

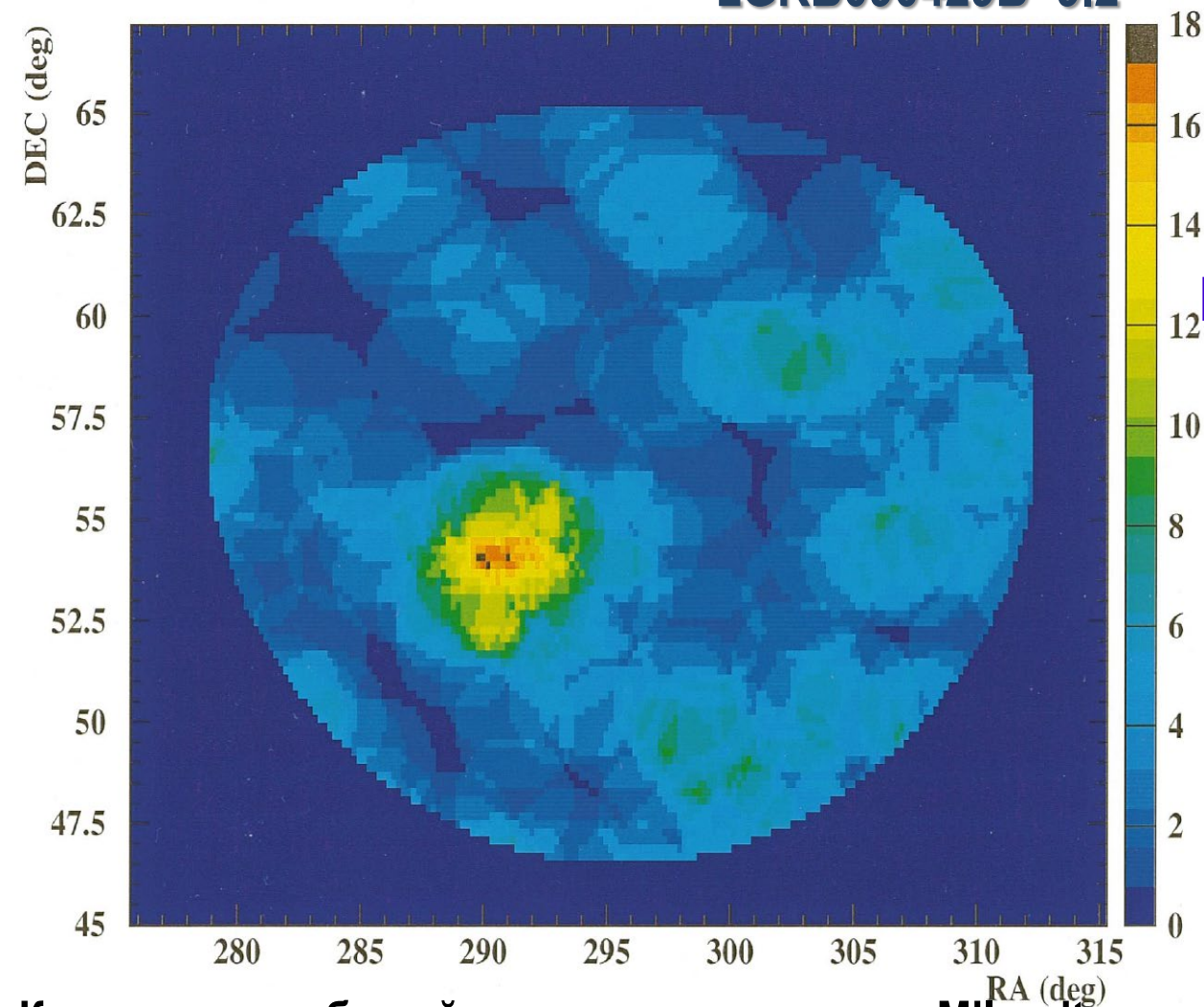
Свойства высокоэнергетической компоненты излучения гамма-всплесков

И.В. Архангельская (I. V. Arkhangel'skaya@mephi.ru)

А.И. Архангельский (AIArkhangel'skij@mephi.ru)

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

GRBs наблюдаются с 1967г., 2023 - несколько тысяч событий, более чем в 20 каталогах, по данным более 40 спутниковых и наземных экспериментов.
Космологические модели - $z_{\text{GRB050904}}=6.3$, $z_{\text{GRB090423}}=8.2$ и $z_{\text{GRB090429B}}\sim 9.2$

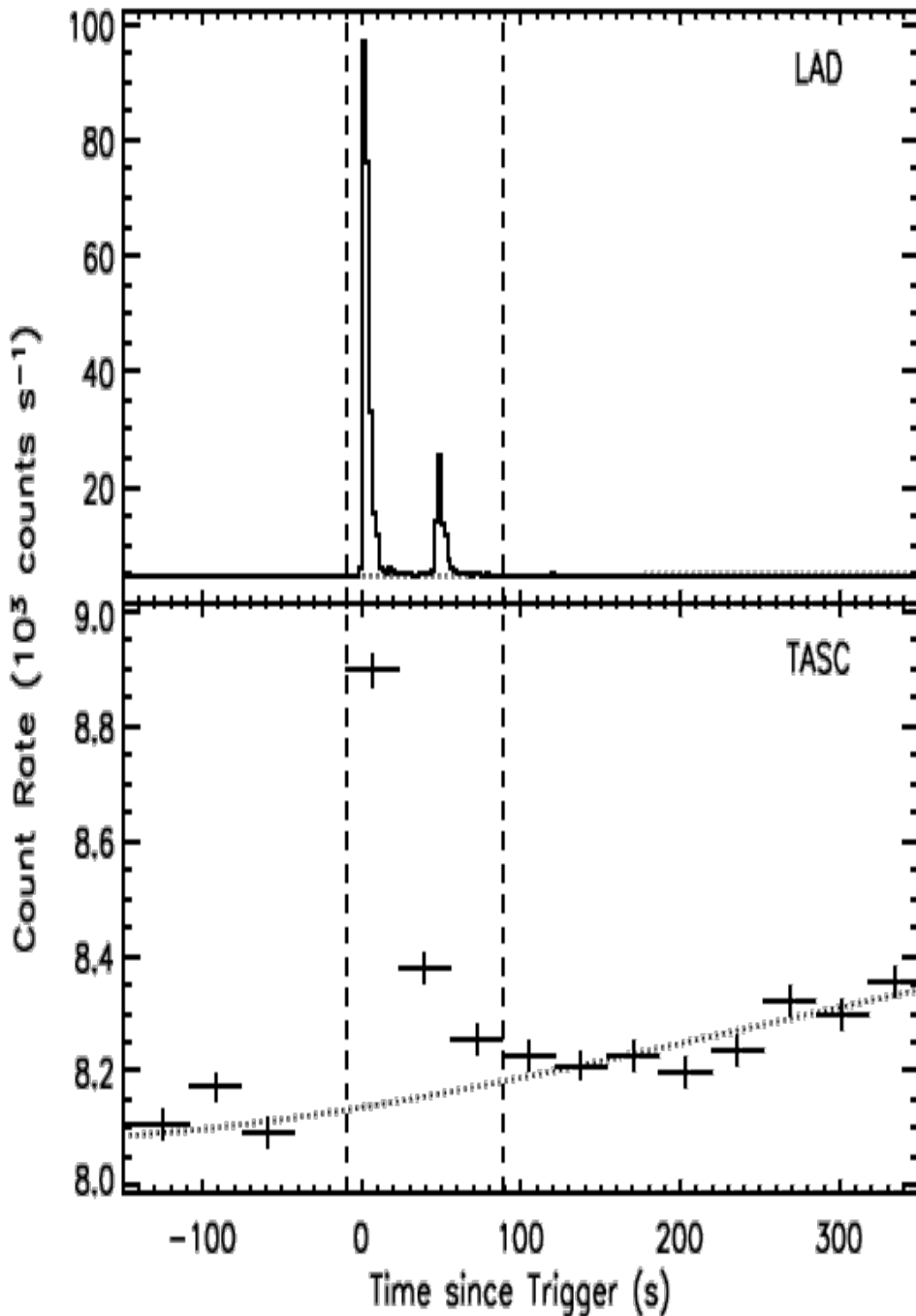


Впервые $E \sim \text{ТэВ}$ во время GRB - анализ данных Milagrito: GRB 970417a – несколько фотонов с $E \sim 650 \text{ ГэВ}$ (Atkins, 2000)

Высокоэнергетическое излучение во время быстрой фазы?

Количество событий, зарегистрированных Milagrito в течение T_{90} в пределах 17.6 бин по расстоянию относительно GRB 970417a

GRB 910503 (Trigger 143)



Высокоэнергетическое излучение

GRBs

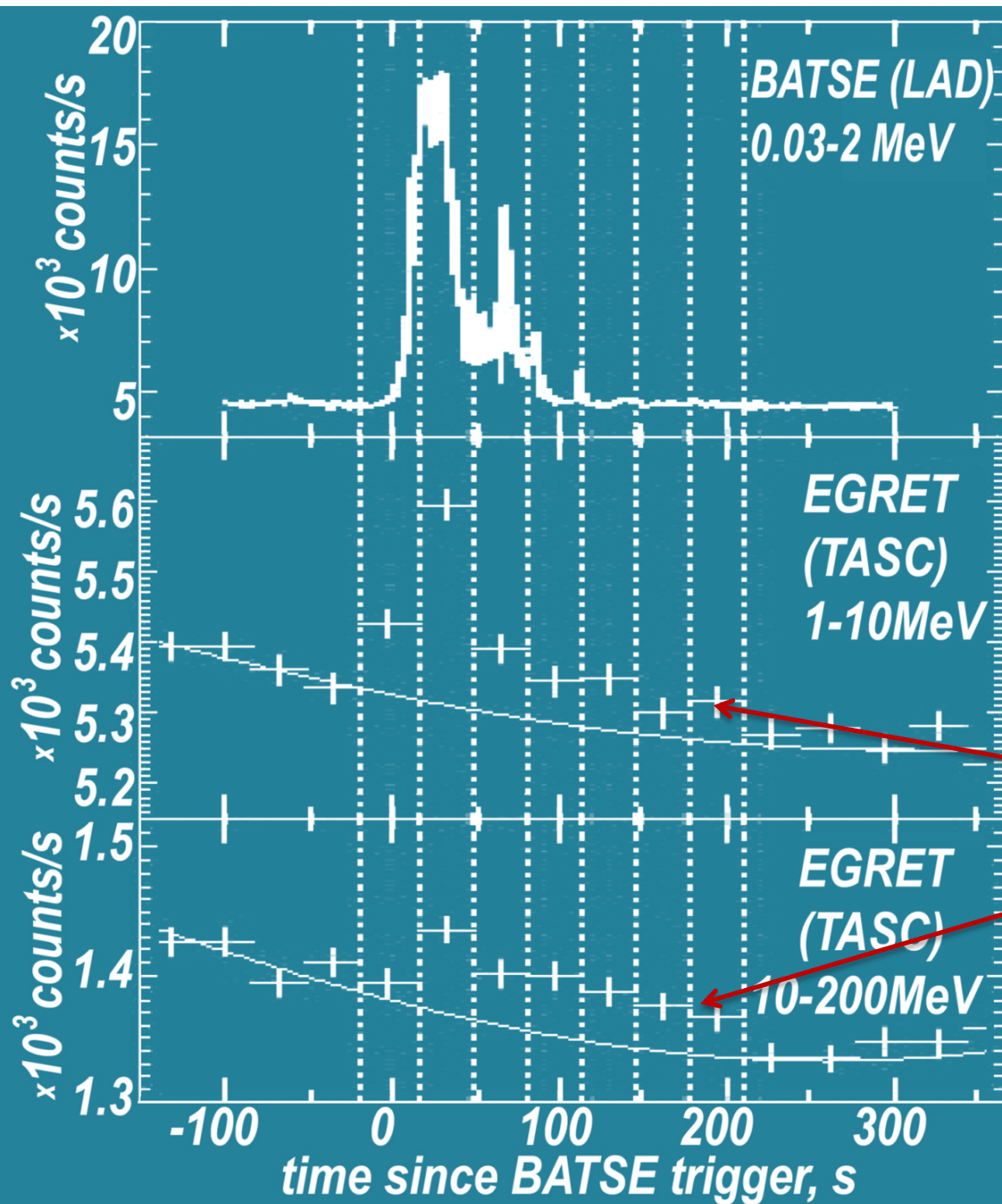


**эксперименты на борту
космической обсерватории имени
Комптона (Compton Gamma Ray
Observatory – CGRO),
1991-2000гг (Dingus, 2000).**



**энергетические спектры
большинства GRB хорошо
описываются моделью Бэнда в
широком энергетическом
диапазоне**

*Временные профили
GRB910503 (BATSE trigger #143)
по данным BATSE и EGRET.*

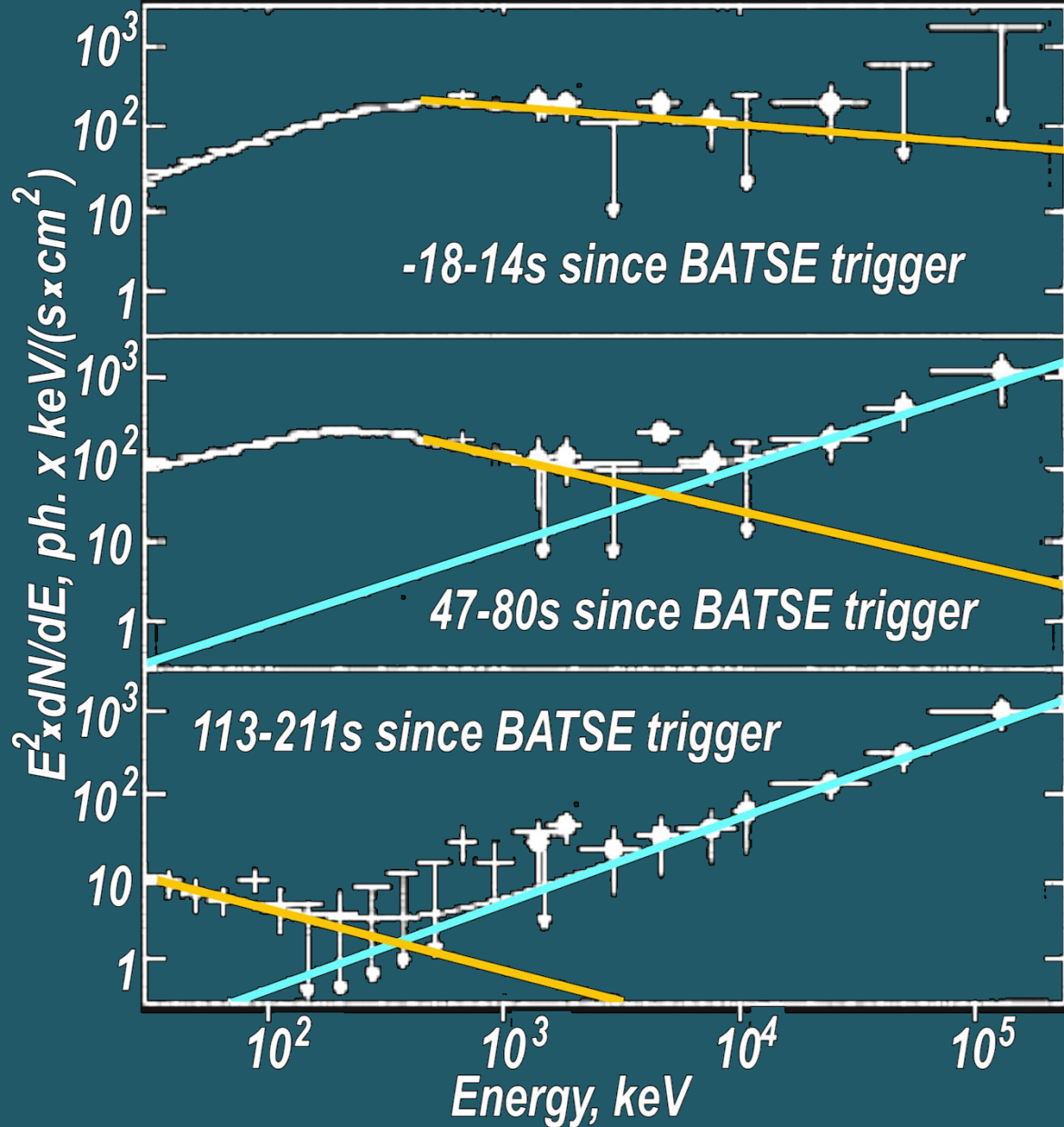


В спектрах некоторых GRB было обнаружено присутствие новой компоненты в диапазоне до 200 МэВ, не соответствующей модели Бэнда

GRB 941017: структура временных профилей разная в различных энергетических диапазонах:

ХВОСТ В НЕ-диапазоне?

Временные профили GRB941017 по данным BATSE и EGRET.



Энергетический спектр GRB941017:

вторая компонента модели Бэнда и
 аппроксимация высокоэнергетической части

Спектр этого всплеска содержит дополнительную не-Бэндовскую компоненту в диапазоне высоких энергий.

Спектральный индекс этой HE-компоненты: $\gamma \approx -1$

Хорошо видно различие между компонентами.

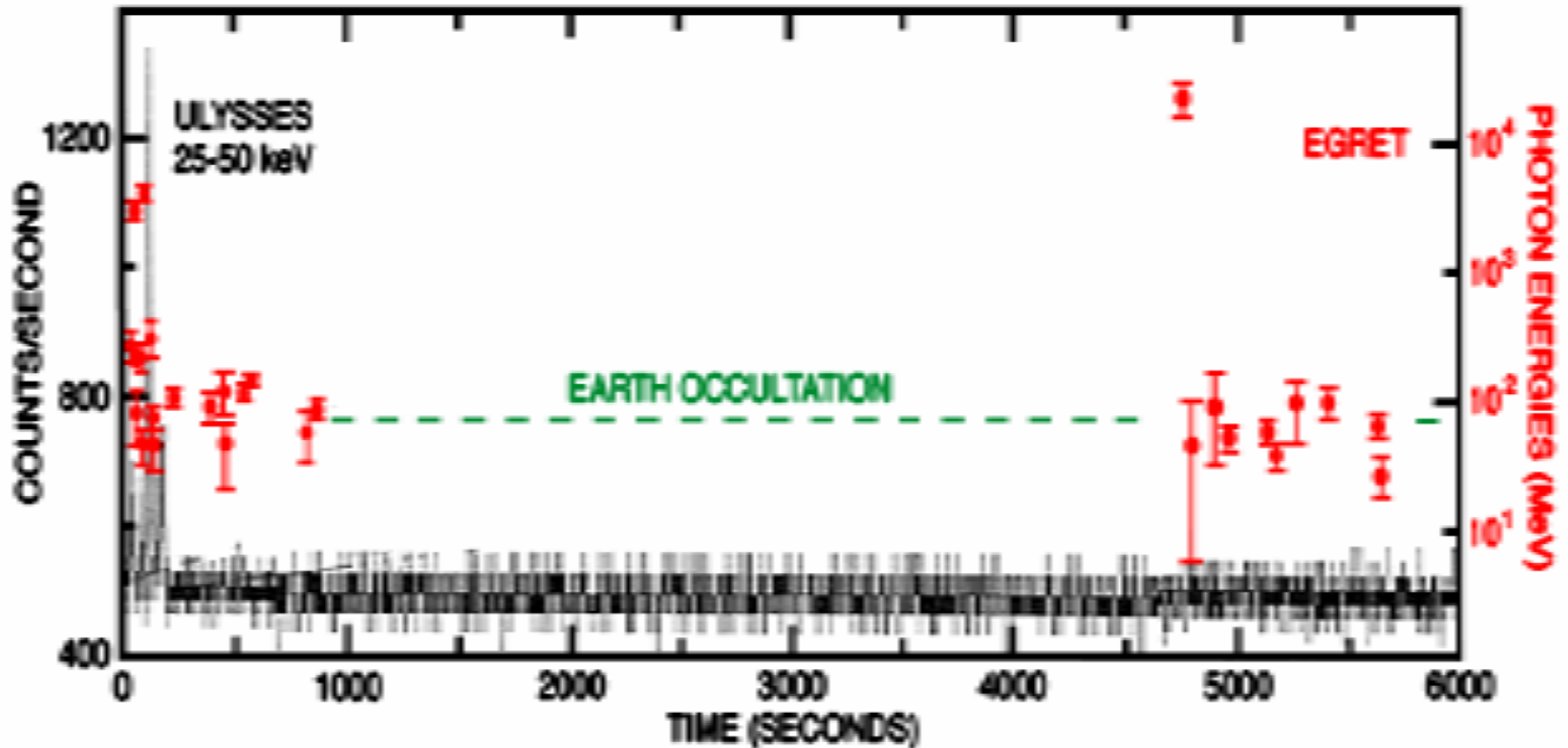
Возникает вопрос: где именно происходит переход между компонентами при высоких энергиях?

Введено 2 спектральных разрыва во время быстрой фазы GRBs:

E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда,
 E2 – соответствующий началу HE-компоненты

GRB940217 (BATSE trigger #2831, $t_{90} \approx 150\text{s}$) – впервые зарегистрировано НЕ-послесвечение

- γ -излучение ($E > 50\text{ МэВ}$) длилось 1.5 часа после начала GRB, наблюдалась E_{max} : 18 ГэВ
- в разных диапазонах разная структура временных профилей → основание предполагать наличие послесвечения



Наблюдения GRB940217 приборами EGRET и ULYSSES

Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным CGRO

- во время 15 GRB зарегистрировано излучение с $E > 120$ МэВ (Kaneko et al, 2008)
В основном, не наблюдалось быстрой фазы с $E > 200$ МэВ
- Наиболее широкий диапазон зарегистрированного γ -излучения в спутниковых экспериментах ~ 10 кэВ \div ~ 20 ГэВ
- значения спектральных параметров обычно монотонно убывали с ростом скорости счета или их поведение соответствовало временному профилю.
- во время некоторых GRB – наблюдалась новая высокоэнергетическая спектральная компонента (920902, 941017 и 980923)
- большей частью одинаковая структура временных профилей в разных диапазонах (исключая события с не-Бэндвской компонентой в спектре):
 - ❖ одинаковое количество значимых пиков
 - ❖ приблизительно одинаковое соотношение интенсивности между пиками
- несколько GRB \rightarrow **HE-послесвечение** $E_{\max} \sim 18$ ГэВ
- 1 GRB \rightarrow быстрая фаза в диапазоне **subTeV** (Milagrito) !?

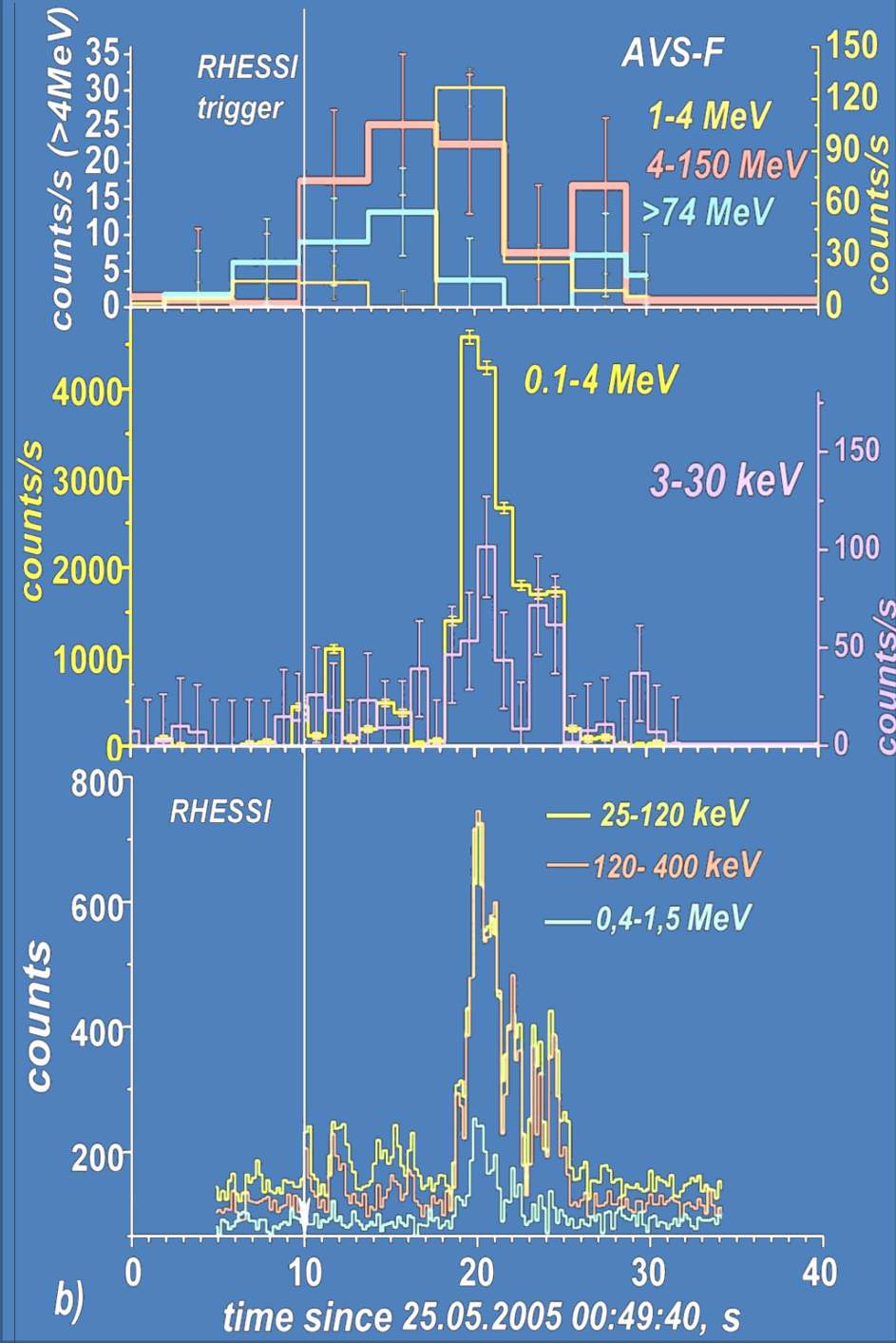
ABC-Ф/КОРОНАС-Ф (2001-2005)

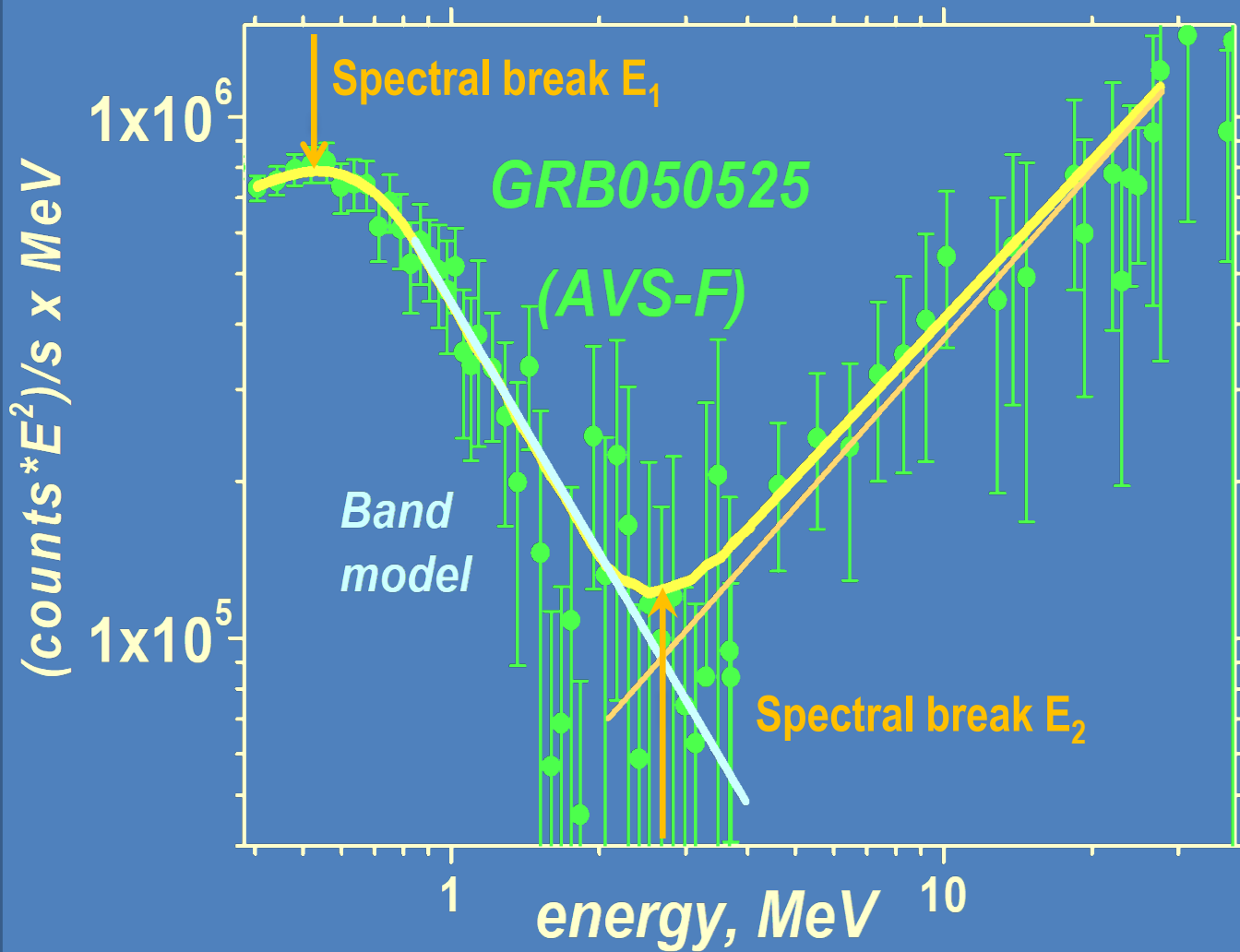
!!!различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ

!!!!не совпадение положения пиков

несколько пиков на временном профиле GRB050525 в области низких энергий по данным RHESSI, пик при $t \sim 20$ с был с t_{max} . Но в областях 4-150 МэВ и 3-30 кэВ поведение временных профилей отличалось.

Временные профили GRB050525 по данным ABC-Ф и RHESSI





новая
 высокоэнергетическая
 спектральная
 компонента
 в спектре GRB050525
 $E_2 = 2.4 \pm 0.1$ МэВ

*The energy spectrum of GRB050525 by AVS-F data:
 second component of Band model and approximation
 for high energy part*

данные CGRO и
 ABC-Ф
 ↓
 $E_2 \sim 3 \div 30$ MeV

Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным ABC-Ф/КОРОНАС-Ф

➤ (подобно CGRO) зарегистрировано излучение с $E > 50$ МэВ во время нескольких GRBs (Arkhangelskaja et al, 2007, 2010).

➤ Различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ и не совпадение положения пиков

Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ..

➤ (подобно CGRO) всплески только с предвестниками в области низких энергий (до сотен кэВ)

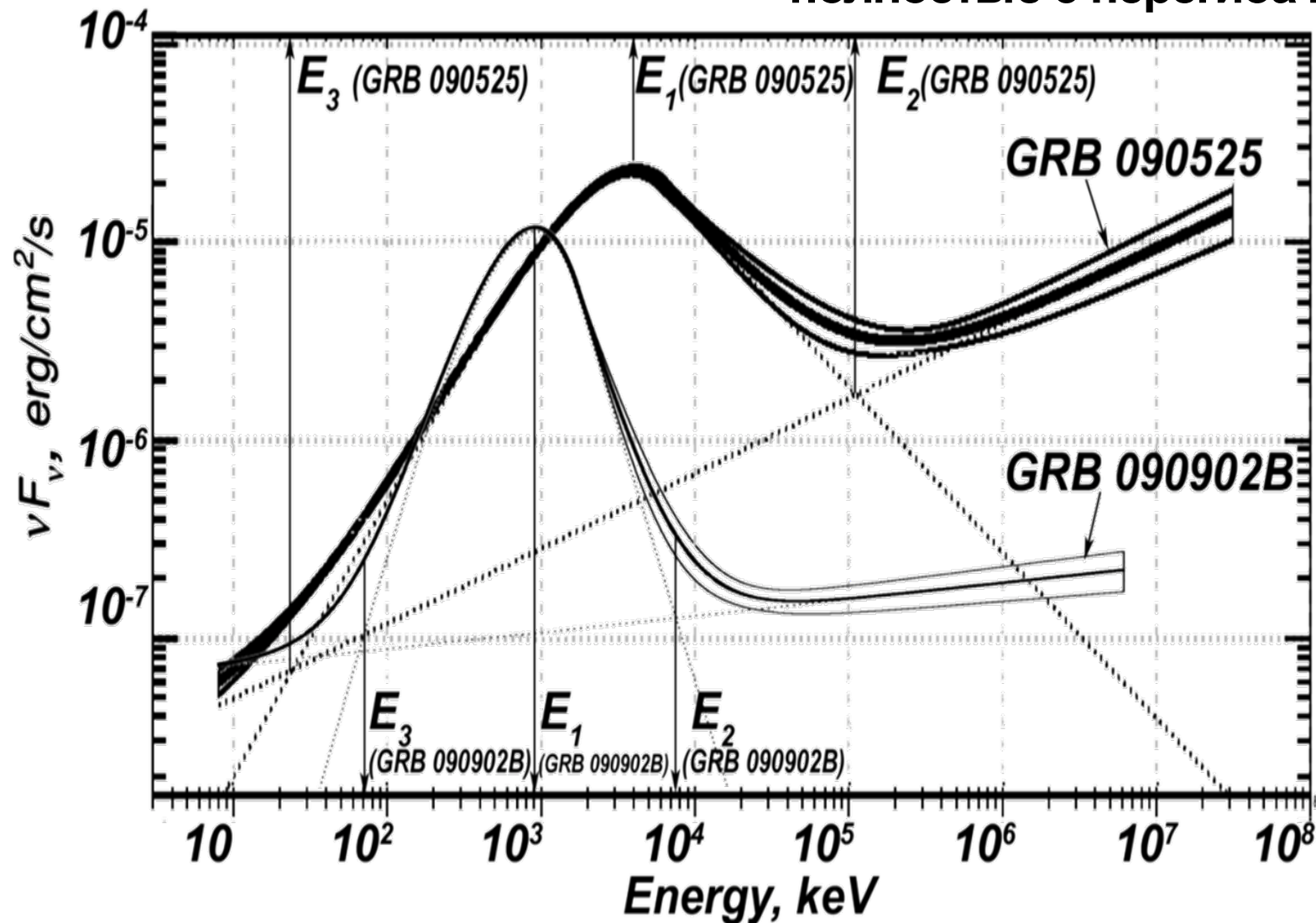
➤ некоторые GRB → подавлено или слабо проявляется смягчение спектров

Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ..

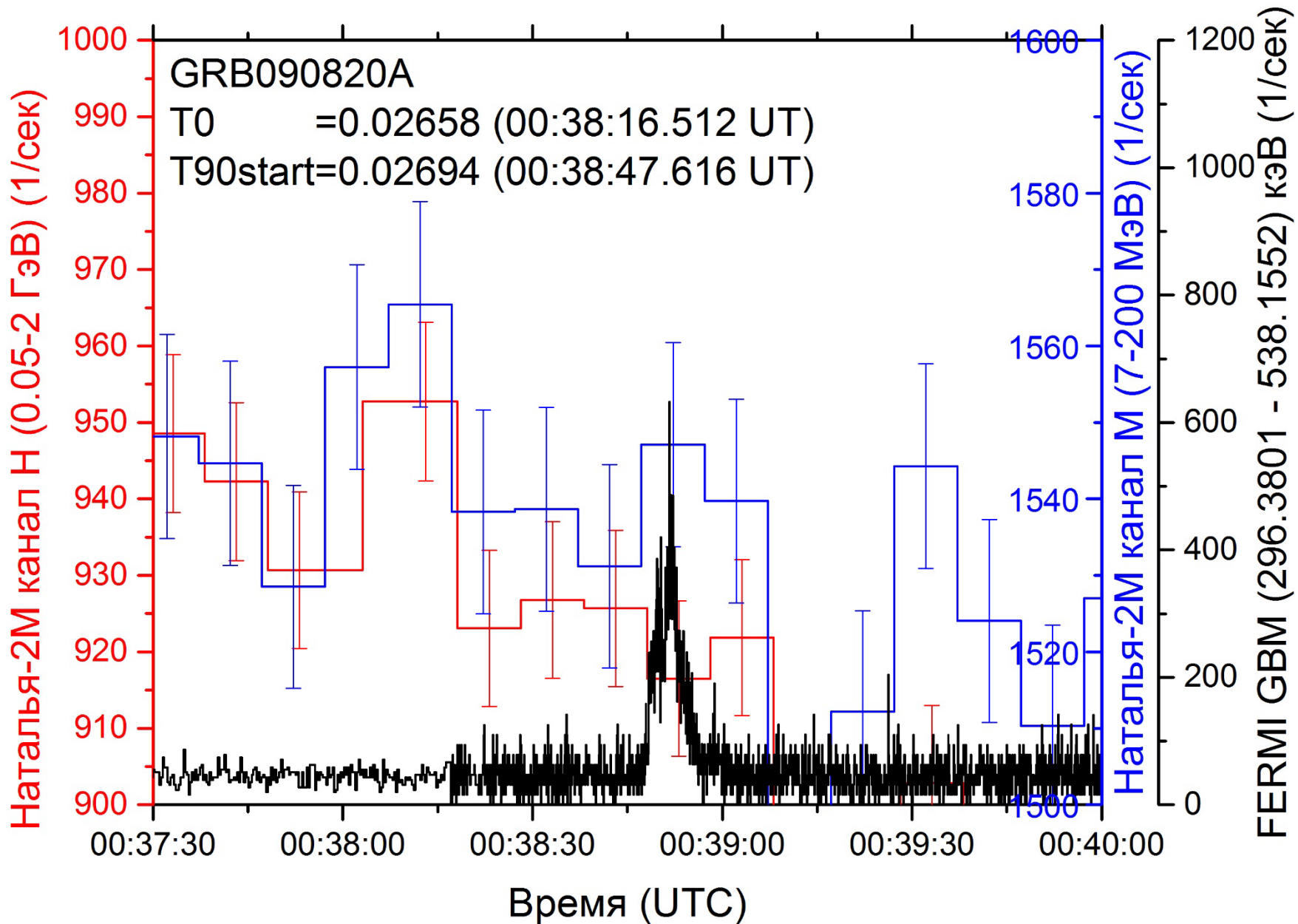
➤ (подобно CGRO) некоторые GRB → новая высокоэнергетическая спектральная компонента

➤ (подобно CGRO) Проявляется спектральный перегиб E_2 – соответствующий началу HE-компоненты: $E_2 \sim 3 \div 10$ MeV (данные CGRO и ABC-Ф)

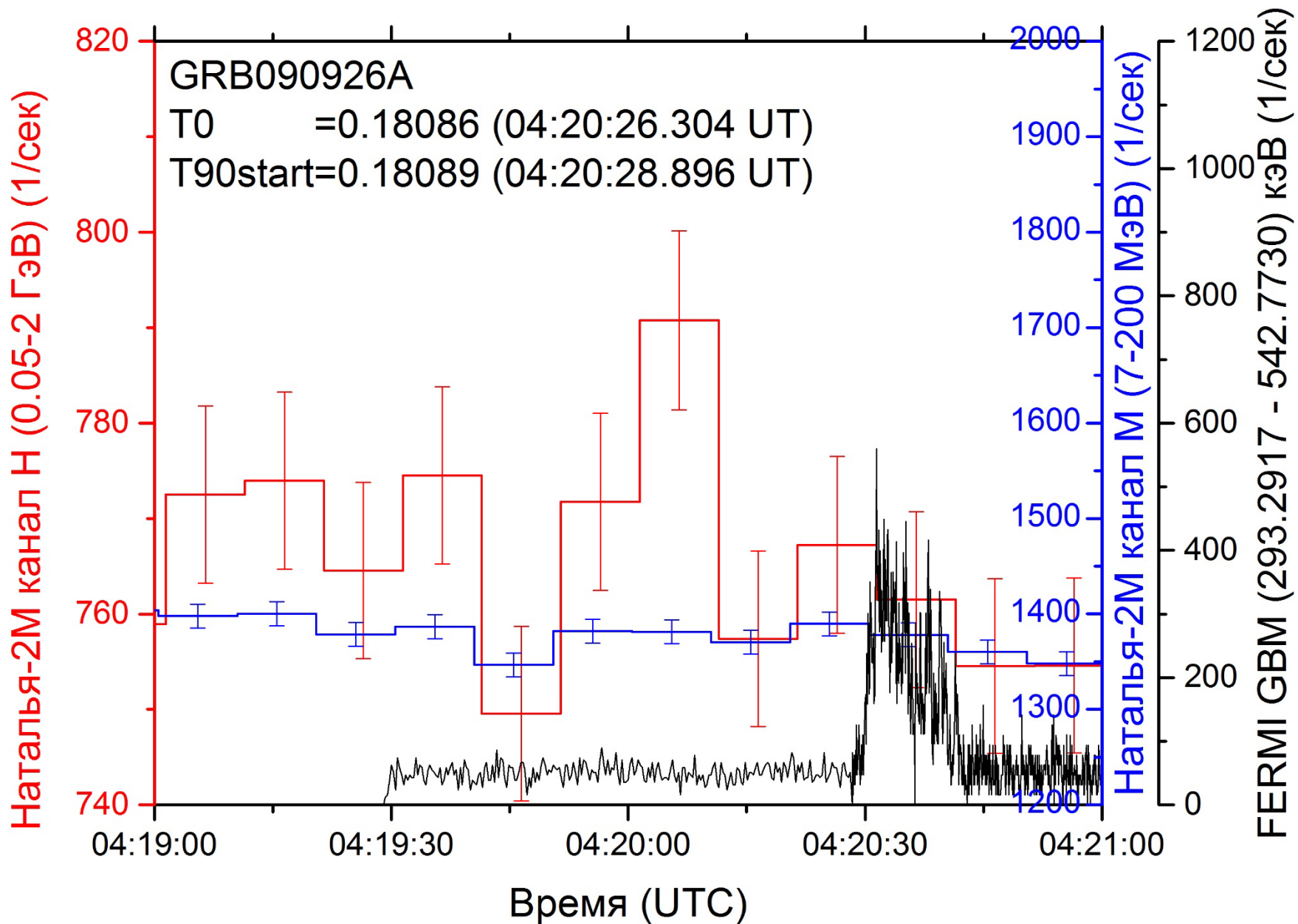
Следующий этап: Fermi & AGILE: вводится 3й спектральный перегиб
 E3 – низкоэнергетическая компонента (десятки кэВ).
 Было ранее: E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда
 E2 – соответствующий началу HE-компоненты
 полностью 3 перегиба в спектрах



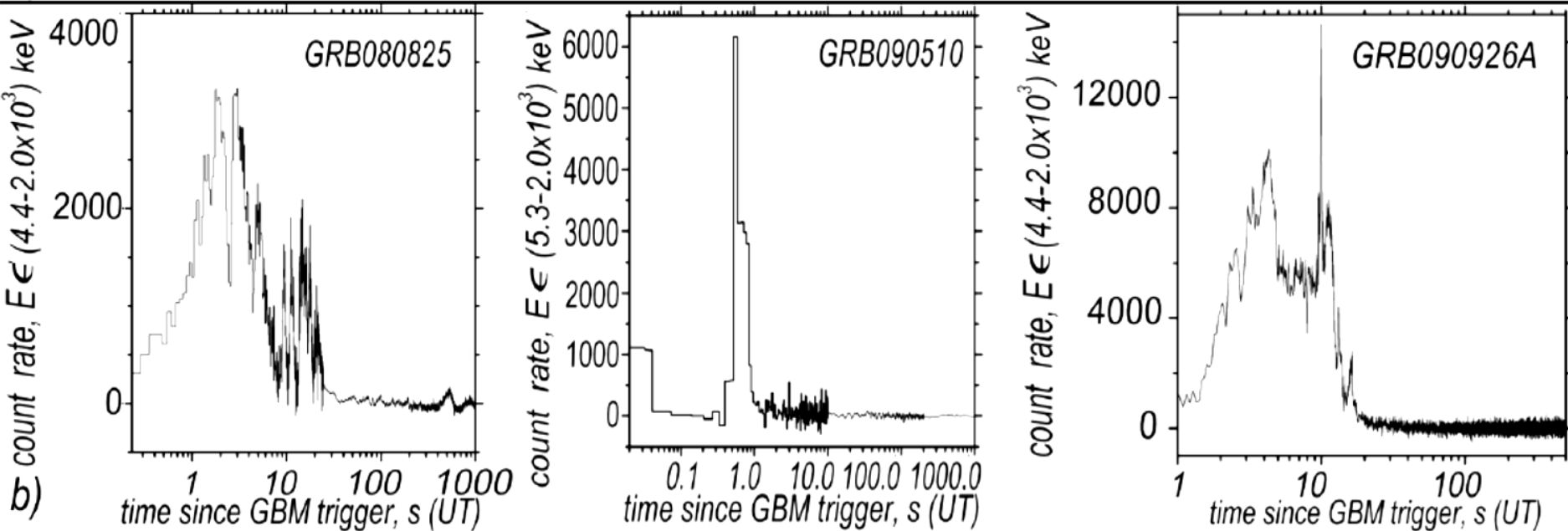
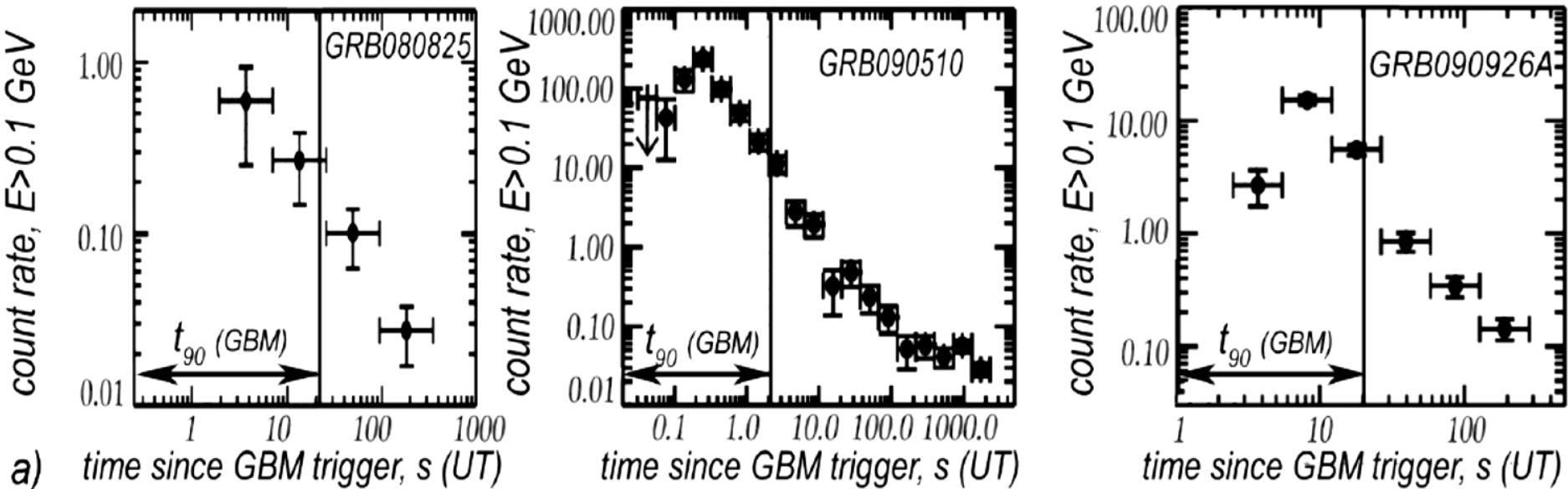
Временной профиль гамма-всплеска GRB090820A по данным Наталья-2М и FERMI/GBM



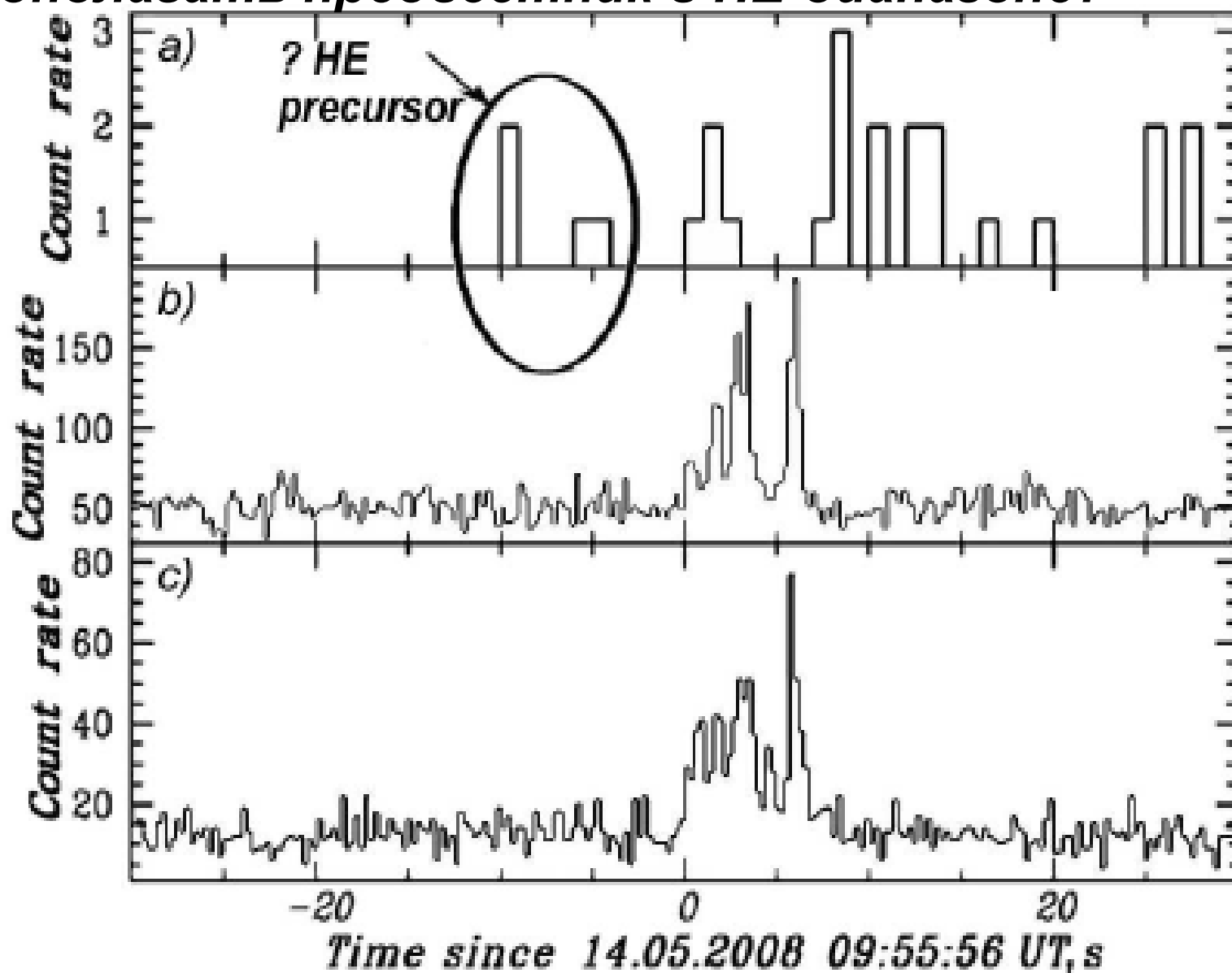
Временной профиль гамма-всплеска GRB090926A данным Наталья-2М и FERMI/GBM



Временные профили GRB 080825C, GRB 090525 и GRB 090902B по данным : (а) LAT и (б) GBM (HE – послесвечения зарегистрированы для порядка сотни GRB).



**GRB080514B по данным AGILE [a) 30 МэВ - 30 ГэВ (GRID),
b) 300-700 МэВ (MCAL), c) 18-60 кэВ (SA)] : основания
предполагать предвестник в HE-диапазоне?**



НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ → гамма-излучение GRBs: в основном, спутниковые эксперименты *Fermi*, *AGILE*, *CALET*.

- Главным образом все свойства → характеристикам, полученным в результате анализа данных CGRO и ABC-Ф
- Дополнительная HE-компонента в энергетических спектрах
- Предвестники в широком энергетическом диапазоне
- Новый перегиб в спектре E3 для низких энергий → Соответствует протяженности HE-компоненты в диапазон низких энергий до десятков кэВ?
- Зарегистрировано высокоэнергетическое послесвечение как длинных, так и коротких GRBs

GRB с присутствием высокоэнергетического излучения

Всплески с Бэндовскими спектрами **присутствие не-Бэндовской**

компоненты

излучение с $E > 500 \text{ МэВ}$

подобие временных профилей в разных энергетических диапазонах

высокоэнергетические послесвечения

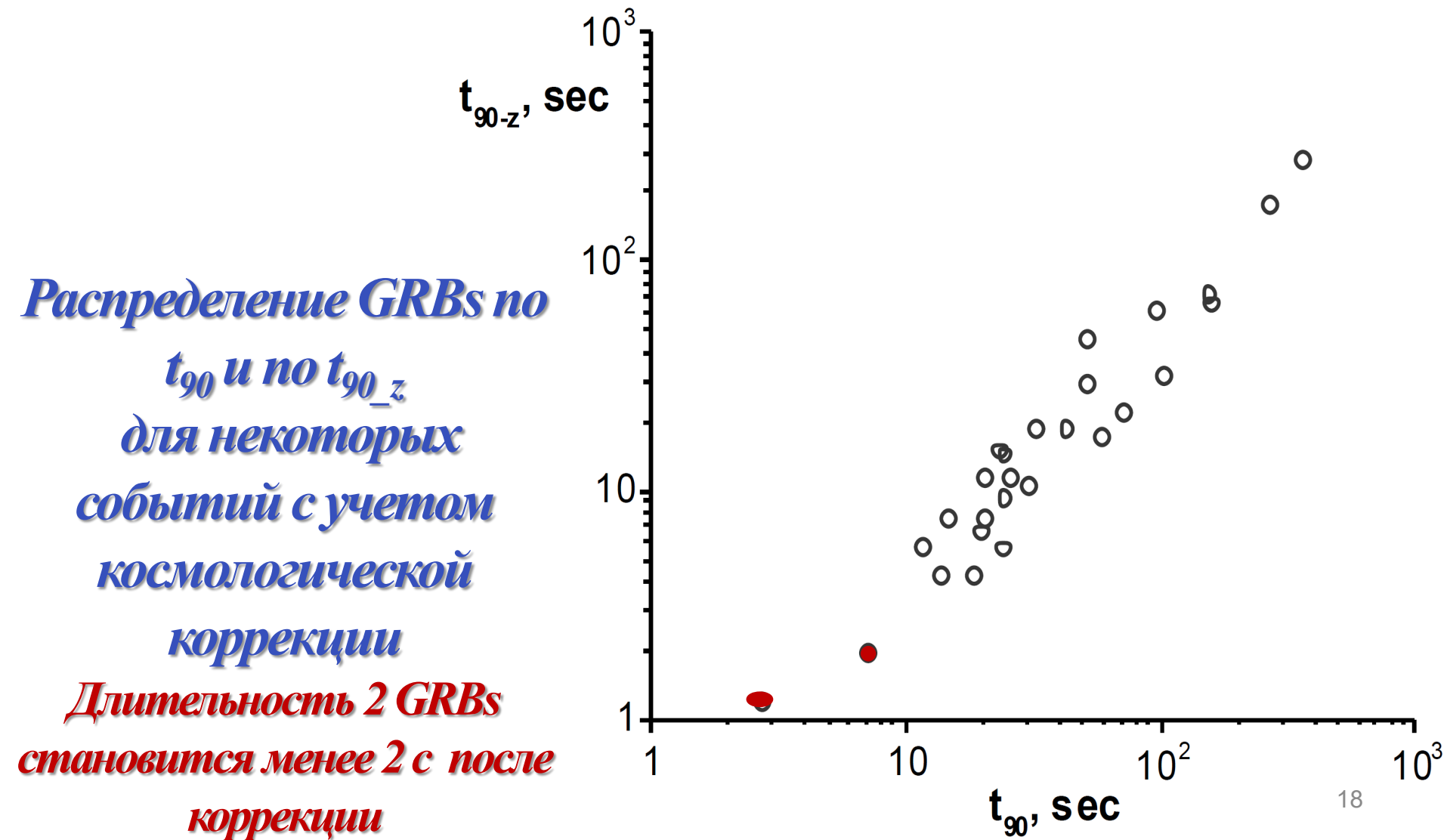
различное поведение временных профилей в разных энергетических диапазонах

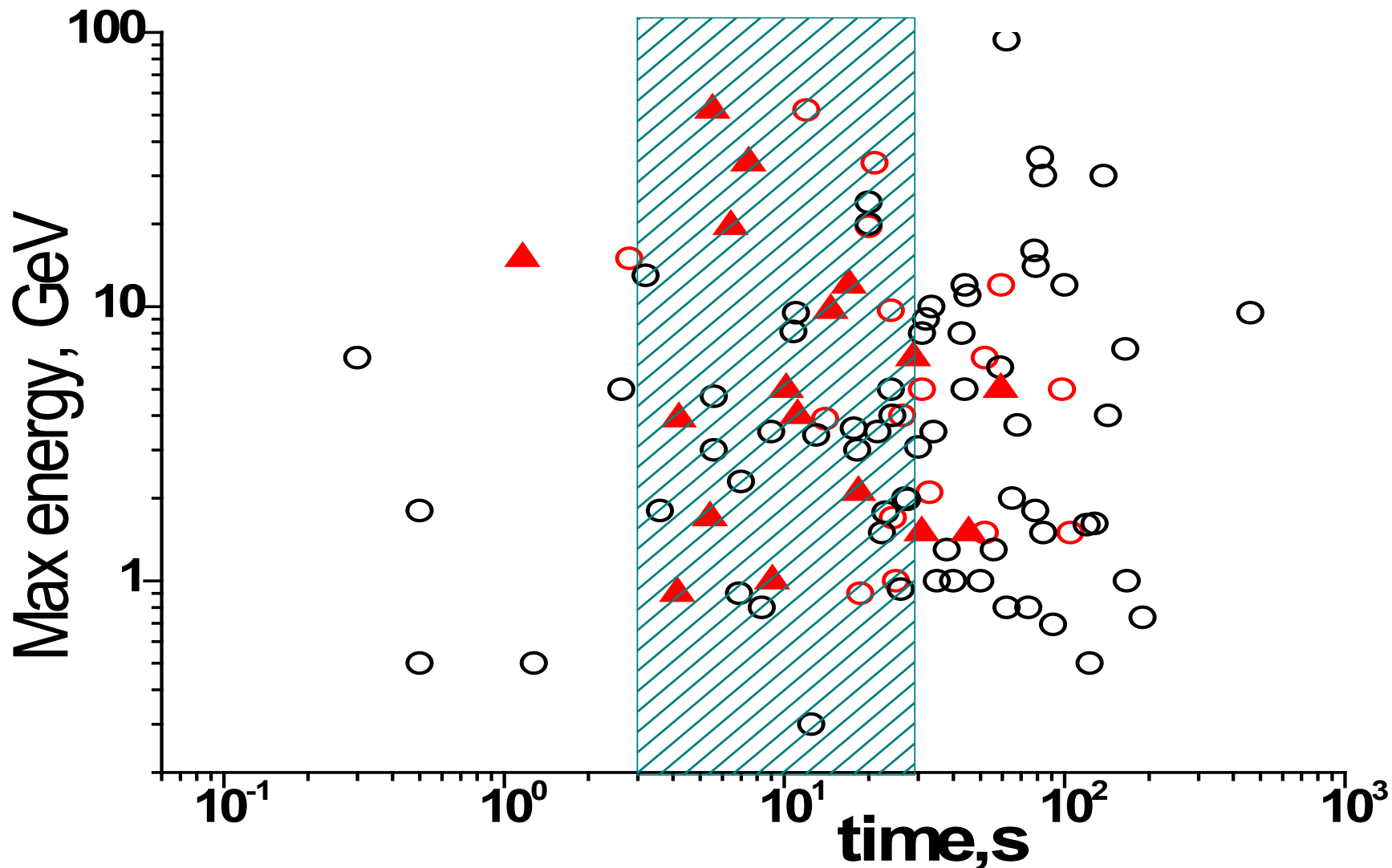
отсутствие явной эволюции от жесткого спектра к мягкому
высокоэнергетические предвестники ?

низкоэнергетические предвестники ?

предвестники в широком диапазоне

Но большинство источников GRBs - космологическое происхождение – см. Соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs



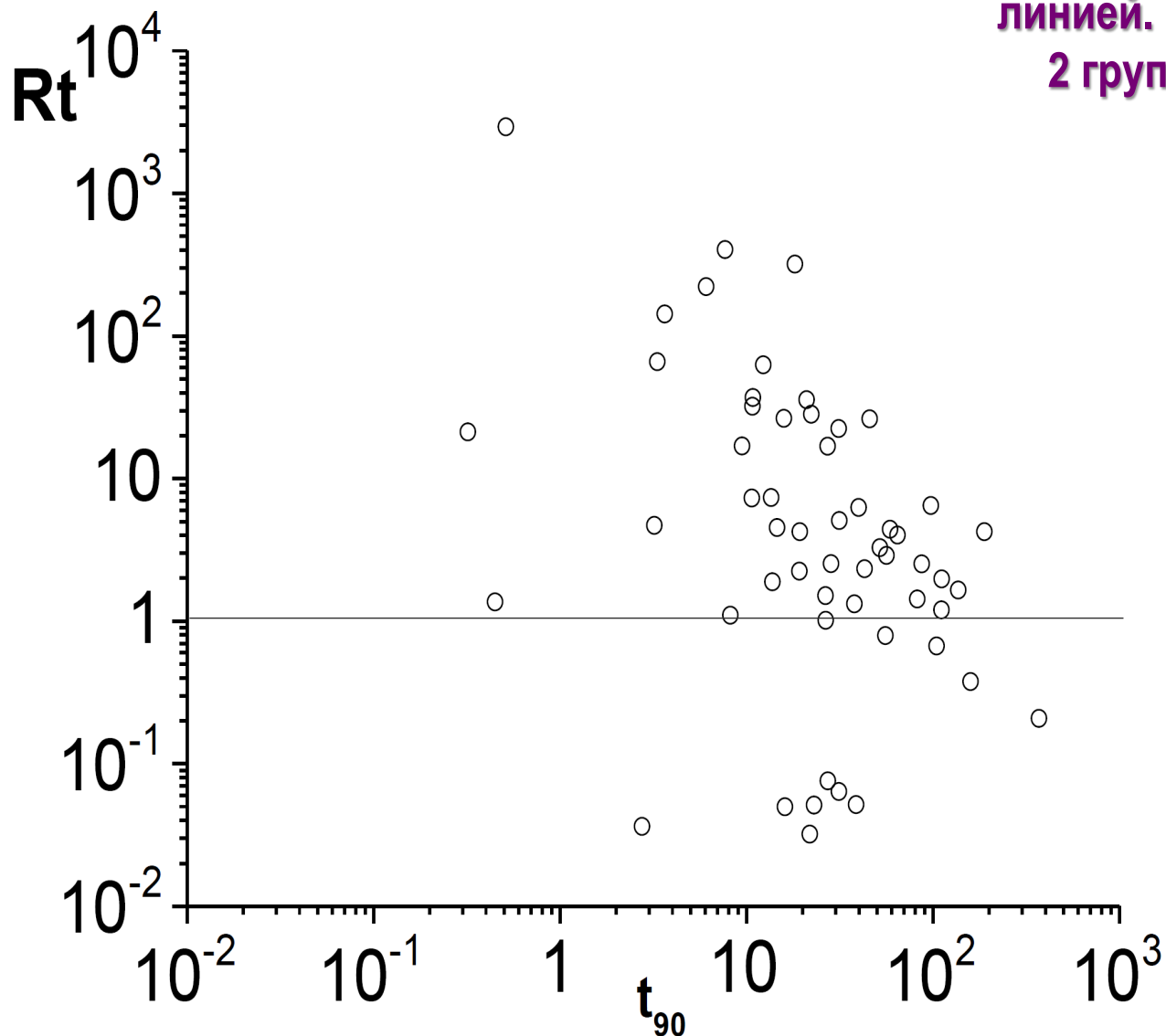


Распределение GRBs , зарегистрированных LAT, по длительности и максимальной зарегистрированной энергии (отмечены кругами). **Красные круги** показывают всплески с известным красным смещением и **красные треугольники** показывают длительность этих событий t_{90_z} с учетом космологической коррекции, после чего большая часть событий оказывается в интервале $2 \text{ с} < t_{90} < 30 \text{ с}$

К сожалению, z известно для источников менее 50% GRBs, зарегистрированных LAT.

Вводится новый параметр R_t в как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Значение $R_t=1$ показано

линией. Возможно также выделить 2 группы событий, разделенных по этому признаку.



Распределен
ие GRBs,
зарегистриро
ванных LAT,
по R_t и t_{90} 20

Detectors 0 & 3

7 keV - 1 MeV

*Время прихода
γ-кванта с
максимальной
энергией*

**длительность высокоэнергетического
излучения меньше, чем t_{90}**

GRB160509

Count rate (counts/sec)

15000

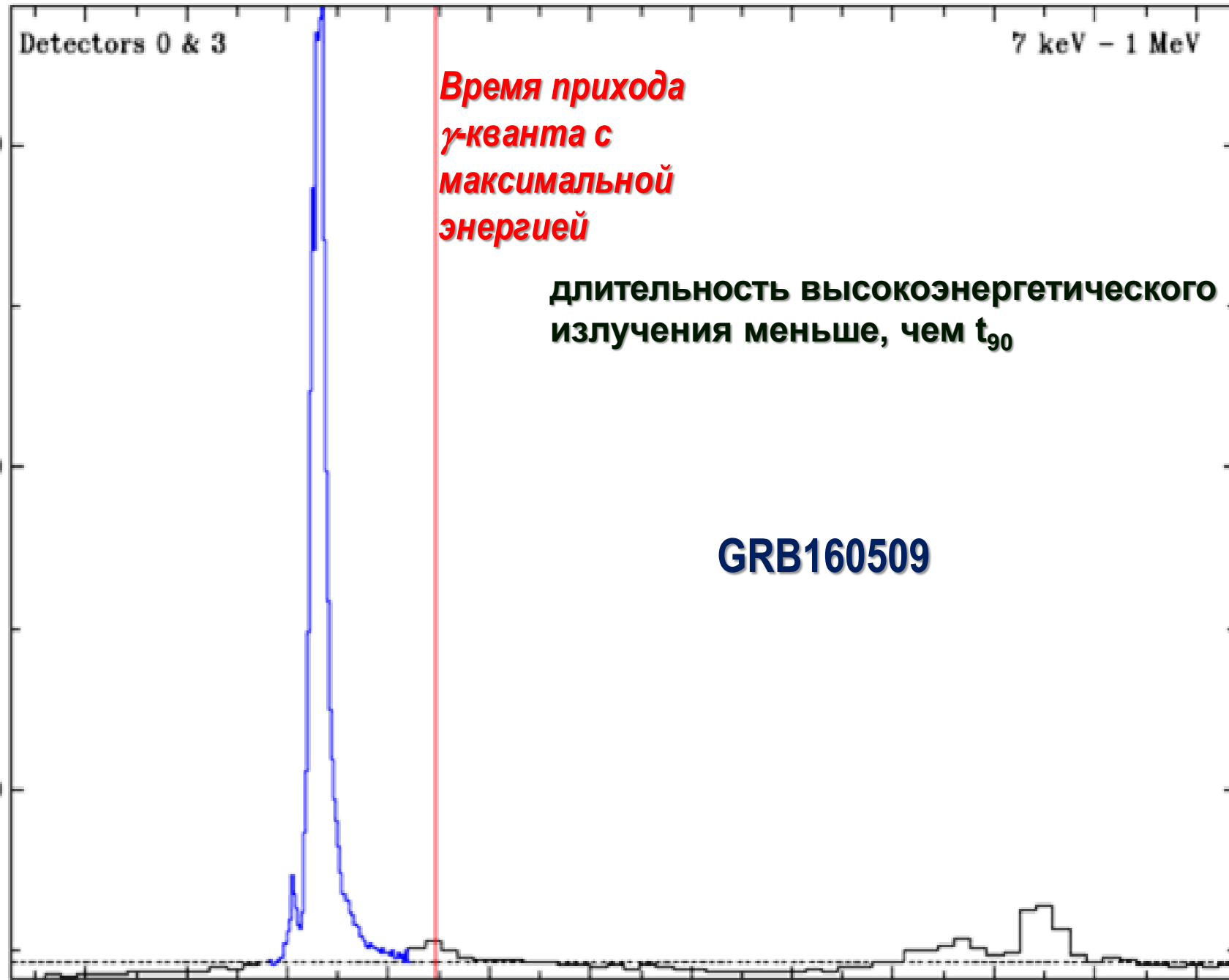
10000

5000

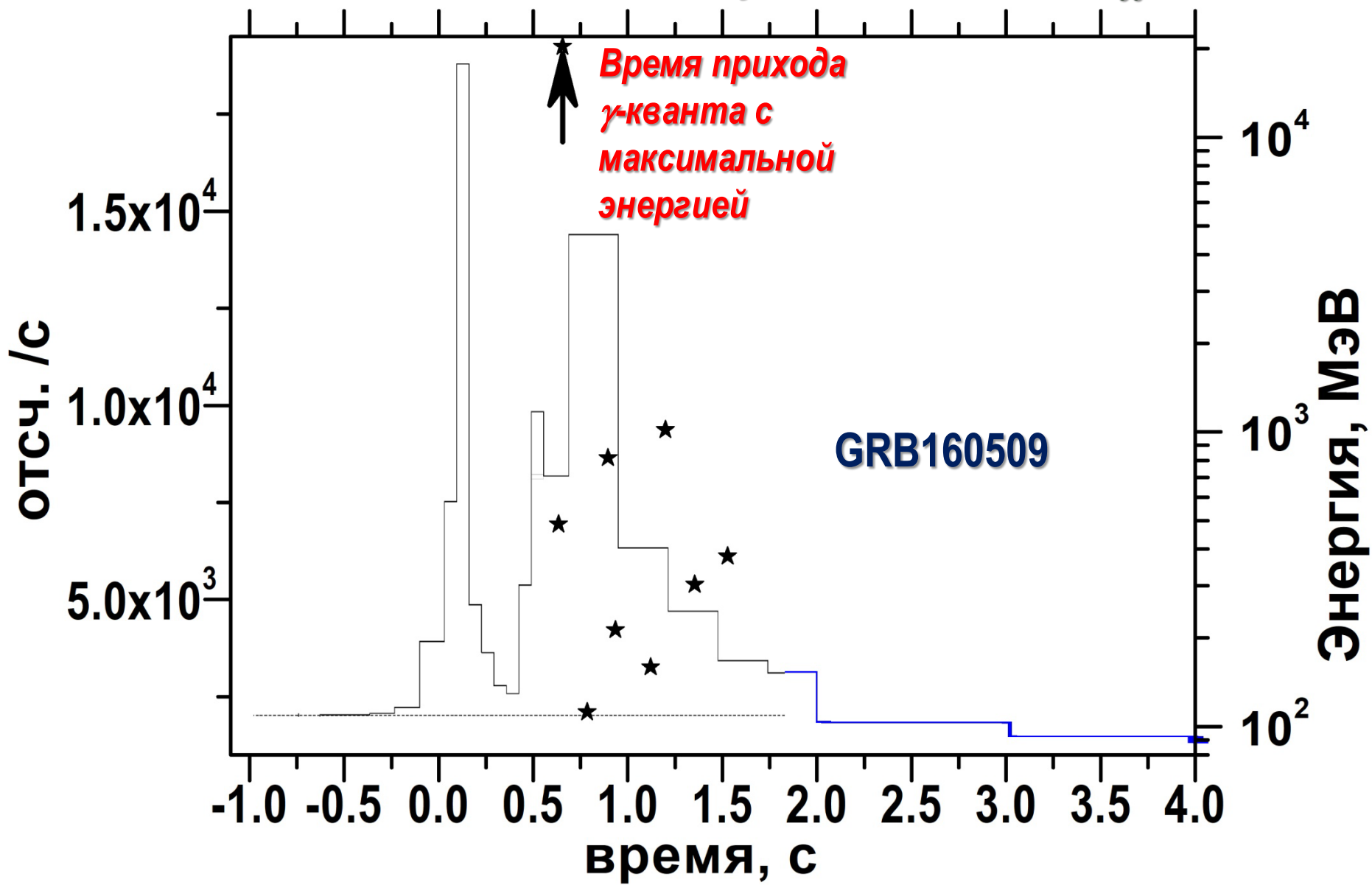
6)

-100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350 400 450

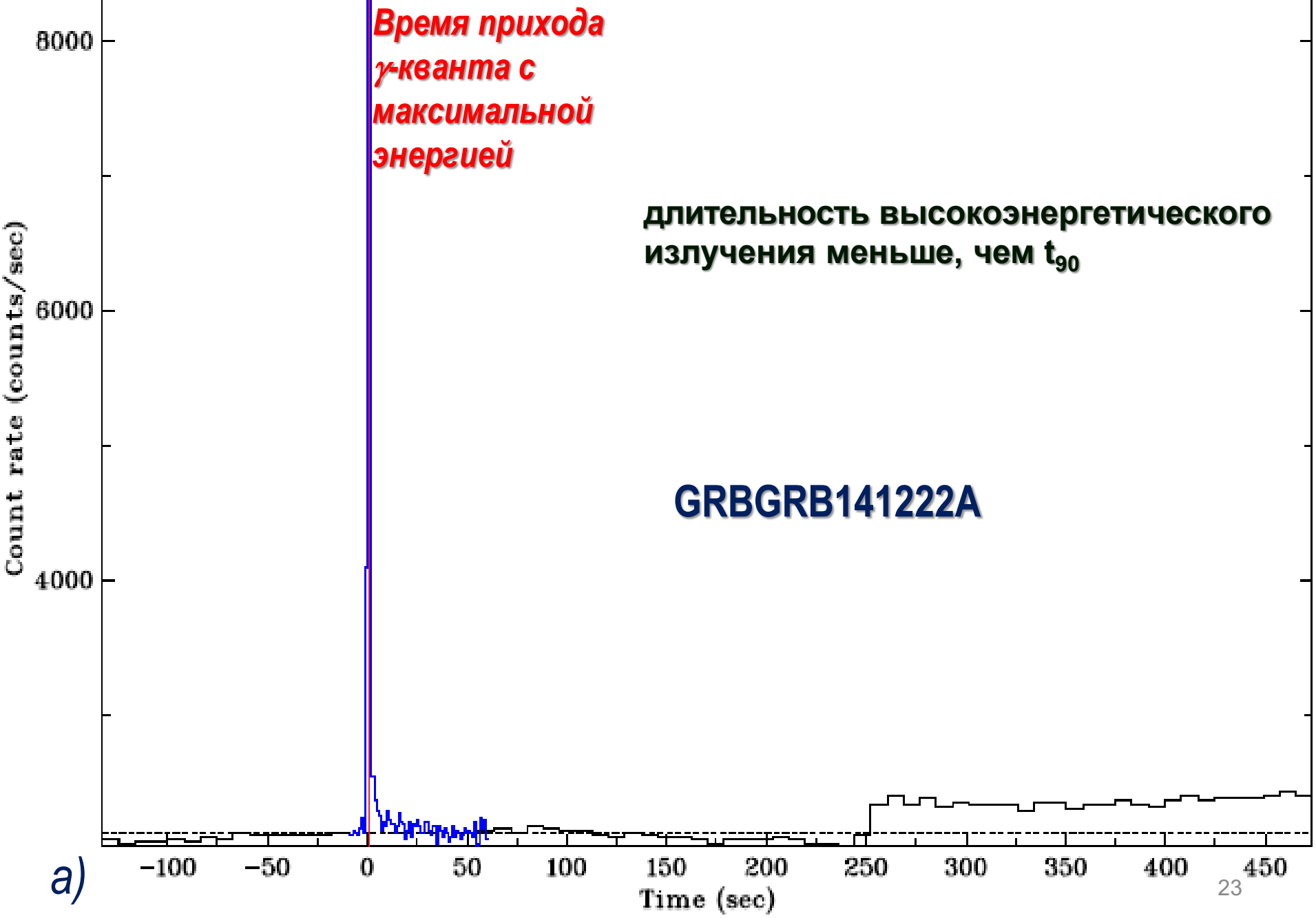
Time (sec)



длительность высокоэнергетического
излучения меньше, чем t_{90}

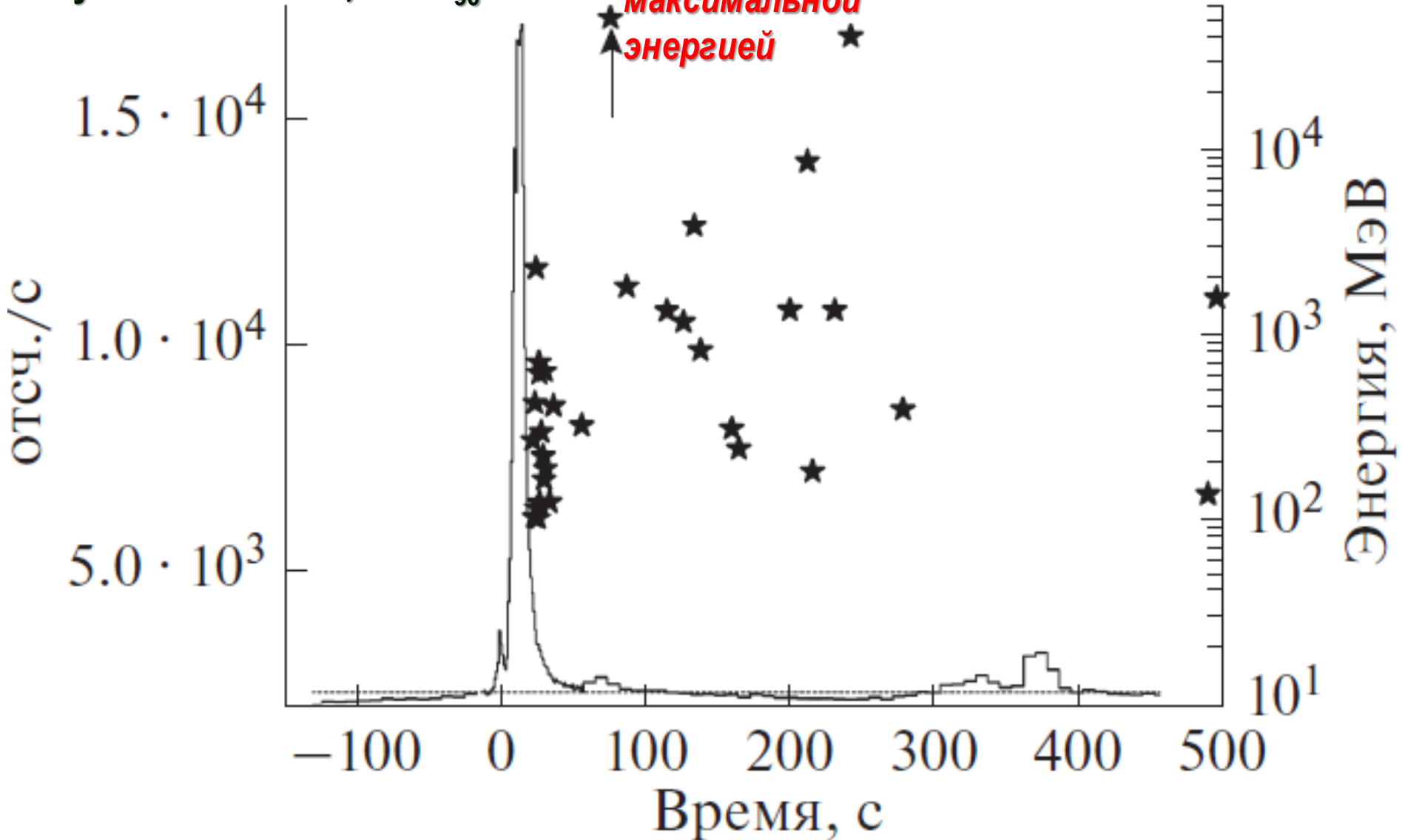


б)



длительность
высокоэнергетического
излучения меньше, чем t_{90}

*Время прихода
 γ -кванта с
максимальной
энергией*



Detectors 4 & 5
GRBGRB131018B

длительность
высокоэнергетического
излучения больше,
чем t_{90}

*Время прихода
 γ -кванта с
максимальной
энергией*

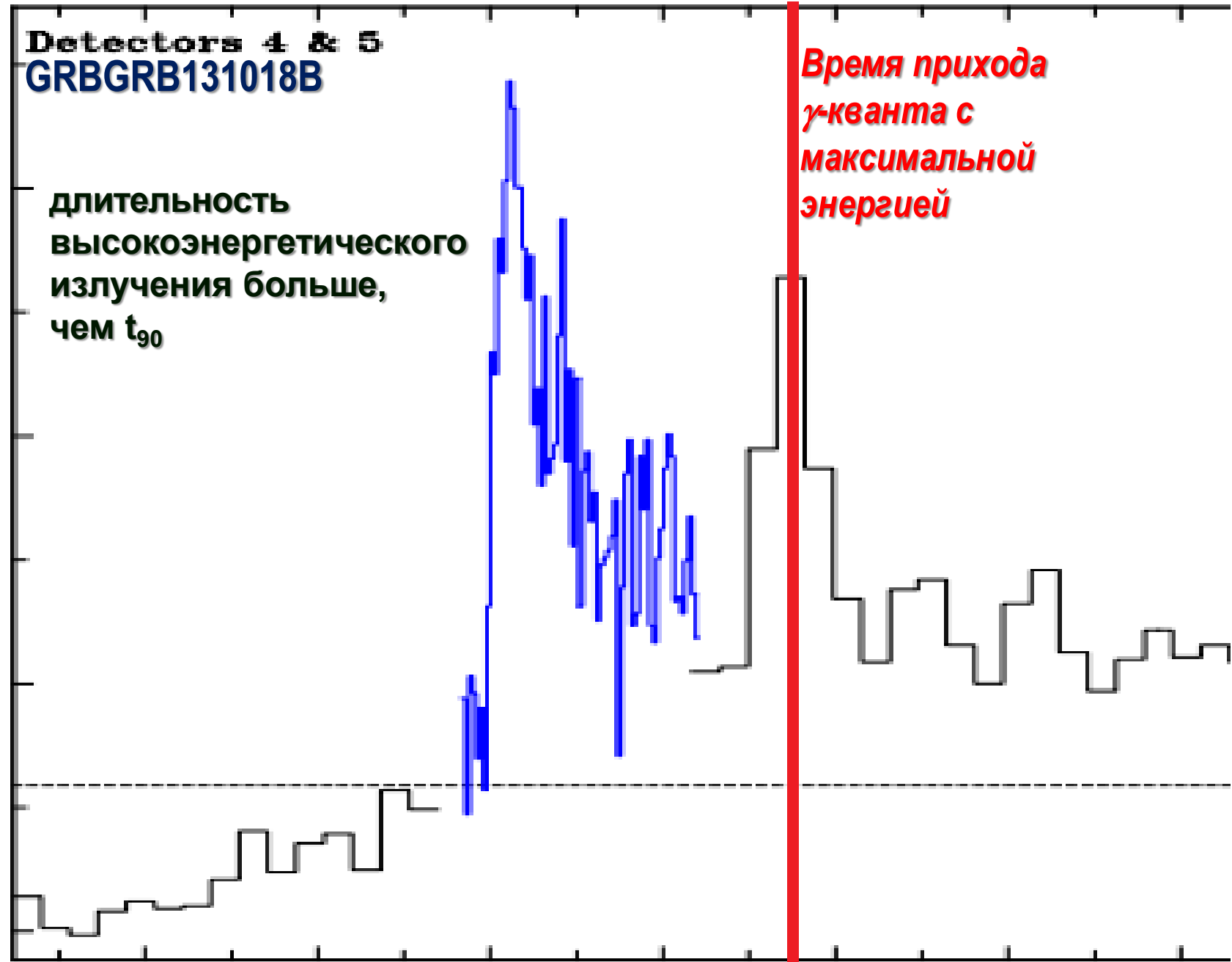
Count rate (counts/sec)

c)

1200
1100
1000
900

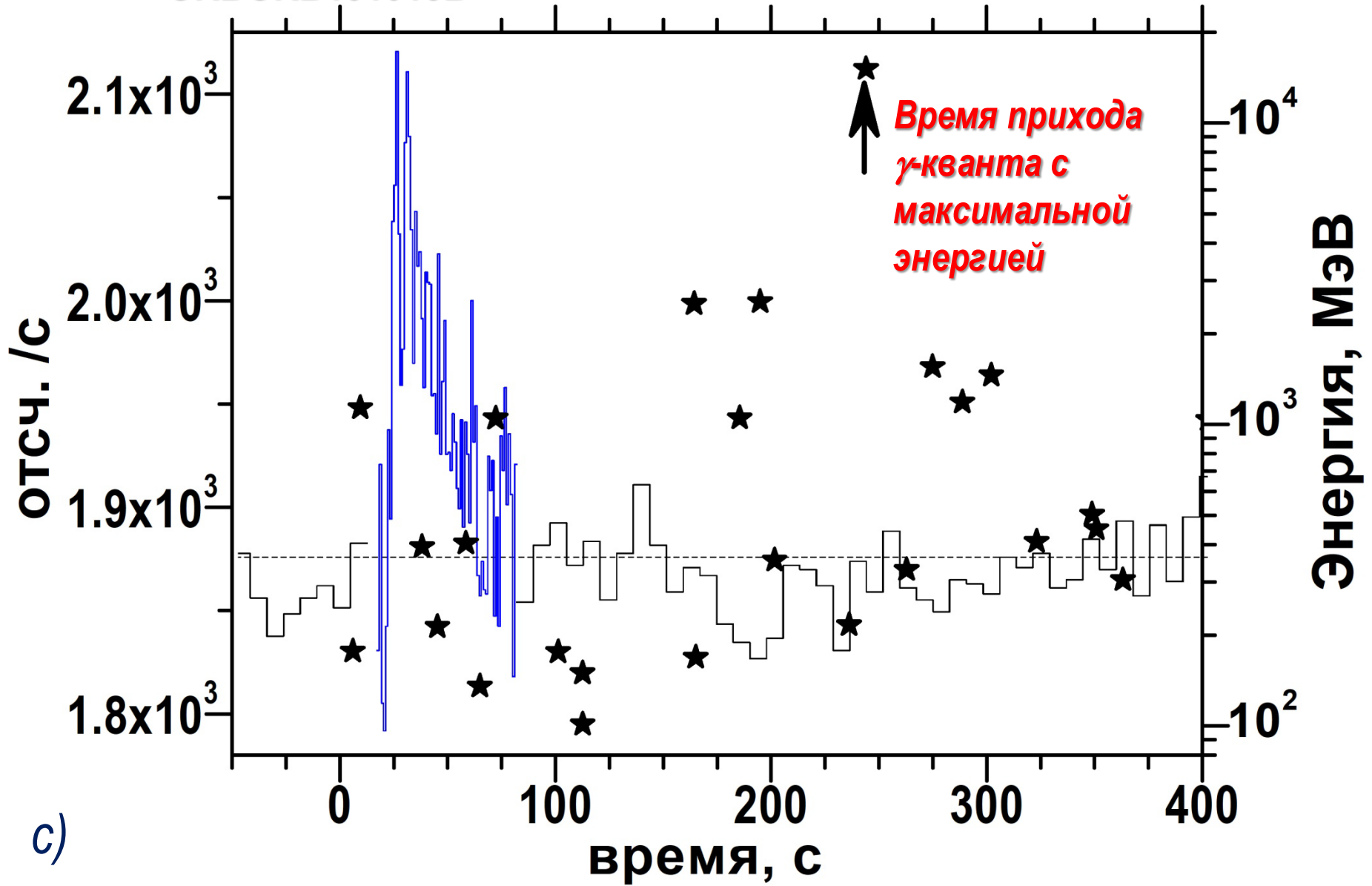
-100 -50 0 50 100 150 200

Time (sec)



GRBGRB131018B

длительность высокоэнергетического
излучения больше, чем t_{90}



c)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несколько тысяч гамма-всплесков зарегистрировано в настоящее время по данным более 40 спутниковых и наземных экспериментов. Во время некоторых GRBs были зарегистрированы γ -кванты очень высоких энергий как в космических, так и в наземных экспериментах (до нескольких десятков ГэВ и до нескольких ТэВ соответственно). Например, GRB 190114C зарегистрирован Fermi и MAGIC в очень широком энергетическом диапазоне вплоть до субТэВной области.

В настоящее время зарегистрировано высокоэнергетическое γ -излучение послесвечение как длинных, так и коротких GRBs, но фотоны в области $E > 0.1 \text{ TeV}$ обычно наблюдаются во время длинных GRBs (в настоящее время зарегистрирован только 1 такой короткий всплеск).

Большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение, соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs. Новый параметр R_t вводится в представленной работе как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как минимум 2 группы длинных GRBs выделяются при использовании параметра R_t : для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события t_{90} , но для остальных 75% событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после его окончания.

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков.

- 1) длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} ,
- 2) длительность высокоэнергетического излучения больше, чем t_{90} :
 - а) фотон с максимальной энергией был зарегистрирован в пределах t_{90} ,
 - б) такой γ -квант наблюдался существенно позже t_{90} .

Таким образом, результаты предварительного анализа позволяют сделать вывод о неоднородности популяции источников длинных GRBs.

Спасибо за внимание!