

***ЖЕСТКОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ
СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО
ДАНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ГАММА-1, АВС-Ф/КОРОНАС-Ф,
НАТАЛЬЯ-2М/ФОТОН и LAT/Fermi***

*И.В. Архангельская (I. V. Arkhangelskaya@merphi.ru) ,
А.И. Архангельский, М. Г. Коротков, Ю. Т. Юркин*

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

Жесткое γ -излучение солнечных вспышек

может возникать несколько видов жесткого гамма-излучения различной длительности по отношению к продолжительности низкоэнергетического рентгеновского излучения

➤ **фотоны высоких энергий могут генерироваться во время быстрой фазы, длительность излучения будет сравнима в пределах погрешностей в различных диапазонах (prompt emission).**

Жесткое γ -излучение солнечных вспышек

- **Задержанное (delayed) на $\Delta t \sim$ несколько мин \div несколько десятков мин относительно окончания быстрой фазы низкоэнергетического рентгеновского излучения.**
- **Продленное (prompt delayed) начало жесткого γ и низкоэнергетического рентгеновского излучения совпадает, но продолжительность γ существенно больше, чем длительность быстрой фазы.**

SF: $100 \text{ МэВ} < E_{\gamma} < 140 \text{ МэВ} \leftarrow \text{GRS/SMM}$

21 июня 1980 г. (GOES класс X2)

3 июня 1982 г. (GOES класс X8)

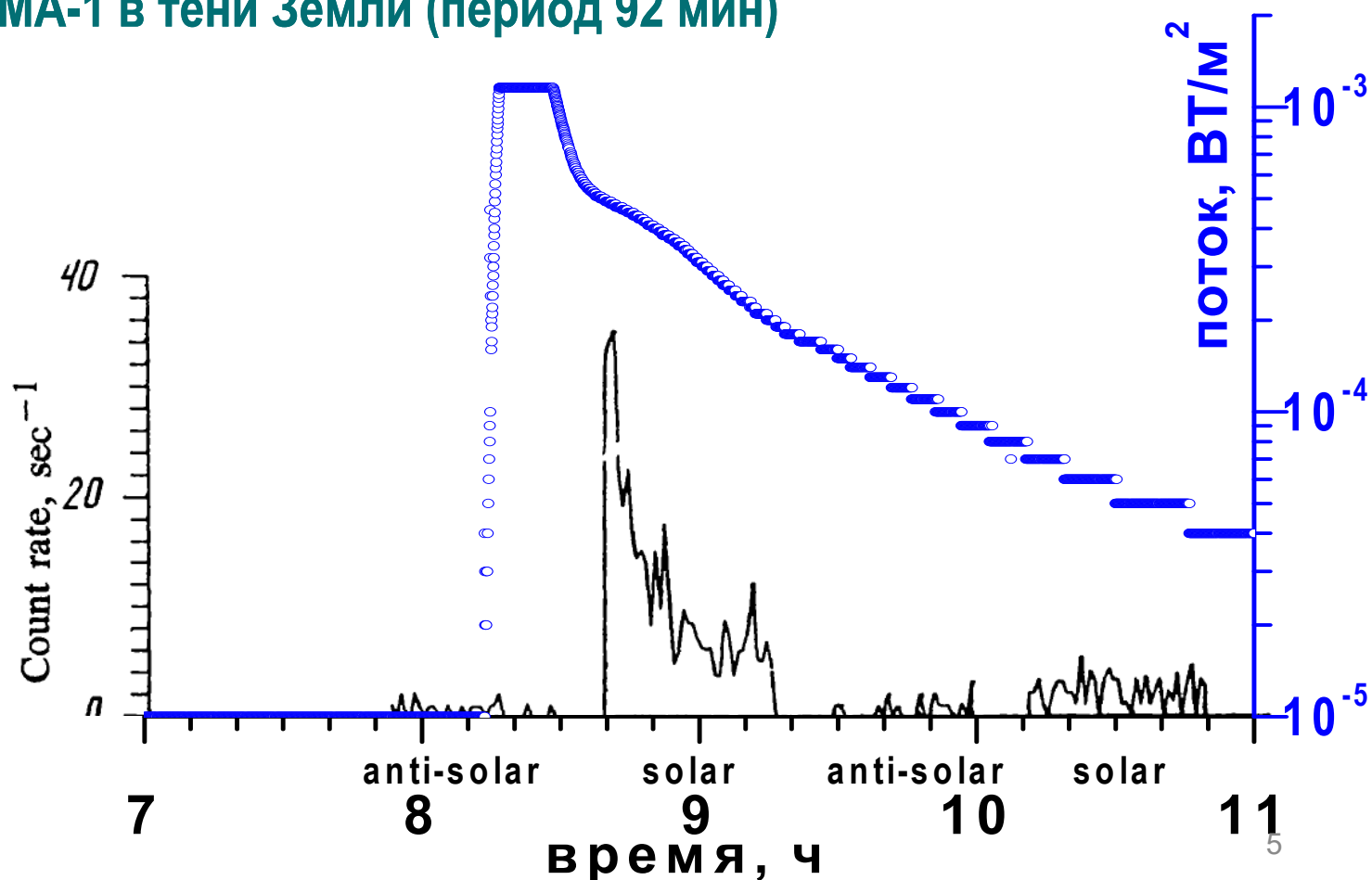
Впервые жесткие гамма-кванты в диапазоне $E \sim 2$ ГэВ были зарегистрированы гамма-телескопом ГАММА-1 в 1991 г от вспышек 26.03 (GOES класс X4.7) и 15.06 (GOES класс X12).

Прибором COMPTEL/CGRO было зарегистрировано несколько подобных событий с энергией $E > 1$ ГэВ в период 5.04.1991–4.06.2000.

15 июня 1991 (8:10:UT) *GOES class X12*

Prompt γ ? ГАММА-1 в тени Земли (период 92 мин)

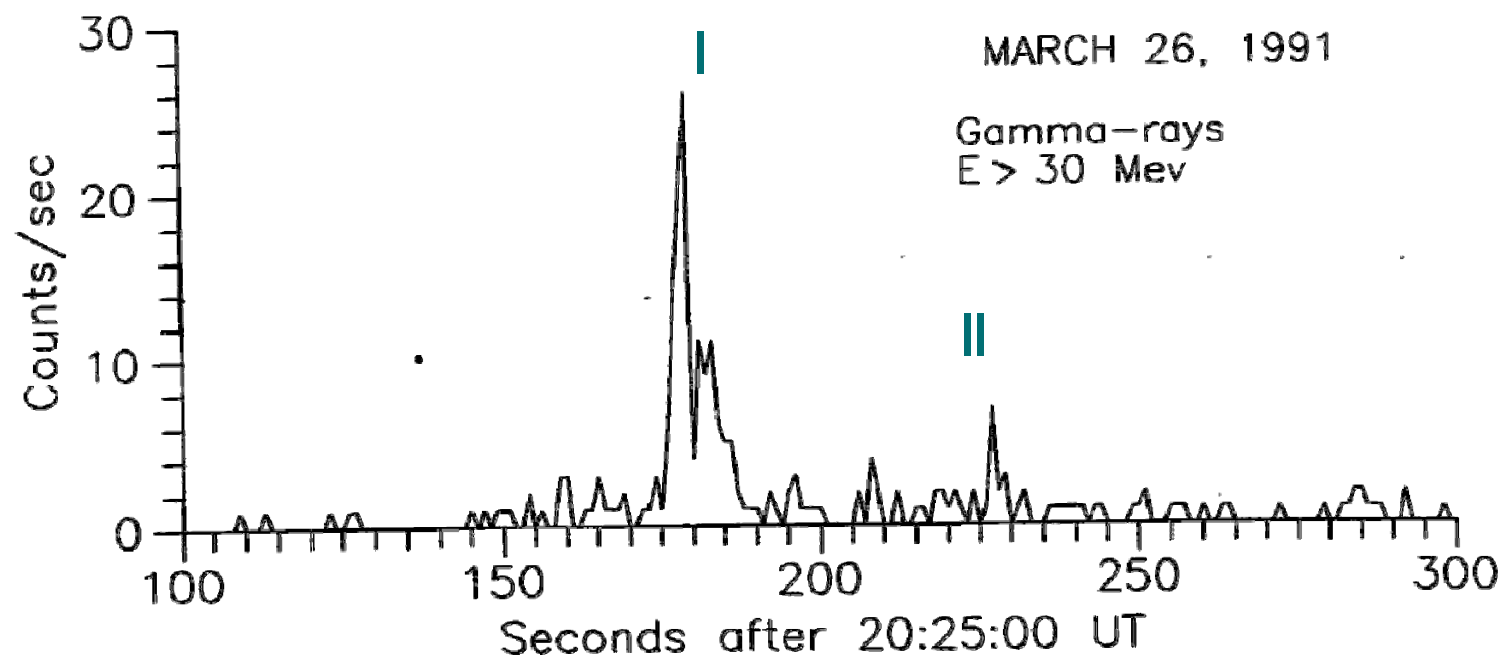
Delayed –
наблюдалось
ГАММА-1
С 8:37:22 ...
16 γ в
интервале
1-2 ГэВ
На 2 витке
в 10:09
тоже
наблюдалось
превышение
над фоном



26 марта 1991 (20:26:UT) GOES class X4.7

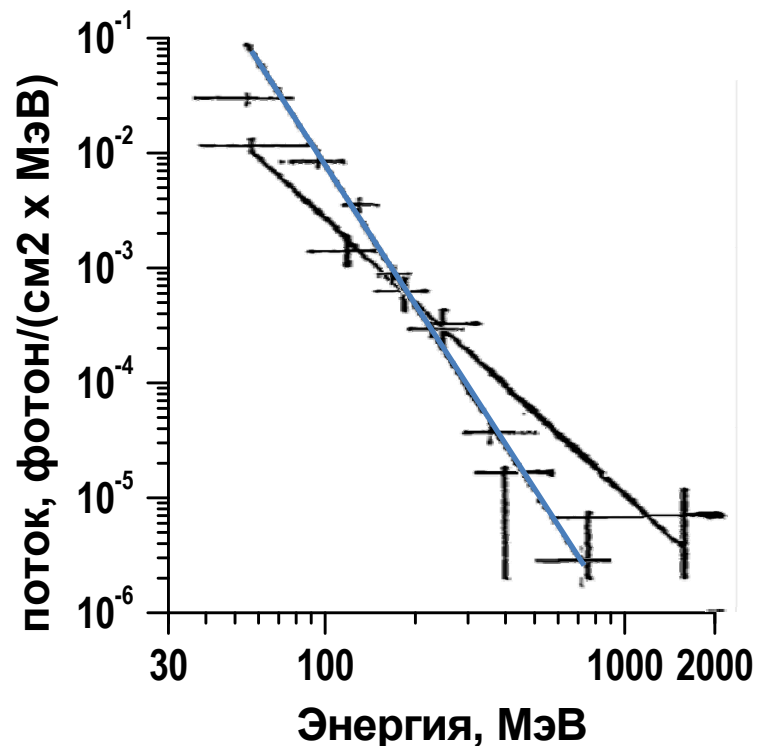
Prompt γ 200 МэВ > E > 30 МэВ

ГАММА-1



Энергетические спектры вспышек 26 марта 1991 и 15 июня 1991 по данным ГАММА-1

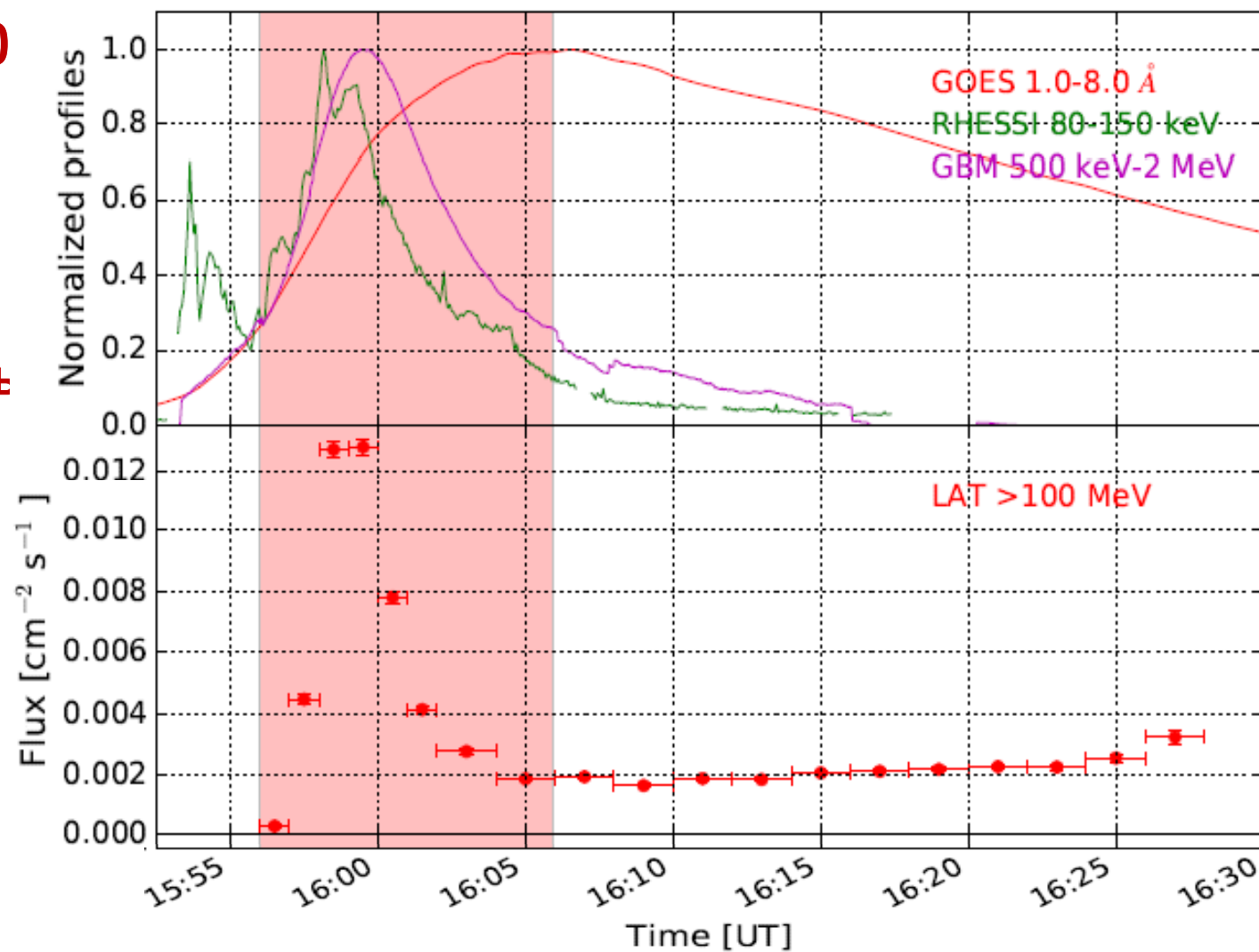
нет линии от нейтральных пионов



В настоящее время быстрое и задержанное гамма-излучение
наблюдалось прибором Fermi/LAT в диапазоне $E > 100$ МэВ
от некоторых вспышек класса X

2017 September 10
GOES X8.2 -class
Prompt γ
Fermi/LAT

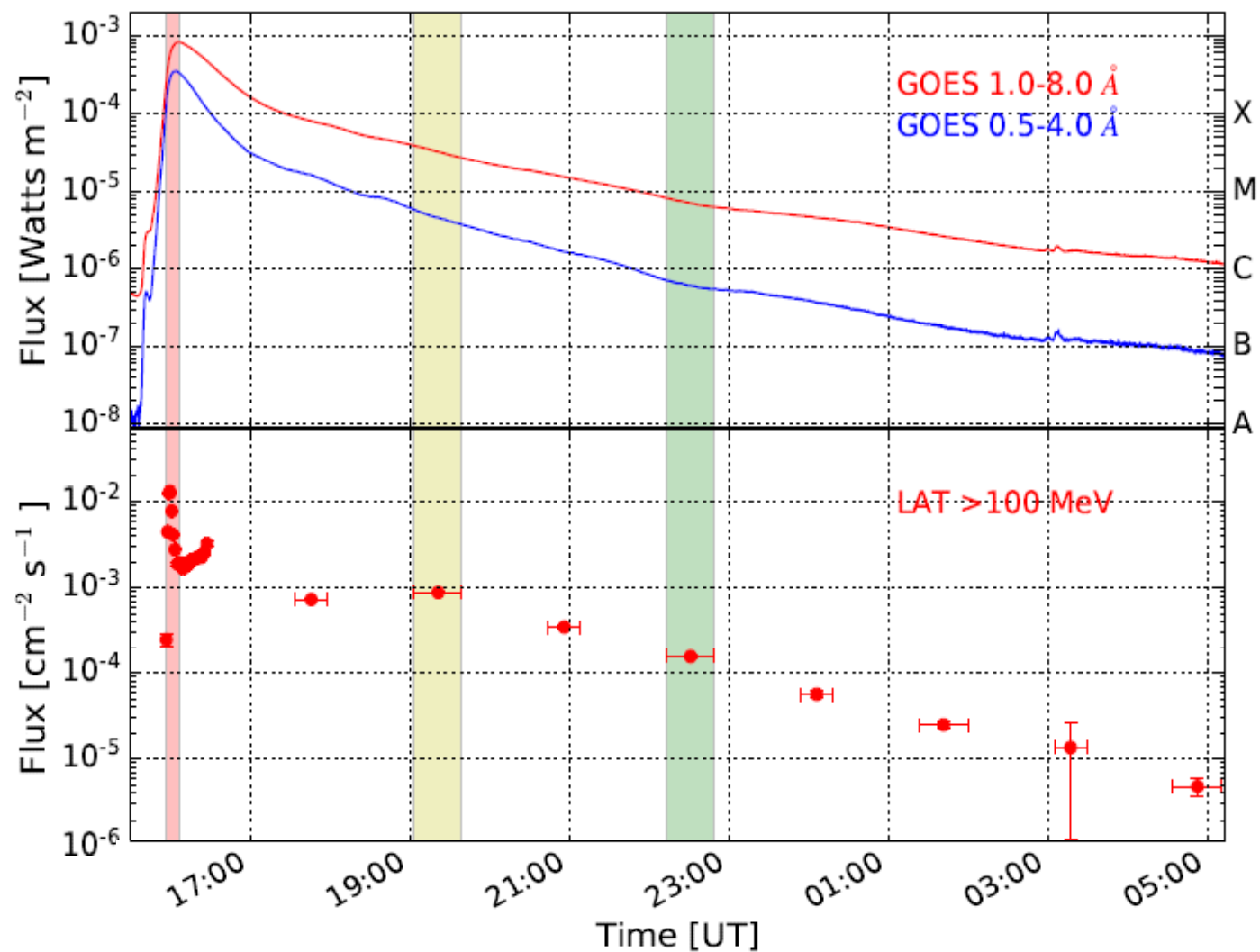
Delayed γ – длилось
на протяжении
нескольких часов



2017 September 10
GOES X8.2 -class

Prompt γ
Fermi/LAT

Delayed γ – длилось
на протяжении
нескольких часов



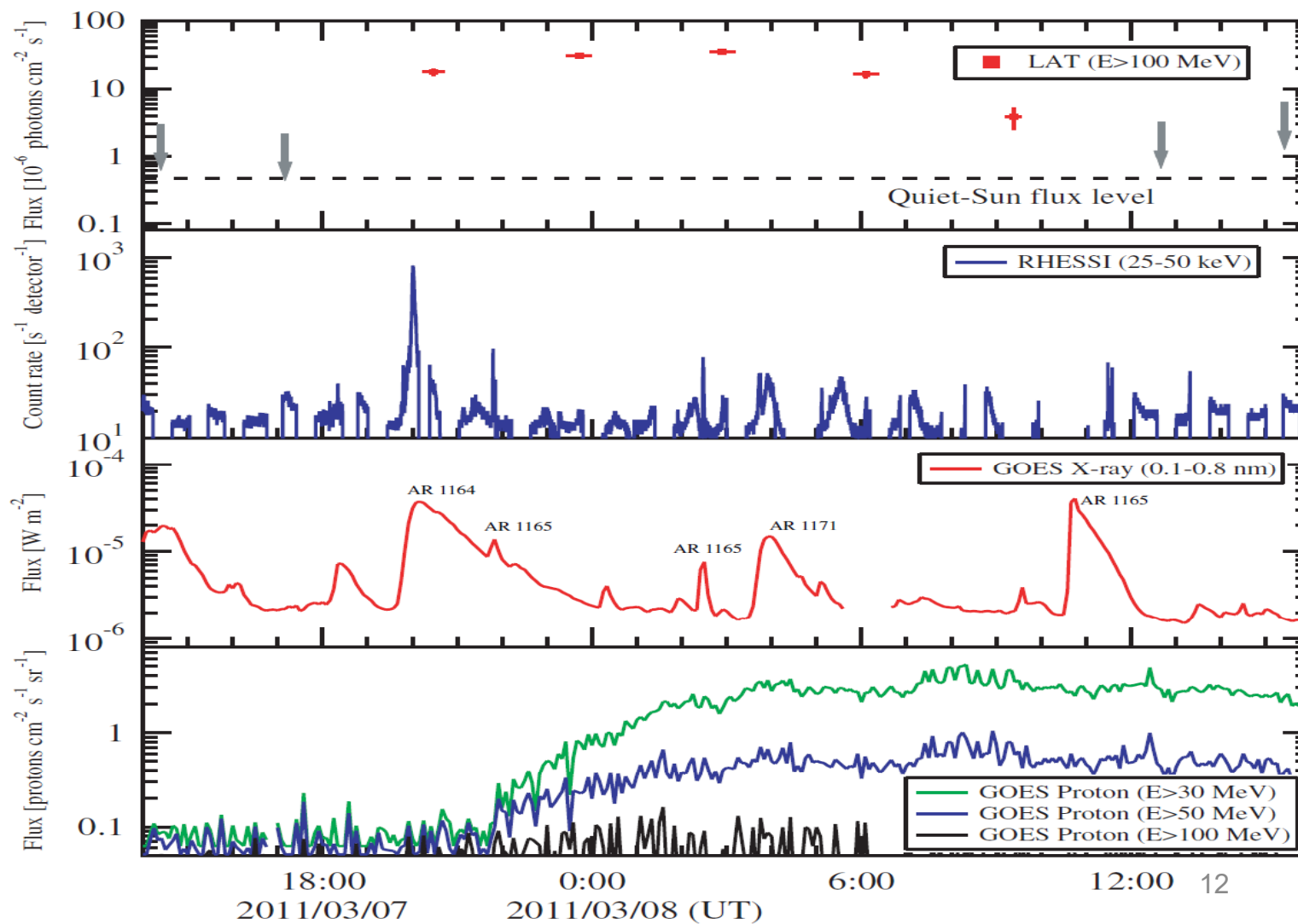
В настоящее время задержанное гамма-излучение
наблюдалось прибором Fermi/LAT в диапазоне $E > 100$ МэВ
от некоторых вспышек класса М

7.06.2011 (**GOES** класс M2.5)

7.03.2011 (**GOES** класс M3.7)

7.03.2011
(GOES
класс M3.7)

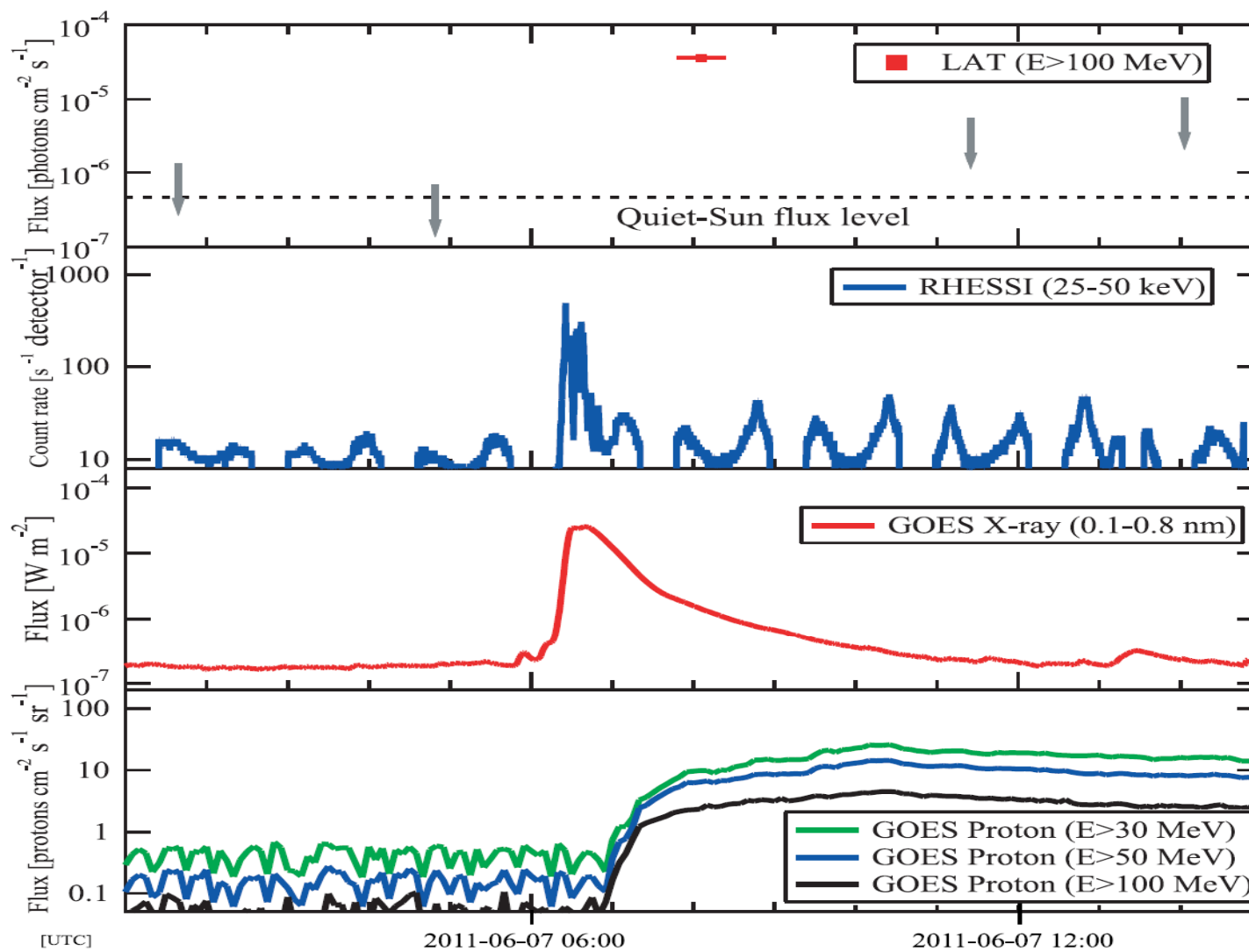
Delayed γ
SEP
No prompt



7.06.2011
(GOES
класс M2.5)

Delayed γ
SEP

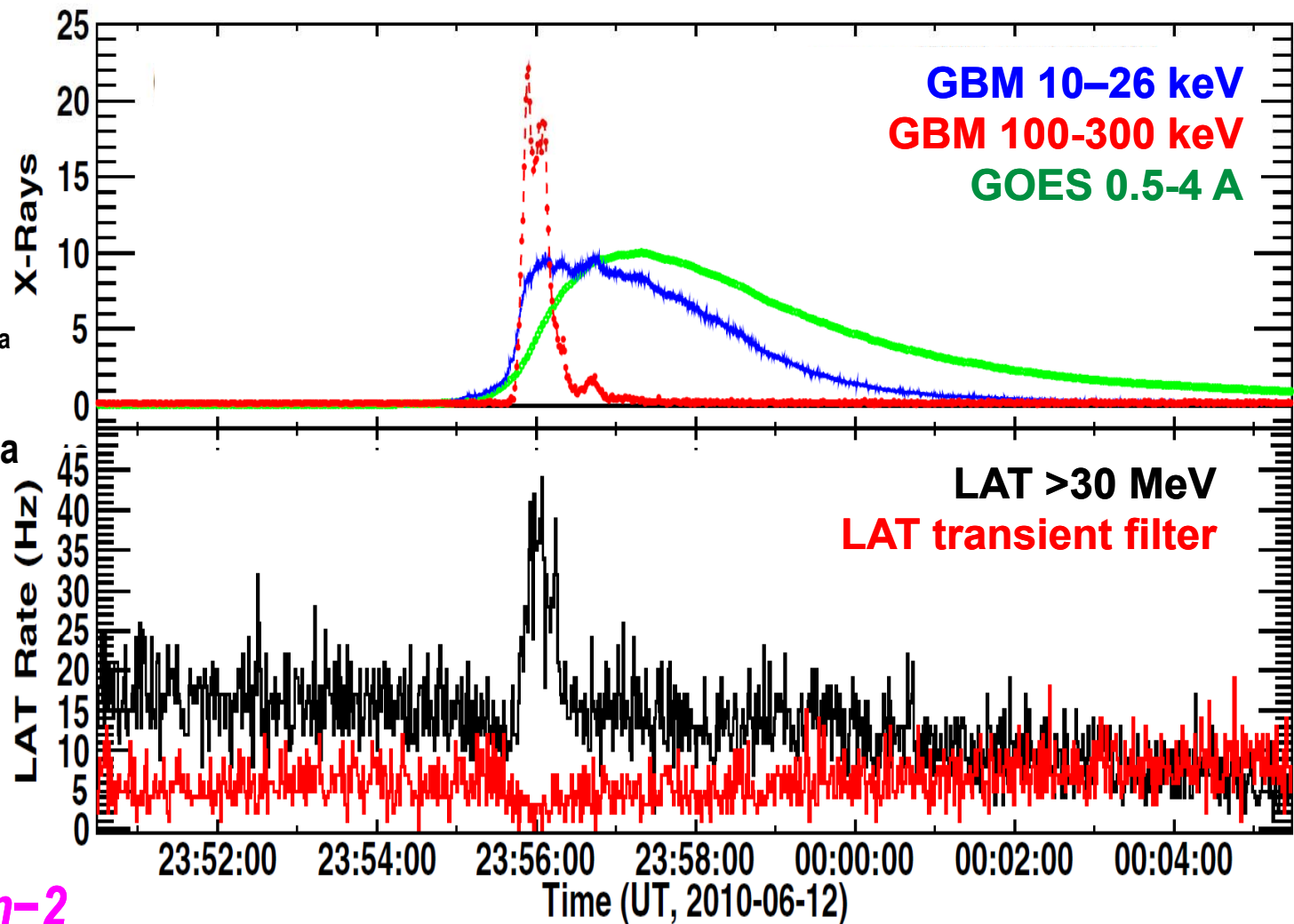
No prompt



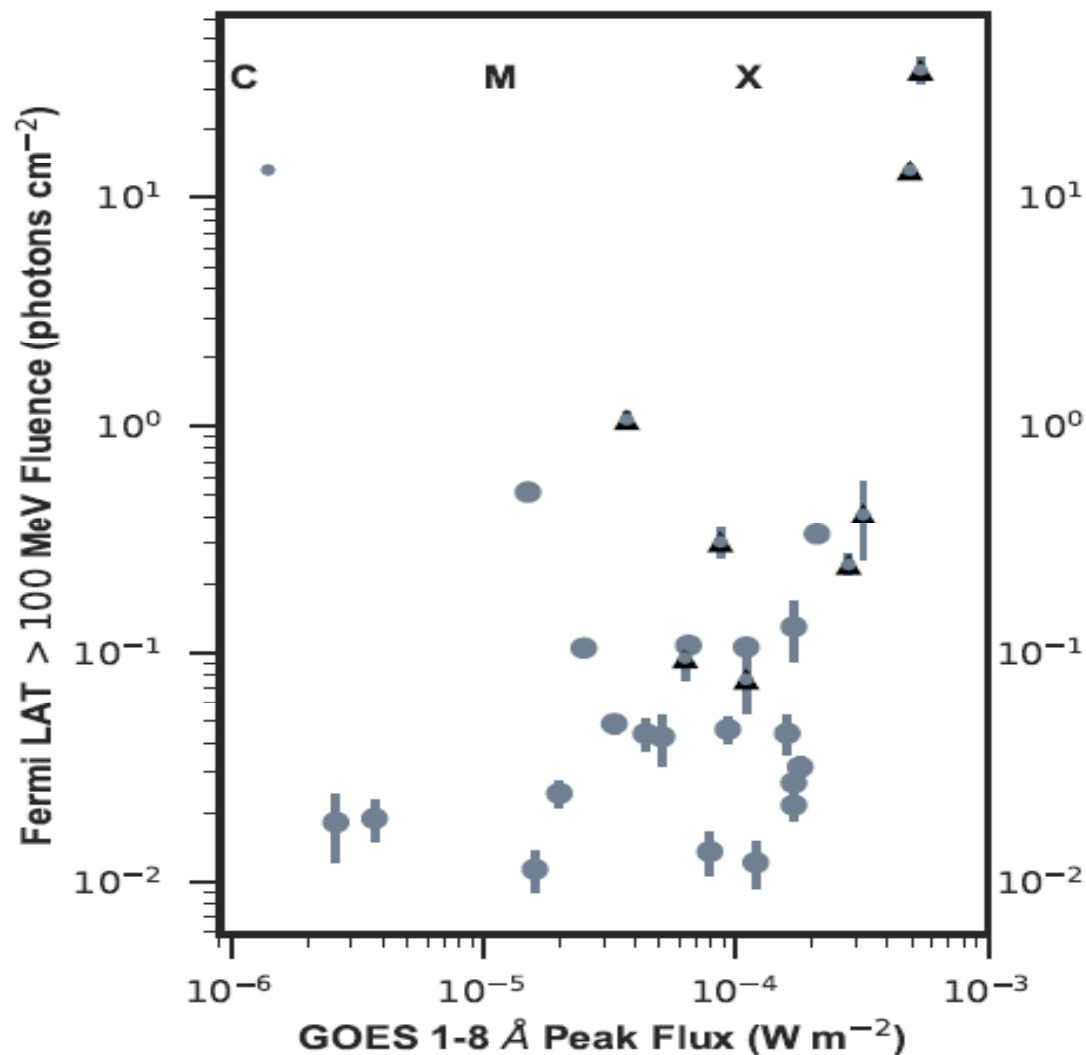
2010 June 12
GOES M2-class
Prompt γ
Fermi/LAT

0.511 MeV line fluence^a
 $11.3 \pm 2.5 \gamma \text{ cm}^{-2}$
2.223 MeV line fluence^a
 $21.3 \pm 2.0 \gamma \text{ cm}^{-2}$
Nuclear line fluence
 $23.5 \pm 2.5 \gamma \text{ cm}^{-2}$
Pion-decay fluence
(GBM) $> 200 \text{ keV}$
 $1.5 \pm 2.5 \gamma \text{ cm}^{-2}$

(LAT) $> 100 \text{ MeV}$
 $0.13 \pm 0.015 \gamma \text{ cm}^{-2}$



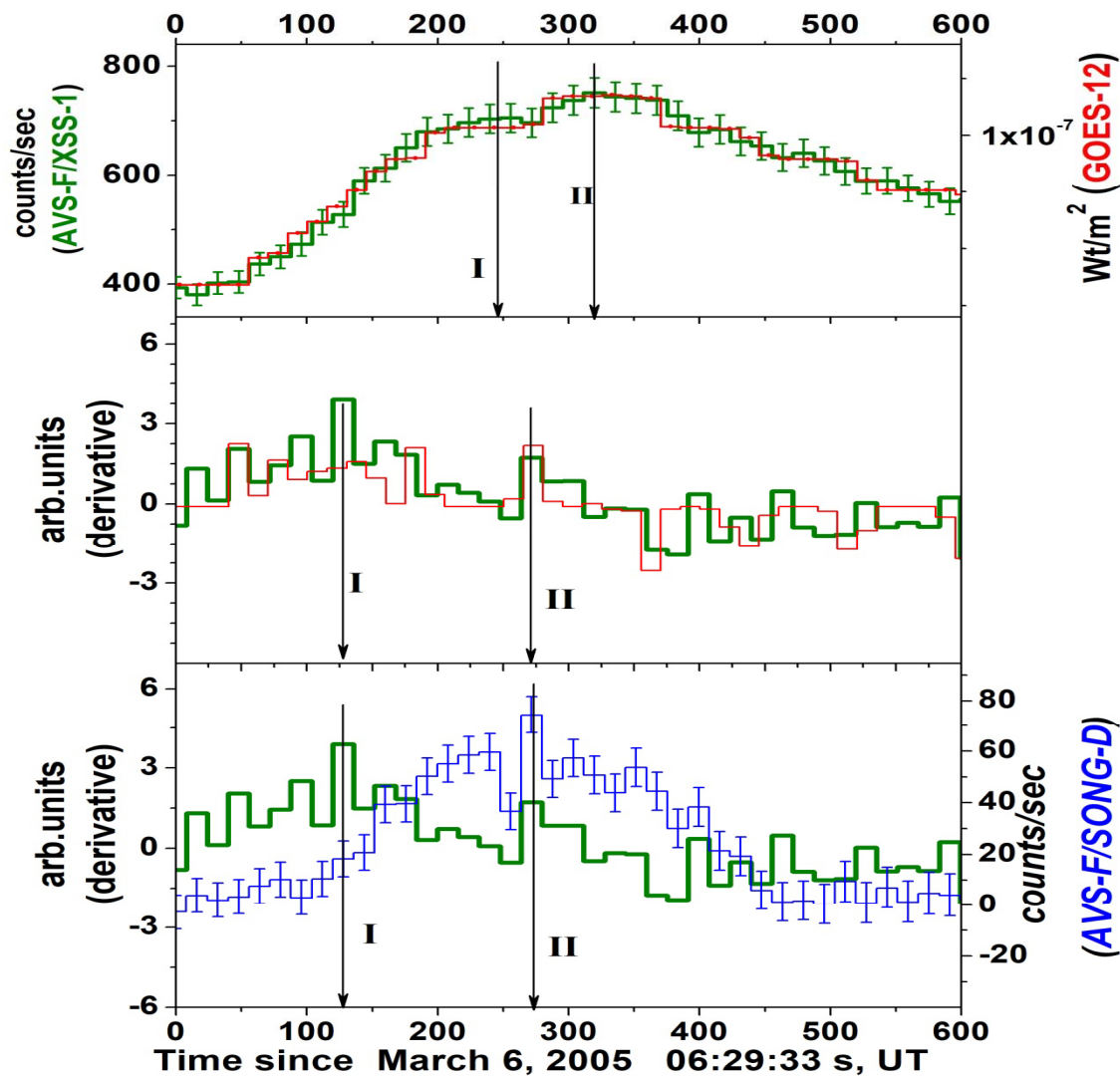
Не обнаружено
корреляции между
характеристиками
вспышек в
низкоэнергетическом
рентгеновском
диапазоне (классом
вспышки по GOES) и
интенсивностью
наблюдавшегося во
время вспышки γ -
излучения



Жесткое γ -излучение солнечных вспышек

- **γ -излучение от слабых солнечных вспышек (faint flares HE) - на начальной фазе вспышек классов В и С может возникать γ -излучение в диапазоне до ~ 40 МэВ**

Такое излучение впервые было обнаружено аппаратурой АВС-Ф/КОРОНАС-Ф во время некоторых слабых вспышек
Наблюдалось во время начальной фазы, можно классифицировать как prompt



06.05.2005

GOES class B1.0

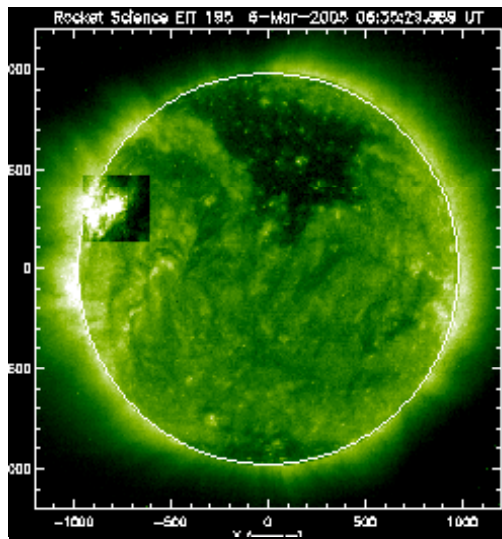
Временной профиль вспышки
по данным **AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**,
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

Эффект Ньюперта

Производная по данным
AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

Временной профиль вспышки
по данным **AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **AVC/СОНГ-Д (0.1 – 0.8 МэВ)**

Сложный профиль, 2 макс
Нет подобия в разных диапазонах



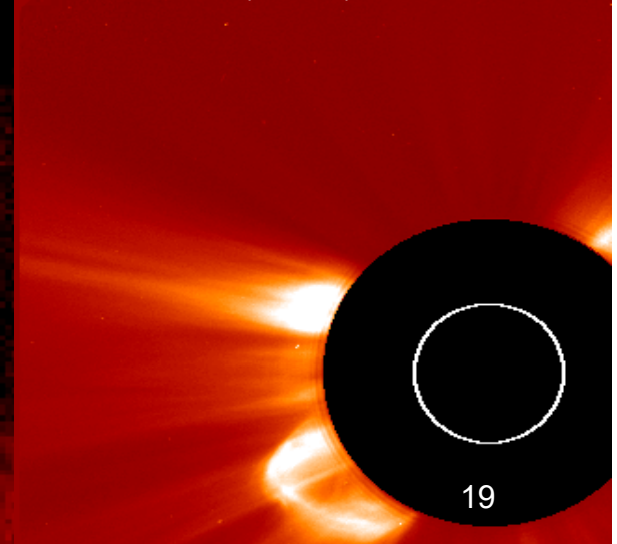
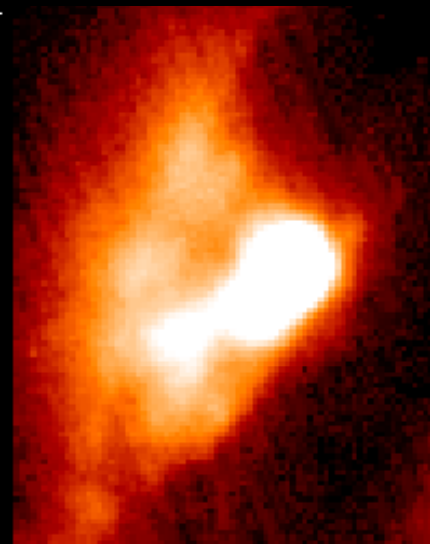
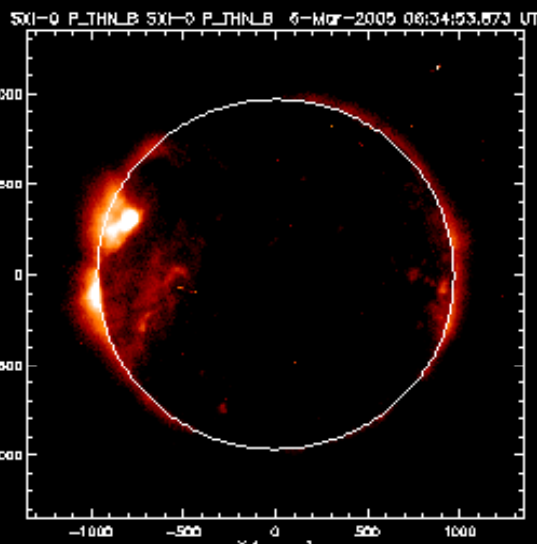
**SOHO-EIT
(195 A)**

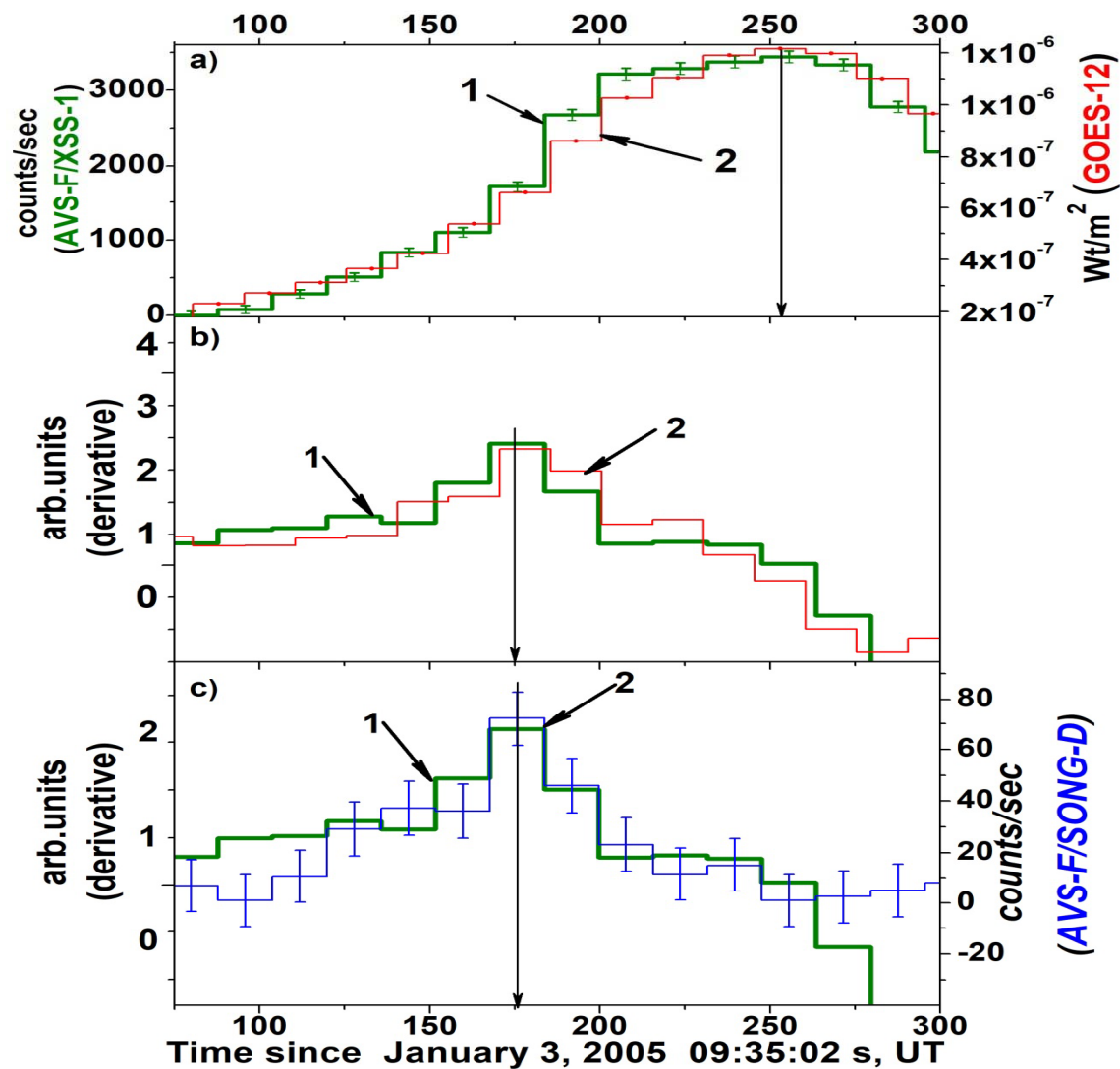
**Several faint flares
accompanied by CME:
06.03.05 B1.0
AR NOAA10741,**

**coordinates N14E56
06:30-0639, max 06:35**

C2 2005/03/06 06:30

**SXI-GOES12
(6-65A)**





03.01.2005

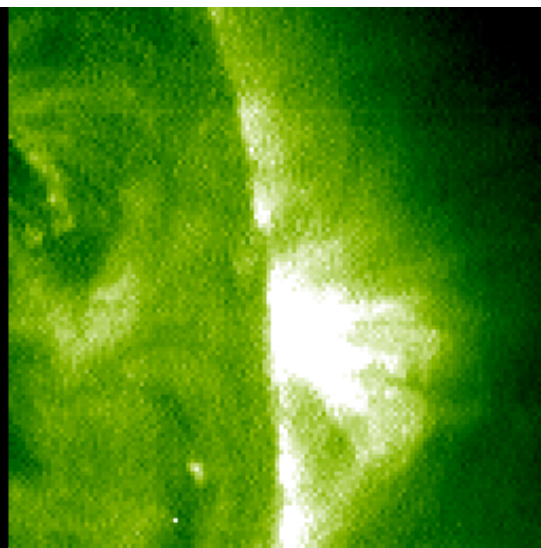
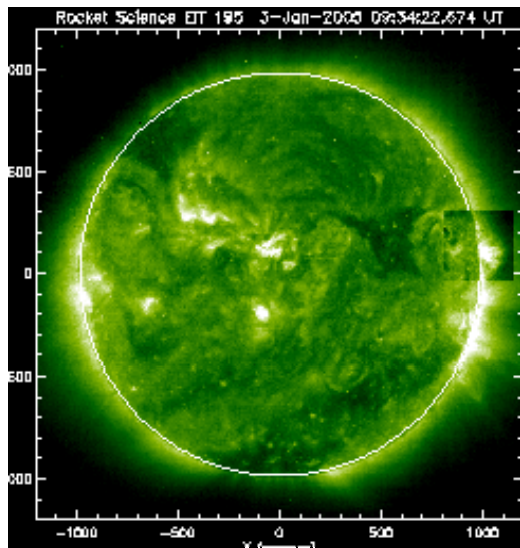
GOES class C1.1

Временной профиль вспышки
по данным **АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**,
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

! Эффект Ньюперта

Производная по данным
АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

Временной профиль вспышки
по данным **АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **АВС/СОНГ-Д (0.1 – 2.0 МэВ)**
Простой профиль, 1 max

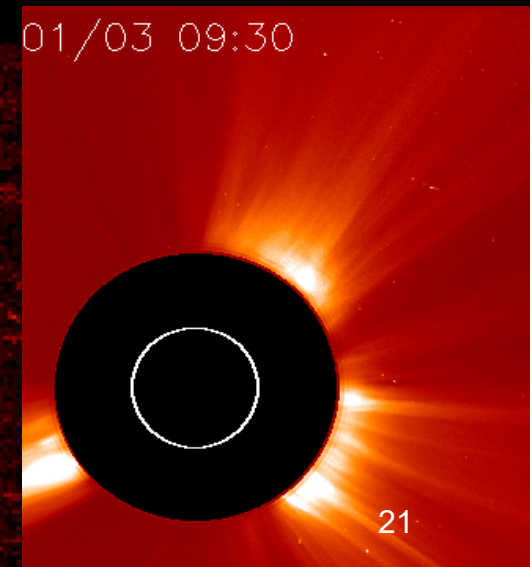
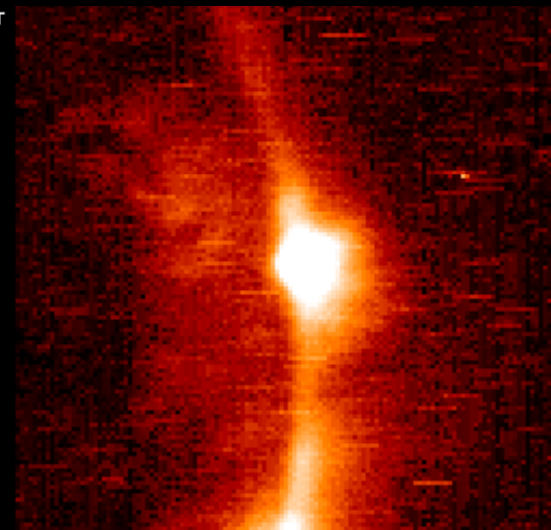
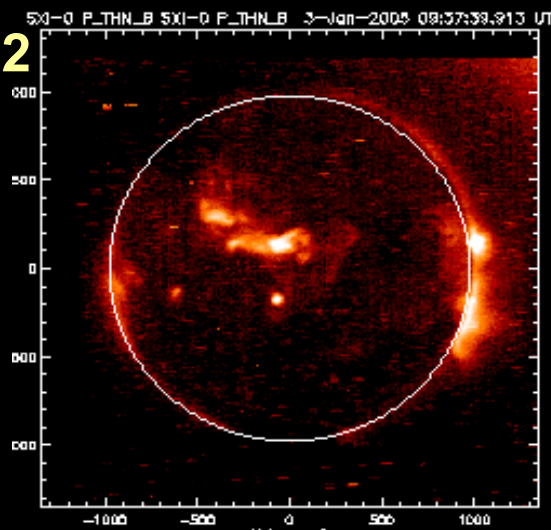


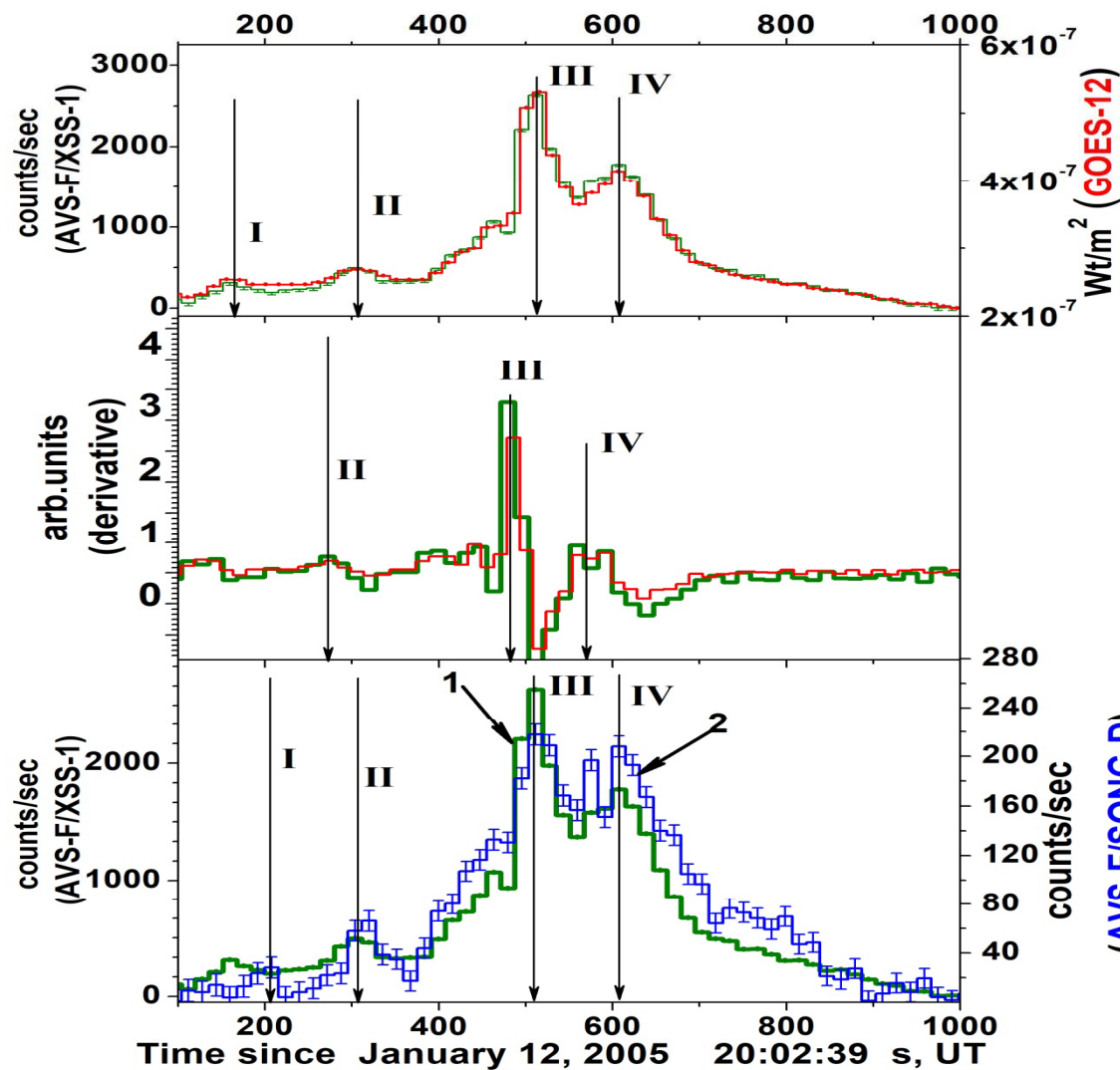
**SOHO-EIT
(195 A)**

CME

**03.01.05 C1.1
AR NOAA10717,
coordinates N08W89**

**SXI-GOES12
(6-65A)**





**12.01.2005 СМЕ не было
GOES class B4.6**

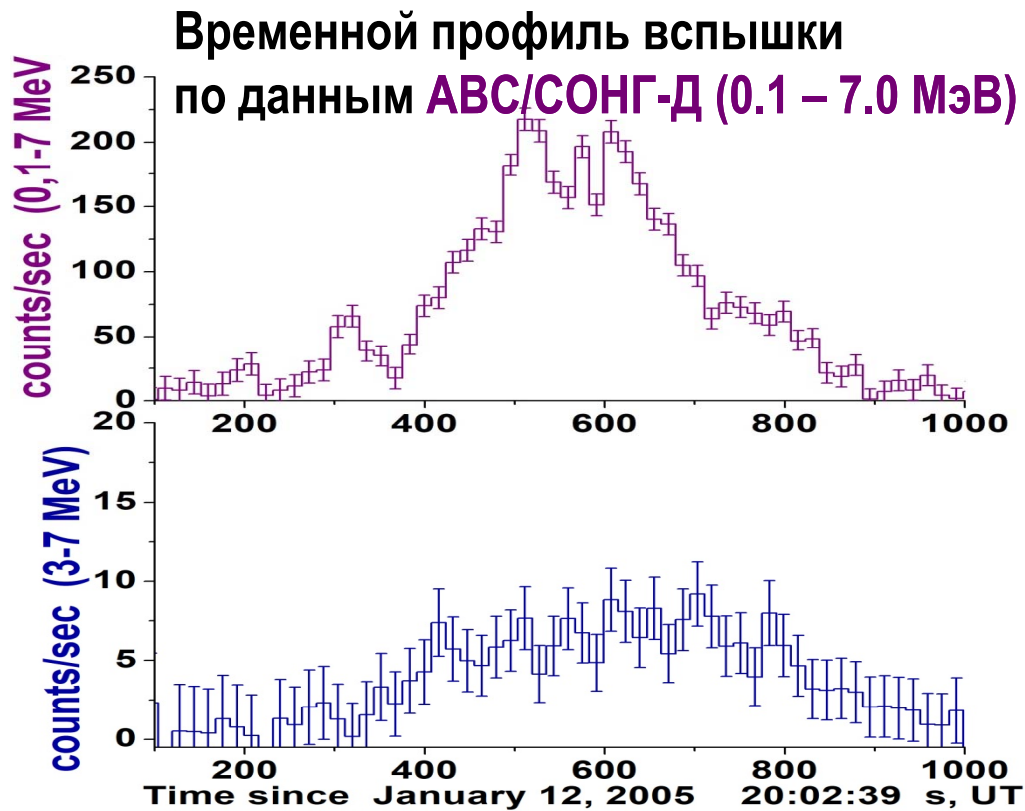
Временной профиль вспышки
по данным **AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

Эффект Ньюперта

Производная по данным
AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

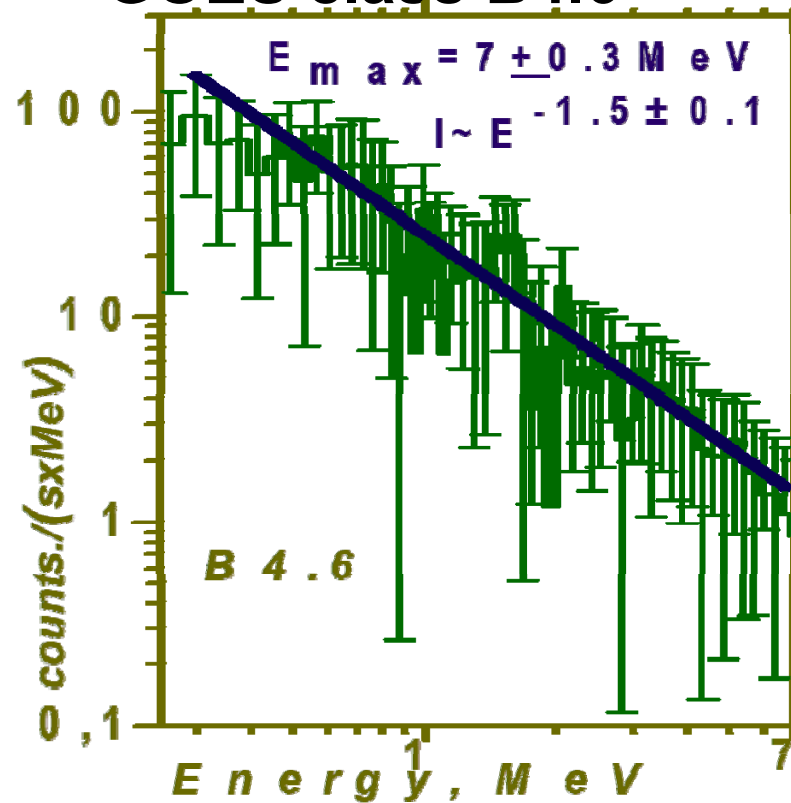
Временной профиль вспышки
по данным **AVC/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **AVC/СОНГ-Д (0.1 – 7.0 МэВ)**

Сложный профиль, несколько тах
Подобие в разных диапазонах

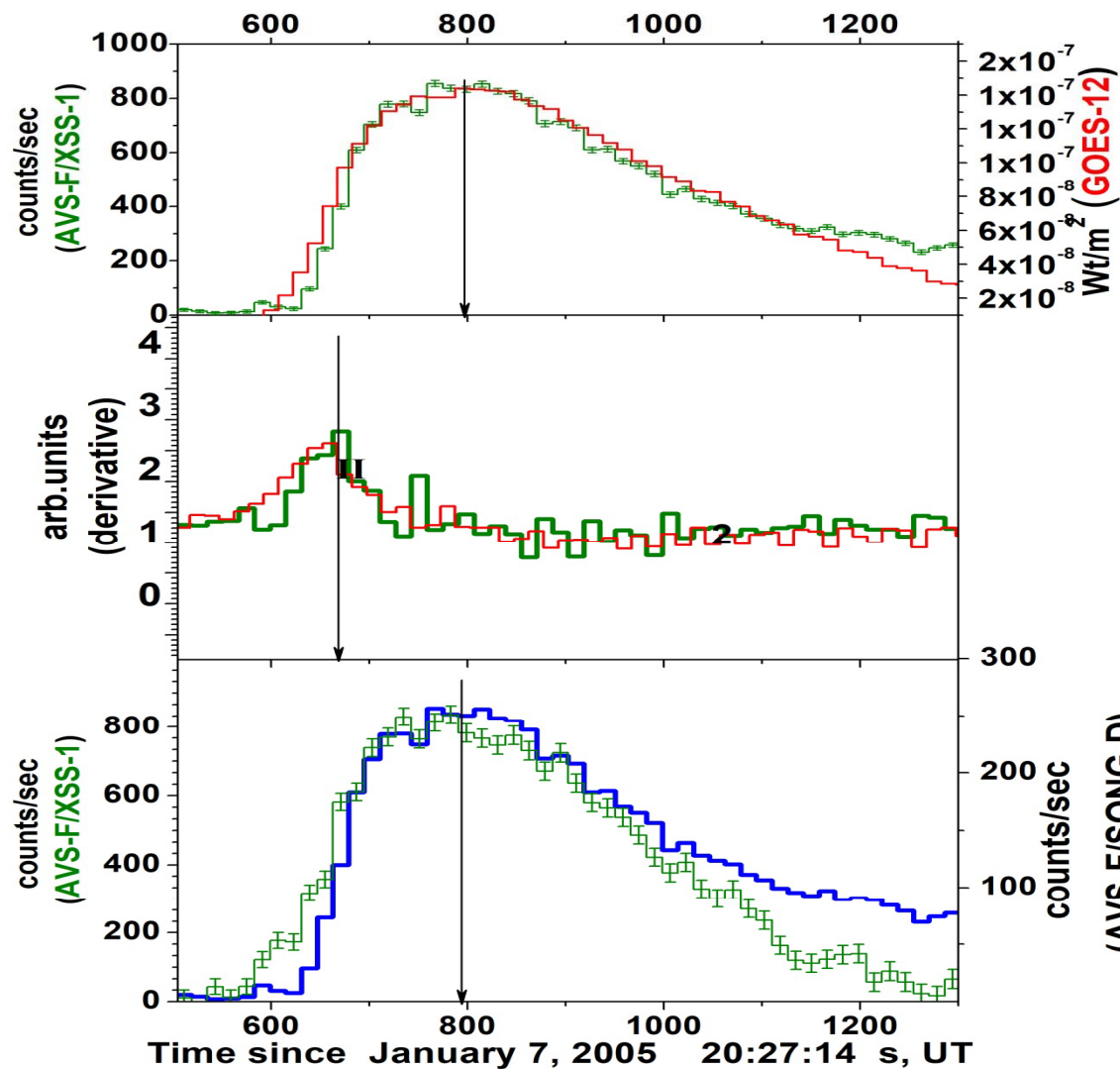


Временной профиль вспышки
по данным АВС/СОНГ-Д (3.0 – 7.0 МэВ)
 $E_{max} = 7.0 \pm 0.3$ МэВ

12.01.2005
GOES class B4.6



Энергетический спектр вспышки
по данным АВС/СОНГ-Д



7.01.2005

GOES class B2.3

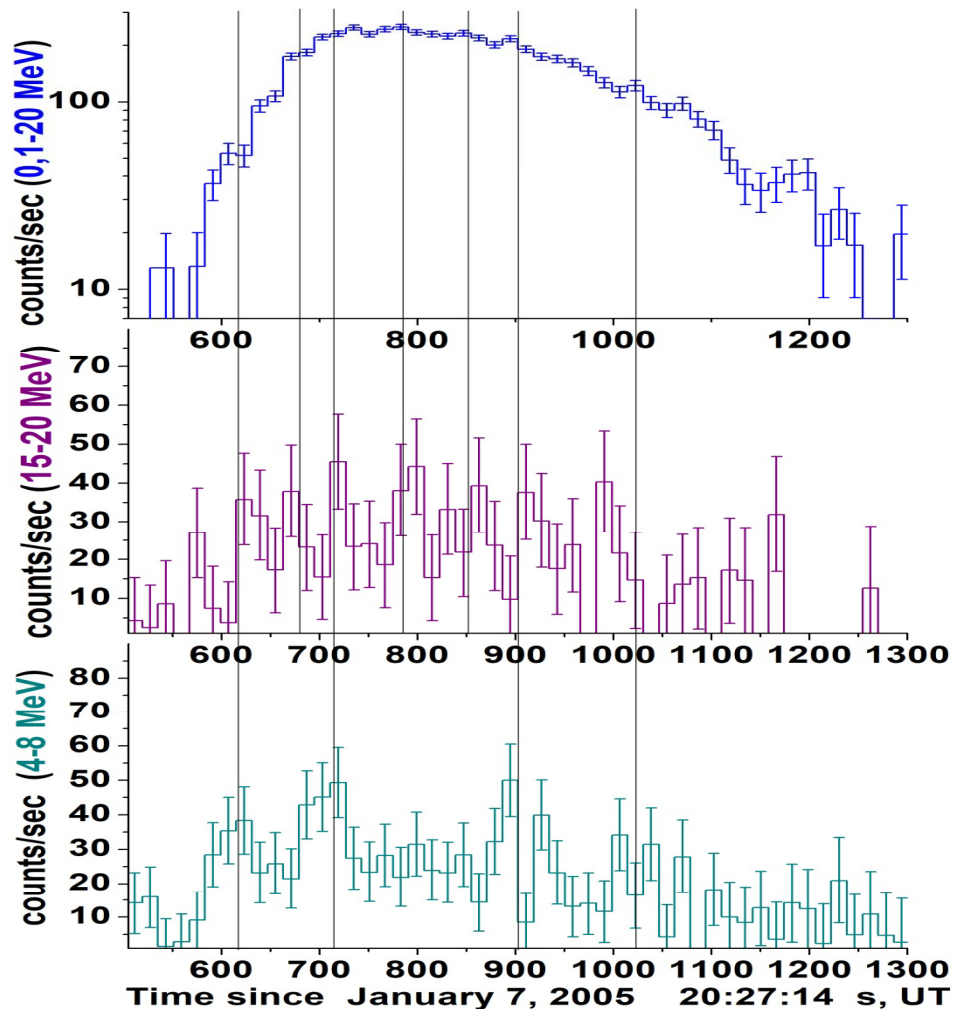
Временной профиль вспышки
по данным **АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

Эффект Ньюперта

Производная по данным
АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)
и **GOES-12 (0.1 – 0.8 нм)**

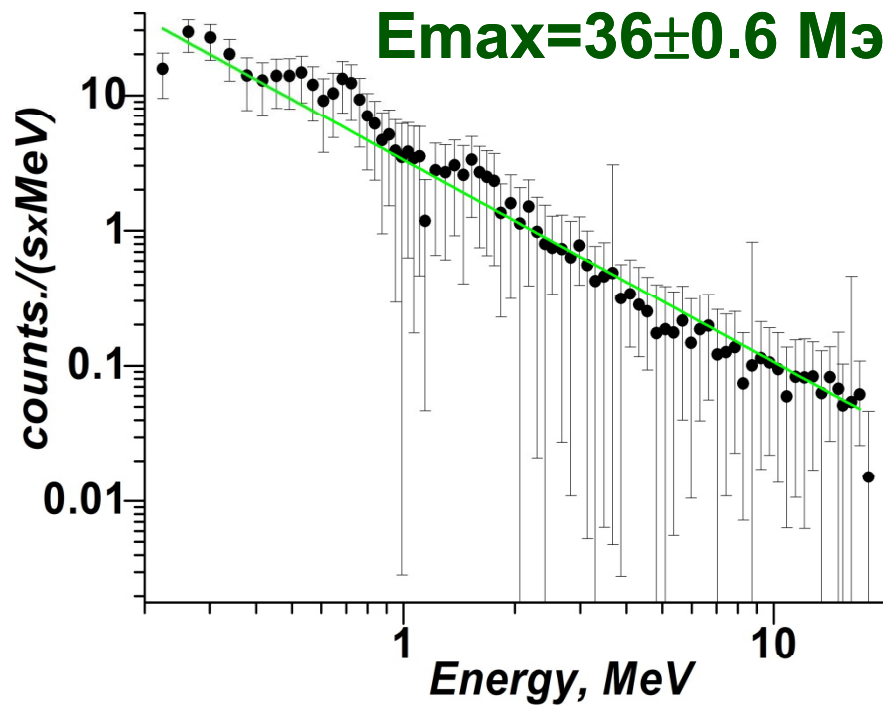
Временной профиль вспышки
по данным **АВС/РПС-1 (3-31.5 кэВ)**
и **АВС/СОНГ-Д (0.1 – 7.0 МэВ)**

Простой профиль, 1 max
Подобие в разных диапазонах

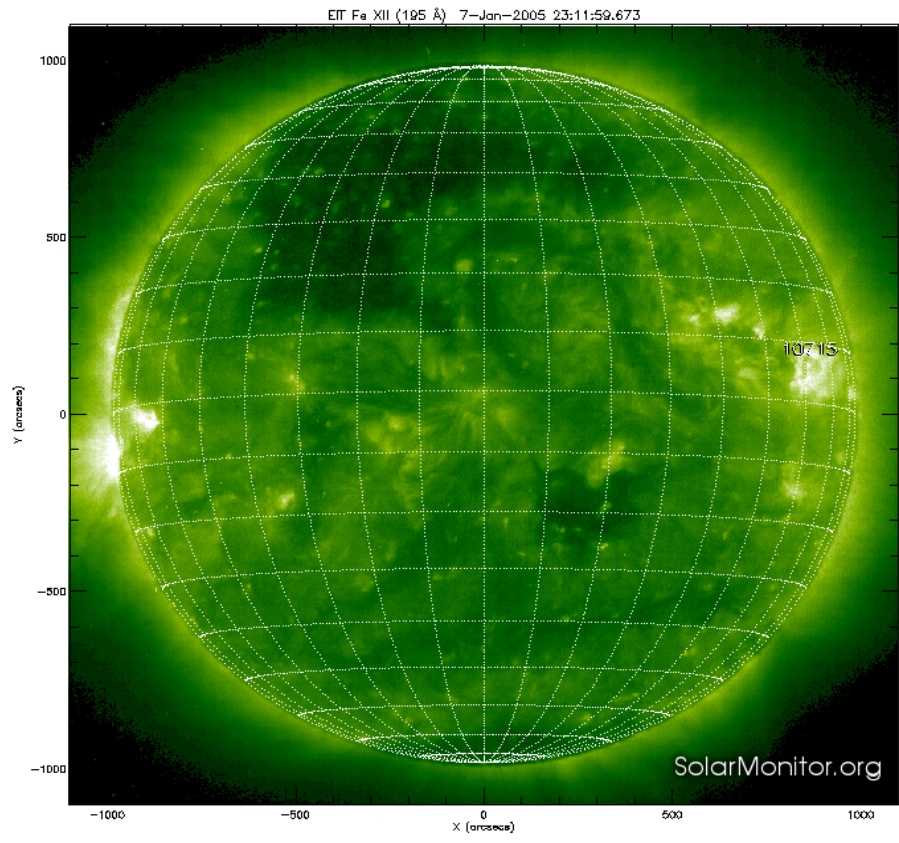


Временной профиль вспышки по данным АВС/СОНГ-Д

7.01.2005
 GOES class B2.3
 $I \sim E^{-1.49 \pm 0.03}$
 $E_{\max} = 36 \pm 0.6 \text{ МэВ}$



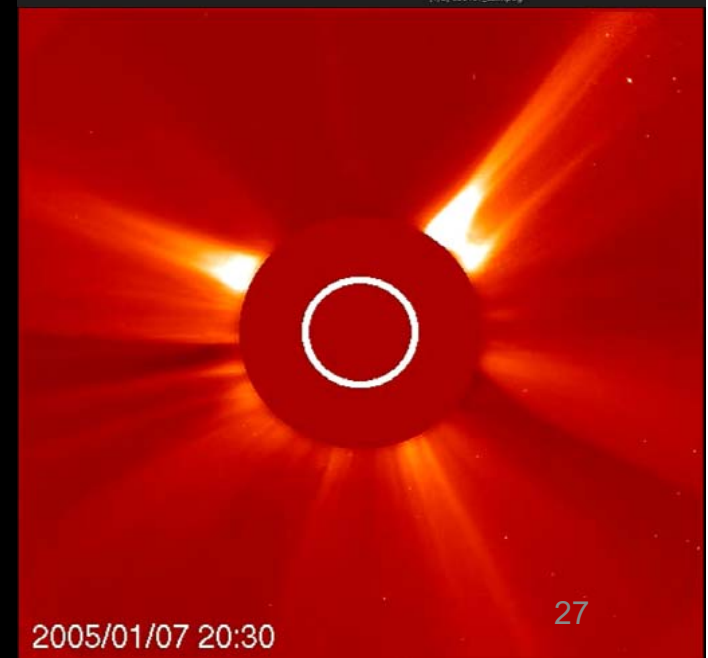
Энергетический спектр вспышки
 по данным АВС/СОНГ-Д



**SOHO-EIT
(195 A)**

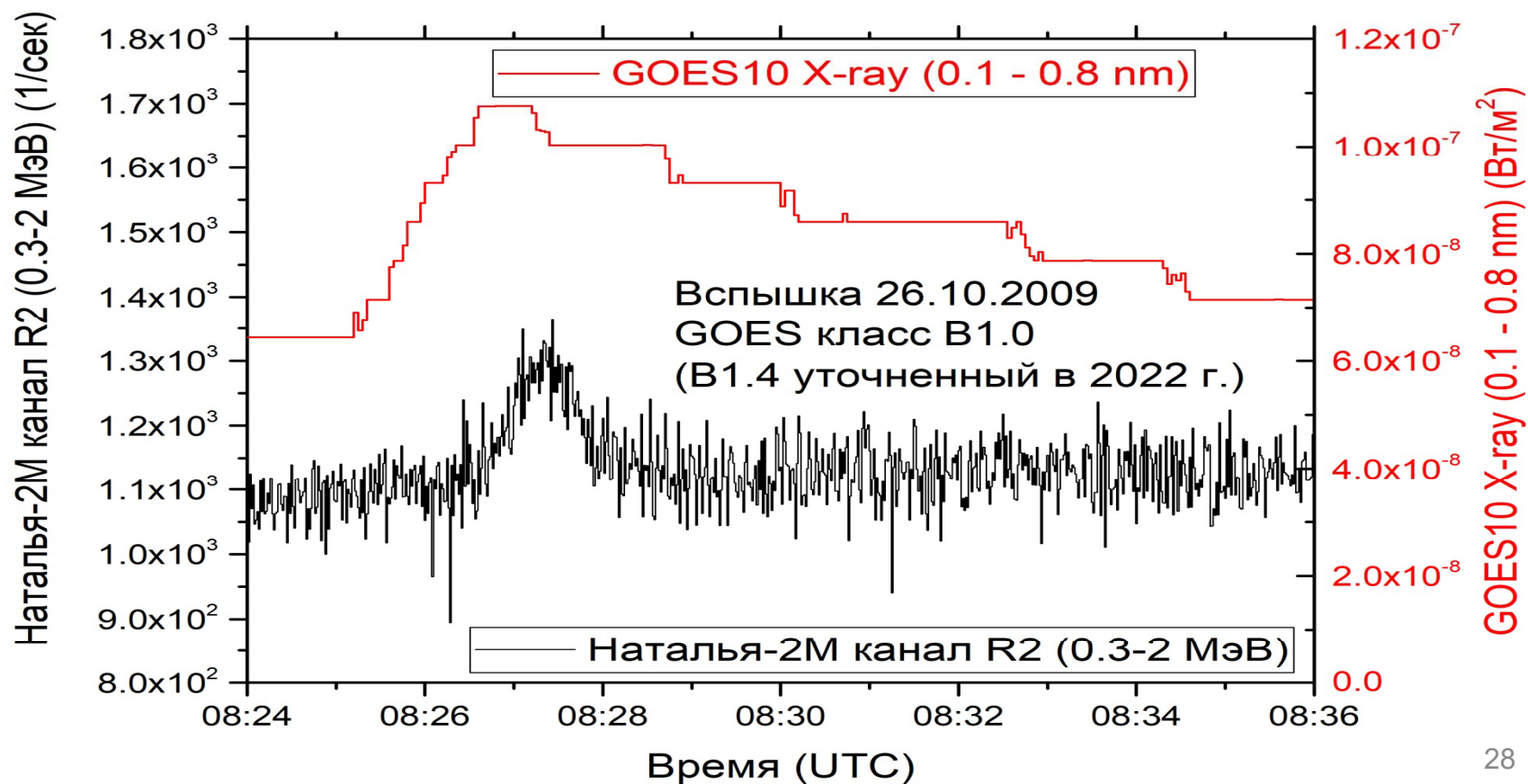
CME

**7.01. 05 B2.3
AR NOAA10715,
coordinates N08W89**



Временные профили солнечной вспышки 26.10.2009

СМЕ не было



GOES: March 27, 2010 B2.4

No CME

09:40:00 – 09:46:00, max 09:43:00

Fermi/GBM:

TITLE: GCN CIRCULAR

NUMBER: 10551

SUBJECT: Fermi GBM detection of four Solar Flares

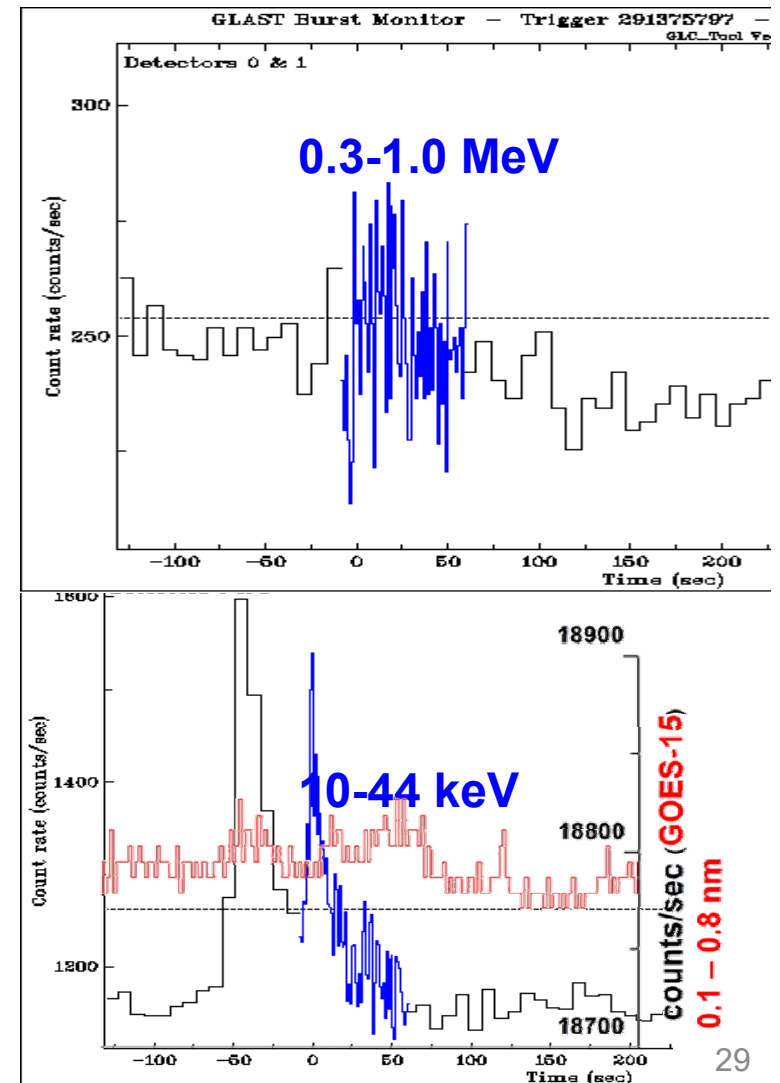
DATE: 10/03/30 10:16:23 GMT

FROM: Sheila McBreen at MPE<smcbreen@mpe.mpg.de>

S. McBreen (UCD/MPE) reports on behalf of the Fermi GBM Team:

"On 27 March 2010 the Fermi Gamma-Ray Burst Monitor triggered and located four solar flares. The events are listed below.

Trigcat	Trigger	UTC
GBM 100327.218	291359679	05:14:37.43
GBM 100327.330	291369350	07:55:48.66
GBM 100327.405	291375797	09:43:15.44
GBM 100327.424	291377472	10:11:10.04



Заключение

Гамма-излучение от солнечных вспышек возникает:

1. Во время быстрой фазы (prompt)
2. Задержанное (delayed) на $\Delta t \sim$ несколько мин ÷ десятков мин относительно окончания быстрой фазы низкоэнергетического рентгеновского излучения.
3. Продленное (prompt delayed) начало γ и низкоэнергетического рентгеновского излучения совпадает, но продолжительность γ существенно больше, чем длительность быстрой фазы.

Вспышки типов 1-3 регистрировались еще с 80х гг прошлого столетия в эксперименте GRS/SMM, потом ГАММА-1, CGRO, сейчас – Fermi/Lat, E вплоть до нескольких ГэВ

4. γ -излучение от слабых солнечных вспышек (faint flares HE) - на начальной фазе вспышек классов В и С может возникать γ -излучение до ~ 40 МэВ (ABC-Ф, НАТАЛЬЯ-2М, потом Fermi)

Заключение

Нет корреляции между GOES class и

- Emax
 - Тип γ (кроме 4)
 - количество max на временных профилях в разных диапазонах
 - согласованное поведение временных профилей в разных диапазонах или нет
 - CME или SEP: наблюдался или нет
- disk & limb? Чему равно Emax?**

Спасибо за внимание!