

# 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

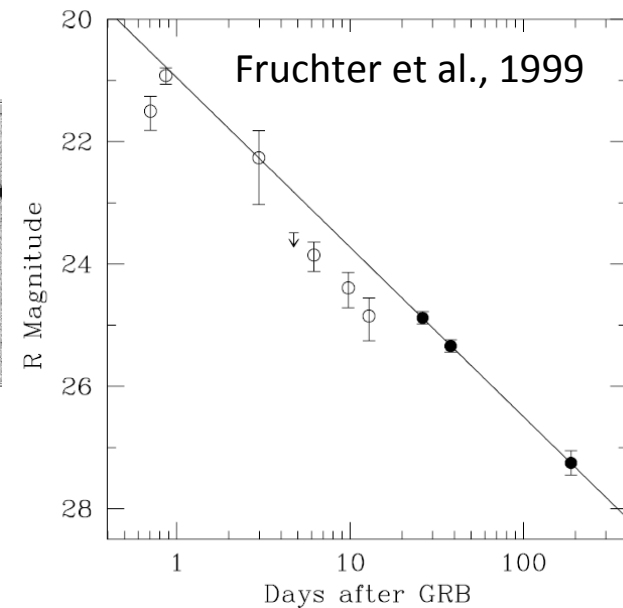
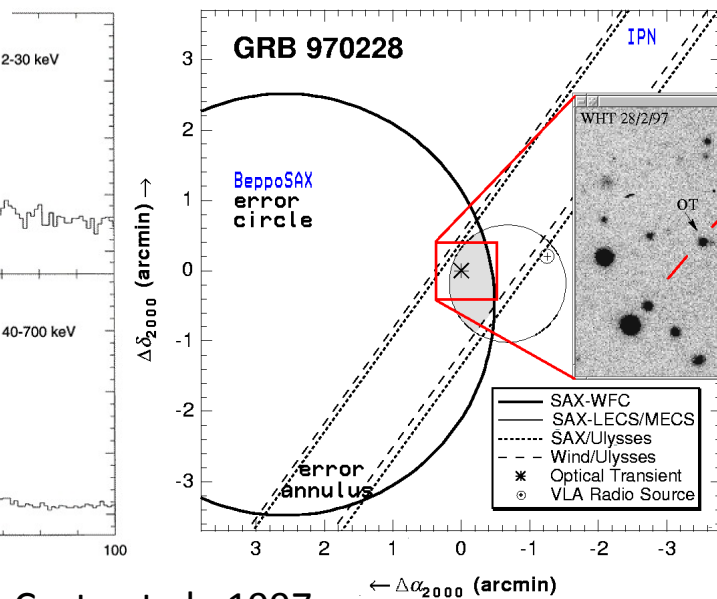
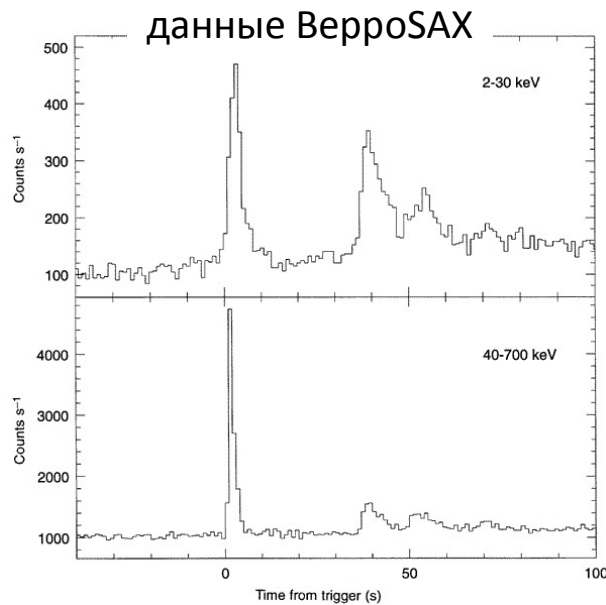
и

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

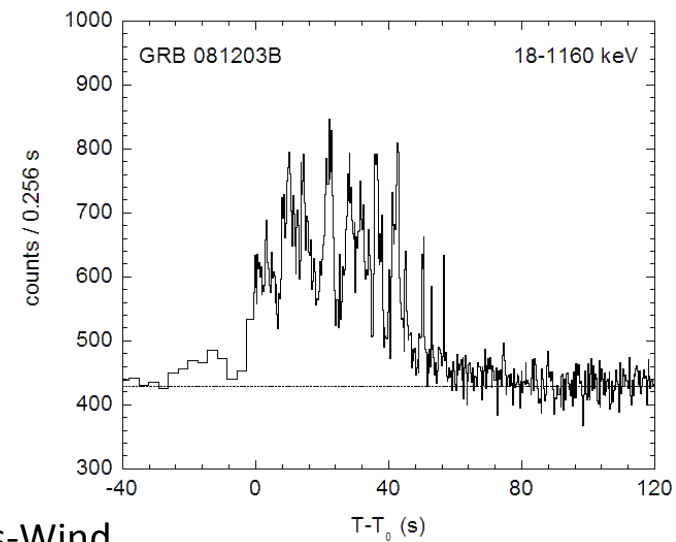
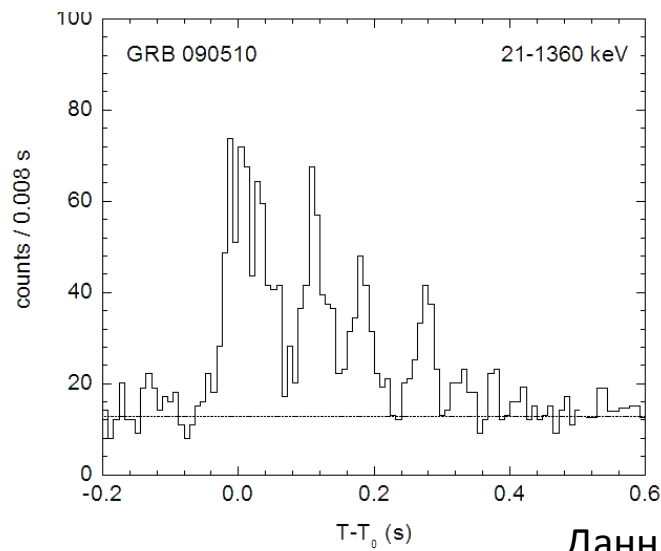
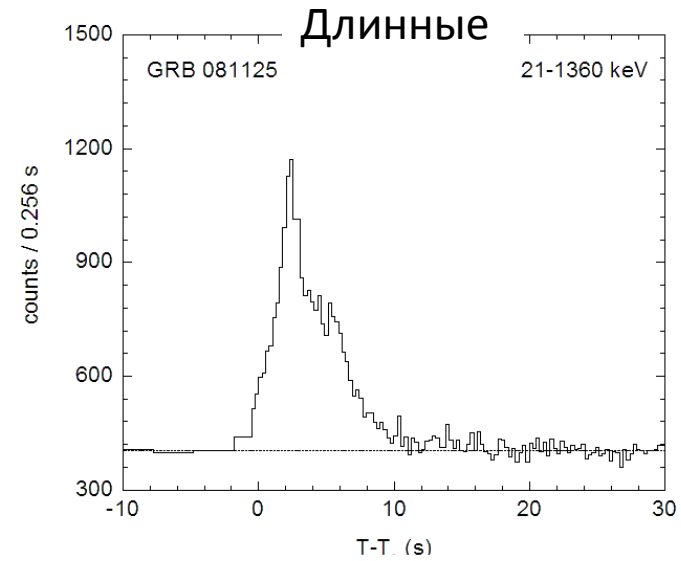
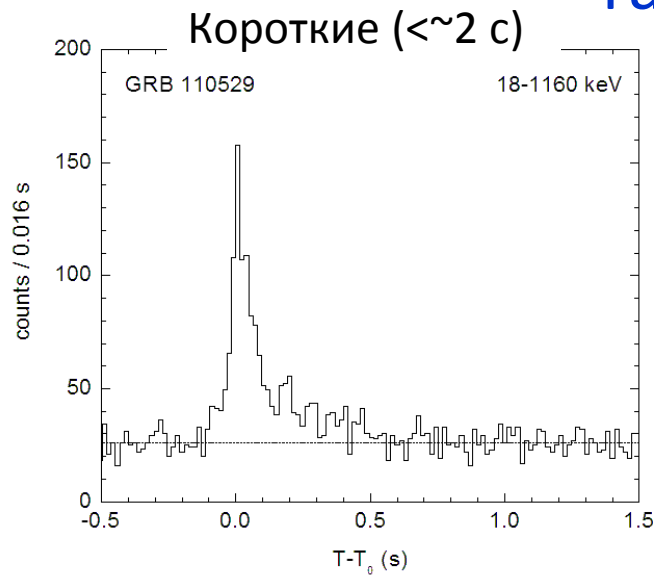
- ☐ Гамма-всплески (gamma-ray bursts, GRBs)
- ☐ Мягкие гамма-репитеры (soft gamma-repeaters, SGRs)
- ☐ Эксперимент Конус-Винд (Konus-Wind, KW)
- ☐ Межпланетная сеть гамма-детекторов (Interplanetary Network, IPN)
- ☐ Основные результаты
  - ☐ Гамма-всплески
  - ☐ Мягкие гамма-репитеры:  
    галактические 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.



# Кривые блеска гамма-всплесков в гамма-диапазоне

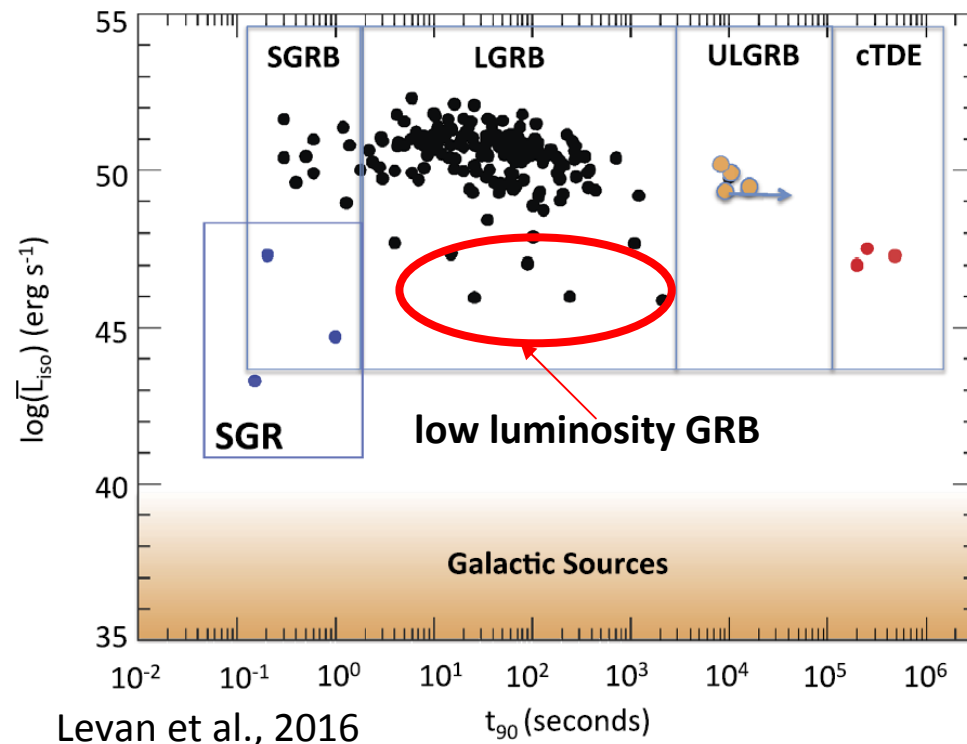


Данные Konus-Wind



# 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

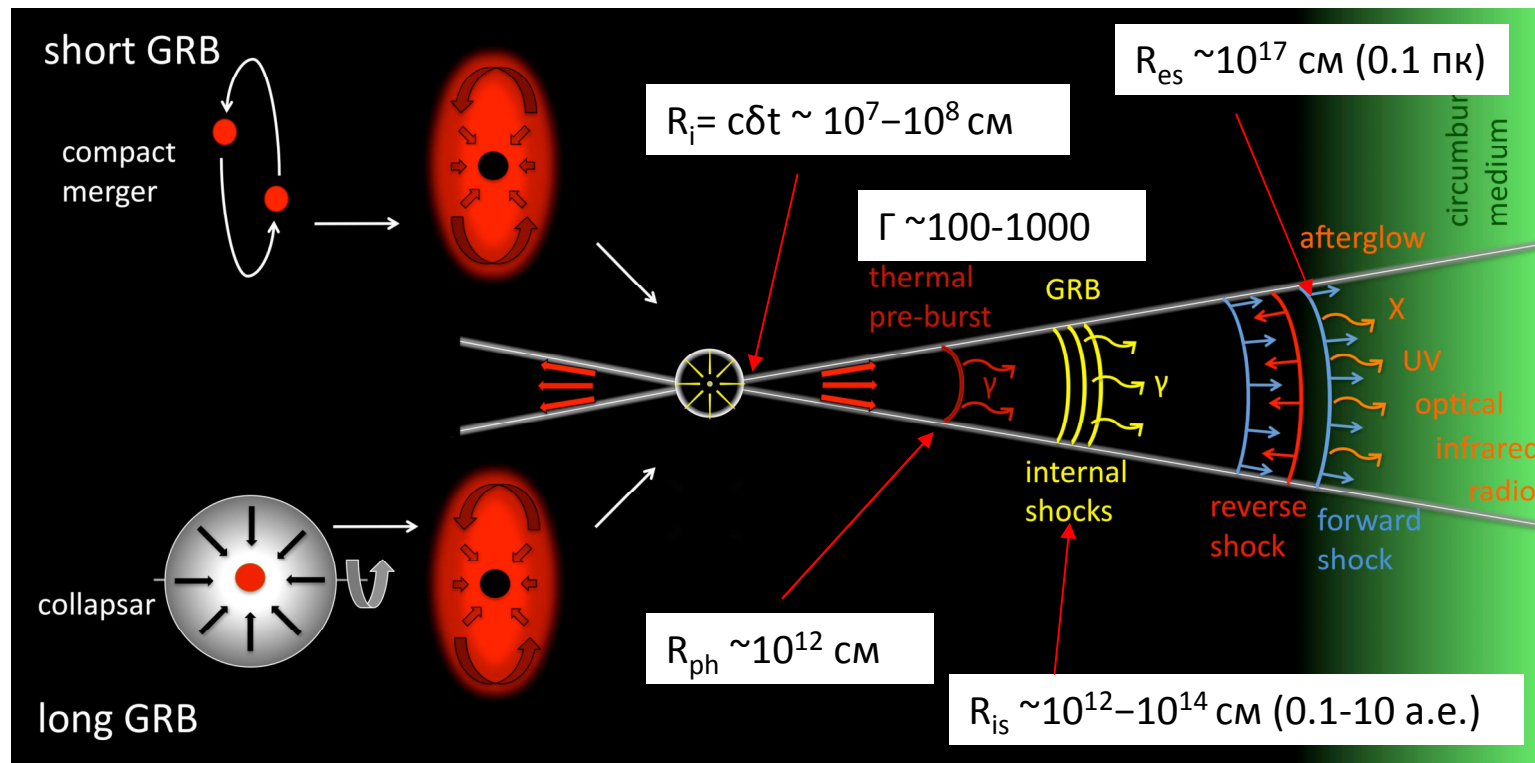
	<i>Тип I</i>	<i>Тип II</i>
Длительность гамма-излучения	$< \sim 2$ с	$> \sim 2$ с
Рентгеновские послесвечения	наблюдаются не всегда; $\sim$ в 10 раз слабее; рентгеновские вспышки	наблюдаются для большинства GRBs; рентгеновские вспышки
Оптическое послесвечение	наблюдаются редко; слабое	наблюдаются для 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

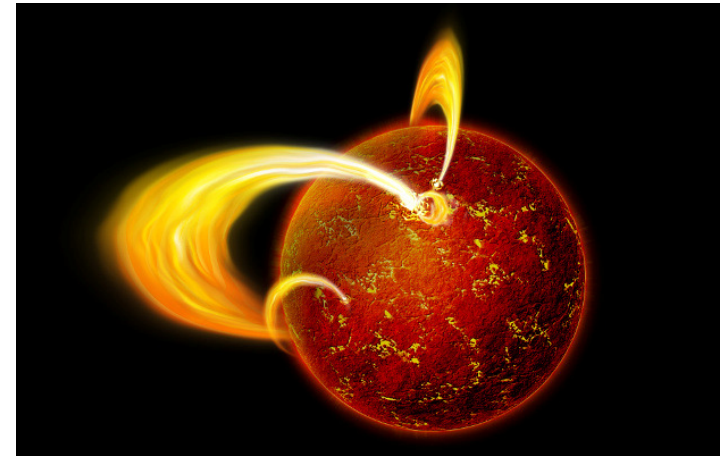
- Гамма-излучение: фотосфера релятивистской струи (джета) или синхротронное излучение  $e^-$ , ускоренных на внутренних ударных волнах джета.
- Послесвечение: ударная волна между джетом и межзвёздной средой.
- Джет:  $\Gamma \sim 100-1000$ ,  $\theta_j < \sim 10^\circ$ ,  $M_b < \sim 10^{-6} M_{\text{Sun}}$



# 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 $^{-1}$ )

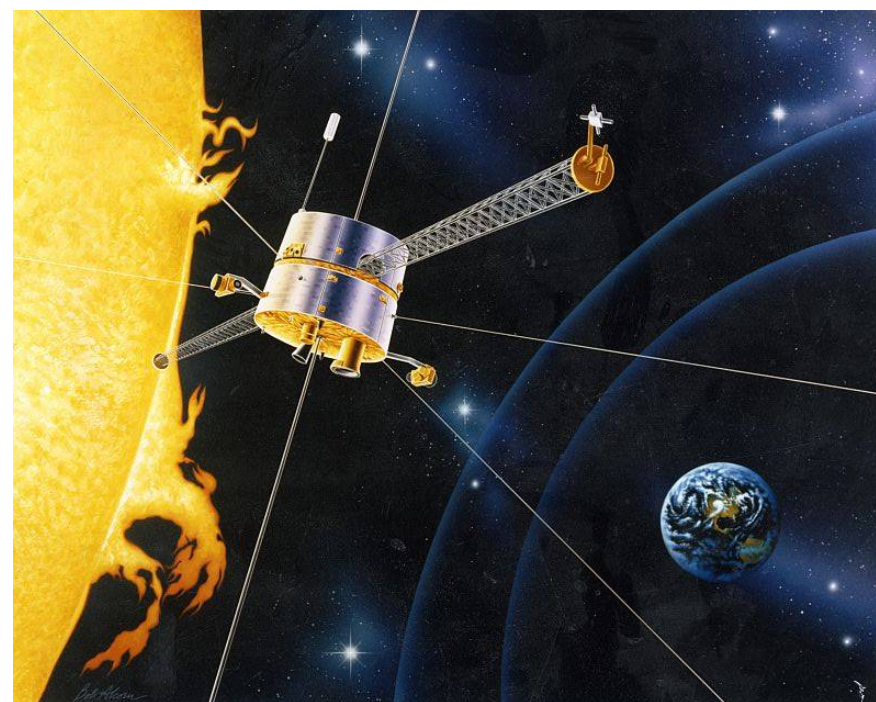


## □ Модели:

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



- ❑ **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  $L_1$ , с удалением до 2.1 млн. км ( $\sim 7$  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.

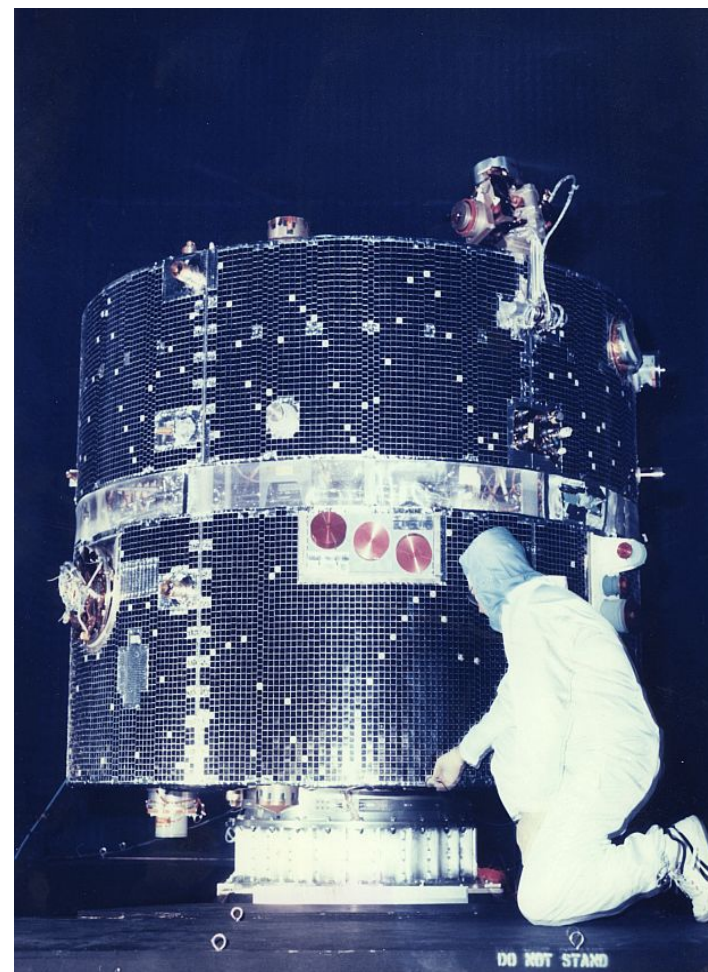


## Инструмент

- ❑ Два NaI(Tl) сцинтилляционных гамма-спектрометра (130×75 mm);
- ❑ Диапазон энергий  $\gamma$ -квантов  
20 кэВ – 15 МэВ,  $S_{\text{eff}} \sim 100\text{-}160 \text{ см}^2$ ;
- ❑ 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);

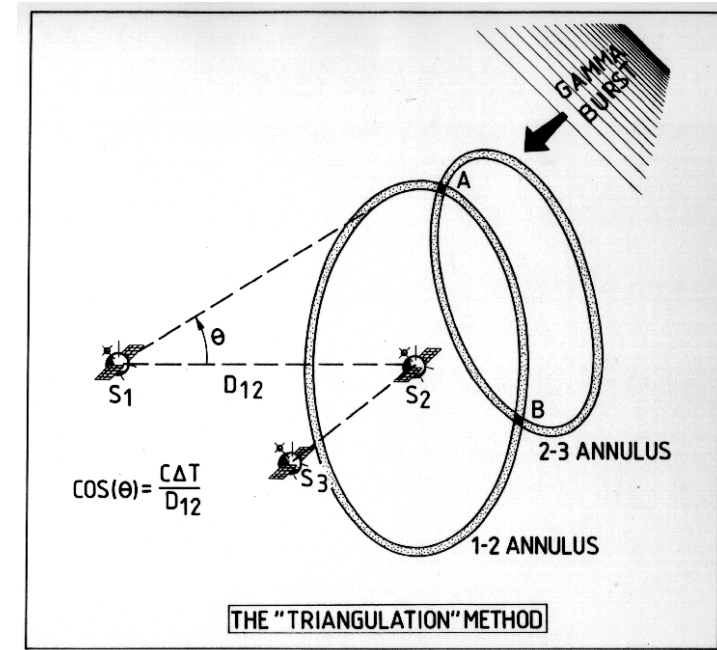
## Преимущества

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



# 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  $\text{см}^{-2}$  ( $\sim 1$  фот.  $\text{см}^{-2}$ )
- ❑ 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.

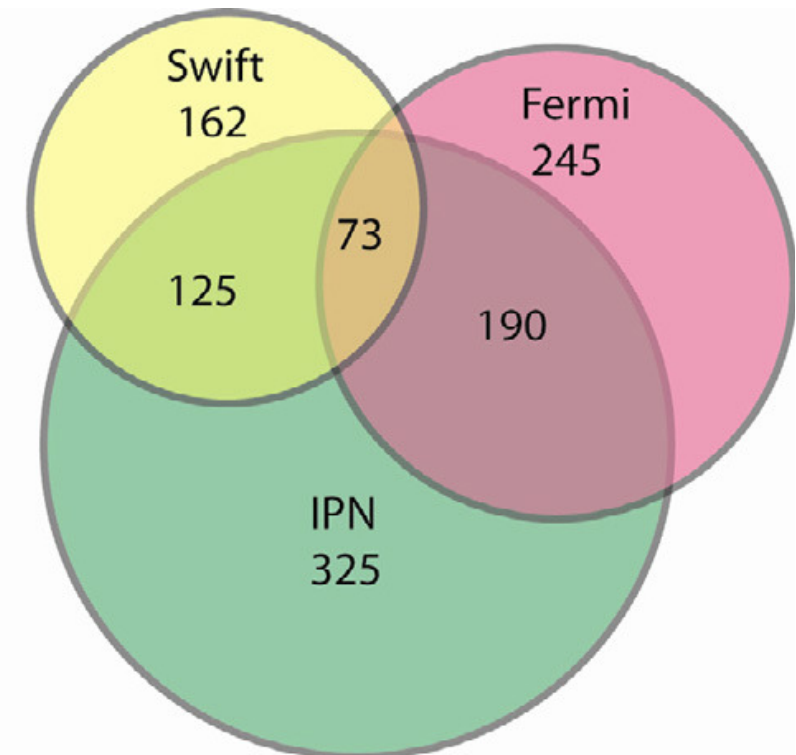


K. Hurley,  
<http://www.ssl.berkeley.edu/ipn3/>



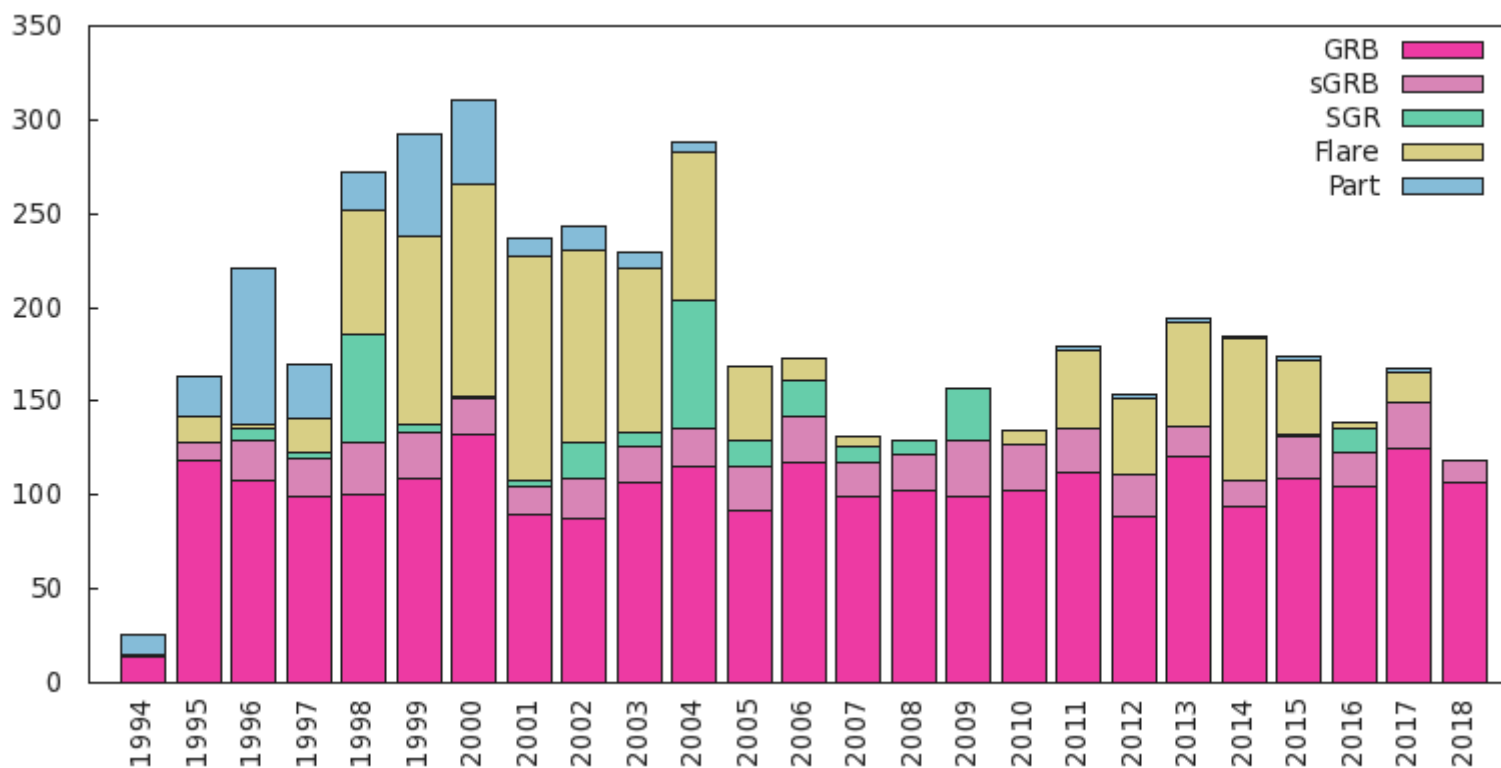
## Межпланетная сеть гамма-детекторов (IPN)

- 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 ~100 GRB год<sup>-1</sup>.
- Конус-Винд детектирует ~98% событий с потоком  $>10^{-6}$  эрг см<sup>-2</sup>.
- 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)

- Статистика наблюдений (триггеры):  
 3050 – GRBs (Fermi ~2500, BATSE ~2700, Swift ~1250),  
 260 – SGRs, 1000 – Solar flares



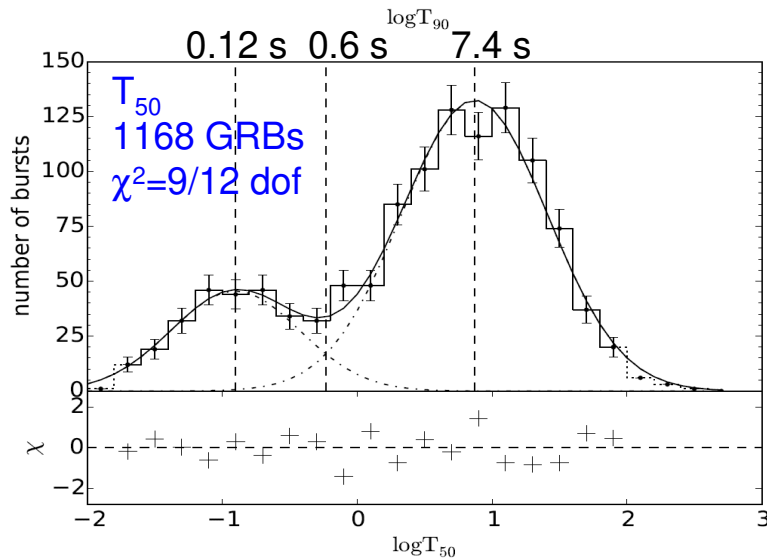
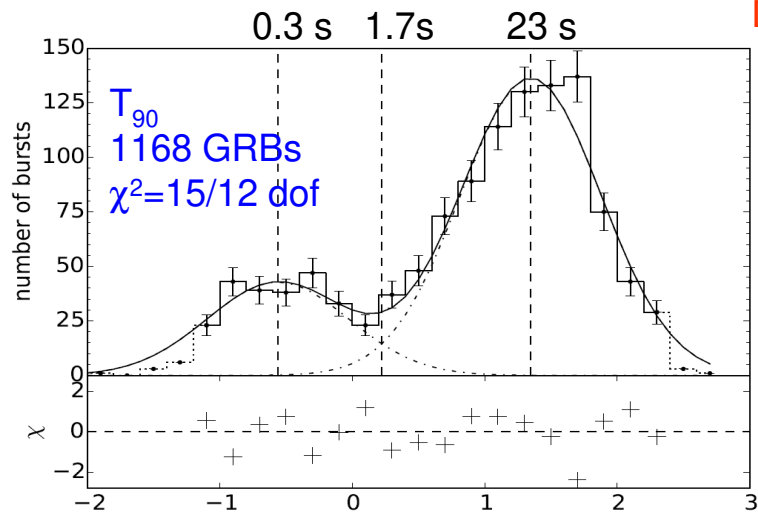
Годичная статистика триггеров Конус-Винд 1994-2018



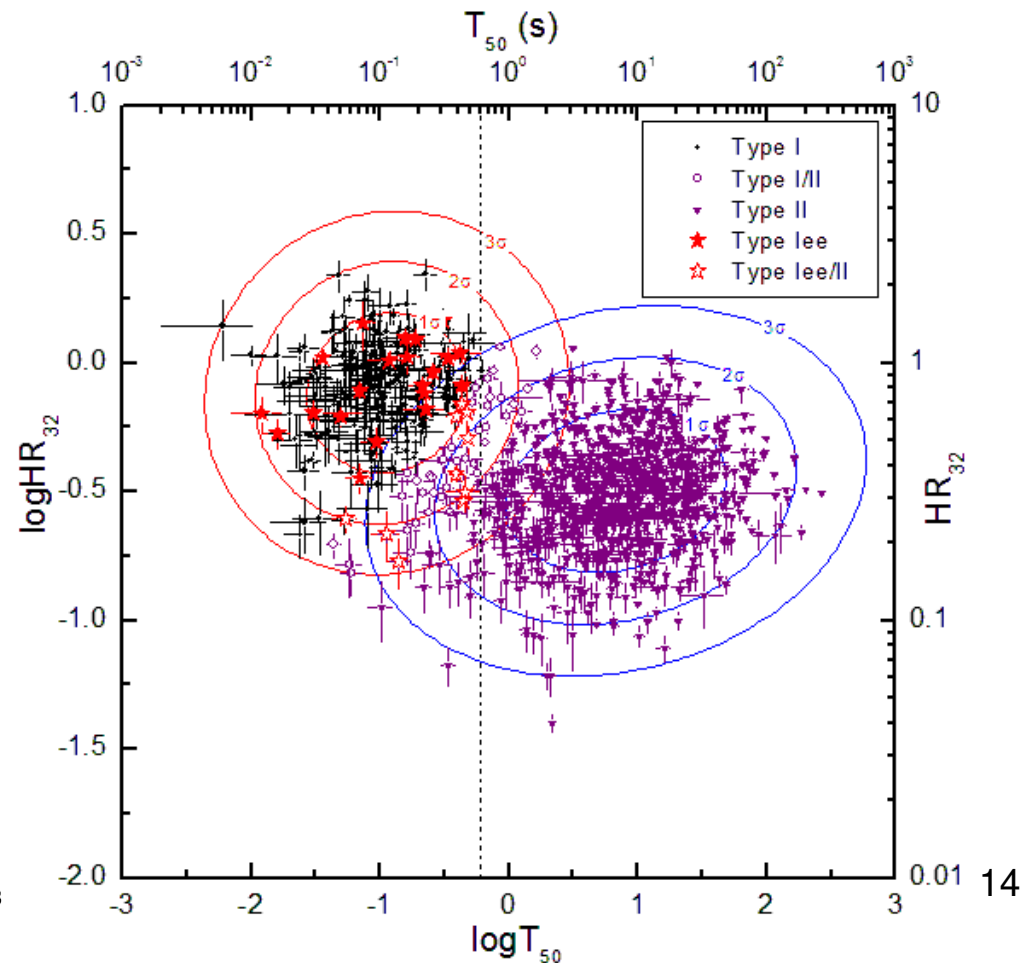


# Классификация гамма-всплесков Конус-Винд

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



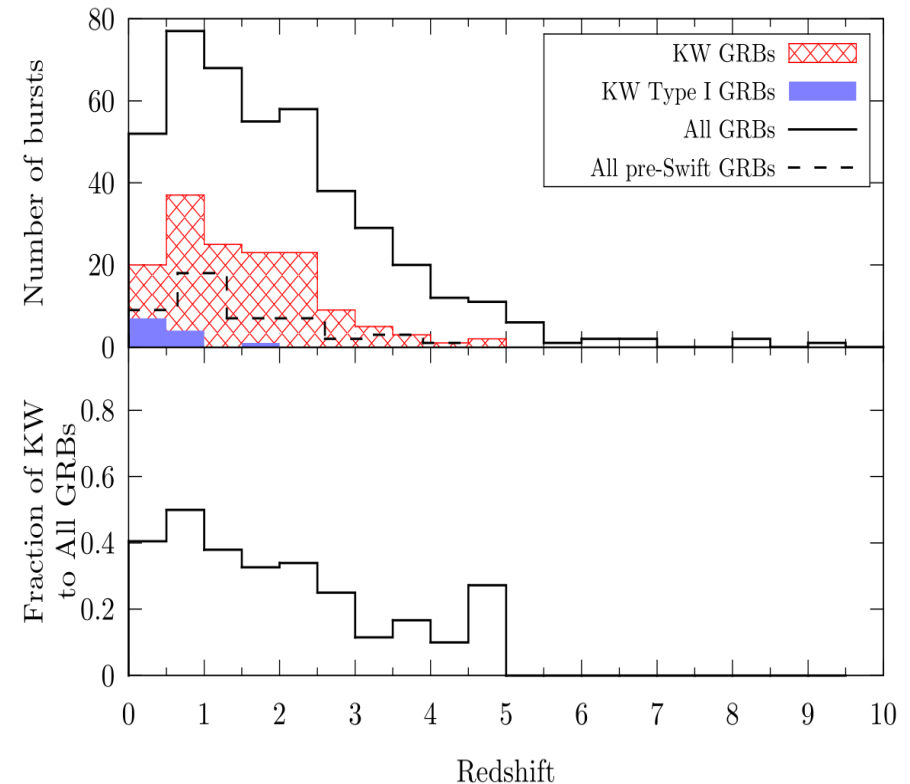
- Классификация на плоскости жесткость/длительность:  
18% - Тип I (короткие/жесткие), 78% - Тип II (длинные/мягкие),  
4% с неоднозначной классификацией (I или II).





## 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 так же положение пика  $\nu F(\nu)$  спектра в системе источника всплеска -  $E_{\text{p,rest}}$ .
- Между 1997 и 2018 гг KW зарегистрировал 166 GRBs в режиме “Всплеск” (всего  $\sim 300$  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.

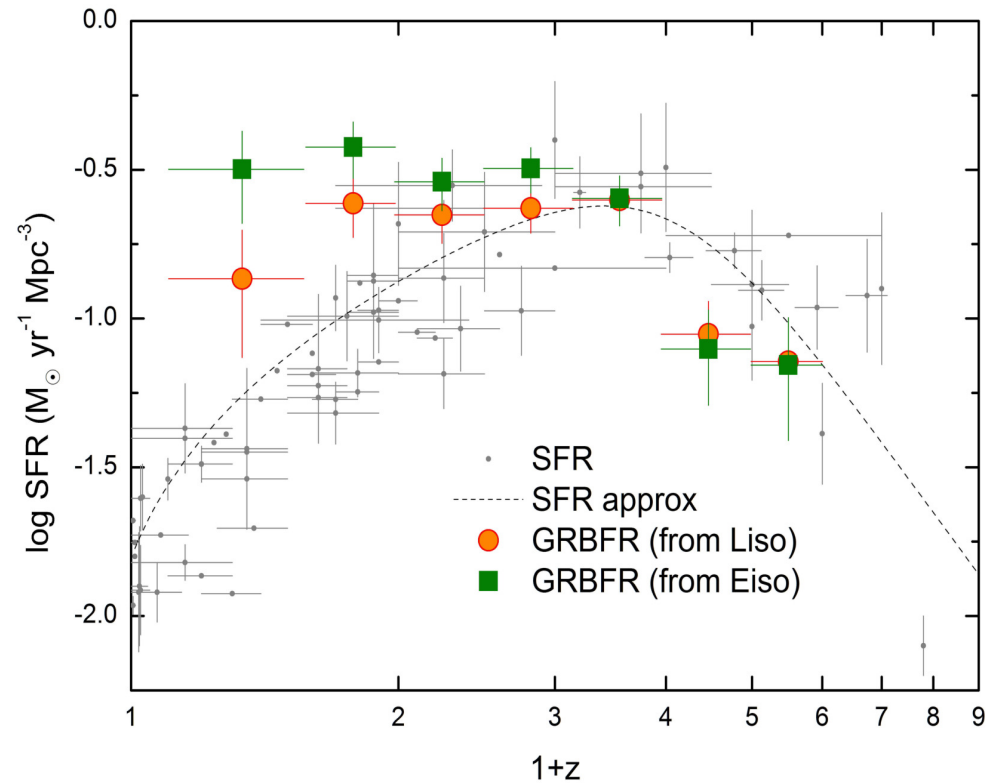
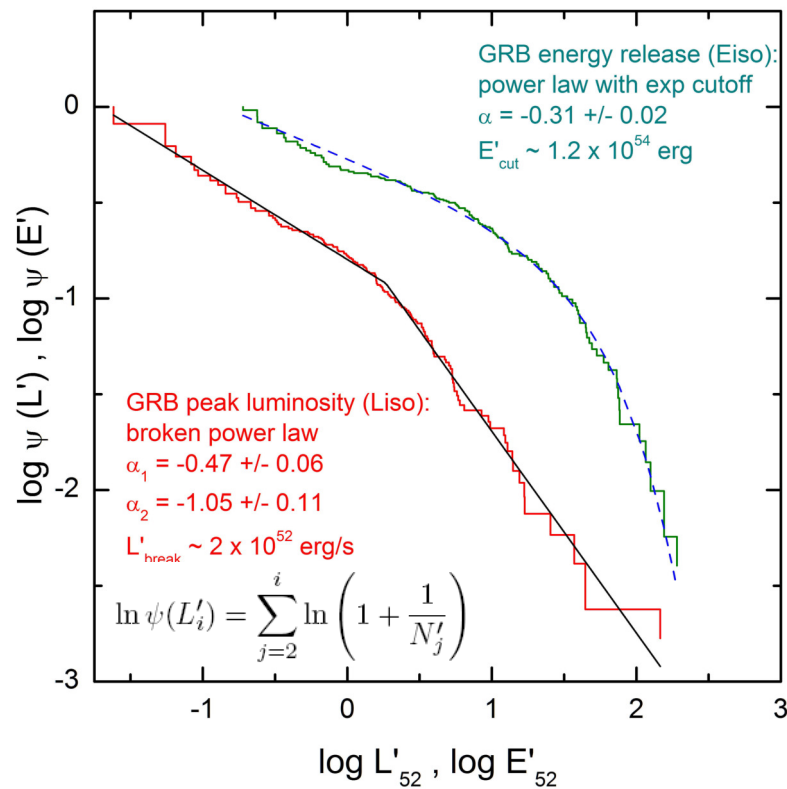


150 GRBs в каталоге Tsvetkova et al., ApJ, 2017



# Функция светимости и скорость образования гамма-всплесков

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

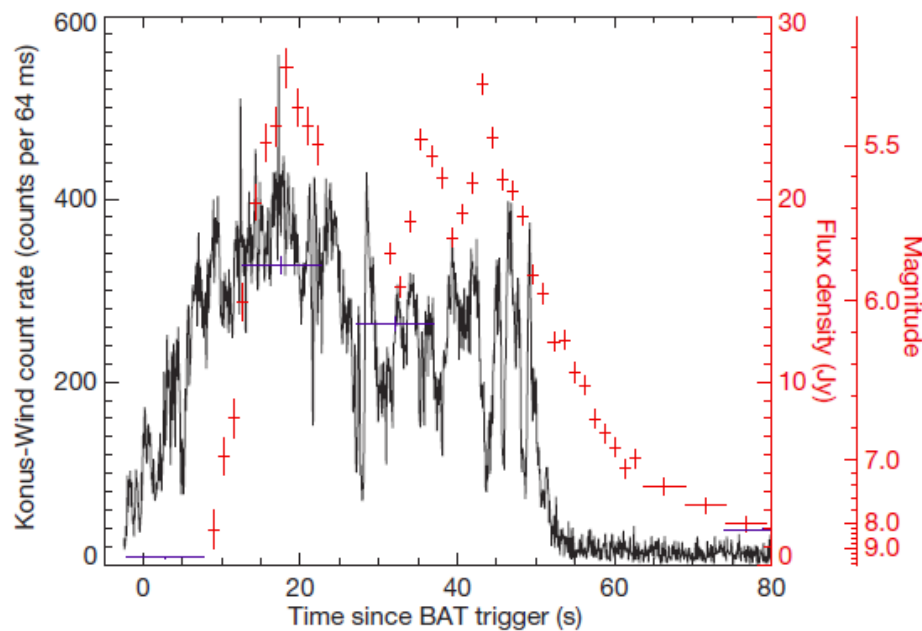




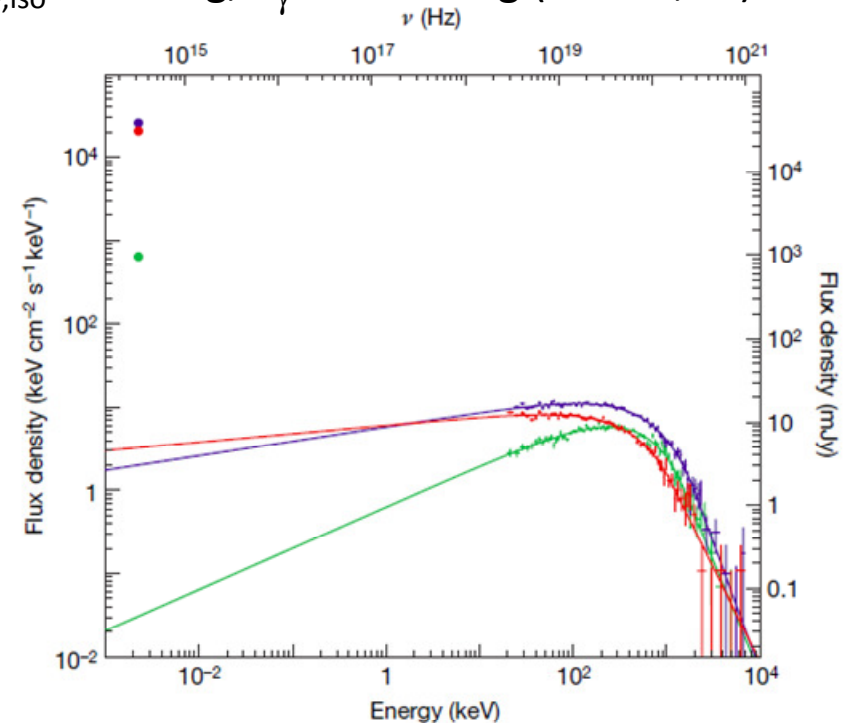


- Конус-Винд наблюдал практически все GRBs с ярким оптическим излучением в течение фазы гамма-излучения. Среди них:  
GRB 990123 ( $m \sim 9$ ), GRB 041219A ( $m \sim 14$ ), GRB 050820A ( $m \sim 14.5$ ),  
GRB 080319B ( $m \sim 5.3$ ), GRB 160625B ( $m \sim 8$ )

**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

## 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  $\text{см}^{-2}$
- $E_{\text{iso}} \sim 2 \times 10^{52} - 6 \times 10^{53}$  эрг

GRB 111209A

$\Delta T \sim 10\,000$  с

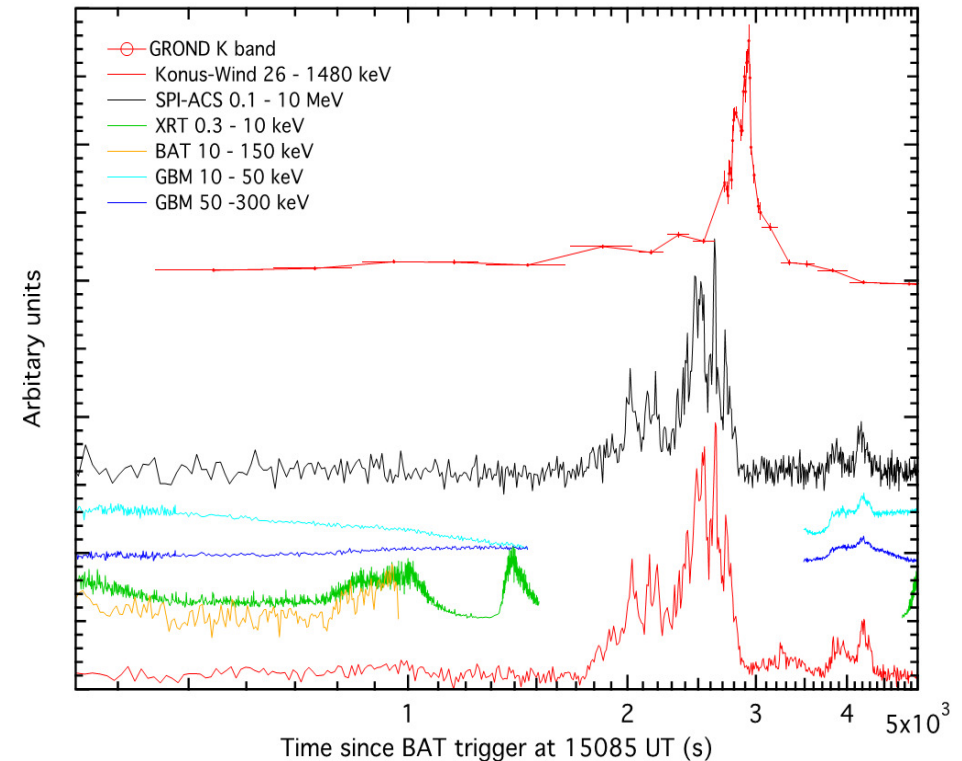
$S \sim 5 \times 10^{-4}$  эрг  $\text{см}^{-2}$

$E_{\text{iso}} \sim 6 \times 10^{53}$  эрг ( $z=0.677$ )



## GRB 130925A

- ❑ Локализован космической обсерваторией *Swift*
- ❑ Обсерватории *Swift* и *Fermi* пропустили основной эпизод события  $\sim T_0 + 1900$  с 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  $\text{cm}^{-2}$ ,  
 $E_{\text{iso}} = 2 \times 10^{53}$  эрг
- ❑ Обнаружено запаздывание ИК излучения относительно  $\gamma$  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)

Frederiks et al., ApJ (2013)

## 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  $\text{см}^{-2}$  и  
 $F_{peak} \sim 9 \times 10^{-4}$  эрг  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$

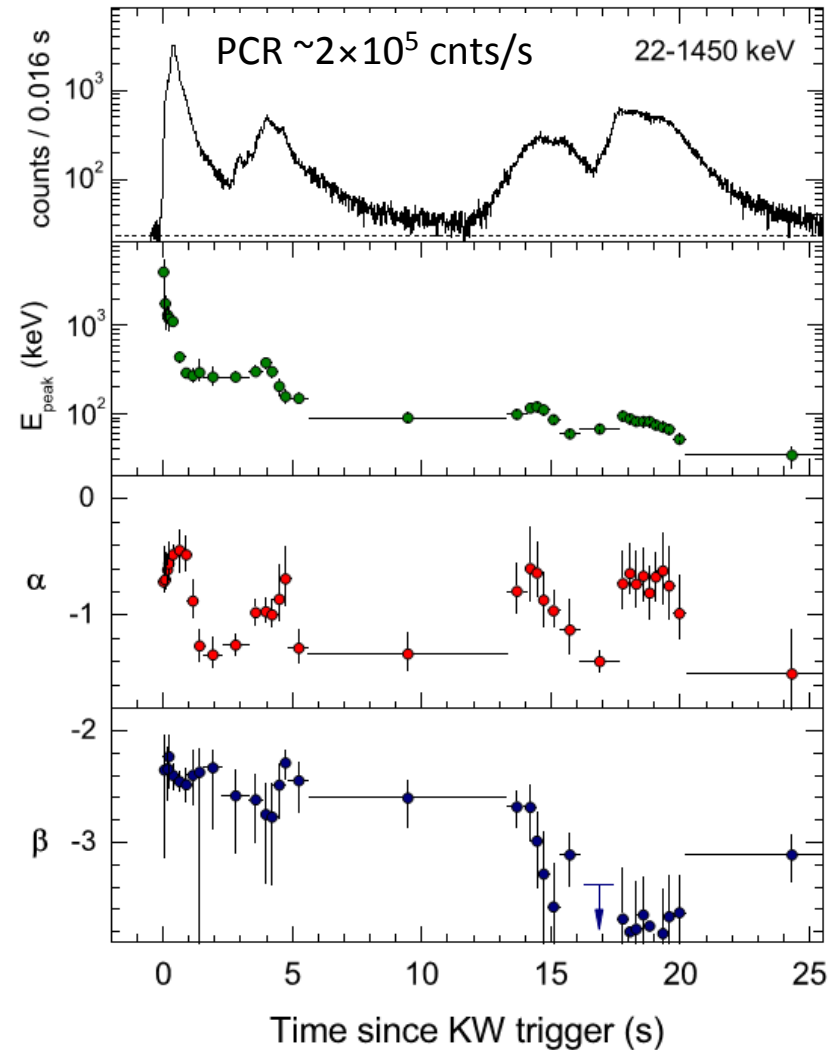
**в системе источника ( $z=0.984$ ):**

$$L_{iso} = 4.8 \times 10^{54} \text{ эрг с}^{-1} (!),$$

$$E_{iso} = 2.1 \times 10^{54} \text{ эрг},$$

$$\Theta_{jet} = 1^{\circ}.7 - 3^{\circ}.4$$

- Горизонт детектирования:  
 $z \sim 17$  Konus-Wind  
 $z \sim 25$  Swift (BAT)

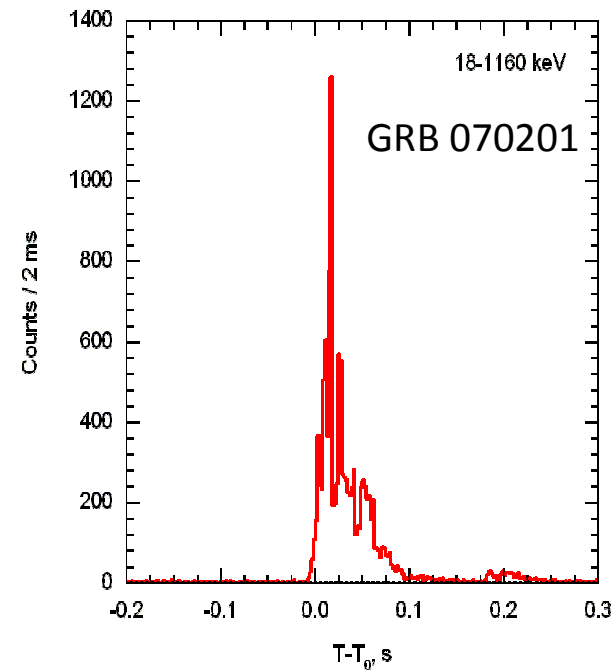
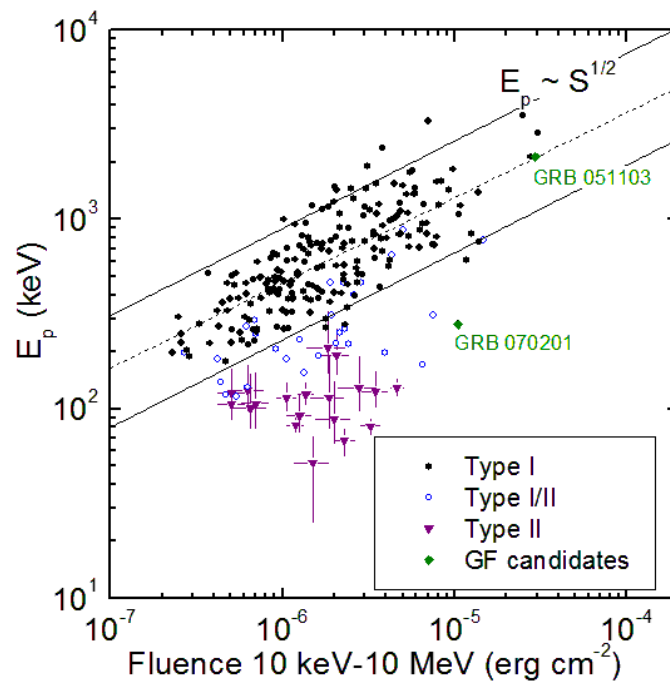




# Короткие гамма-всплески (sGRB)

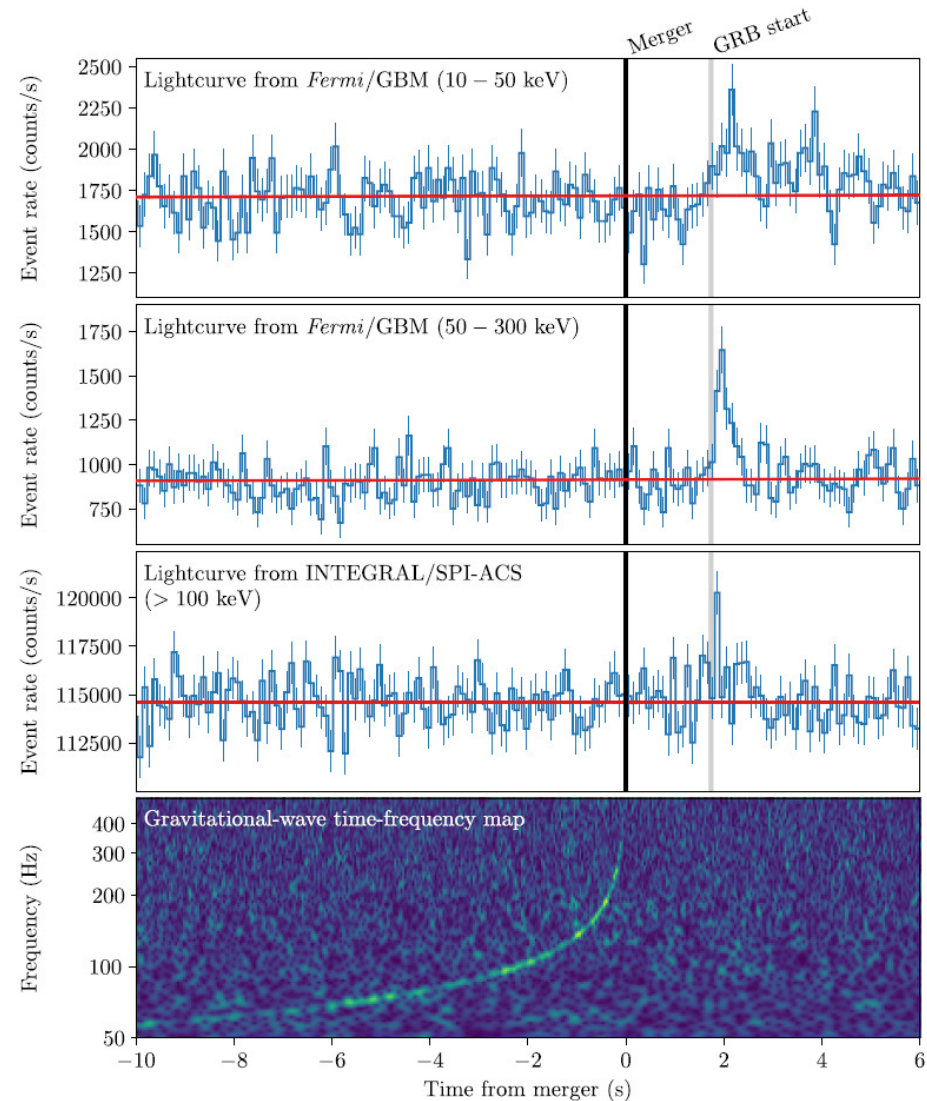
## Конус-Винд

- 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

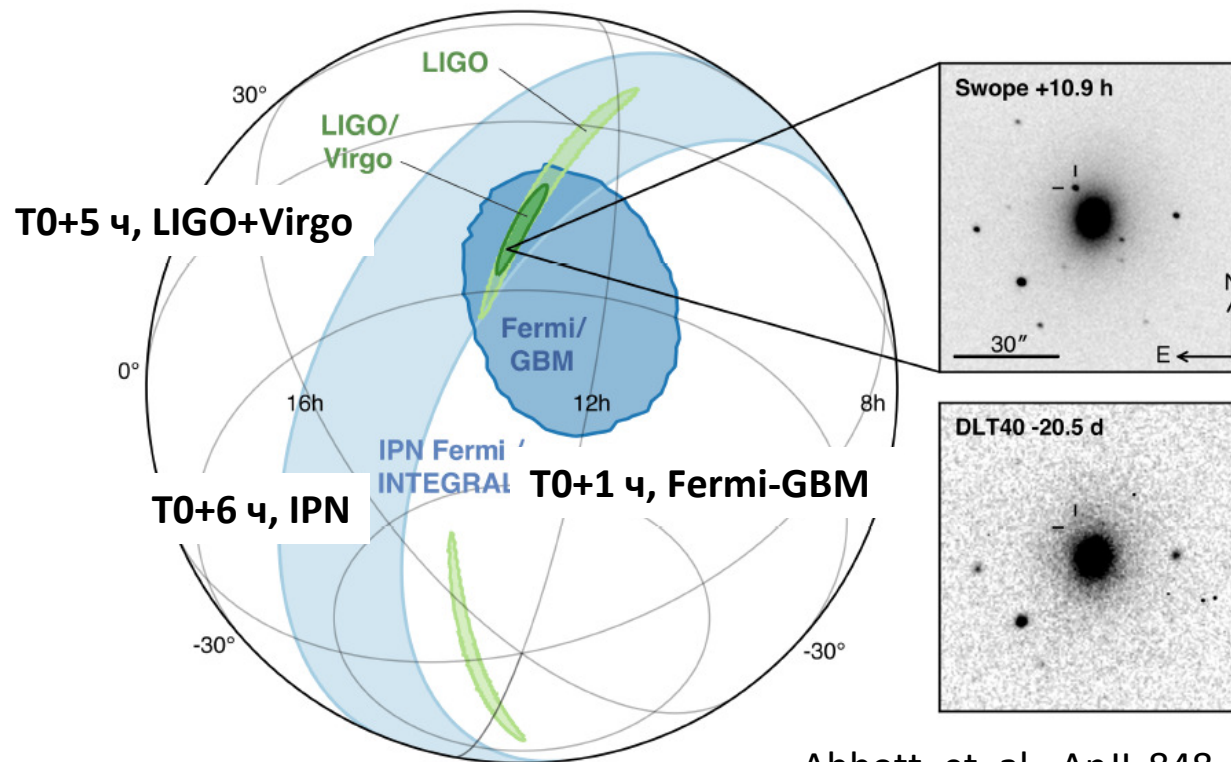
- Короткий ( $\sim 2$  с) гамма-всплеск **GRB 170817A** был зарегистрирован детекторами Fermi-GBM и INTEGRAL (SPI-ACS) в 12:41:06.475 UT, через  $\sim 2$  секунды после регистрации LIGO сигнала от слияния двух нейтронных звёзд (**GW 170817**).
- GRB 170817A был ниже порога триггера Конус-Винд.
- Вероятность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



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

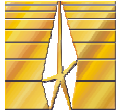
# GW 170817 / GRB 170105A

- 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.



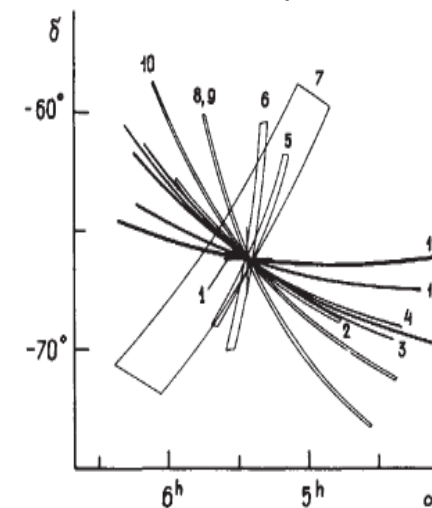
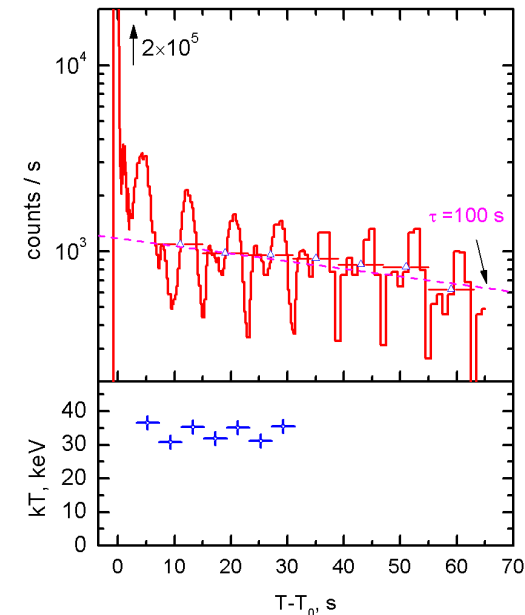
Abbott, et. al., ApJL 848, L12, 2017





# 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** (Prognos 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!**



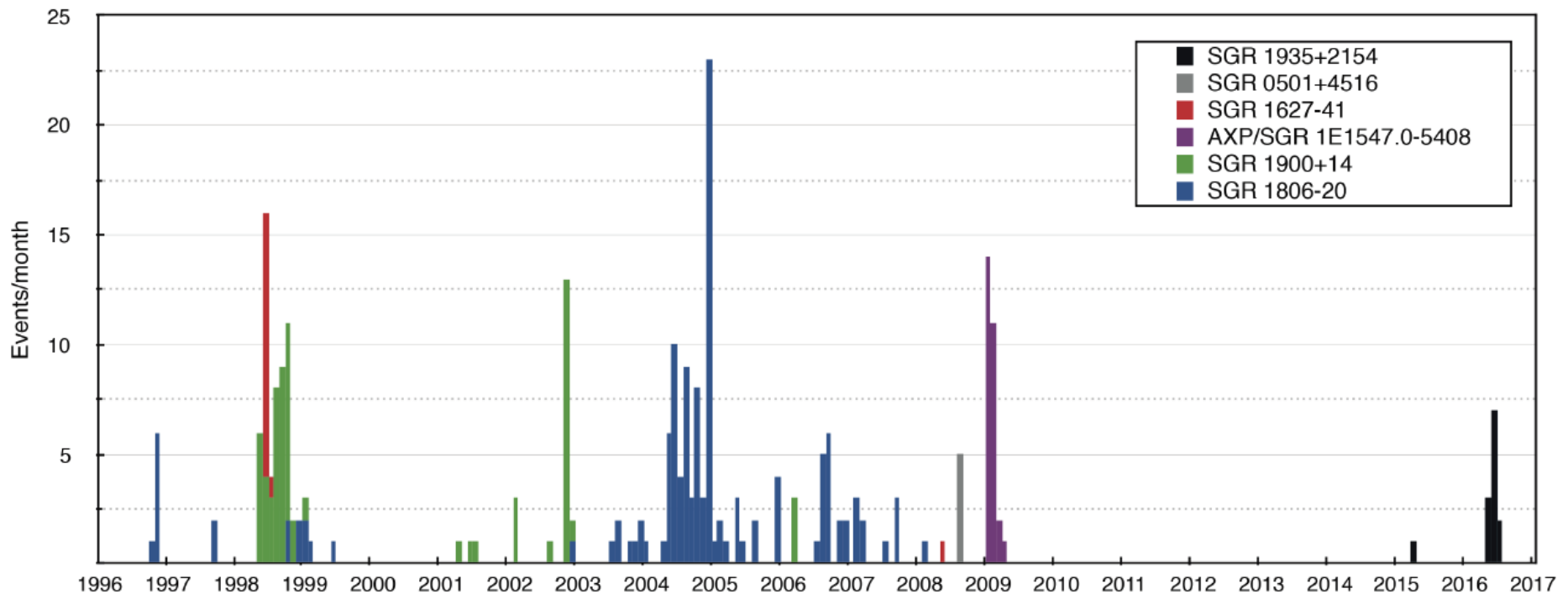
\* формат низвания источника SGR R.A.(hhmm) Dec.(deg)





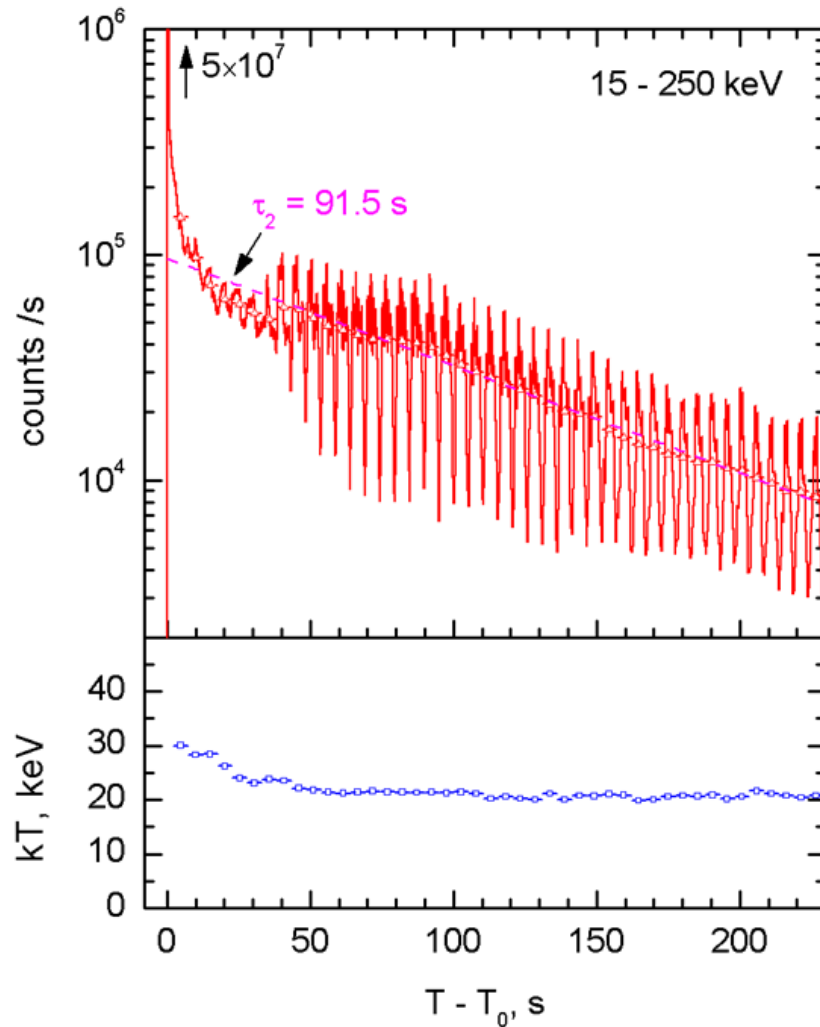
## Наблюдения мягких гамма-репитеров (SGR)

- 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 источника SGR 1900+14



- 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  $Q \sim 7 \times 10^{44}$  эрг)

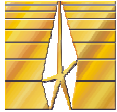
- Гигантский жесткий начальный импульс  
переполнил детекторы KW на ~200 мс.

- $Q > 6.8 \times 10^{43} d_{10}^2$  эрг (Mazets et al., 1999)

- $Q \sim 1.9 \times 10^{44} d_{10}^2$  эрг (Tanaka et al., 2007)

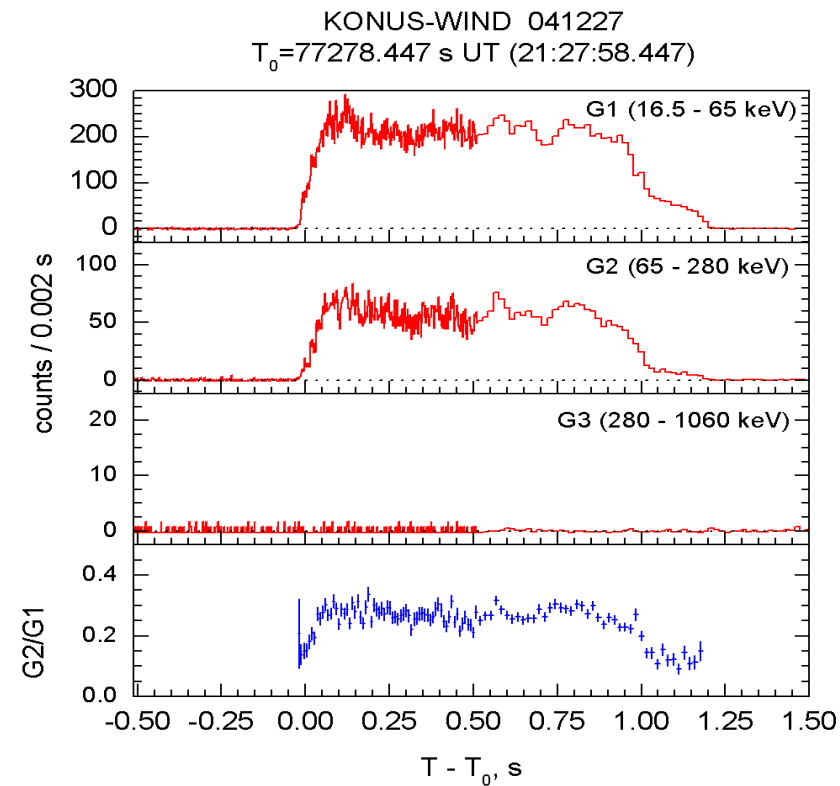
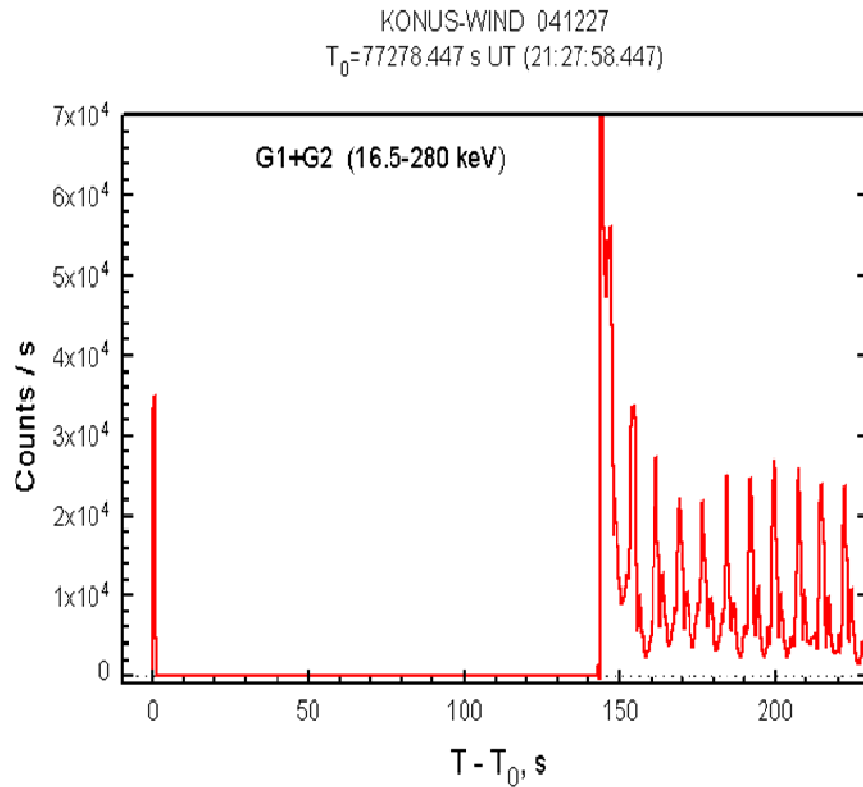
- Энергия выделившаяся в “хвосте”  
вспышки соответствовала событию от  
SGR 0526-66 .

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



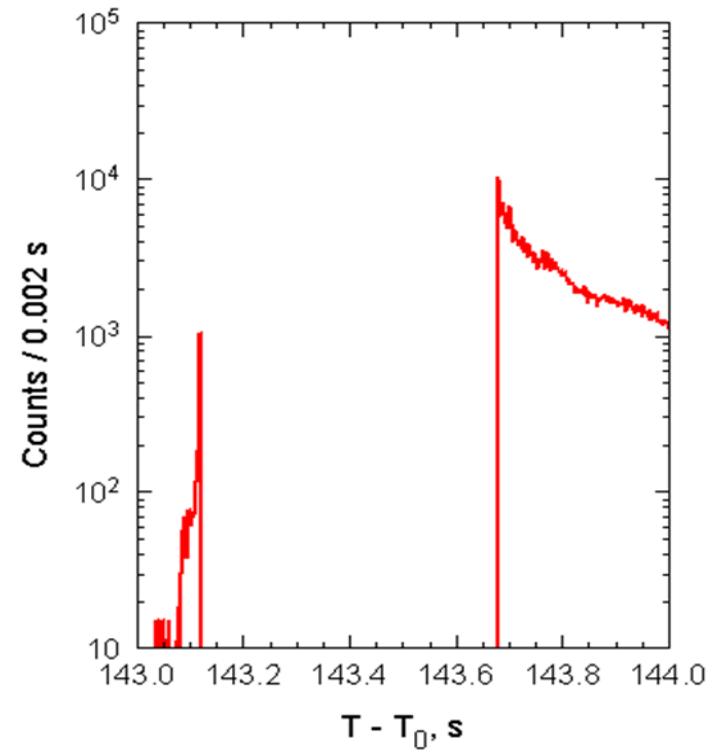
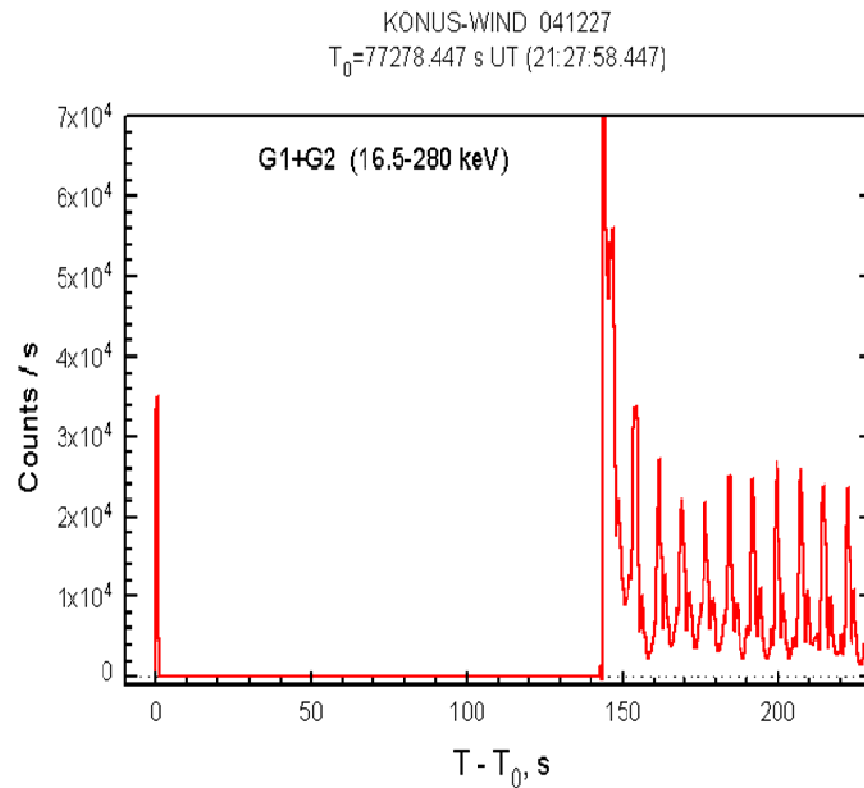
## Гигантская вспышка SGR 1806-20 27 декабря 2004

- 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).



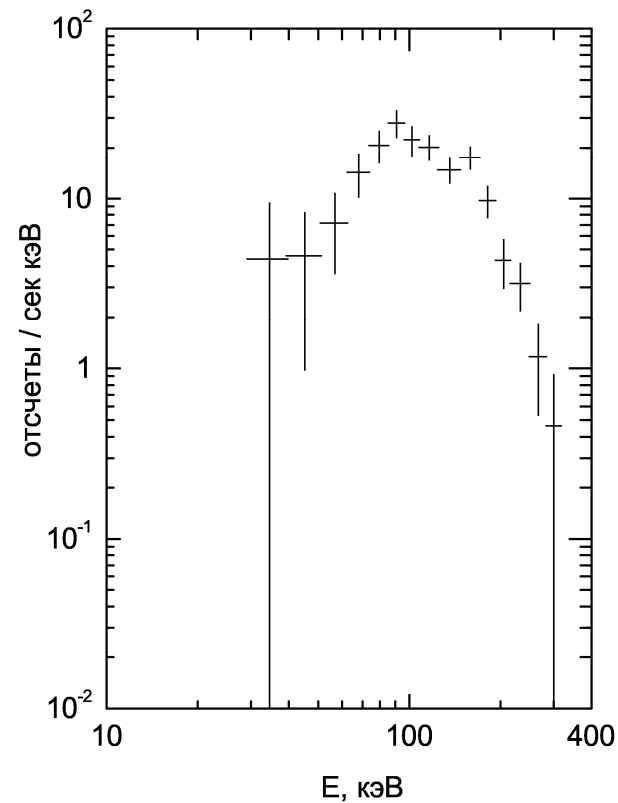
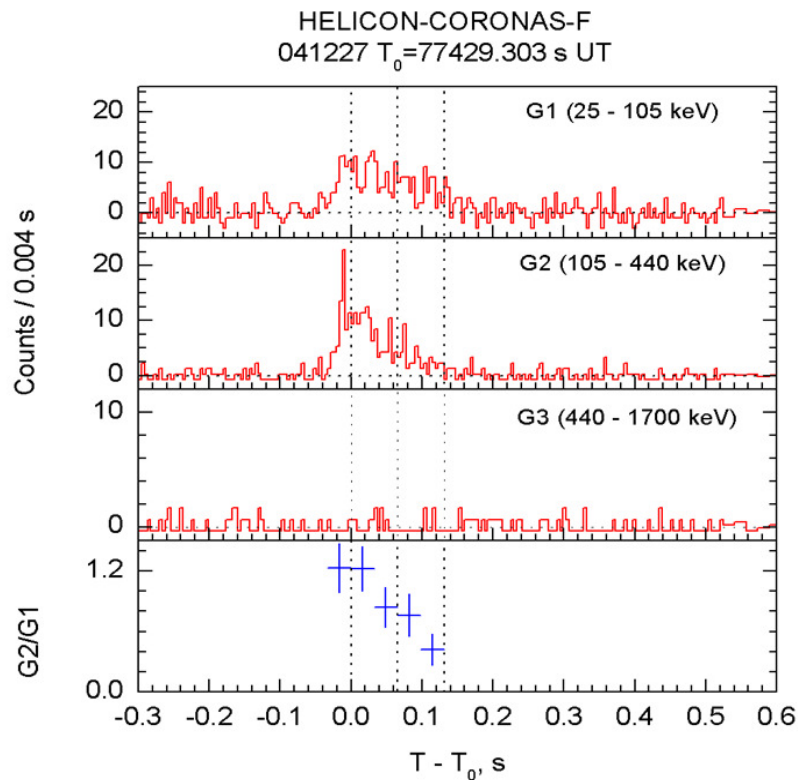


- Начальный импульс вспышки вызвал полное насыщение детектора на  $\sim 500$  мс с момента  $T_0 + 143$  с.





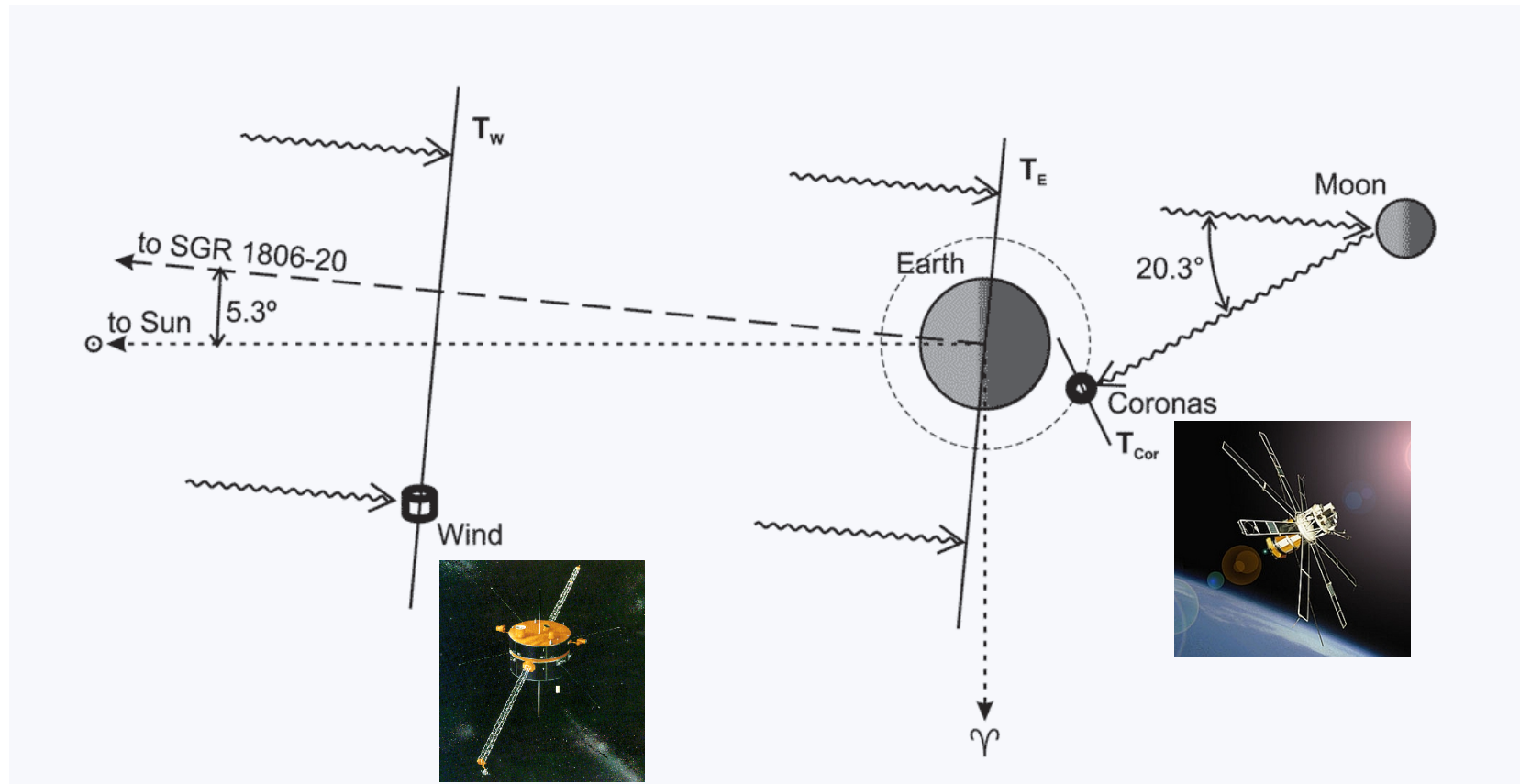
- Несколько секунд позже необычный короткий гамма-всплеск был зарегистрирован инструментом “Геликон” (ФТИ) на борту солнечной обсерватории Коронас-Ф.
- Гигантский начальный импульс отразился от Луны и попал на Коронас-Ф?
- Анализ времени распространения фронта излучения подтвердил эту идею!

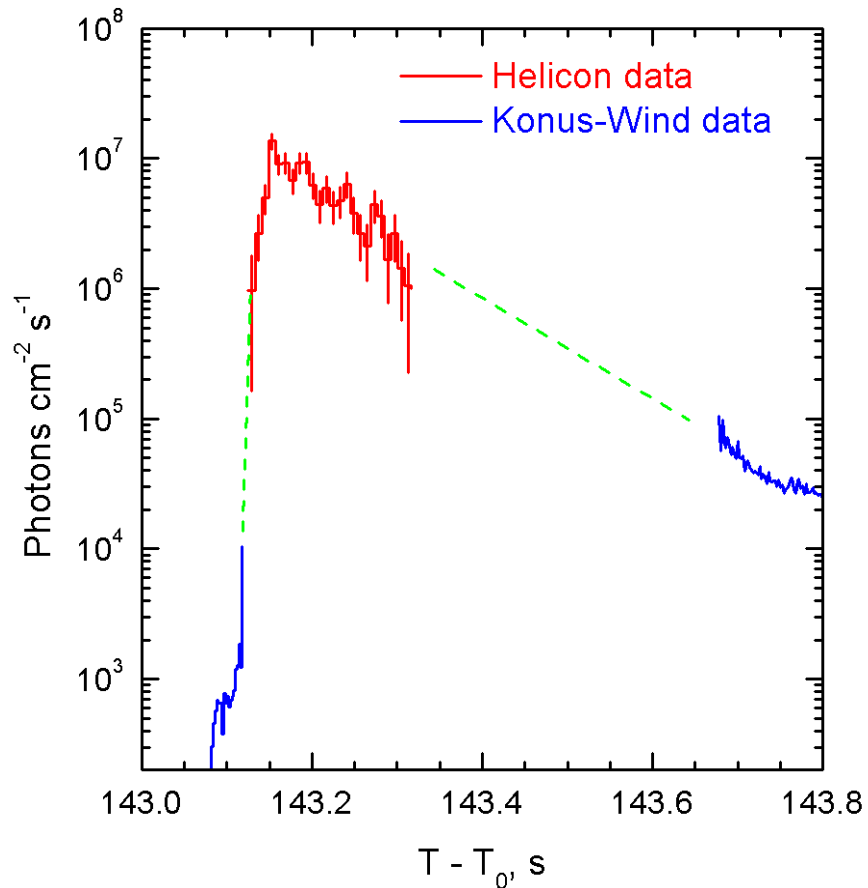




## Гигантская вспышка источника SGR 1806-20

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



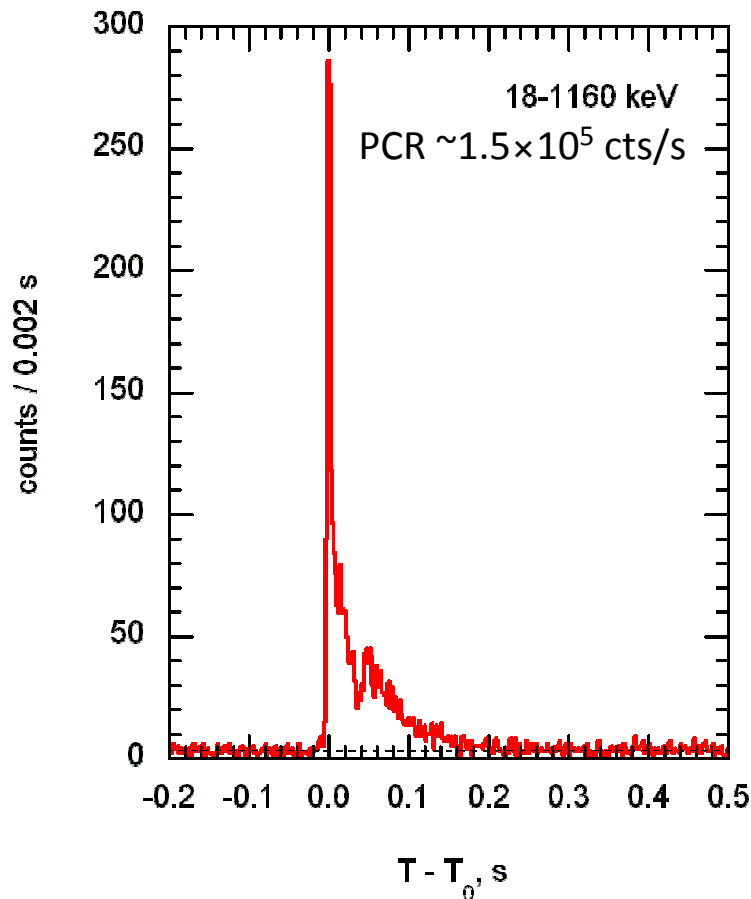


Frederiks et al., Ast. Lett. (2007)

## Реконструкция кривой блеска вспышки

- $S=0.6$  эрг  $\text{cm}^{-2}$ ,  $F_{\text{max}} = 9$  эрг  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- Энерговыделение  $Q=2.3 \times 10^{46}$  эрг, Пиковая светимость  $L=3.5 \times 10^{47}$  эрг  $\text{s}^{-1}$
- 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 колоссальной светимости, начальные импульсы GF могут регистрироваться от SGR в близких галактиках.

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

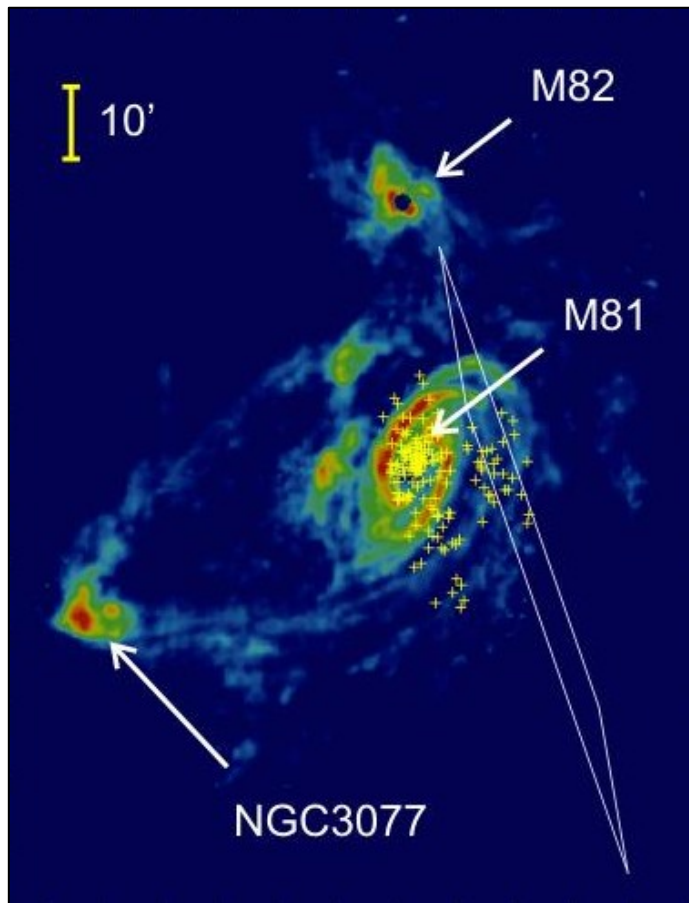


- Одиночный импульс с резким нарастанием ( $\sim 2$  мс)
- $E_p = 2300 \pm 200$  кэВ
- Интегральный энергетический поток  $S = (4.4 \pm 0.5) \times 10^{-5}$  эрг  $\text{см}^{-2}$
- Пиковый поток на масштабе 2-мс :  $F = (2.8 \pm 0.3) \times 10^{-3}$  эрг  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$

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



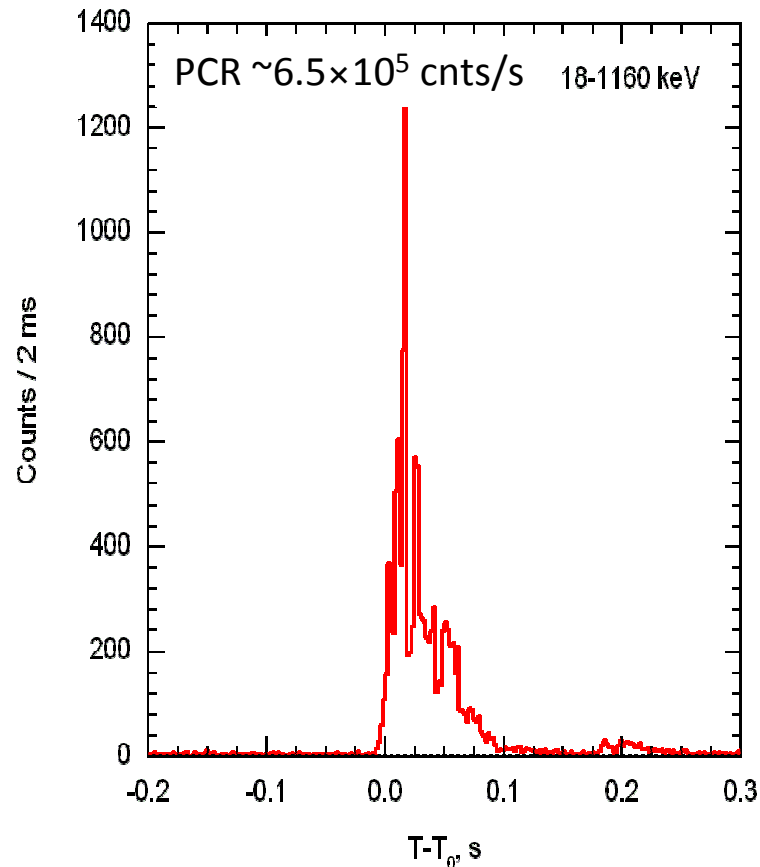
# GRB 051103 – гигантская вспышка SGR в M81/M82?



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  
 Энерговыведение:  $Q_{iso} = 7 \times 10^{46}$  эрг  
 Пиковая светимость:  $L_{max iso} = 4 \times 10^{48}$  эрг с<sup>-1</sup>  
 (для GF 24 декабря 2004 г. от SGR 1806-20  
 $Q_{iso} = 2 \times 10^{46}$  эрг;  $L_{max iso} = 4 \times 10^{47}$  эрг с<sup>-1</sup>)
- 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  
 (~100 Мпк) галактике:  
 $Q_{iso} = 5 \times 10^{49} (D/100 \text{ Мпк})^2$  эрг

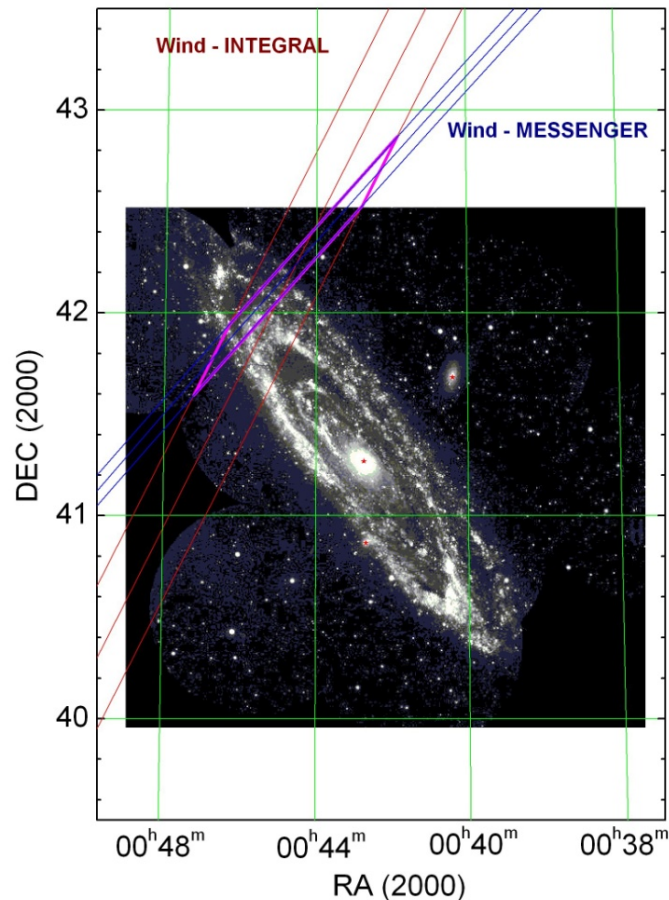
# GRB 070201 – гигантская вспышка SGR в Туманности Андромеды?



- ☐ 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  $\text{cm}^{-2}$
- ☐ Превышение на фоне  $\sim 4.5\sigma$  интервале  $\sim 100$  с после всплеска мягком диапазоне (18-80 кэВ) можно интерпретировать как хвост GF  $S_{\text{tail}} \sim 7 \times 10^{-7}$  эрг  $\text{cm}^{-2}$

Mazets et al., ApJ (2008)

# GRB 070201 – гигантская вспышка SGR в Туманности Андромеды?



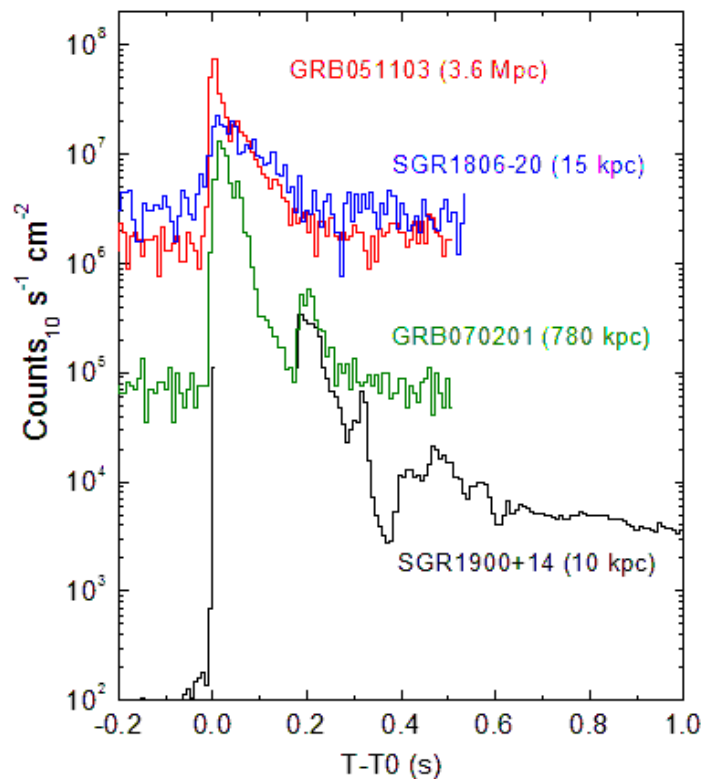
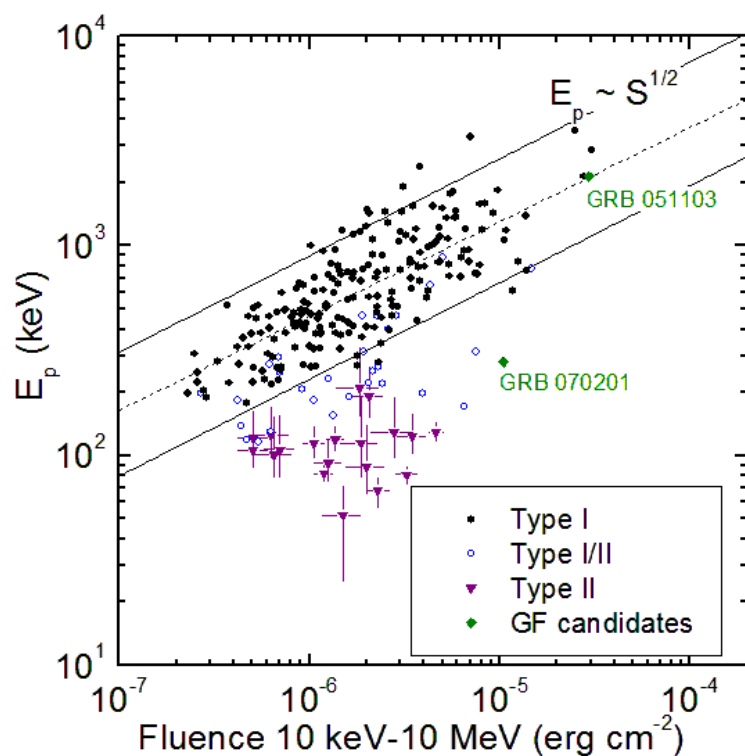
УФ изображение M31 (GALEX)

- IPN локализация накладывается\* на яркое кольцо галактики M31 (Туманность Андромеды), которое считается основной областью звездообразования.
- Для  $D_{M31} = 780$  кпк  
 Энерговывделение  $E_{iso} = 1.5 \times 10^{45}$  эрг,  
 $E_{tail, iso} = 7 \times 10^{43}$  эрг  
 Пиковая светимость:  $L_{max iso} = 1.2 \times 10^{47}$  эрг  $s^{-1}$   
 (для вспышки 5 марта 1979 от SGR 0526-66  
 $E_{iso} = 7 \times 10^{44}$  эрг,  $L_{max iso} \sim 10^{46}$  эрг  $s^{-1}$ )
- 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

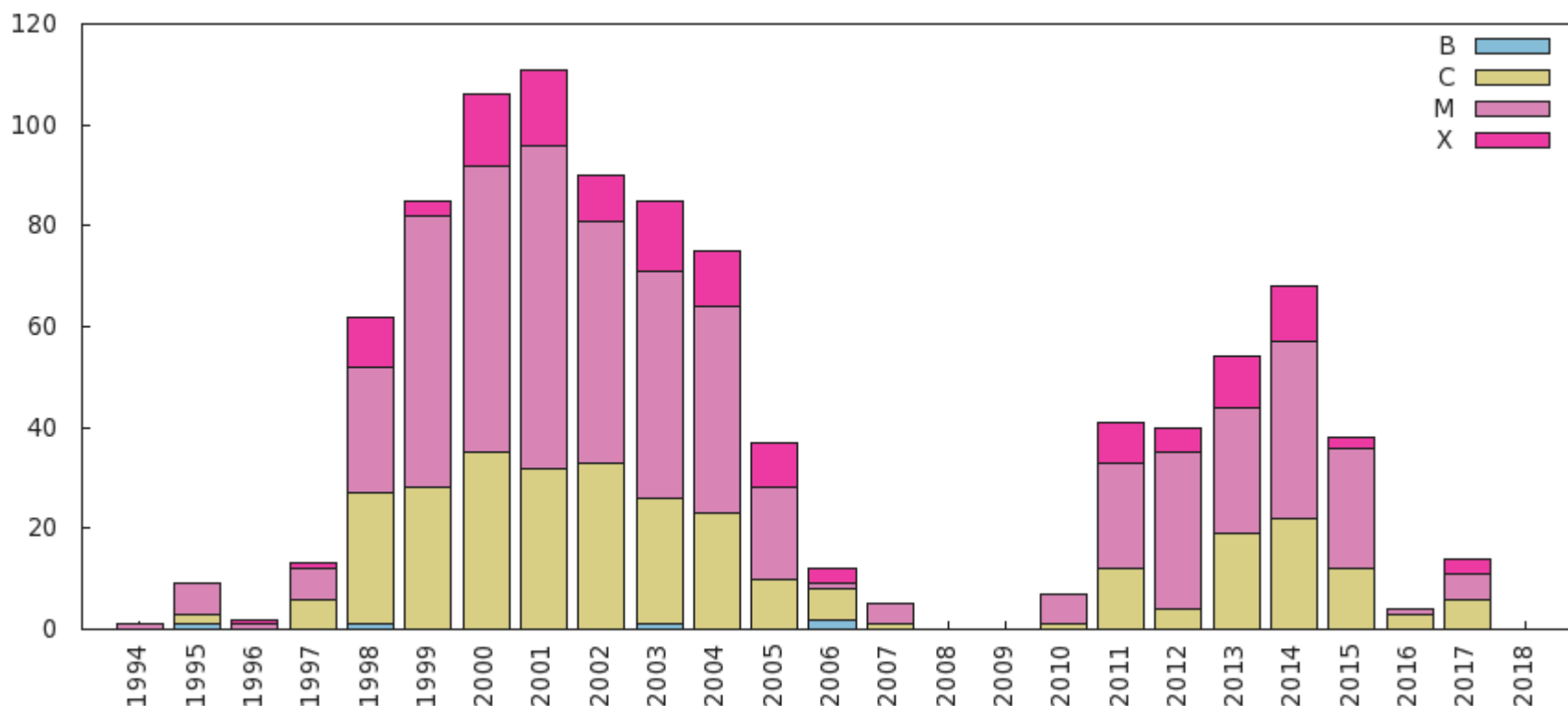
# Наблюдения внегалактических гигантских вспышек SGR

- 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.



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

www.ioffe.ru/LEA/kwsun/2013.html

Ioffe Institute. Laboratory for Experimental Astrophysics

KW-Sun: Konus-Wind Solar Flare Database

LEA home

KW+GOES light curves

KW-Sun

2012

**2013**

2014

2015

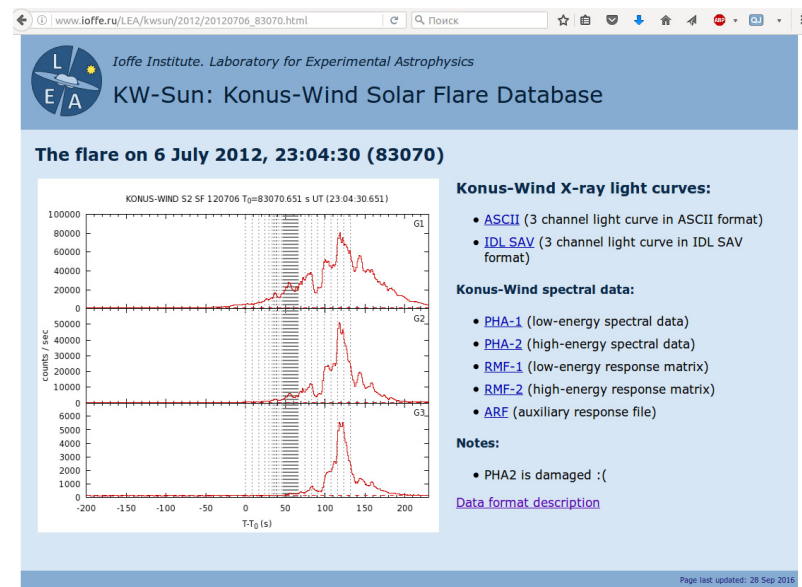
2016

KW data info

Data files

**Konus-WIND Solar Flares for year 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>





# 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.

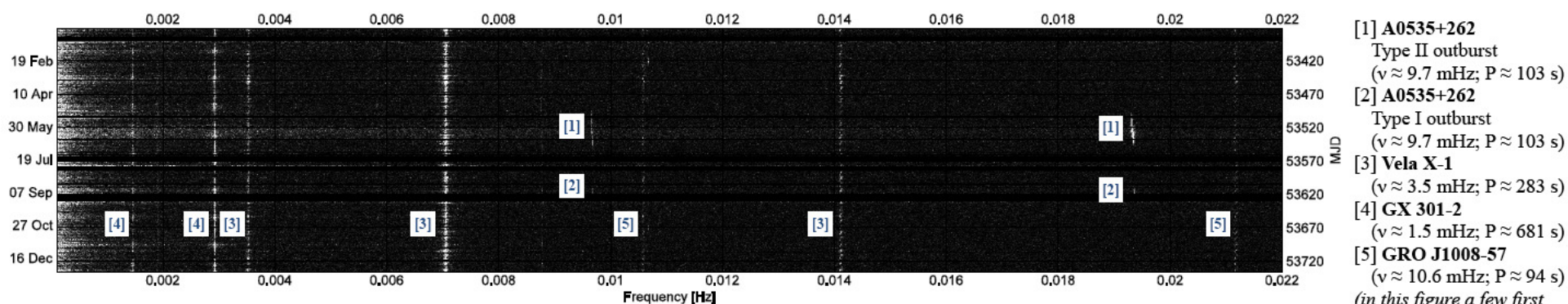


Fig. 4 Year long (1 Jan—31 Dec 2005) spectrogram. Color represents the presence of the signal with the corresponding frequency in the G1 (25-75 keV) energy range.

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 коллаборации 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!

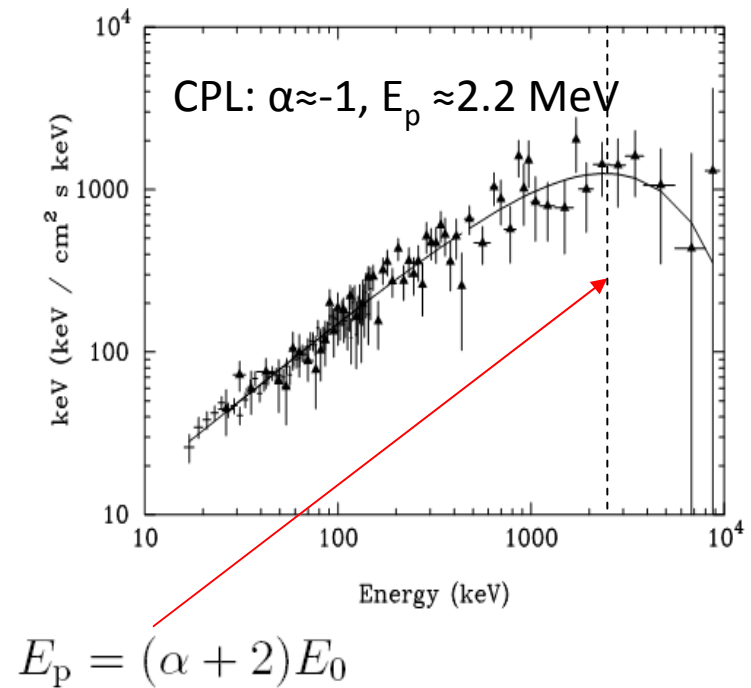


## Спектр гамма-излучения GRB

- Большинство спектров GRB описываются моделями Band (Band, 1993) или CPL (cutoff power law; 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  $EF(E)$  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)

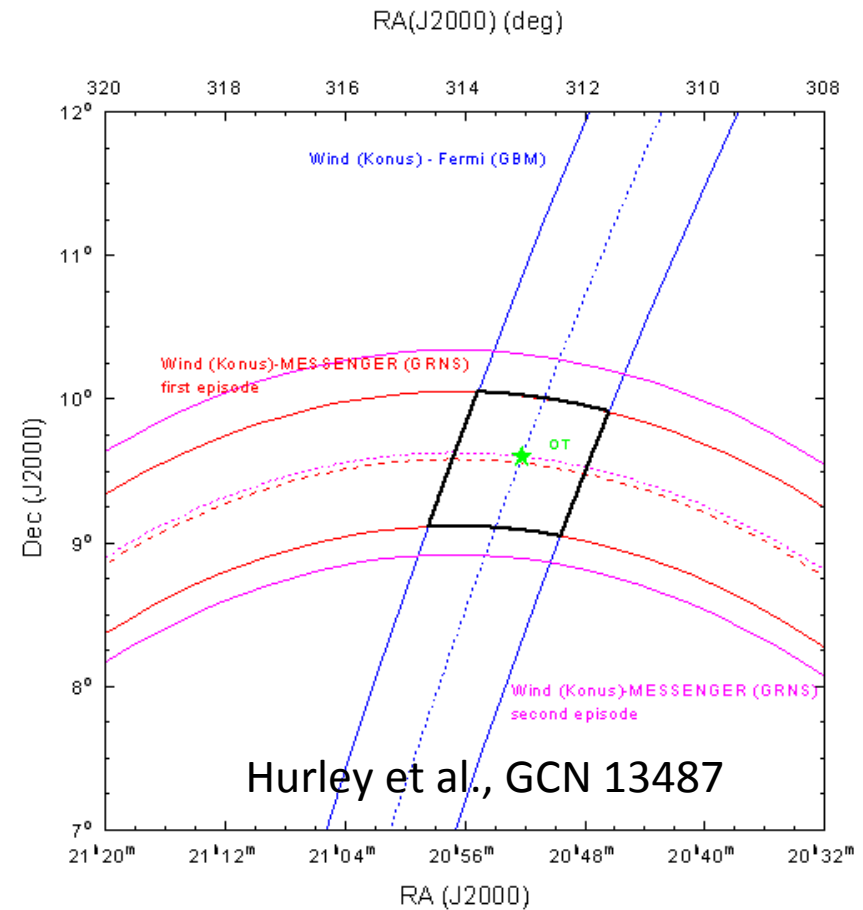
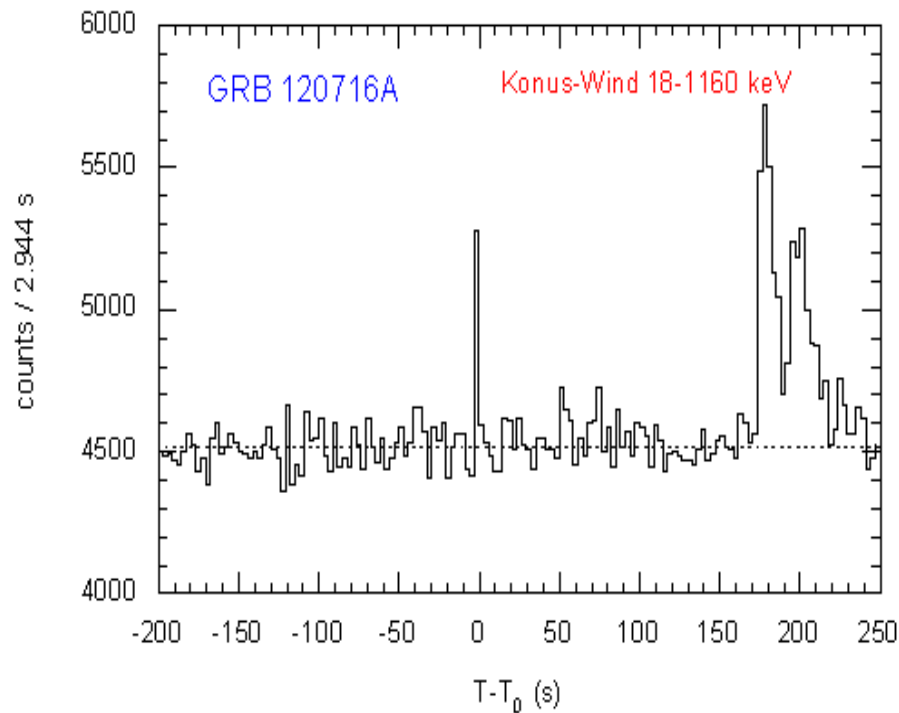


- Физическое обоснование модели Band?

# 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.

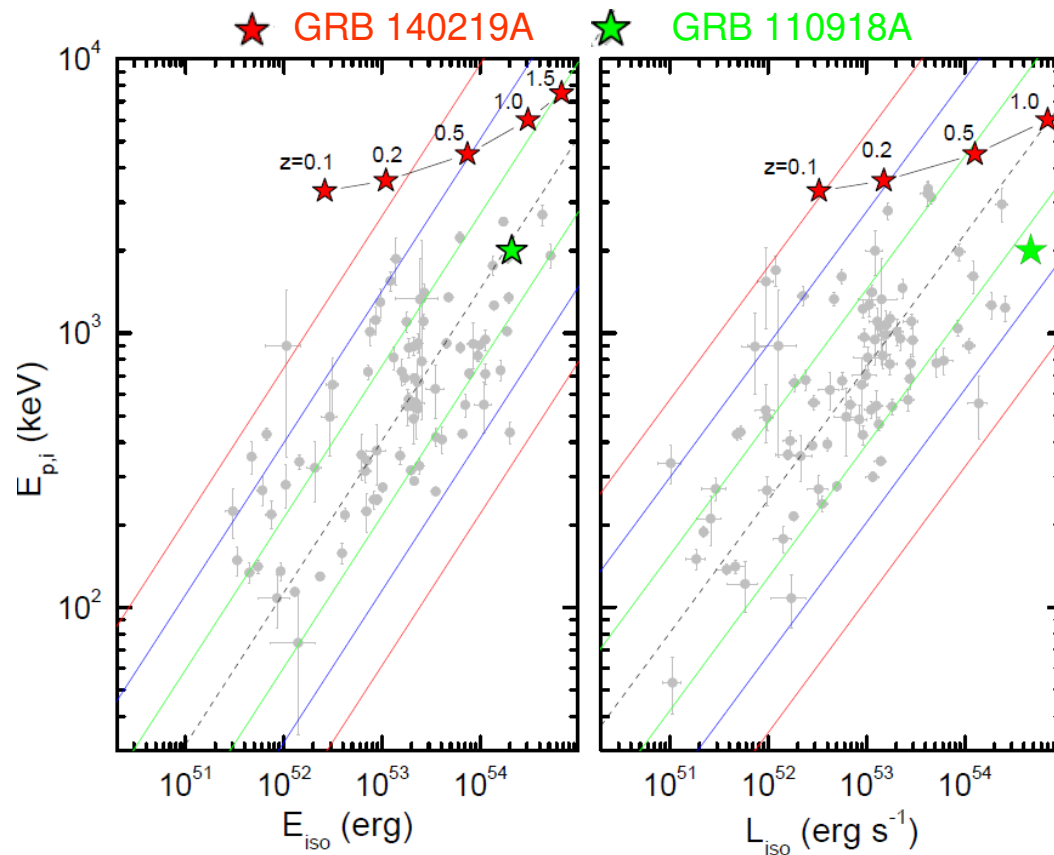




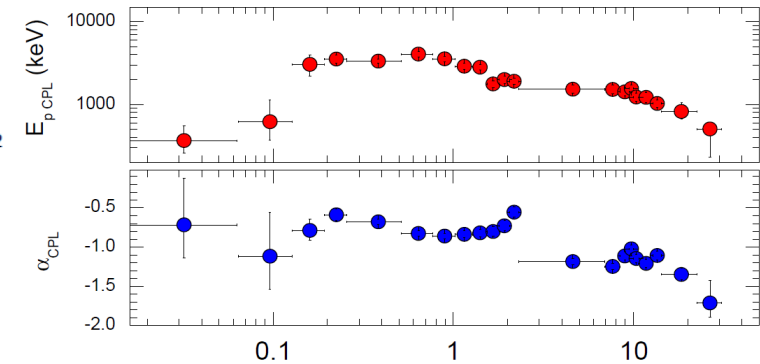
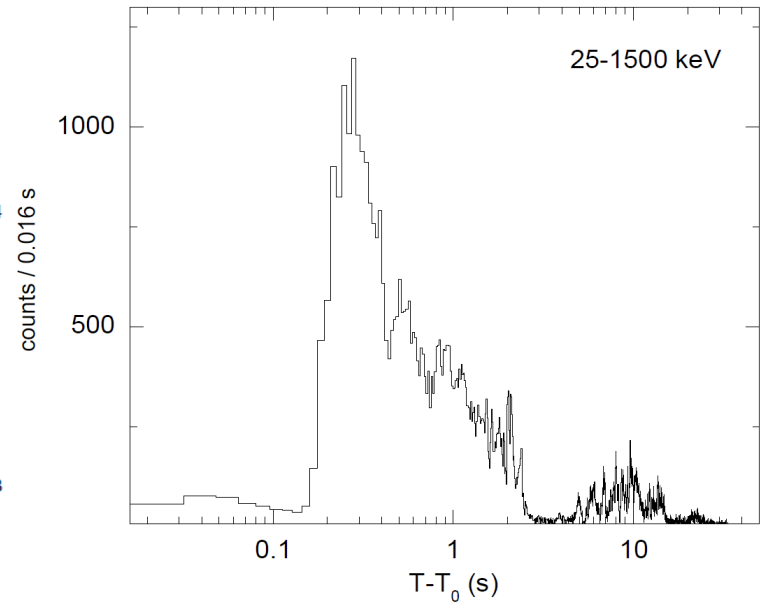
# Konus-Wind ultra bright GRB

## 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



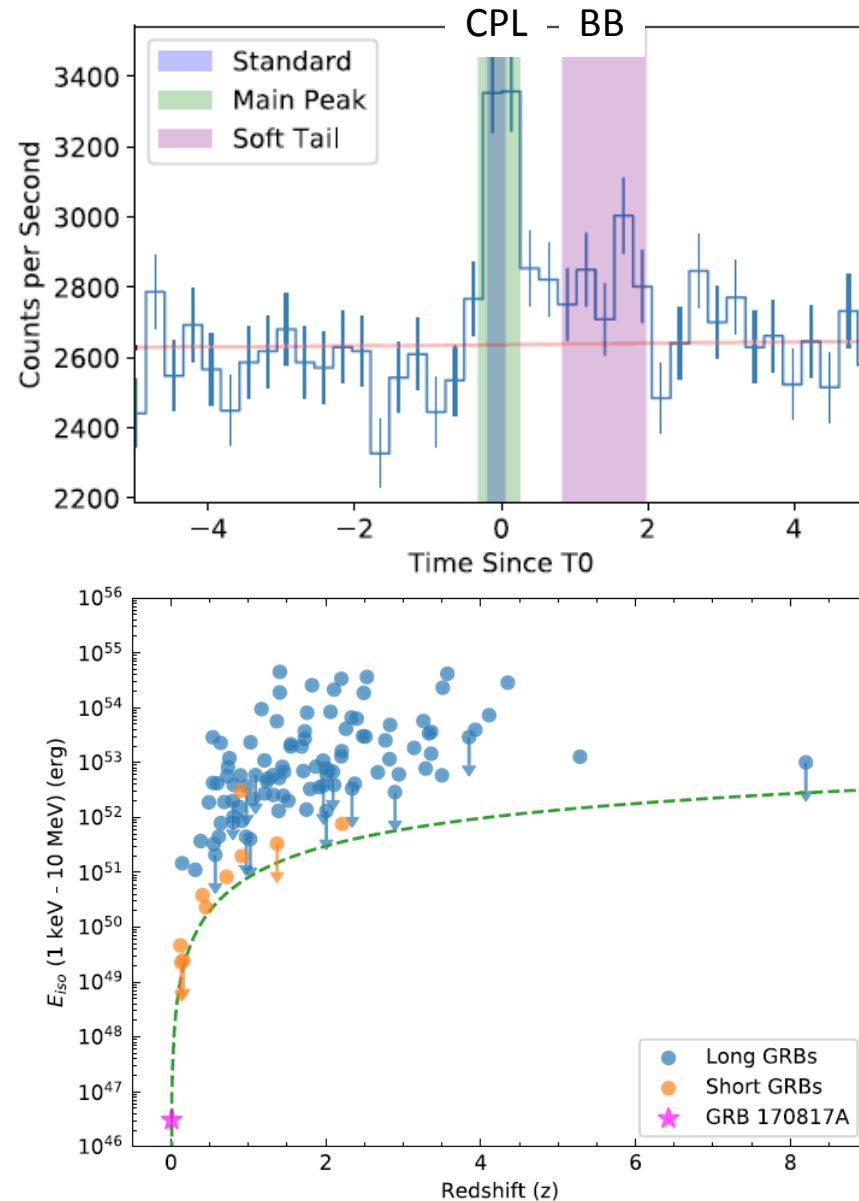
PCR  $\sim 9 \times 10^4$  cts/s





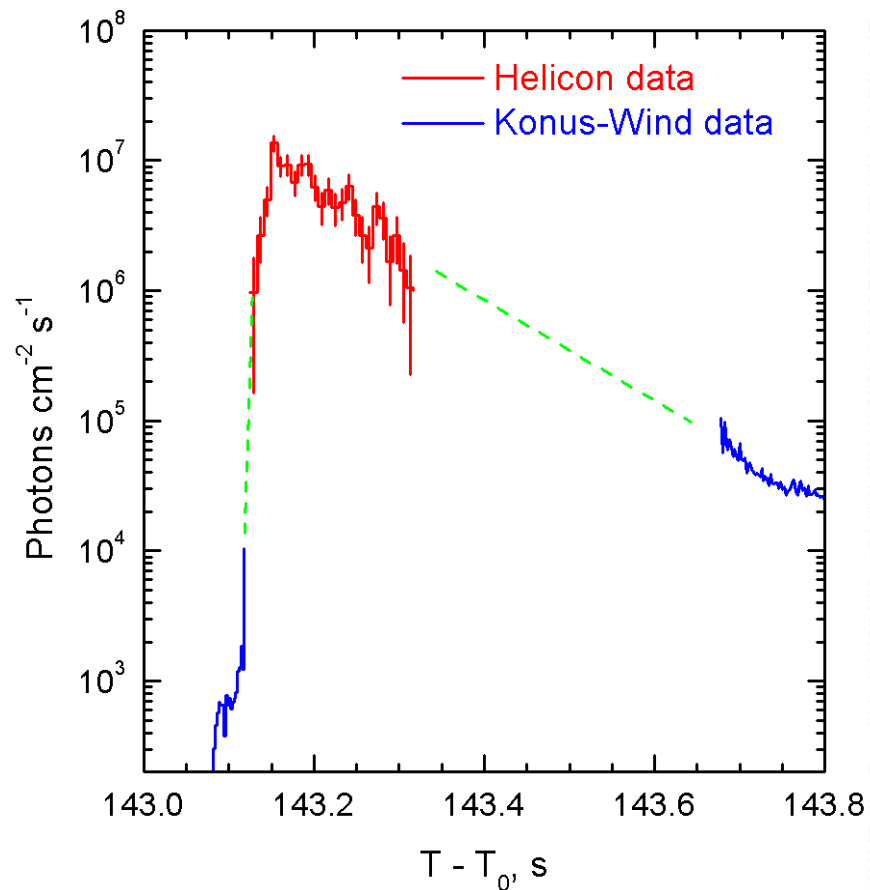
## GRB 170105A (Fermi-GBM)

- 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.

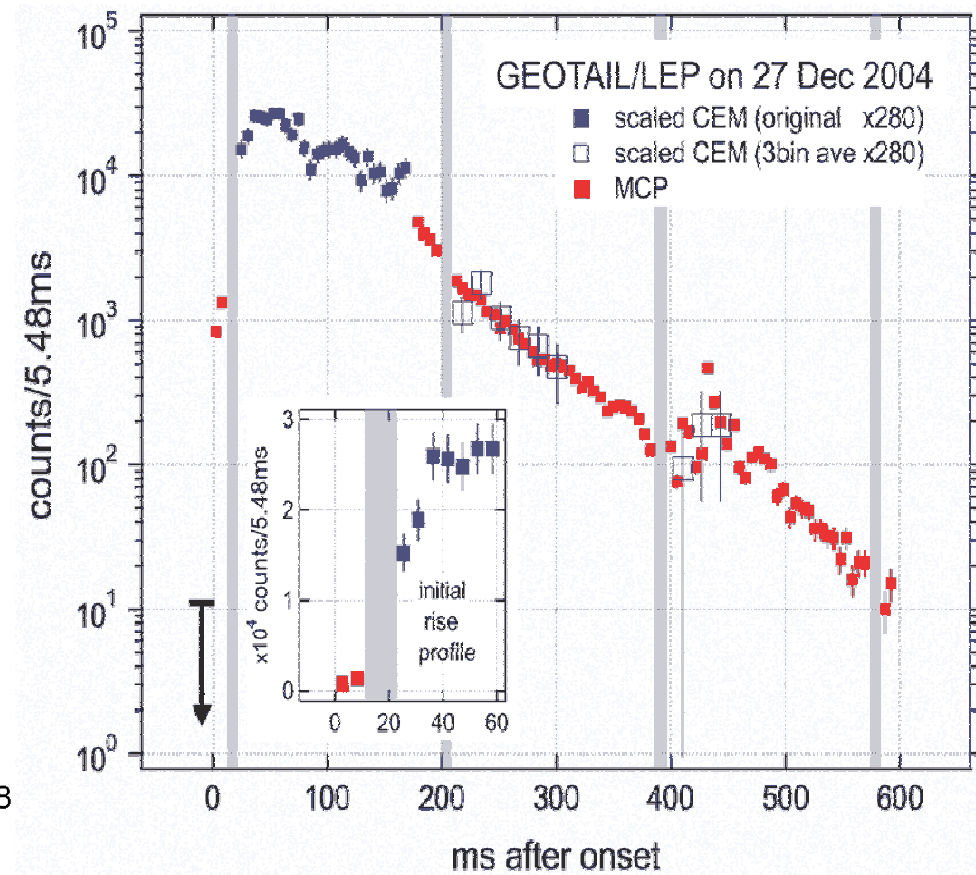




# Konus-Wind observations of SGR 1806-20



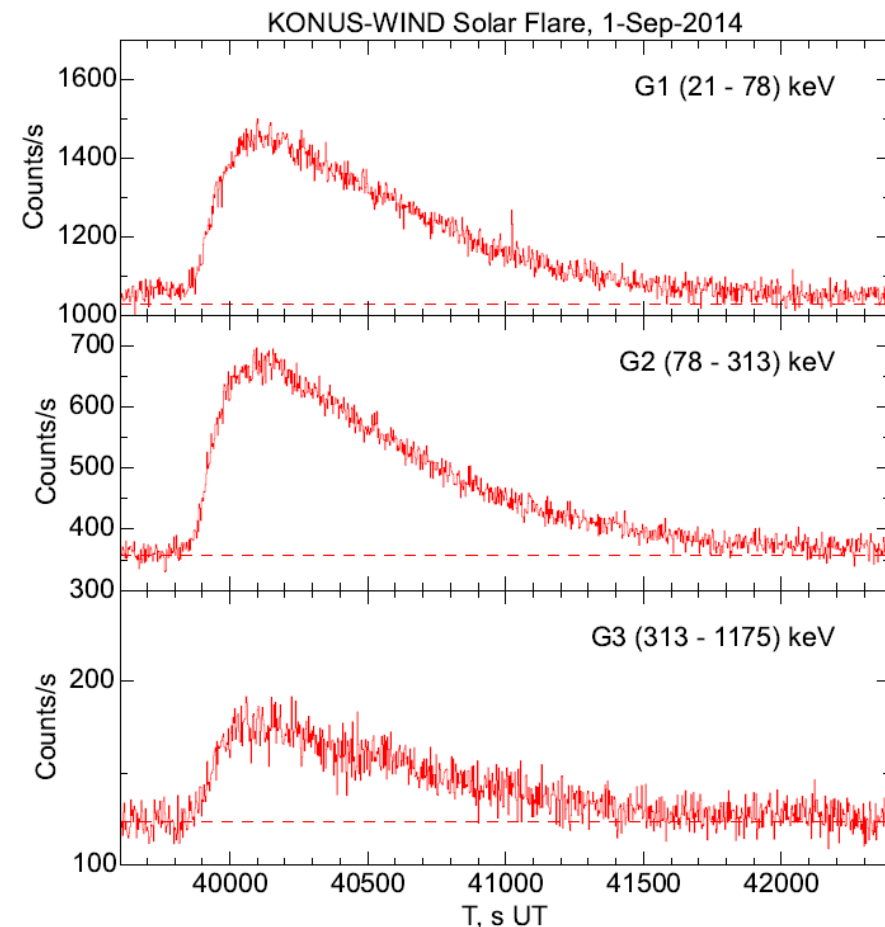
Frederiks et al., Astronomy Lett., 2007



Terasawa et al., Nature, 2005

# Solar flare observations case studies

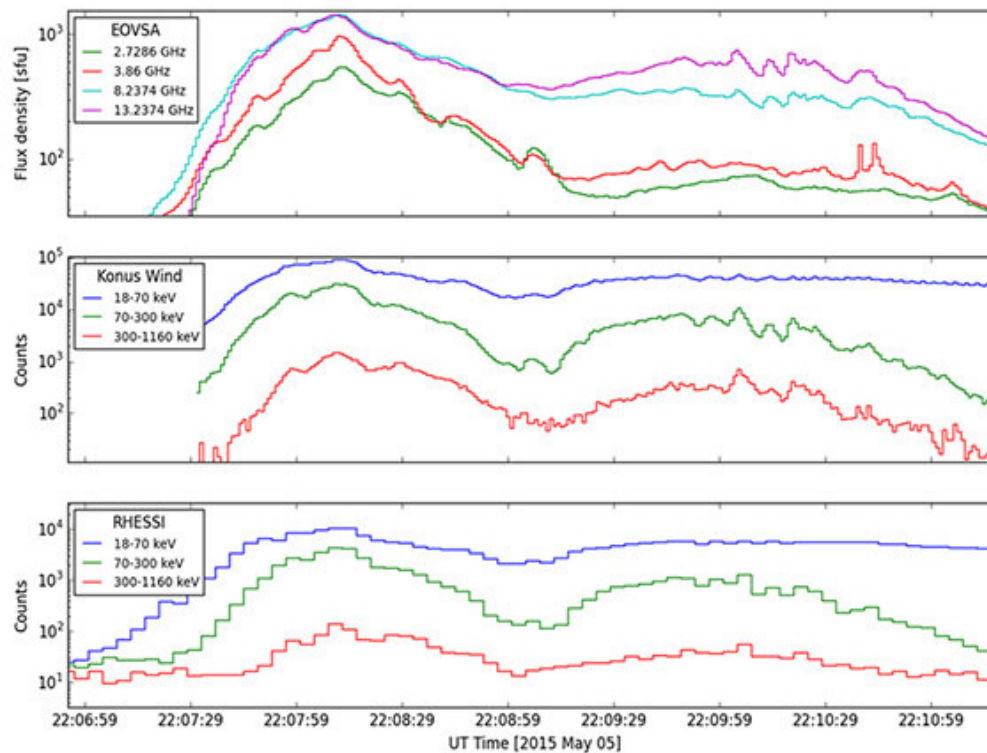
- ❑ Behind-the-Limb solar flare of 1-Sep-2014 was found in Konus-Wind waiting mode record.
- ❑ Originates in the high corona, shows HXR signature from the second stage acceleration, while emission from the first stage acceleration is occulted by solar limb:
  - ❑ No Soft X-ray event (GOES)
  - ❑ Smooth 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 EOVSa) shows series of quasi-periodic pulsations, also observed by Konus-Wind.



RHESSI-nugget by Gary & Fleishman