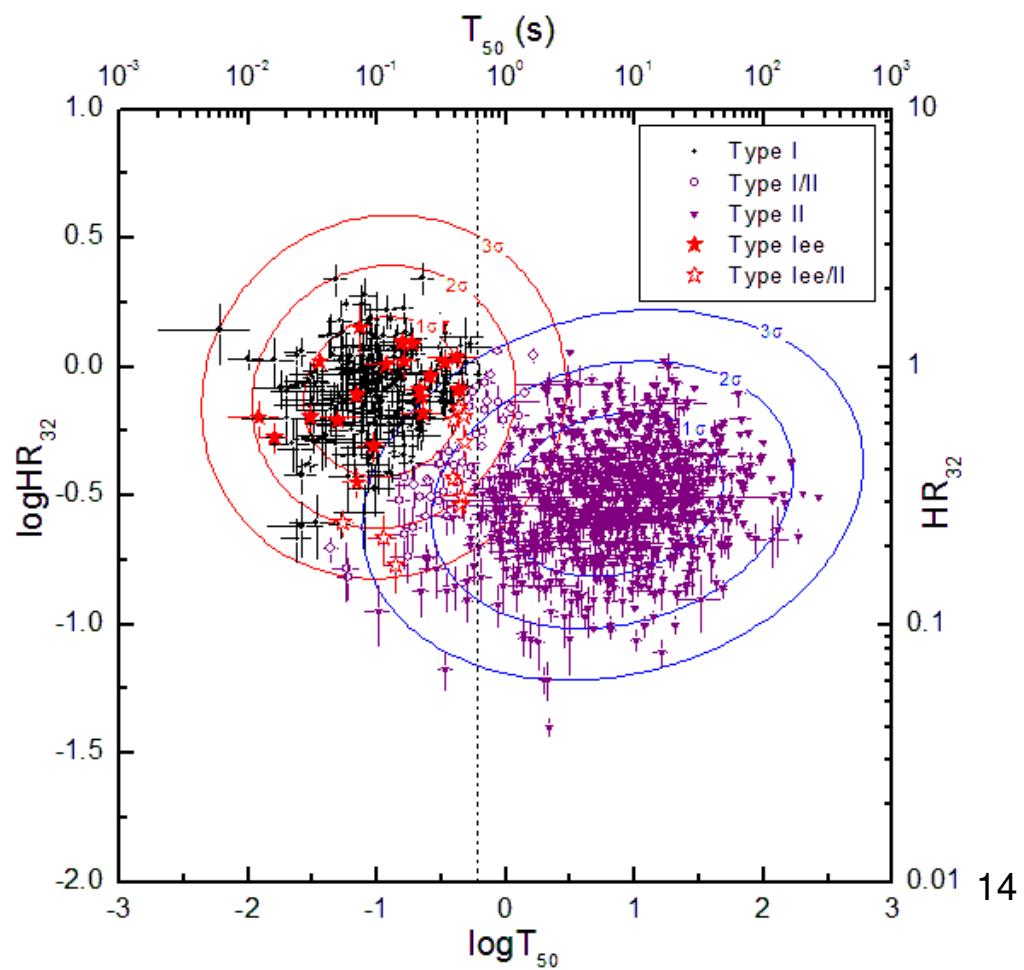
Годичная статистика триггеров Конус-Винд 1994-2018

# Классификация гамма-всплесков Конус-Винд

- Два типа всплесков “короткие” и “длинные”. Доля коротких 15% (для границы  $T_{50}=0.6$  с)
- Распределение жесткость-длительность хорошо аппроксимируется 2-мя гауссианами

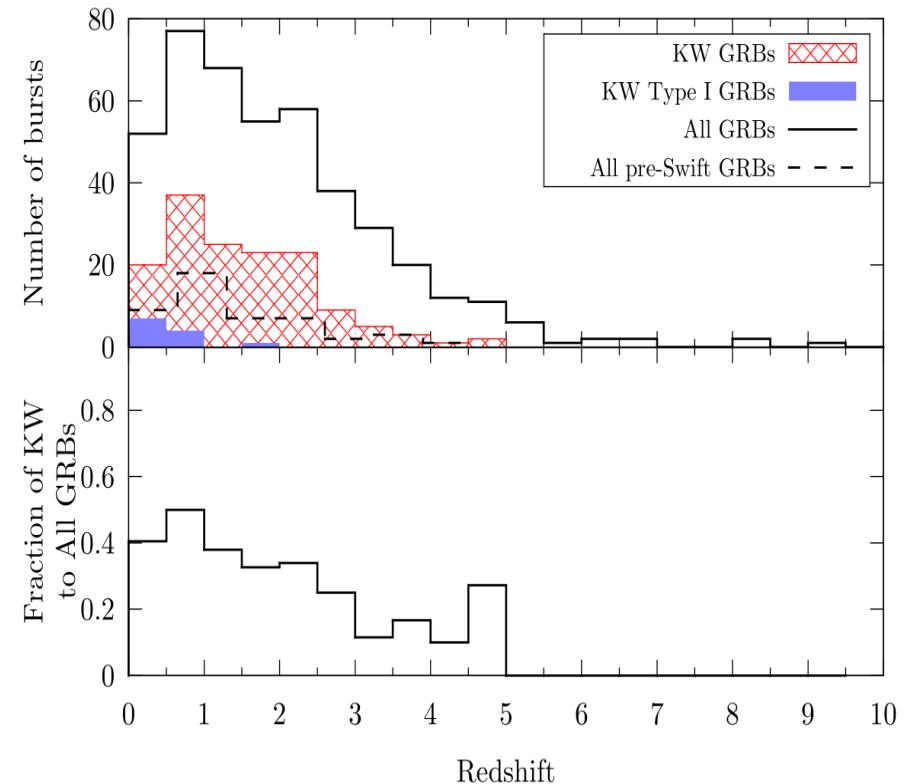


- Классификация на плоскости жесткость/длительность:  
18% - Тип I (короткие/жесткие), 78% - Тип II (длинные/мягкие),  
4% с неоднозначной классификацией (I или II).



# GRBs с известными красными смещениями по данным Конус-Винд

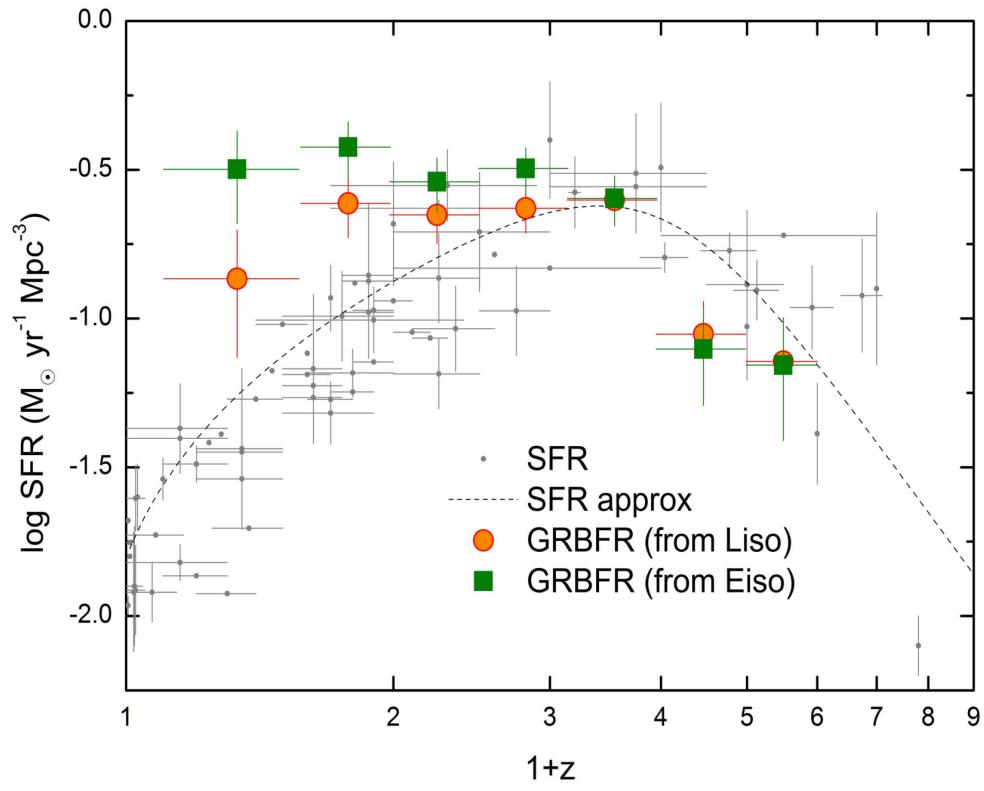
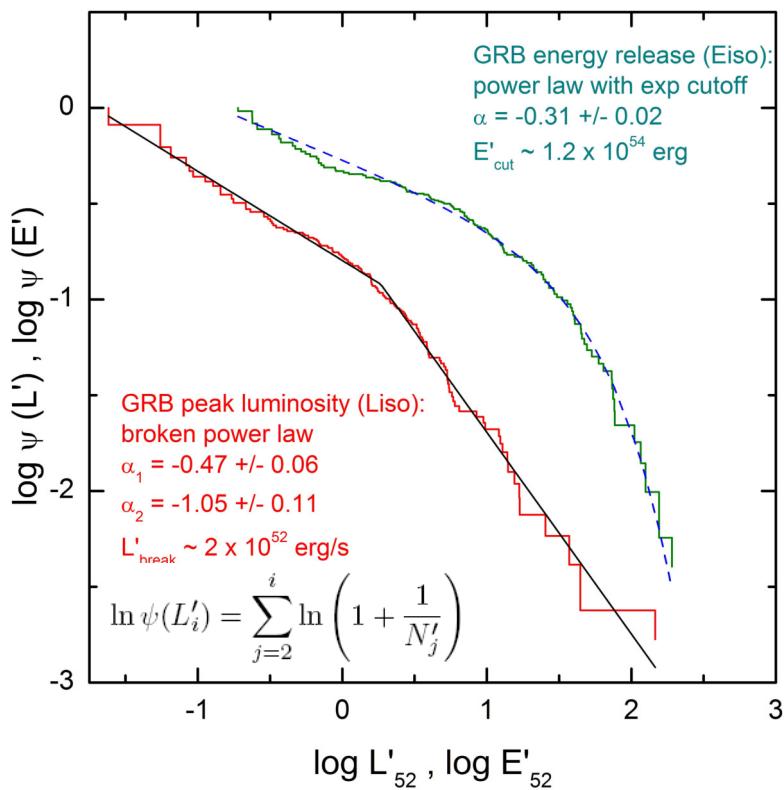
- Гамма-всплески самые яркие и далёкие объекты во Вселенной,  $z_{\max} = 9.4$
- Зная космологическое красное смещение ( $z$ ), можно определить изотропные эквиваленты энерговыделения  $E_{\text{iso}}$  и светимости  $L_{\text{iso,peak}}$ , а также положение пика  $vF(v)$  спектра в системе источника всплеска -  $E_{\text{p,rest}}$ .
- Между 1997 и 2018 гг KW зарегистрировал 166 GRBs в режиме “Всплеск” (всего ~300 GRBs), для которых было измерено  $z$ 
  - Диапазон  $z$ : 0.096 (GRB 091117A) – 5.0 (GRB 111008A),  $z_{\text{median}} = 1.3$
  - Наибольшее количество всплесков, детектированное одним инструментом в широком диапазоне энергий 20 кэВ-20 МэВ.



150 GRBs в каталоге Tsvetkova et al., ApJ, 2017

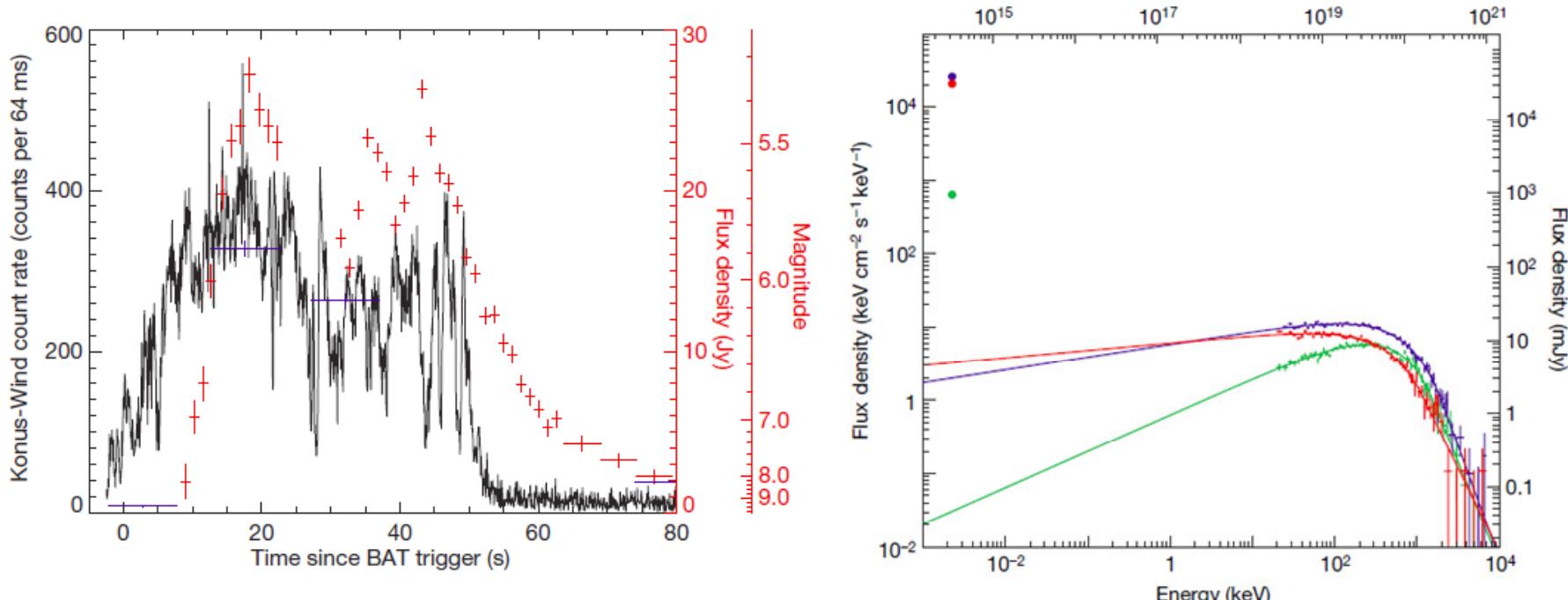
# Функция светимости и скорость образования гамма-всплесков

- Наличие резкого обрезания функции изотропного энерговыделения GRBs по данным KW и Fermi/GBM в районе  $\sim 1\text{--}3 \times 10^{54}$  эрг показана Atteia et al. (2017).
- Избыток скорости образования GRBs (GRBFR) над скоростью звездообразования (SFR) в области малых  $z$  (Tsvetkova et al., ApJ, 2017).



- Конус-Винд наблюдал практически все GRBs с ярким оптическим излучением в течение фазы гамма-излучения. Среди них:  
 GRB 990123 ( $m \sim 9$ ), GRB 041219A ( $m \sim 14$ ), GRB 050820A ( $m \sim 14.5$ ),  
 GRB 080319B ( $m \sim 5.3$ ), GRB 160625B ( $m \sim 8$ )

**GRB 080319B:**  $z=0.937$ ,  $L_{\text{iso,peak}} \approx 10^{53} \text{ erg s}^{-1}$ ,  $E_{\gamma,\text{iso}} \approx 10^{54} \text{ erg}$ ,  $E_{\gamma} \approx 4 \times 10^{50} \text{ erg}$  ( $\theta \approx 0.2^\circ, 4^\circ$ )



Black: Konus-Wind, Blue: 'Pi of the Sky',  
 Red: TORTORA (Racusin et al., Nature, 2008)

Figure 3 | Spectral energy distribution of the prompt emission. Konus-Wind spectra and 'Pi of the Sky' flux density in three 10-s time intervals

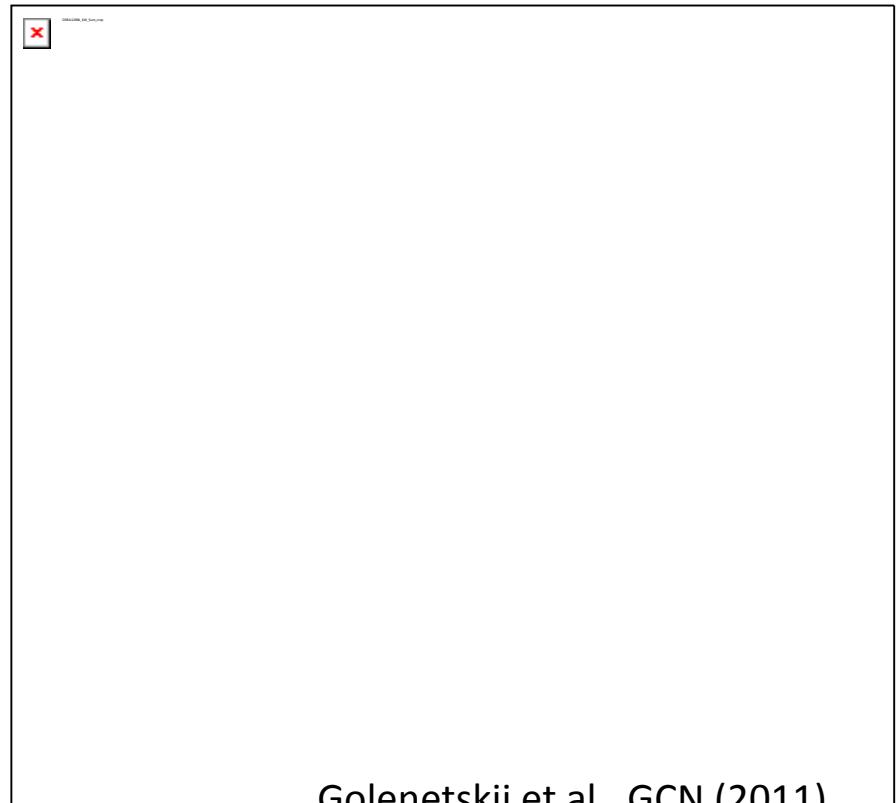
**Свойства:**

- Большая длительность  $\gamma$ -излучения ( $> 1000$  с)
- Жесткость спектра типична для обычных GRBs

GRB 111209A

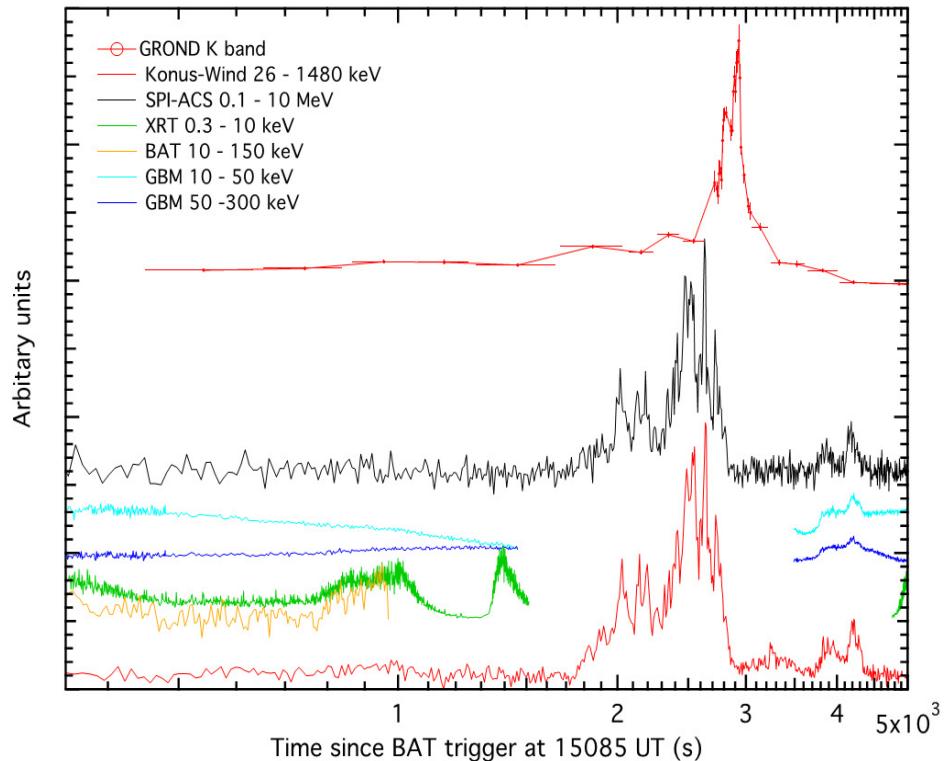
 $\Delta T \sim 10\ 000$  с $S \sim 5 \times 10^{-4}$  эрг см $^{-2}$  $E_{iso} \sim 6 \times 10^{53}$  эрг ( $z=0.677$ )**Статистика наблюдений:**

- KW зарегистрировал 8 (5 с известными  $z$ ) ультра длинных GRBs
- Длительности  $\sim 1200 - 10000$  с
- Спектр:  $E_p \sim 150 - 350$  кэВ
- Интегральные потоки:  $(1 - 6) \times 10^{-5}$  эрг см $^{-2}$
- $E_{iso} \sim 2 \times 10^{52} - 6 \times 10^{53}$  эрг



## GRB 130925A

- Локализован космической обсерваторией *Swift*
- Обсерватории *Swift* и *Fermi* пропустили основной эпизод события  $\sim T_0 + 1900$  s из-за затенения Землёй
- Параметры всплеска:  
 $\Delta T \sim 4600$  s (KW) и  
 $\sim 20$  ks в рентгене по данным (*Swift*/XRT)  
 $z = 0.348$ ,  
 $S = 6.2 \times 10^{-4}$  эрг см $^{-2}$ ,  
 $E_{iso} = 2 \times 10^{53}$  эрг
- Обнаружено запаздывание ИК излучения относительно γ по данным KW и телескопа GROND (Greiner et al. A&A, 2014)
- Большая длительность всплеска возможно связана с низкой плотностью МЗС, длительному торможению джета (Evans et al., MNRAS, 2014).



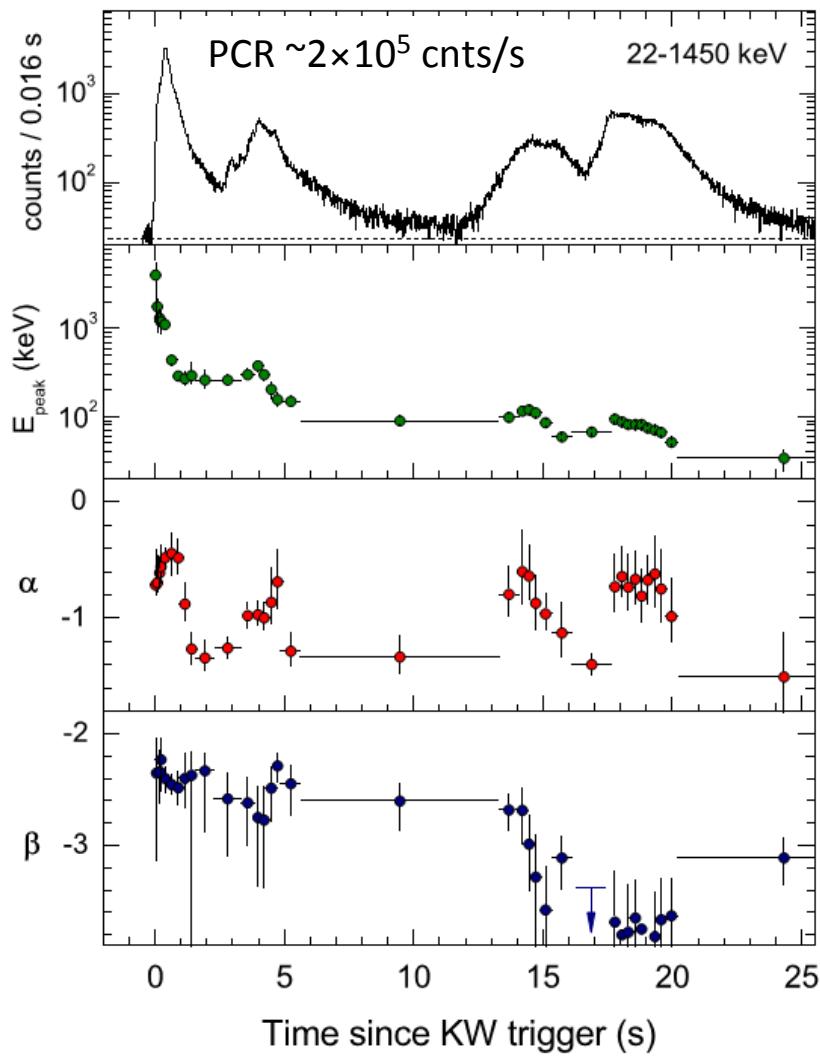
Greiner et al., A&A (2014)

# Ультра яркие гамма-всплески

## GRB 110918A (самый яркий GRB)

- Локализован сетью IPN, пропущен *Swift* и *Fermi* из-за затенения Землёй.
- Рентгеновское послесвечение обнаружено *Swift*/XRT через  $\sim 1.2$  дня после всплеска.
- Параметры всплеска, наблюдаемые:  
 $\Delta T \sim 30$  с,  $E_{p,\max} \sim 4$  МэВ,  
 $S \sim 8 \times 10^{-4}$  эрг см $^{-2}$  и  
 $F_{\text{peak}} \sim 9 \times 10^{-4}$  эрг см $^{-2}$  с $^{-1}$
- В системе источника ( $z=0.984$ ):  
 $L_{\text{iso}} = 4.8 \times 10^{54}$  эрг с $^{-1}$  (!),  
 $E_{\text{iso}} = 2.1 \times 10^{54}$  эрг,  
 $\Theta_{\text{jet}} = 1^\circ.7 - 3^\circ.4$
- Горизонт детектирования:  
 $z \sim 17$  Konus-Wind  
 $z \sim 25$  Swift (BAT)

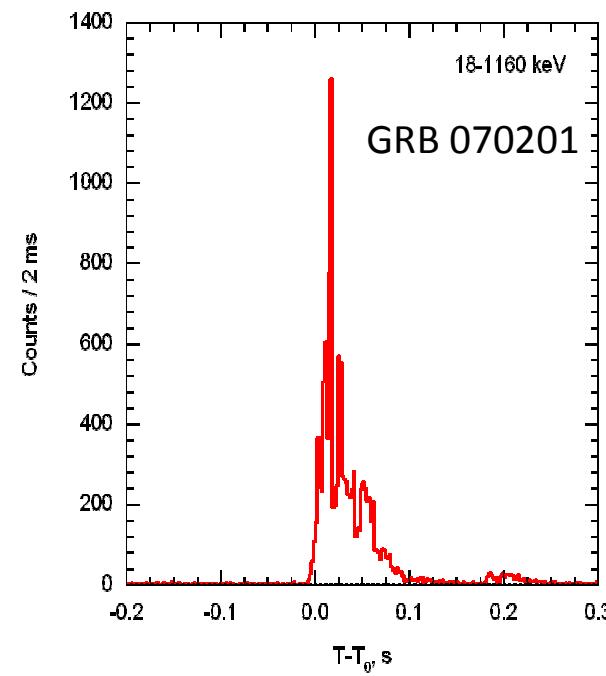
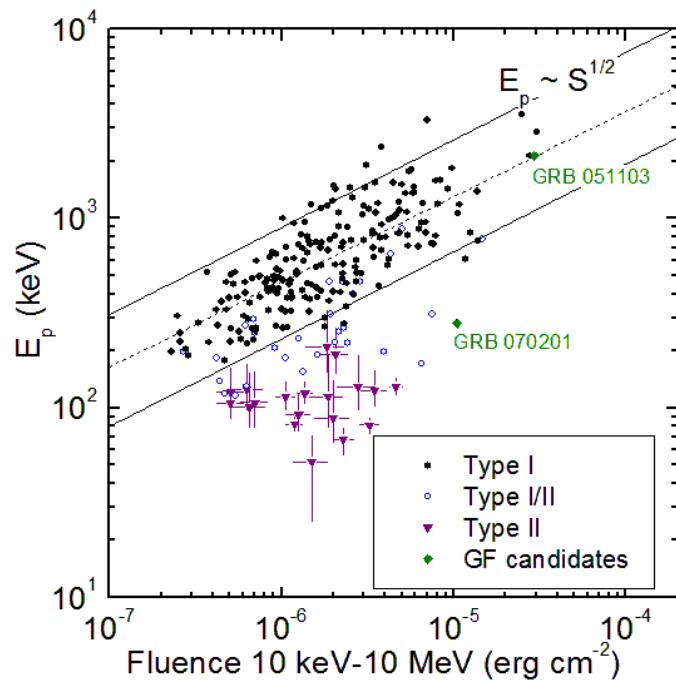
Frederiks et al., ApJ (2013)



# Короткие гамма-всплески (sGRB)

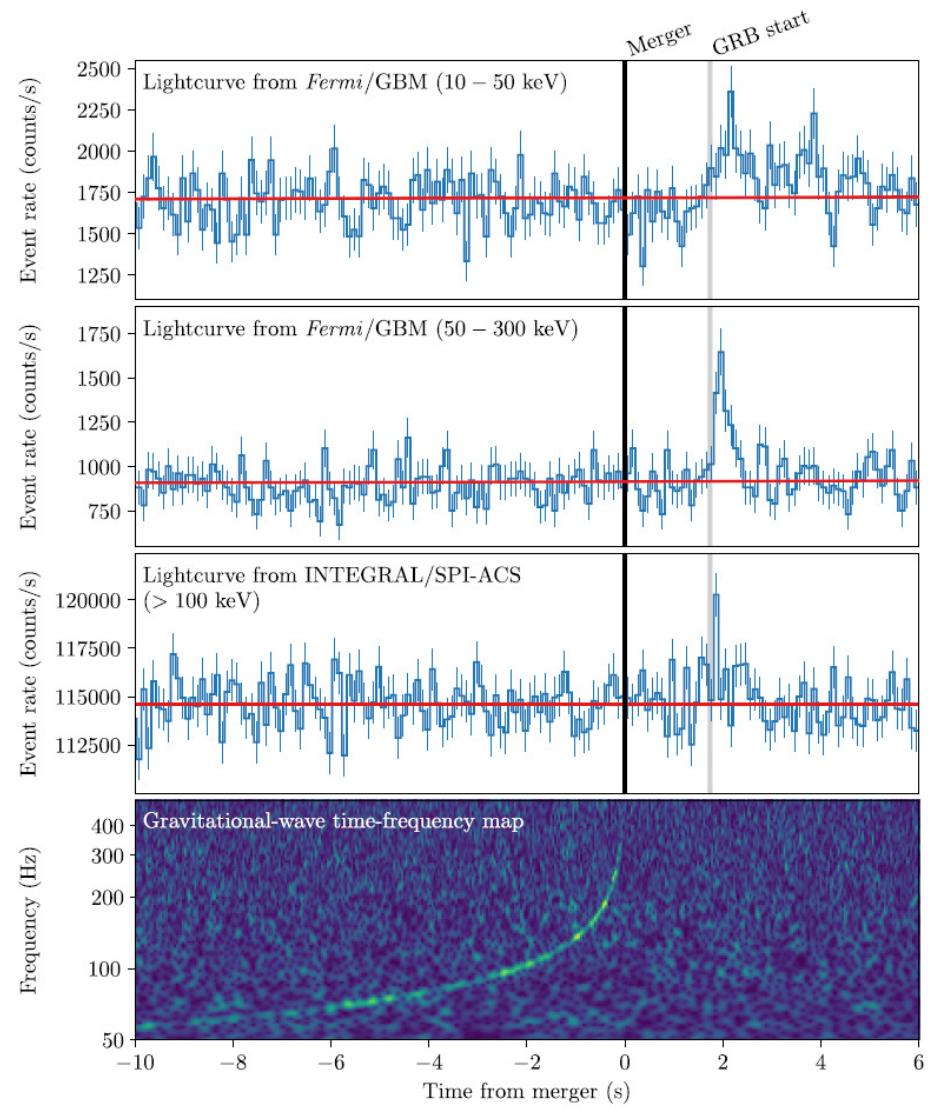
## Конус-Винд

- Один из наиболее обширных наборов коротких гамма-всплесков ( $T_{50} < 0.6$  с,  $T_{90} < 2$  с) (~500 events; ~300 in Svinkin et al., ApJS, 2016), ~18 sGRB/год.
- В наборе обнаружена одна вероятная вспышка мягкого гамма-репитера в галактике M31 (Туманность Андромеды) - GRB 070201.
- Короткие гамма-всплески – могут сопровождаться детектированием гравитационных волн. Для каждого sGRB проводится ретроспективный поиск детектирования в данных *LIGO* (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*).



# Гравитационные волны от слияния нейтронных звёзд и GRB 170817A

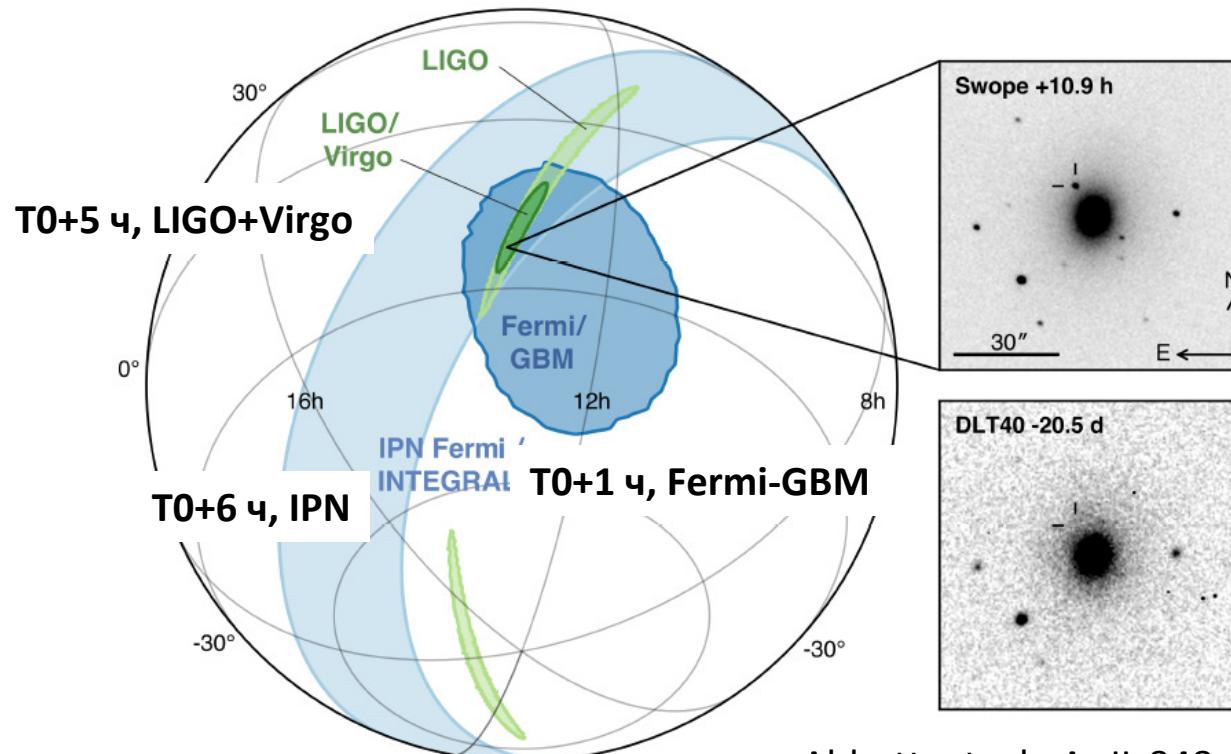
- Короткий (~2 с) гамма-всплеск GRB 170817A был зарегистрирован детекторами Fermi-GBM и INTEGRAL (SPI-ACS) в 12:41:06.475 UT, через ~2 секунды после регистрации LIGO сигнала от слияния двух нейтронных звёзд (GW 170817).
- GRB 170817A был ниже порога триггера Конус-Винд.
- Вероятность случайного попадания GRB в  $T_0$  (LIGO) $+/-2$  с –  $5 \times 10^{-6}$ .



Abbott, ..., Svinkin, Aptekar, Frederiks, et. al., ApJL 848, L12, 2017

# GW 170817 / GRB 170105A

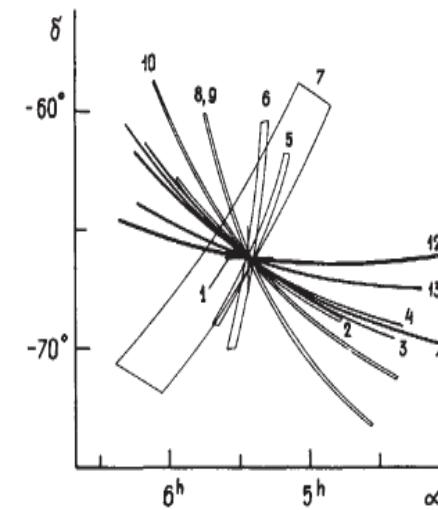
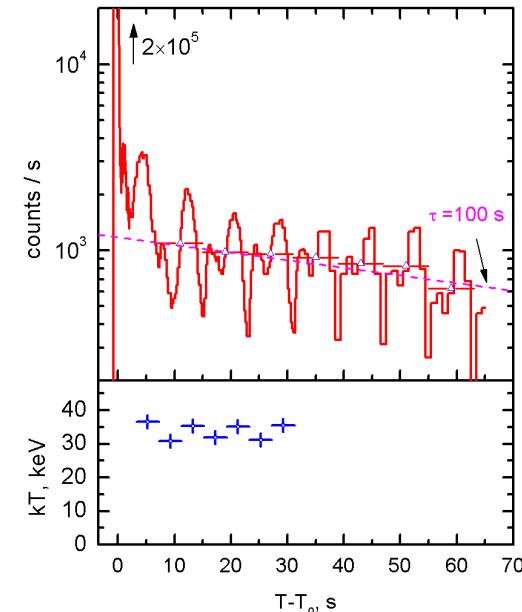
- На основе времени распространения излучения между GBM и SPI-ACS, было построено кольцо шириной  $\sim 18^\circ$ . Локализация опубликована (Svinkin et al., GCN 21515) в 18:35 UT ( $T_0+05:54$ ).
- IPN локализация сократила площадь локализации GBM в  $\sim 3$  раза.
- Уточнённая локализация LIGO+Virgo ( $\sim 30 \text{ deg}^2$ ) была опубликована незадолго до IPN в  $\sim T_0+5$  часов.



Abbott, et. al., ApJL 848, L12, 2017

# Источники мягких повторных гамм-всплесков (мягкие гамма-репитеры)

- Пионерские результаты по наблюдениям мягких гамма-репитеров («Венера-11,-12» и «Венера -13,-14»)
- Гигантская вспышка 5 марта 1979 (верхний рис., Mazets et al., Nature, 1979) и последовавшие 16 коротких всплесков от того же источника в последующие несколько лет (нижний рис., Golenetskii, Il'inskii & Mazets 1984, Evans et al., IAU Circ., 1979) FXP 0526-66 = **SGR 0526-66\***  
(N49, LMC, 55 kpc; Cline et al., ApJ, 1982)
- B1900+14 = **SGR 1900+14** (3 всплеска в марте 1979, Mazets, Golenetskij, & Guryan, Ast. Lett., 1979)
- Были открыты и локализованы первые два источника повторных коротких всплесков с мягким спектром. На основании этого выдвинута идея о существовании отдельного от обычных гамма-всплесков класса транзиентов (Golenetskii, Il'inskii & Mazets, Nature, 1984)
- **SGR 1806-20** (Prognoz 9, ICE, SMM) Atteia et al. ApJ, 1987, Laros et al., ApJ, 1987, Kouveliotou et al., ApJ, 1987  
1-й всплеск детектирован «Конус» 7 января 1979!



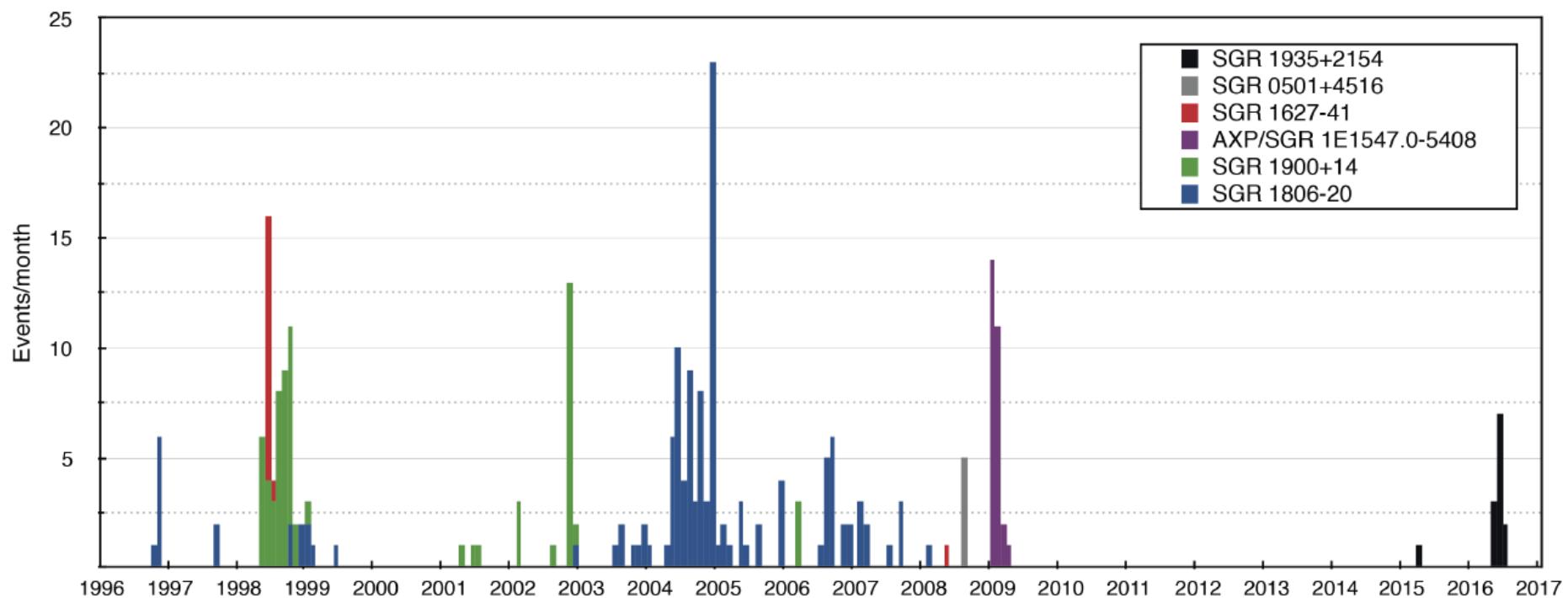
\* формат названия источника SGR R.A.(hhmm) Dec.(deg)

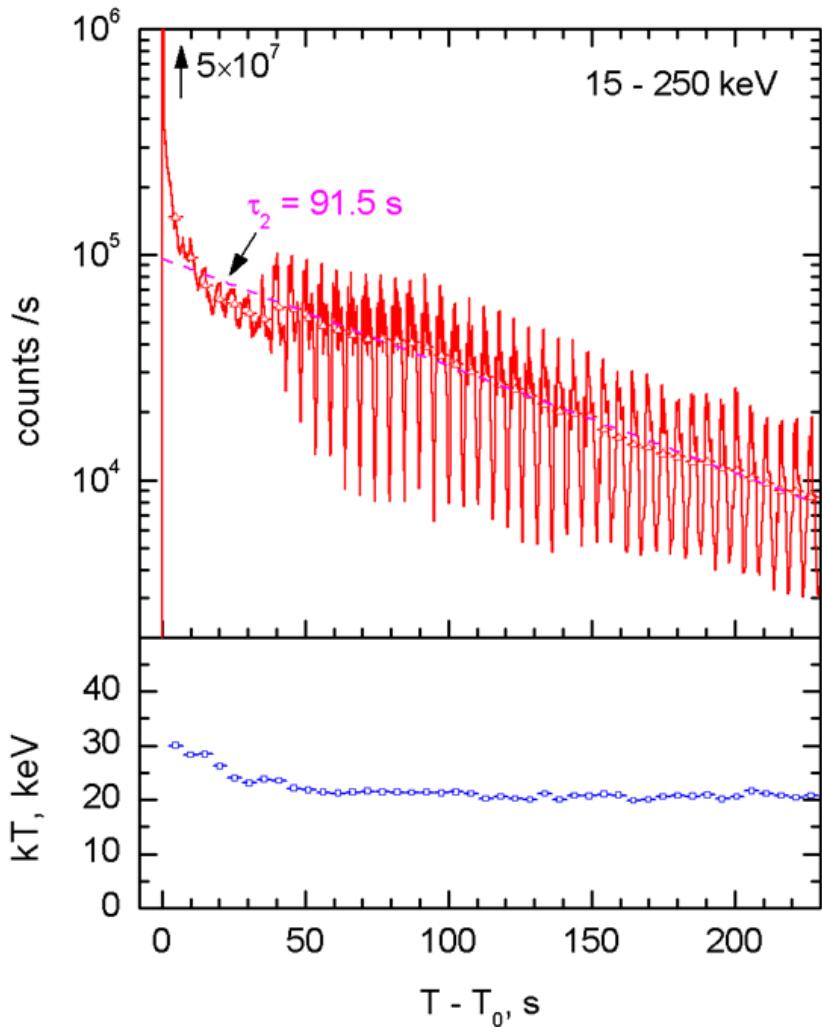
Статистика наблюдений SGR на Конус-Винд:

SGR 1806-20 – **133** всплеска + гигантская вспышка (GF);

SGR 1900+14 – **66** всплесков + GF;

SGR 1627-41 – **14**; SGR (AXP) 1E1547-5408 – **28**; SGR 0501+4516 – **5**; SGR 1935+2154 – **13**.





- Гигантская вспышка SGR 1900+14  
27 августа 1998 г  
~20 лет после события 5 марта 1979 г

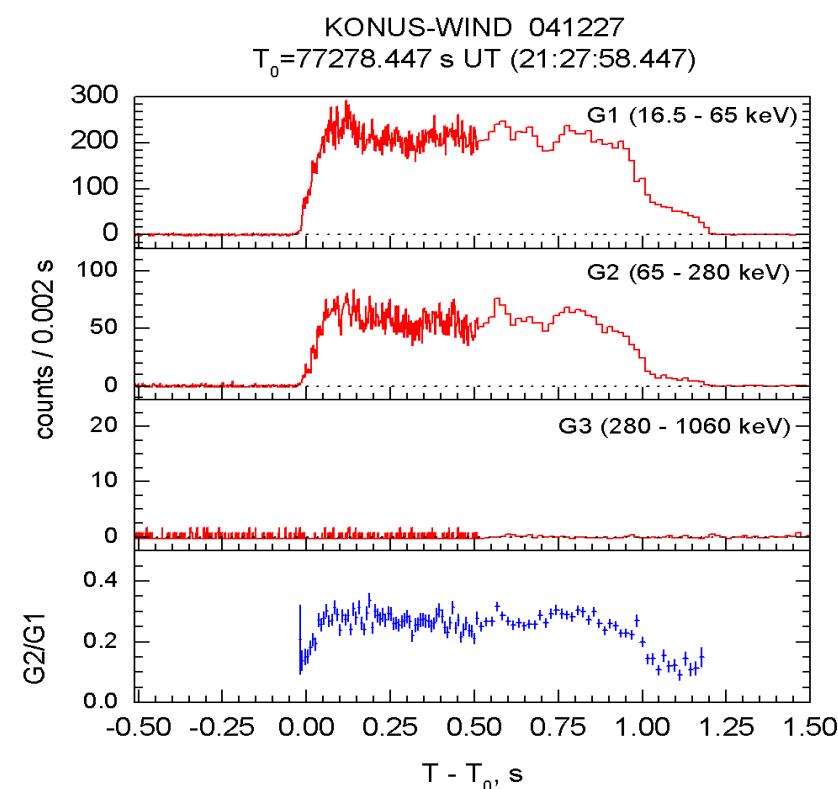
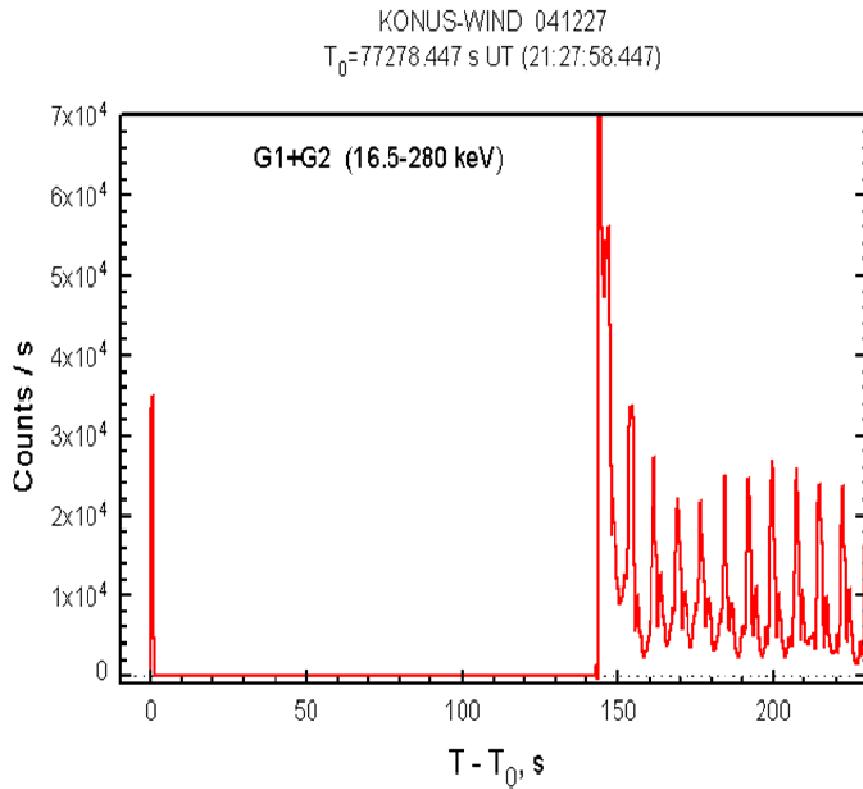
Полностью повторяла профиль вспышки SGR 0526-66 (5 марта  $Q \sim 7 \times 10^{44} \text{ erg}$ )

- Гигантский жесткий начальный импульс переполнил детекторы KW на ~200 мс.
  - $Q > 6.8 \times 10^{43} d_{10}^2 \text{ эрг}$  (Mazets et al., 1999)
  - $Q \sim 1.9 \times 10^{44} d_{10}^2 \text{ эрг}$  (Tanaka et al., 2007)
- Энергия выделившаяся в “хвосте” вспышки соответствовала событию от SGR 0526-66 .

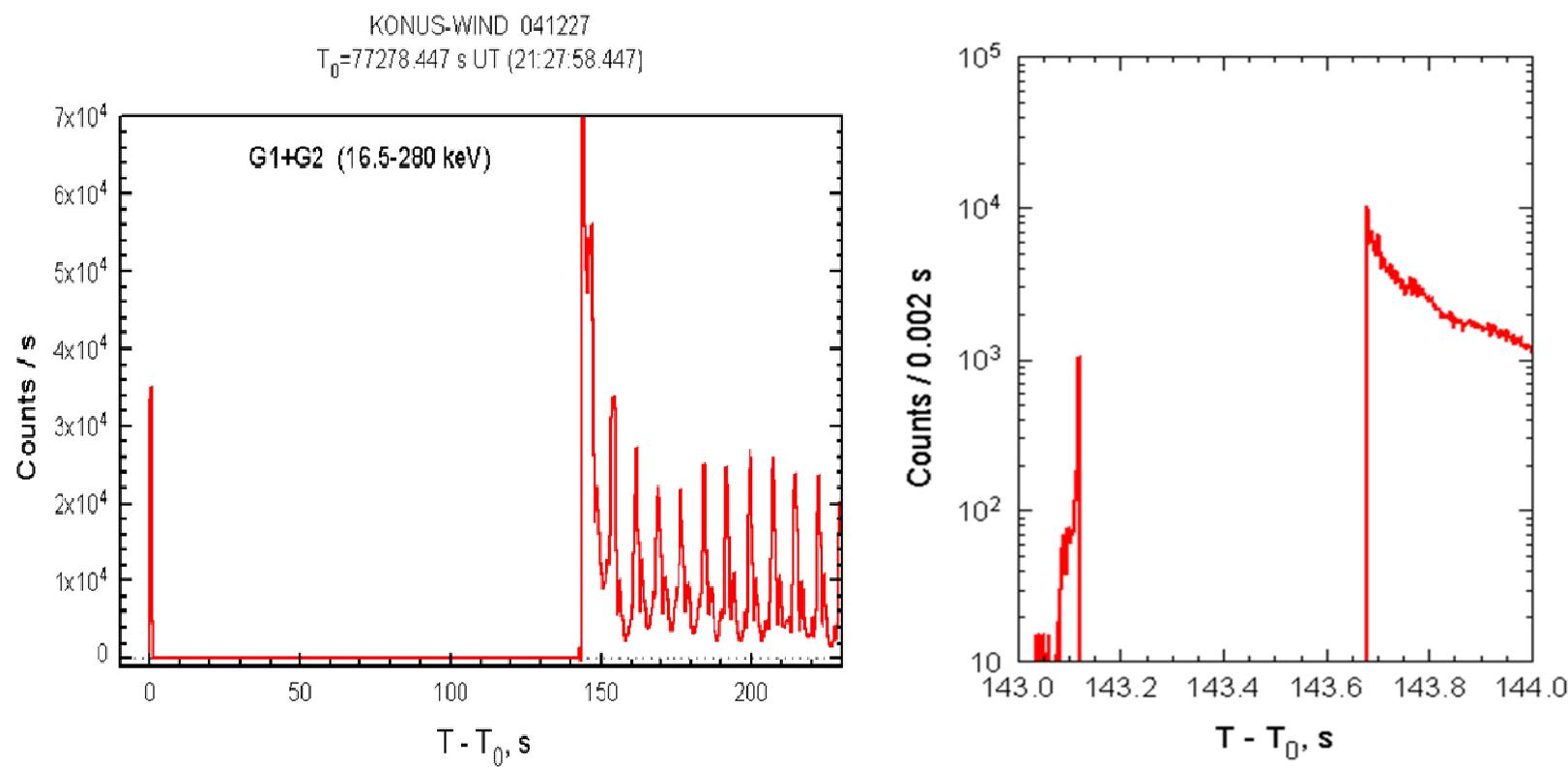
Hurley et al., Nature (1999); Mazets et al., Ast. Lett. (1999)

## Гигантская вспышка SGR 1806-20 27 декабря 2004

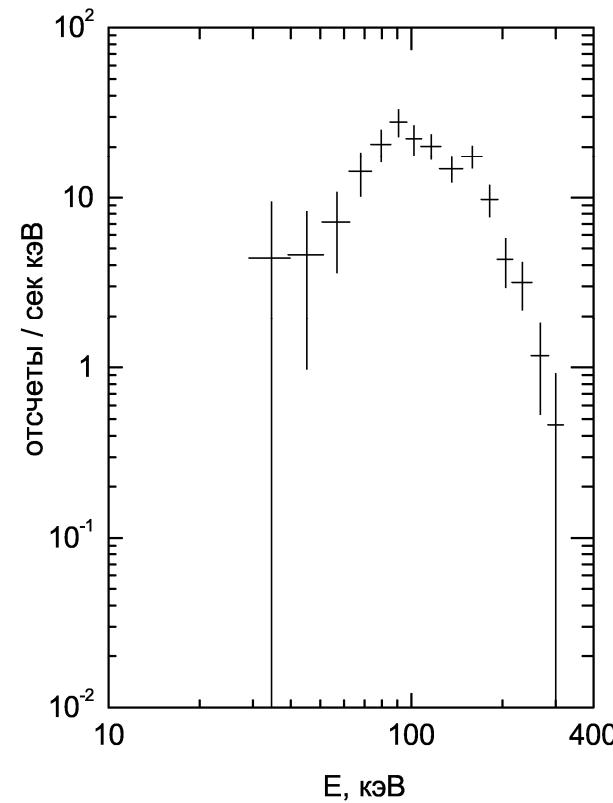
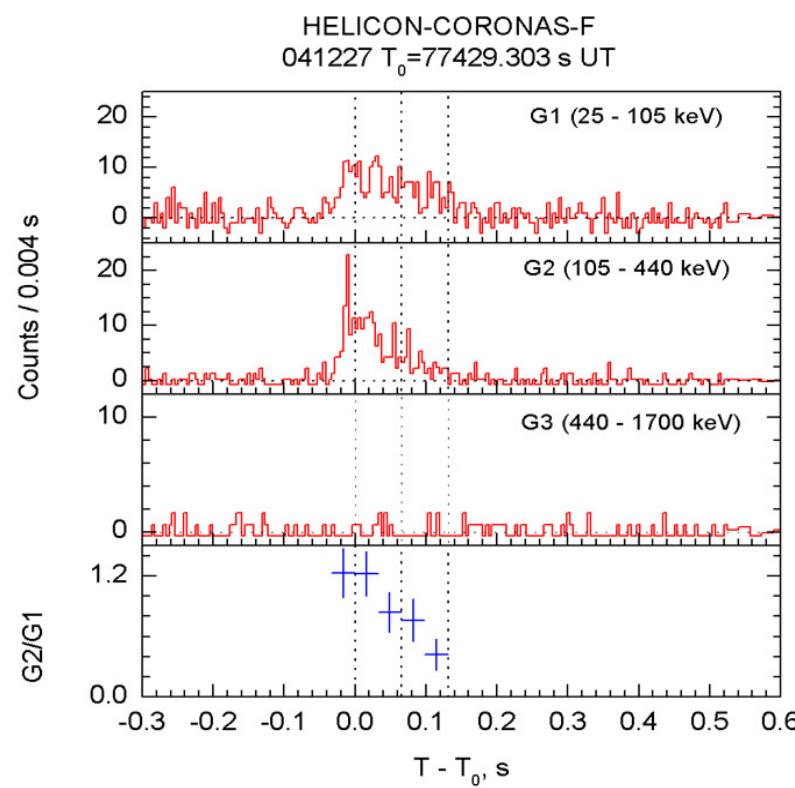
- Третья вспышка в истории наблюдений и самая яркая из известных!
- Зарегистрирована 6 КА
- Триггер Конус-Винд сработал на яркий прекурсор – вероятно самый яркий короткий всплеск из этого источника ( $Q = 3.4 \times 10^{42}$  эрг).



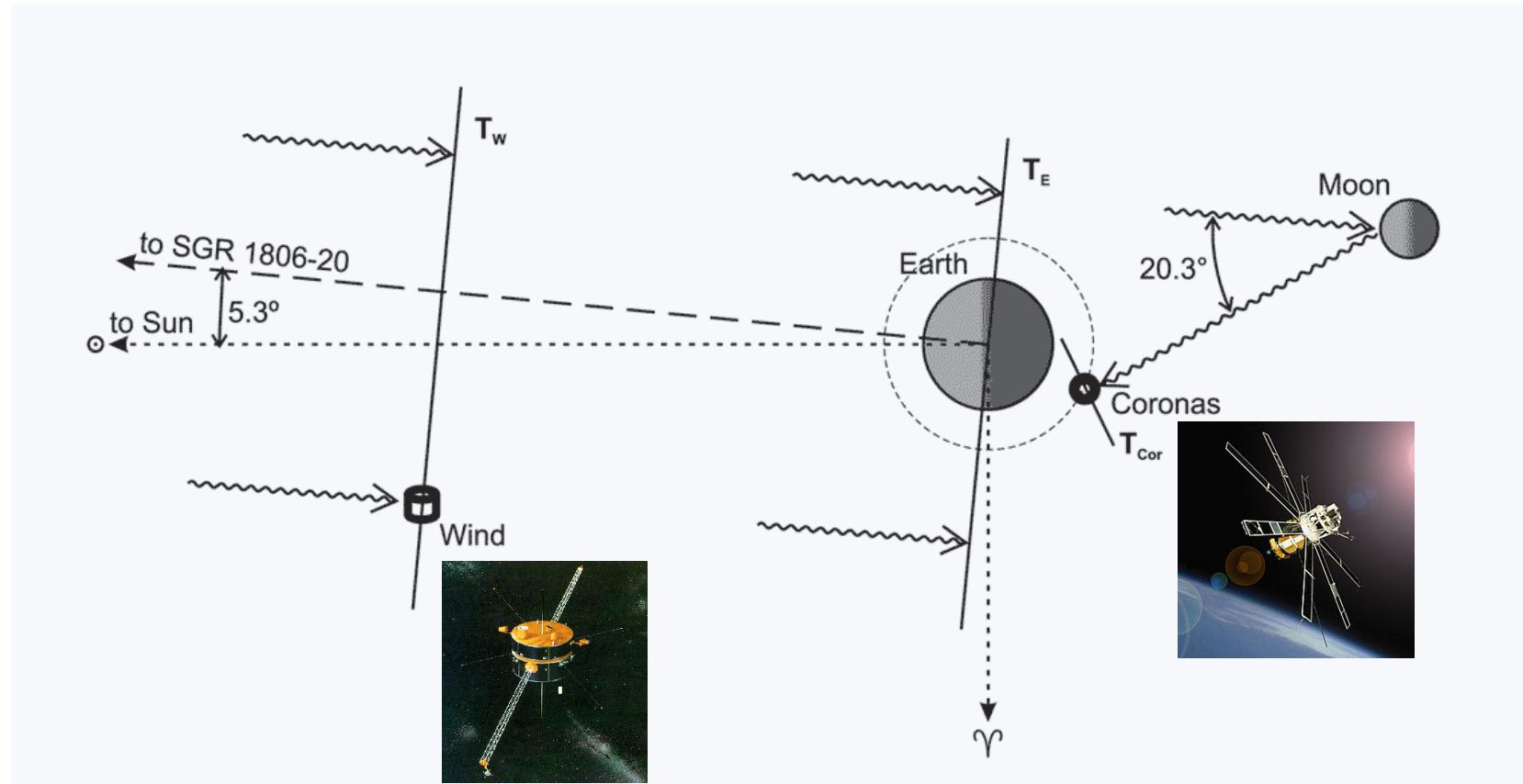
- Начальный импульс вспышки вызвал полное насыщение детектора на  $\sim 500$  мс с момента  $T_0 + 143$  с.

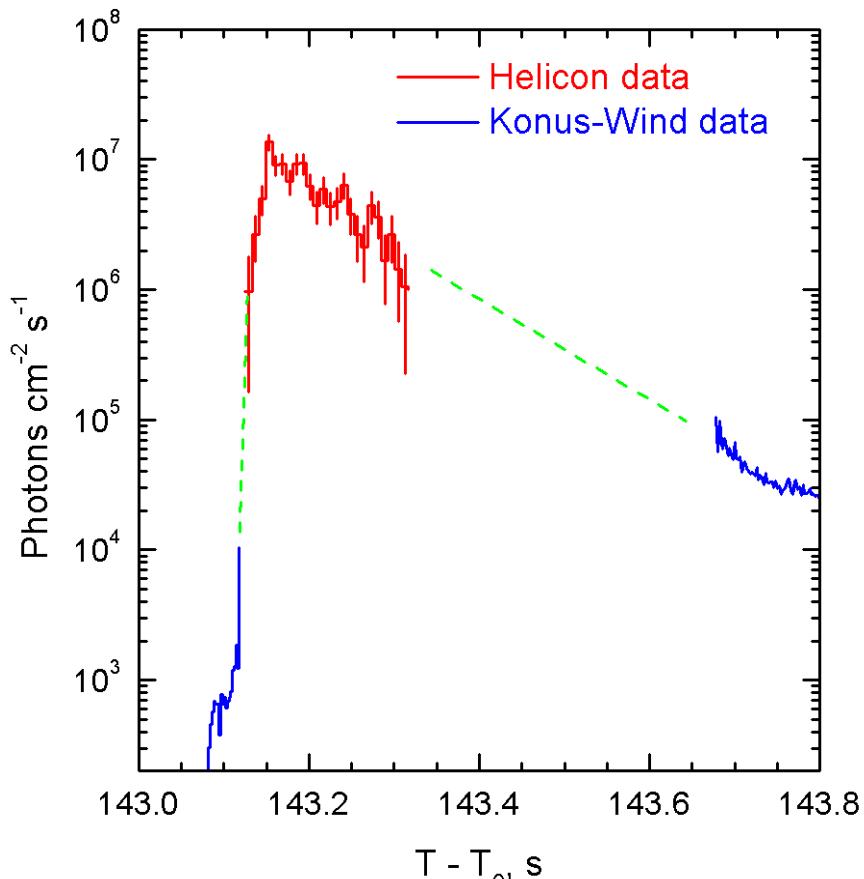


- Несколько секундами позже необычный короткий гамма-всплеск был зарегистрирован инструментом “Геликон” (ФТИ) на борту солнечной обсерватории Коронас-Ф.
- Гигантский начальный импульс отразился от Луны и попал на Коронас-Ф?
- Анализ времени распространения фронта излучения подтвердил эту идею!



- Одновременное наблюдение гигантской вспышки SGR1806-20 детекторами Конус-Винд и Геликон (Коронас-Ф) (Frederiks et al., Ast. Lett., 2007)



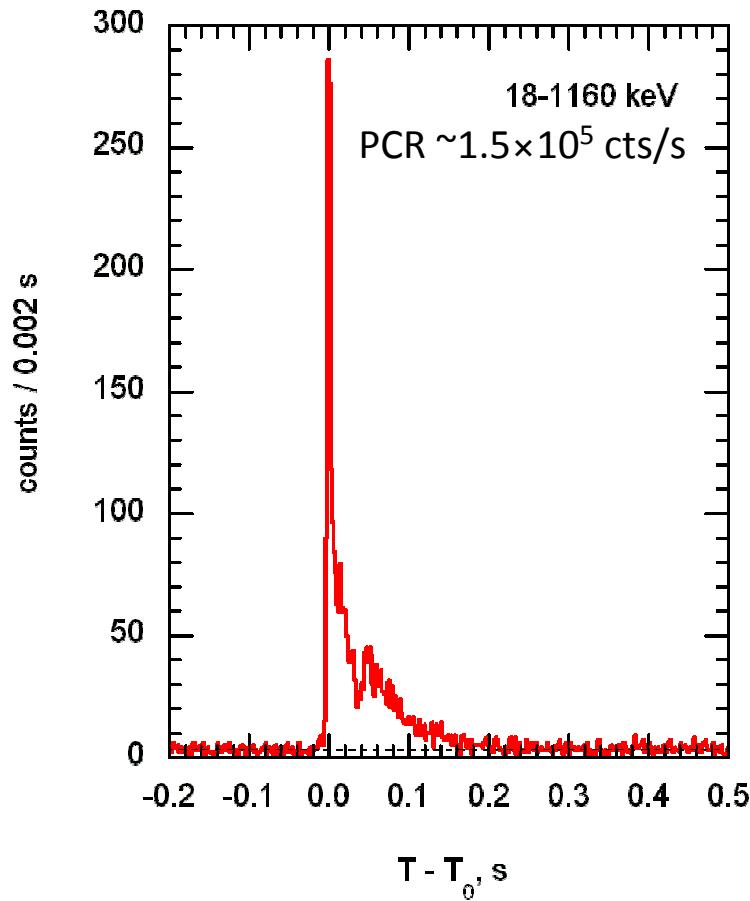


Frederiks et al., Ast. Lett. (2007)

### Реконструкция кривой блеска вспышки

- $S=0.6 \text{ эрг см}^{-2}$ ,  $F_{\max} = 9 \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
- Энерговыделение  $Q=2.3 \times 10^{46} \text{ эрг}$ ,  
Пиковая светимость  $L=3.5 \times 10^{47} \text{ эрг с}^{-1}$
- Гигантская вспышка (GF) SGR 1806-20  
оказалась в  $\sim 100$  раз ярче чем от  
SGR 1900+14!
- Энергетика пульсирующего хвоста во  
всех вспышках была сопоставима.
- Благодаря колосальной светимости,  
начальные импульсы GF могут  
регистрироваться от SGR в близких  
галактиках.

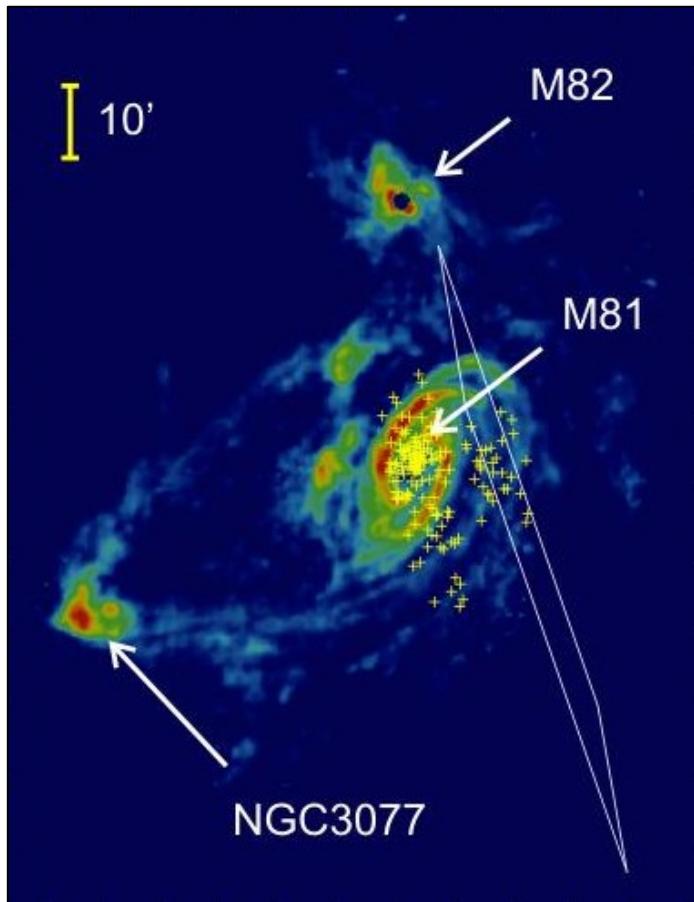
# GRB 051103 – гигантская вспышка SGR в M81/M82?



- Одиночный импульс с резким нарастанием ( $\sim 2 \text{ мс}$ )
- $E_p = 2300 \pm 200 \text{ кэВ}$
- Интегральный энергетический поток  $S = (4.4 \pm 0.5) \times 10^{-5} \text{ эрг см}^{-2}$
- Пиковый поток на масштабе 2-мс :  $F = (2.8 \pm 0.3) \times 10^{-3} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Frederiks et al., Ast. Lett. (2007)

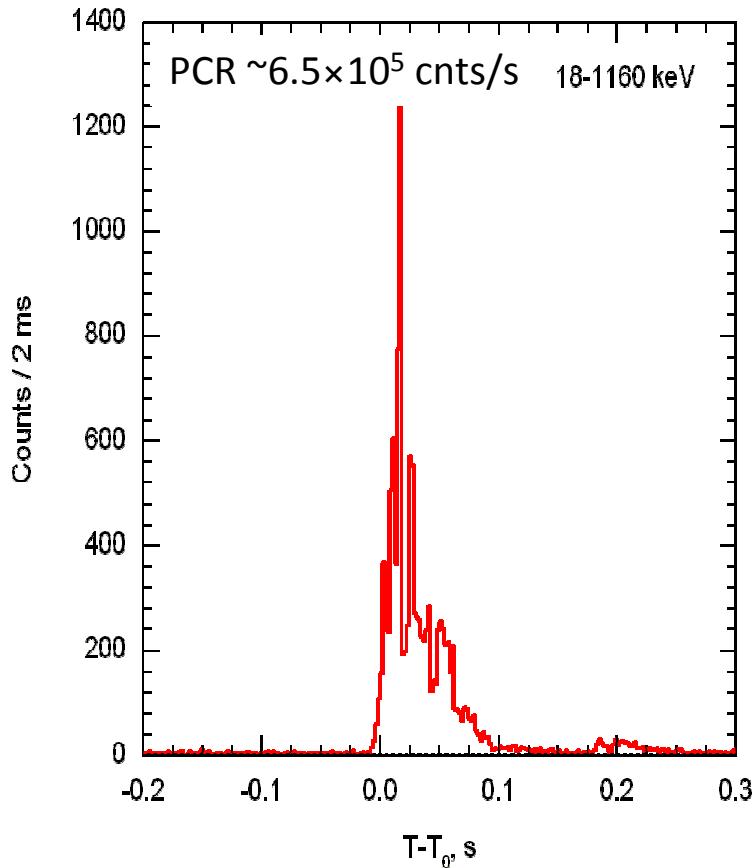
## GRB 051103 – гигантская вспышка SGR в M81/M82?



Изображение в линии 21 см VLA:  
<http://daisy.astro.umass.edu/~myun/m81hi.html>

- Область локализации IPN накладывается на группу галактик M81/M82.
- Для  $D_{M81}=3.6$  Мпк  
Энерговыделение:  $Q_{iso}=7\times10^{46}$  эрг  
Пиковая светимость:  $L_{max\ iso}=4\times10^{48}$  эрг  $s^{-1}$   
(для GF 24 декабря 2004 г. от SGR 1806-20  
 $Q_{iso}=2\times10^{46}$  эрг;  $L_{max\ iso}=4\times10^{47}$  эрг  $s^{-1}$ )
- Не обнаружено оптическое и радио послесвечение. Не детектирован всплеск гравитационных волн.
- Альтернативное объяснение  
(Lipunov et al. GCN 4206; Hurley et al. 2009): короткий GRB в более удалённой ( $\sim 100$  Мпк) галактике:  
 $Q_{iso}=5\times10^{49} (D/100 \text{ Мпк})^2$  эрг

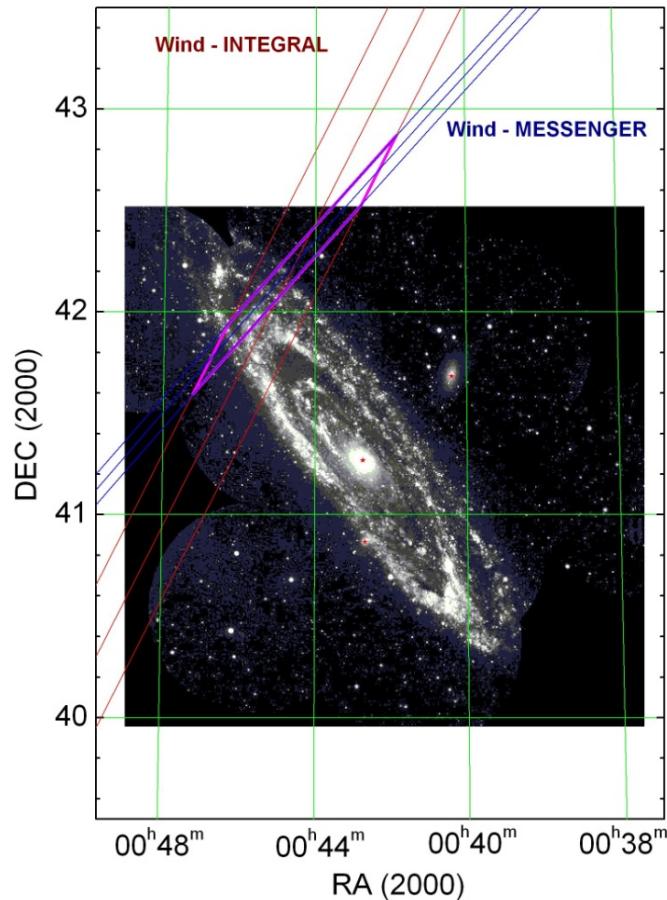
# GRB 070201 – гигантская вспышка SGR в Туманности Андромеды?



- Исключительно яркий короткий гамма-всплеск,  $\sim 4 \times$  GRB 051103
- Одиночный начальный импульс с временем нарастания  $\sim 10$  мс
- $E_p \sim 300$  кэВ
- Интегральный энергетический поток  $S \sim 1 \times 10^{-5}$  эрг см $^{-2}$
- Превышение на фоном  $\sim 4.5\sigma$  интервале  $\sim 100$  с после всплеска мягким диапазоне (18-80 кэВ) можно интерпретировать как хвост GF  $S_{tail} \sim 7 \times 10^{-7}$  erg cm $^{-2}$

Mazets et al., ApJ (2008)

# GRB 070201 – гигантская вспышка SGR в Туманности Андромеды?

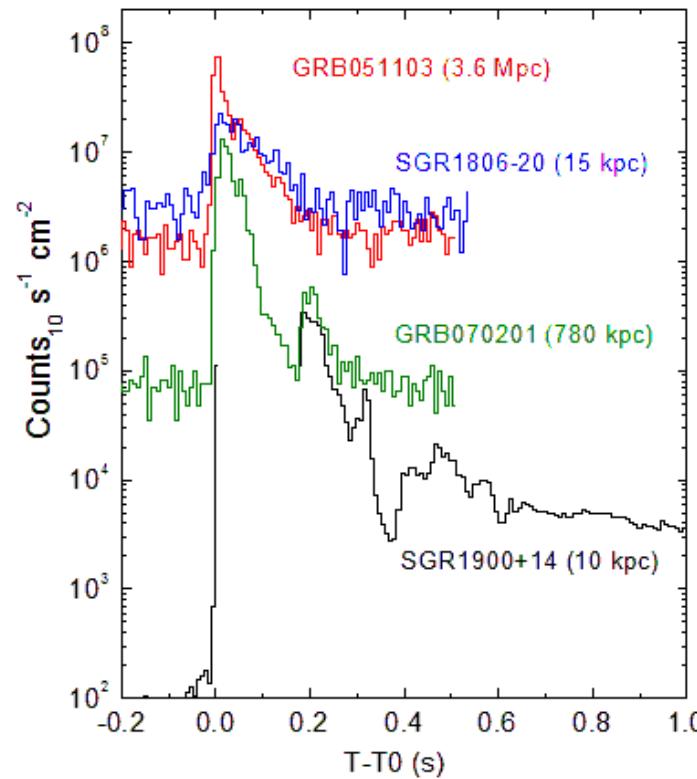
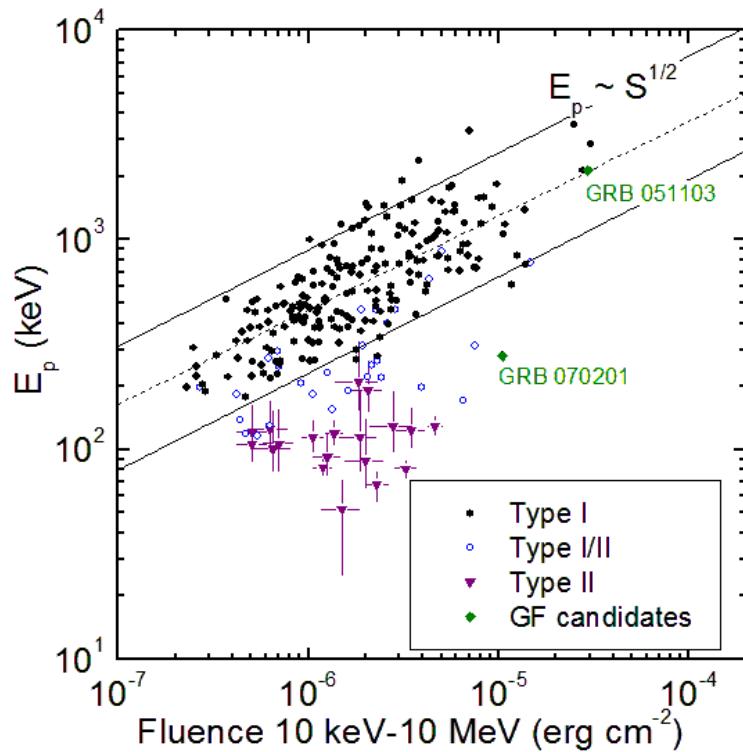


- IPN локализация накладывается\* на яркое кольцо галактики М31 (Туманность Андромеды), которое считается основной областью звездообразования.
- Для  $D_{\text{M31}} = 780$  кпк  
 Энерговыделение  $E_{\text{iso}} = 1.5 \times 10^{45}$  эрг,  
 $E_{\text{tail,iso}} = 7 \times 10^{43}$  эрг  
 Пиковая светимость:  $L_{\text{max iso}} = 1.2 \times 10^{47}$  эрг  $\text{с}^{-1}$   
 (для вспышки 5 марта 1979 от SGR 0526-66  
 $E_{\text{iso}} = 7 \times 10^{44}$  эрг,  $L_{\text{max iso}} \sim 10^{46}$  эрг  $\text{с}^{-1}$ )
- Временные и спектральные характеристики всплеска согласуются с известными GF.
- GRB 070201 - вероятно GF от источника SGR 0044+42 в M31

\* Впервые замечено Perley and Bloom, GCN 6091

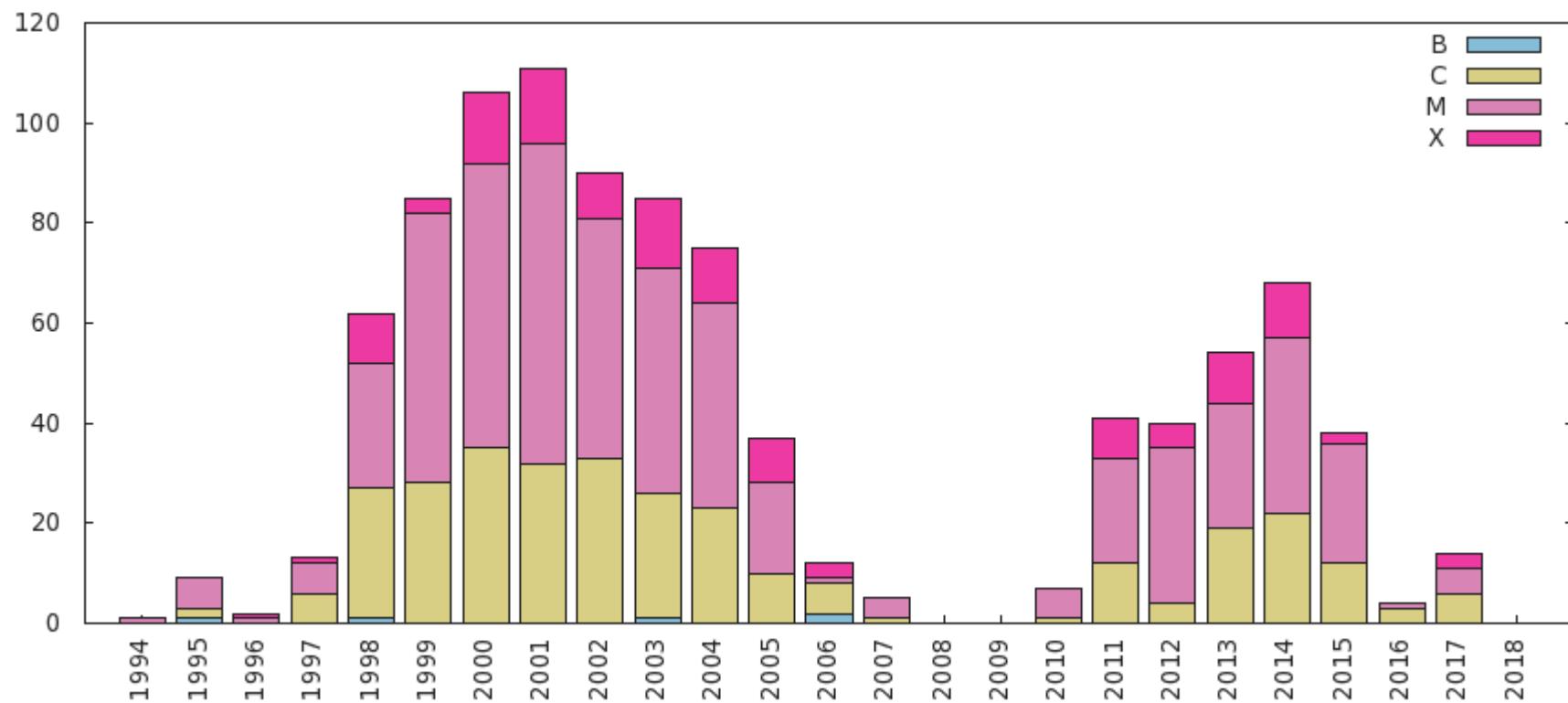
# Наблюдения внегалактических гигантских вспышек SGR

- Было зарегистрировано 2 кандидата во внегалактические гигантские вспышки: GRB 051103 и GRB 070201.
- Поиск среди хорошо локализованных коротких всплесков Конус-Винд не выявил других кандидатов (Svinkin et al., MNRAS, 2015).
- Только GRB 070201 является выбросом в соотношении жесткость-интенсивность для коротких всплесков Конус-Винд (Svinkin et al., ApJS, 2016).



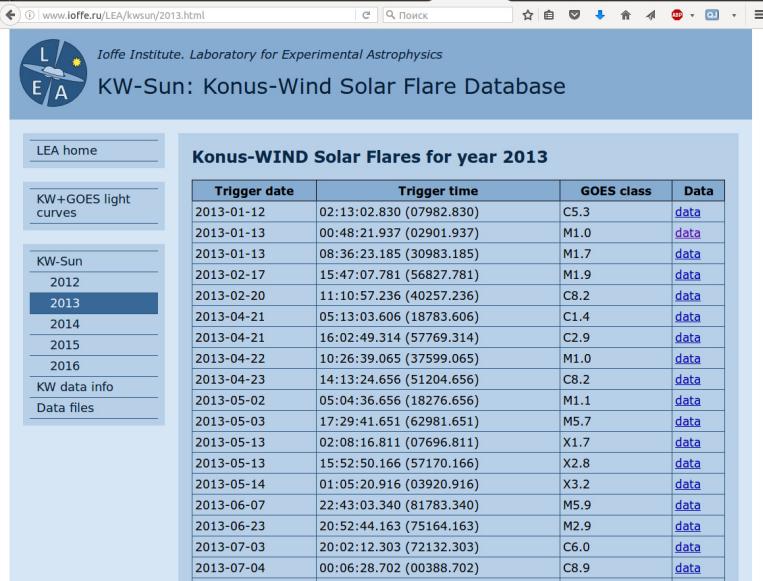
## Наблюдения солнечных вспышек

- Конус-Винд непрерывно наблюдает Солнце (~95% времени).
- Возможность наблюдения ~1–2 часовых вспышек (в режиме “Фон”).
- Высокое временное разрешение в режима “Всплеск” (по сравнению с космической солнечной обсерваторией RHESSI) позволяет изучать тонкую временную структуру солнечных вспышек.
- Наблюдения полностью покрывают два 11-летних солнечных цикла.



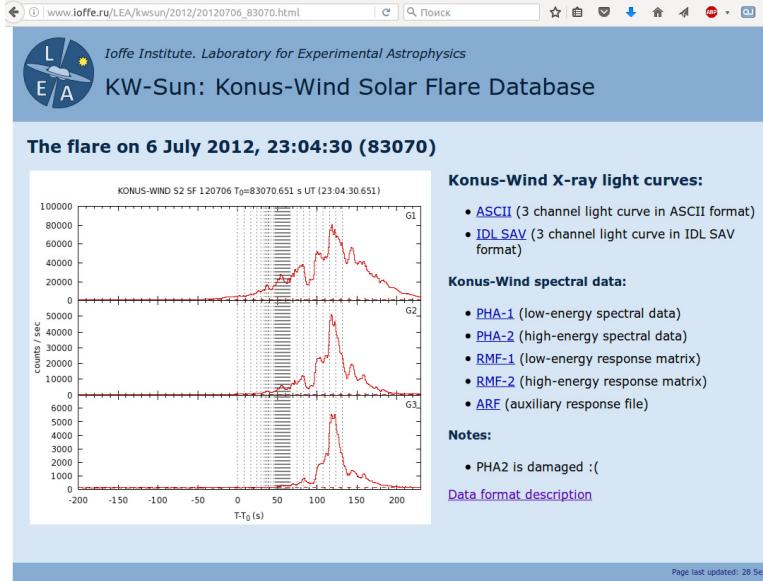
Годичная статистика триггеров Конус-Винд на солнечные вспышки, 1994–2018

- KW-Sun: База данных солнечных вспышек Конус-Винд  
<http://www.ioffe.ru/LEA/kwsun>



The screenshot shows the main page of the KW-Sun database for the year 2013. It features a sidebar with links for LEA home, KW+GOES light curves, KW-Sun (with dropdowns for 2012, 2013, 2014, 2015, 2016), KW data info, and Data files. The main content area displays a table titled "Konus-WIND Solar Flares for year 2013" with columns for Trigger date, Trigger time, GOES class, and Data link. The table lists 20 flares from January to July 2013.

Trigger date	Trigger time	GOES class	Data
2013-01-12	02:13:02.830 (07982.830)	C5.3	<a href="#">data</a>
2013-01-13	00:48:21.937 (02901.937)	M1.0	<a href="#">data</a>
2013-01-13	08:36:23.185 (30983.185)	M1.7	<a href="#">data</a>
2013-02-17	15:47:07.781 (56827.781)	M1.9	<a href="#">data</a>
2013-02-20	11:10:57.236 (40257.236)	C8.2	<a href="#">data</a>
2013-04-21	05:13:03.606 (18783.606)	C1.4	<a href="#">data</a>
2013-04-21	16:02:49.314 (57769.314)	C2.9	<a href="#">data</a>
2013-04-22	10:26:39.065 (37599.065)	M1.0	<a href="#">data</a>
2013-04-23	14:13:24.656 (51204.656)	C8.2	<a href="#">data</a>
2013-05-02	05:04:36.656 (18276.656)	M1.1	<a href="#">data</a>
2013-05-03	17:29:41.651 (62981.651)	M5.7	<a href="#">data</a>
2013-05-13	02:08:16.811 (07696.811)	X1.7	<a href="#">data</a>
2013-05-13	15:52:50.166 (57170.166)	X2.8	<a href="#">data</a>
2013-05-14	01:05:20.916 (03920.916)	X3.2	<a href="#">data</a>
2013-06-07	22:43:03.340 (81783.340)	M5.9	<a href="#">data</a>
2013-06-23	20:52:44.163 (75164.163)	M2.9	<a href="#">data</a>
2013-07-03	20:02:12.303 (72132.303)	C6.0	<a href="#">data</a>
2013-07-04	00:06:28.702 (00388.702)	C8.9	<a href="#">data</a>



The screenshot shows a detailed view of the KW-Sun database for the flare on 6 July 2012 at 23:04:30 (83070). It includes a header with the flare details, a table of X-ray light curves for three detectors (G1, G2, G3), and sections for spectral data and notes. A note indicates that PHA2 is damaged.

**The flare on 6 July 2012, 23:04:30 (83070)**

**Konus-Wind X-ray light curves:**

- [ASCII](#) (3 channel light curve in ASCII format)
- [IDL.SAV](#) (3 channel light curve in IDL SAV format)

**Konus-Wind spectral data:**

- [PHA-1](#) (low-energy spectral data)
- [PHA-2](#) (high-energy spectral data)
- [RMF-1](#) (low-energy response matrix)
- [RMF-2](#) (high-energy response matrix)
- [ARF](#) (auxiliary response file)

**Notes:**

- PHA2 is damaged :(

[Data format description](#)

# Наблюдения жестких рентгеновских транзиентов

## Аккрецирующие чёрные дыры

- **Cyg X-1** гигантские всплески в 1995 – 2007. Семь эпизодов гамма-излучения были локализованы IPN и получена детальная кривая блеска и спектры (Golenetskii et al., ApJ, 2003; Golenetskii et al., GCN 6745)
- **V404 Cyg** реактивация источника в июне 2015 (Golenetskii et al., GCN 17938) и последующая активность в декабре 2015.

## Аккрецирующие пульсары

- **GRO J1744-28** вспышечная активность с декабря 1995 по март 1996 (Aptekar et al., 1997, 1998a,b). Статистические свойства всплесков свидетельствуют в пользу сценария дисковой аккреции.
- Наблюдения жестких рентгеновских всплесков пульсара **A0535+262** в 2005 (Kaurov & Pal'shin, 2011). Обнаружение эволюции частоты и формы импульса.

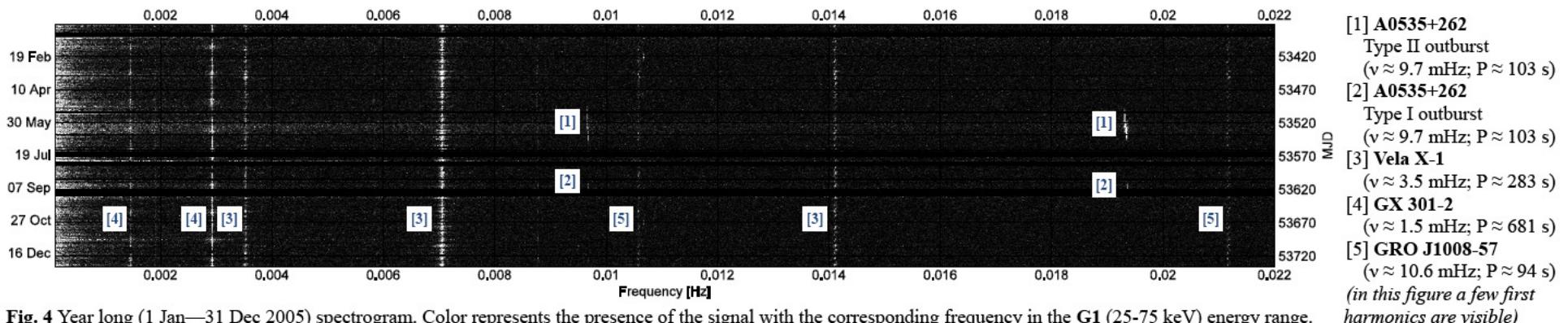


Fig. 4 Year long (1 Jan—31 Dec 2005) spectrogram. Color represents the presence of the signal with the corresponding frequency in the G1 (25–75 keV) energy range.

Kaurov & Pal'shin (2011)

## Заключение

- На протяжении 24 лет Конус-Винд является источником важных, часто уникальных, данных о гамма-всплесках, всплесках от мягких гамма-репитеров, солнечных вспышках и других транзиентах, давая детальную информацию о временных и спектральных характеристиках событий.
- Конус-Винд работает в коллaborации с множеством космических миссий (Swift, Fermi, INTEGRAL, и др.) и наземных обсерваторий (МАСТЕР, Palomar).
- Конус-Винд является основным звеном IPN - сети 7 КА, позволяющей локализовать события пропущенные инструментами с узким полем зрения. Что позволяет производить быстрый и ретроспективный поиск рентгеновского, оптического, нейтринного и гравитационного излучения от источников всплесков.
- КА Wind находится в хорошем состоянии и мы рассчитываем и далее получать интересные научные результаты!

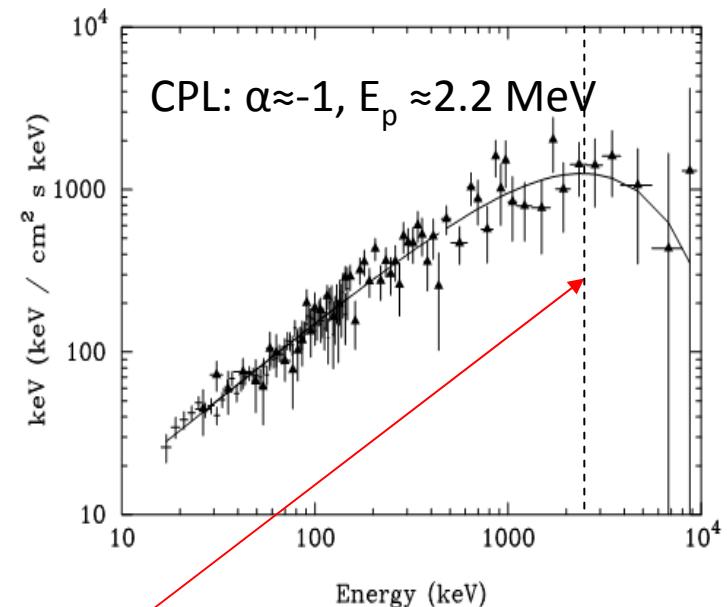
Спасибо за внимание!

## Спектр гамма-излучения GRB

- Большинство спектров GRB описываются моделями Band (Band, 1993) или CPL (cutoff power law;  $\text{Band}(\beta \rightarrow -\infty)$ ).

$$\frac{dN}{dE} = A \begin{cases} \left(\frac{E}{E_n}\right)^\alpha \exp\left(-\frac{E}{E_0}\right), & \text{если } E < (\alpha - \beta)E_0 \\ \left(\frac{E}{E_n}\right)^\beta \left[(\alpha - \beta)\left(\frac{E_0}{E_n}\right)\right]^{(\alpha-\beta)} \exp(\beta - \alpha), & \text{если } E \geq (\alpha - \beta)E_0 \end{cases}$$

- Положение пика  $E_F(E)$  спектра  $E_p = (2+\alpha) E_0$
- Длинные GRB: Band;  $\alpha \sim -1$ ,  $\beta \sim -2.5$ ,  $E_p \sim 300$  keV.
- Короткие GRB: CPL;  $\alpha \sim -0.5$ ,  $E_p \sim 500$  keV.
- В космологической системе отчёта  $E_p < 7$  MeV, характерная  $E_p \sim 1$  MeV (Tsvetkova et al., in prep). Максимальная  $E_p \sim 15$  MeV, GRB 110721A (наблюдаемая, Zhang et al., 2012)
- Физическое обоснование модели Band?

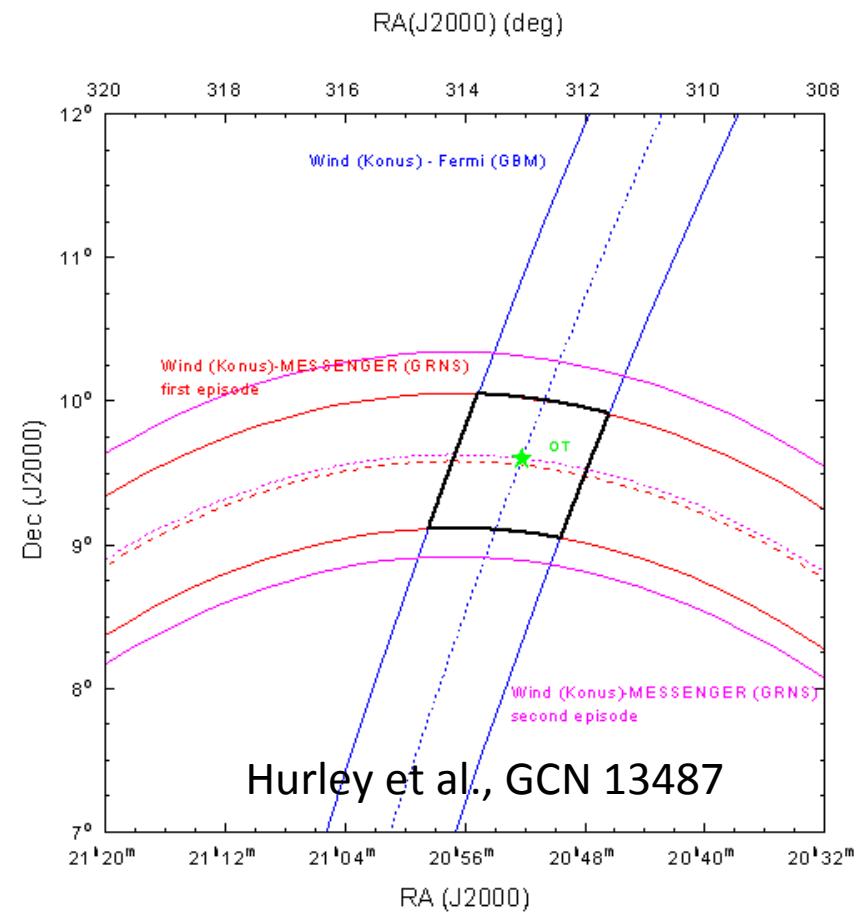
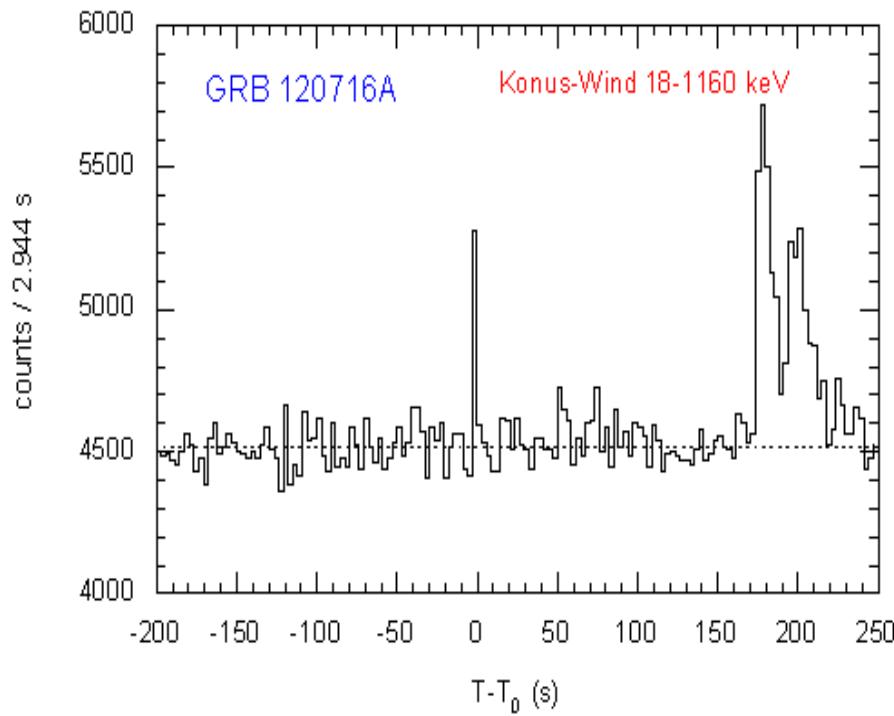


$$E_p = (\alpha + 2)E_0$$

# Konus-Wind and IPN

**GRB 120716A OT found in the IPN box**

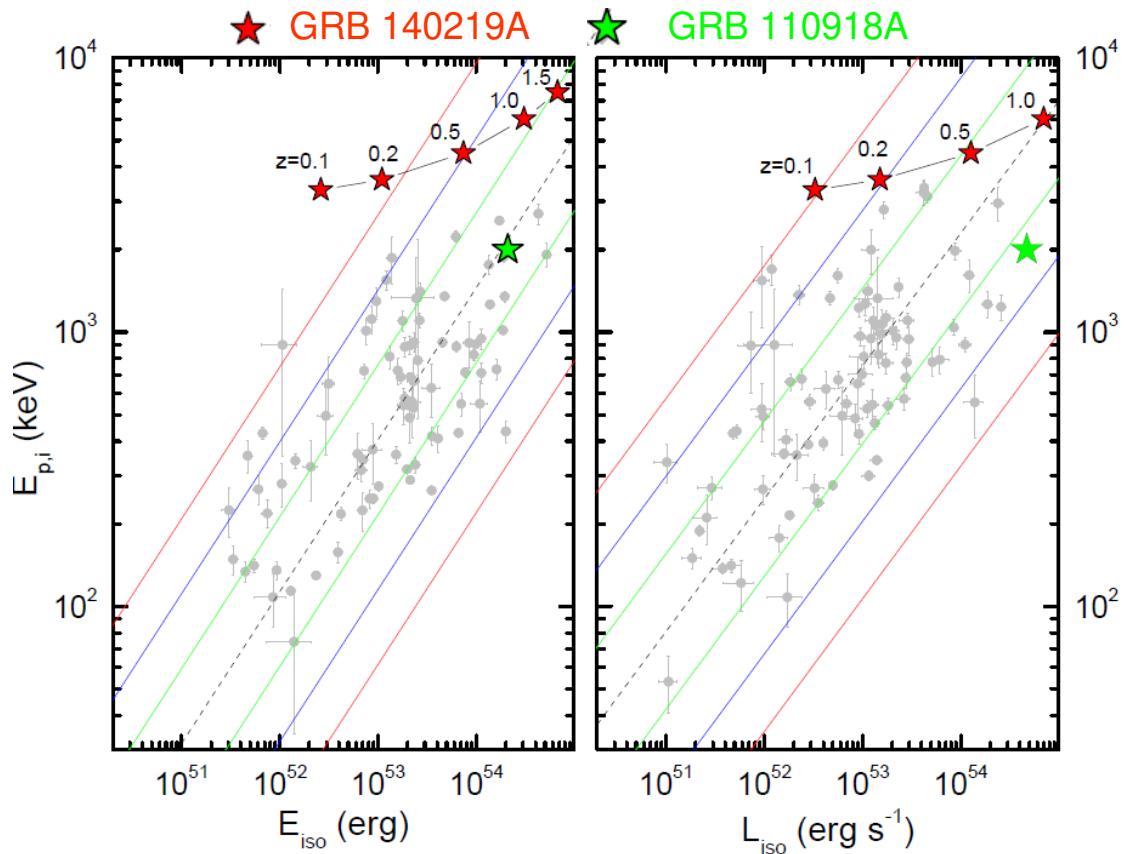
- iPTF found an OT ( $\sim 1.5$  d after the trigger),  $z = 2.38$ . A radio source has been found.



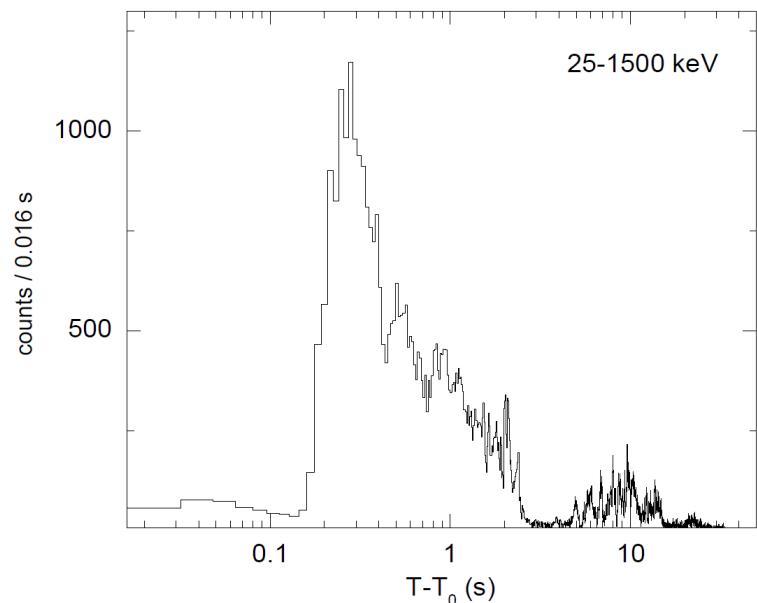
# Konus-Wind ultra bright GRB

## GRB 140219A

- $F_{\text{peak}} \approx 1.4 \times 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (!)
- $E_{p,\text{max}} \sim 3.4 \text{ MeV}, \langle E_p \rangle \sim 2.8 \text{ MeV}$
- Localized by IPN; no X-ray/Opt. afterglow found

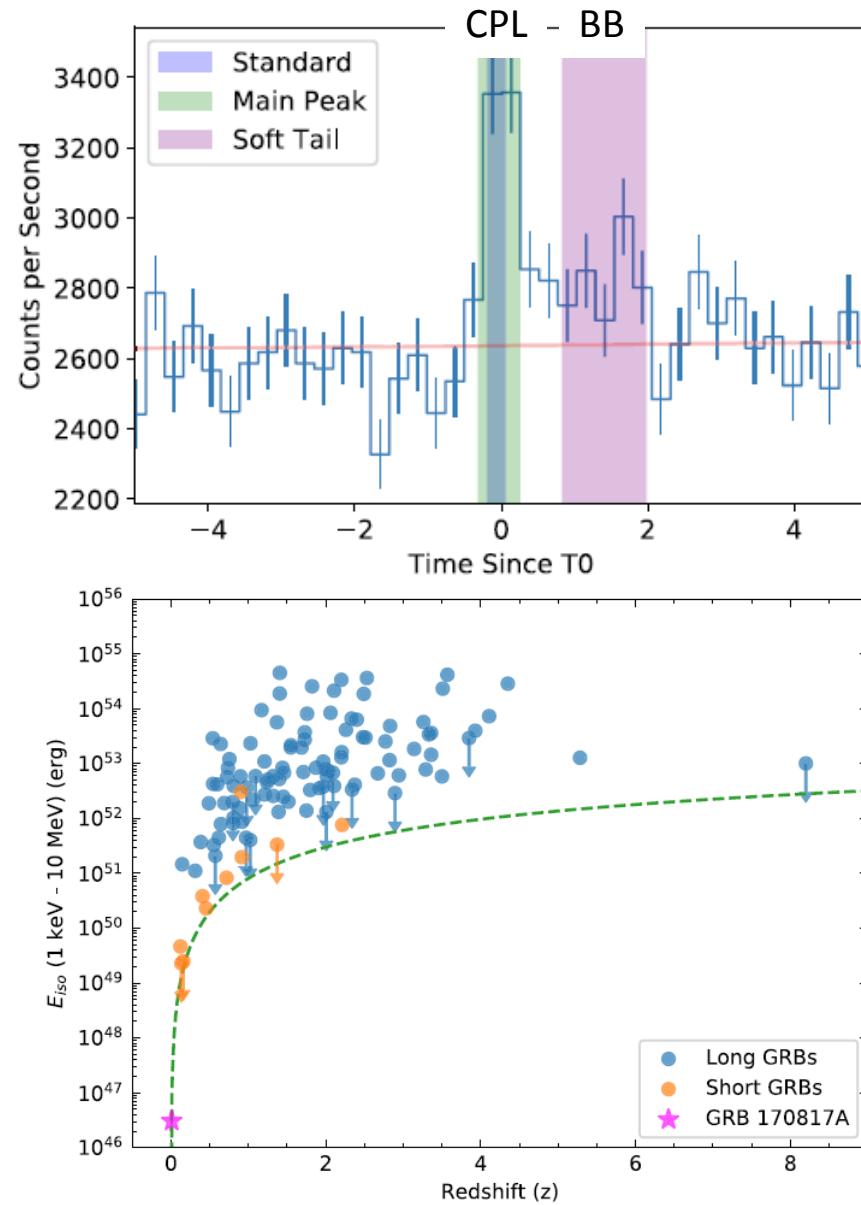


PCR  $\sim 9 \times 10^4 \text{ cnts/s}$

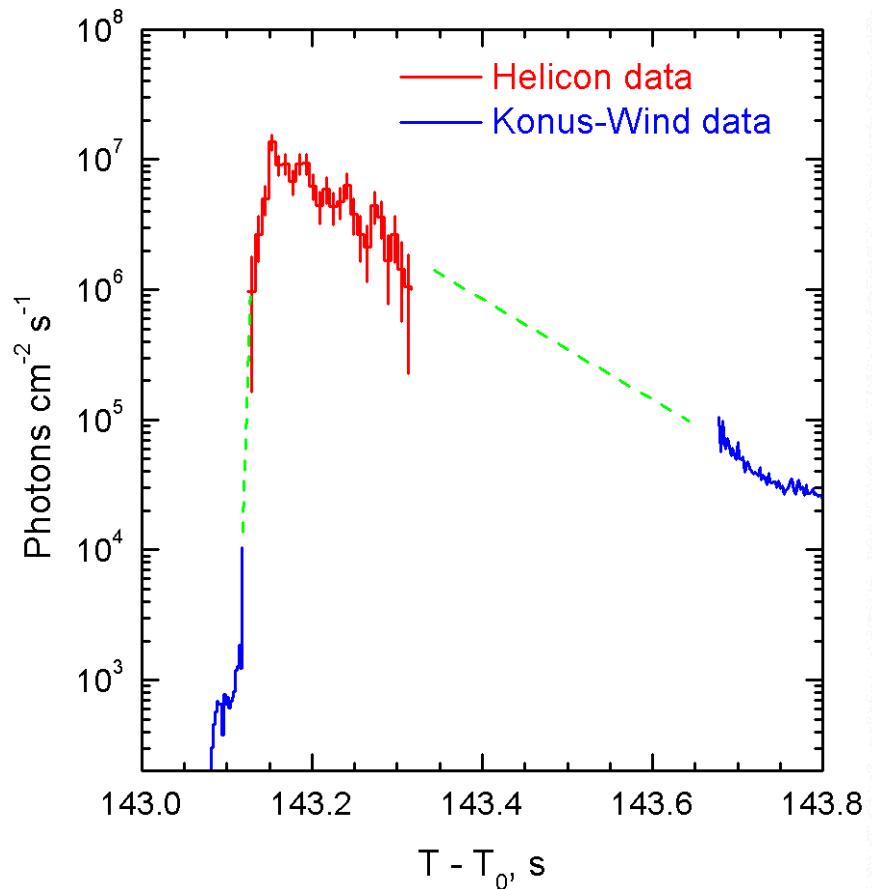


# GRB 170105A (Fermi-GBM)

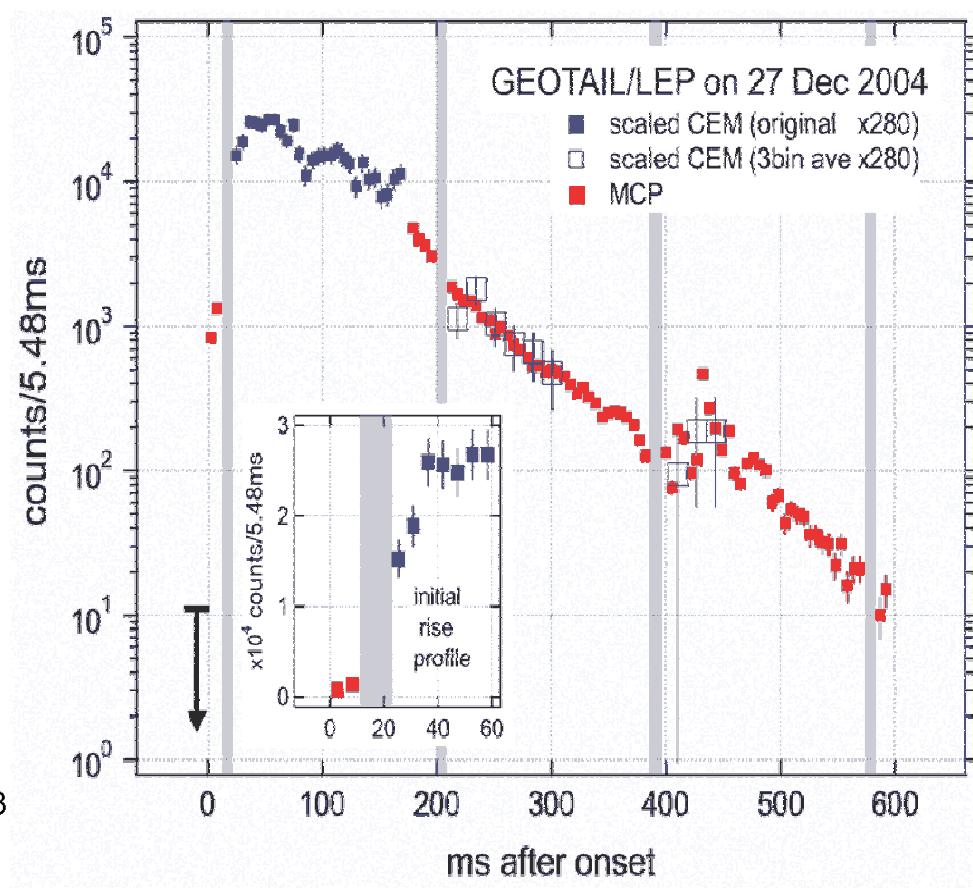
- Длительность – 2 с,  
начальный импульс – 0.6 с
- Спектр  
начальный импульс – CPL:  
 $\alpha = -0.62 \pm 0.4$ ,  $E_p = 185 \pm 62$  кэВ  
хвост – BB  $kT = 10.3 \pm 1.5$  кэВ  
(для CPL  $\alpha$  не ограничен)
- Интегральный поток  
CPL –  $(1.8 \pm 0.4) \times 10^{-7}$  эрг/см<sup>2</sup>  
BB –  $(0.61 \pm 0.12) \times 10^{-7}$  эрг/см<sup>2</sup>
- Энергетика  
 $D_L = 42.9 \pm 3.2$  Мпк  
 $E_{iso} = (3.1 \pm 0.7) \times 10^{46}$  эрг  
 $L_{iso} = (1.1 \pm 0.6) \times 10^{47}$  эрг/с
- Модель – GRB, наблюдаемый вне  
угла коллимации джета.



# Konus-Wind observations of SGR 1806-20



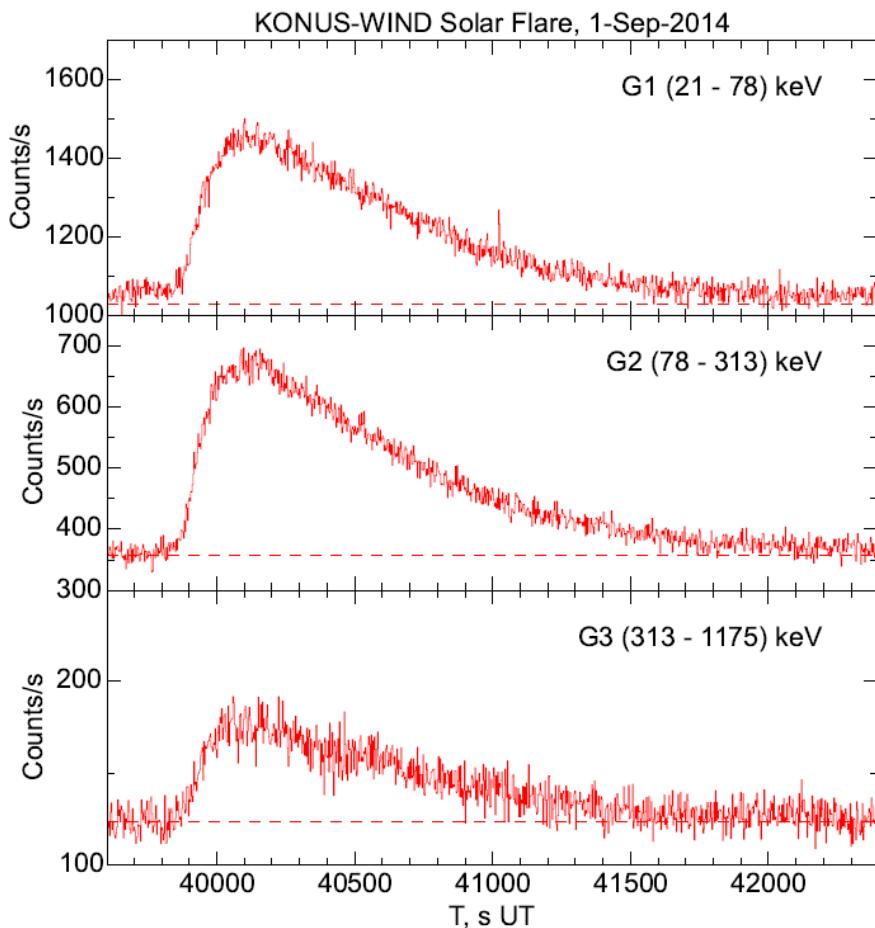
Frederiks et al., Astronomy Lett., 2007



Terasawa et al., Nature, 2005

# Solar flare observations case studies

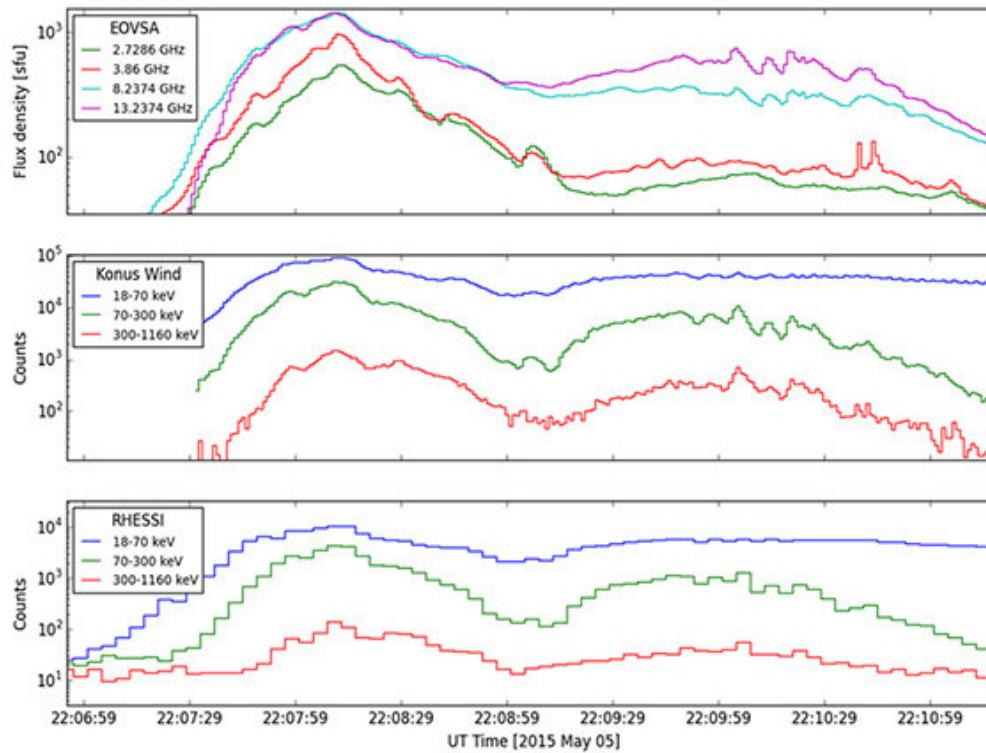
- Behind-the-Limb solar flare of 1-Sep-2014 was found in Konus-Wind waiting mode record.
- Originates in the high corona, shows HXR signature from the second stage acceleration, while emission from the first stage acceleration is occulted by solar limb:
  - No Soft X-ray event (GOES)
  - Smooth hard X-ray time profile
  - Flat hard X-ray spectrum



RHESSI-nugget by H. Hudson, M. Pesce-Rollins, L. Kashapova  
<http://sprg.ssl.berkeley.edu/~tohban/wiki/>

# Solar flare observations case studies

- The flare on 5-May-2015 was detected in the triggered mode.
- During the decay phase the microwave emission (from EOVA) shows series of quasi-periodic pulsations, also observed by Konus-Wind.



RHESSI-nugget by Gary & Fleishman