

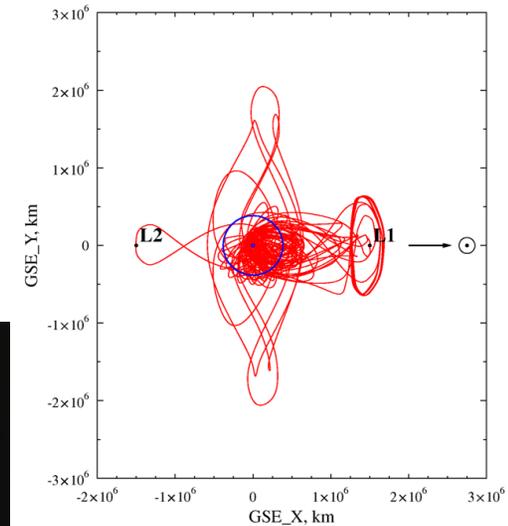
# 30 лет эксперимента Конус-Винд

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

лаб. Экспериментальной астрофизики

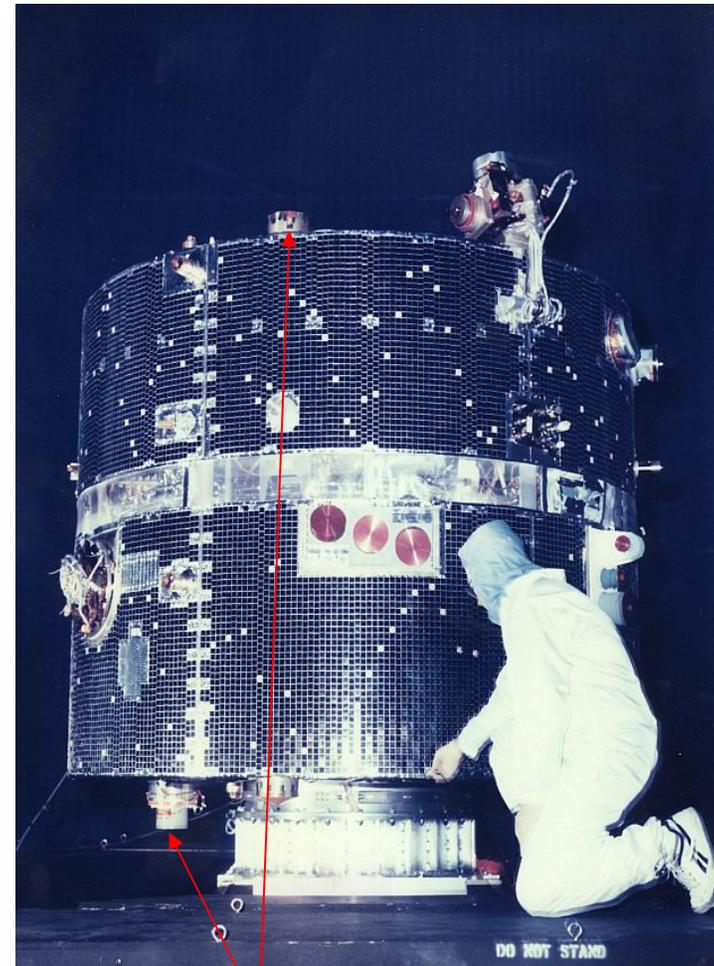
# Космический аппарат Wind

- Запущен в 1 ноября 1994 г. как часть программы по исследованию солнечно-земных связей (Global Geospace Science Program)
- С 2004 г находится на гало-орбите вокруг  $L_1$  (~1.5 млн км; ~5 световых секунд)
- Стабильный фон, отсутствие затенения Землёй – отличное место для изучения космических транзиентов



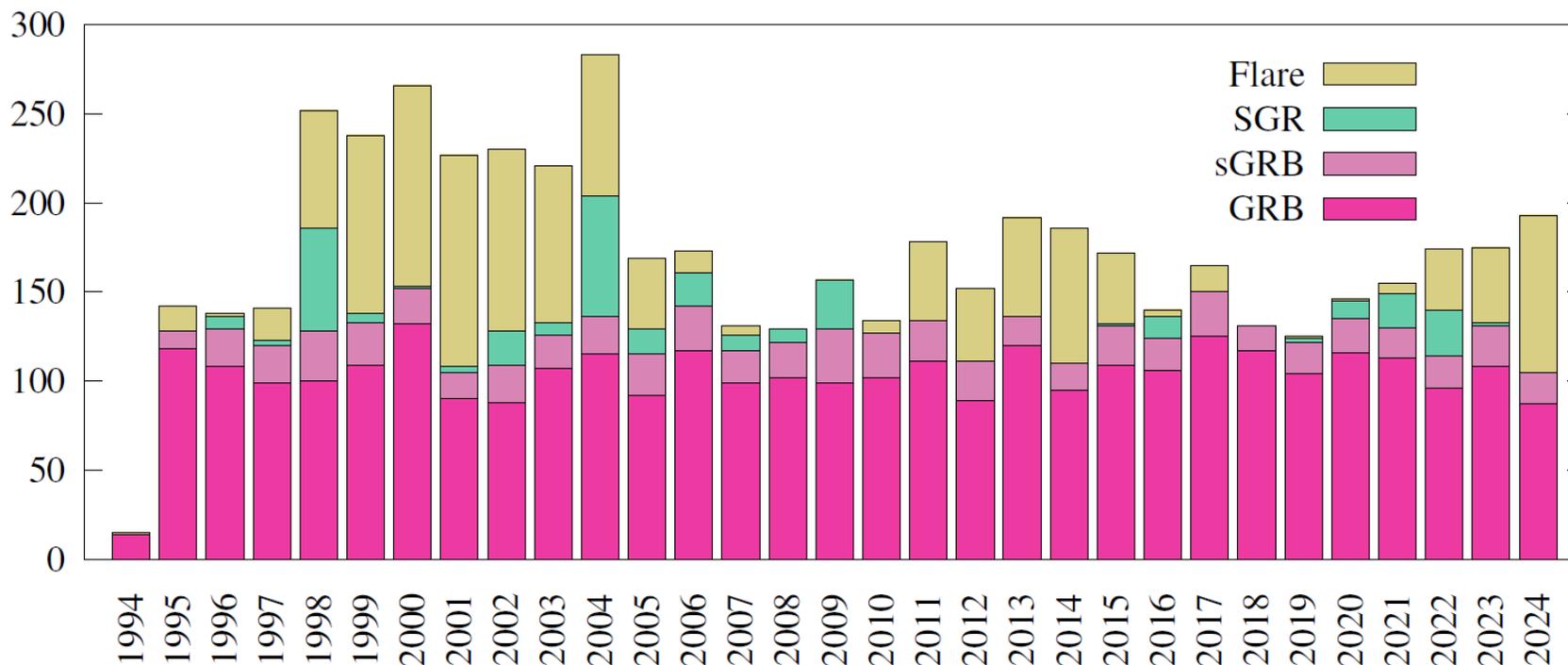
# Эксперимент Конус-Винд

- Включён 12 ноября 1994 г.  
Более 30 лет непрерывной работы.
- Два сцинтилляционных детектора NaI(Tl)
  - размер 130×75 мм, масса 20 кг
  - эффективная площадь  $S_{\text{eff}} \sim 100\text{-}160 \text{ см}^2$
  - поле зрения  $2 \times 2\text{л}$
- Режимы наблюдений
  - триггерный: временное разрешение до 2 мс (20 кэВ – 15 МэВ)
  - непрерывный: 2.944 с (20 кэВ – 1.5 МэВ)
- Преимущества:
  - стабильный фон, без затенений
  - обзор всего неба ( $\sim 95\%$  полного времени),
  - триггеры - практически все яркие события ( $> \sim 10^{-6} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ )
  - непрерывная запись ( $> \sim 10^{-7} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ )
- Особенности:
  - малый объем телеметрии 55 бит/с
  - большие задержки получения данных (до суток)



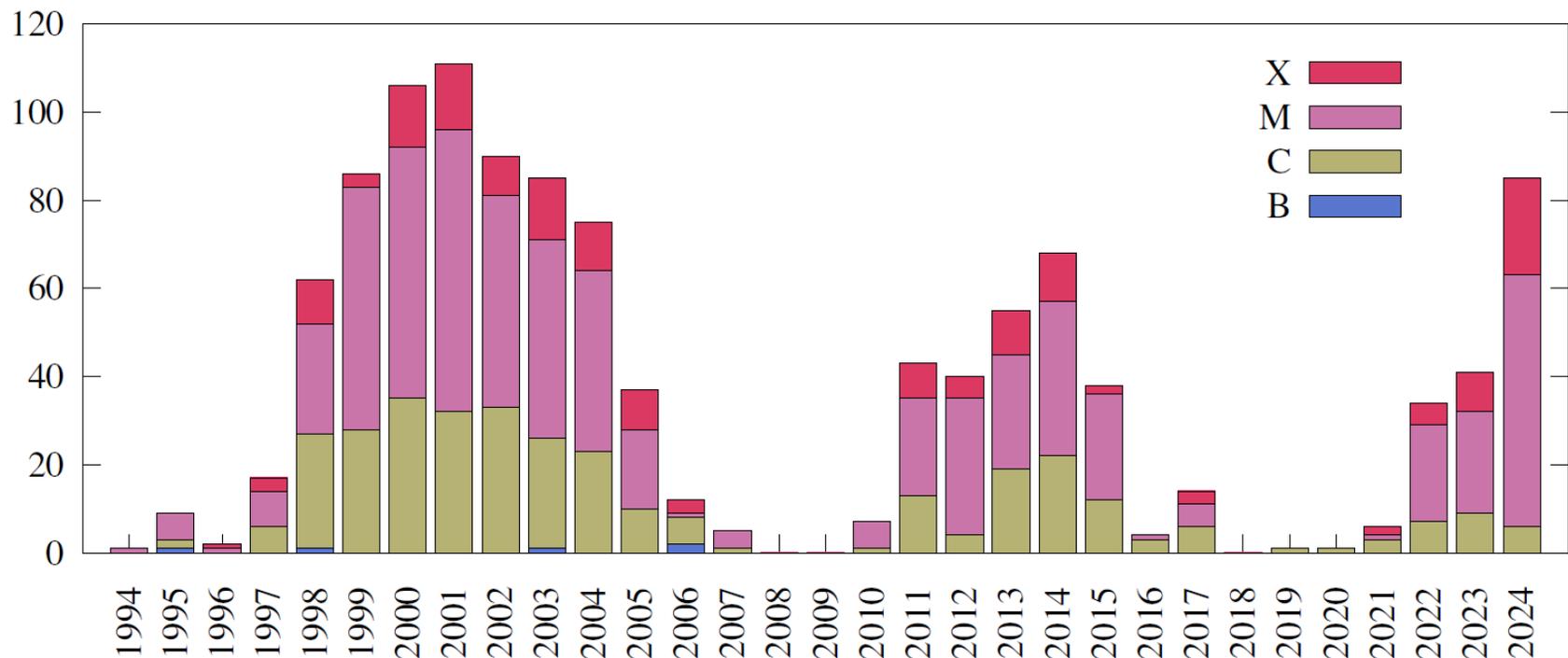
Конус

# Статистика детектирований



- 4000 гамма-всплесков (триггеры, ~130 GRB / год) + ~4000 в непрерывной записи – один из наибольших наборов GRBs
- 550 коротких GRBs (~15%)
- 20 сверхдлинных GRBs (> ~1000 с, ulGRBs) – наиболее полный набор
- 350 GRBs с известными красными смещениями ( $0.04 \leq z \leq 9.4$ )
- 300 всплесков магнитаров, две галактические гигантские вспышки

# Наблюдения солнечных вспышек



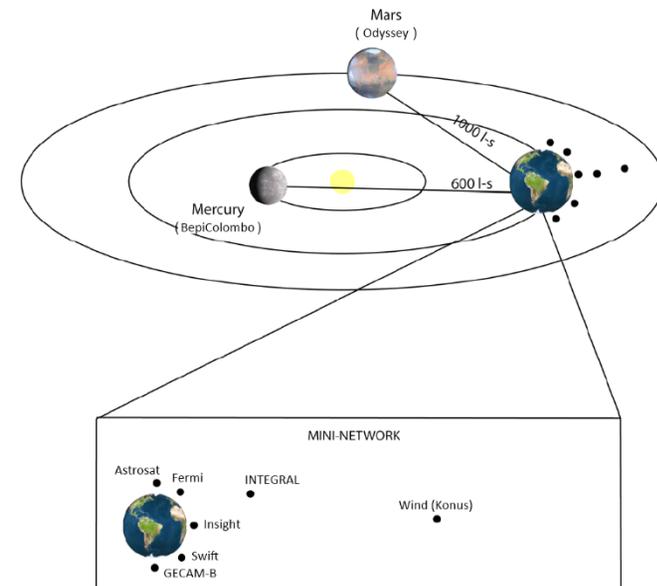
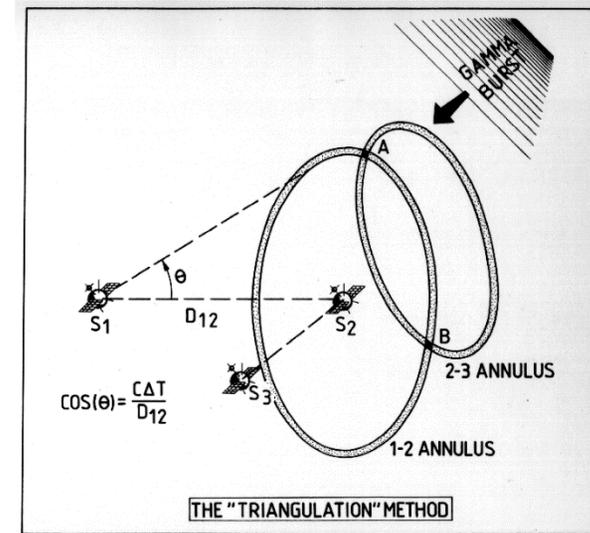
## Преимущества Конус-Винд для наблюдения солнечных вспышек

- Непрерывное наблюдение Солнца в жестком рентгене
- Покрытие наблюдениями более двух полных 11-летних цикла, более 1100 триггеров на солнечные вспышки, тысячи наблюдались в непрерывной записи
- База солнечных вспышек Конус-Винд - KW-Sun (Lysenko et al., ApJS 262, 32, 2022)  
<http://www.ioffe.ru/LEA/sun.html>

# Конус-Винд – часть межпланетной сети гамма-детекторов

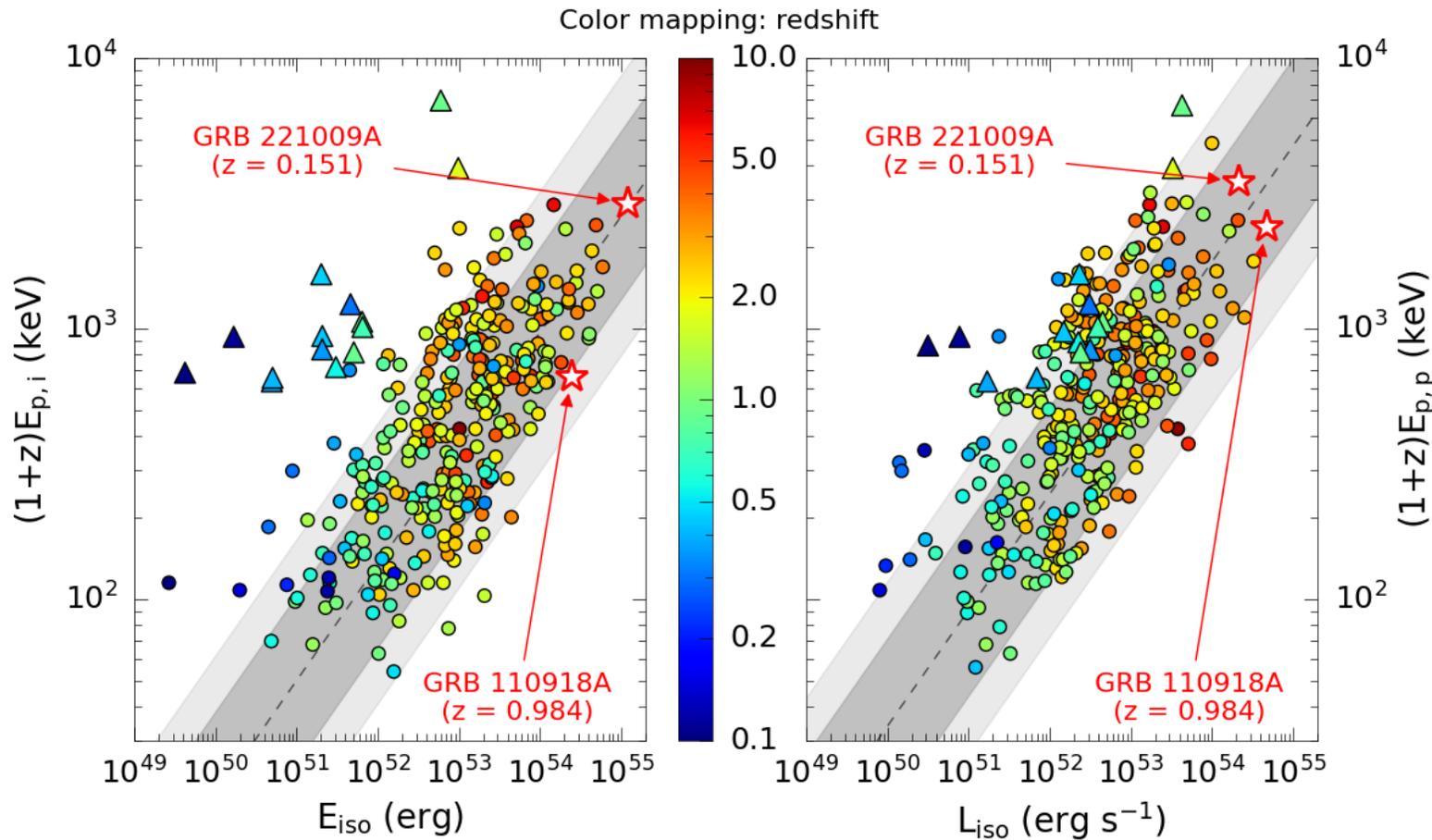
- Только ~1/3 гамма-всплесков автономно локализуется с точностью лучше  $\sim 1^\circ$ , необходимой поиска послесвечений (Swift, Einstein probe, INTEGRAL, ...).
- **Interplanetary network (IPN)** включает >10 космических аппаратов **Fermi**, **Swift** и другие на низкой околоземной орбите; INTEGRAL (на высокоапогейной орб. 0.5 св. сек); **Wind** (~5 св. сек), **Mars-Odyssey** (низкая Марсианская орб., 1200 св. сек), **BepiColombo** (Меркурий, 700 св. сек) и Psyche (астероид Психея ~1500 св. сек)
- IPN обеспечивает наблюдение всего неба с чувствительностью  $\sim 10^{-6}$  эрг см<sup>-2</sup> ( $\sim 1$  фот см<sup>-2</sup>)
- Конус имеет наилучшее временное разрешение среди удалённых КА, что позволяет получать узкие кольца ( $\sim 10$  угл. мин) с околоземными КА
- IPN (и Конус) публикуют ~50 GCN циркуляров год, с локализациями до нескольких кв. угл. мин.

[http://en.wikipedia.org/wiki/InterPlanetary\\_Network](http://en.wikipedia.org/wiki/InterPlanetary_Network)



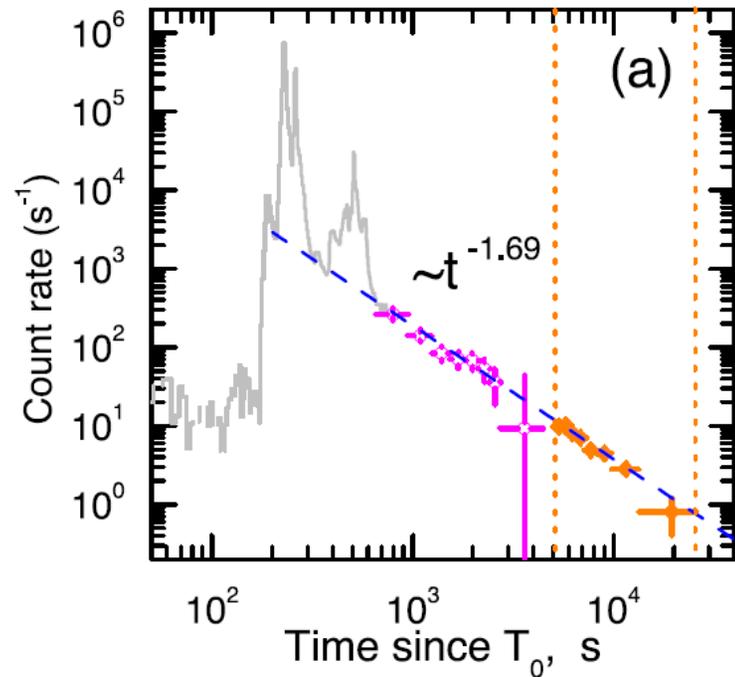
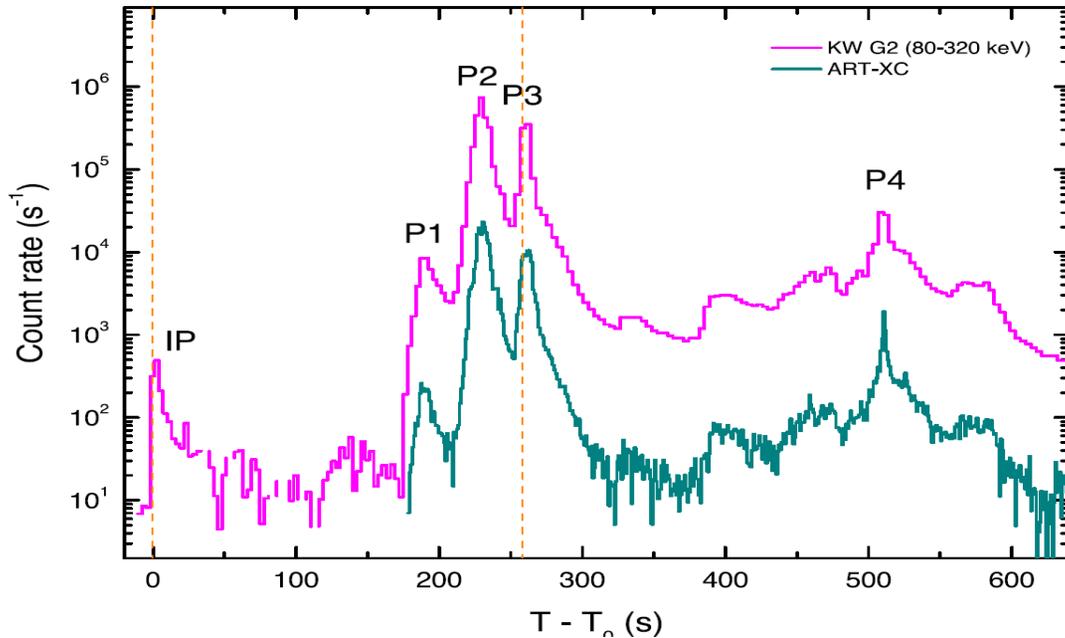
# Гамма-всплесков с известным красным смещением

- На 2024 год определены космологические красные смещения ( $z$ )  $\sim 500$  GRB из них коротких  $\sim$  несколько десятков. Частота измерения  $z$  в 2024 г  $\sim 20$  GRB/год
- По данным KW получены надёжные оценки полной энергии, светимости и параметров собственного излучения в широком спектральном диапазоне для  $> \sim 350$  GRBs



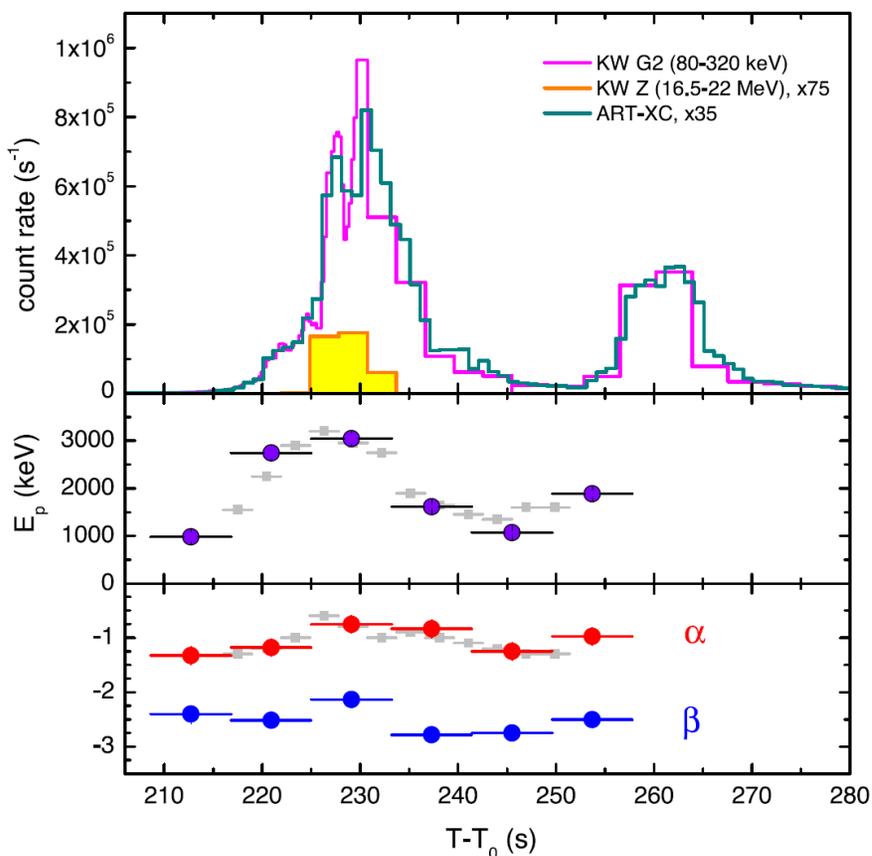
Tsvetkova et al. ApJ 2017, 2021

# GRB 221009A



- Всплеск с наибольшим наблюдаемым потоком энергии за > 50 лет наблюдений (the BOAT; Burns, Svinkin, Frederiks et al. 2023)
- Был зарегистрирован множеством космических аппаратов по всей солнечной системе (В том числе Вояджером-1!)
- Наблюдался в широком диапазоне длин волн от радио до ТэВ
- Многоэпизодное собственное излучение длительностью  $\sim 600$  с (по данным KW и SRG/ART-XC)
- Гамма-послесвечение (20-1220 keV) наблюдалось в KW до  $\sim 25\,000$  с

# GRB 221009A



Frederiks et al. ApJL 949, L7 (2023)

- Пиковый фотонный поток  $> 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$   
(Галактические гигантские вспышки магнитаров (MGF) – до  $10^5 - 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ )
- Перегрузил все детекторы (KW, Fermi/GBM, Insight-HXMT, GECAM, AGILE...)
- Используя методы разработанные для MGF и ярких солнечных вспышек, удалось восстановить кривую блеска и спектры наиболее яркой части всплеска (P2 & P3) и первыми опубликовать энергетику всплеска на arXiv (см. также An et al. 2003 и Lesage et al. 2003)

- Параметры всплеска:  $E_p \sim 2.6 \text{ МэВ}$  (TI),  $\sim 3.0 \text{ МэВ}$  (в пике)  
 $S \sim 0.22 \text{ эрг см}^{-2}$ ,  $F_{\text{peak}} \sim 0.031 \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$   
(величины наибольшие за  $> 50$  лет наблюдений)

Вклад импульсов в энергетику:

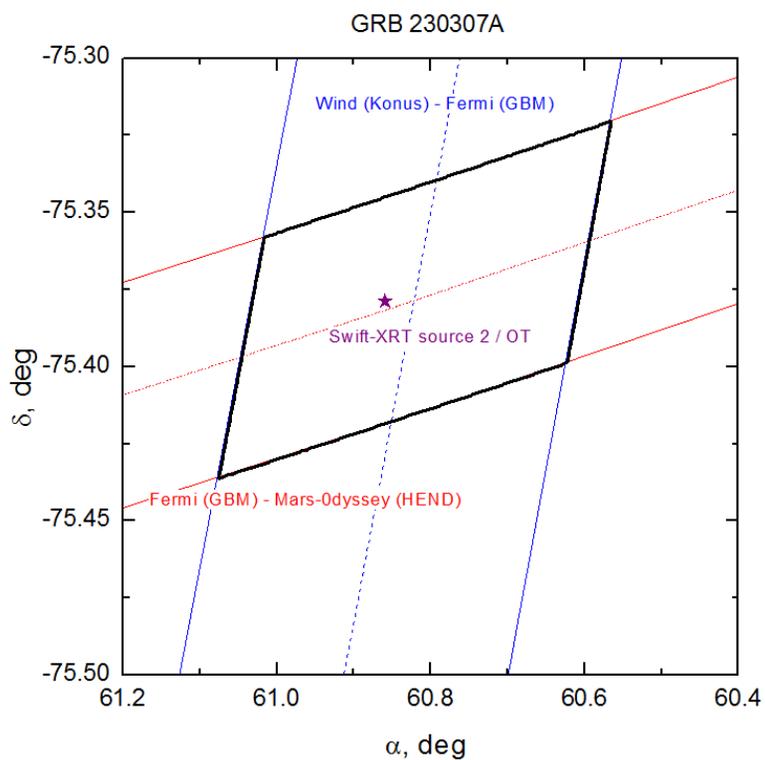
IP (прекурсор) :  $2.6 \times 10^{-5} \text{ эрг см}^{-2}$  ( $\sim 0.01\%$ )

P1+P2+P3:  $0.21 \text{ эрг см}^{-2}$  ( $\sim 95\%$ )

P4 :  $0.01 \text{ эрг см}^{-2}$  ( $\sim 5\%$ )

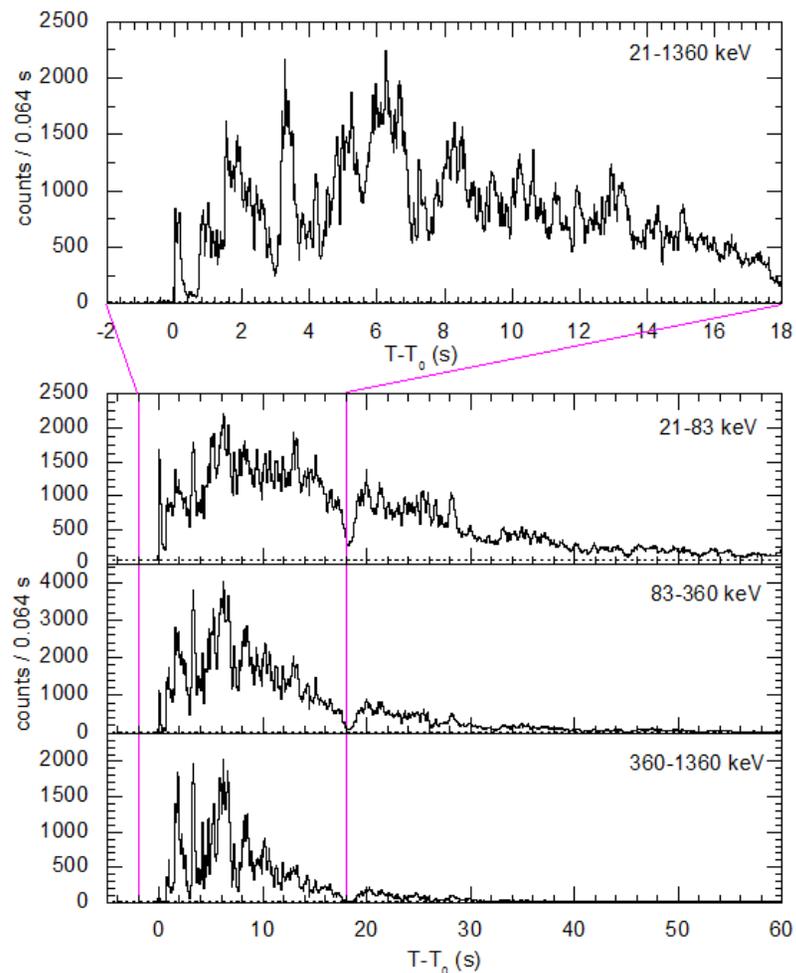
# GRB 230307A

- GRB 230307A - второй по интенсивности всплеск за всю историю наблюдений после GRB 221009A.
- Детектирован: Konus-Wind, Fermi-GBM, Swift-BAT (вне поля зрения), INTEGRAL-SPI-ACS, Mars-Odyssey-HEND, ВеріColombo-MGNS и др.



KONUS-WIND GRB 230307  
 $T_0 = 56645.615$  s UT (15:44:05.615)

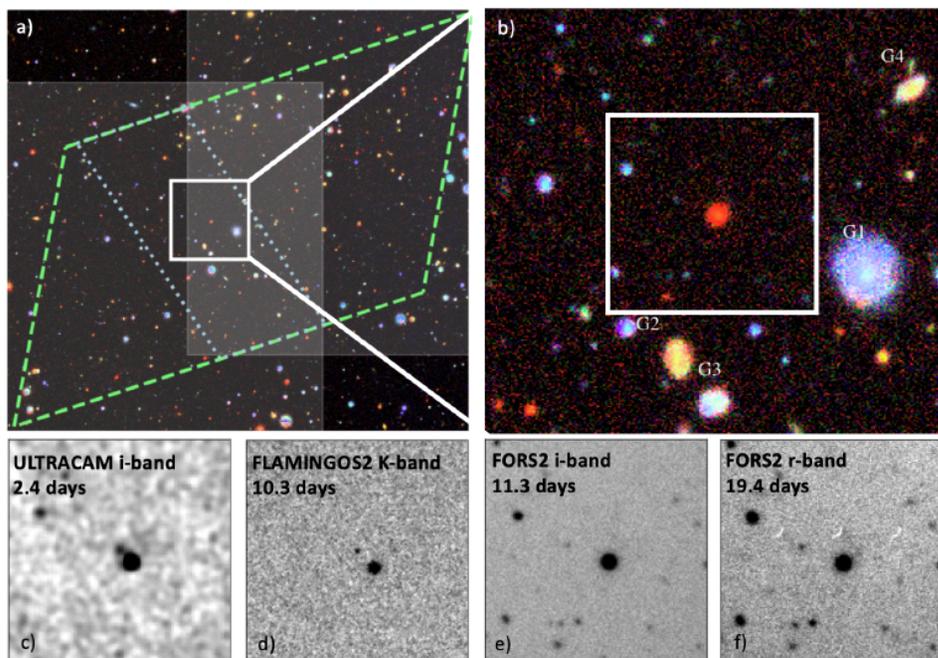
S1



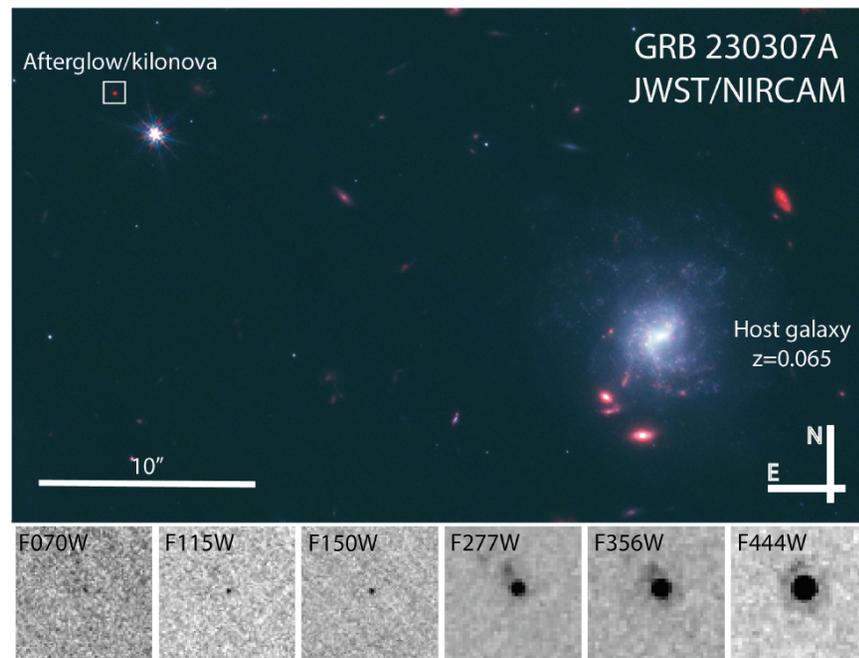
Svinkin et al., in prep.

# Оптический транзиент GRB 230307A

- Оптический транзиент обнаружен инструментом ULTRACAM на New Technology Telescope (NTT)  $T_0+1.4$  дня
- Наблюдения JWST  $T_0+28.4$  и  $T_0+61.5$  дней
- Расстояние ОТ до наиболее яркой галактики G1  $z = 0.065$  (300 Мпк) составило  $30''$  (40 кпк)
- Альтернативная родительская галактика  $z = 3.87$  (расстояние до ОТ  $\sim 1.3$  кпк). Вероятности случайного наложения для обеих галактик  $\sim$  несколько процентов.



ULTRACAM NTT

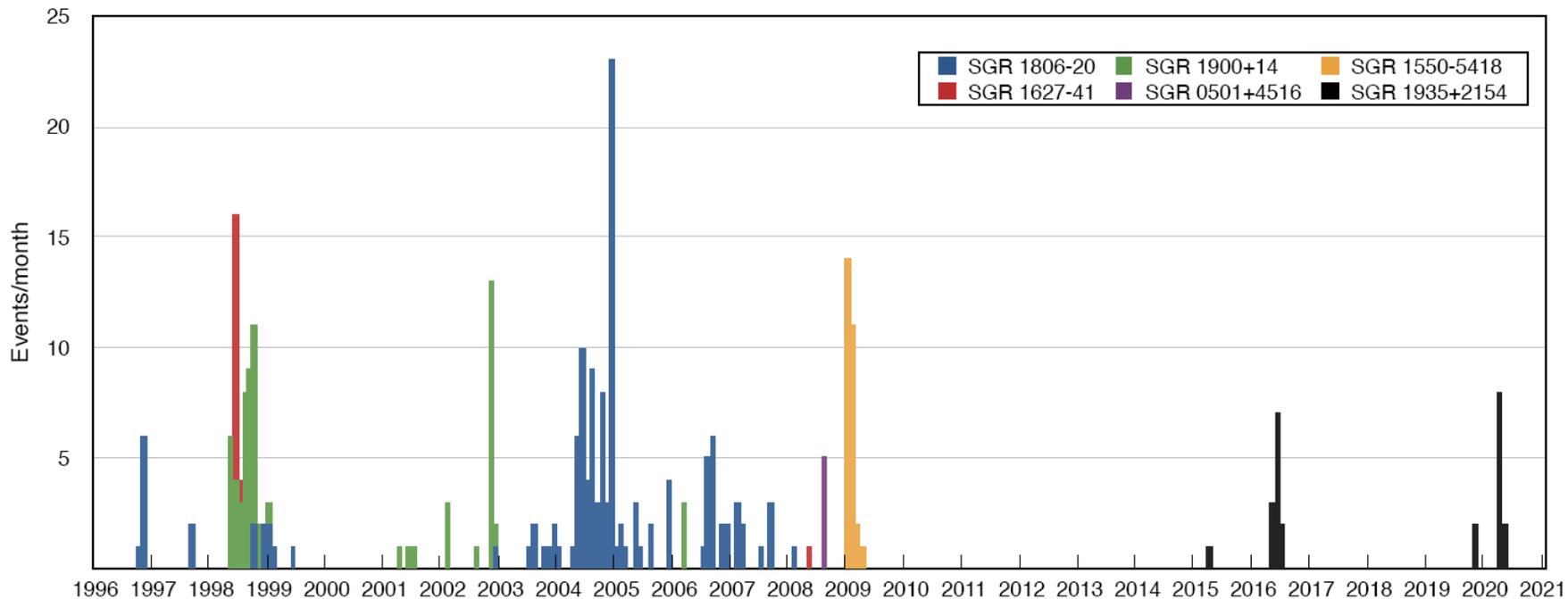


JWST

Levan et al., 2023

# Наблюдения мягких гамма-репитеров (SGR)

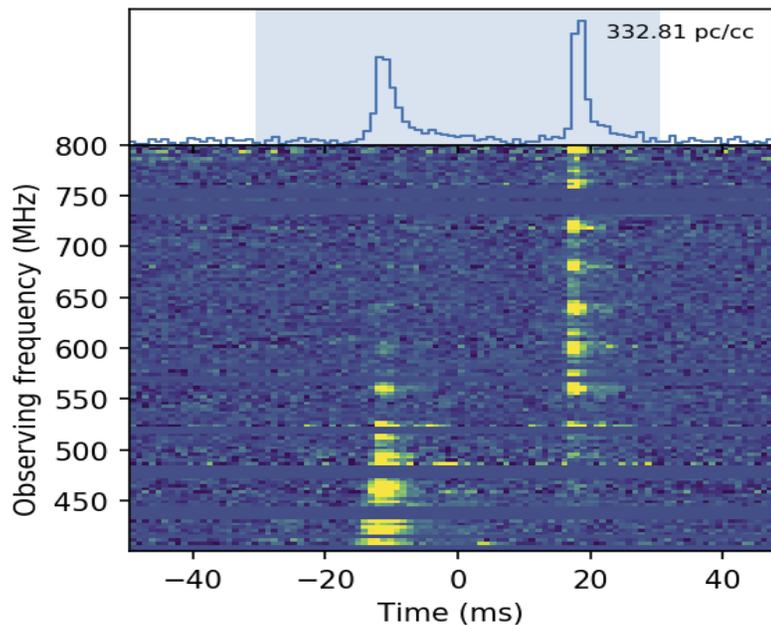
- Статистика наблюдений SGR на Конус-Винд:  
SGR 1806-20 – 133 всплеска + гигантская вспышка (GF);  
SGR 1900+14 – 66 всплесков + GF;  
SGR 1627-41 – 14; SGR (AXP) 1E1547-5408 – 28;  
SGR 0501+4516 – 5; SGR 1935+2154 – 25.



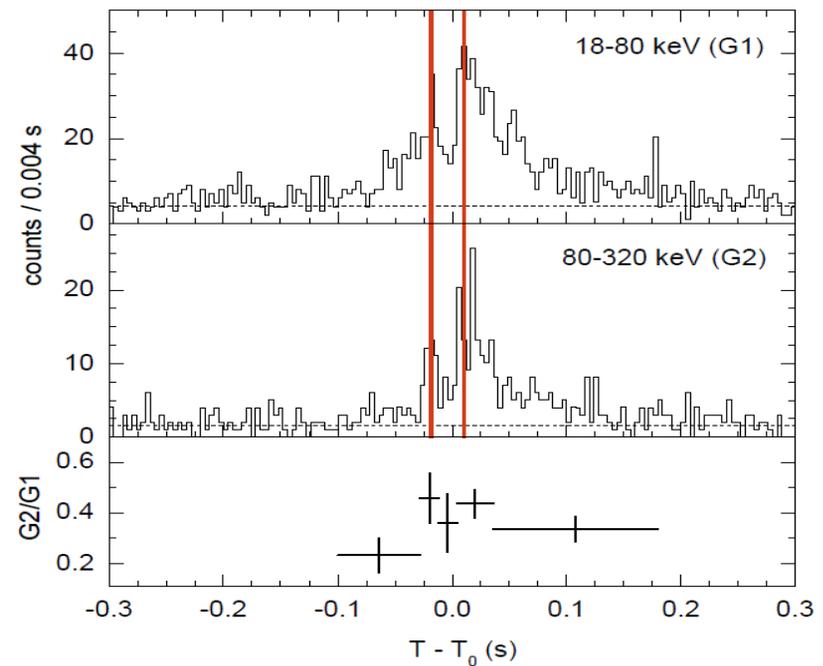
- ~300 достаточно ярких коротких всплесков от 8 источников ( $T < 1$  с,  $E_{\text{tot}} \sim 10^{38}-10^{40}$  эрг )
- ~40 промежуточных вспышек ( $T \sim 1-30$  с,  $E_{\text{tot}} \sim 10^{40}-10^{43}$  эрг)
- 2 гигантские вспышки ( $T > 100$  с,  $E_{\text{tot}} \sim 10^{44}-10^{46}$  эрг,  $L_{\text{peak}} \sim 10^{46}-10^{47}$  эрг/с)

# Событие SGR/FRB 28 апреля 2020 г

- Яркий похожий на FRB радиовсплеск был зарегистрирован CHIME/FRB (CHIME collaboration 2020) и STARE2 (Bochenek et al., 2020), локализация CHIME/FRB согласовалась с активным галактическим магнитаром SGR 1935-2154 – первый галактический FRB!
- Короткая жесткая рентгеновская вспышка была зарегистрирована INTEGRAL-ISGRI, KW, Insight-HXMT, and SuperAGILE (Mereghetti et al. 2020, Ridnaia et al. 2021, Li et al. 2021, Tavani et al. 2021), чья локализация совпала с SGR 1935-2154
- Время прихода двух ярких пиков FRB с точностью  $\sim 4$  мс совпало с двумя пиками кривой блеска KW свидетельствуя об общем источнике излучения

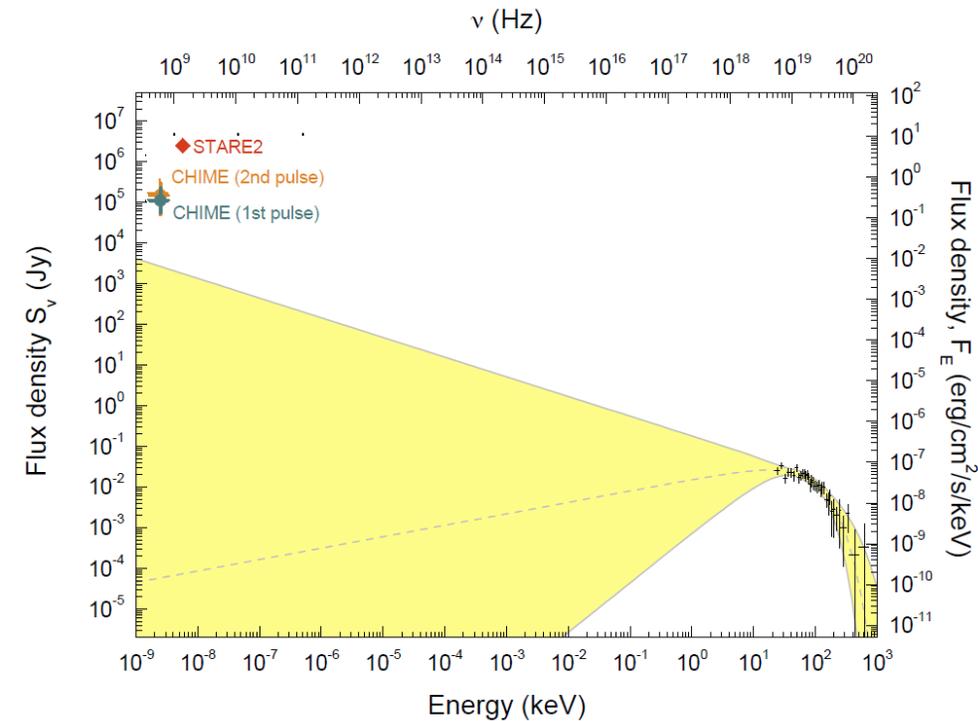


CHIME collab. Nature 2020



Ridnaia et al. Nat. Astr. 2021

# Событие SGR/FRB 28 апреля 2020 г

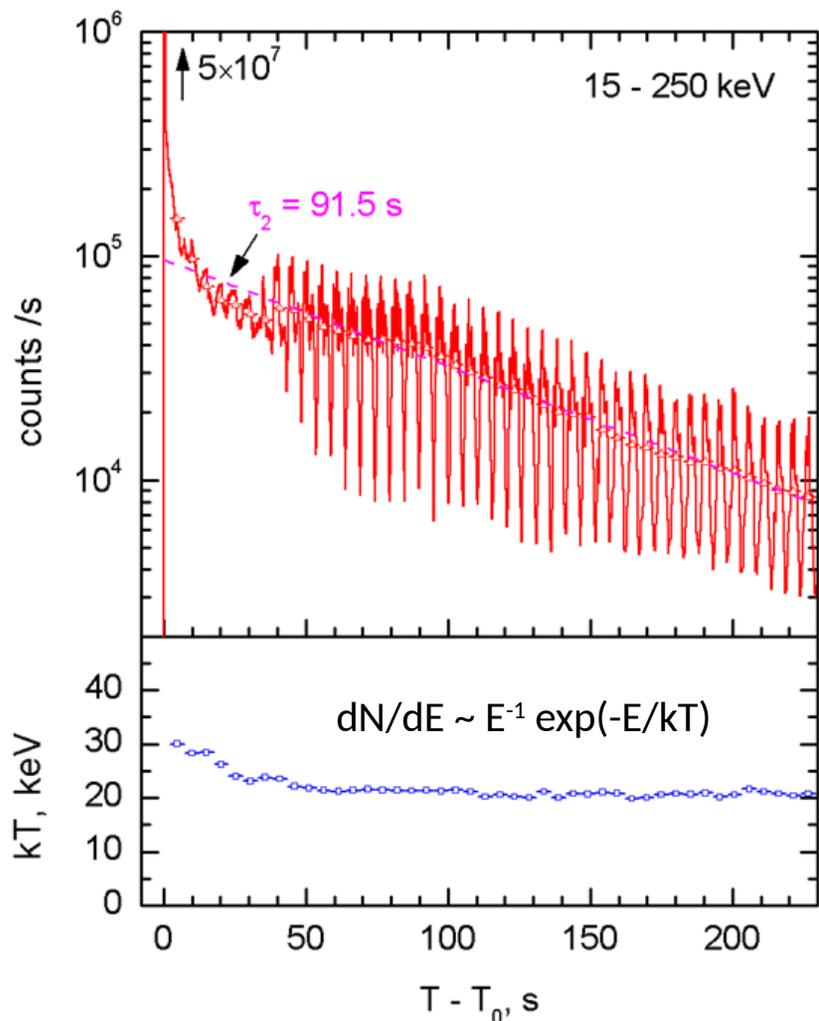


KW: CPL Model with  $\alpha = -0.72$  and  $E_p = 85$  keV

(Ridnaia et al. Nat. Astr. 2021)

- Впервые всплеск от SGR1935 был детектирован на энергиях вплоть до  $\sim 250$  кэВ
- По данным KW спектр можно описать степенью с exp завалом  $\alpha \sim -0.72$ ,  $E_p \sim 85$  keV
- Многоволновый спектр (от радио до рентгена) не описывается единым степенным законом
- Энергетика вспышки (20-500 кэВ)  $E_x \sim 1.2 \times 10^{40}$  эрг и пиковая светимость  $L_x \sim 1.1 \times 10^{41}$  эрг/с
- Отношение светимости радио/ рентген  $L_r/L_x \sim 10^{-5} - 10^{-3}$  и  $E_r/E_x \sim 10^{-6} - 10^{-5}$

# Гигантская вспышка источника SGR 1900+14



- Гигантская вспышка SGR 1900+14  
27 августа 1998 г  
~20 лет после события 5 марта 1979  
Полностью повторяла профиль вспышки SGR 0526-66 (5 марта  $E_{\text{iso}} \sim 7 \times 10^{44}$  эрг)
- Гигантский жесткий начальный импульс переполнил детекторы KW на ~200 мс.
  - $E_{\text{iso}} > 6.8 \times 10^{43} d_{15}^2$  эрг (Mazets et al., 1999)
  - $E_{\text{iso}} \sim 1.9 \times 10^{44} d_{15}^2$  эрг
  - $L_{\text{iso}} \sim 2.3 \times 10^{46} d_{15}^2$  эрг  $\text{c}^{-1}$  (Tanaka et al., 2007)
- Энергия выделившаяся в “хвосте” вспышки соответствовала событию от SGR 0526-66 .

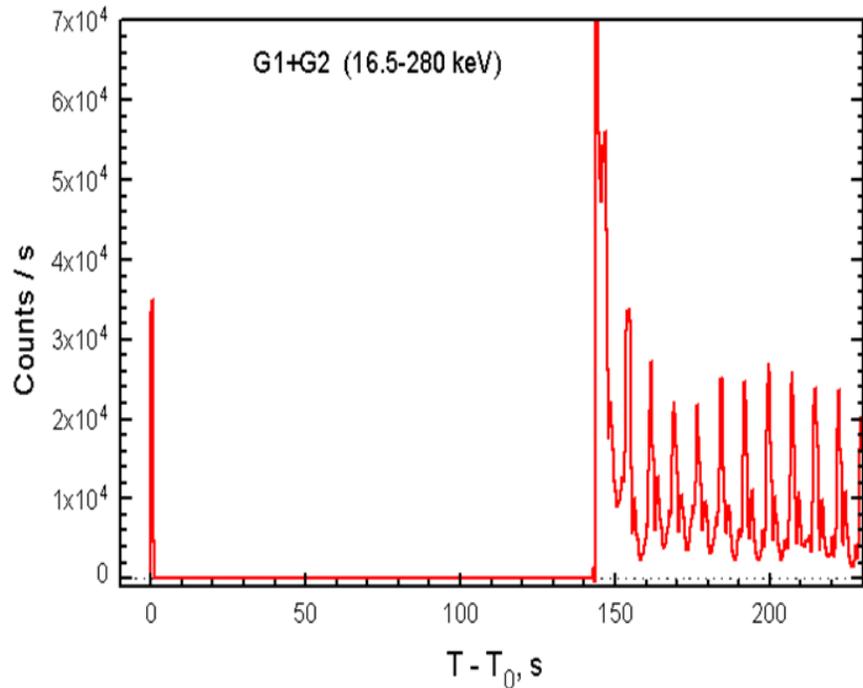
Hurley et al., Nature (1999); Mazets et al., Ast. Lett. (1999)

# Гигантская вспышка источника SGR 1806-20

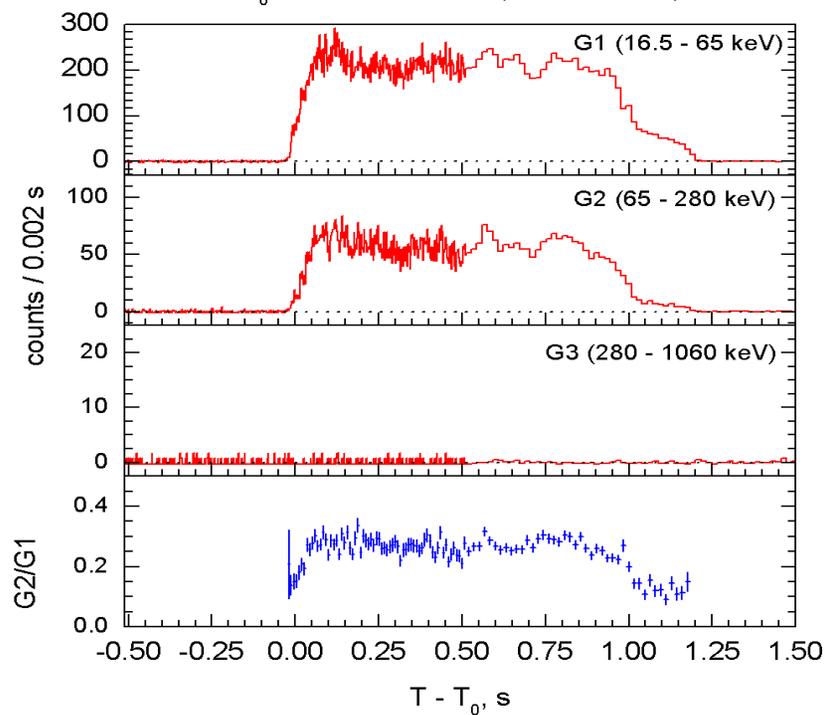
## Гигантская вспышка SGR 1806-20 27 декабря 2004

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

KONUS-WIND 041227  
 $T_0 = 77278.447$  s UT (21:27:58.447)

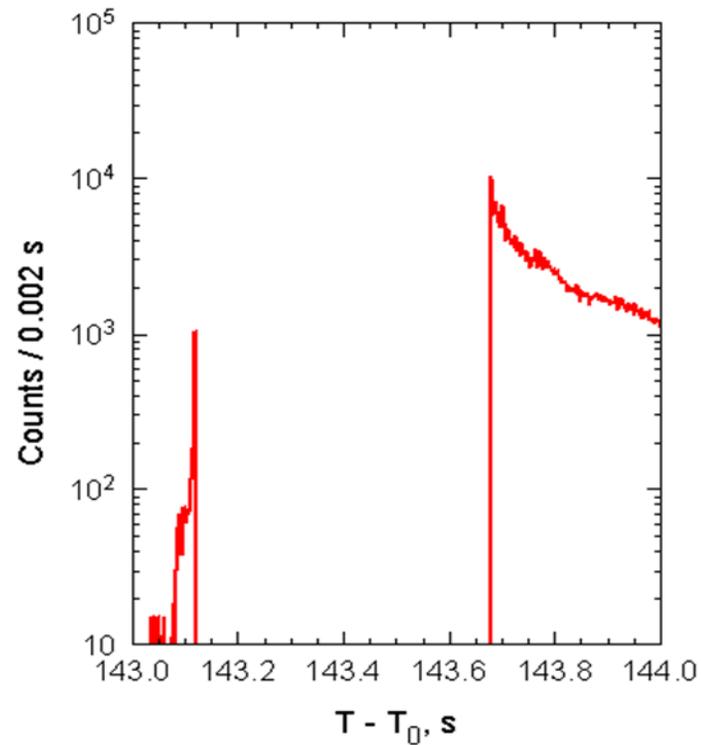
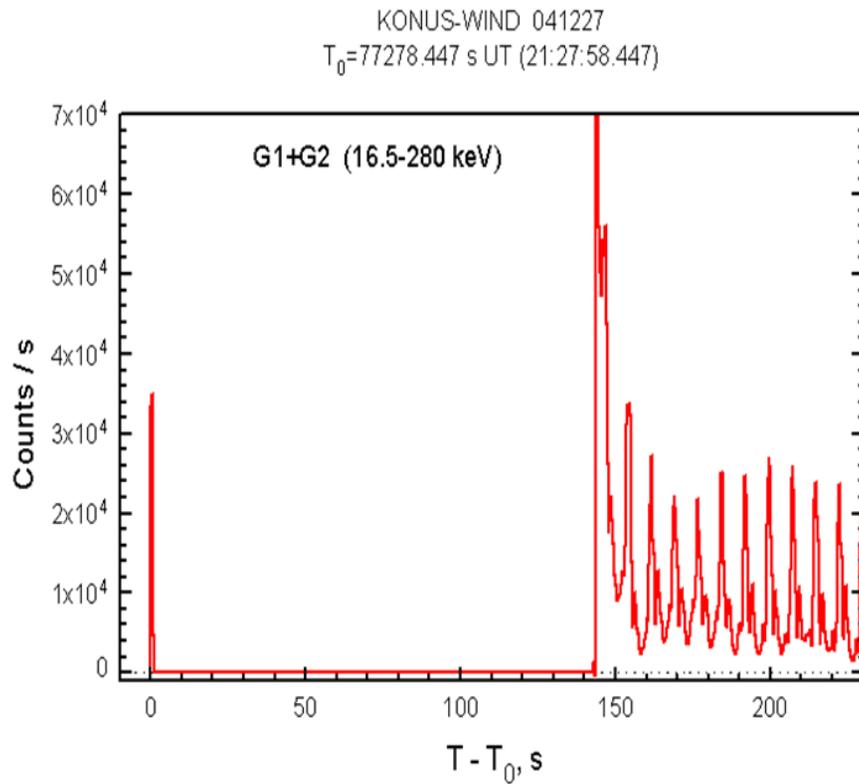


KONUS-WIND 041227  
 $T_0 = 77278.447$  s UT (21:27:58.447)



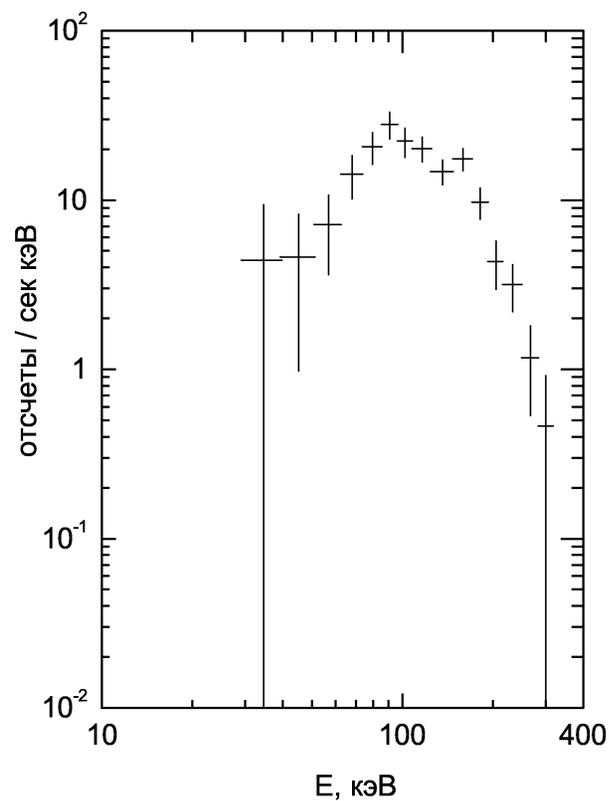
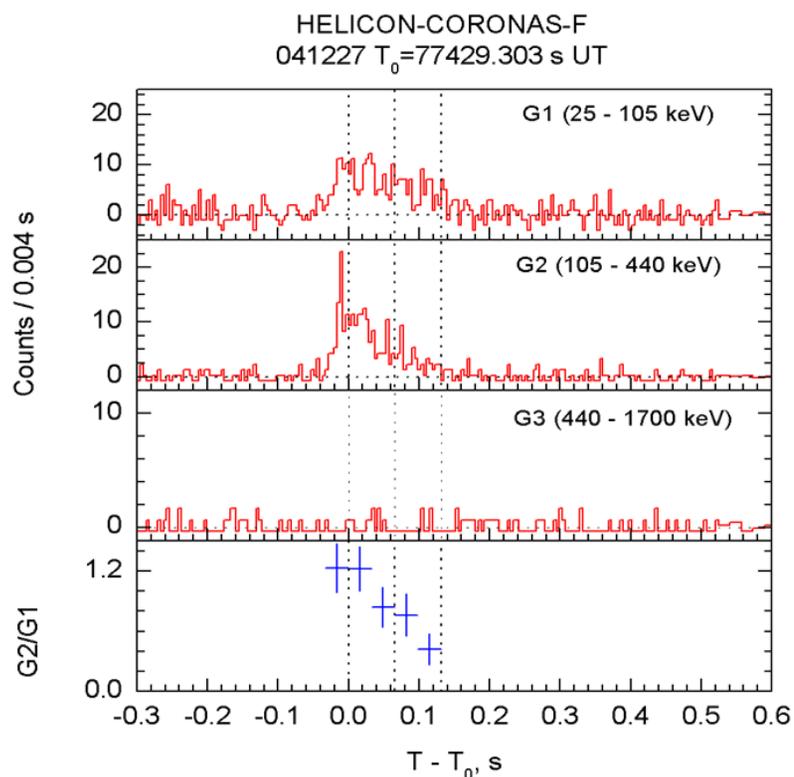
# Гигантская вспышка источника SGR 1806-20

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



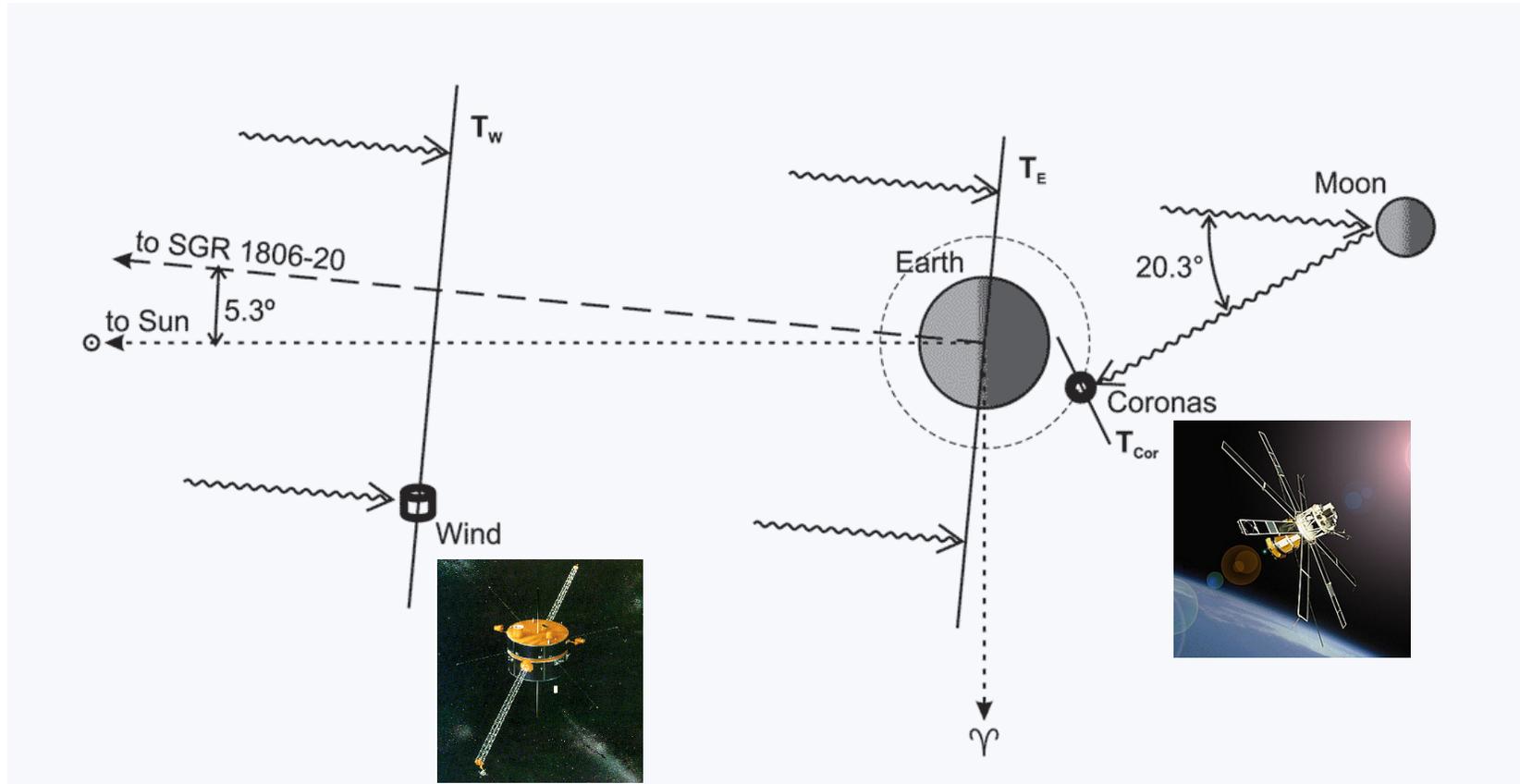
# Гигантская вспышка источника SGR 1806-20

- Несколькими 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.

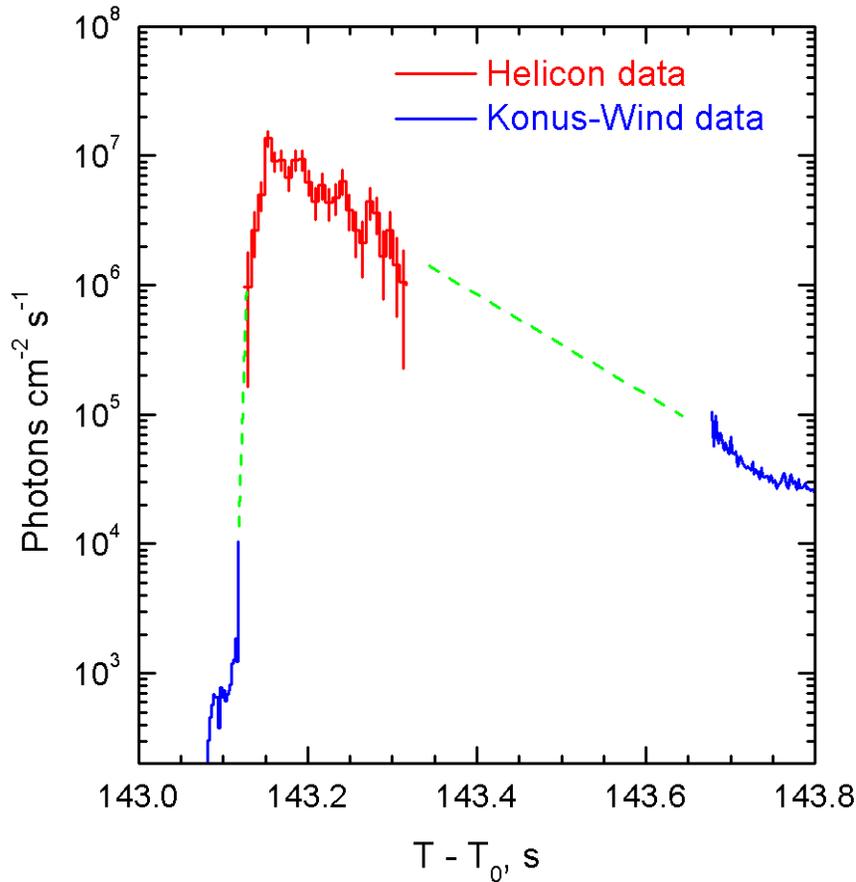


# Гигантская вспышка источника SGR 1806-20

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



# Гигантская вспышка источника SGR 1806-20



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

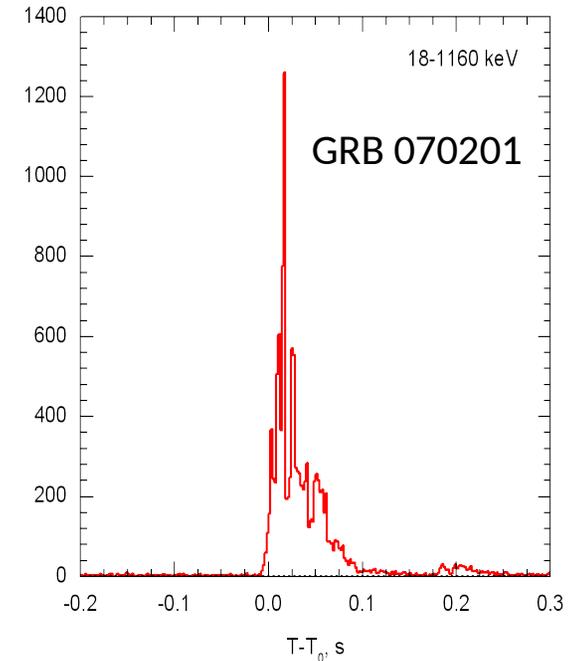
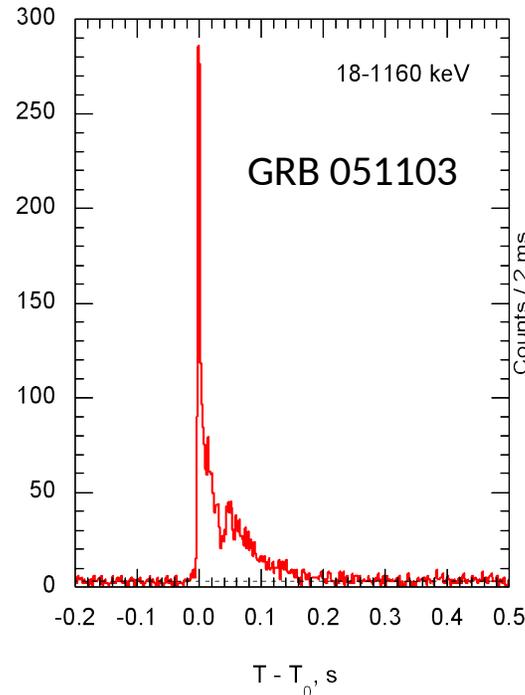
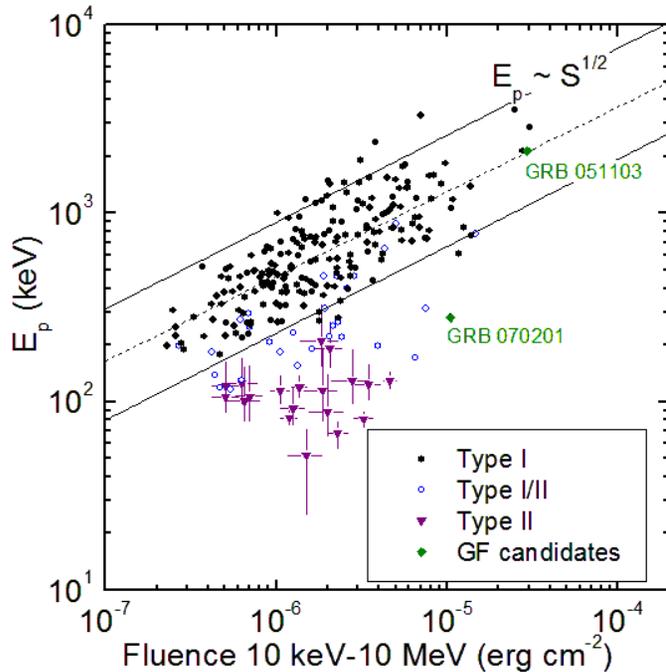
## Реконструкция кривой блеска вспышки

- $S=0.6$  эрг  $\text{cm}^{-2}$ ,  $F_{\text{max}} = 9$  эрг  $\text{cm}^{-2} \text{c}^{-1}$
- Энерговыделение  $E_{\text{iso}} = 2.3 \times 10^{46}$  эрг, Пиковая светимость  $L_{\text{iso}} = 3.5 \times 10^{47}$  эрг  $\text{c}^{-1}$
- 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.

# Короткие гамма-всплески (sGRB)

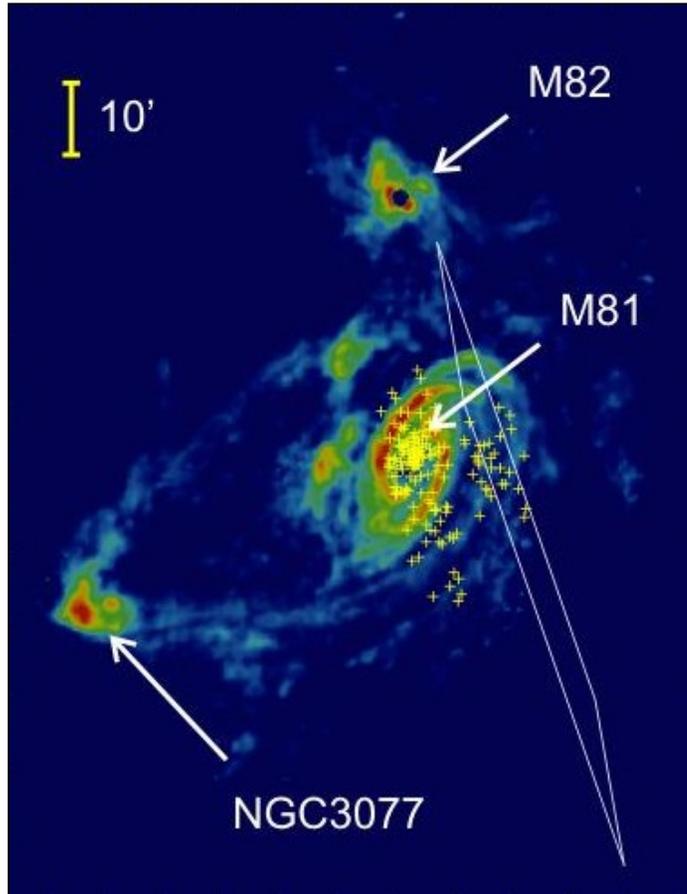
## Конус-Винд

- За 1994-2024 зарегистрировано  $\sim 550$  событий ( $T_{50} < 0.7$  с,  $T_{90} < 2$  с) ( $\sim 300$  в Svinkin et al., ApJS, 2016,  $\sim 200$  в Lysenko et al., PASA submitted), частота  $\sim 18$  sGRB/год.
- Ранее в наборе обнаружено два кандидата во внегалактические GF: GRB 051103 из группы галактик M81/M82 и GRB 070201 из M31 (галактика Андромеды).



# GRB 051103 –

## гигантская вспышка SGR в группе галактик M81/M82?

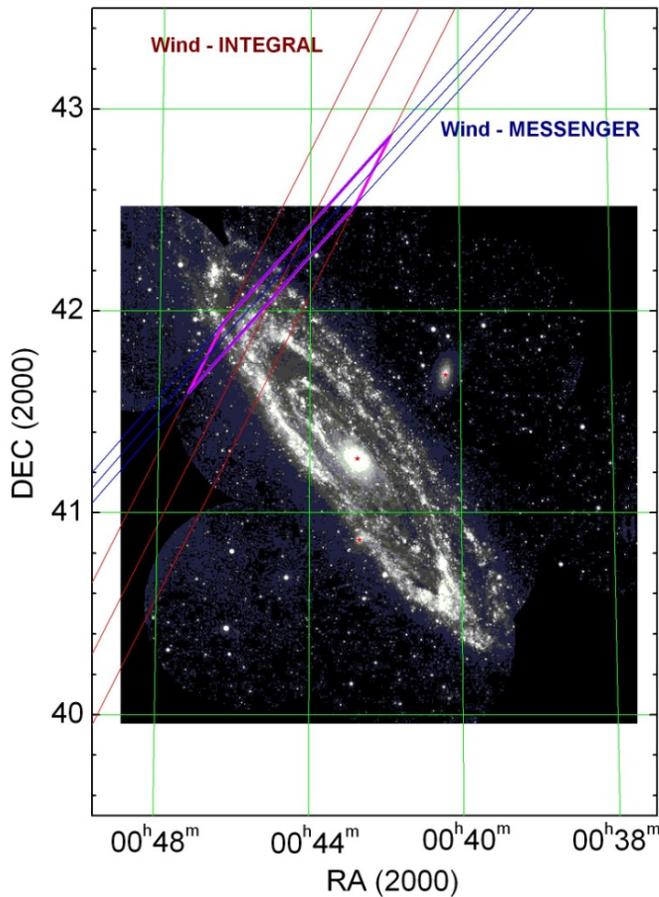


Изображение в линии 21 см VLA:  
<http://daisy.astro.umass.edu/~myun/m81hi.html>

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

- Область локализации IPN накладывается на группу галактик M81/M82.
- Для  $D_{M81} = 3.6$  Мпк  
Энерговыведение:  $E_{iso} = 5.3 \times 10^{46}$  эрг  
Пиковая светимость:  $L_{max iso} = 1.8 \times 10^{48}$  эрг  $s^{-1}$   
(для GF 24 декабря 2004 г. от SGR 1806-20  
 $E_{iso} = 2 \times 10^{46}$  эрг;  $L_{max iso} = 4 \times 10^{47}$  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:  
 $E_{iso} = 5 \times 10^{49} (D/100 \text{ Мпк})^2$  эрг

# GRB 070201 – гигантская вспышка SGR в Туманности Андромеды?



УФ изображение M31 (GALEX)

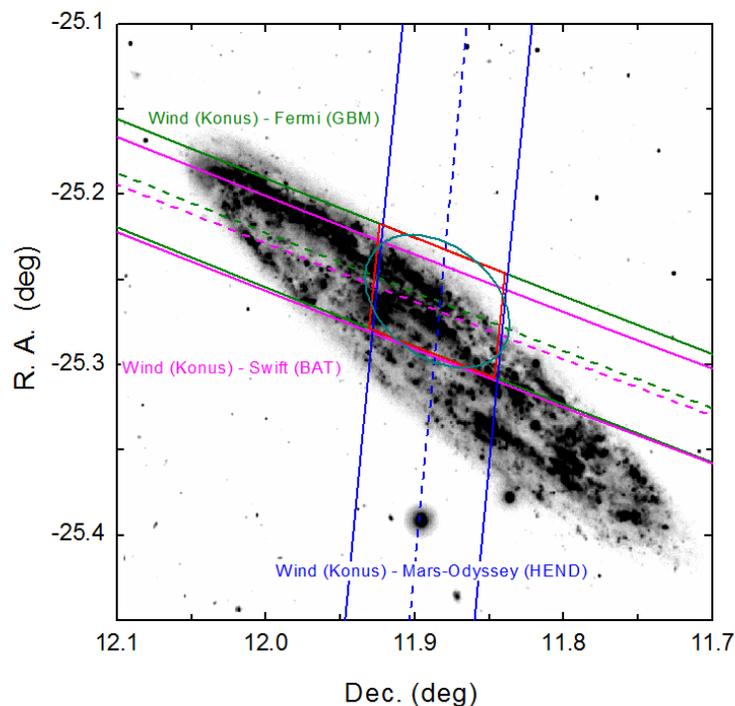
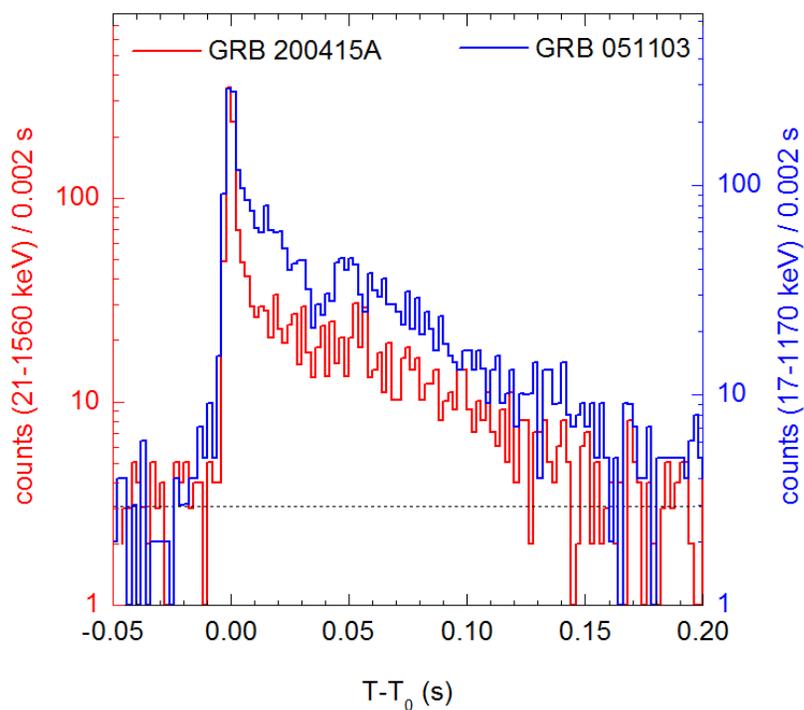
Mazets et al., ApJ (2008)

- IPN локализация накладывается\* на яркое кольцо галактики M31 (Туманность Андромеды), которое считается основной областью звездообразования.
- Для  $D_{M31} = 780$  кпк  
Энерговыделение  $E_{iso} = 1.5 \times 10^{45}$  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

# GRB 200415A

- Яркий короткий всплеск был зарегистрирован Fermi (GBM, LAT), Swift (BAT), Konus-Wind, INTEGRAL, Mars-Odyssey (HEND) и ASIM (на МКС).
- Область локализации по данным IPN  $\sim 20 \text{ arcmin}^2$
- Локализация наложилась на NGC 253 (Sculptor galaxy;  $D=3.5 \text{ Мпк}$ ),  $P_{\text{chance}} \sim 1/200000$
- Близнец GRB 051103: нарастание  $< \sim 2 \text{ мс}$ , пик  $\sim 4 \text{ мс}$  и спад с постоянной времени  $\tau \sim 50 \text{ мс}$



# GRB 200415A и GRB 051103

- Спектр всего события описывается моделью CPL -  $dN/dE \sim E^\alpha \exp(-E(\alpha+2)/E_p)$

Начальный импульс:

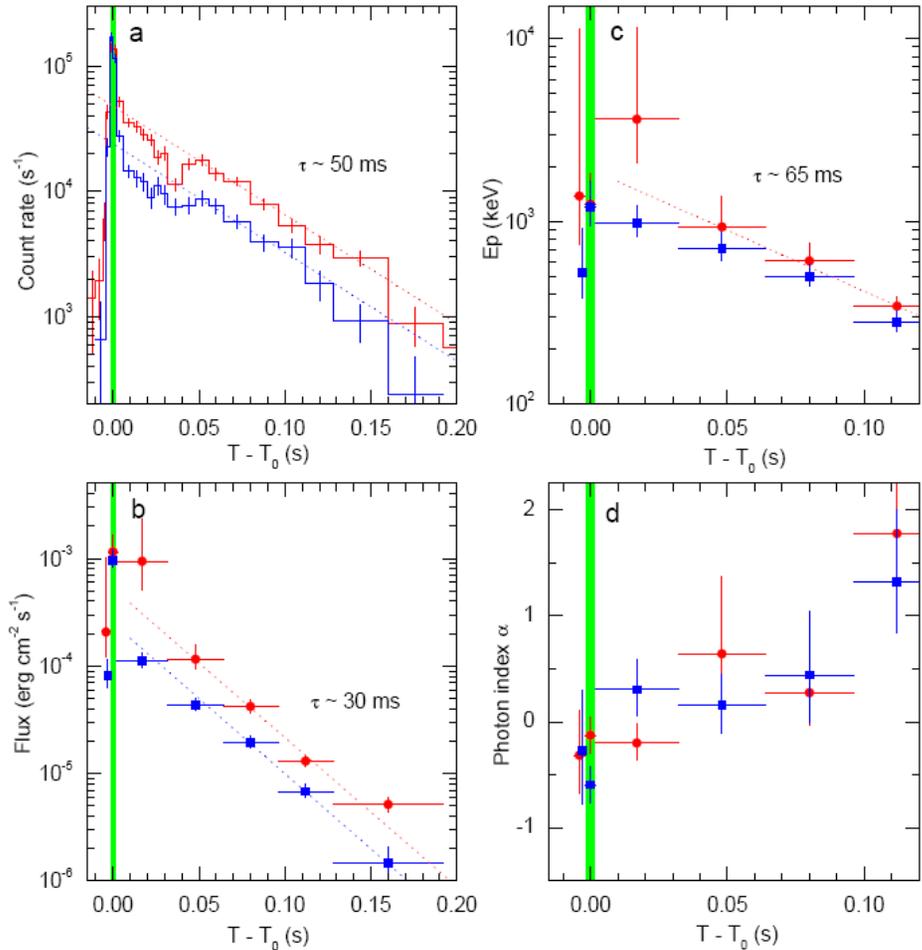
- $E_p \sim 1.2$  МэВ,
- вклад в интегральный поток  $\sim 45\%$  и  $\sim 13\%$
- $L_{\max \text{ iso}} \sim 1.4(1.8) \times 10^{48}$  эрг  $\text{c}^{-1}$

Спадающая часть:

- GRB 051103 - рост  $E_p$  до  $\sim 3$  МэВ
- после  $\sim T_0 + 100$  мс спектр описывается тепловой моделью (blackbody, BB) с  $kT \sim 70$  кэВ и  $R \sim 20-40$  км

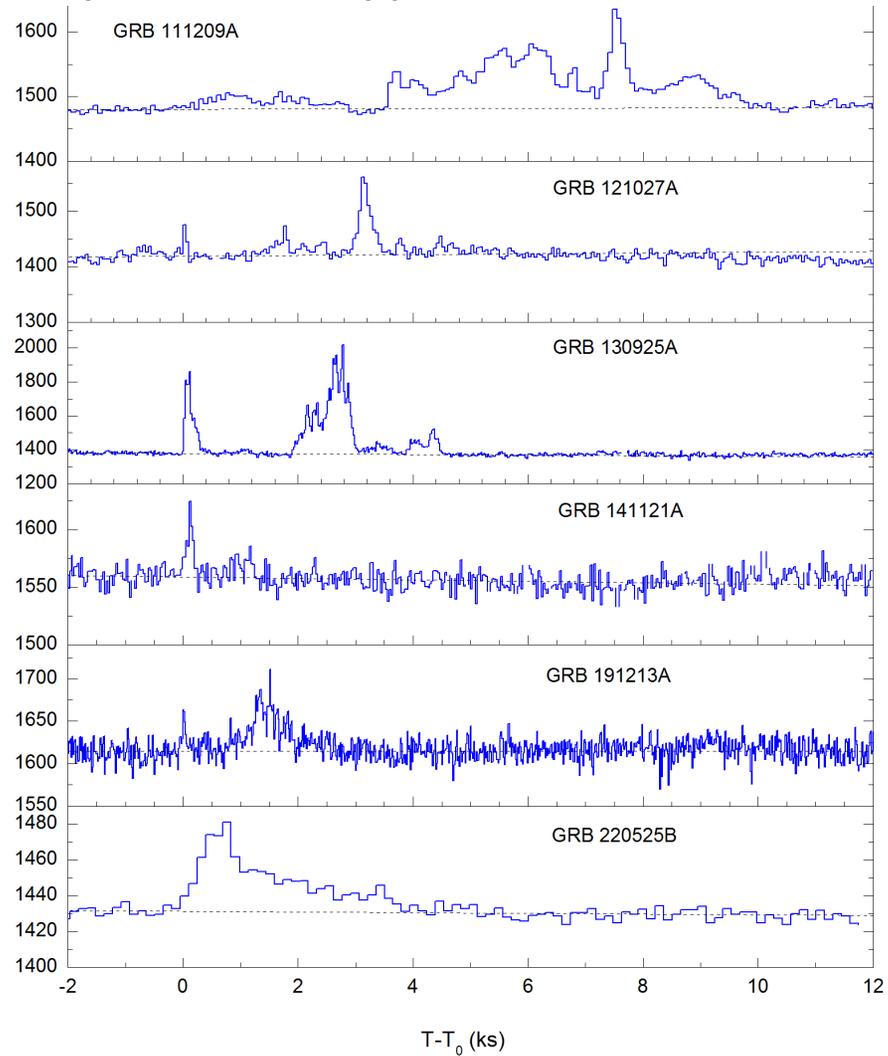
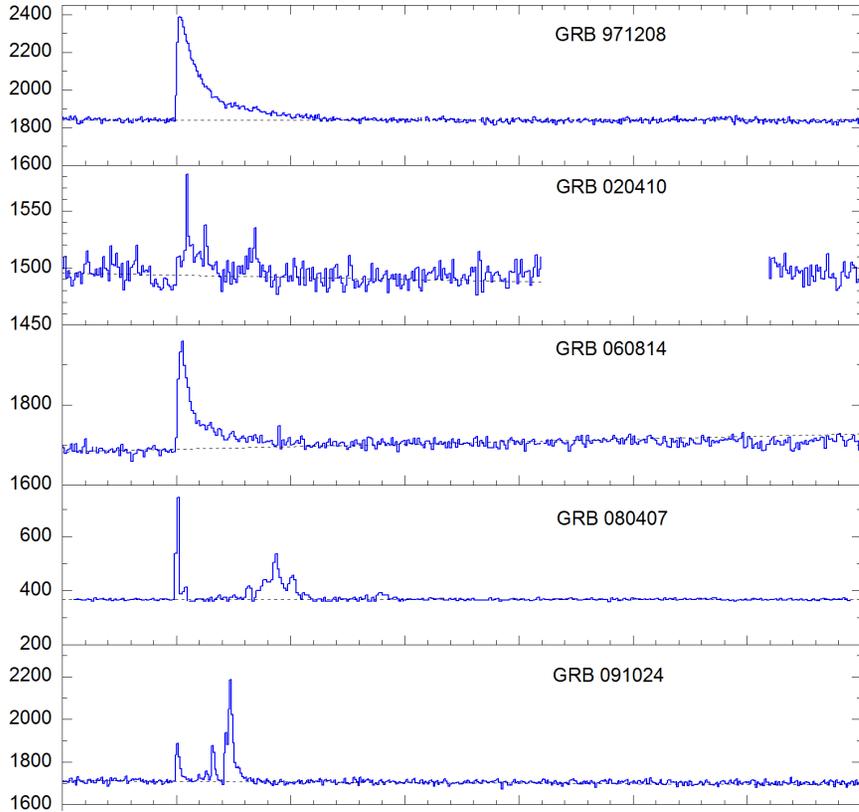
Интегральный спектр:

- $E_p \sim 1080$  и  $\sim 2690$  кэВ
- Вклад BB  $\sim 14\%$  и  $\sim 9\%$
- $Q \sim 1.3(5.3) \times 10^{46}$  эрг



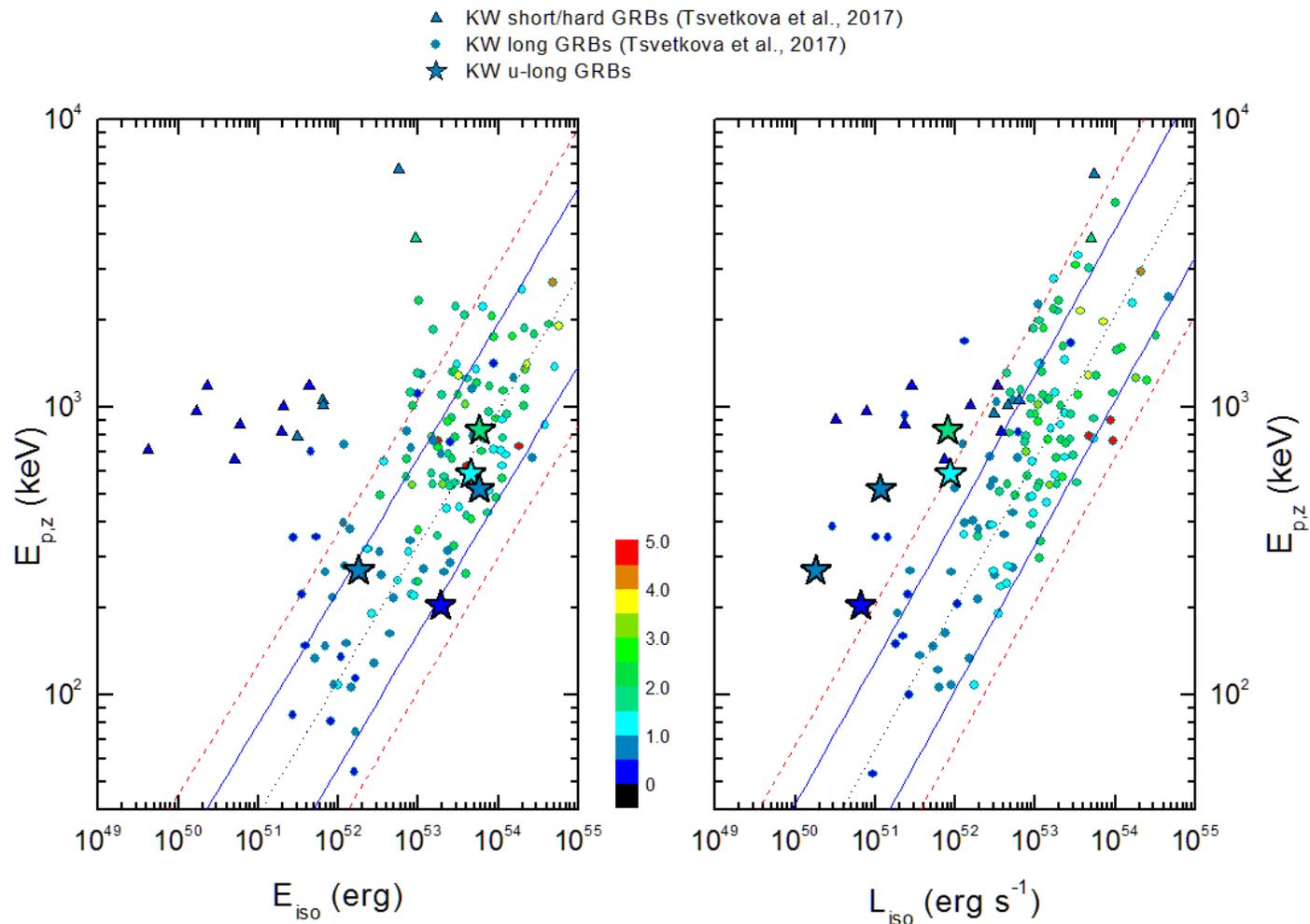
# Сверхдлинные гамма-всплески

В непрерывной записи KW обнаружено >20 ультра длинных GRBs  
(> ~1000 с) – наибольший набор из всех инструментов



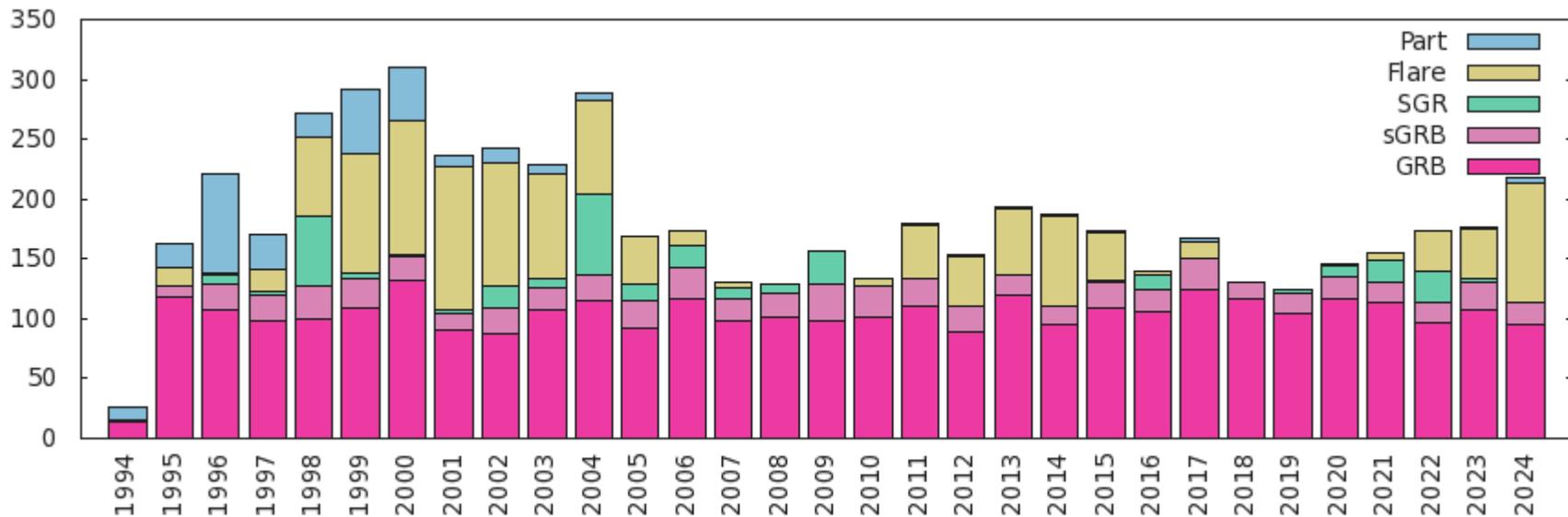
# Сверхдлинные гамма-всплески

- Для 5 сверхдлинных GRB измерено красное смещение ( $z$ ).
- Сверхдлинные GRBs согласуются с соотношением Аматти для длинных GRBs и выпадают из соотношения Йонетоку.



# Заключение

- На протяжении почти 30 лет своей работы Konus-Wind собирает важные, зачастую уникальные данные о коротких, длинных и сверхдлинных гамма-всплесках, вспышках SGR (магнетаров), галактических и внегалактических гигантских вспышках, Солнечных вспышках и других транзиентах.
- Konus-Wind обеспечивает отличные результаты в сотрудничестве со многими космическими миссиями (Swift, Fermi, INTEGRAL, Einstein Probe, Astrosat, Insight-HXMT, GECAM, Mars-Odyssey, VeriColombo) и наземными обсерваториями (МАСТЕР, ZTF).
- Космический аппарат Wind и Konus находятся в рабочем состоянии и мы ожидаем новых замечательных научных открытий!



Спасибо за внимание!