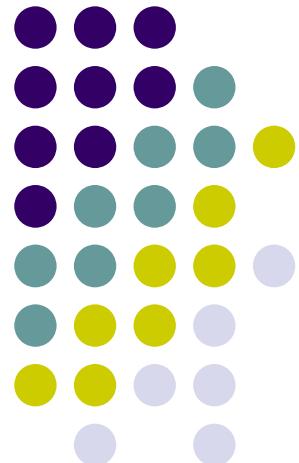
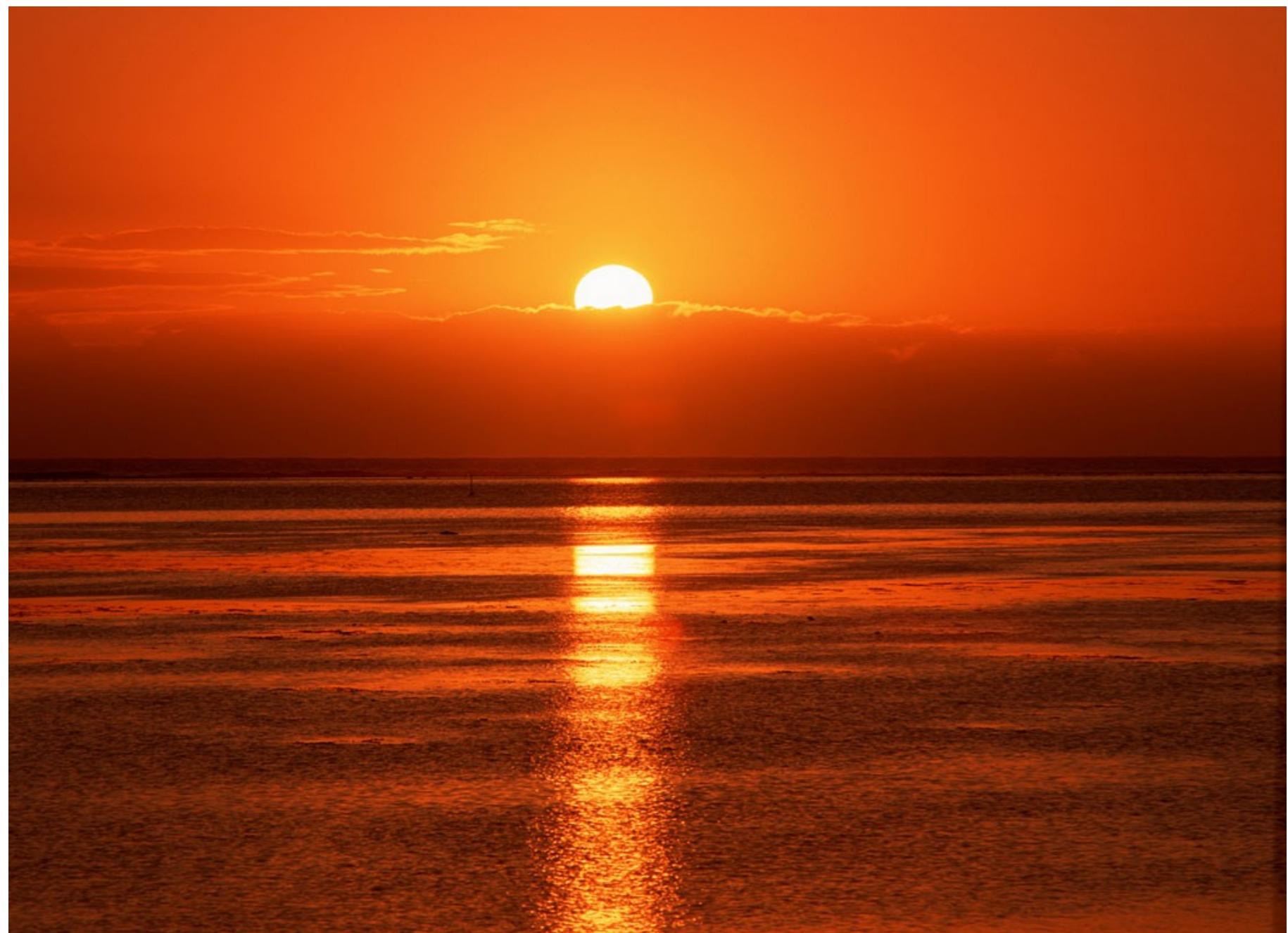


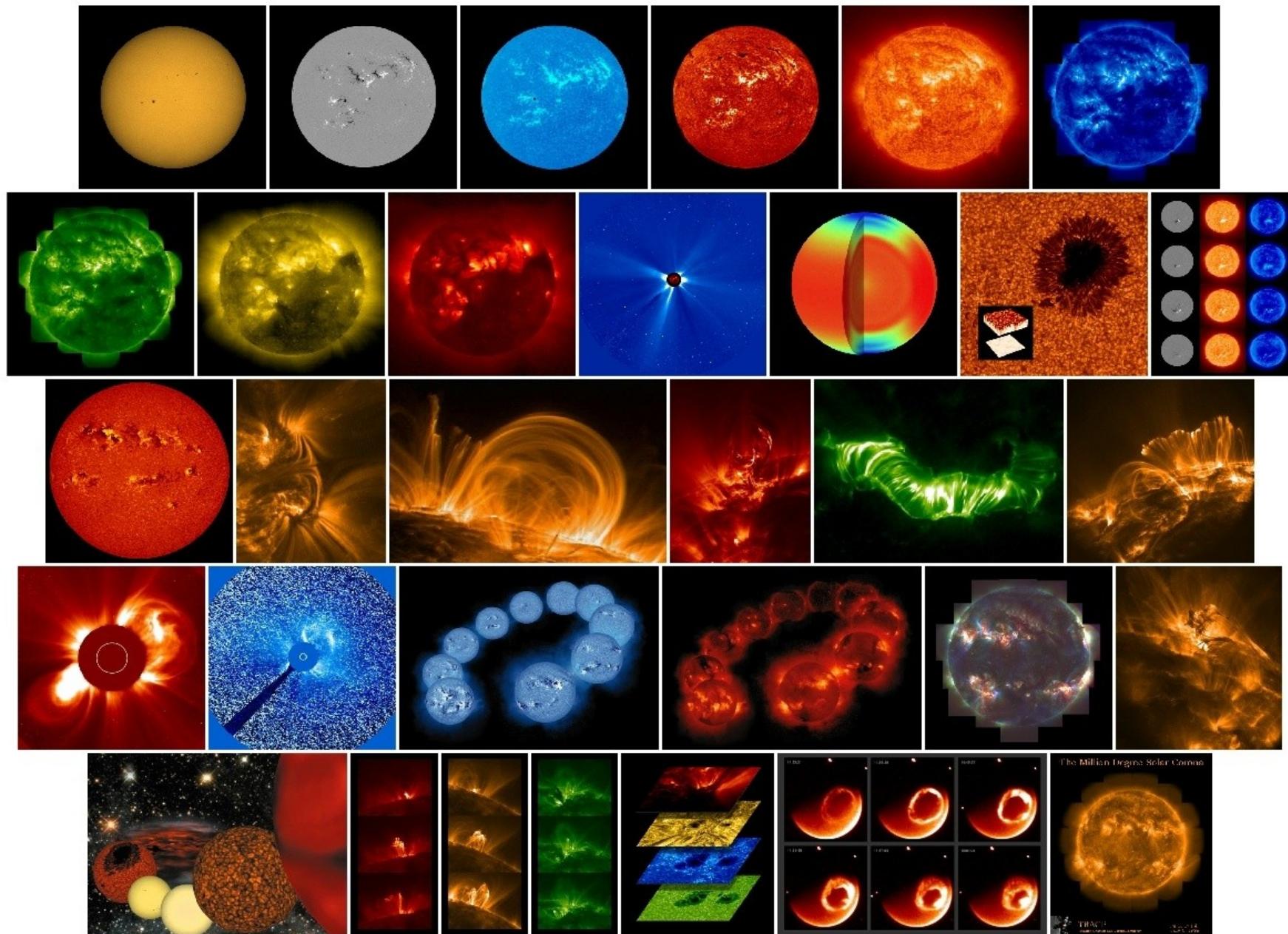
НЕВИДИМОЕ СОЛНЦЕ

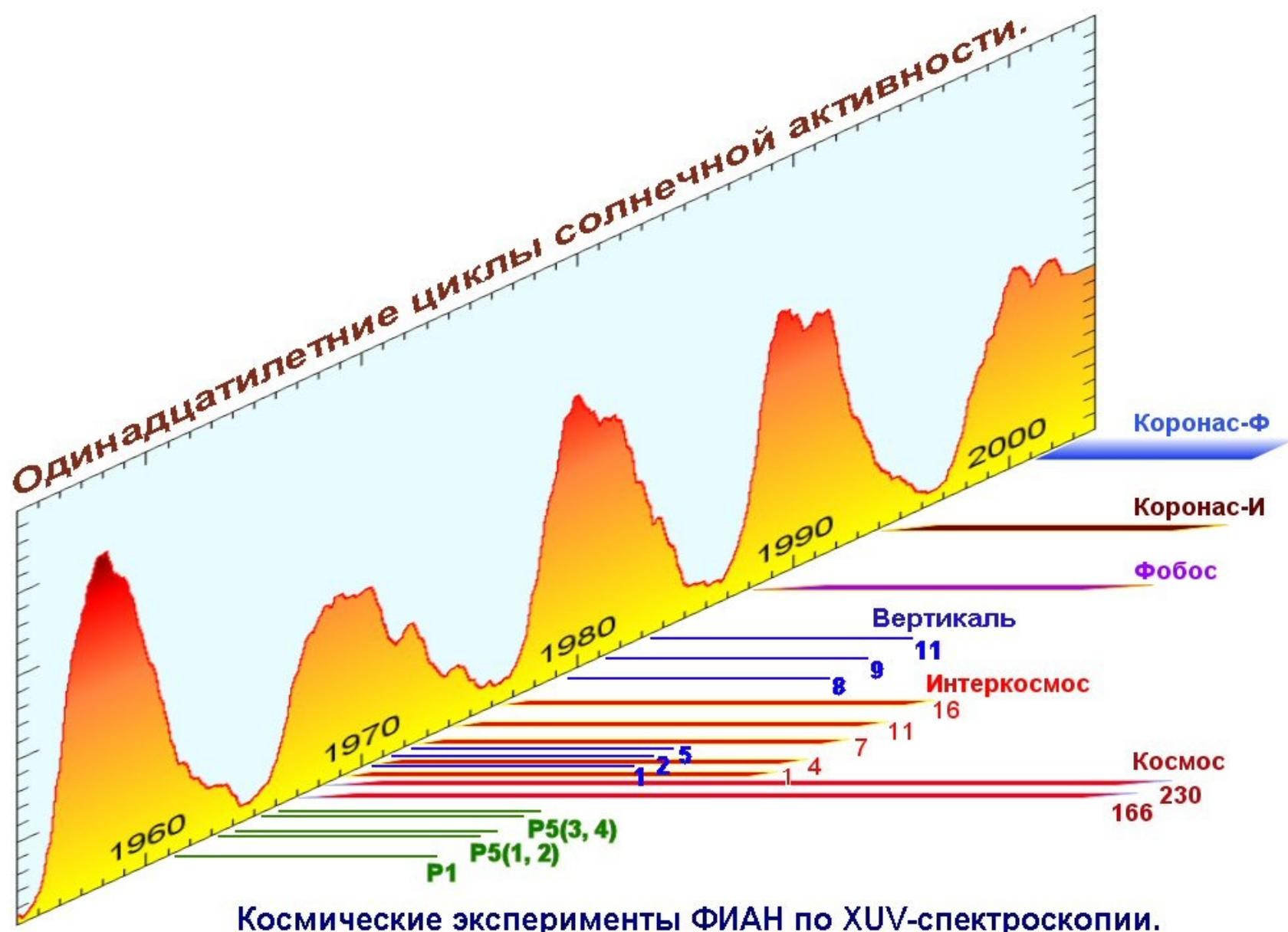
А.М.Урнов

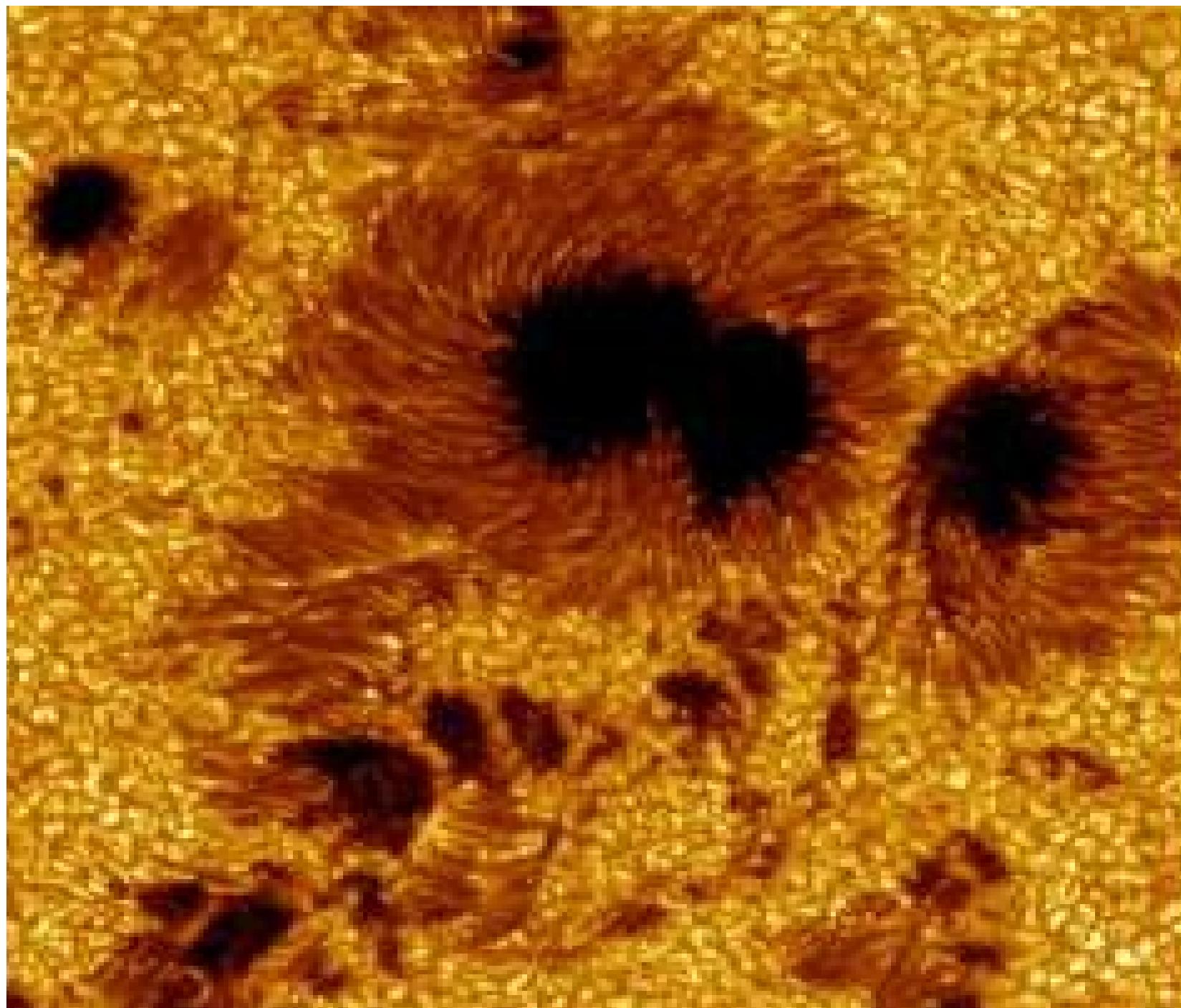
Отделение оптики ФИАН

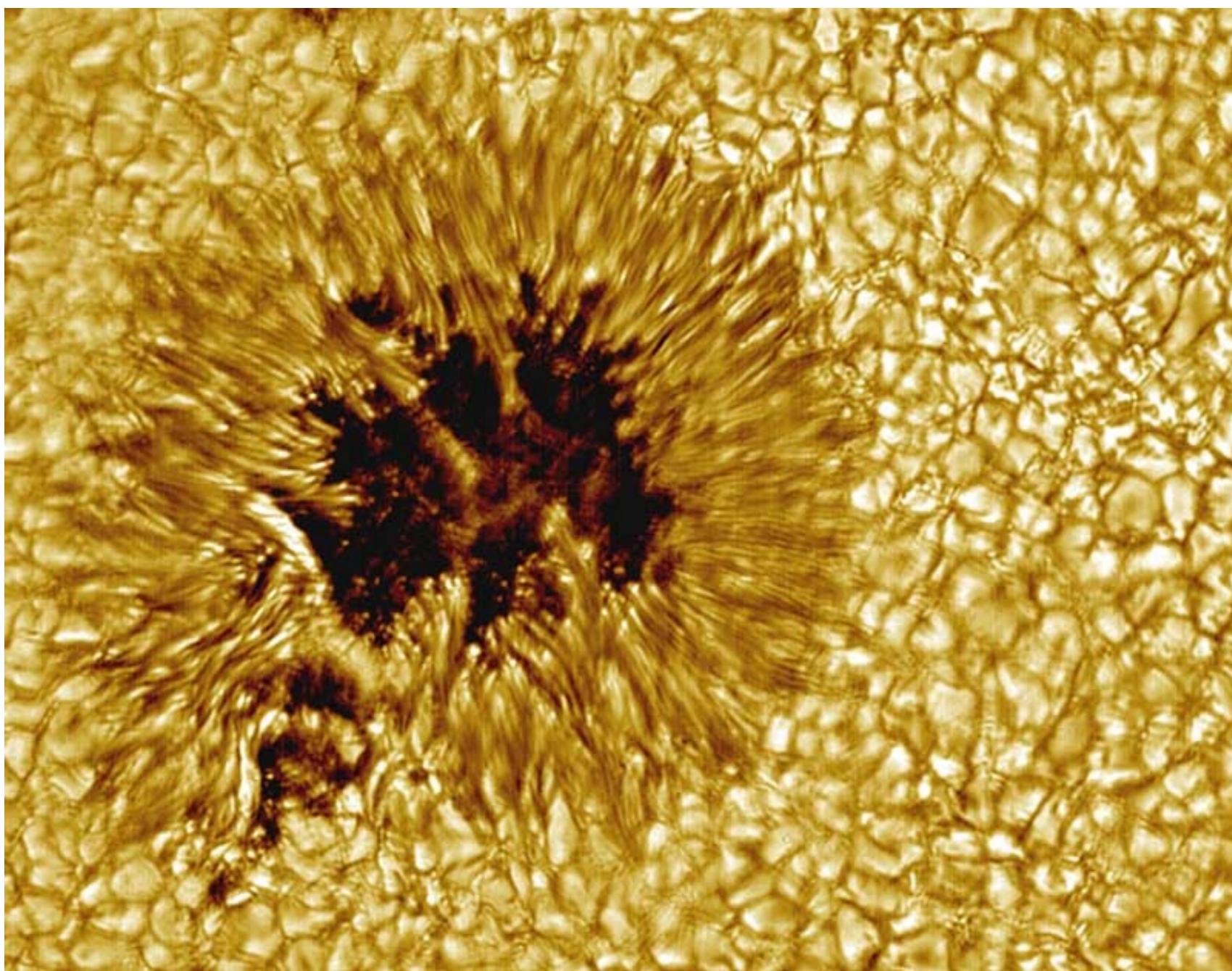


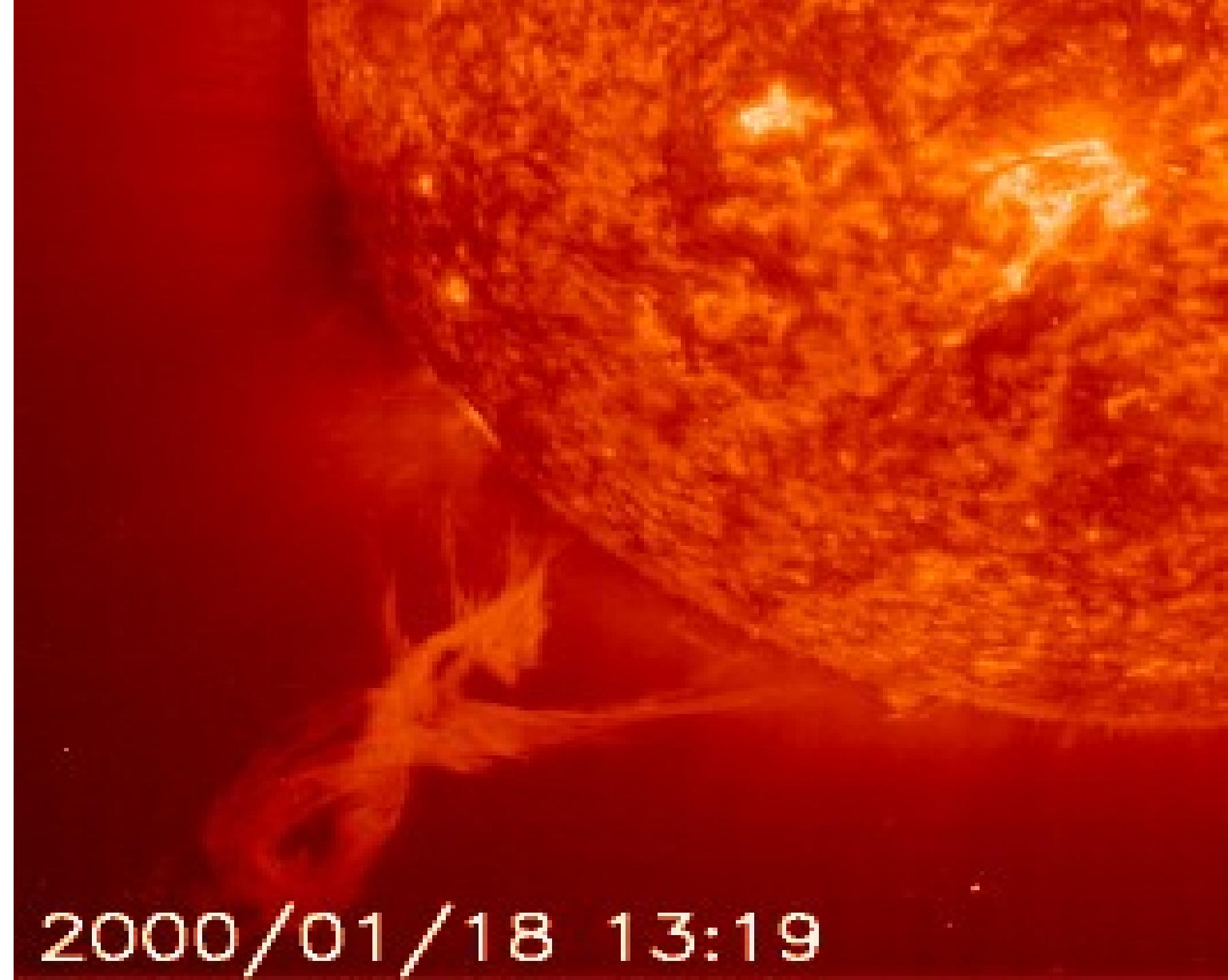




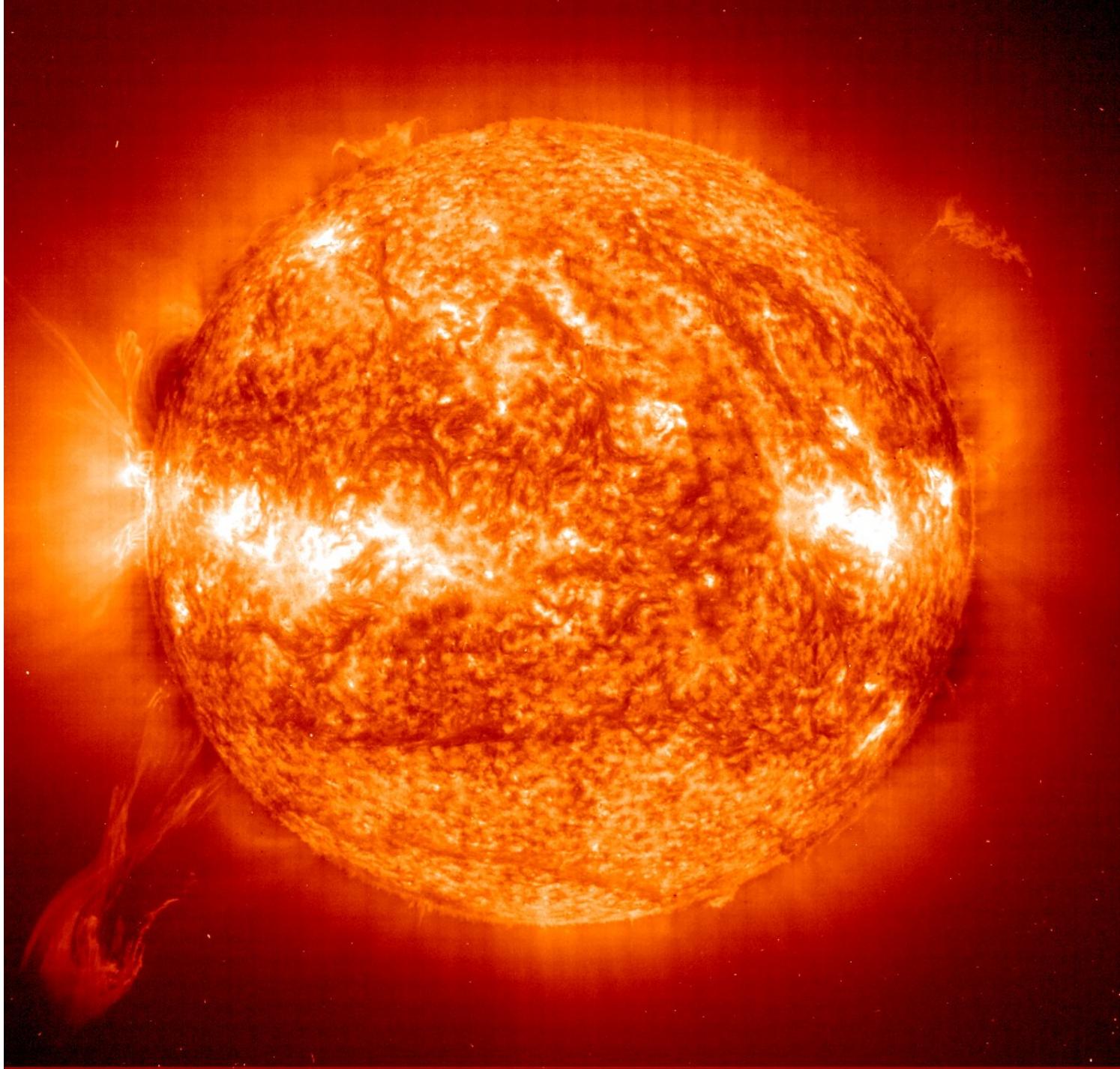








2000/01/18 13:19





Approximate size
of earth for
comparison

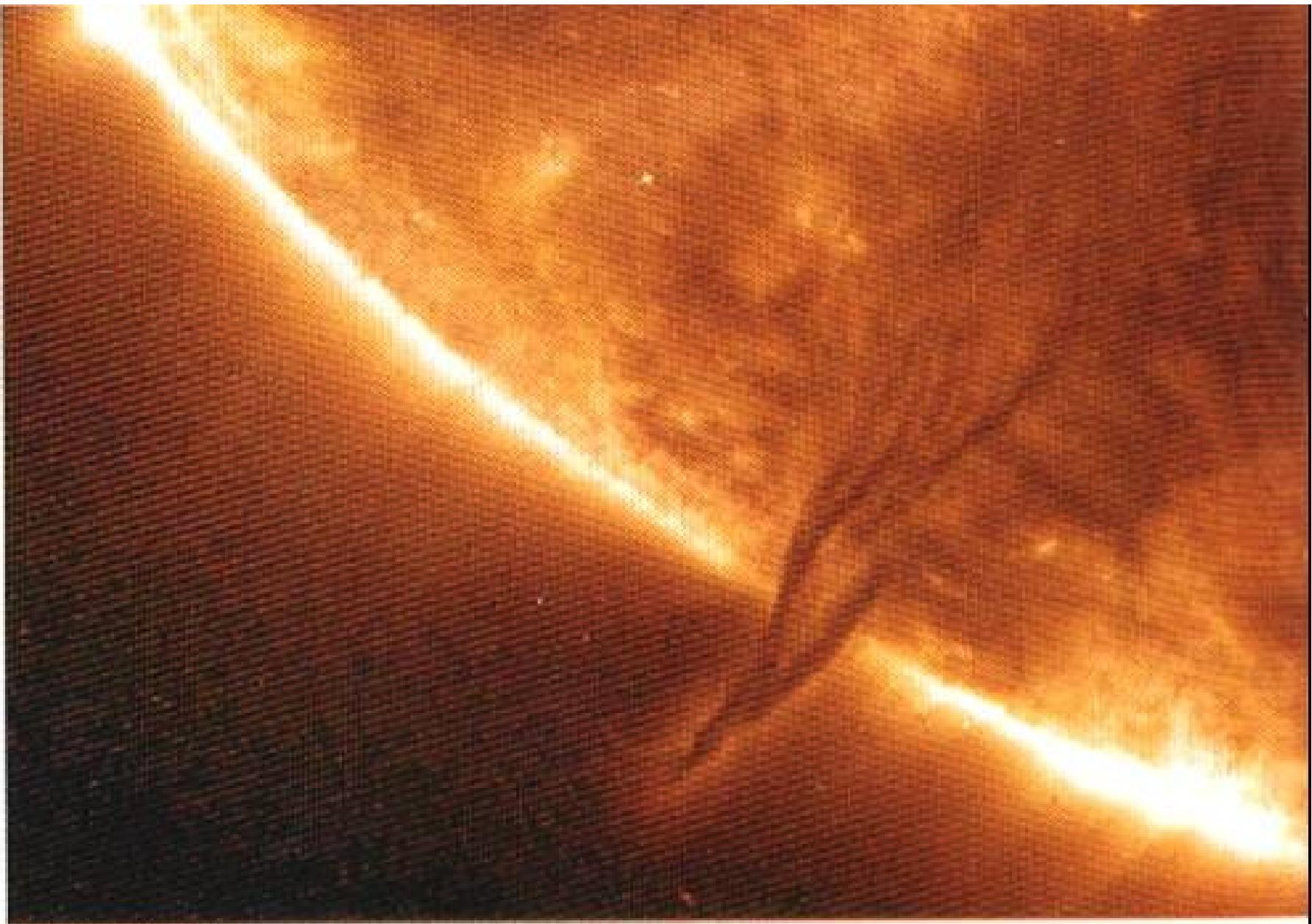
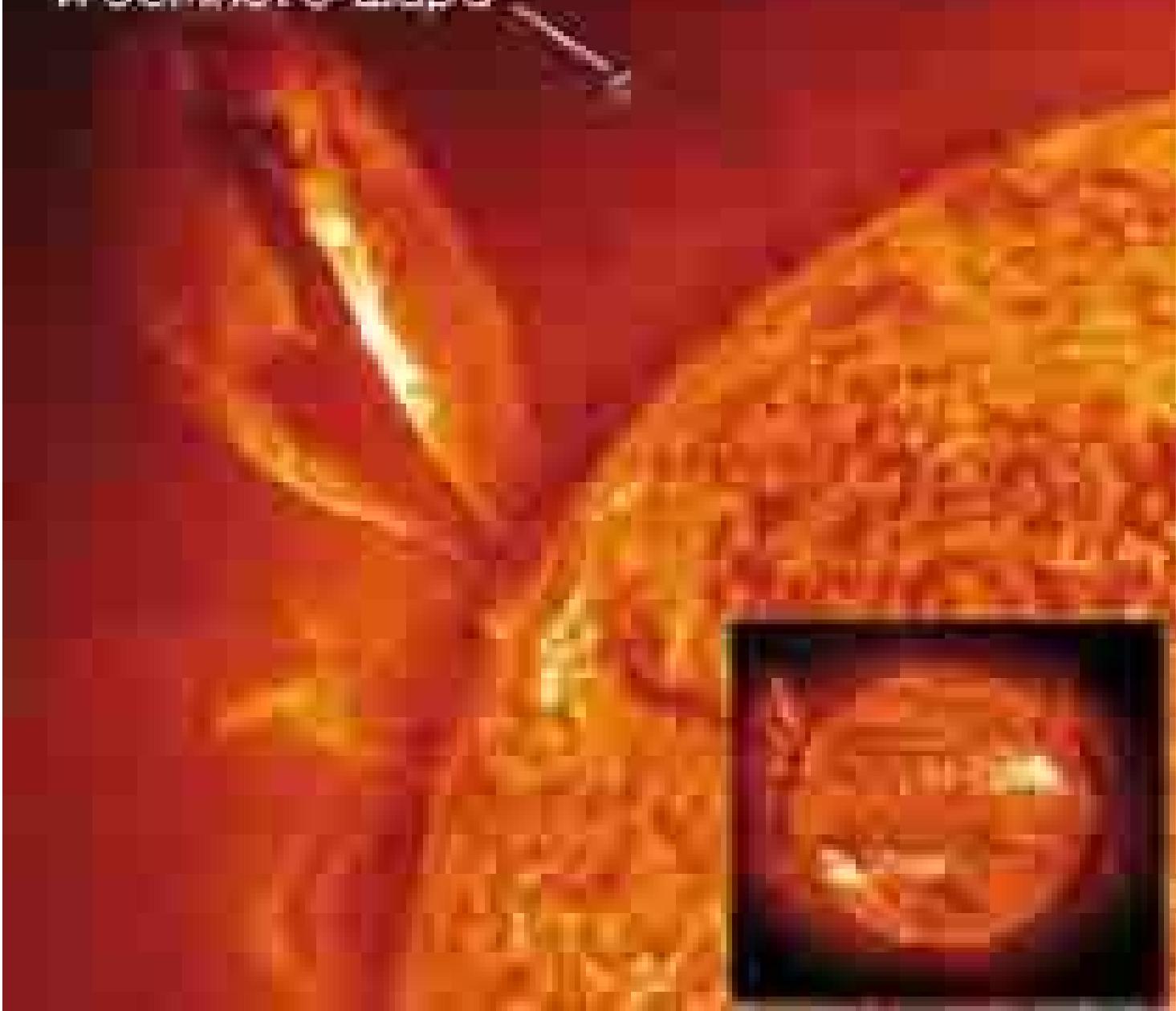
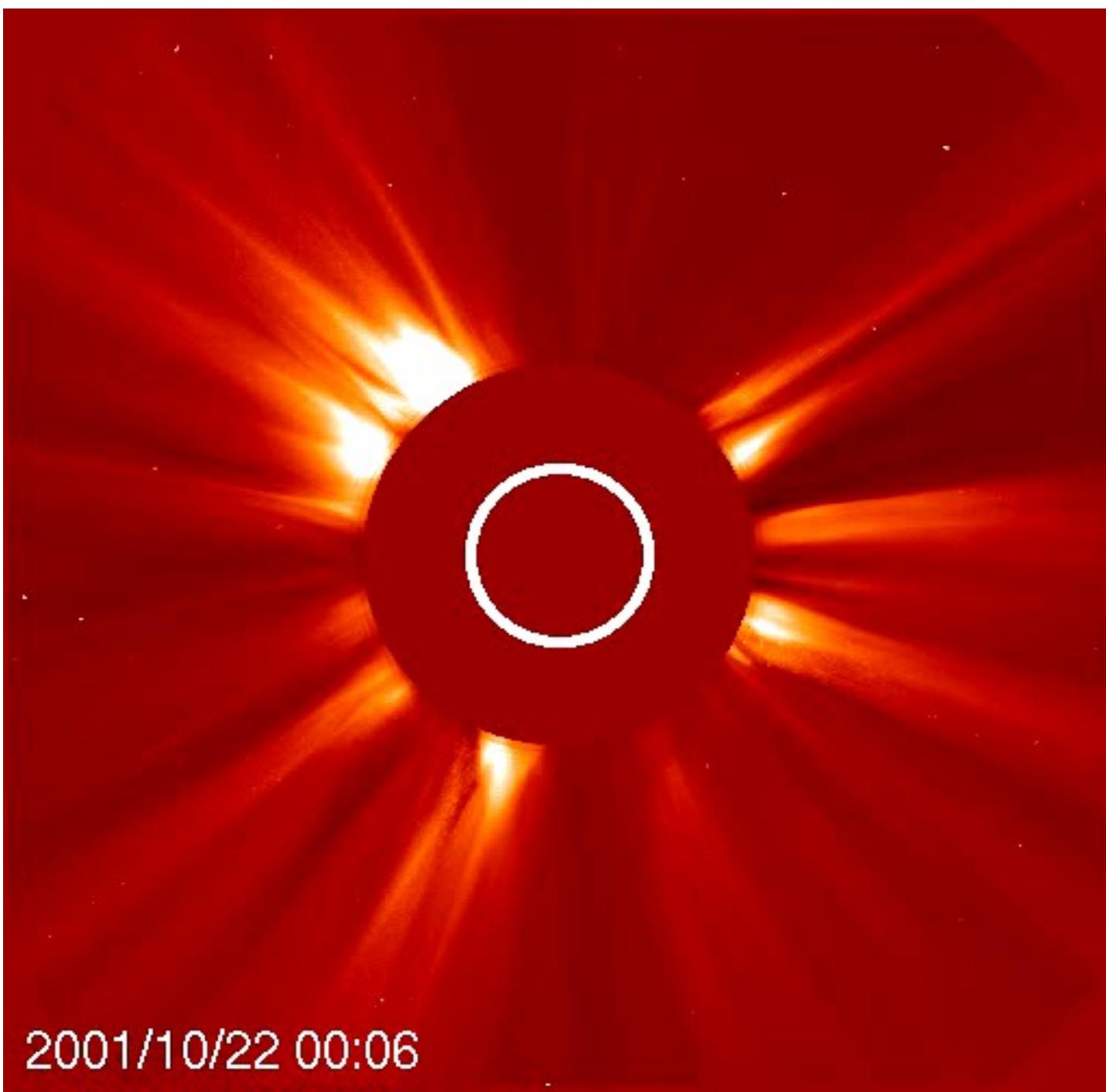


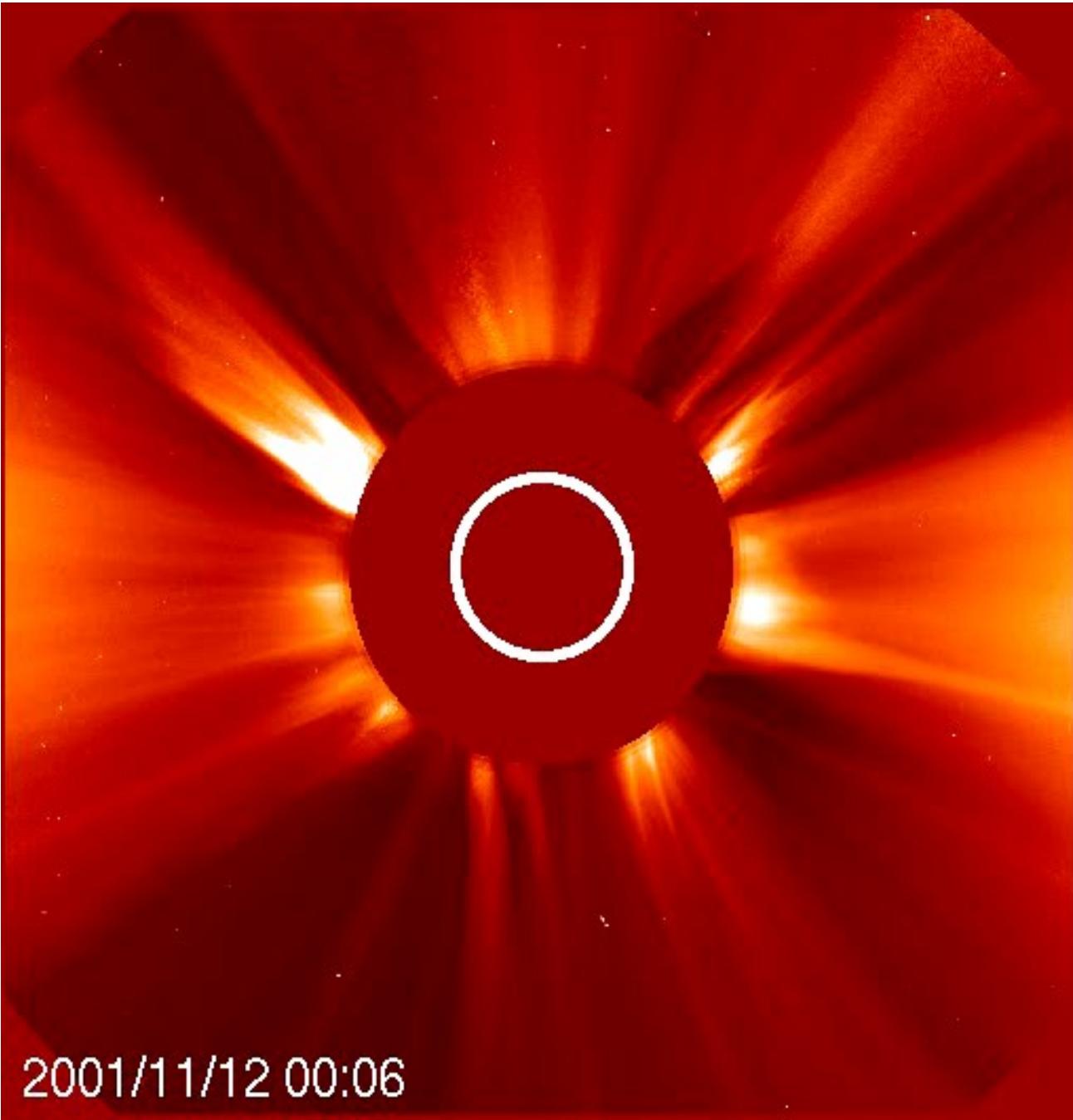
图 3 1998 年 5 月 21 日在 171 埃波段观测的日珥

Сравнительный размер солнечного протуберанца и земного шара

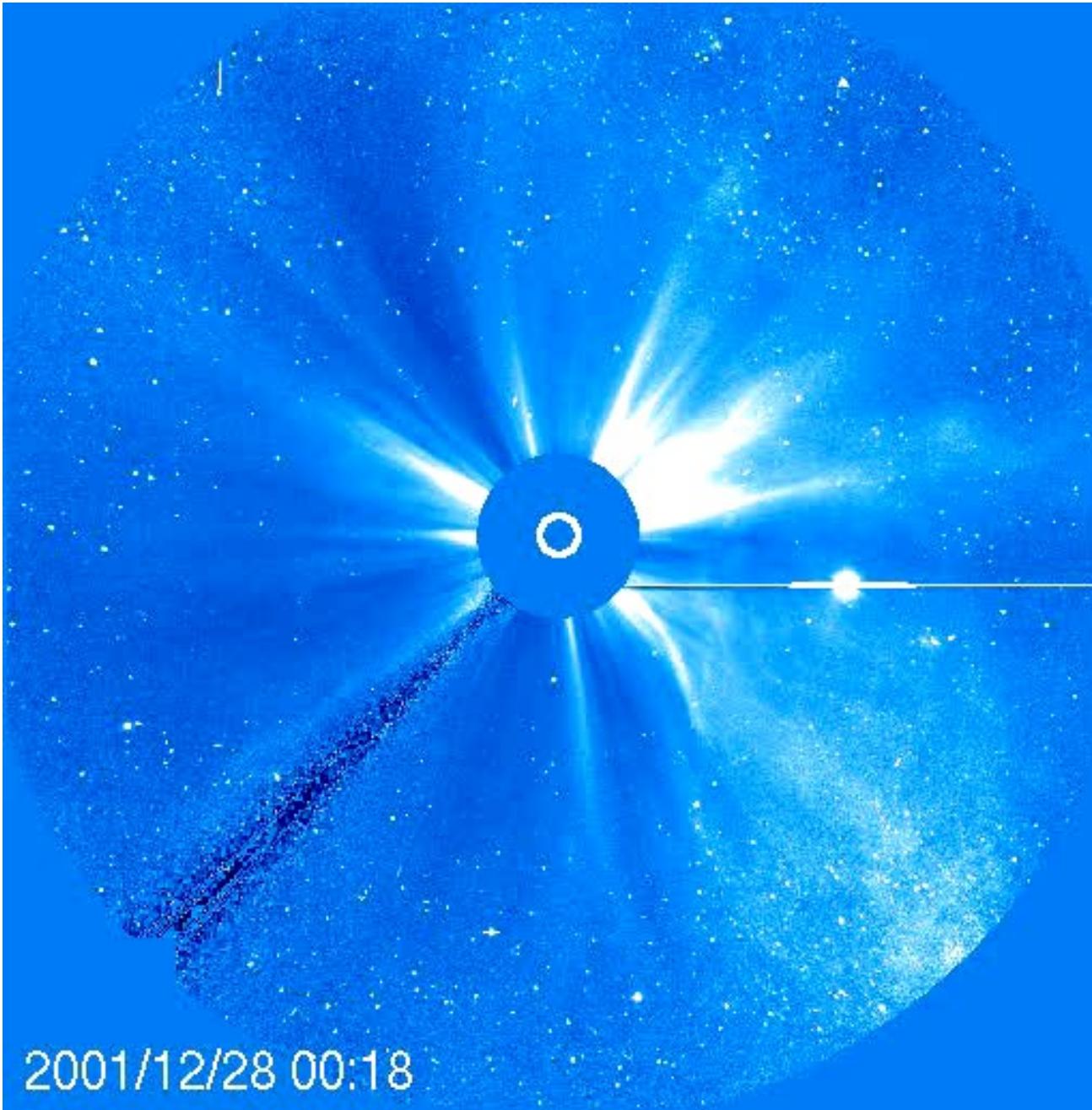




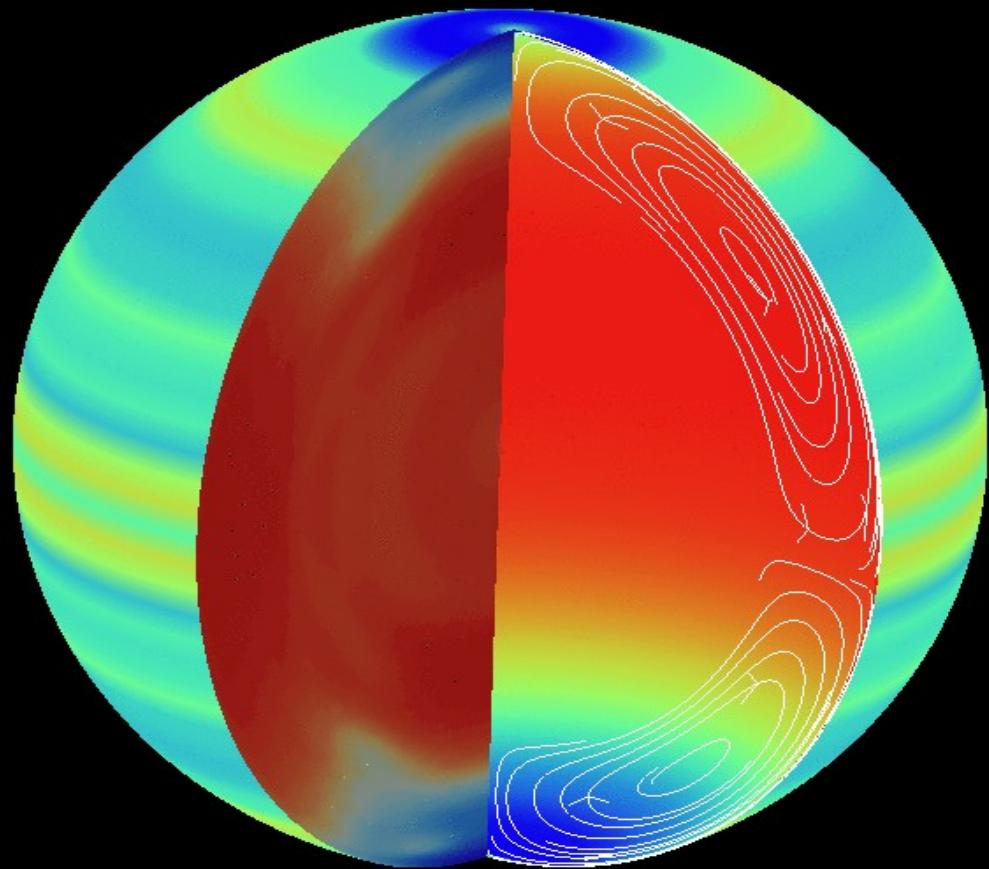
2001/10/22 00:06



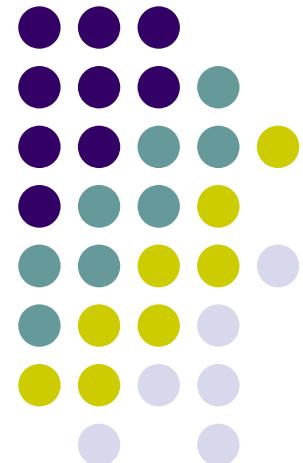
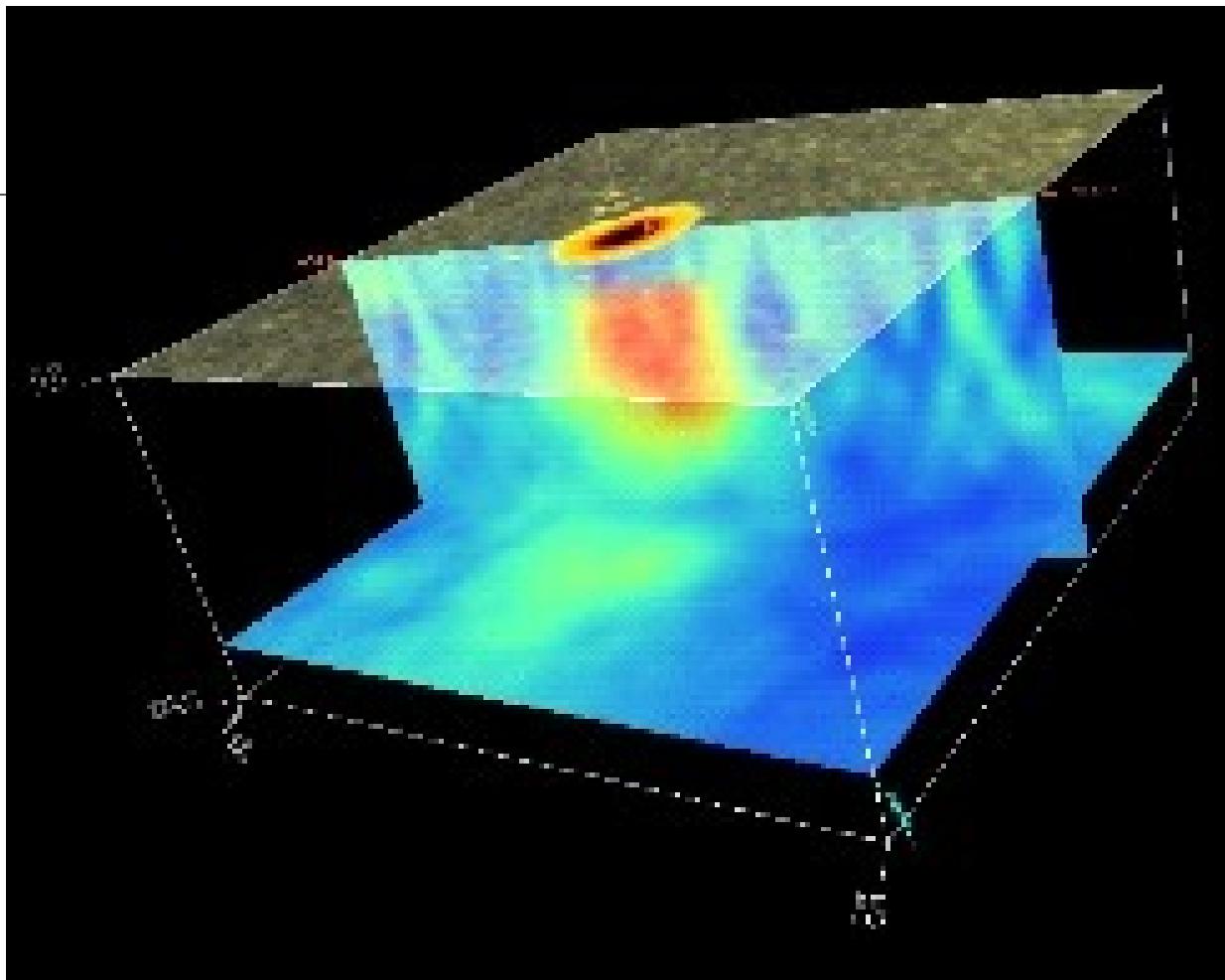
2001/11/12 00:06



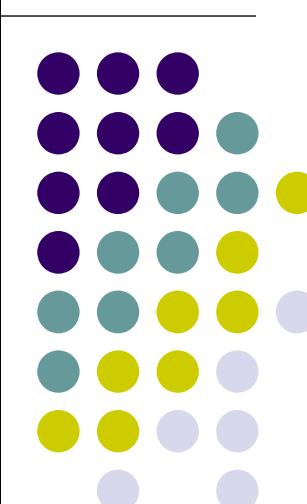
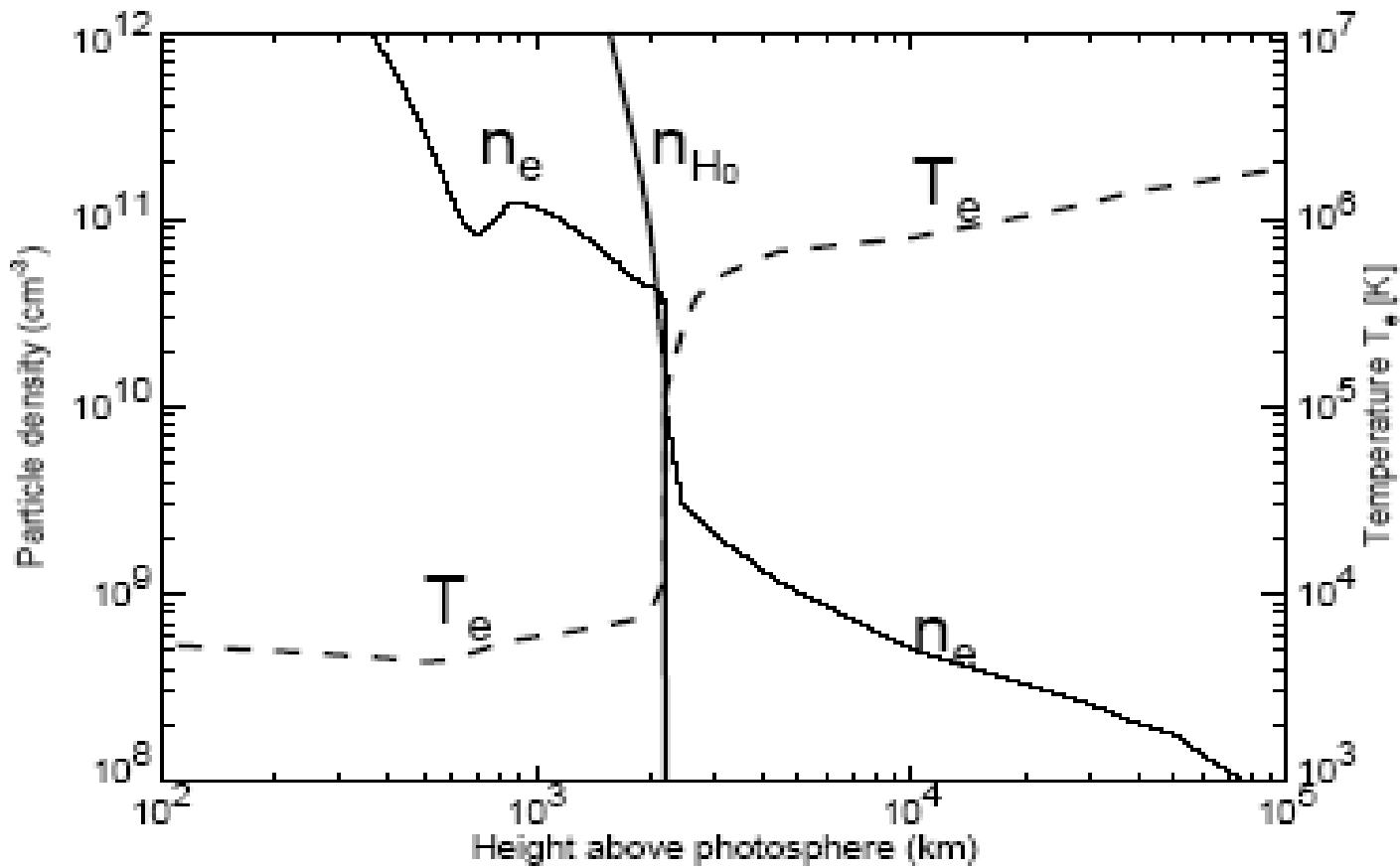
2001/12/28 00:18



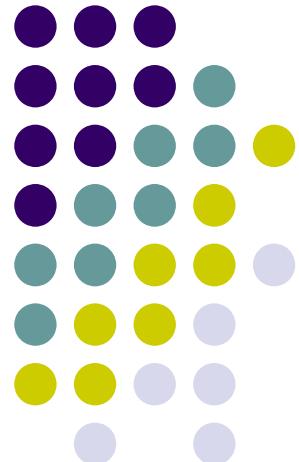
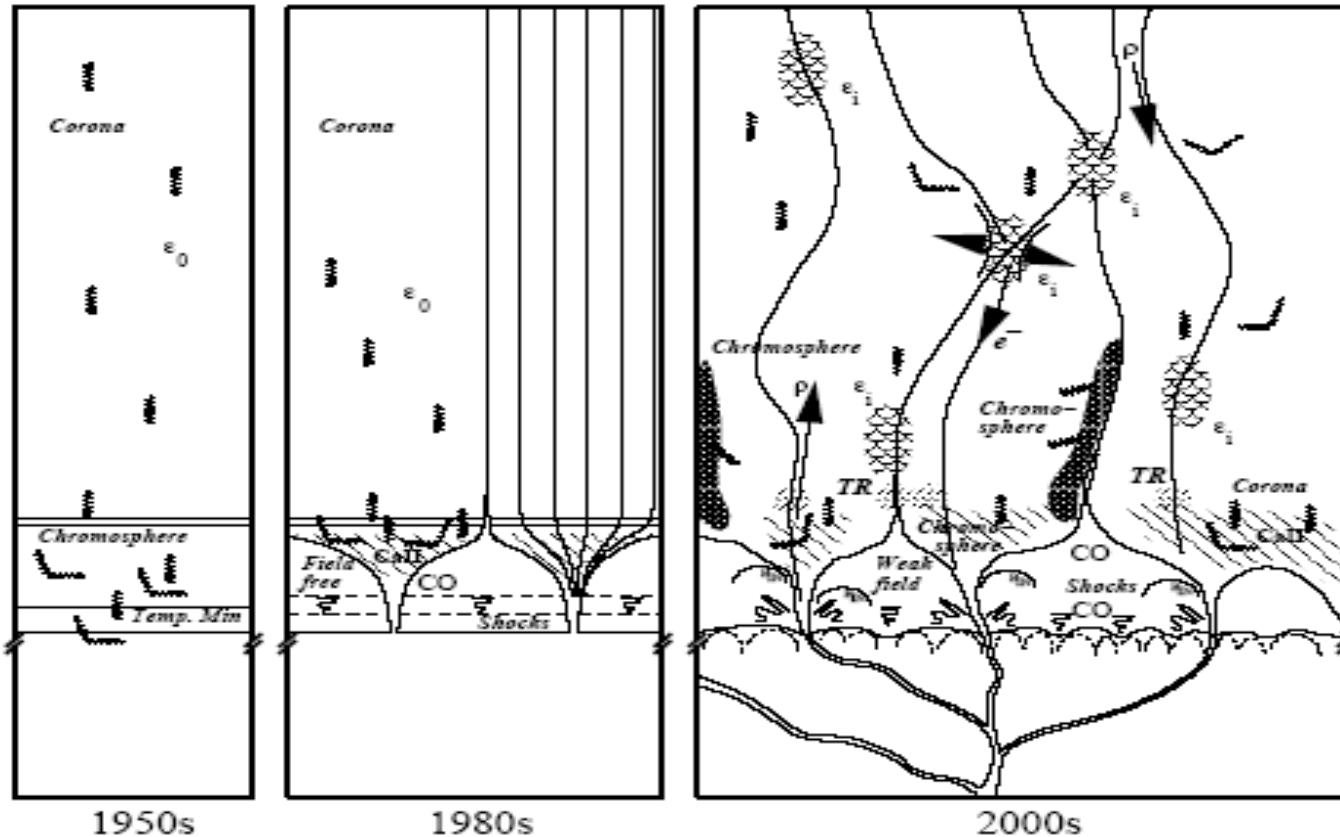
Локальная гелиосейсмология – заглядываем под солнечные пятна



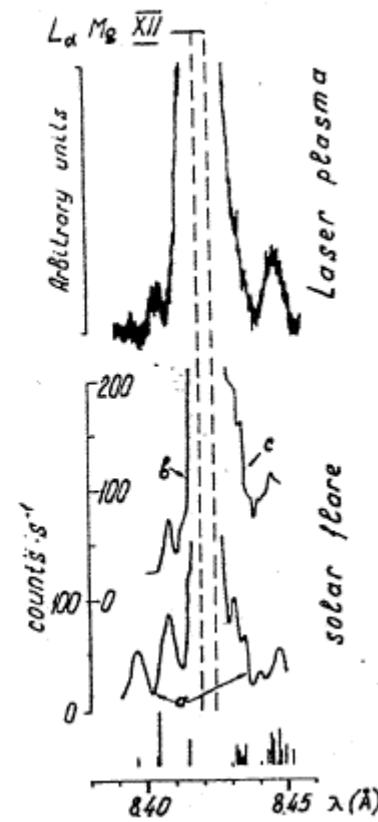
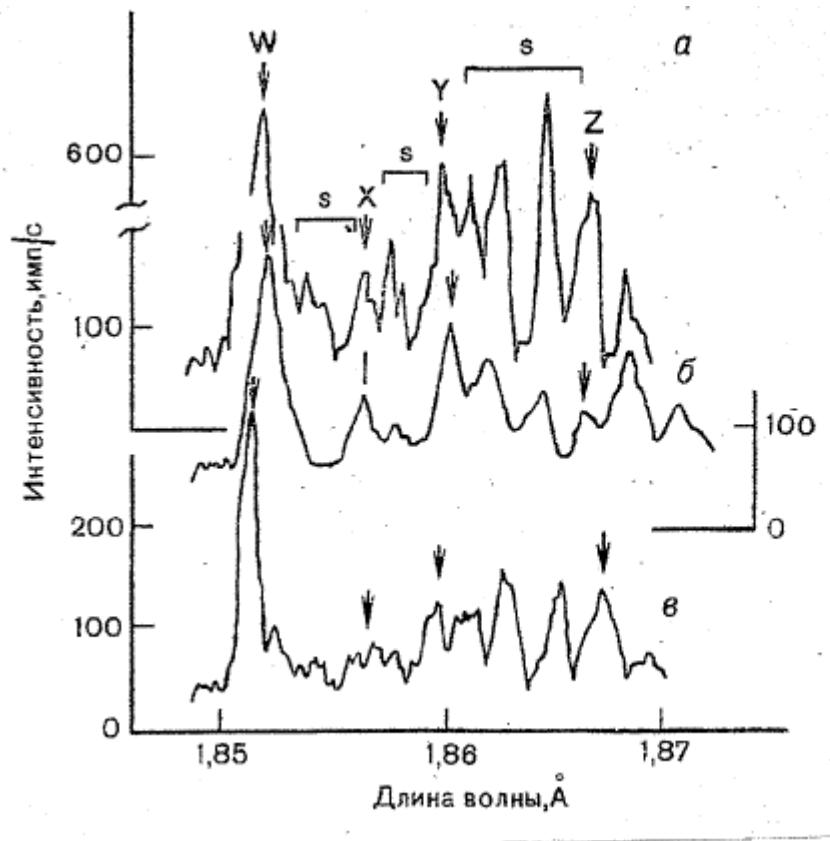
Модель средней короны



Эволюция взглядов

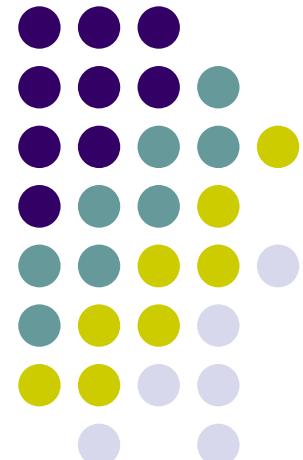


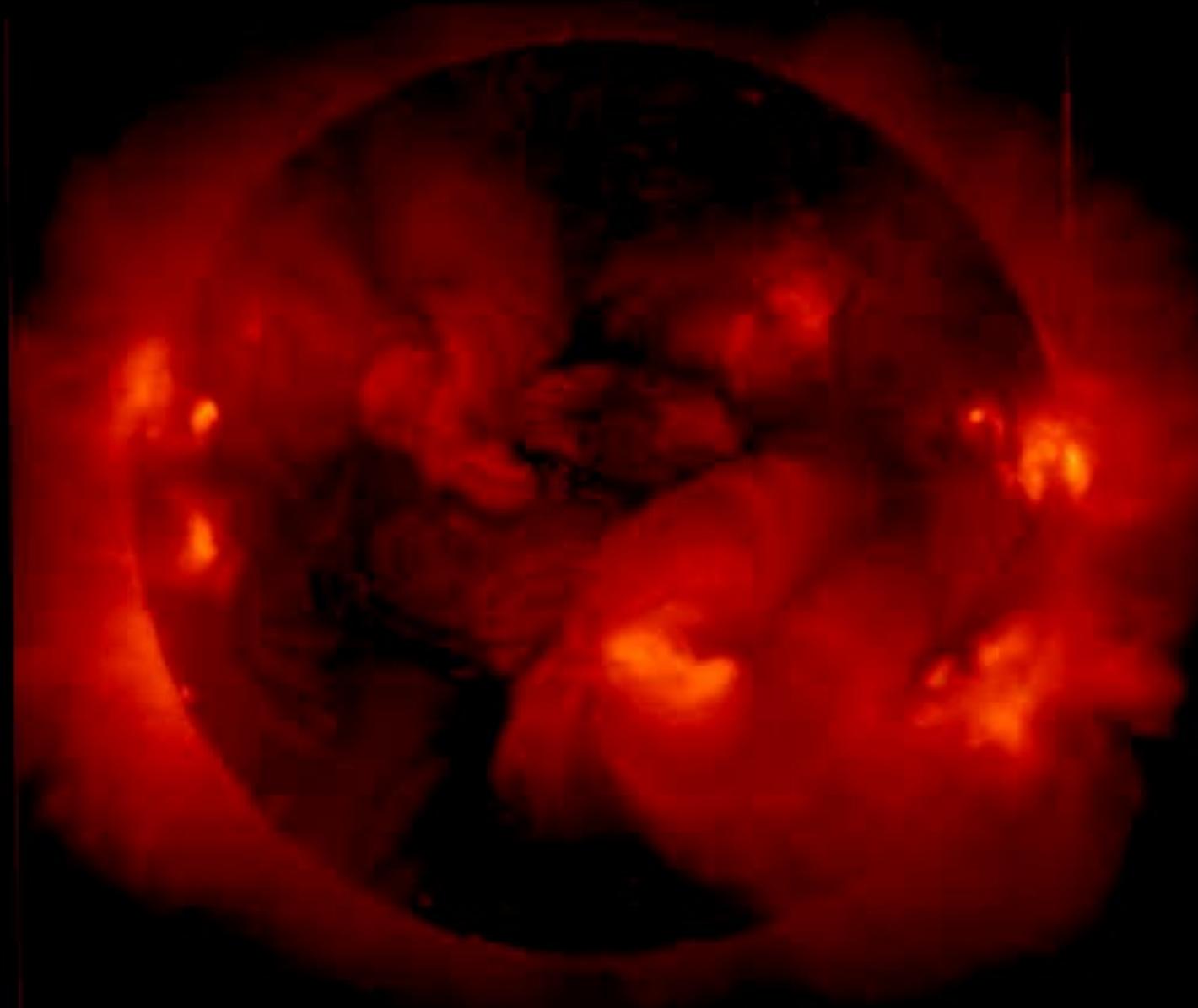
Спектры высокого разрешения [H] и [He] ионов Fe и Mg



Golden Age of Solar Physics from Space

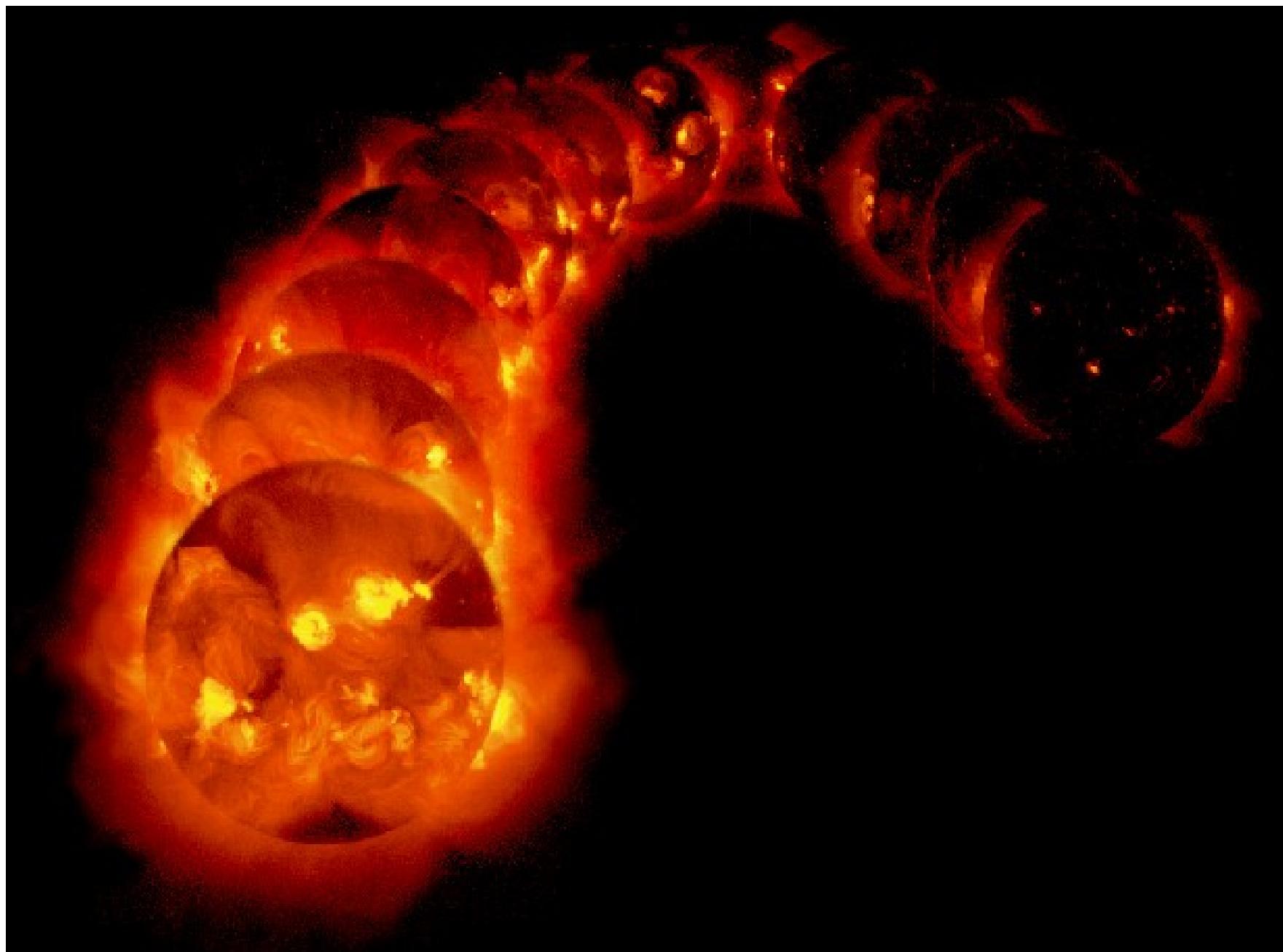
- **Yohkoh (1991 - 2001)** Japan / US / UK
Hard and Soft X-ray Imaging;
X-ray & Gamma-ray Spectroscopy; Flares
- **SoHO (1996 -)** ESA / NASA
Solar & Heliospheric Imaging; Helio-seismology
- **TRACE (1998 -)** NASA;
Highest Spatial Resolution UV & EUV Imaging
- **CORONAS-I,-F (1994- , 2001 -)** RSA
Monochromatic Imaging Spectroscopy
- **RHESSI (2002 -)** NASA / other
High-Energy Solar Spectroscopic Imager; Flares
- **CGRO, Ulysses, and other heliospheric missions**





2001/11/12 00:00

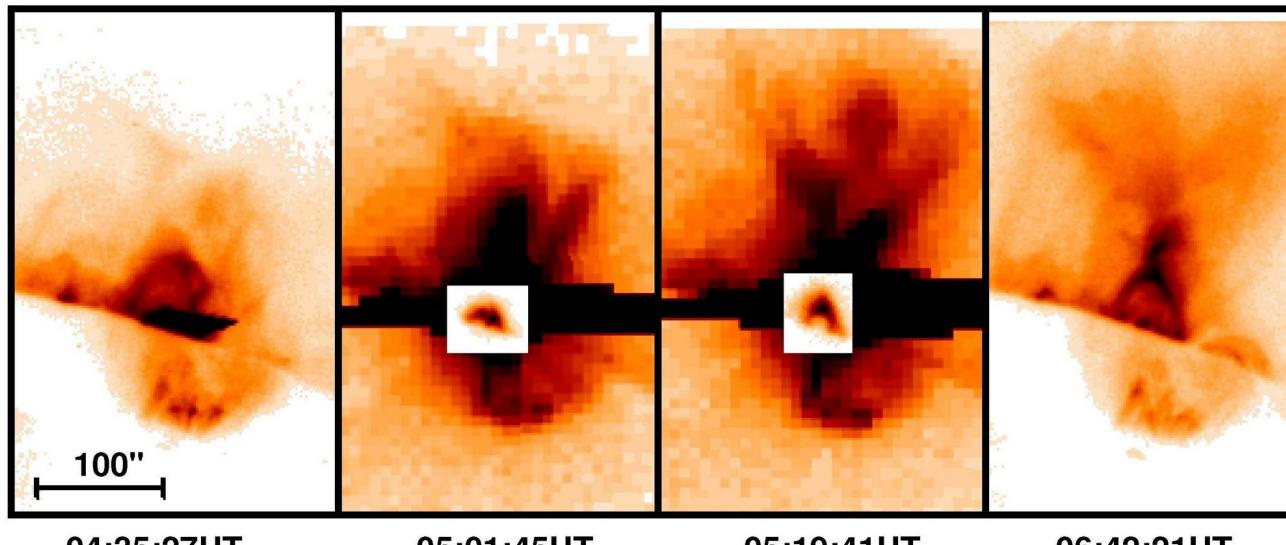
YOHKOH/SXT



CD 1999-03-18 01:24:00 195

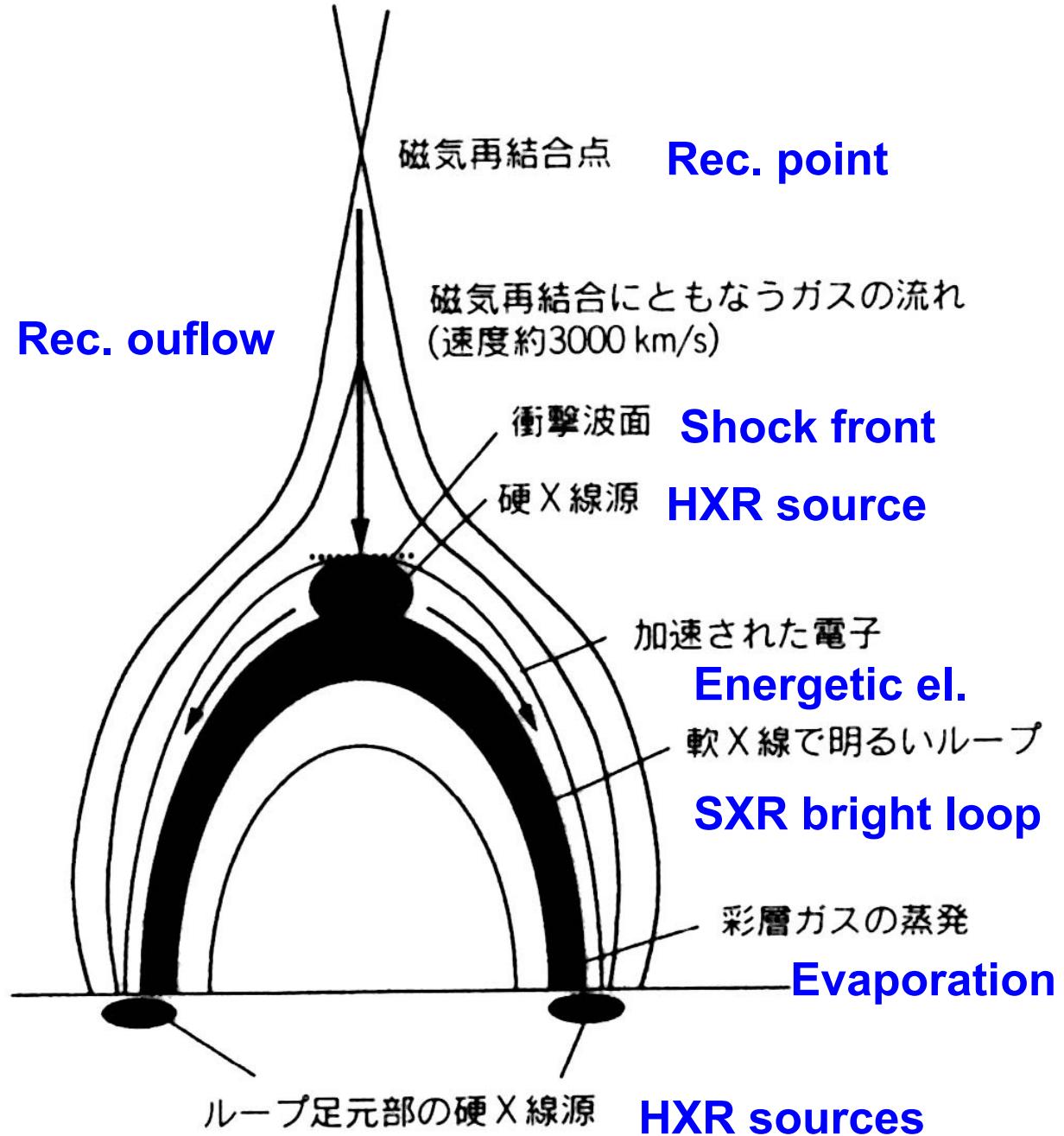
Flaring Loop and the Surroundings

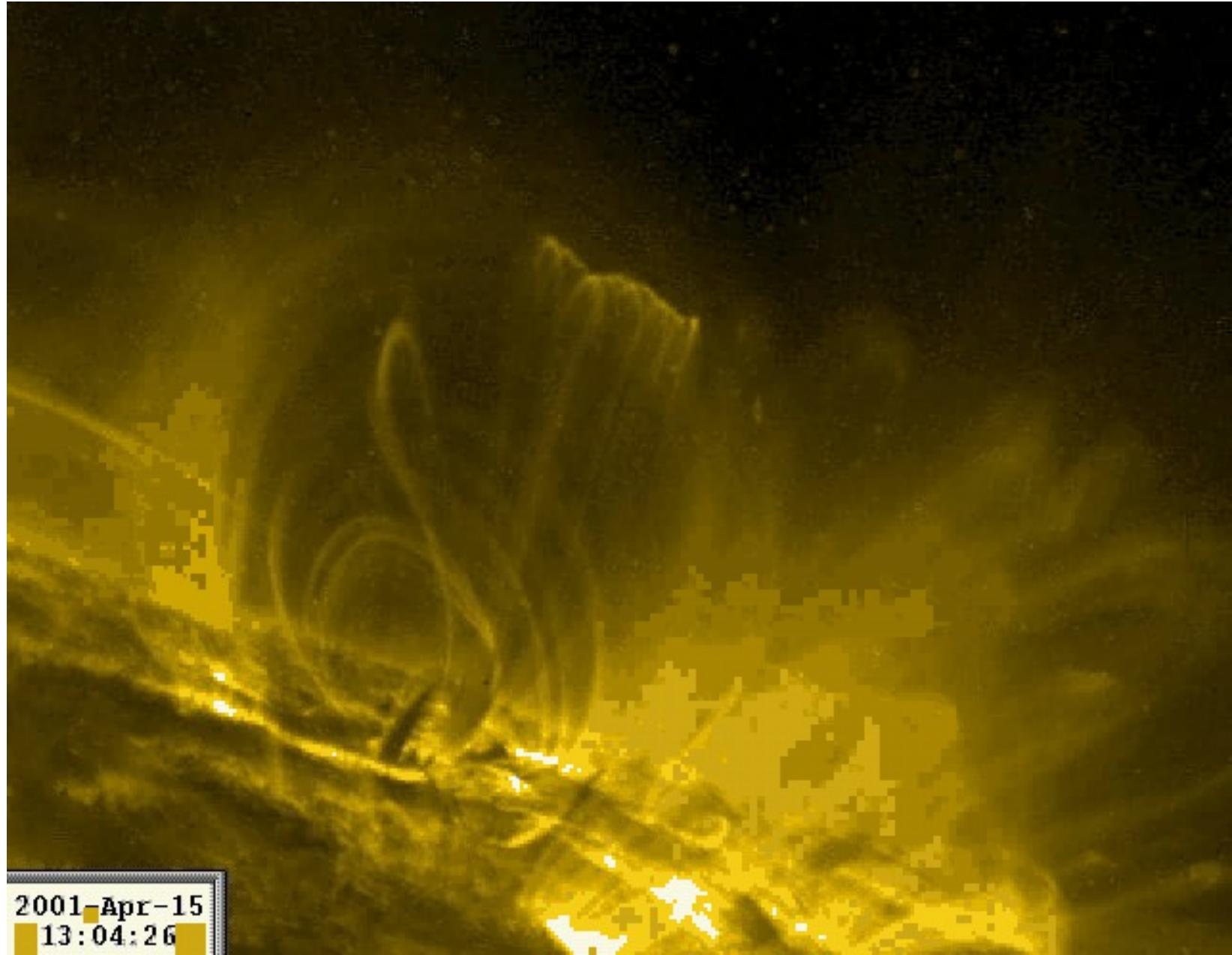
2-DEC-1992 Flare SXT Image Filter: Al.1



Yohkoh
canonical
view:

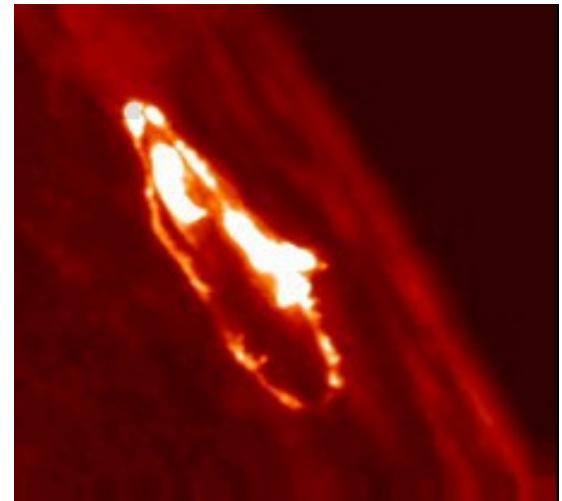
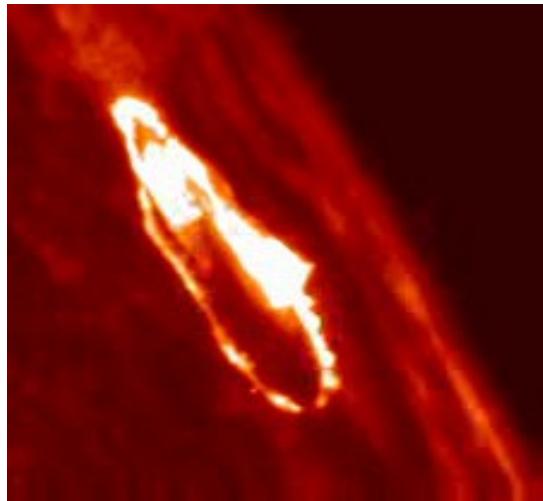
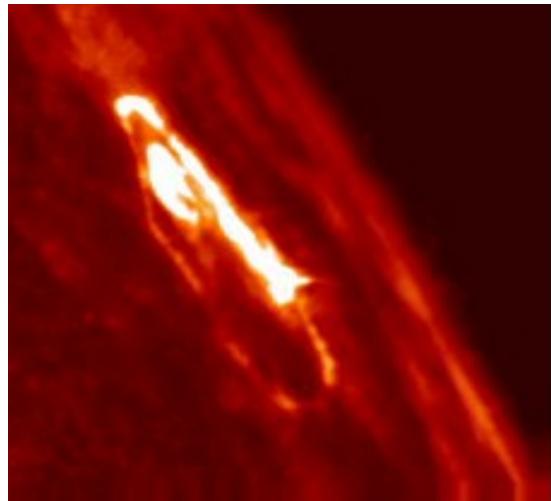
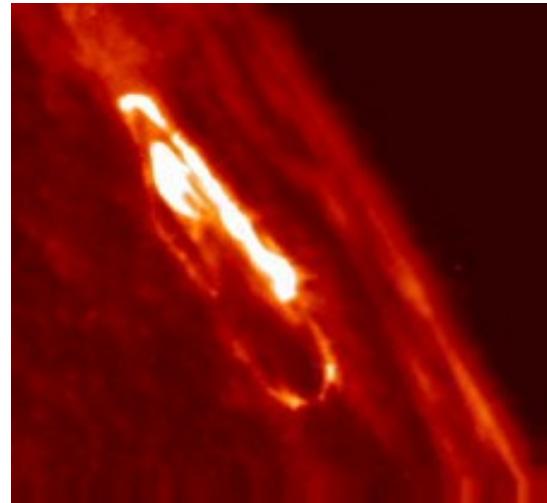
Magnetic
reconnection

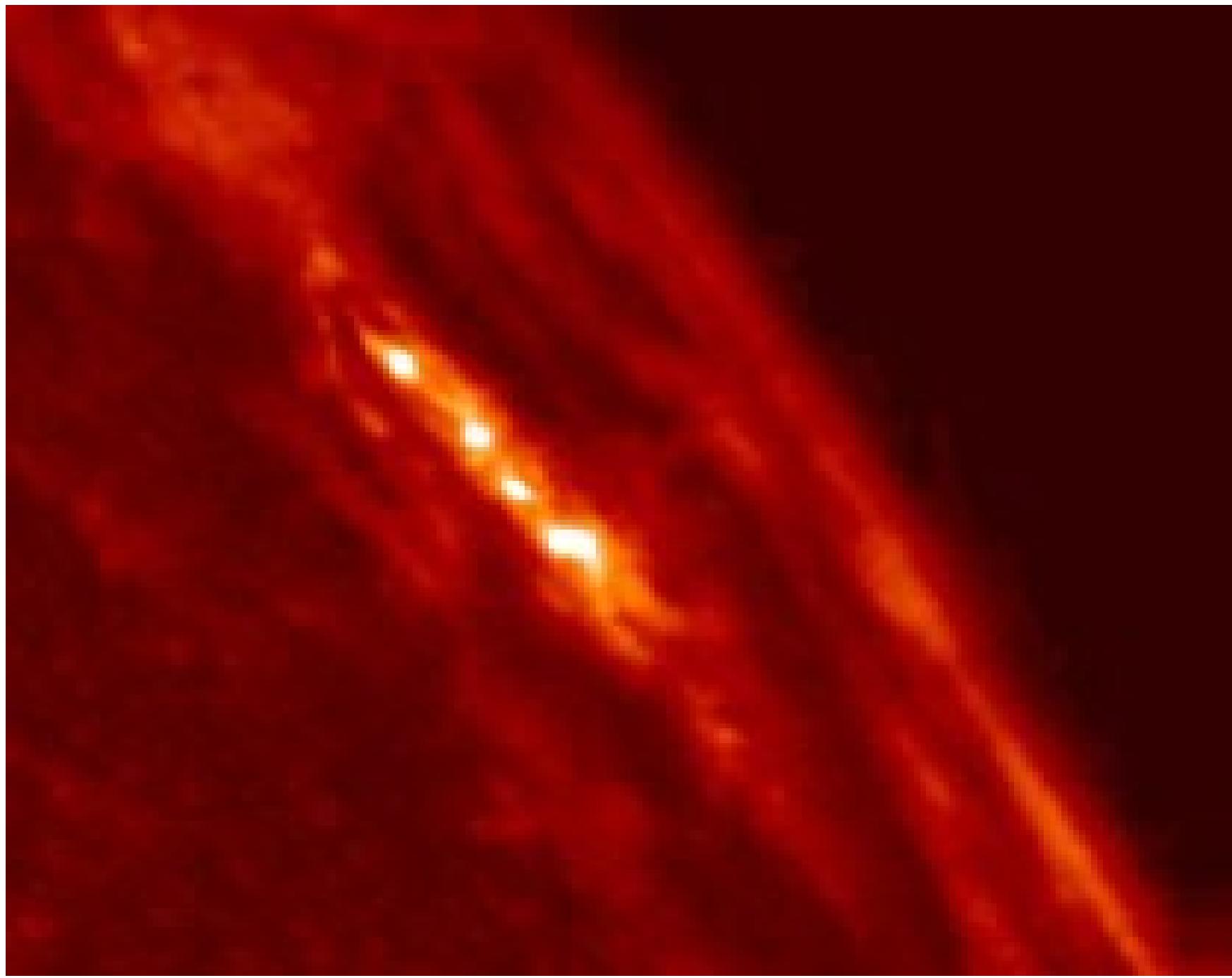


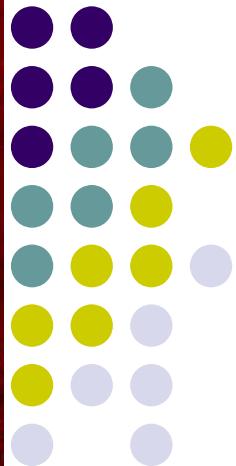


2001-Apr-15
13:04:26

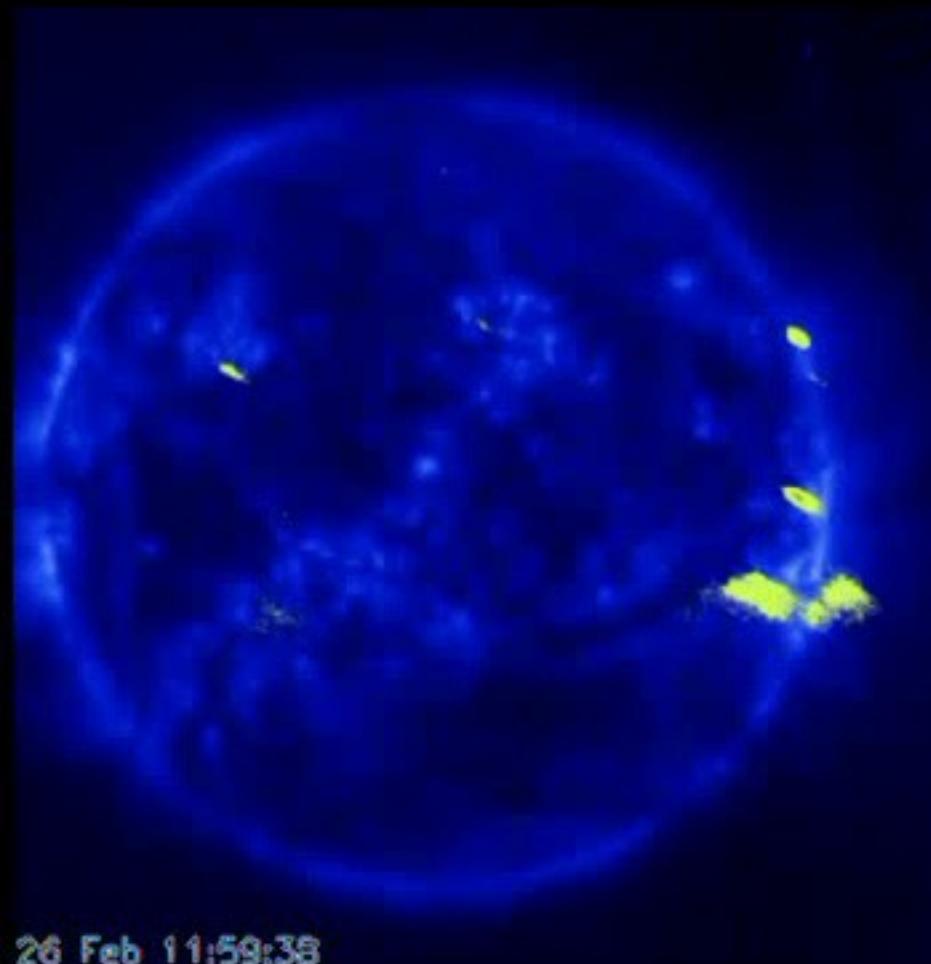
- ВСПЫШКА В КОЛЬЦЕВОМ ВОЛОКНЕ
- ДАННЫЕ TRACE



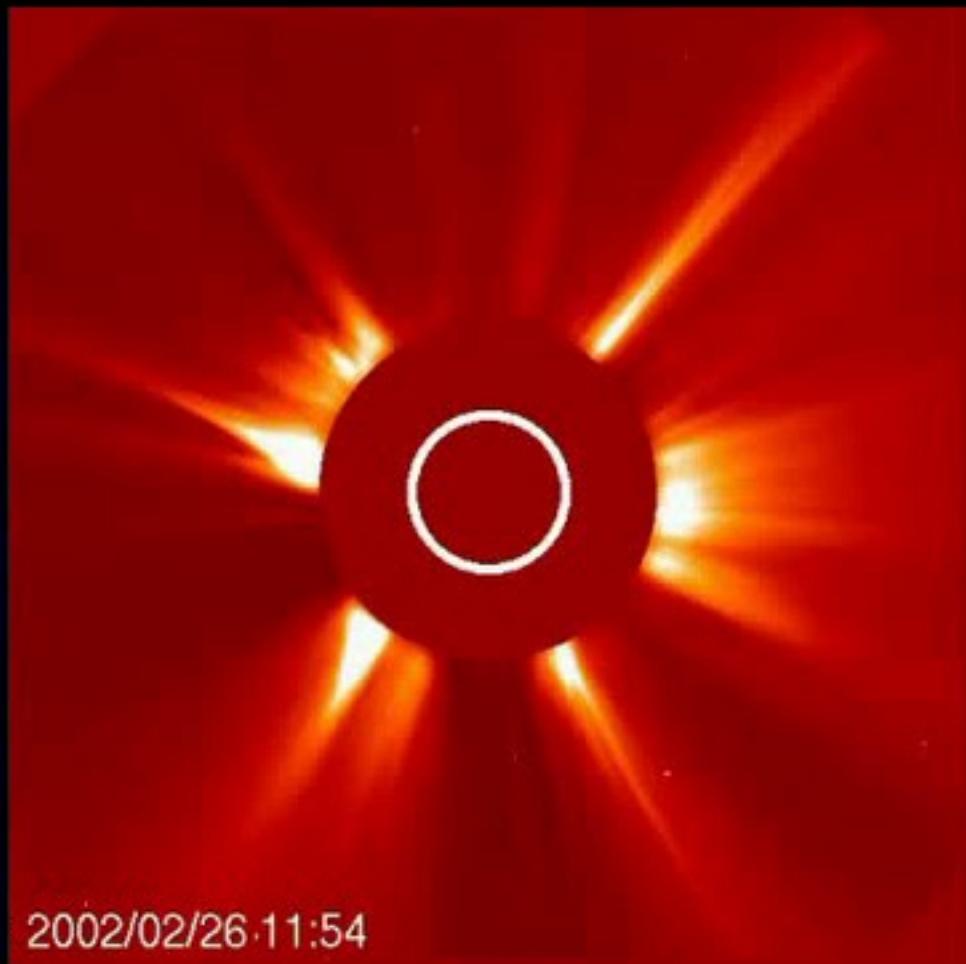




00:41:10

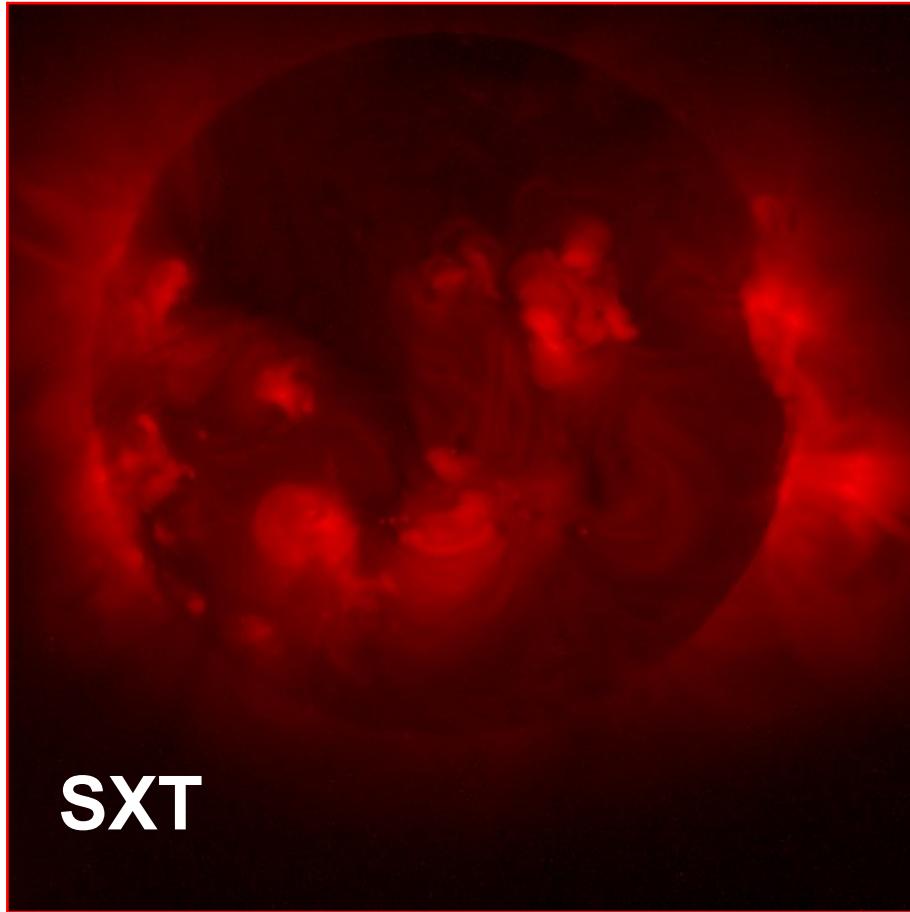


26 Feb 11:59:38

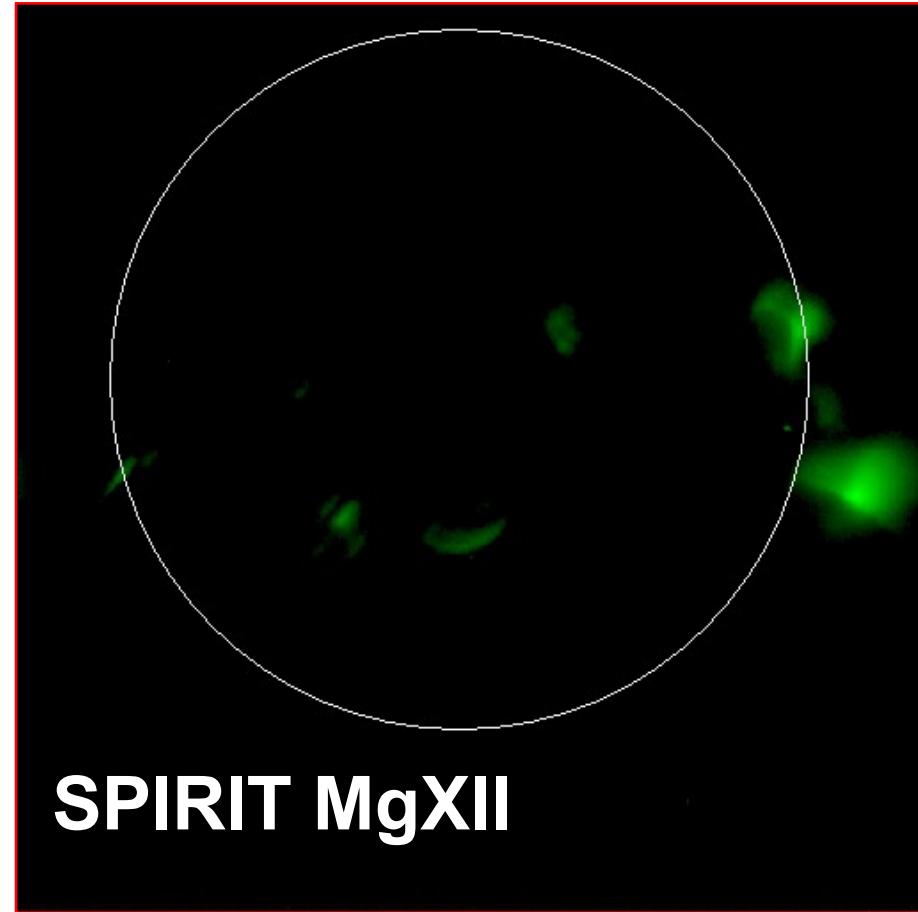


2002/02/26 11:54

2001, October 22



SXT

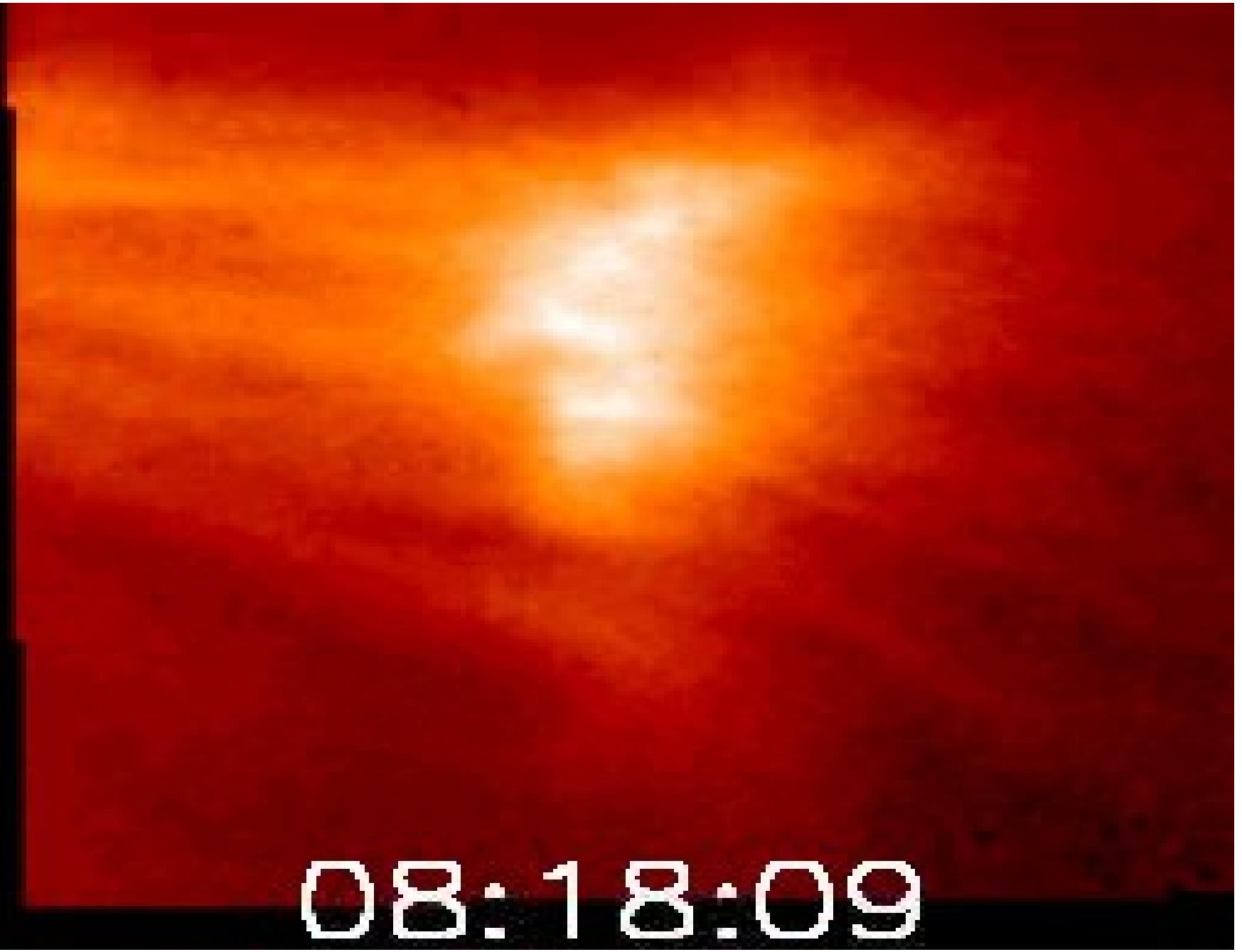


SPIRIT MgXII



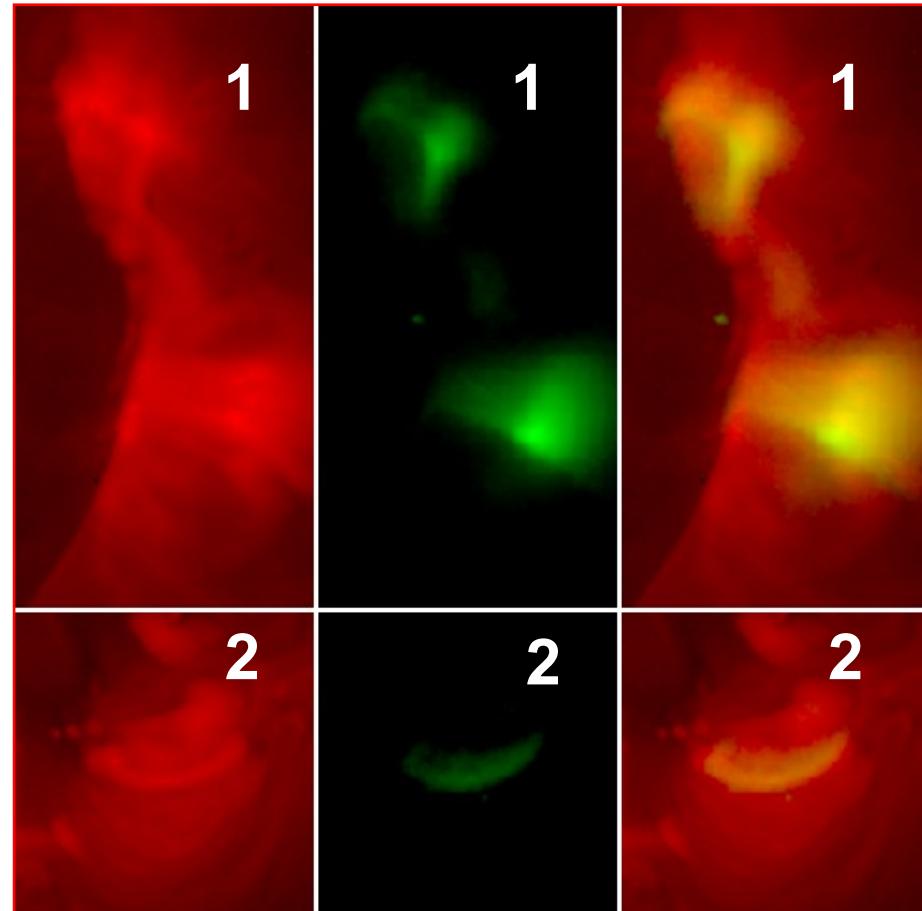
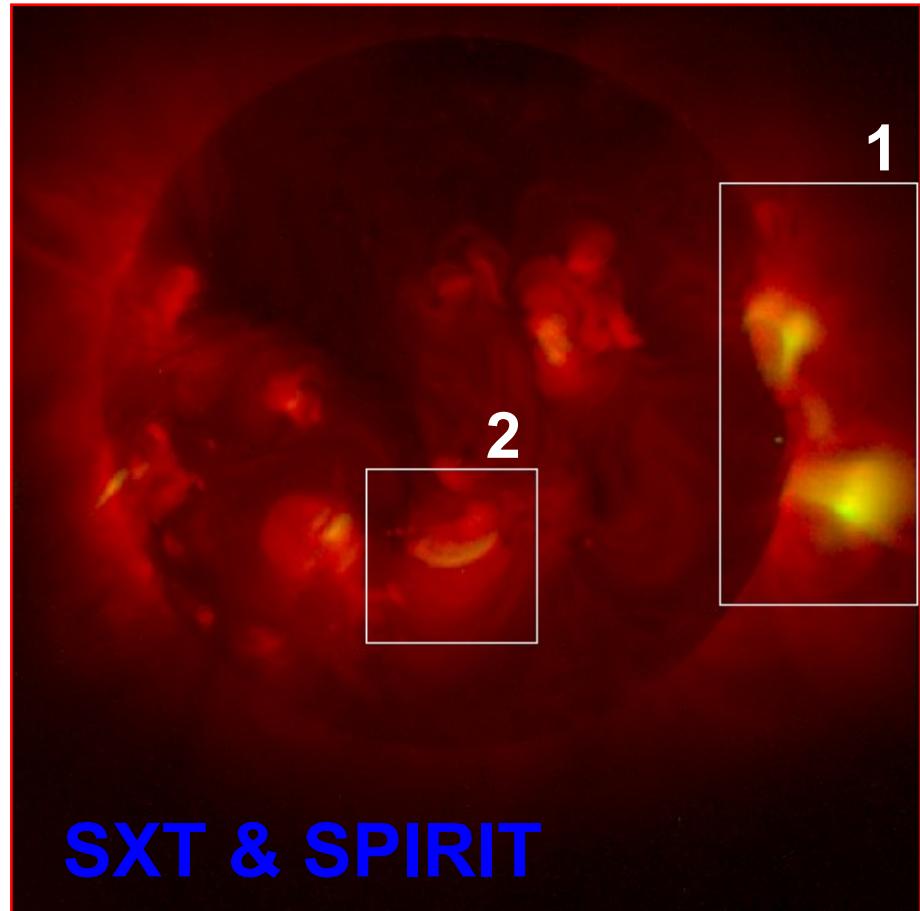
2001/10/22 01:02

YOHKOH/SXT

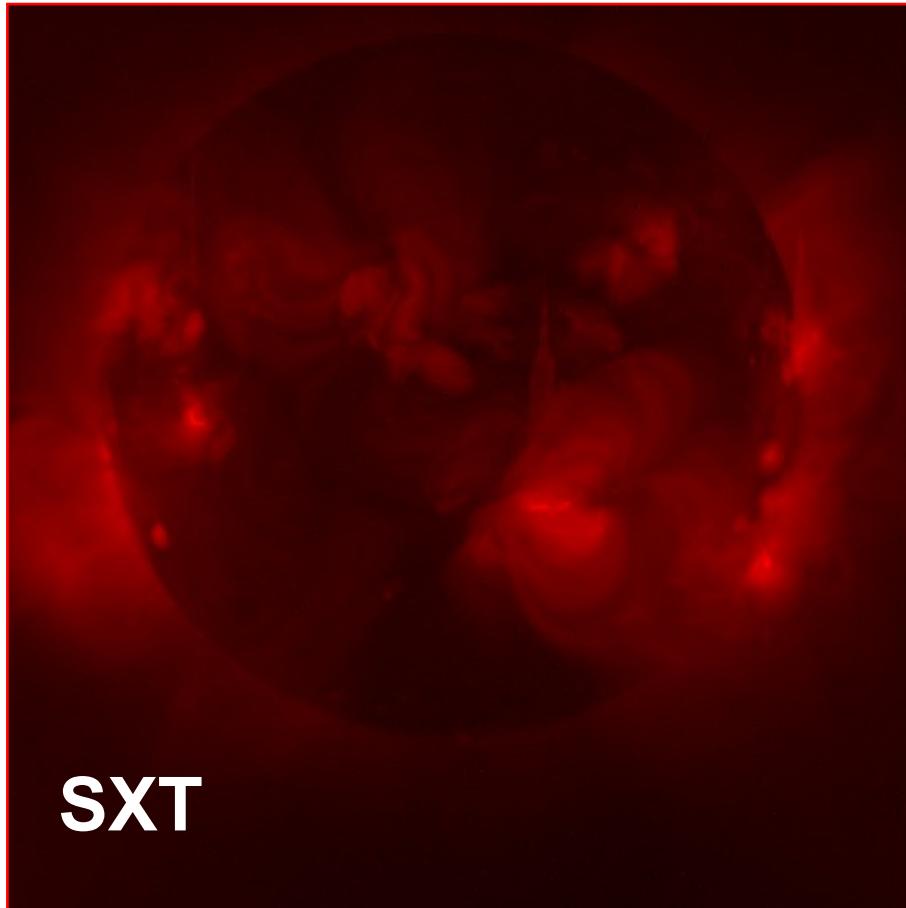


08:18:09

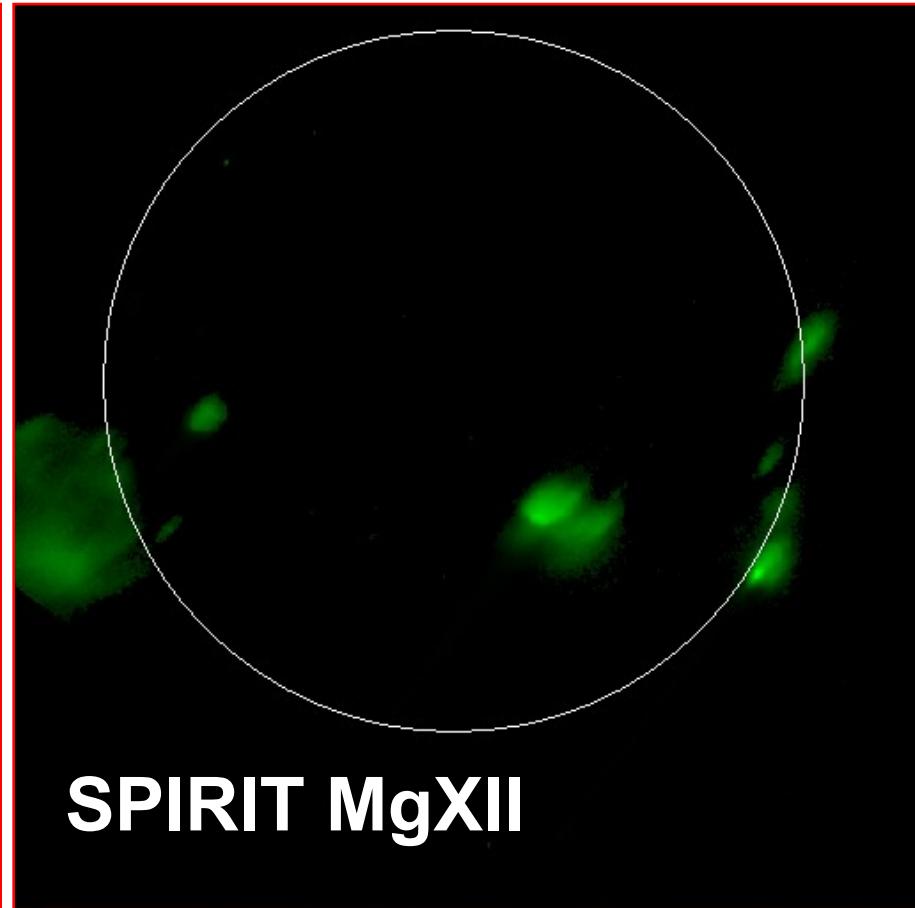
2001, October 22



2001, November 12



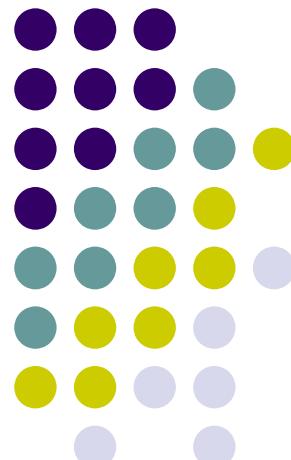
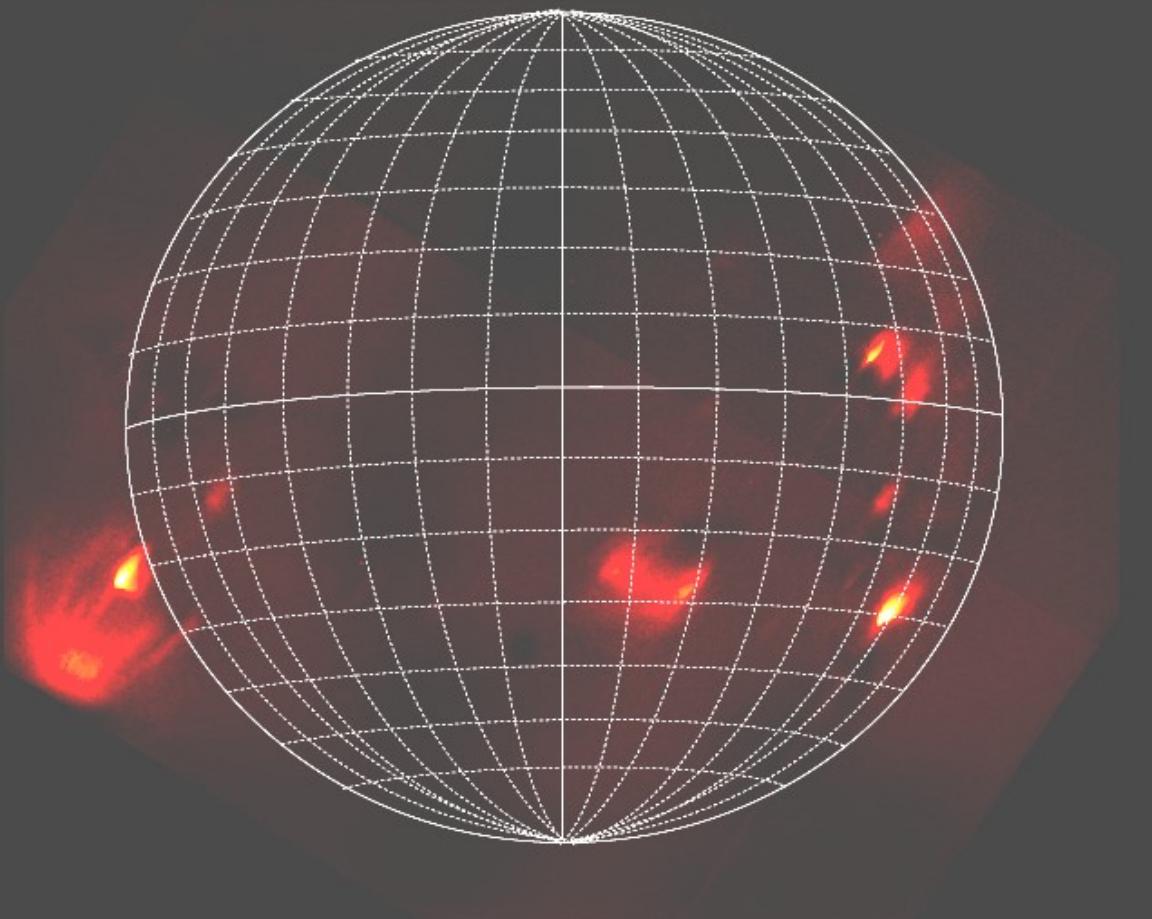
SXT

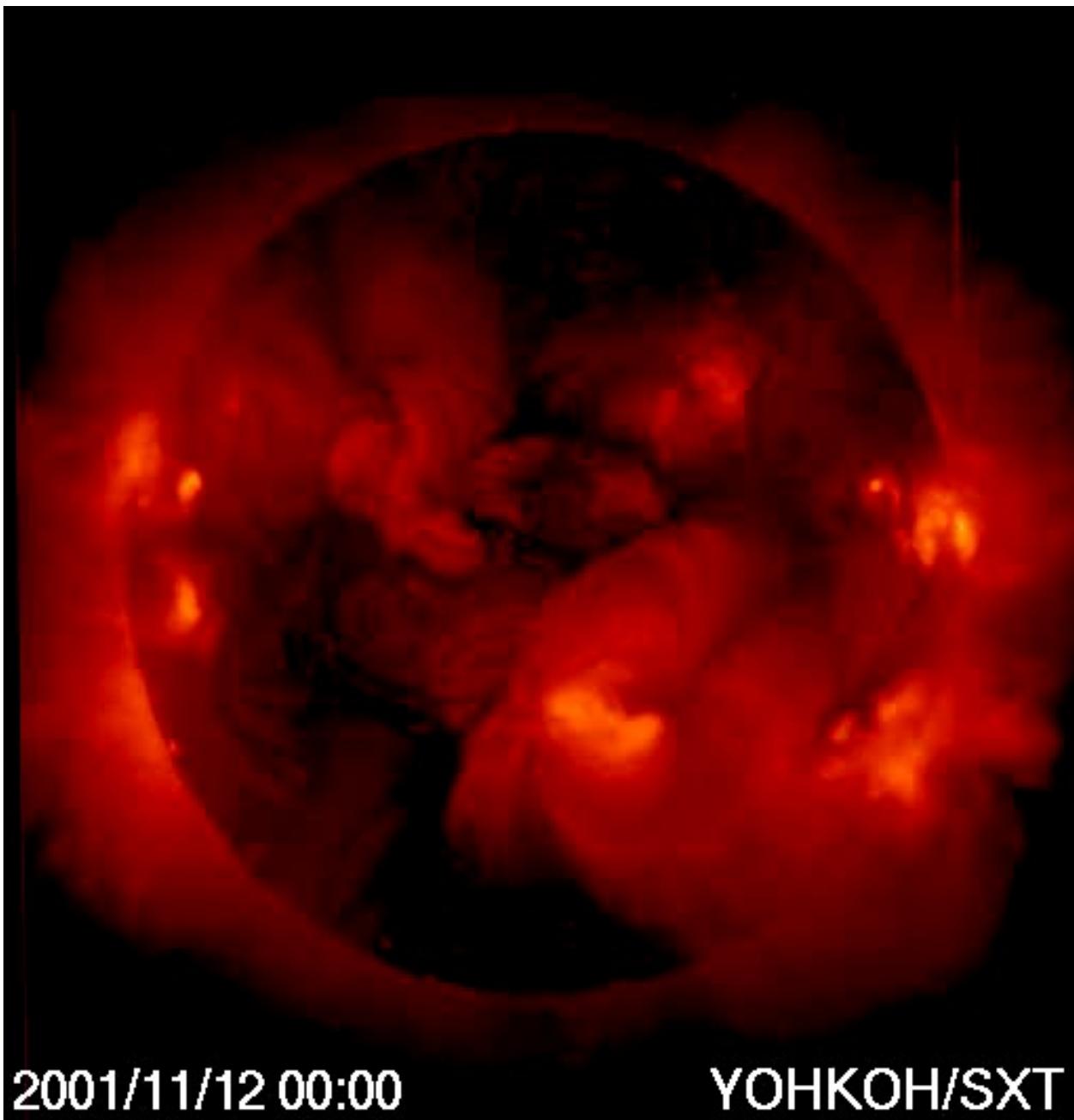


SPIRIT MgXII

SPIRIT Mg1 8.42 Å

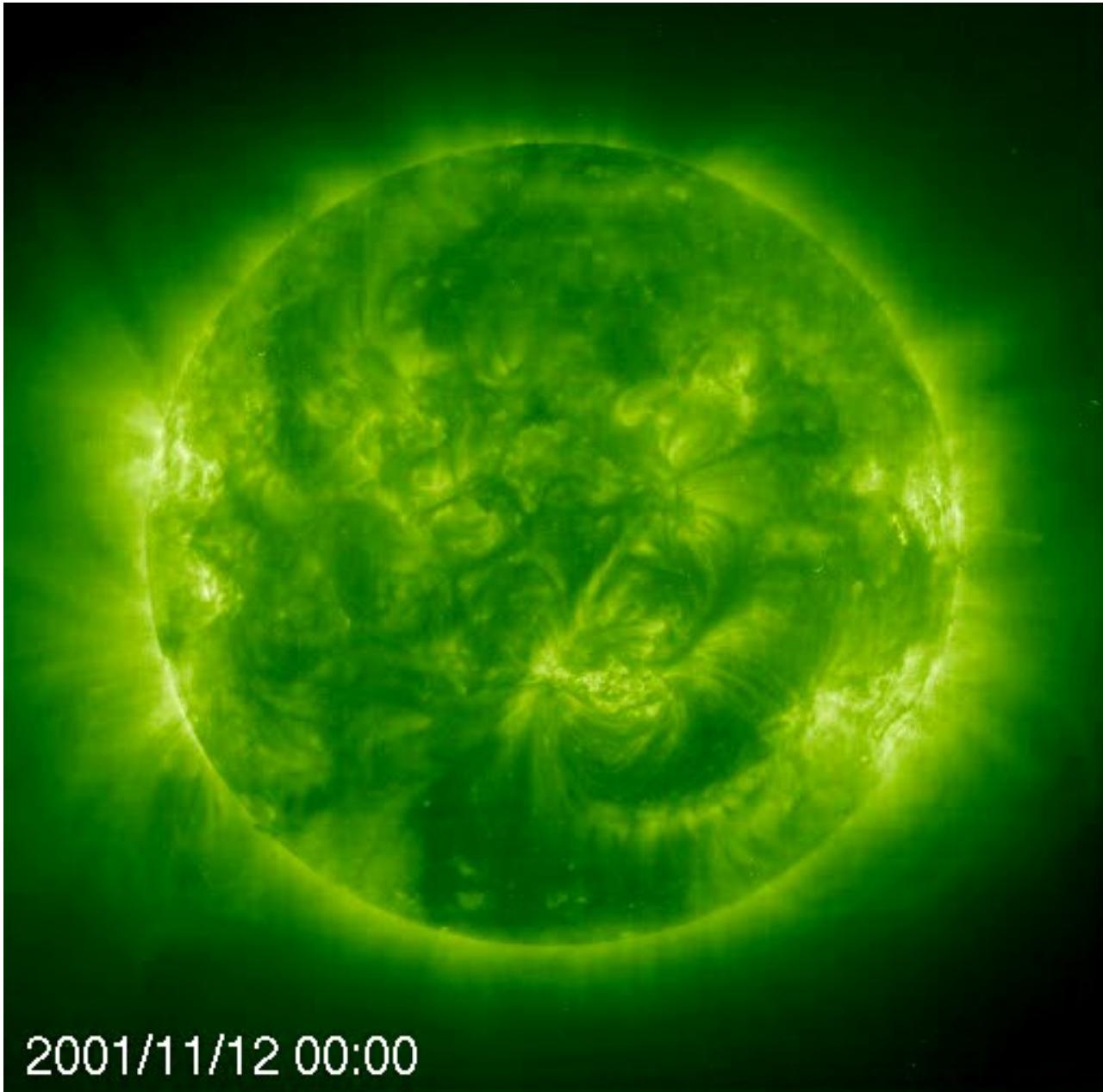
2001-11-12 17:53:12



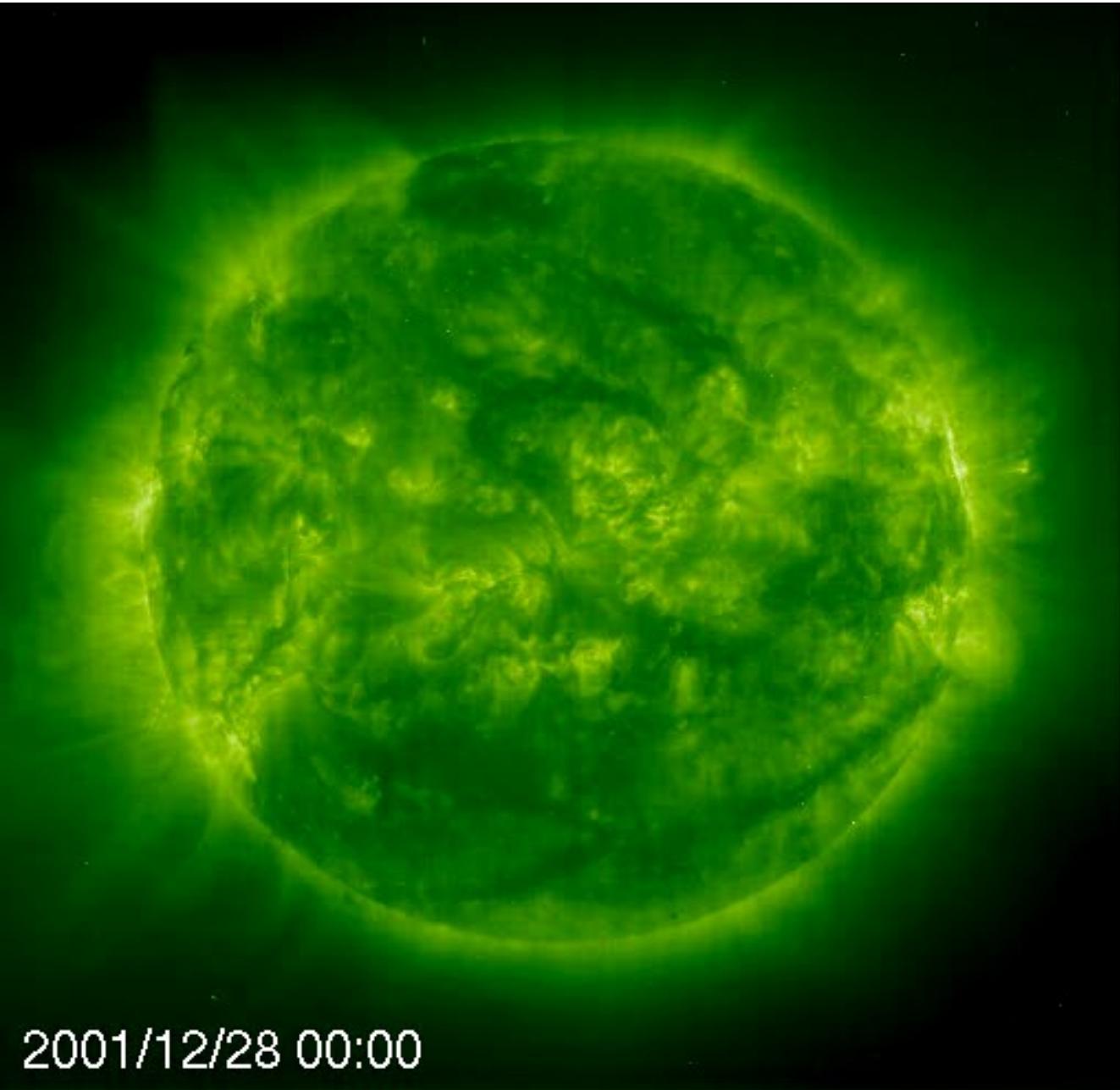


2001/11/12 00:00

YOHKOH/SXT

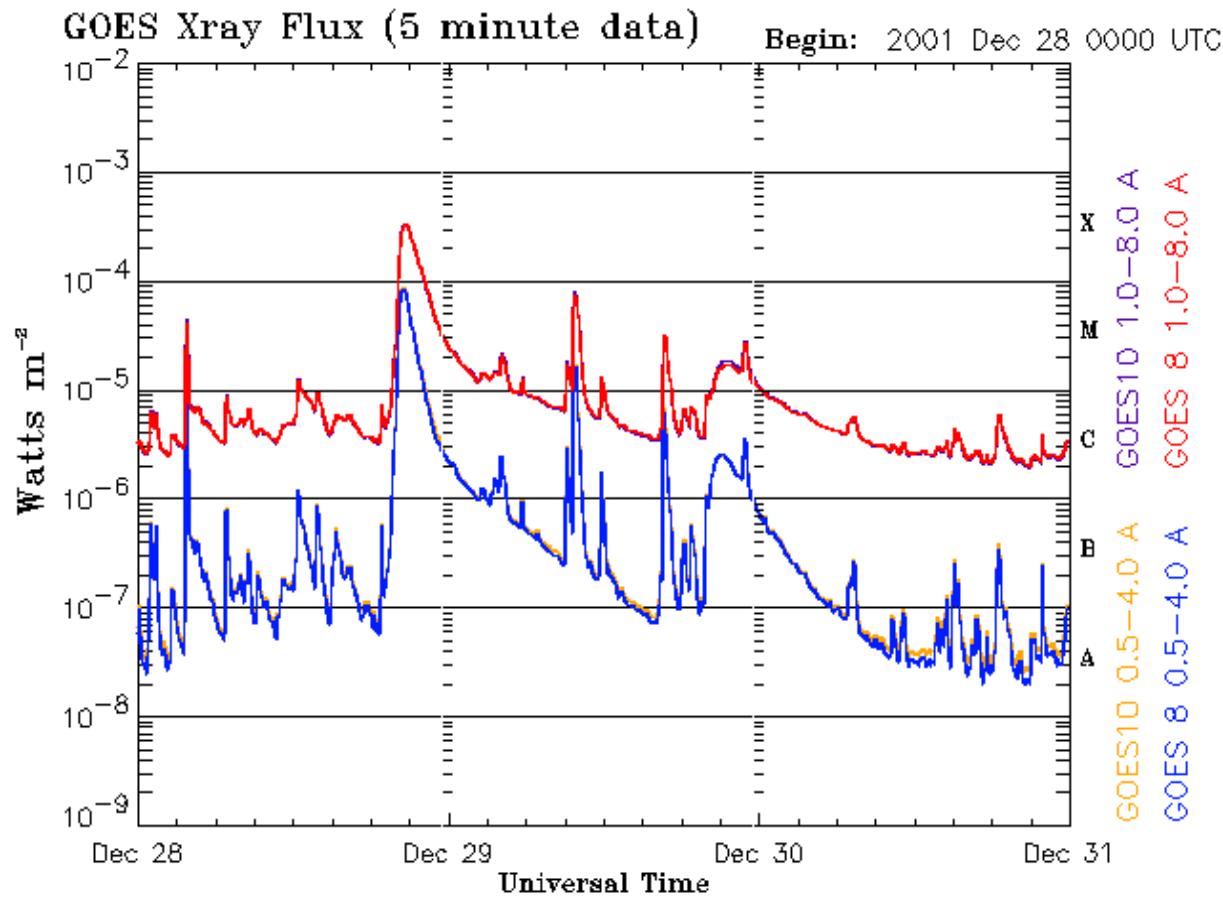


2001/11/12 00:00



2001/12/28 00:00

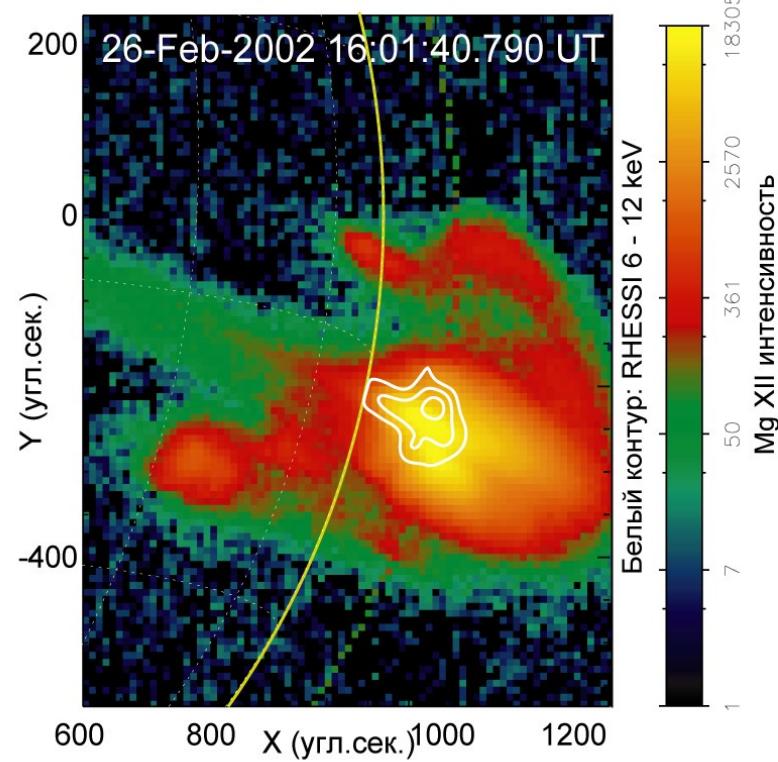
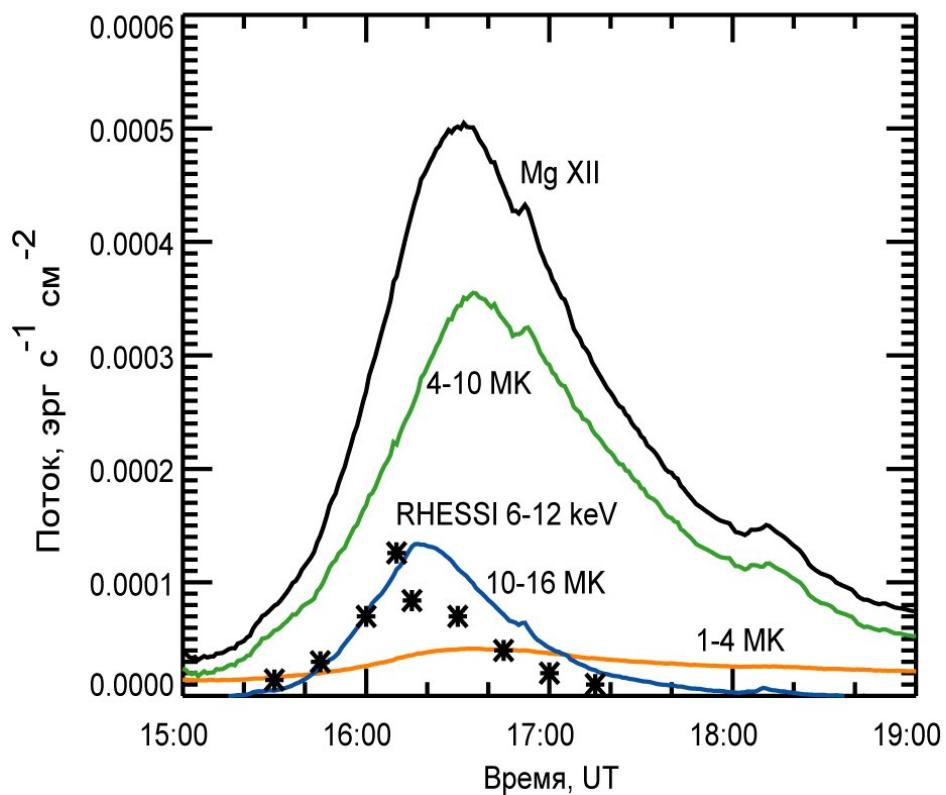
Temporal profiles of soft X-Ray fluxes (GOES)

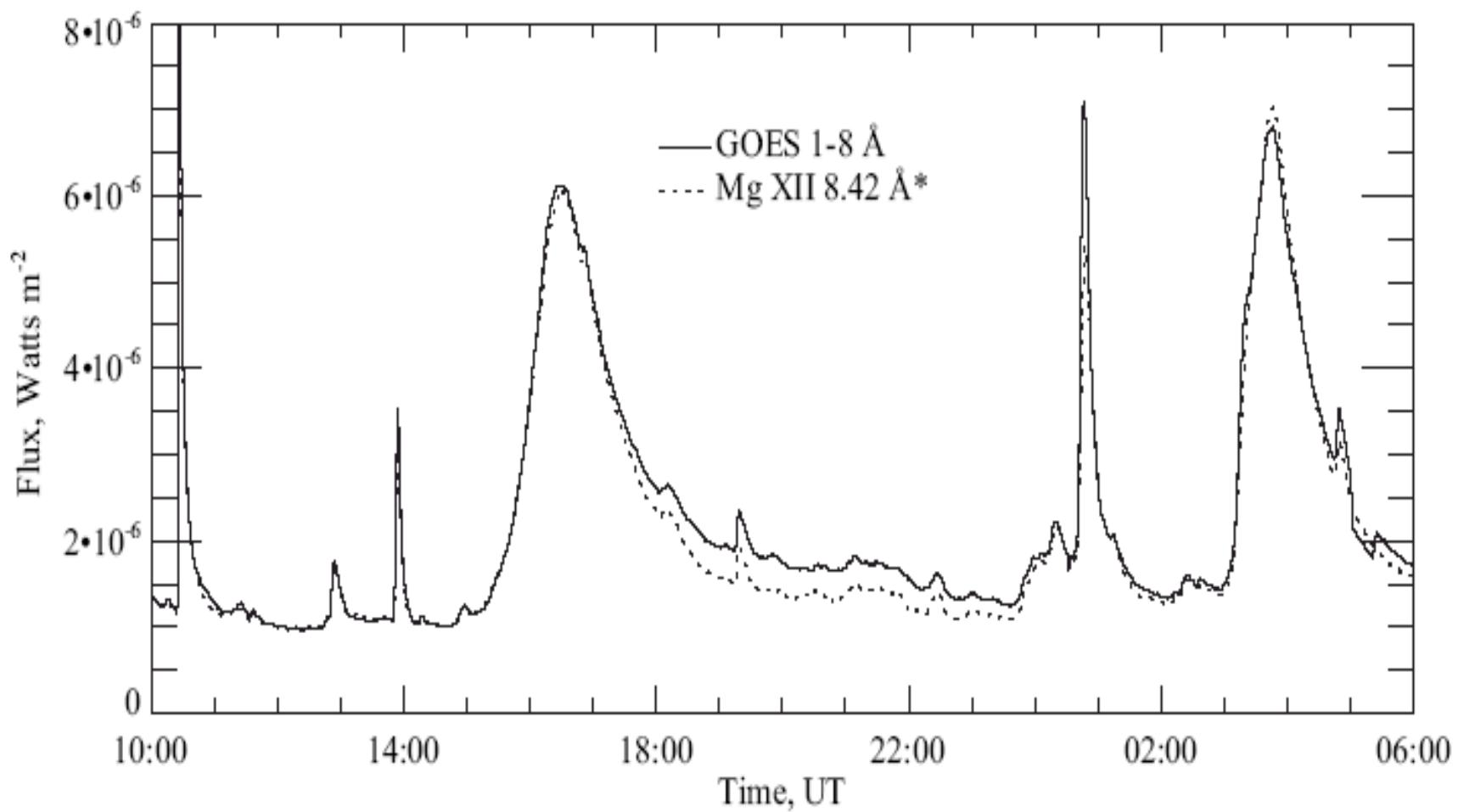


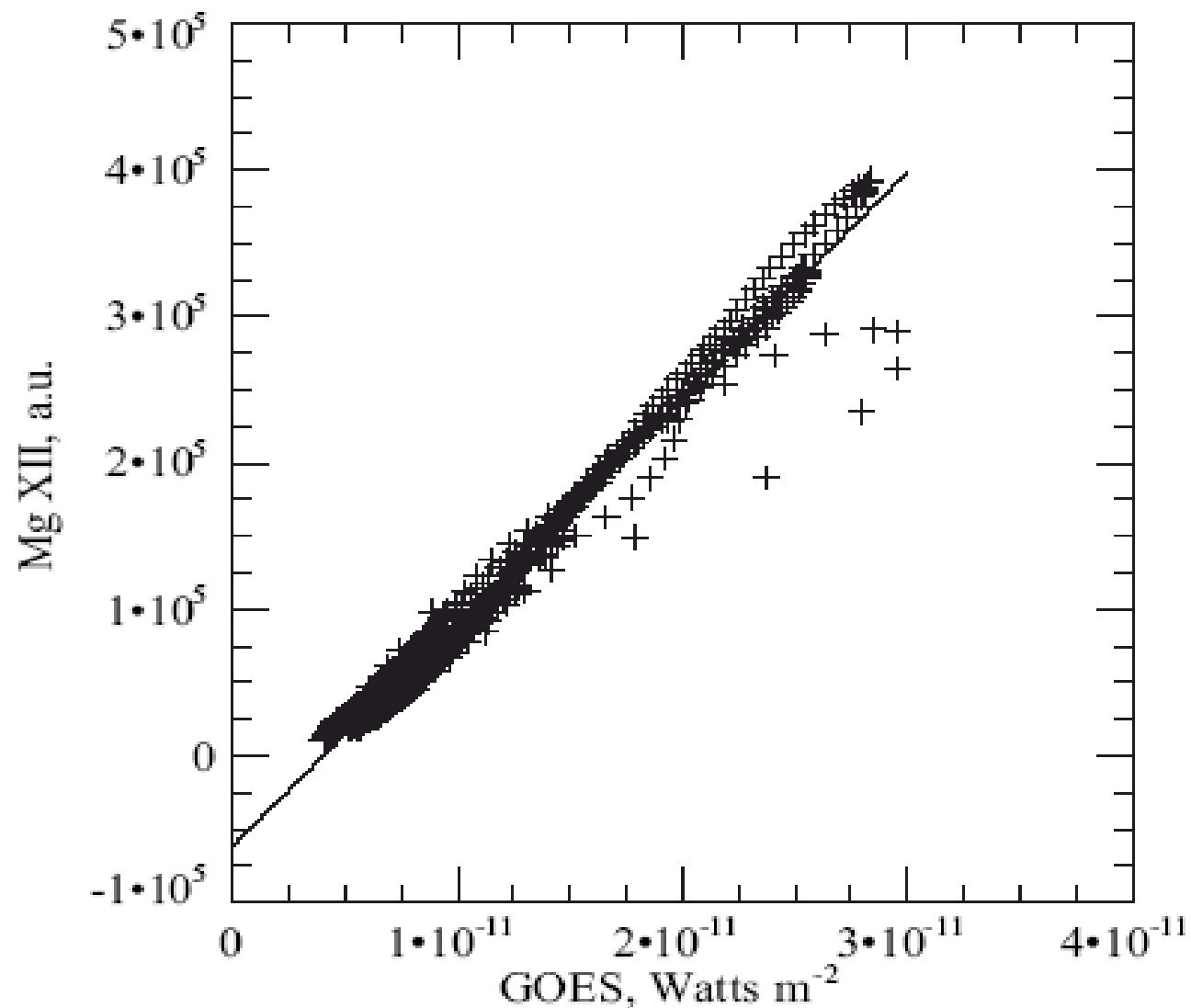
Updated 2001 Dec 30 23:56:04 UTC

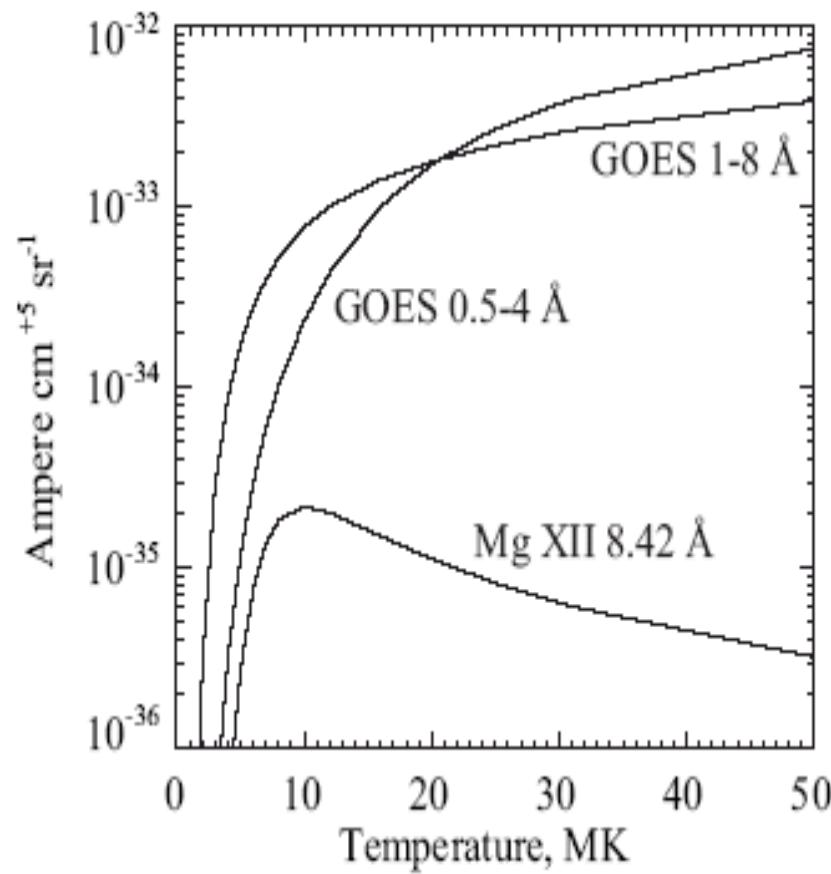
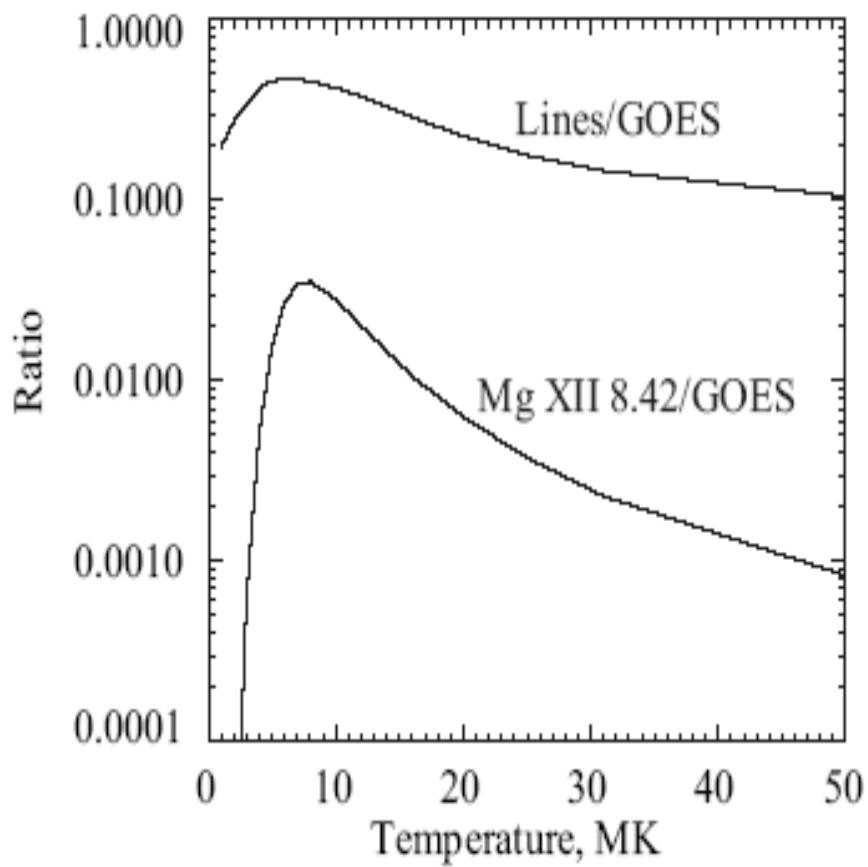
NOAA/SEC Boulder, CO USA

Временные профили компонент излучения и изображения «паука»

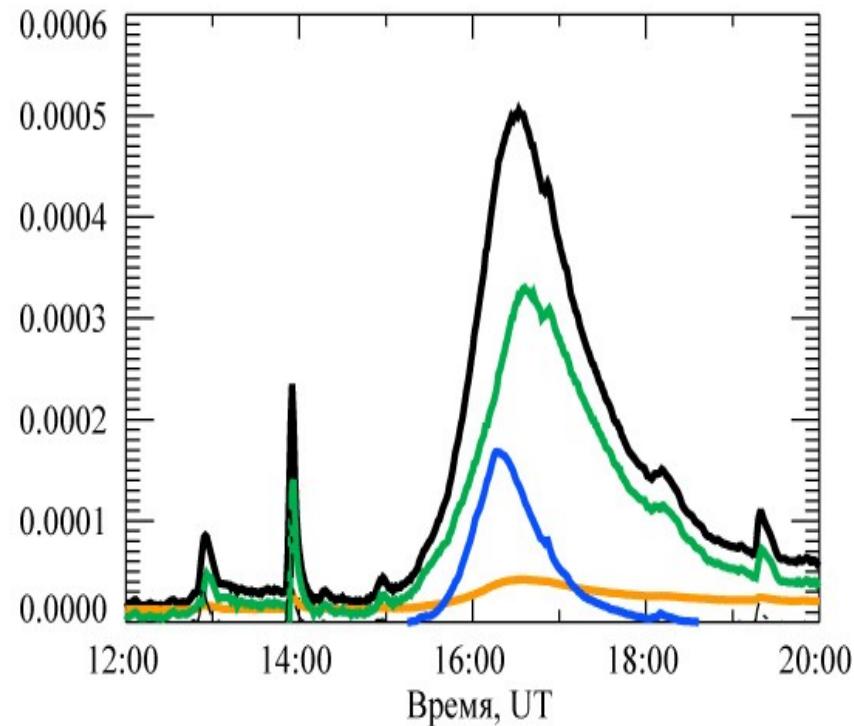
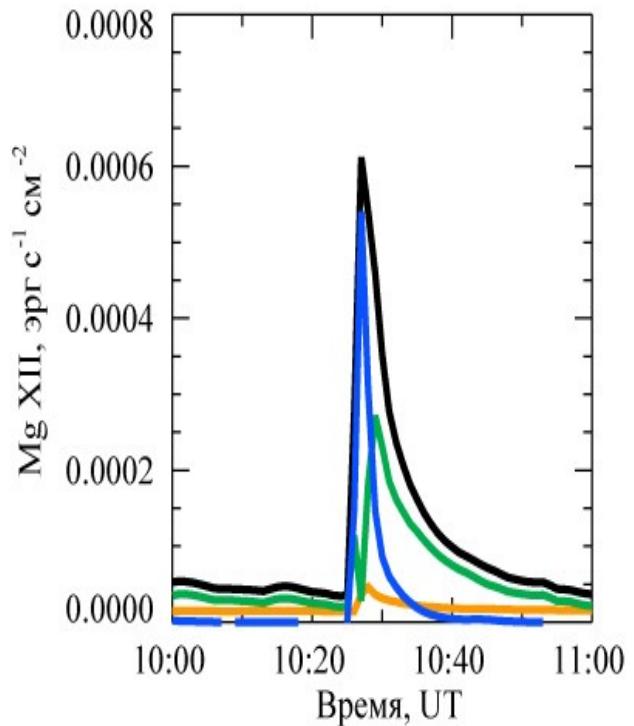






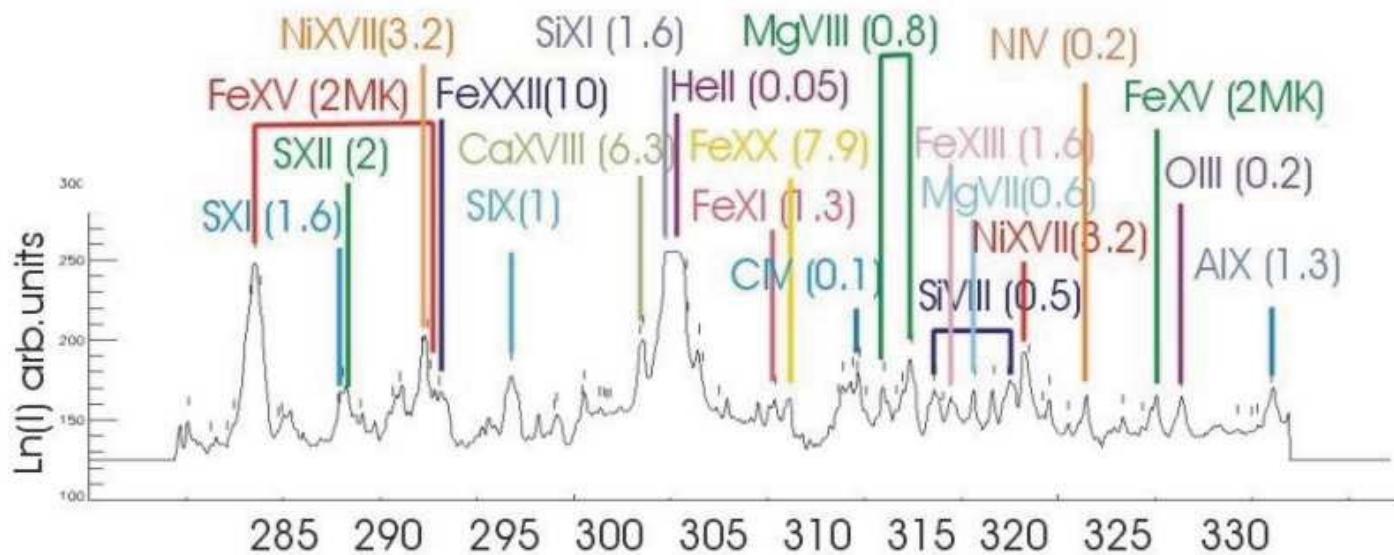
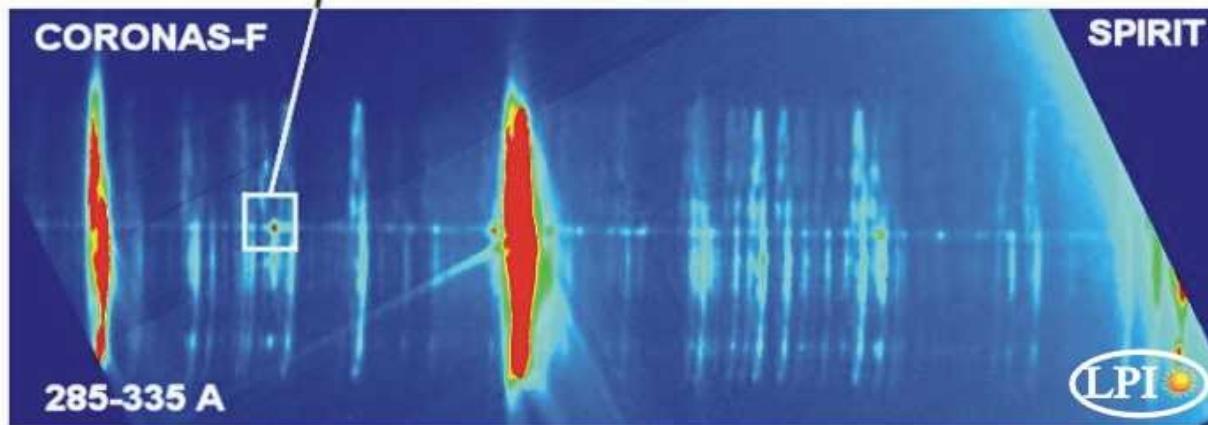


Температурный состав импульсной вспышки и «паука»



16.09.2001 03:59 UT

Flare



EM and DEM

$$I(\lambda, \Delta T) = C \int_{(V)} G(\lambda, T(\vec{r})) N_e^2(\vec{r}) d\vec{r}.$$

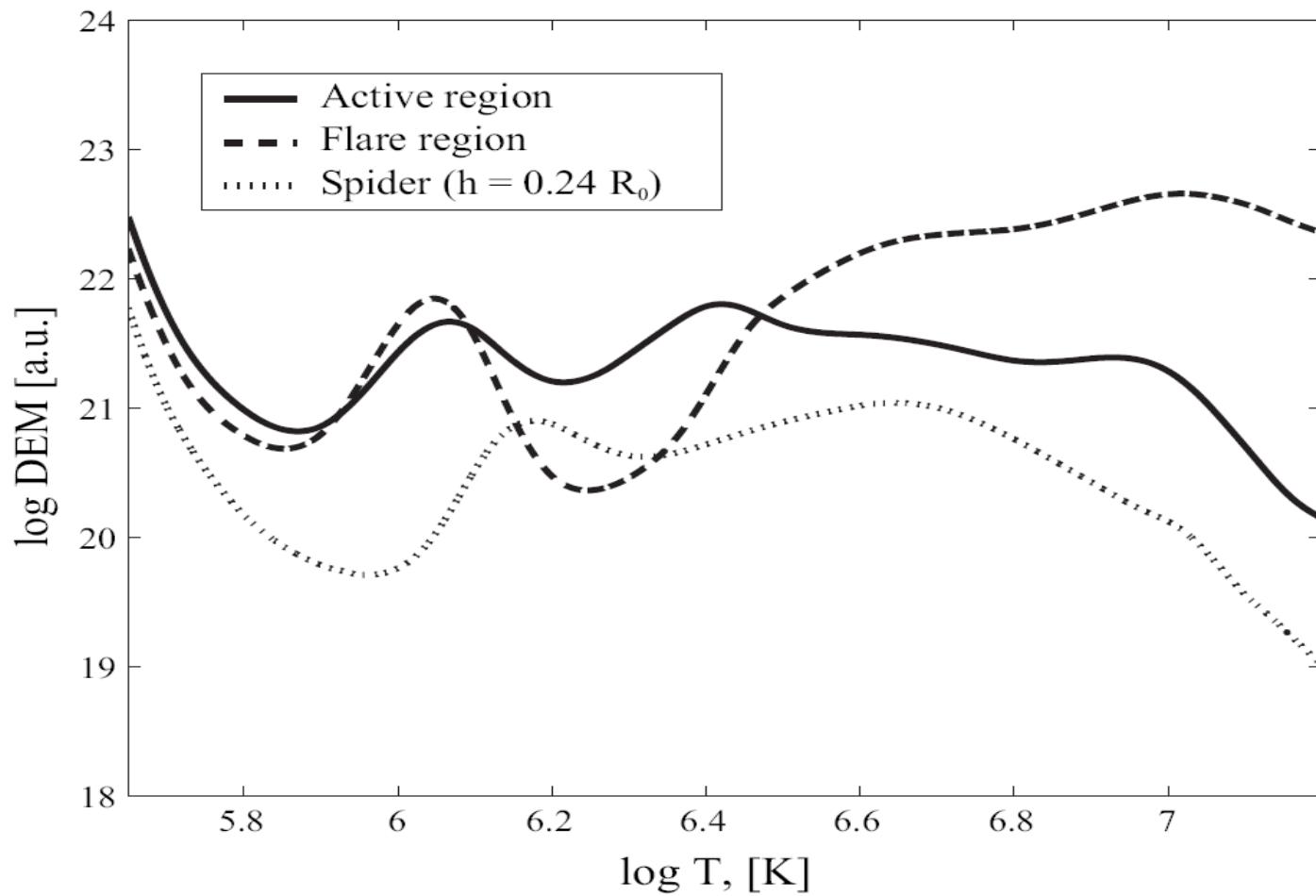
$$y_c(T) = \int \delta(T - \phi(\vec{r})) N_e^2(\vec{r}) d\vec{r}$$

$$I(\lambda, \Delta T) = C \int_{\Delta T} G(\lambda, T) dY(T)$$

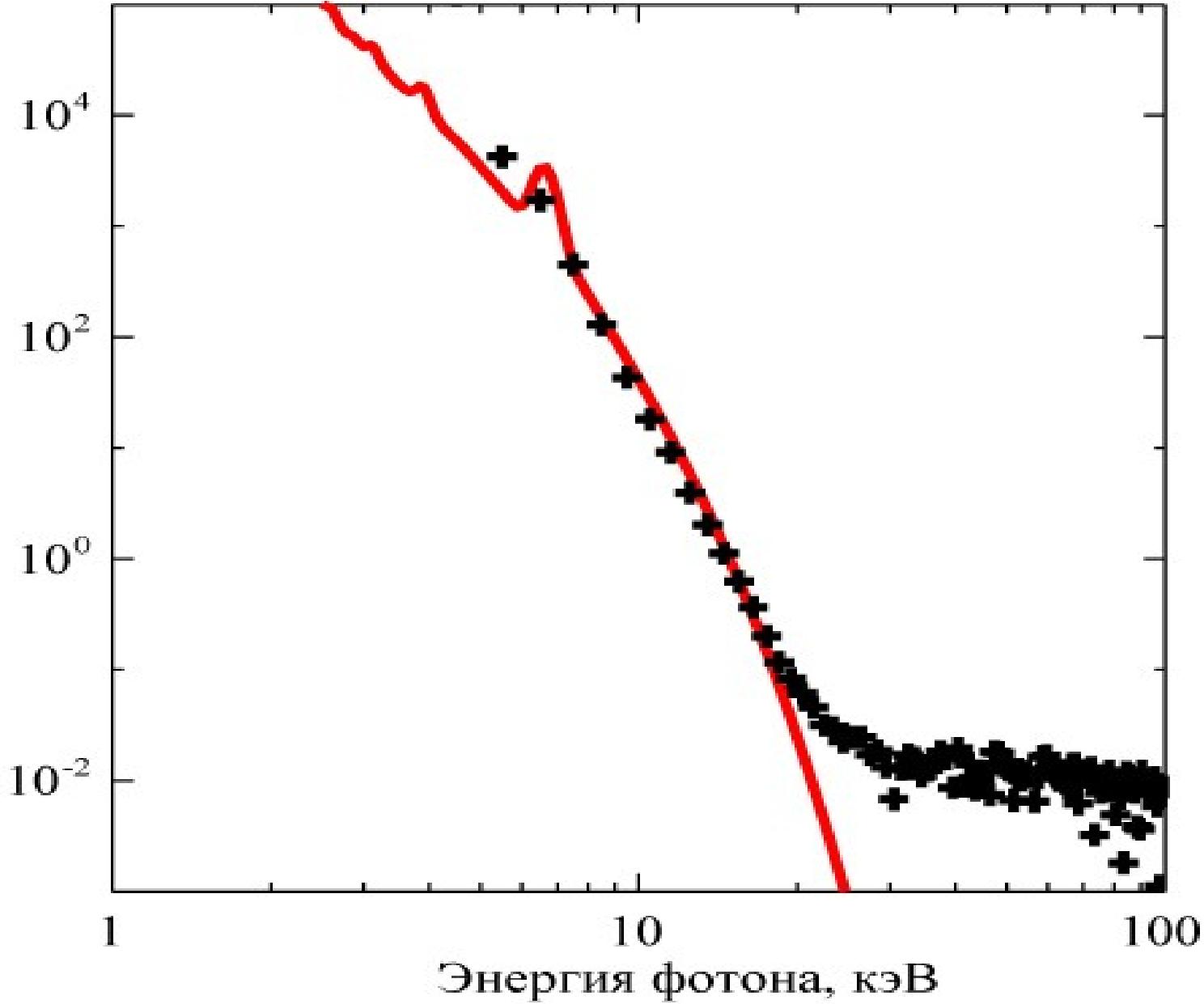
$$y_s(T) = \sum_i Y_i \delta(T - T_i);$$

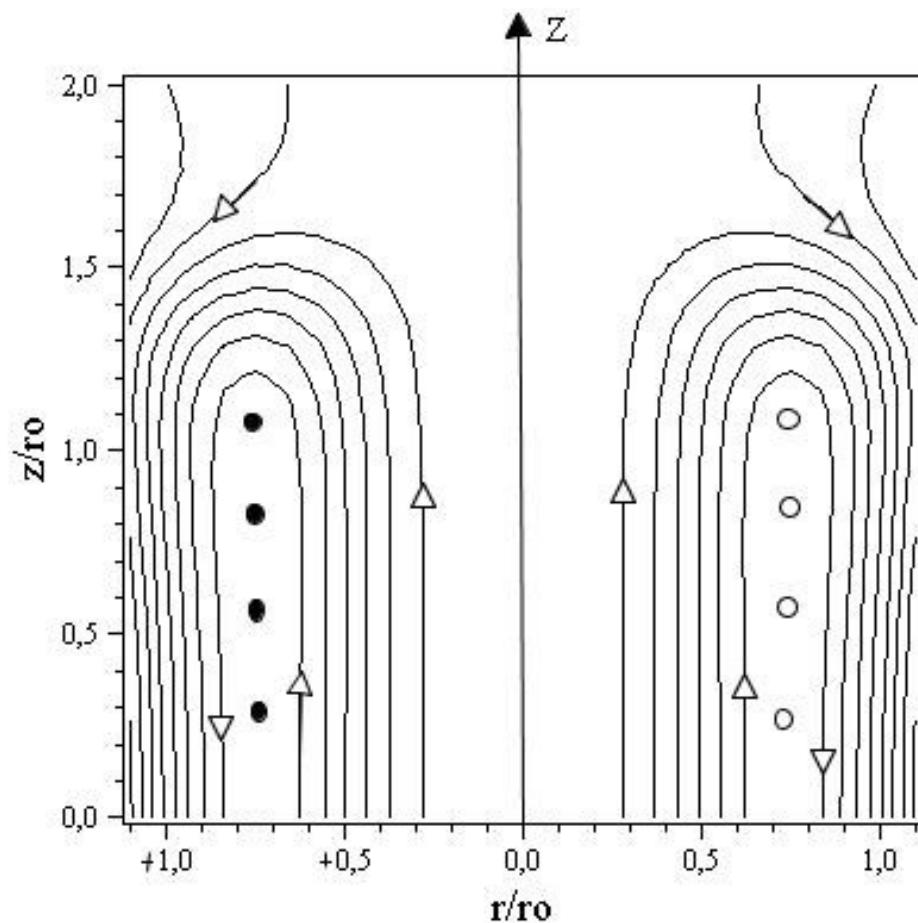
$$dY(T) = y(T) dT = [y_c(T) + y_s(T)] dT$$

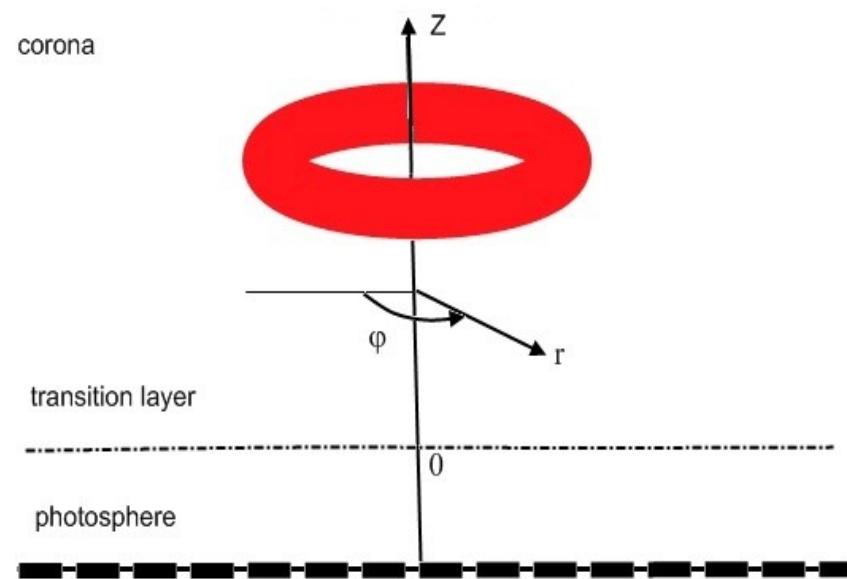
$$Y_i = Y(T_i) = \int_{V_i} N_e^2(\vec{r}) d\vec{r}$$

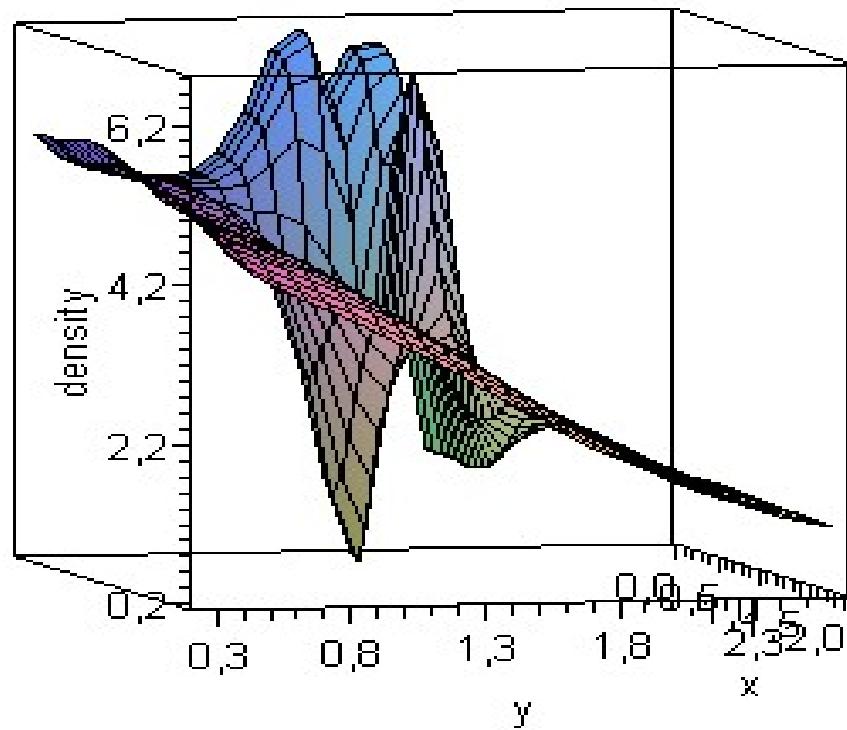


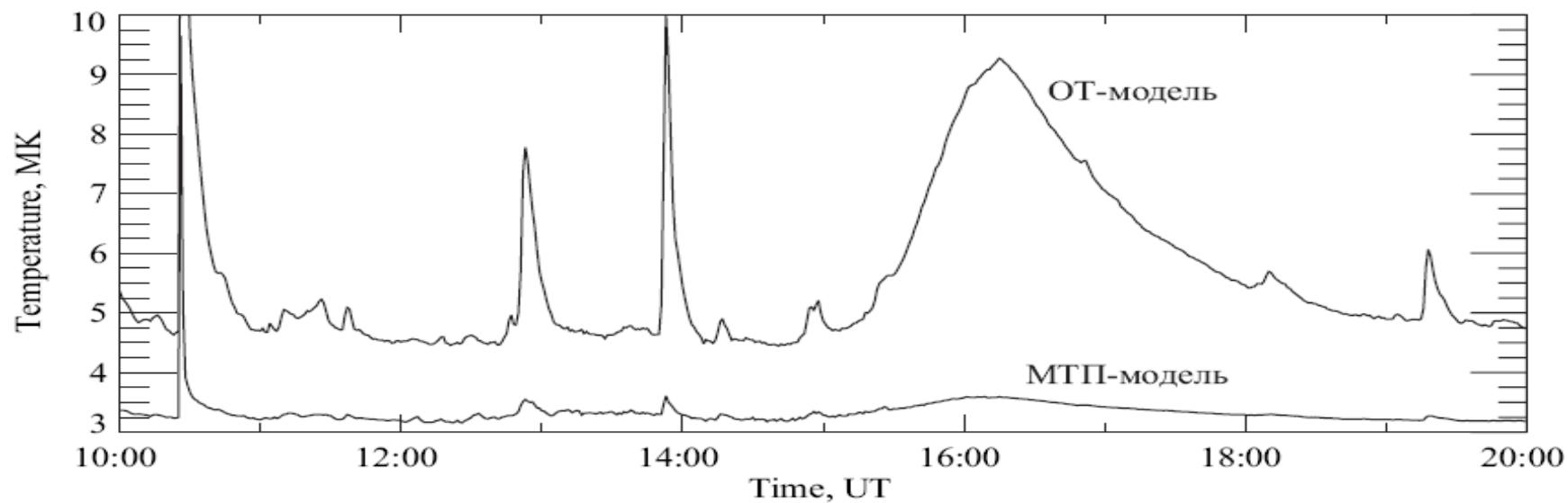
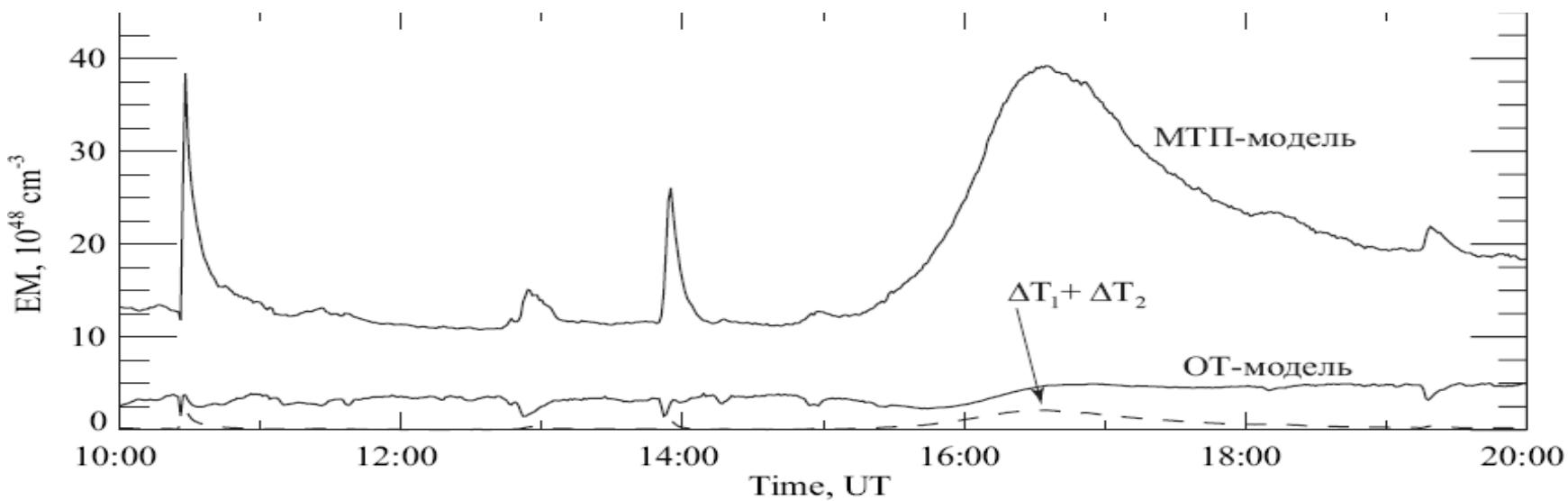
Поток, фотон $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2} \text{кэВ}^{-1}$

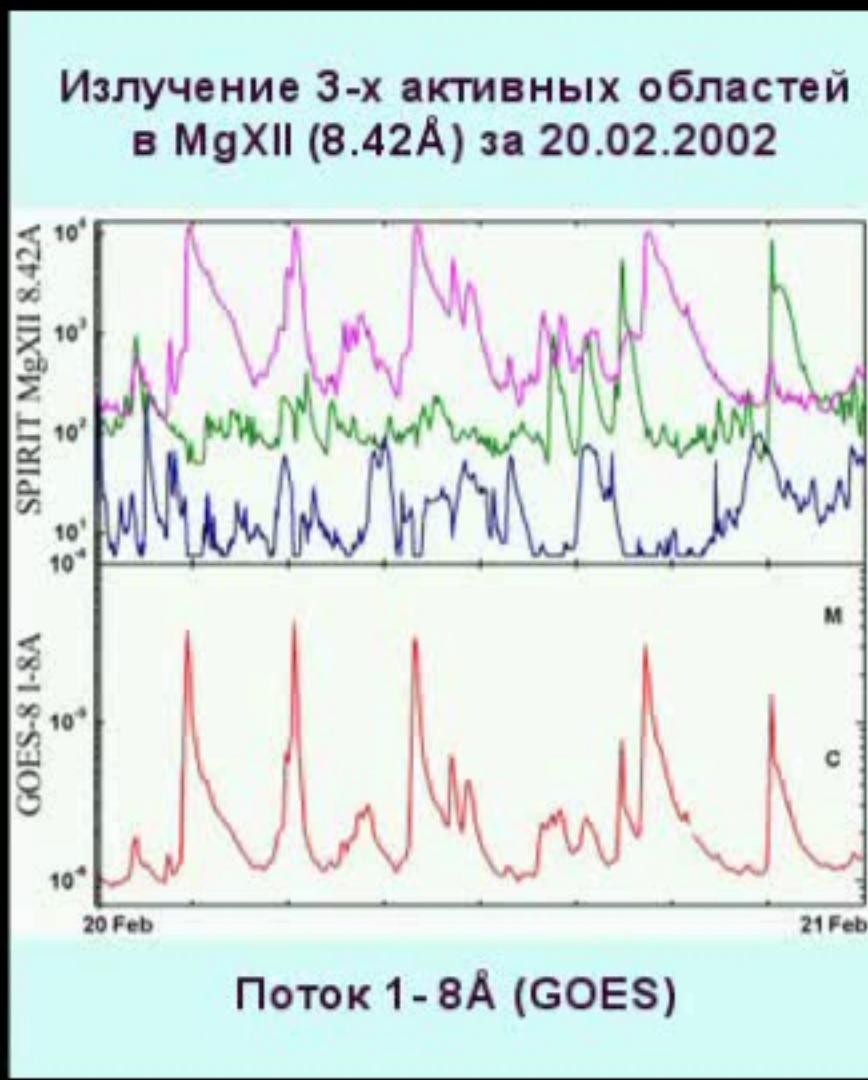
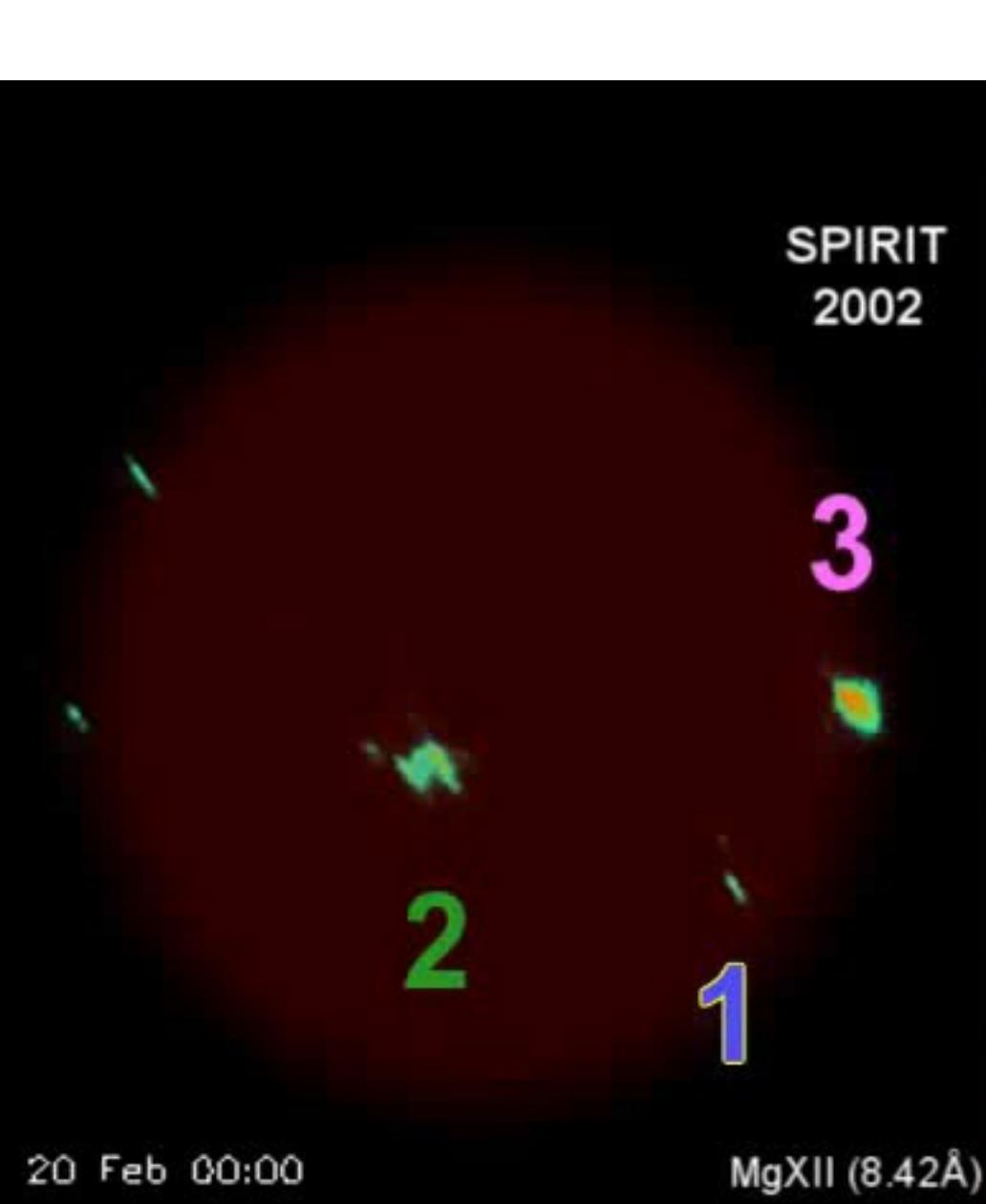










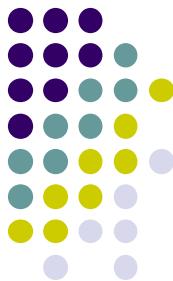




Магнитное пересоединение в процессах на Солнце

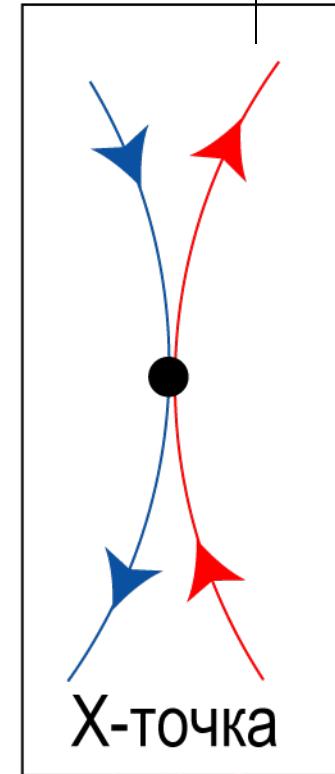
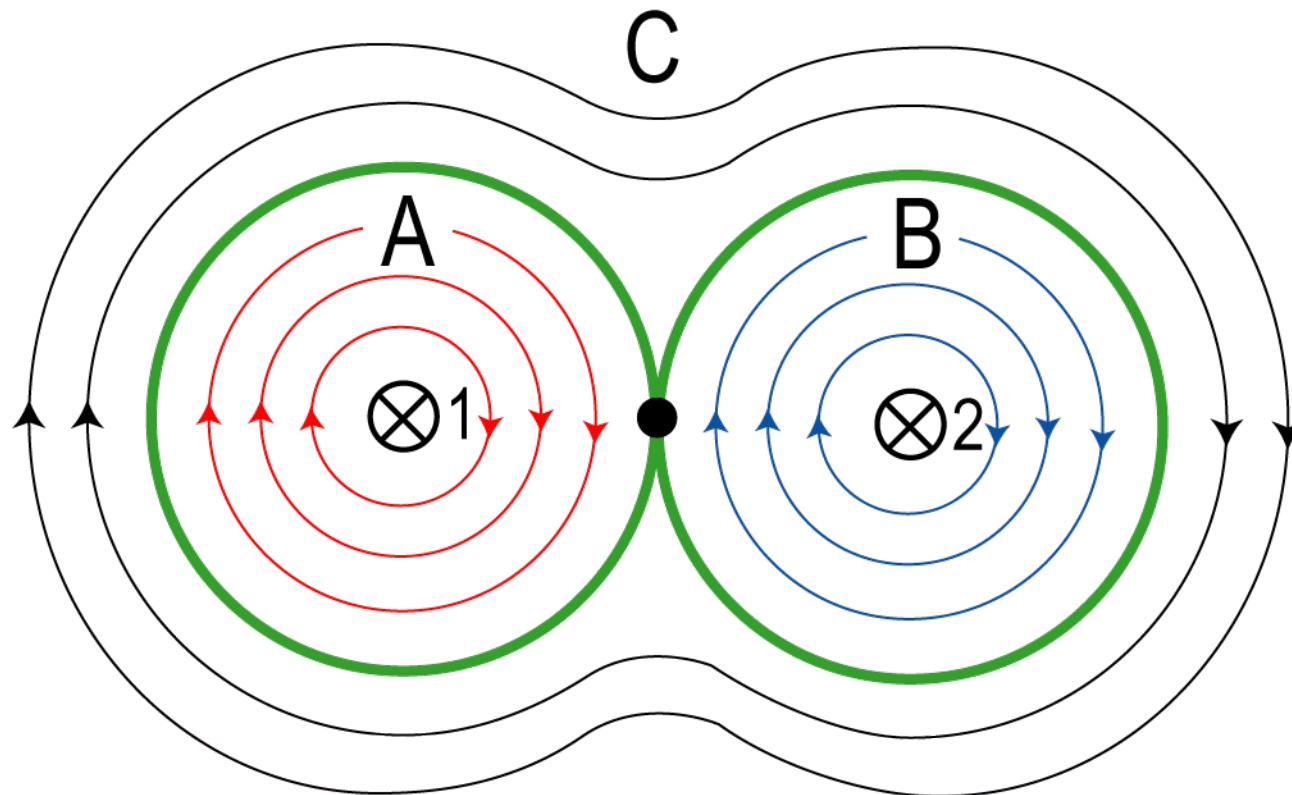
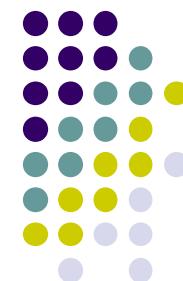
- Магнитное пересоединение – краеугольный камень современной физики Солнца, лежащий в основе большинства теорий активных солнечных процессов
- Несмотря на важную роль магнитного пересоединения, в настоящее время отсутствуют возможности наблюдать этот процесс или установить положение областей пересоединения в короне
- Поиск прямых наблюдательных подтверждений магнитного пересоединения в короне представляет одну из фундаментальных задач современной физики Солнца

Магнитное пересоединение в космической плазме



- Магнитное пересоединение – явление, выходящее за рамки физики Солнца и рассматриваемое в контексте большого числа явлений (магнитосфера Земли, планет и нейтронных звезд и лабораторные эксперименты)
- Пересоединение происходит не только в плазме, но и в вакууме, причем в последнем случае является более эффективным.
- В условиях космической плазмы пересоединение происходит только в особых условиях, при которых нарушается вмороженность магнитного поля в плазму. В плазме с бесконечной проводимостью магнитные линии пересоединяться не могут.

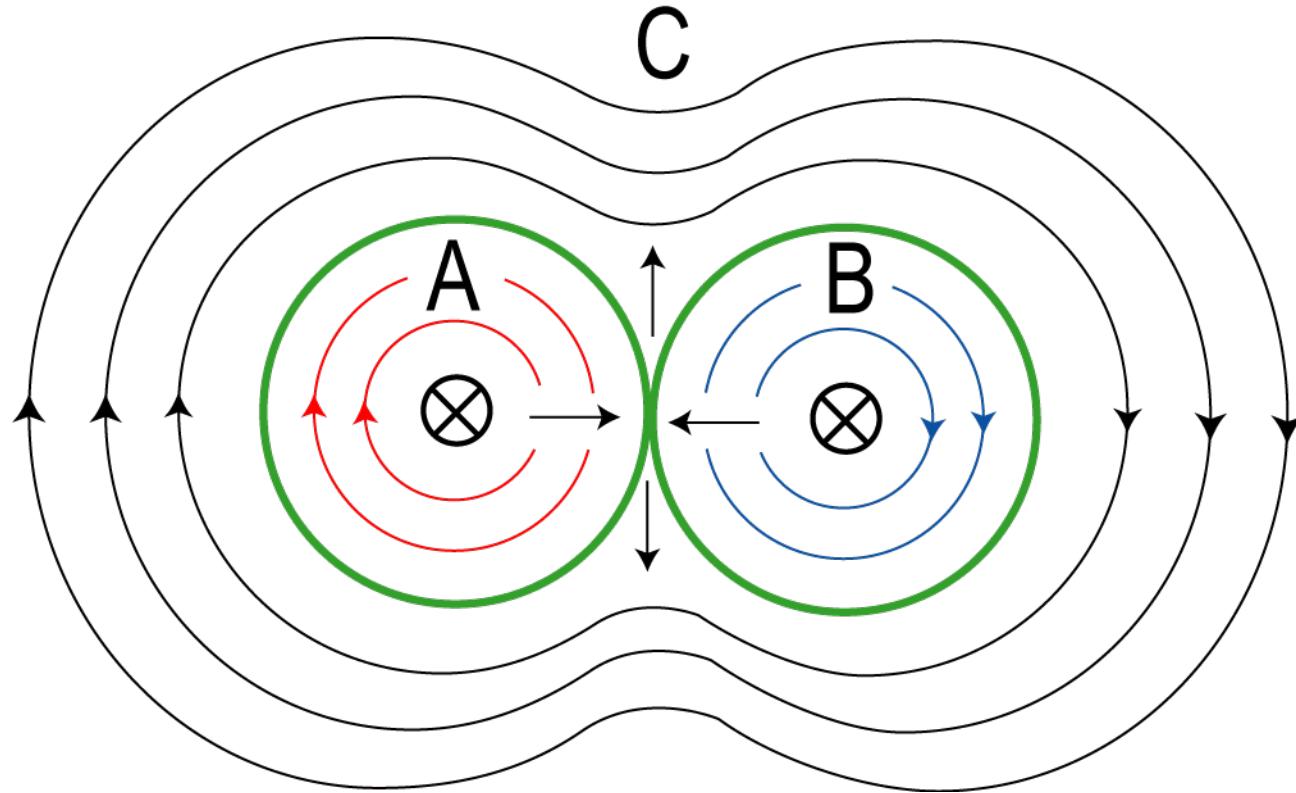
Магнитное пересоединение



- X - магнитный сепаратор (общая линия 3-х потоков)
- магнитная сепаратрисса (поверхность раздела магнитных потоков)

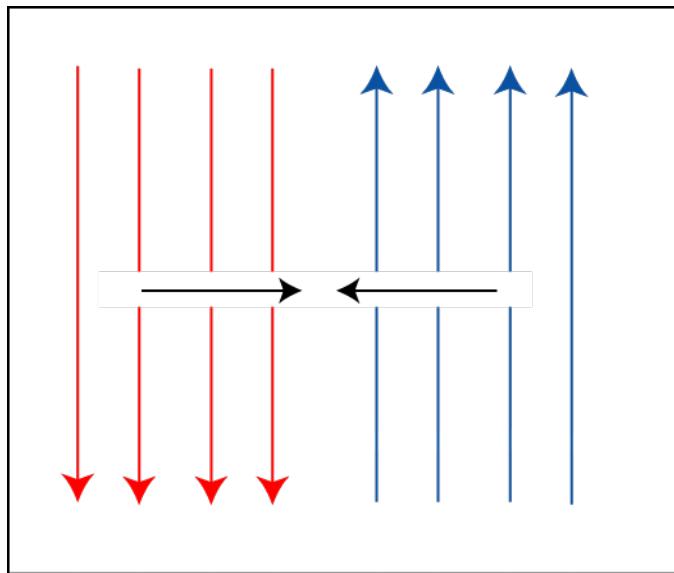


Магнитное пересоединение



- Существование X-точки не означает пересоединения
- Для начала пересоединения нужны дополнительные условия
- Если пересоединение началось, то оно всегда будет идти только в X-точке

Энерговыделение при магнитном пересоединении



$$B = 0$$

Энергия магнитного поля = $2*B^2/8\pi$

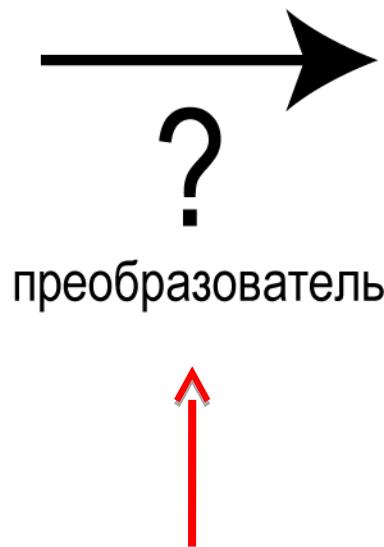
Энергия магнитного поля = 0

Энерговыделение в солнечных вспышках



Исходная энергия

энергия магнитного поля



Энергия вспышки

тепловая энергия
ускорение частиц
движение плазмы
выбросы вещества

МАГНИТНОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ

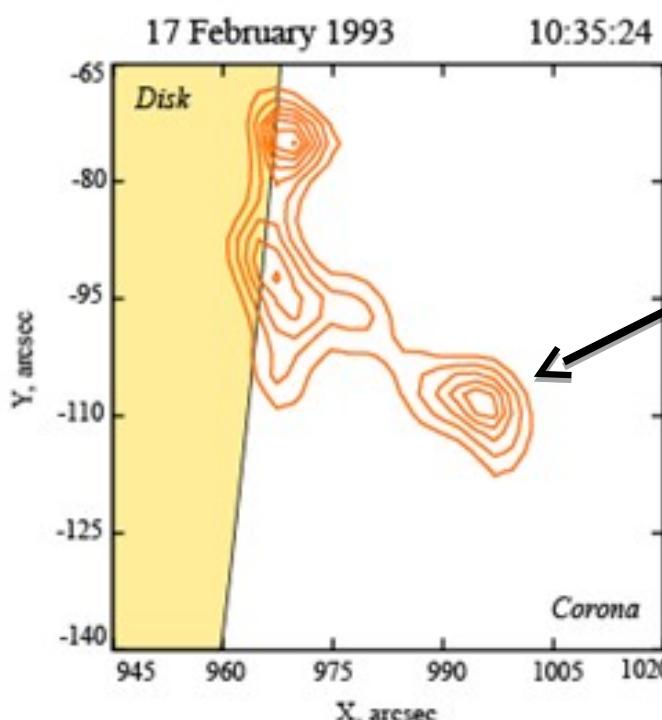
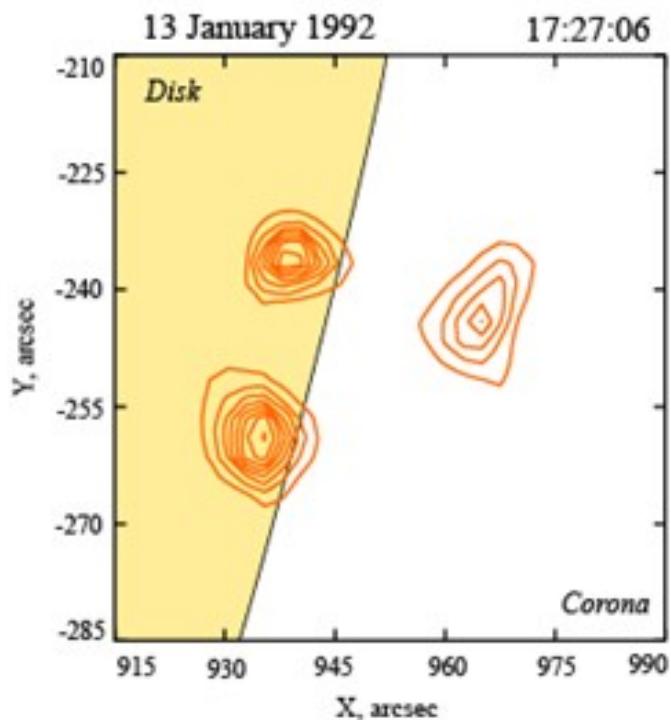
Отсутствие экспериментальных свидетельств магнитного пересоединения



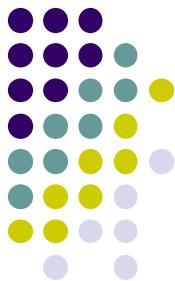
- Представления о доминирующей роли магнитного пересоединения основаны прежде всего на теоретических рассуждениях, а не данных эксперимента
- Первая причина – невозможность измерять трехмерное магнитное поле в короне – $B(x,y,z)$.
- Вторая причина – малая ширина токовых слоев, внутри которых происходит пересоединение магнитных линий: порядка 10 сантиметров.



Источники жесткого рентгеновского излучения в короне



Впервые обнаружены в короне Солнца в 1993 году спутником YOHKOH (Япония). Было высказано предположение, что источники маркируют места магнитного пересоединения в короне.



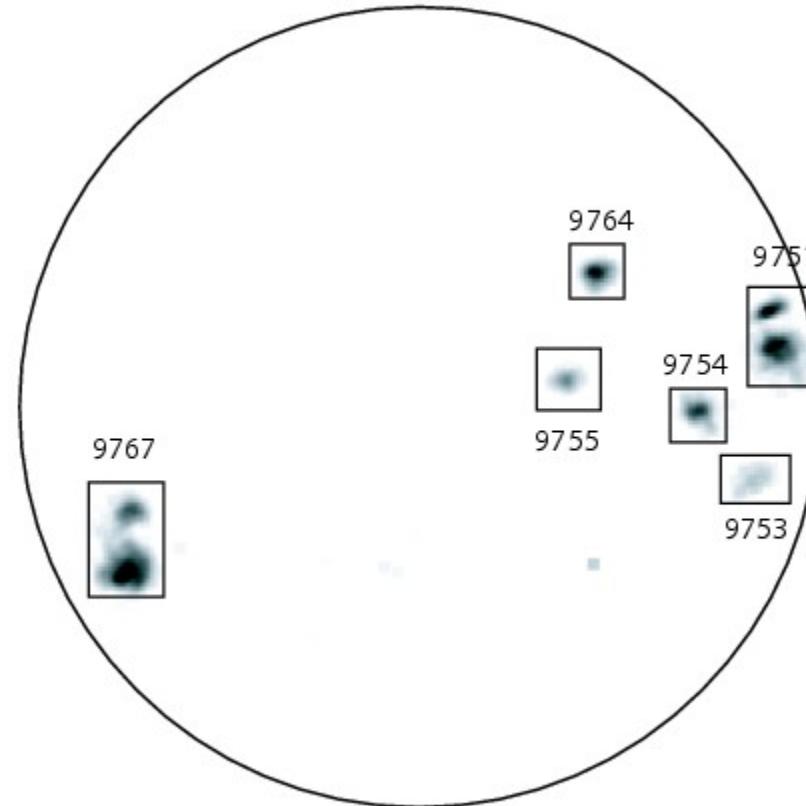
Nature 371, 495 - 497 (06 October 1994)

A loop-top hard X-ray source in a compact solar flare as **evidence for magnetic reconnection**

S. Masuda, T. Kosugi, H. Hara, S. Tsuneta & Y. Ogawara

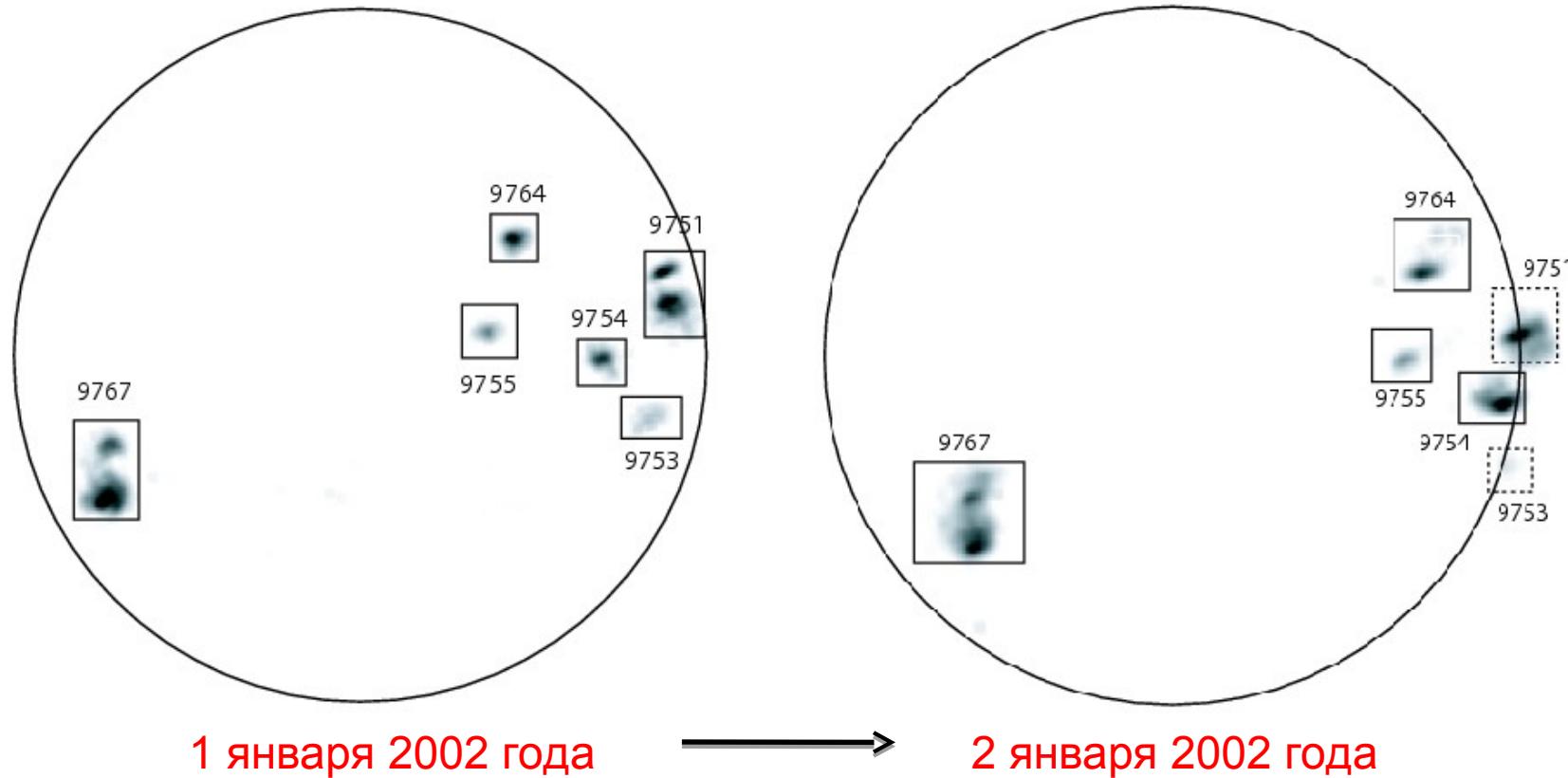
SOLAR flares are thought to be the result of magnetic reconnection — the merging of antiparallel magnetic fields and the consequent release of magnetic energy. Flares are classified into two types¹: compact and two-ribbon. The two-ribbon flares, which appear as slowly-developing, long-lived large loops, are understood theoretically²⁻⁶ as arising from an eruption of a solar prominence that pulls magnetic field lines upward into the corona. As the field lines form an inverted Y-shaped structure and relax, the reconnection of the field lines takes place. This view has been supported by recent observations⁷⁻¹⁰. A different mechanism seemed to be required, however, to produce the short-lived, impulsive compact flares. Here we report observations made with the Yohkoh¹¹ Hard X-ray Telescope¹² and Soft X-ray Telescope¹³, which show a compact flare with a geometry similar to that of a two-ribbon flare. We identify the reconnection region as the site of particle acceleration, suggesting that the basic physics of the reconnection process (which remains uncertain) may be common to both types of flare.

Высокотемпературная плазма в короне Солнца



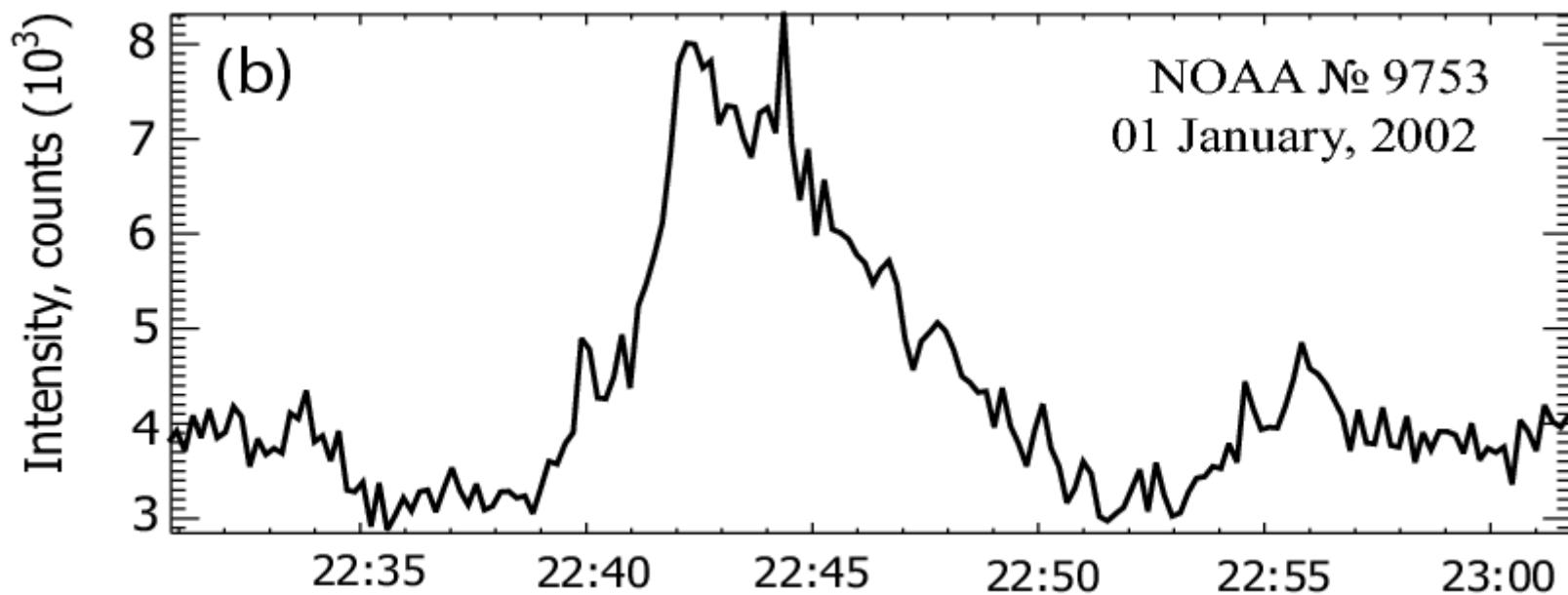
Плазма с температурой 10 млн. К. и выше обнаружена в короне Солнца в 2001 году и наблюдается в короне Солнца в виде отдельных источников излучения.

Времена жизни высокотемпературных источников излучения в короне



Исследование серий изображений показывает, что области горячей плазмы длительно существуют в короне в течение суток и более. При этом характерное время теплопроводного охлаждения такой плазмы – несколько десятков минут.

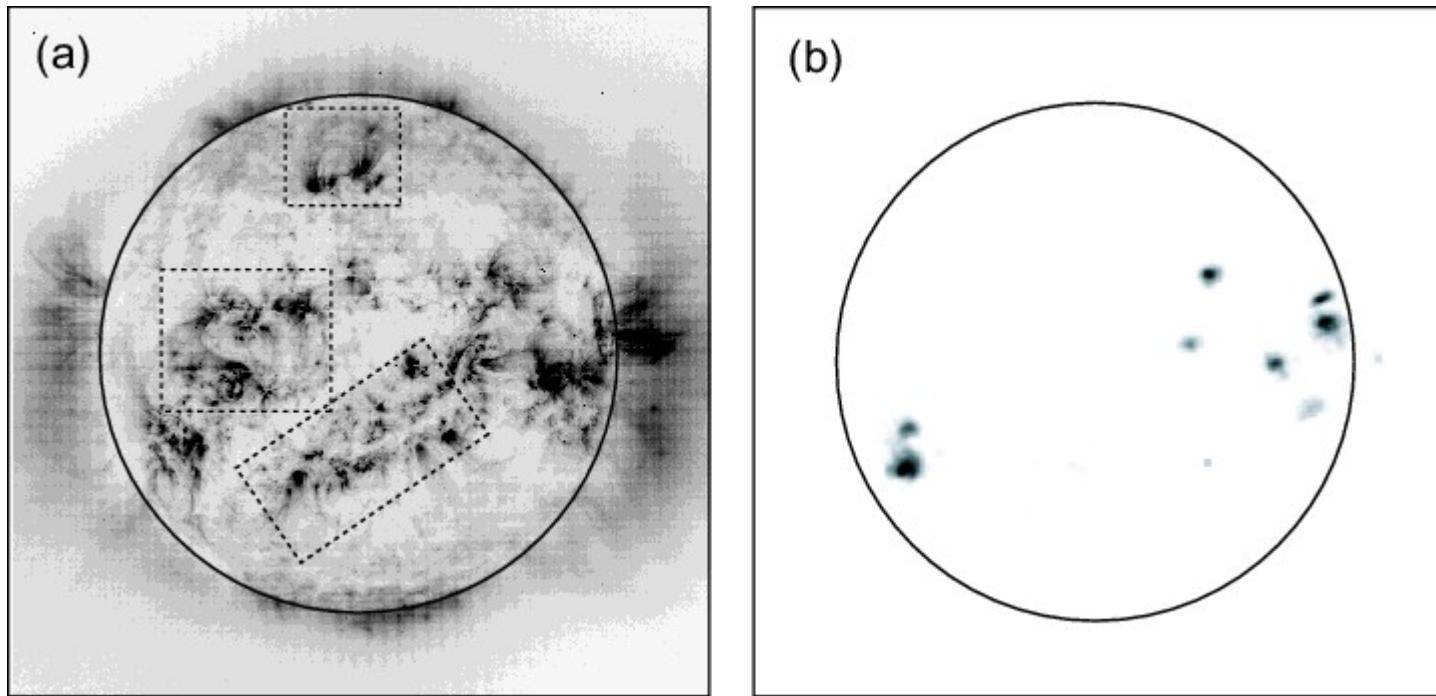
Времена жизни высокотемпературных источников излучения в короне



Вариации излучения источника на масштабе времени - 30 минут

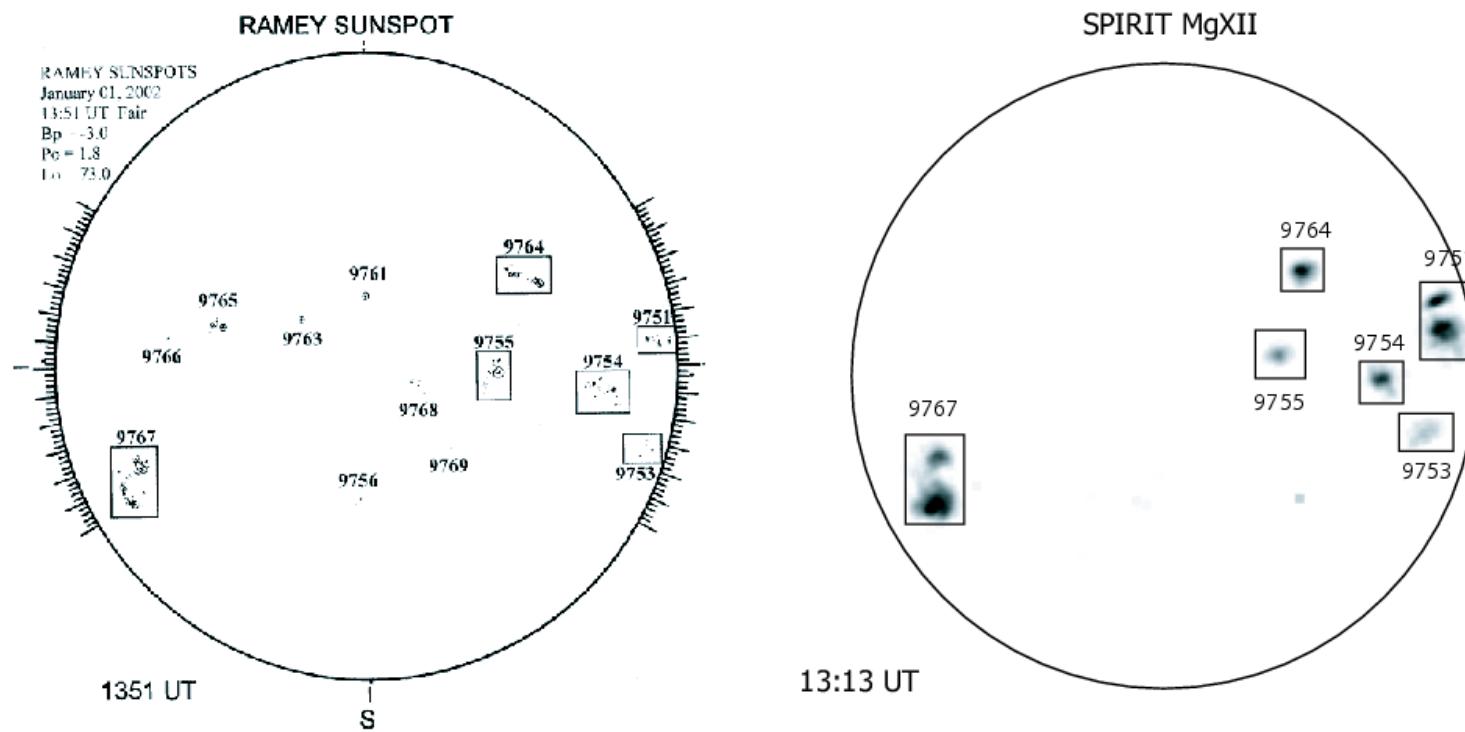
Исследование профилей излучения источников с высоким временным разрешением показывает, что время жизни источника – мало и согласуется с временами его охлаждения, а длительное существование плазмы в короне в одном месте объясняется тем, что нагрев происходит все время в одной и той же «выделенной» точке короны.

Сравнение областей горячей плазмы с магнитным полем Солнца



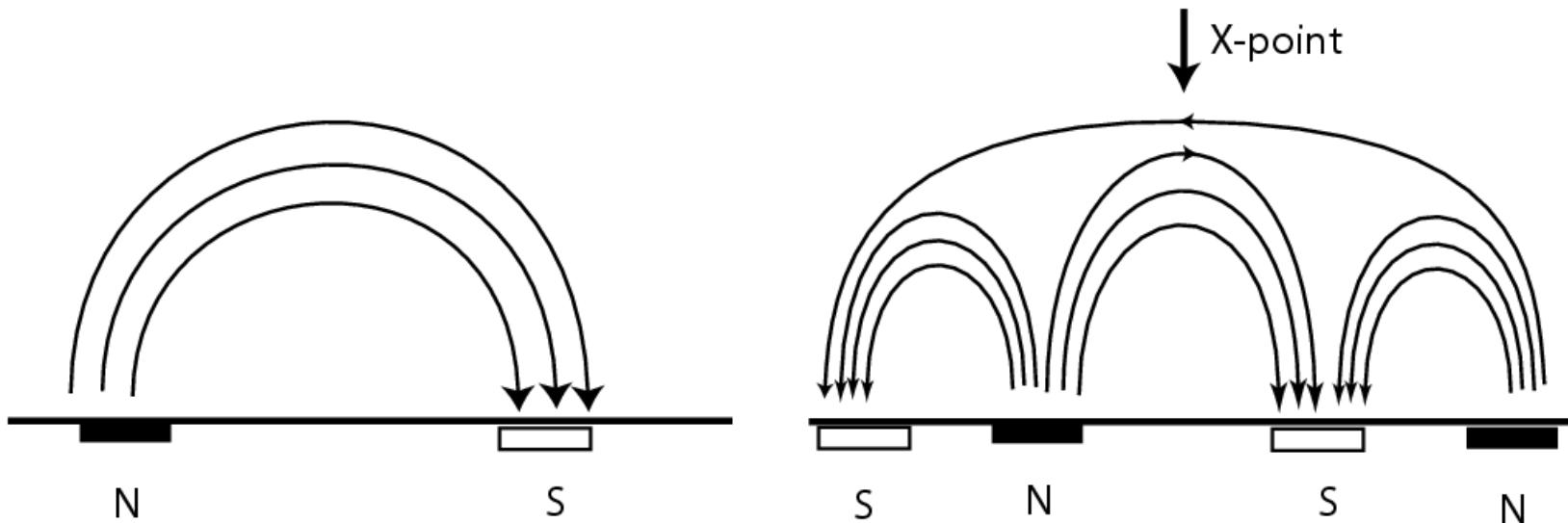
Из общих соображений можно ожидать корреляцию между эффективностью нагрева плазмы и величиной магнитного поля в короне. Наблюдений показывают, что такая корреляция отсутствует. Существуют обширные области очень сильного магнитного поля, в которых не происходит нагрева плазмы. При том, что в расположенных рядом похожих областях нагрев плазмы идет и с высокой эффективностью.

Сравнение областей горячей плазмы с магнитным полем Солнца



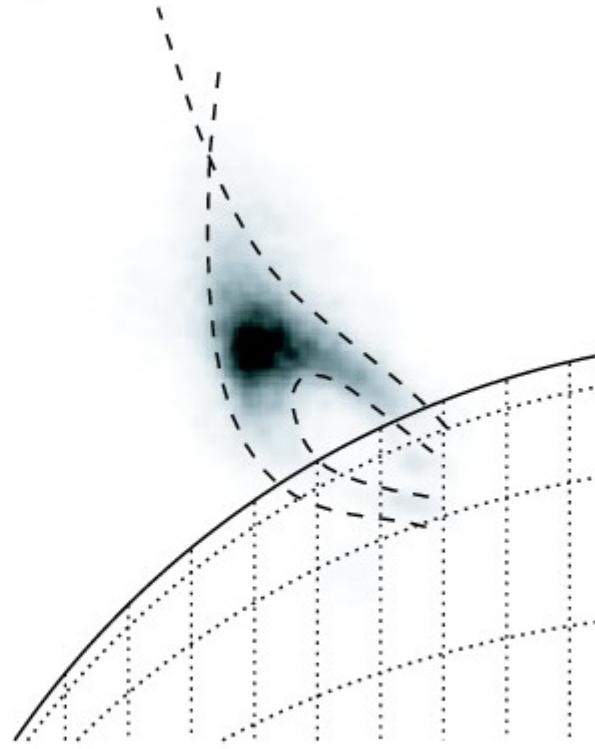
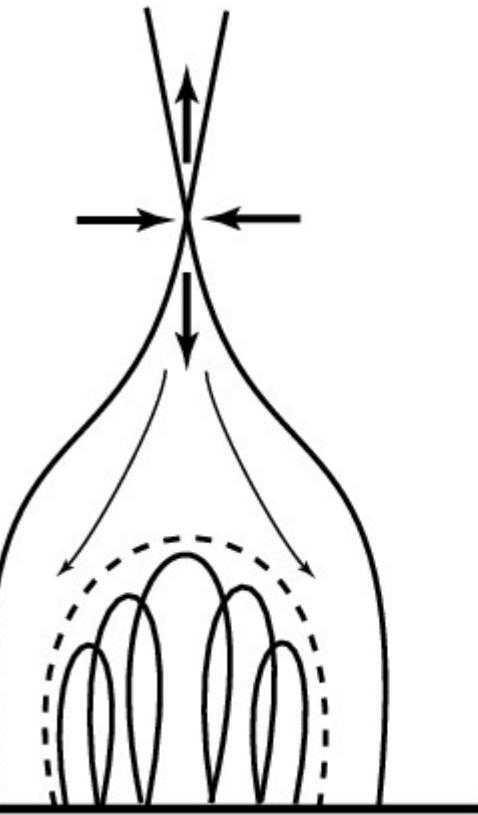
Показано, что корреляция нагрева плазмы и магнитного поля существует, одна нагрев коррелирует не с величиной поля, а с его топологией. Нагрев длительно происходит в областях со сложной конфигурацией поля (несколько солнечных пятен разной полярности) и никогда не происходит в областях состоящих из одного или двух пятен.

Сравнение областей горячей плазмы с магнитным полем Солнца



Принципиальное различие сложных конфигураций из большого числа пятен от биполярных конфигураций – возможность формирования X-точки в короне. При этом величина магнитного поля в биполярных конфигурациях может быть даже выше, чем в сложных конфигурациях.

Касповые структуры в высокотемпературной плазме



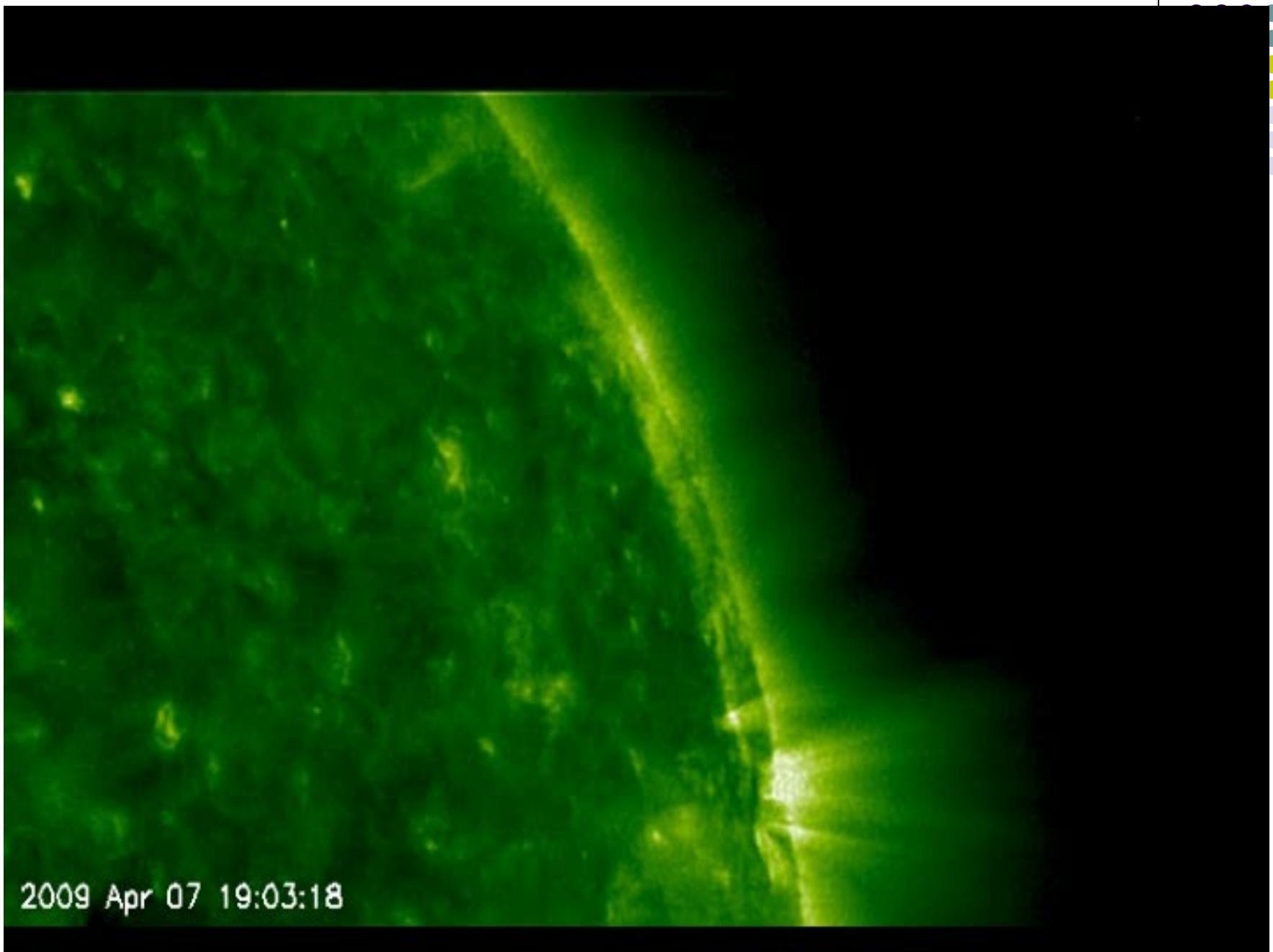
MgXII 8.42 A: 21 September 2001, 14:05:03 UT

Дополнительные аргументы в пользу связи между образованием горячей плазмы и магнитным пересоединением: наблюдения касповых структур в области температур выше 10 млн. К (структуры со шлемовидной особенностью – такая конфигурация должна возникать в точках пересоединения).

ВЫВОДЫ



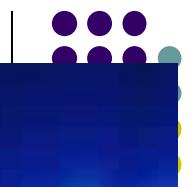
- В физике Солнца существует фундаментальная проблема поиска «маркеров» магнитного пересоединения в короне. Эта проблема связана с необходимостью экспериментально подтвердить роль магнитного пересоединения в активных солнечных процессах, а также с проблемой предсказания солнечных вспышек.
- Идеальный маркер должен однозначно указывать на места магнитного пересоединения в короне (появляться там, где они есть и отсутствовать там, где этих областей нет), позволять делать выводы о темпе пересоединения, а также позволять наблюдать пересоединение не только во время вспышек, но и на стадии накопления вспышечной энергии.
- Показано, что в этим требованиям в значительной степени удовлетворяют компактные области высокотемпературной плазмы, наблюдаемые в короне в диапазоне температур порядка и выше 10 млн. К.



2009 Apr 07 19:03:18



2009, MAY 04 00:41:50 UT





Prominence eruption April 16-17, 2009
2009.04.16 16:01:41 UT



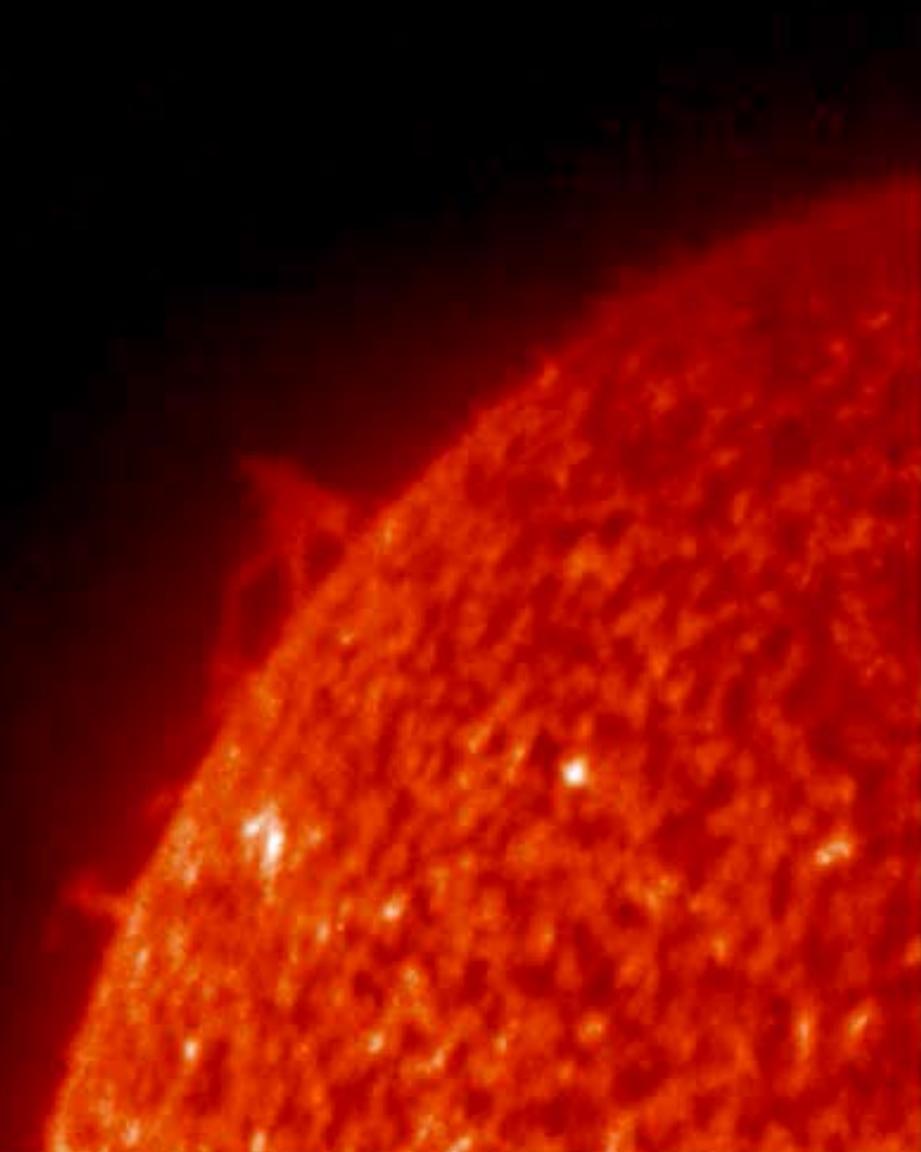
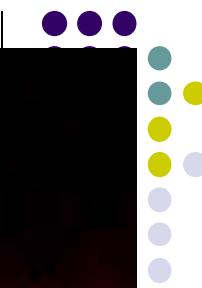


Prominence eruption April 22-23, 2009
2009.04.22 20:47:19 UT





2009, JUN 13 20:19:35 UT

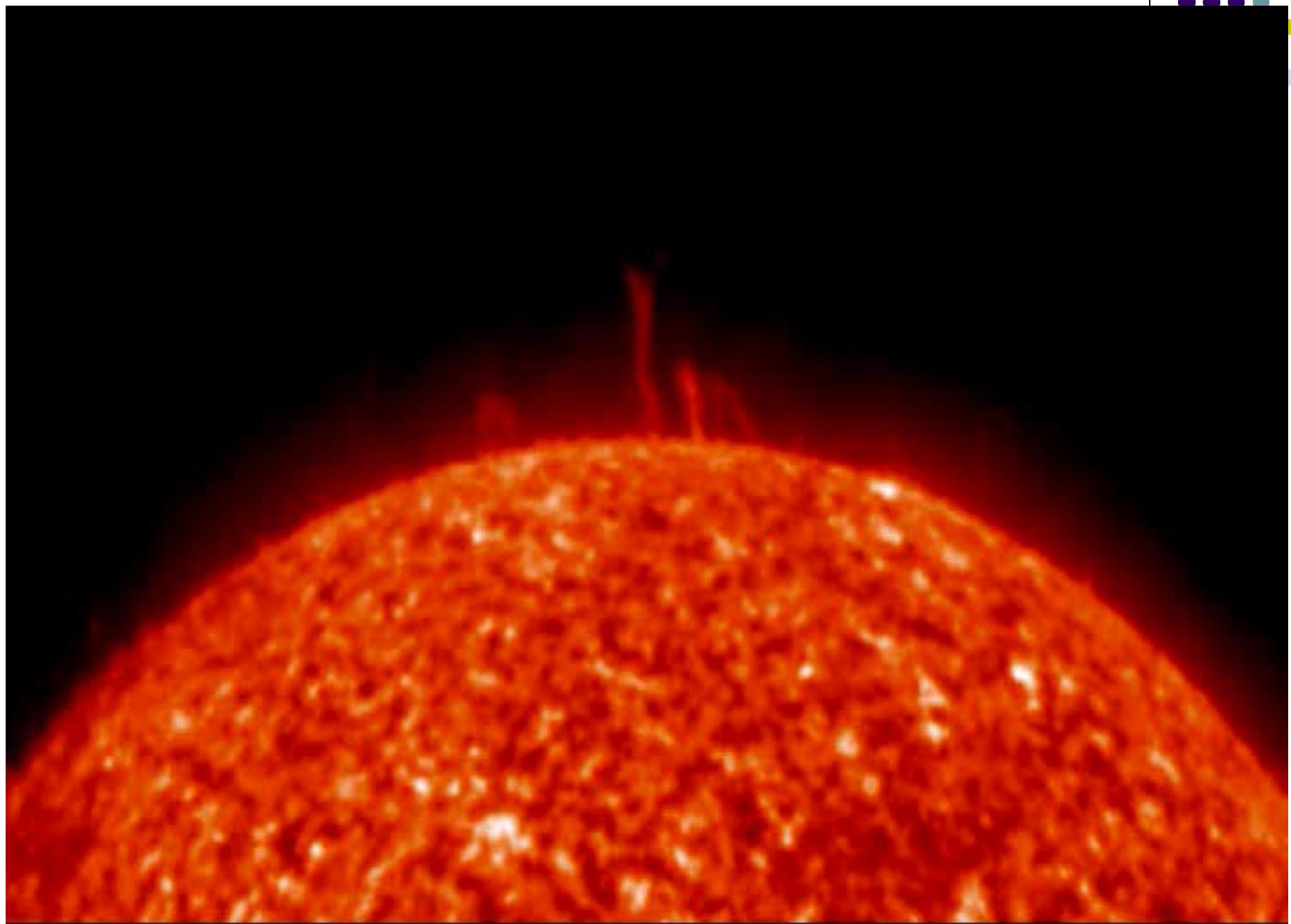


TESIS 171+304 A

2009, MAY 12 00:05:49 UT

F₁(Z)₁₁





Благодарю за внимание

