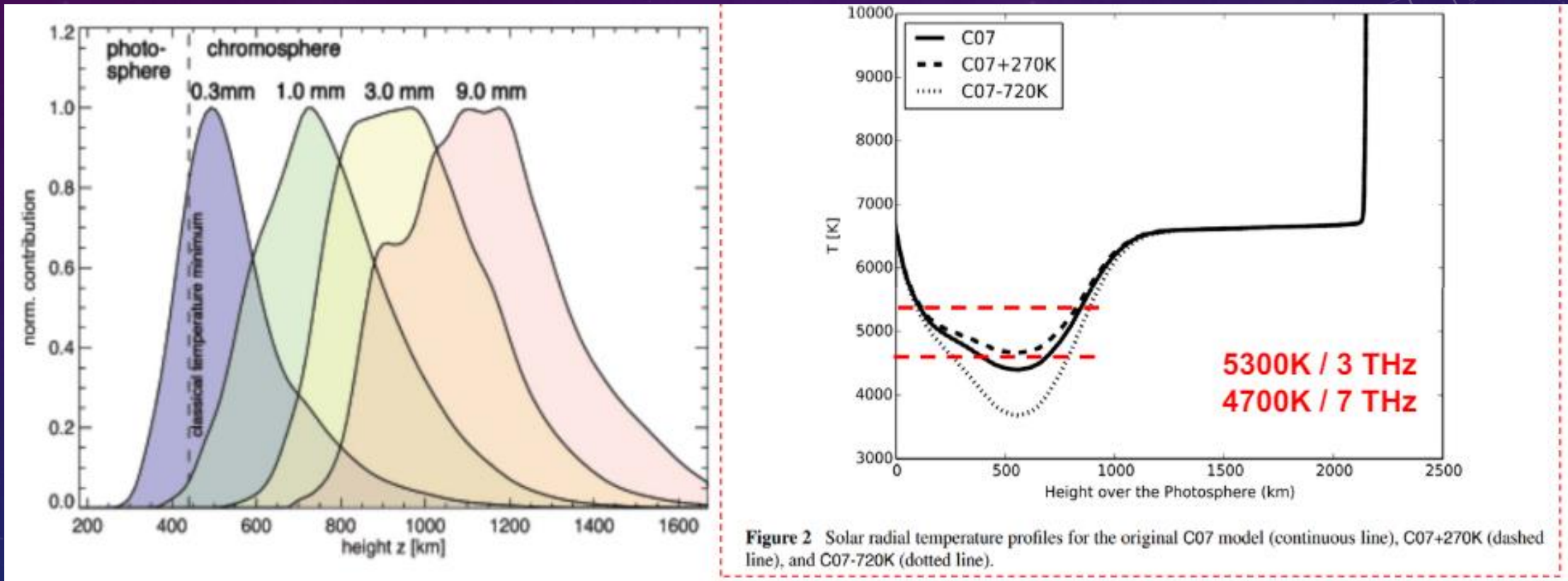


# ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА И АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

ТУЛЬНИКОВ Е.Д., МАХМУТОВ В.С., ФИЛИПШОВ М.В.

ФИАН

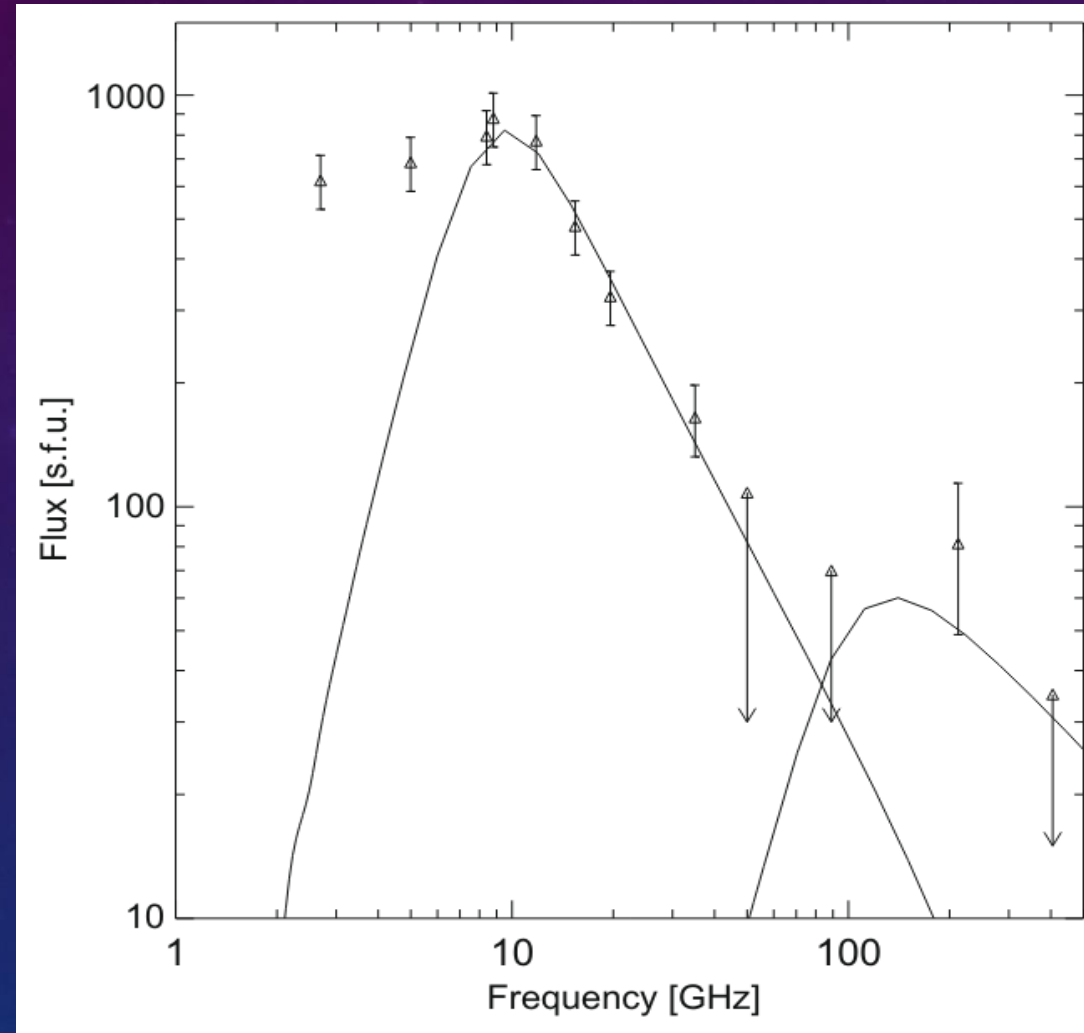
# Изучение Солнца на различных частотах



# Существующее установки

| Название  | Диапазон     |
|---|--------------|
| ALMA Atacama large millimeter array                             | 35-950 ГГц   |
| NoRH Nobeyama Radio Heliograph                                  | 17, 34 ГГц   |
| Bauman Moscow State Technical University Radio Telescope RT-7.5 | 93, 140 ГГц  |
| SST Solar Submillimeter Telescope                               | 212, 405 ГГц |
| Радиотелескоп РТ-3 Горной астрономической станции ГАО РАН       | 6.150 ГГц    |
| РТ-22   | <150ГГц      |
| IRAM Institute for Radio Astronomy in the Millimetre Range      | 80 - 370 ГГц |
| SCUBA-2 Submillimetre Common-User Bolometer Array 2             | 350-670 ГГц  |
| Subaru telescope  | 53 - 333 ТГц |
| IRTF Infrared Telescope Facility, SpeX                          | 56 - 430 ТГц |

# Точка поворота спектра

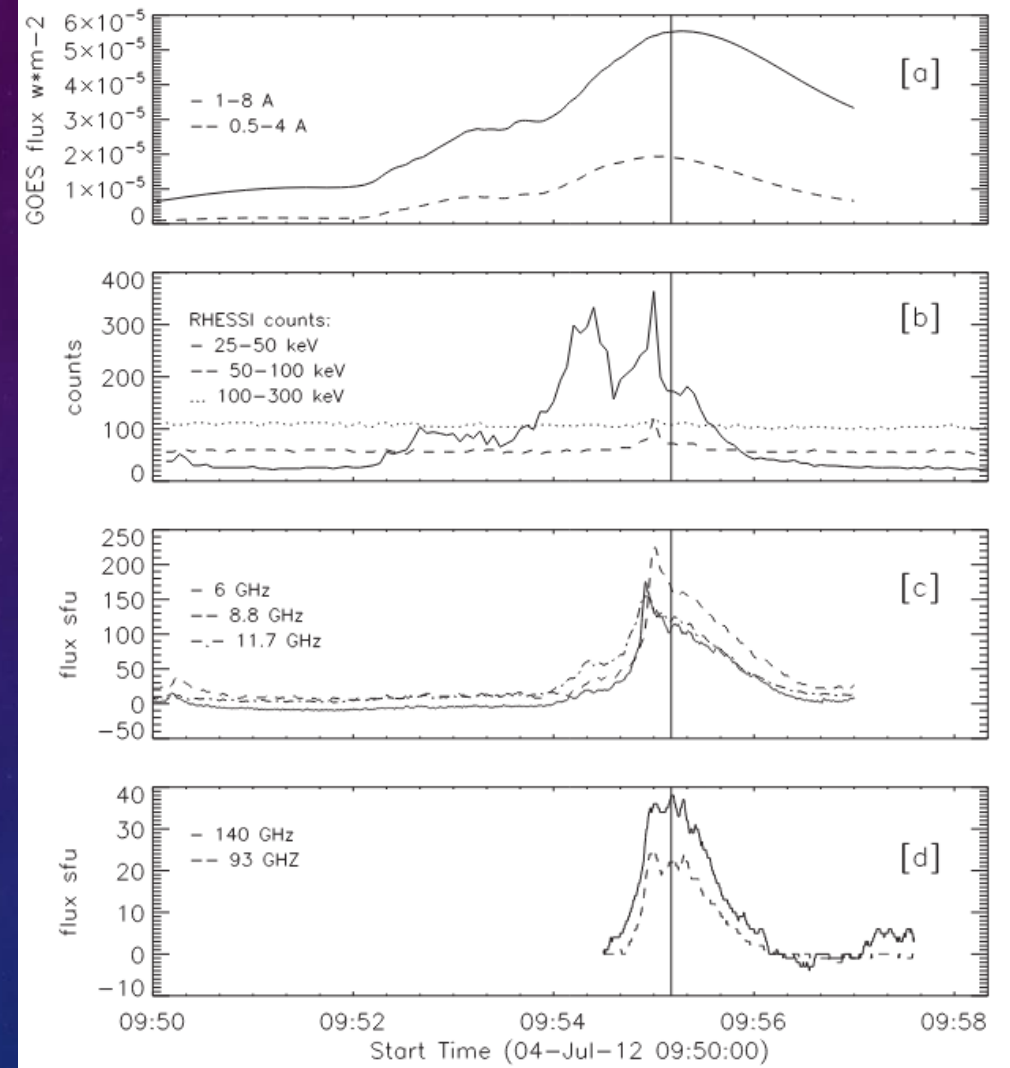
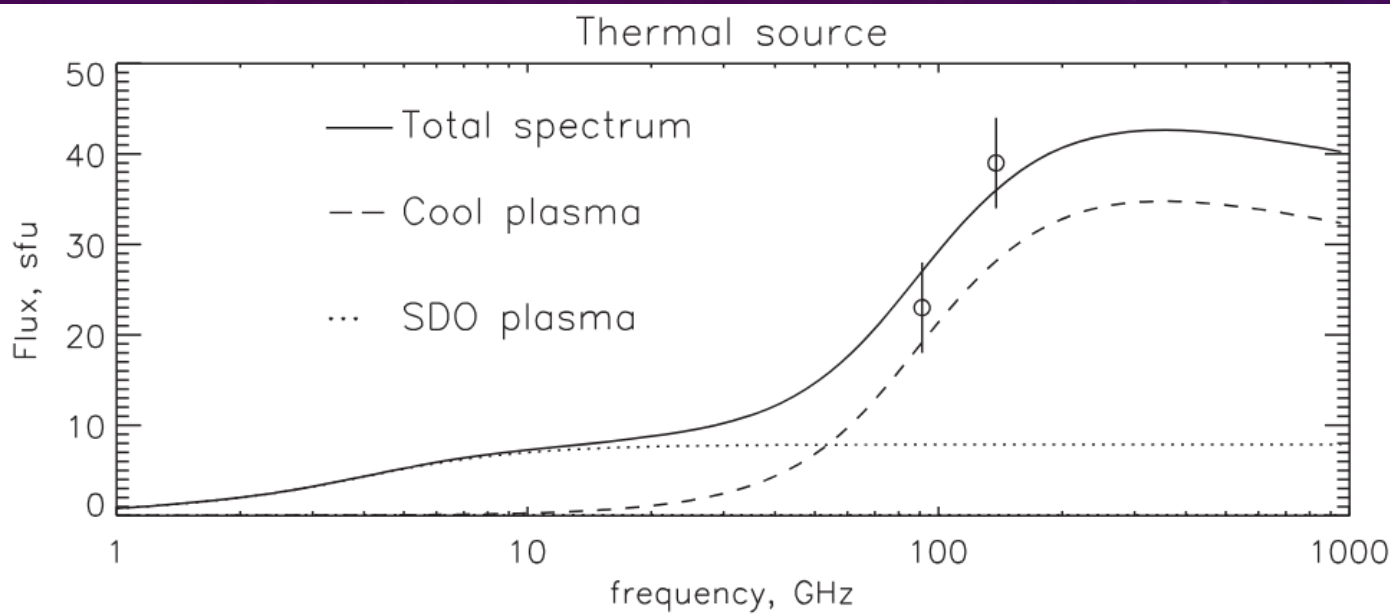




# Цели

- Оценить ожидаемые потоки излучения солнечных вспышек в терагерцевом диапазоне
- Определить классы небесных тел, которые могут быть потенциальными источниками терагерцевого излучения

# Вспышка 4 июля 2012, M5.3



Результаты численного моделирования free-free emission от солнечной вспышки 4 июля 2012 г. (09:55:09 UT)

$$1 \text{ sfu} = 10^4 \text{ Jy} = 10^{-22} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

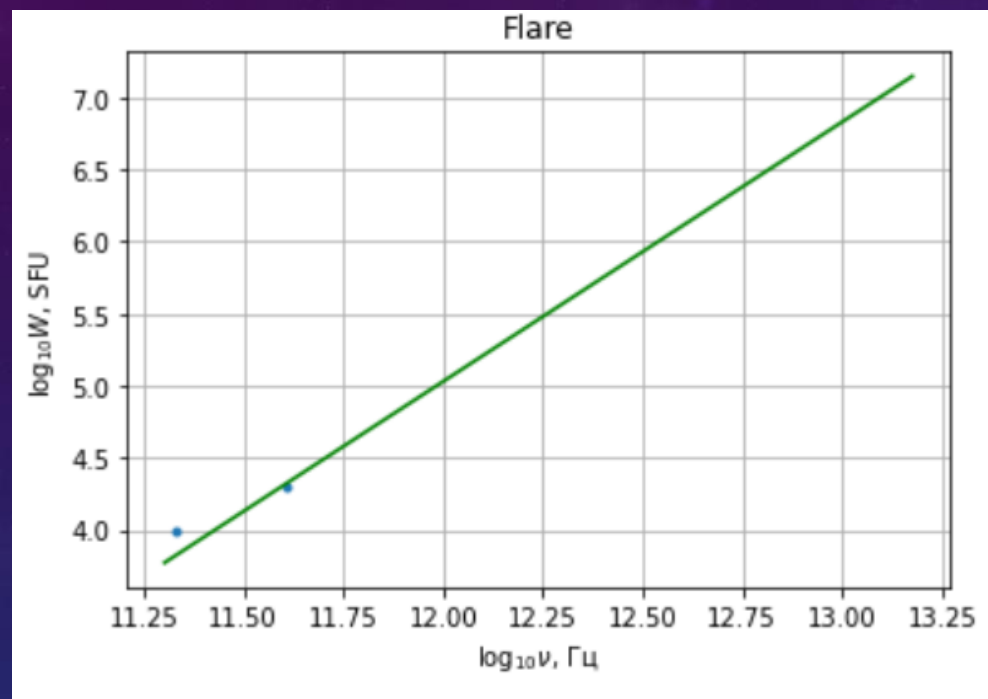
| $S, \text{ cm}^2$ | $l, \text{ cm}$ | $T, \text{ MK}$ | $n_e, \text{ cm}^{-3}$ |
|-------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| $4 \cdot 10^{18}$ | $10^9$          | 0.1             | $7 \cdot 10^{10}$      |

Кривые блеска мягкого рентгеновского излучения [a], жесткого рентгеновского излучения [b], микроволнового [c] и излучения суб-ТГц [d] от солнечной вспышки 4 июля 2012 г., полученные с помощью GOES, RHESSI, Кисловодск, RSTN, Мецахови и РТ-7,5. Максимум суб-ТГц излучения (09:55:09 UT) отмечен вертикальной сплошной линией.

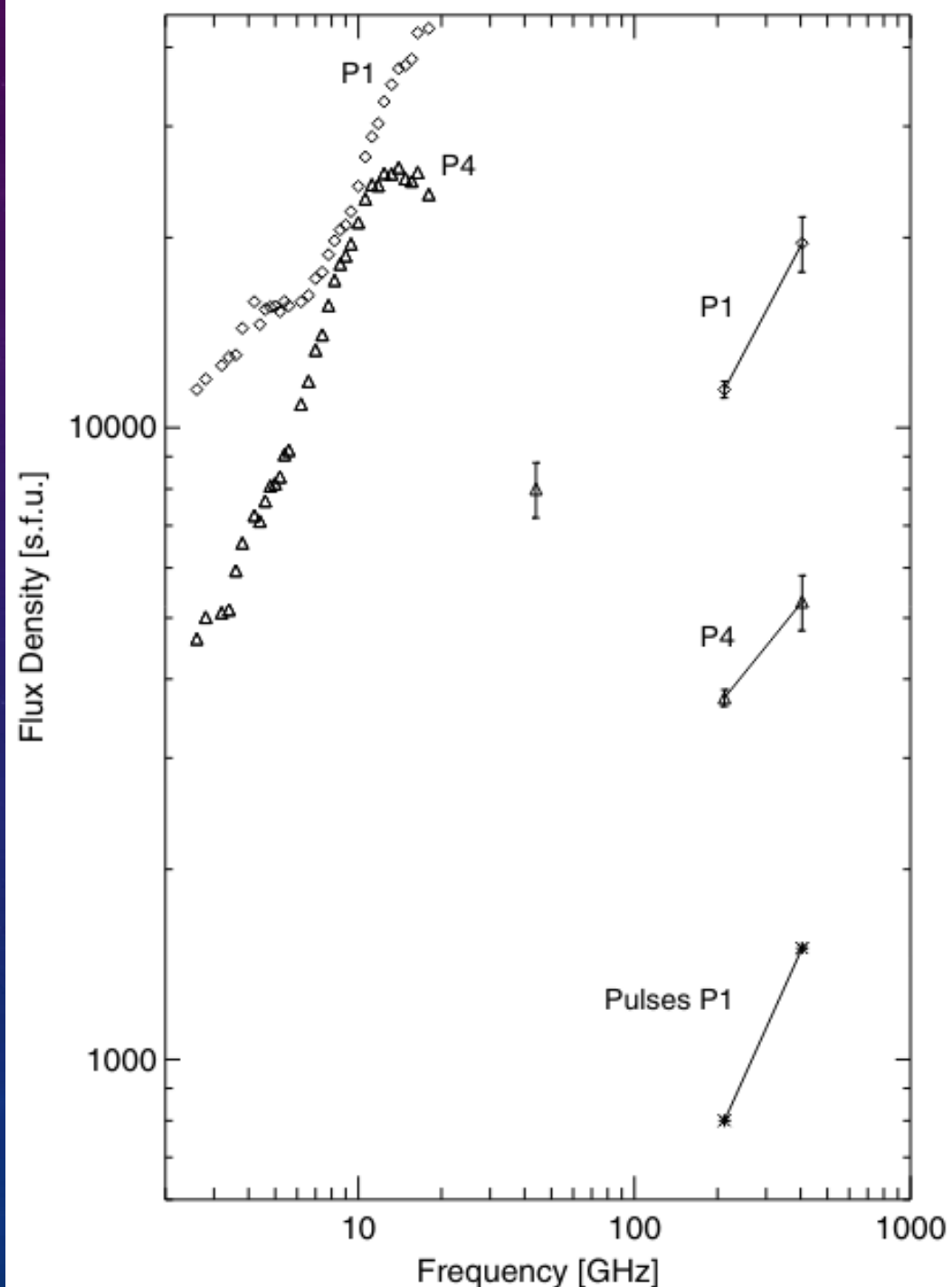
Tsap Y. T. et al. On the origin of 140 GHz emission from the 4 July 2012 solar flare //Advances in Space Research. – 2016. – V. 57. – No. 7. – P. 1449-1455.

# Вспышка 4 ноября 2003

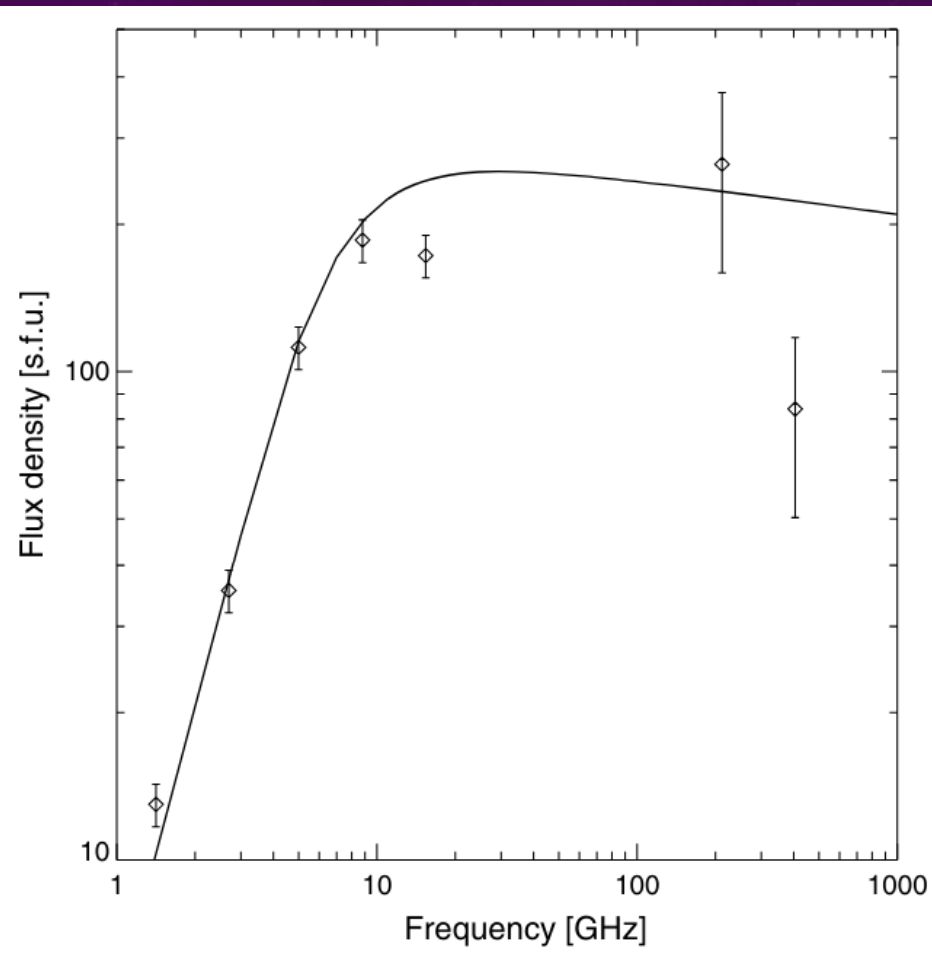
Спектры всплеска демонстрируют две различные компоненты. Пример среднего спектра для потока субсекундного импульса, превышающего объемное излучение, показан для структуры P1



Экстраполяция экспериментальных данных со спектральным индексом 1.8

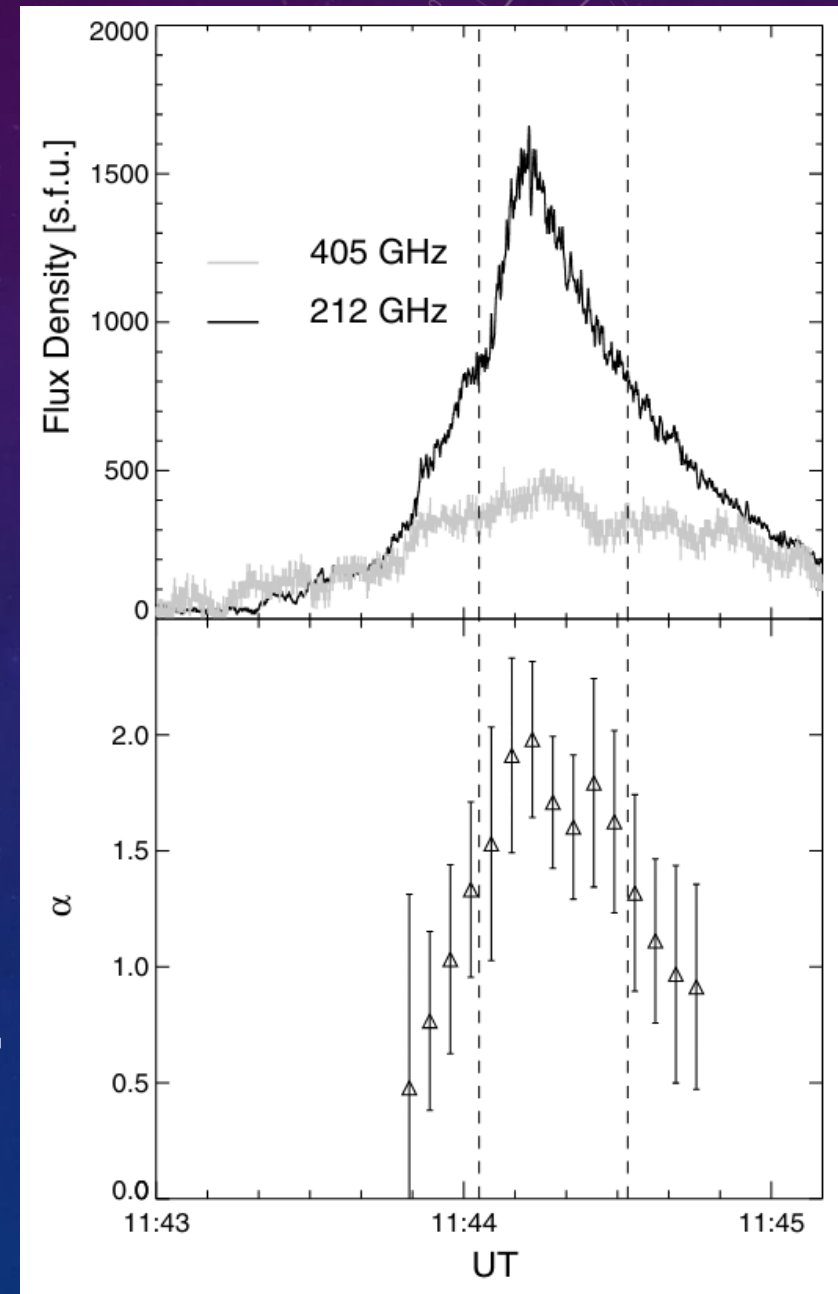


# Вспышка 30 октября 2004, X1.2



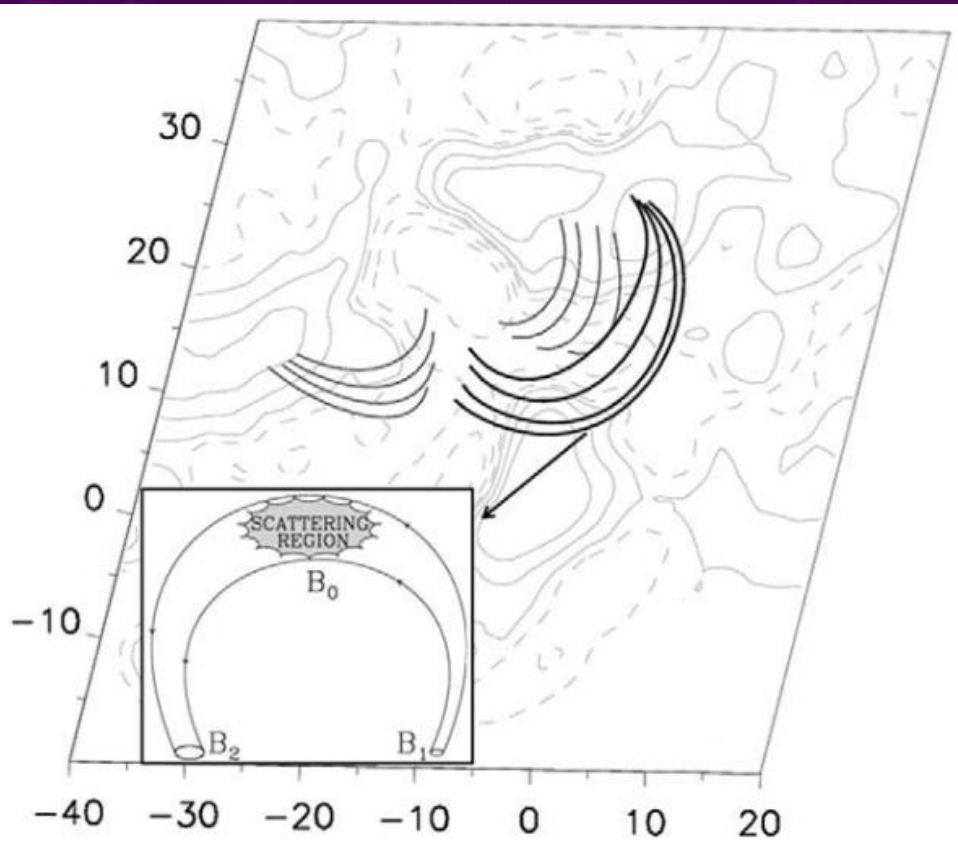
Спектр плотности потока в интервале 11:48–11:49 UT. Сплошная кривая представляет ожидаемое излучение изотермического источника free-free emission.

Временные профили плотностей потока 405 и 212 ГГц, полученные на основе наблюдений SST (вверху), и временная эволюции оптически тонкого спектрального индекса, полученного из плотностей потока на частотах 405 и 212 ГГц (ниже).

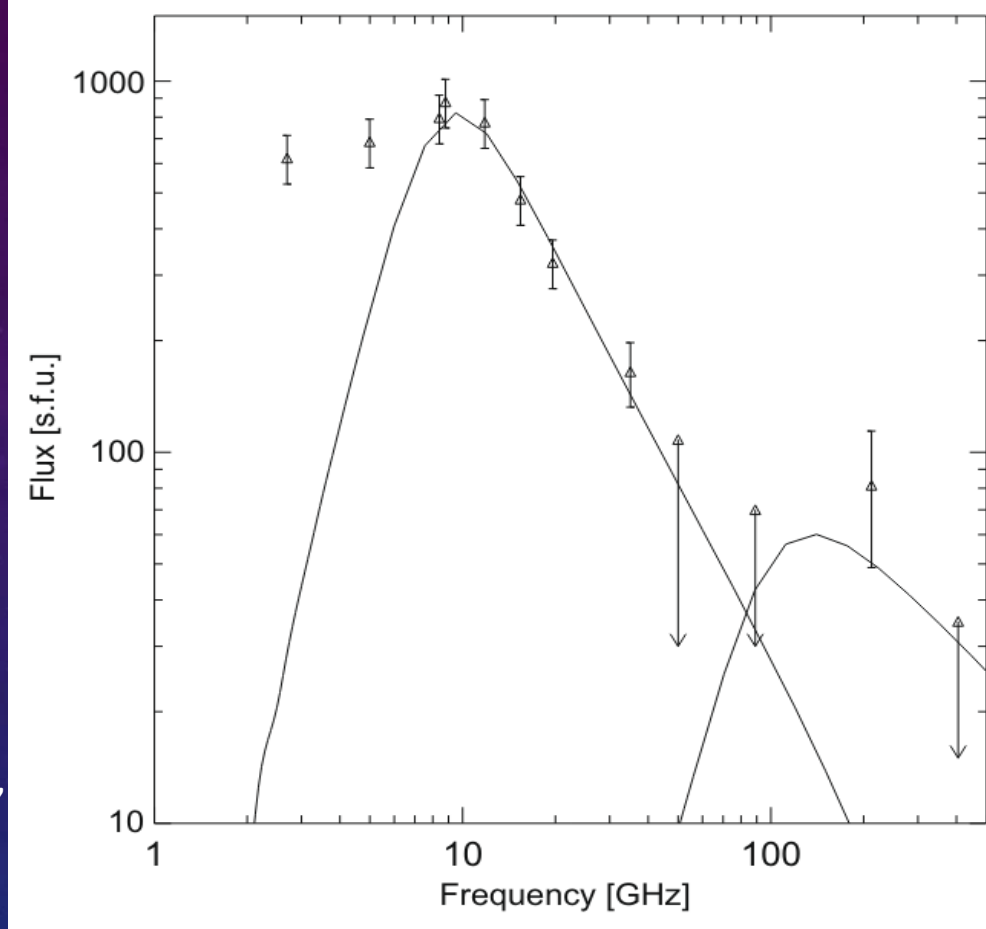




# Вспышка 20 декабря 2002, М6.8



Модель магнитного поля. Тонкие непрерывные силовые линии представляют собой соединения до того, как произошло магнитное пересоединение, а толстые непрерывные силовые линии — после пересоединения. Изоконтуры поля 100, 500, 1000 Гс. Оси измеряются в Мм. Геометрия магнитной ловушки показана на вставке.

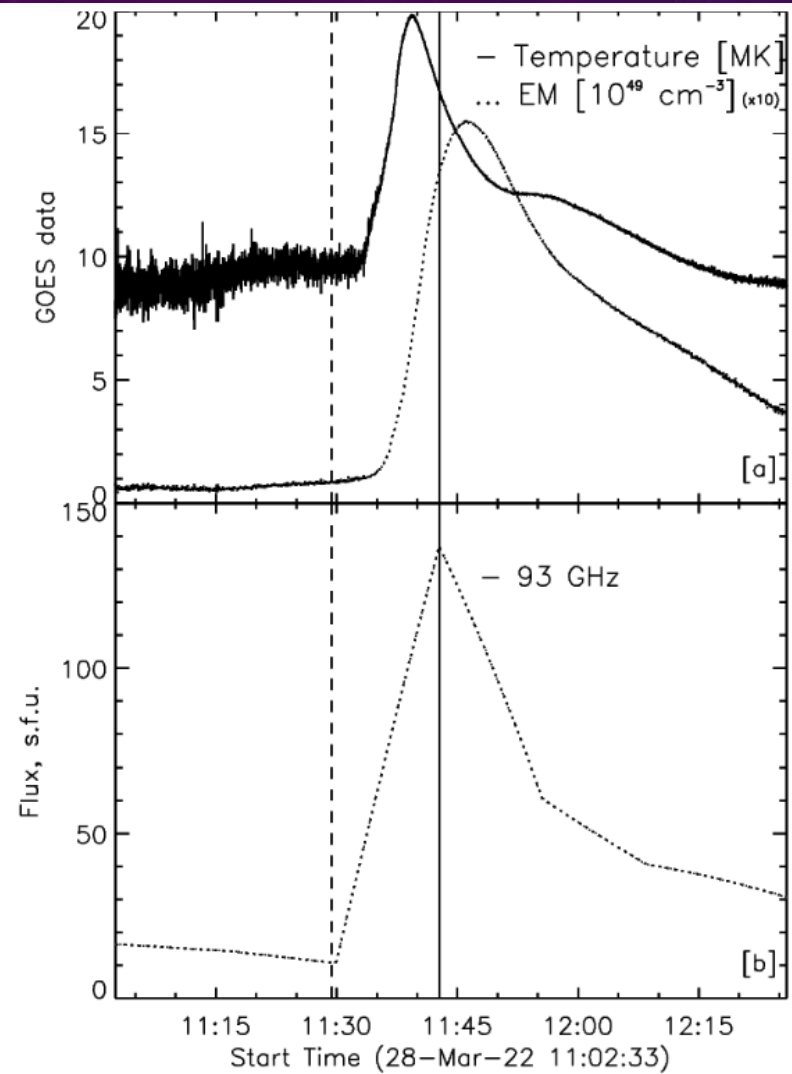
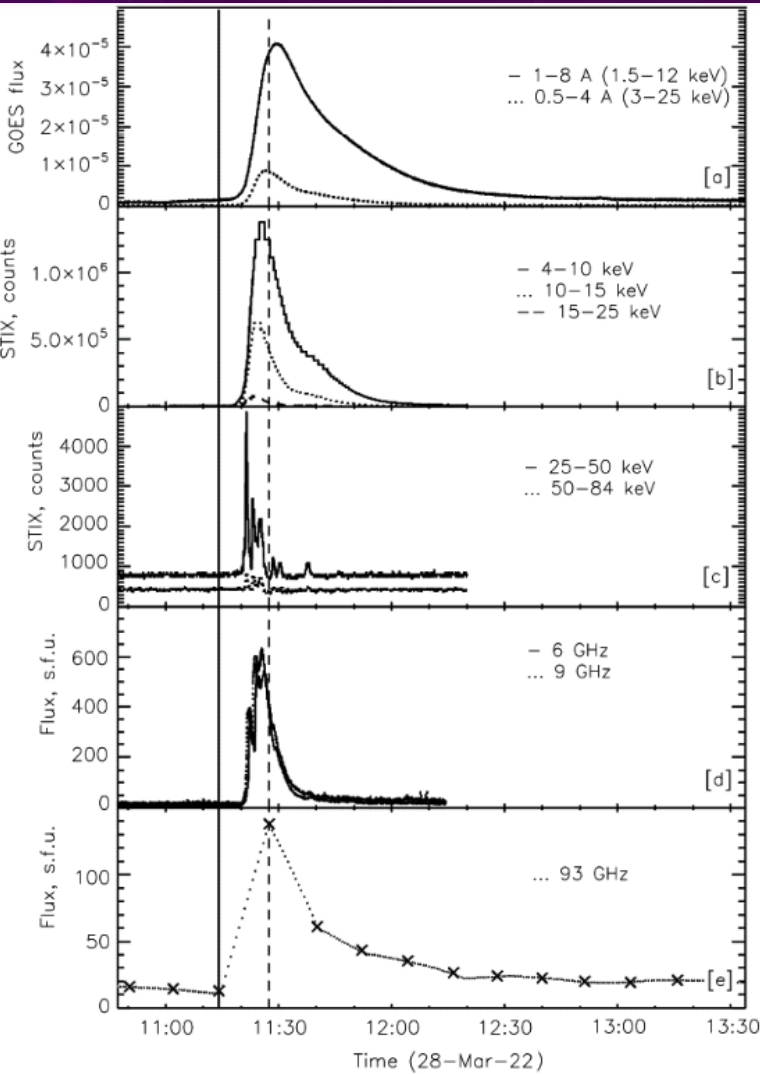


Радиоспектр во время пика вспышки. Кривые представляют полученные решения.

|          | $\delta$ | $B$ [G] | $D$ [arcsec] | $H$ [ $10^9$ cm] | $n_e$ [ $10^8$ cm $^{-3}$ ] | $E_0$ [keV] | $E_f$ [MeV] | $N_T$                 | $n$ [cm $^{-3}$ ]    |
|----------|----------|---------|--------------|------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| Source 1 | 3.50     | 170     | 10.95        | 1.9              | 5.4                         | 17          | 10          | $4.78 \times 10^{35}$ | $2.8 \times 10^9$    |
| Source 2 | 2.13     | 2000    | 0.17         | 0.1              | 5.0                         | 26          | 10          | $5.56 \times 10^{30}$ | $3.8 \times 10^{11}$ |

Cristiani G. et al. Asymmetric precipitation in a coronal loop as explanation of a singular observed spectrum //Advances in space research. – 2009. – V. 44. – №. 11. – P. 1314-1320.

# Вспышка 28 марта 2022

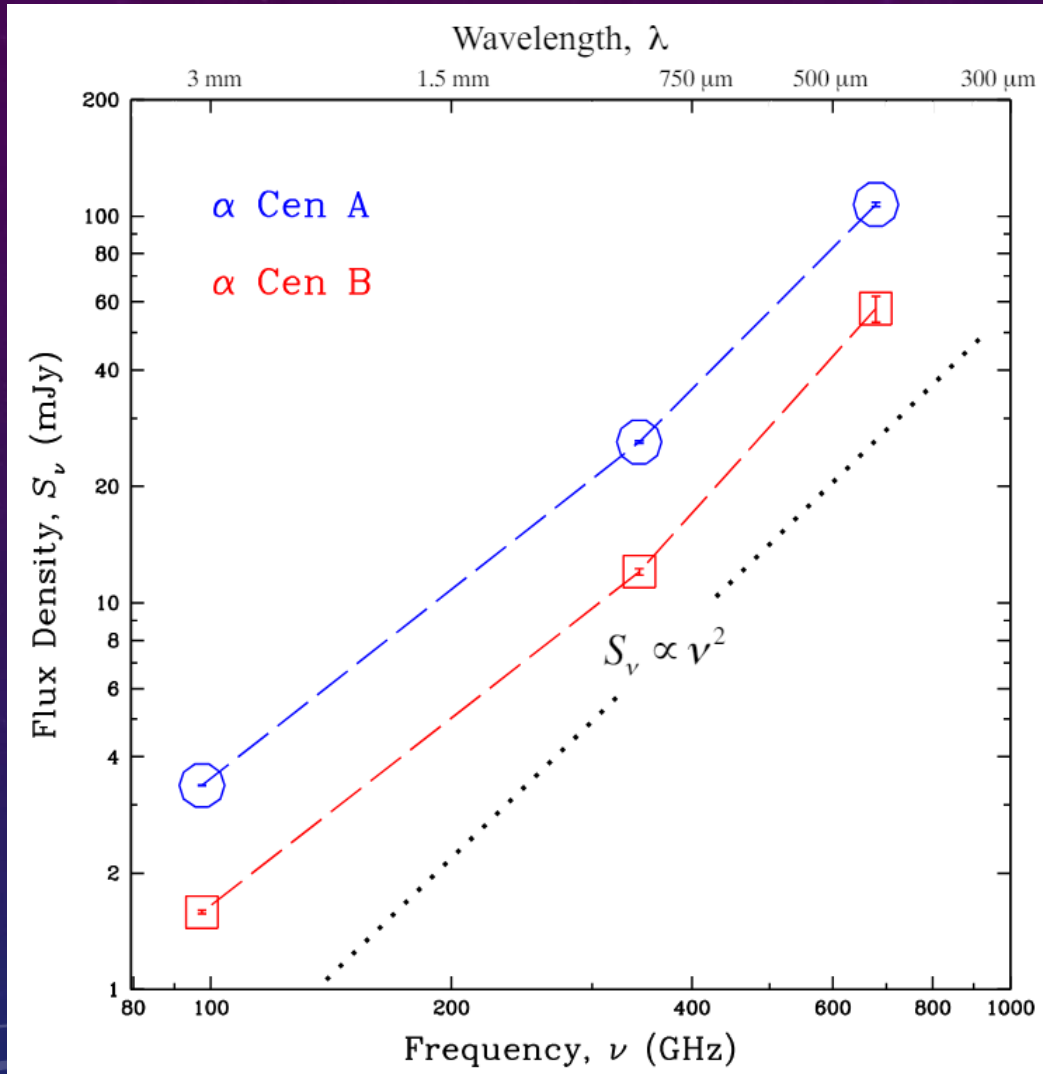


$$EM = \int n_e^2 dV$$

Слева: временные профили излучения вспышки SOL2022-03-28T10:58: мягкий рентген в каналах 1.5–12 кэВ (GOES) и 4–25 кэВ (STIX) [a – b]; жесткий рентген в каналах 25–50 и 50–84 кэВ (STIX) [c]; радиоизлучение на частотах 6 и 9 ГГц [d], и на частоте 93 ГГц [e]. Справа: профили распределения температуры и меры эмиссии по данным GOES [a] и временной профиль на частоте 93 ГГц [b]

Смирнова В. В., Цап Ю. Т., Рыжов В. С. Предимпульсное вспышечное энерговыделение по данным субтерагерцового и рентгеновского излучения Солнца // Известия Крымской астрофизической обсерватории. – 2023. – Т. 119. – №. 1. – С. 5-10.

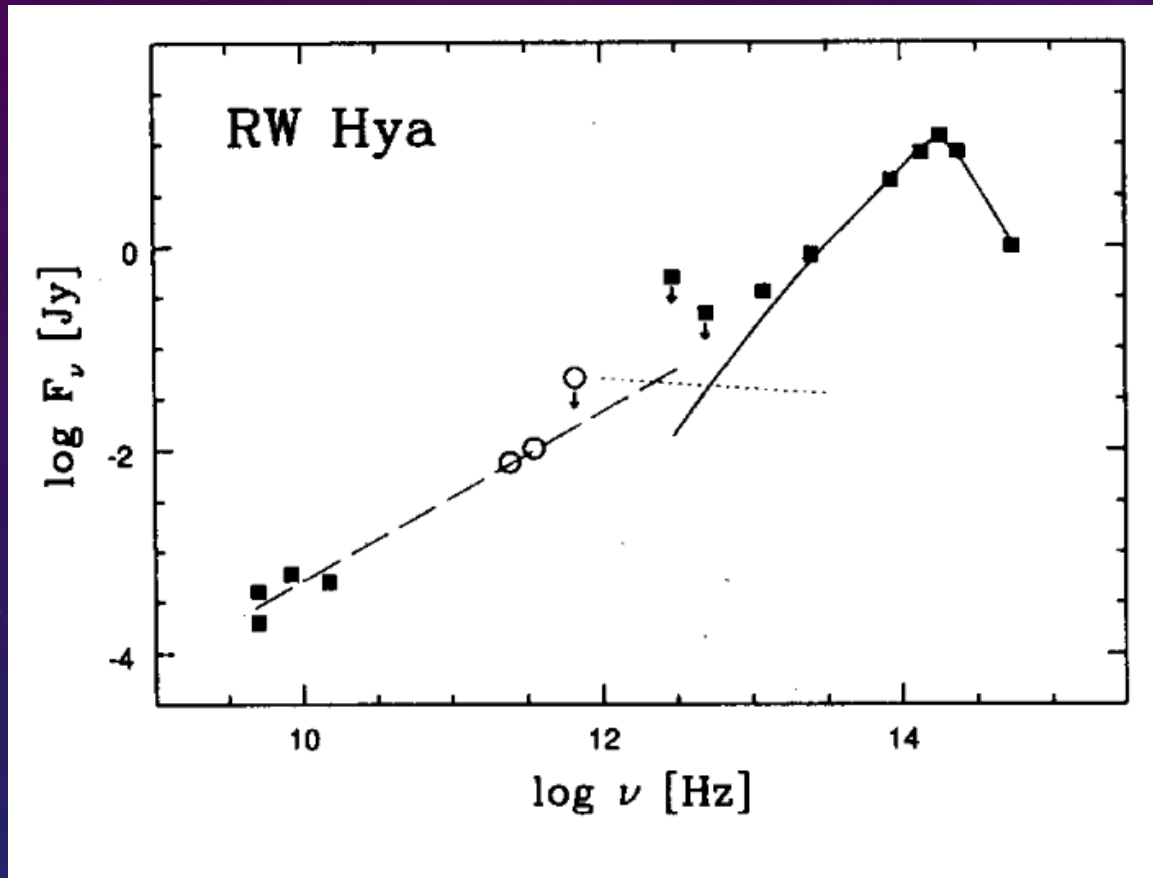
# Ближайшие звёзды главной последовательности



Измерения ALMA плотности потока  $\alpha$ Сен А (синие кружки) и  $\alpha$ Сен В (красные квадраты) с полосами ошибок внутри символов. Для сравнения черным пунктиром показан ход оптически толстого излучения свободных электронов в режиме Рэля-Джинса, т. е.  $S_\nu \propto \nu^2$ .



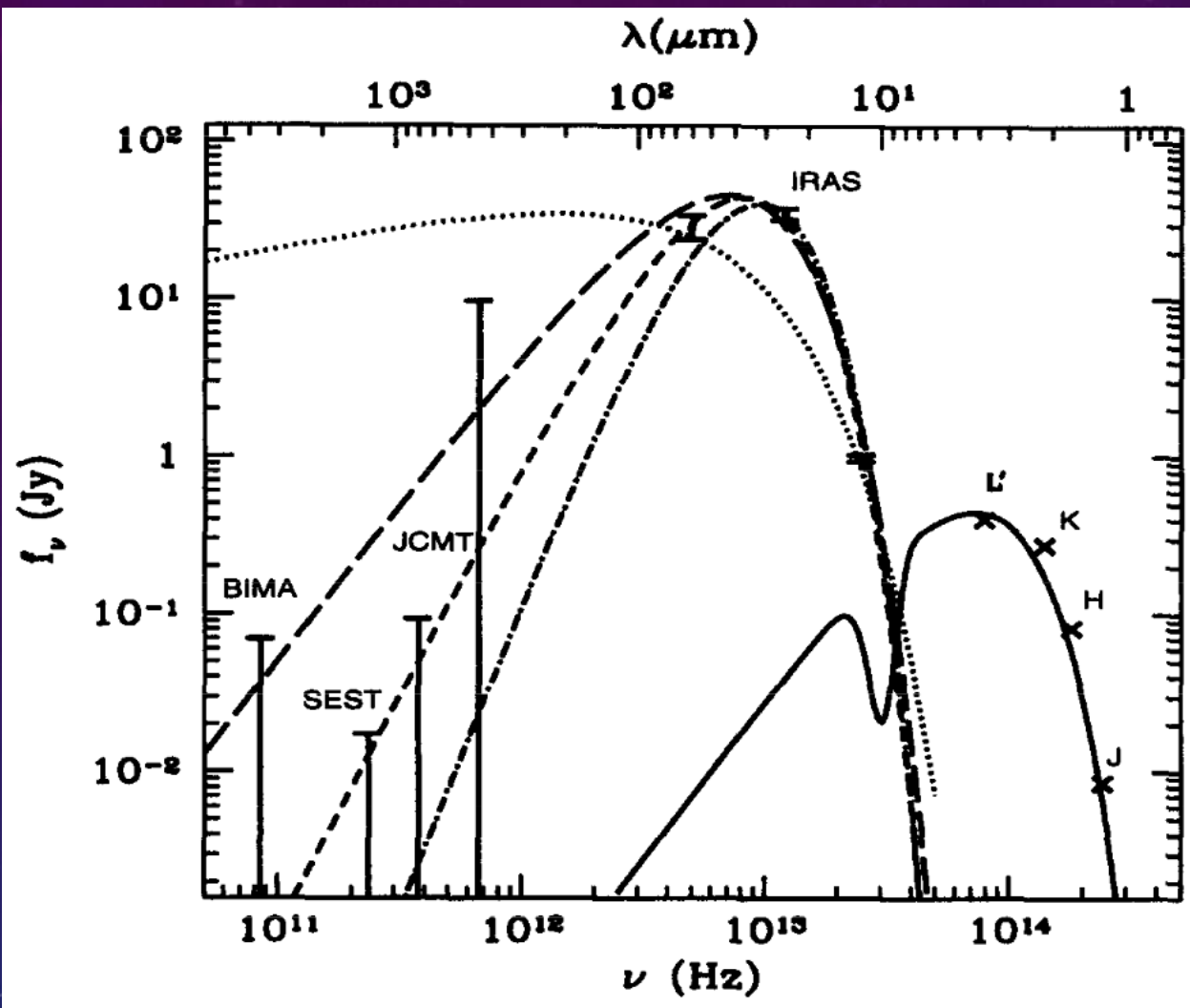
# Симбиотические двойные звёзды



Континуальный спектр RW Hya, охватывающий радио, ИК и видимый диапазоны. Спектр разделен на оптически толстую/тонкую free-free emission (штриховая и пунктирная кривые соответственно) и гигантскую фотосферную (сплошная кривая) компоненты.

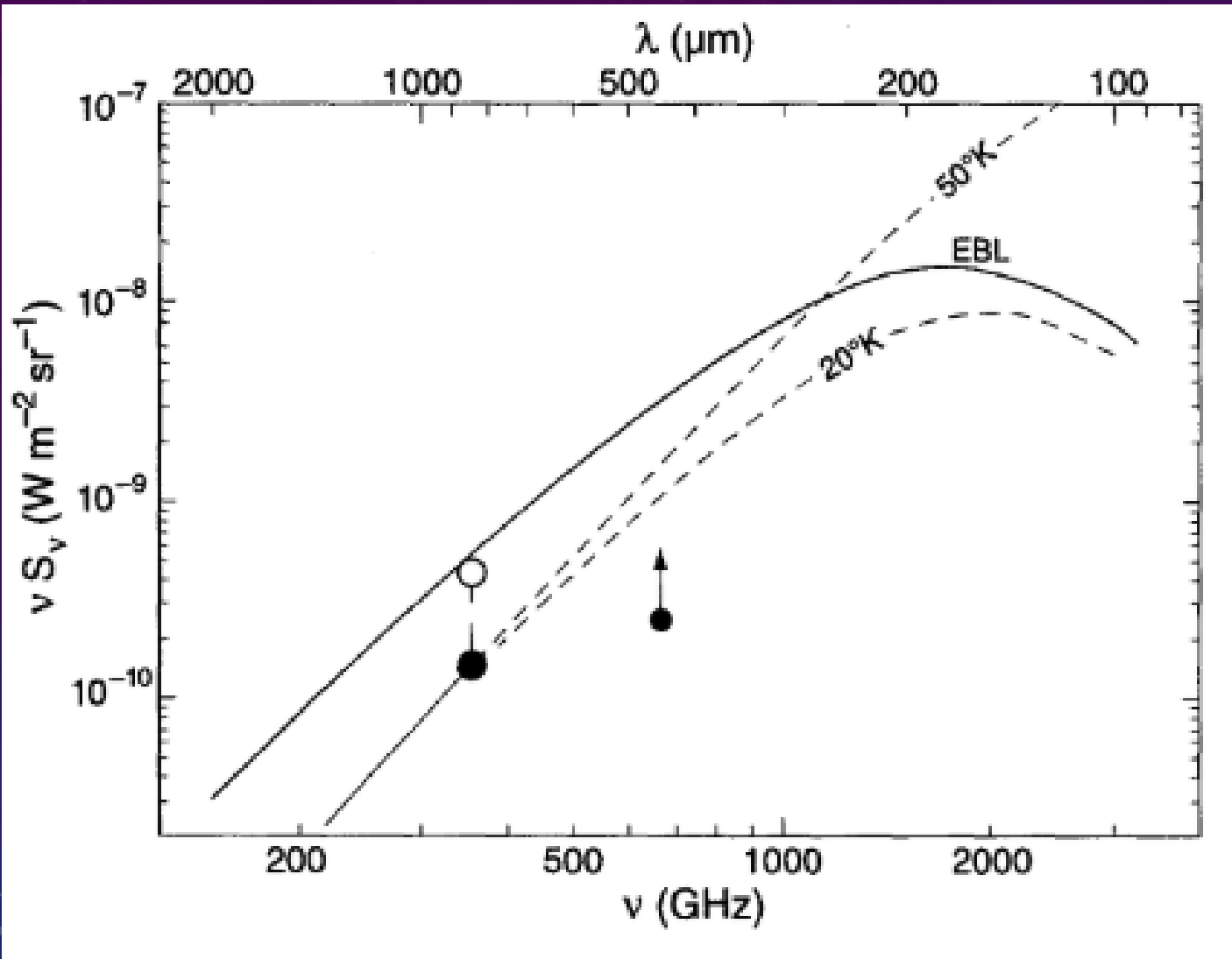


# Источники мягких повторяющихся гамма-всплесков



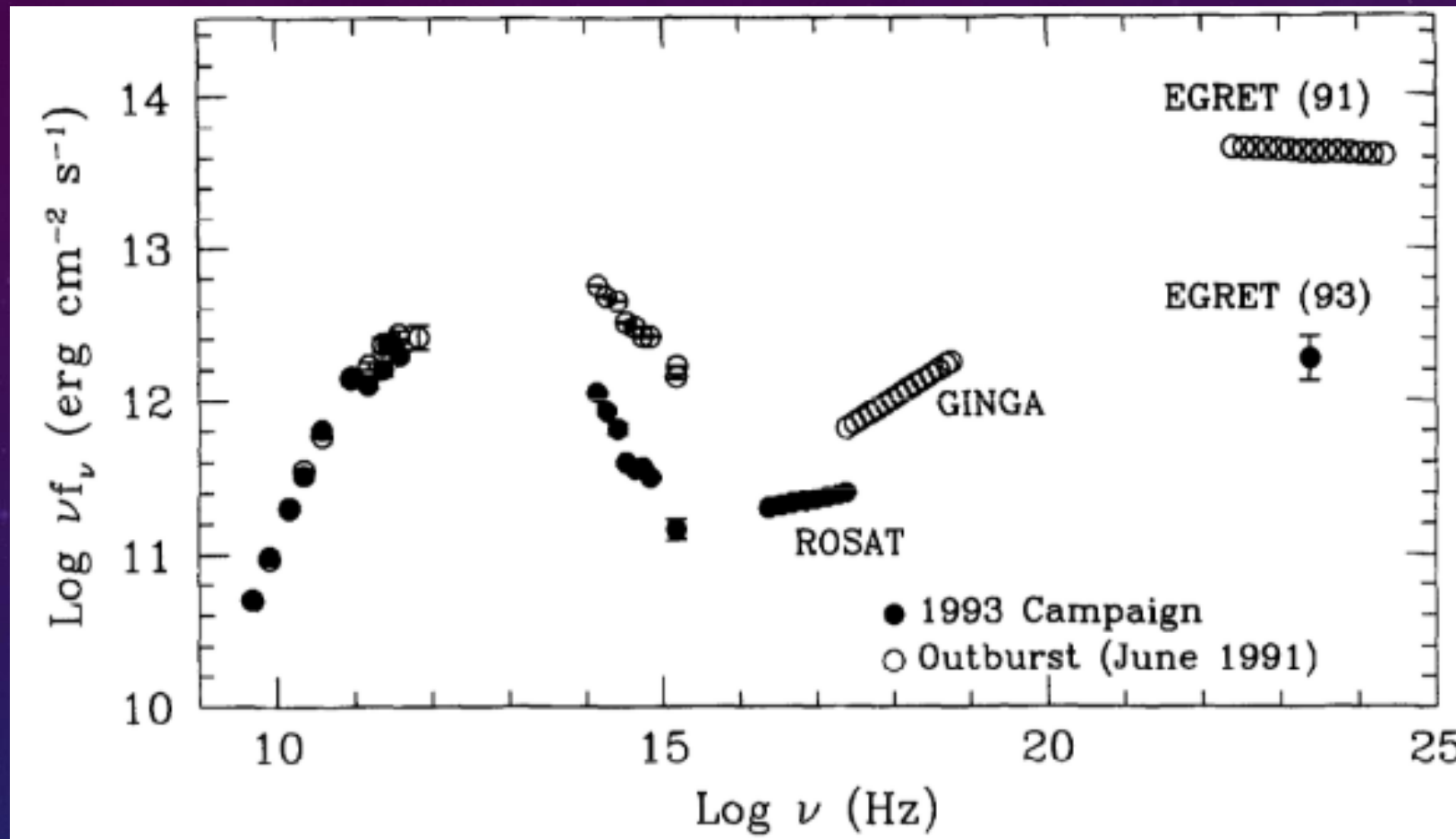
Крестики: плотности потока в полосах L', K, H и J для звезды A в работе Kulkarni et al. (1995). Пунктирная линия — моноэнергетический синхротронный спектр. Длинная штриховая линия — спектр черного тела с температурой 120 К. Короткая штриховая линия — модель пыли популяции I с  $T_{gr} = 100$  К. Короткая штрих-пунктирная линия — модель пыли популяции II с  $T_{ef} = 92$  К. Сплошная кривая представляет собой спектр черного тела с температурой 30 000 К, ослабленный законом межзвездного поглощения Рике и Лебофски с  $A_v = 30$ .

# Сверх яркие инфракрасные галактики



Сравнение вклада источников ярче 3 мЯн на длине волны 850 мкм (сплошной кружок) и экстраполированного вклада источников ярче 1 мЯн (светлый кружок) в EBL по сравнению с аналитическим приближением EBL (сплошная кривая). Две пунктирные кривые соответствуют наблюдаемым температурам источника 50 К и 25 К, каждая из которых основана на функции Планка.

# Блазары



Спектральное распределение энергии 3C 279 в две эпохи. Верхнее состояние наблюдалось в июне 1991 года, когда 3C 279 было обнаружено с помощью EGRET, а нижнее состояние - в январе 1993 года. Переменность комптоновской компоненты (энергии рентгеновского гамма-излучения) значительно больше, чем переменность синхротронной компоненты (ИК/оптическая/УФ).

Urry C. M. Multiwavelength properties of blazars //Advances in Space Research.  
– 1998. – V. 21. – №. 1-2. – P. 89-100.

# Итоги

- Потоки от солнечных вспышек  $10-10^7$  SFU
- Потоки от астрофизических объектов  $10^{-2}-100$  Ян
- Классы объектов, потенциально излучающих в терагерцевом диапазоне:
  - ближайшие звёзды главной последовательности
  - симбиотические двойные звёзды
  - источники мягких повторяющихся гамма-всплесков
  - сверх яркие инфракрасные галактики
  - блазары



The background features a dark blue gradient with a subtle pattern of white stars. Overlaid on this are several technical diagrams in a lighter blue color. These include circular gauges with numerical scales (e.g., 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260), dashed lines, and curved arrows indicating motion or flow. The text is centered in a bold, white, serif font.

**Спасибо за внимание!**