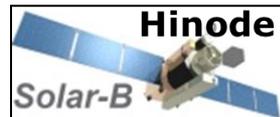
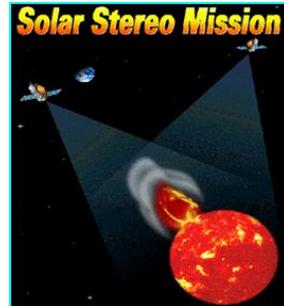
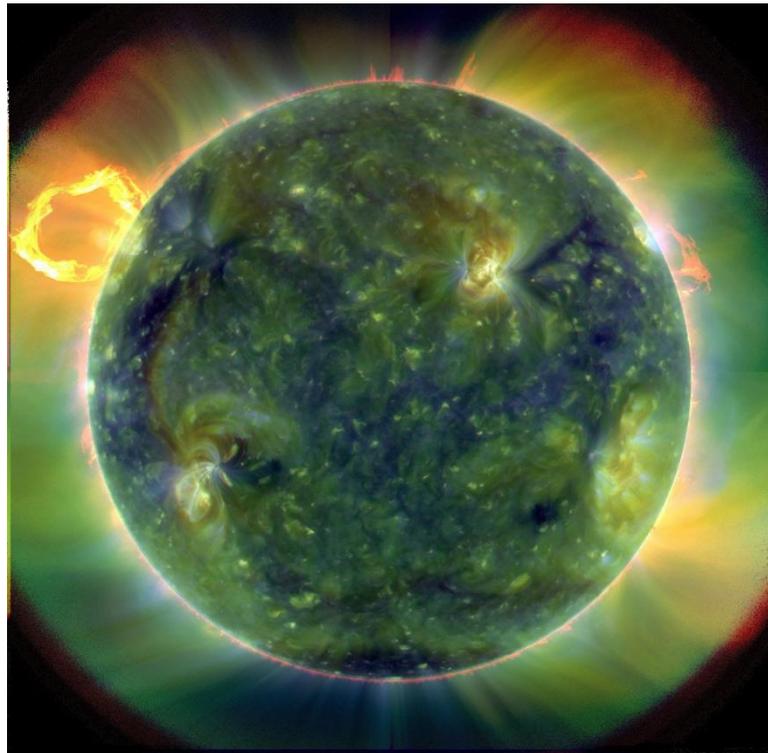
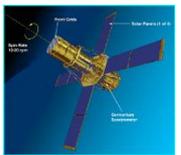


Солнечные космические проекты

В.Д.Кузнецов (ИЗМИРАН)

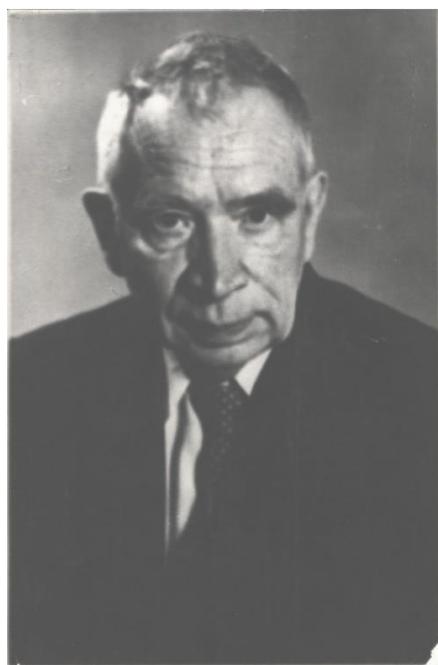


75 лет



1960

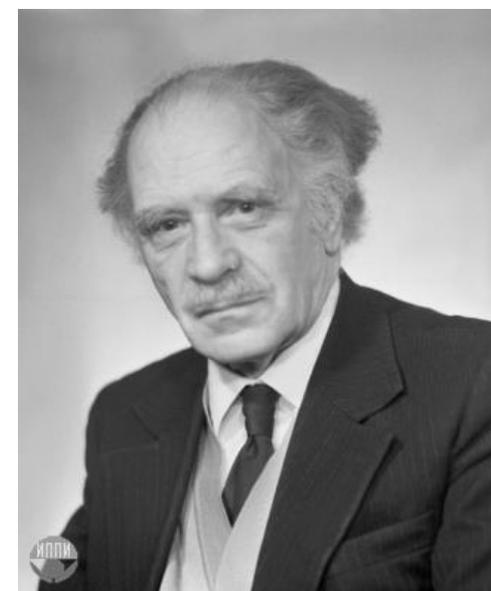
Ленинская премия за исследование радиационных поясов и магнитного поля Земли и Луны



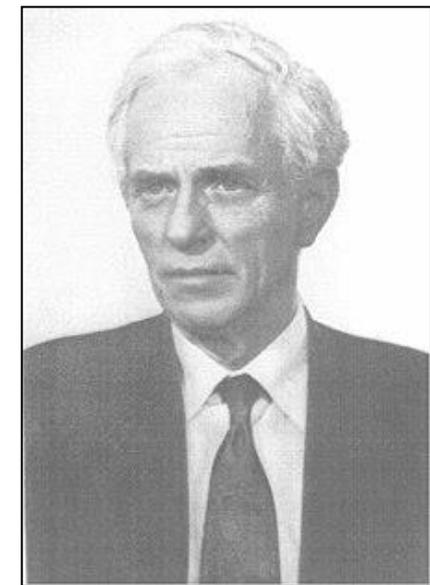
Н.В.Пушков



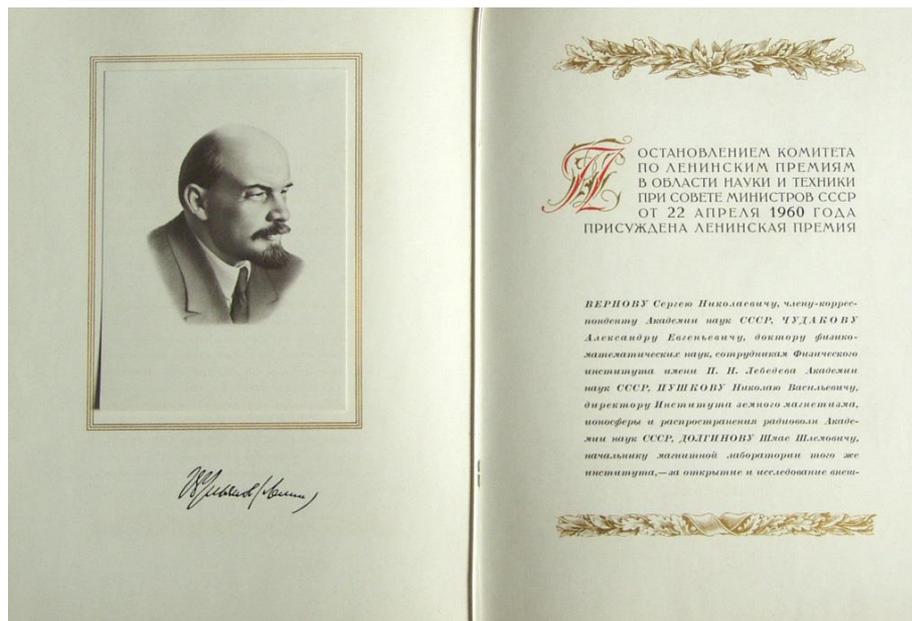
3-й ИСЗ



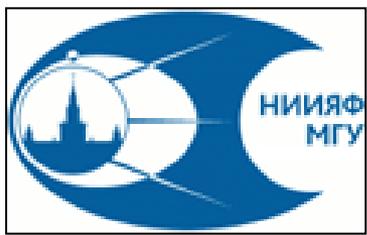
С.Н.Вернов



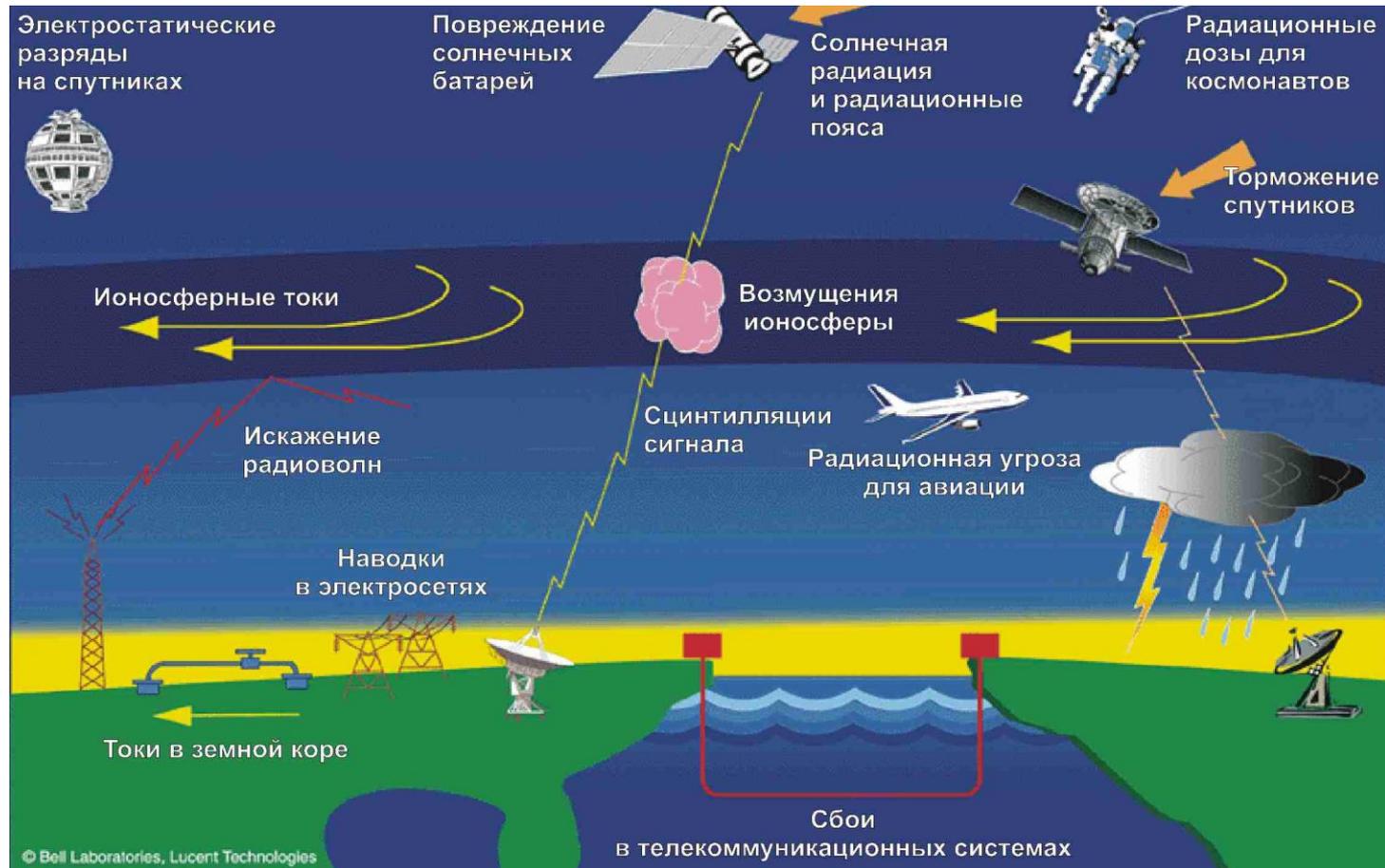
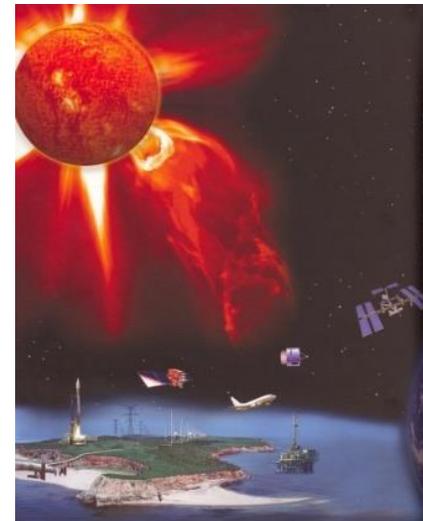
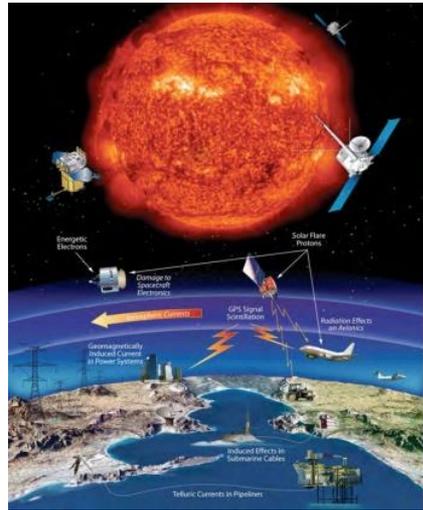
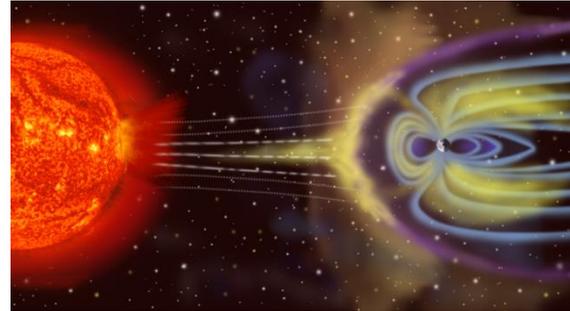
А.Е.Чудаков



Ш.Ш.Долгинов



НИИЯФ МГУ и ИЗМИРАН – наука космической погоды

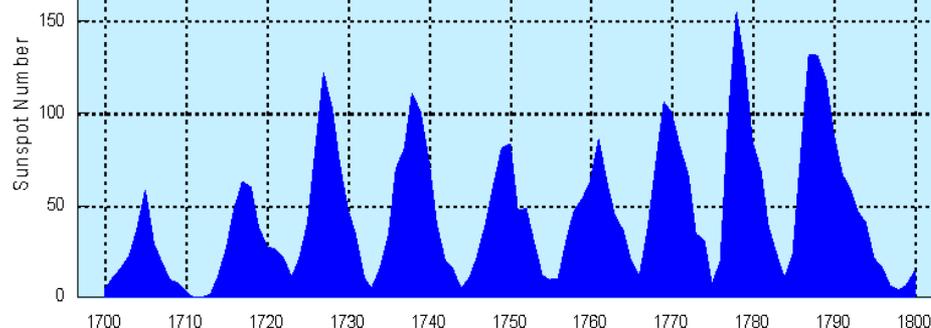


Проблемы физики Солнца

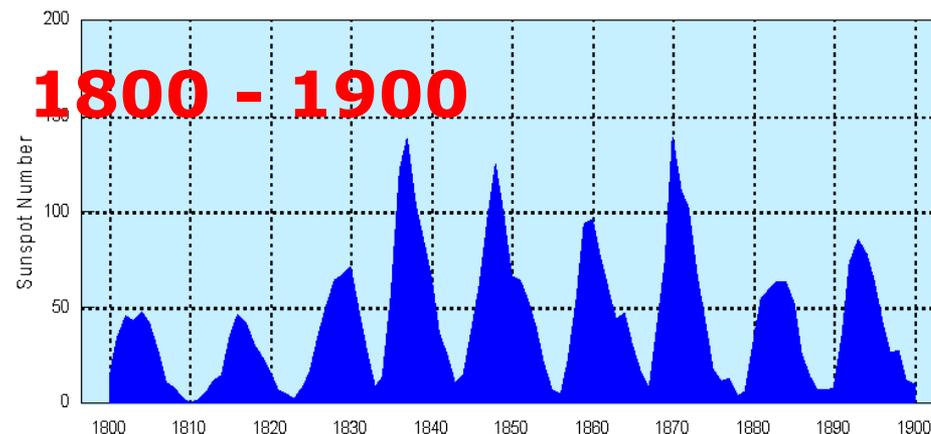
- **Механизм модуляции солнечного цикла, его длительности и амплитуды. Структура и динамика магнитных полей в приполярных областях Солнца и действие динамомеханизма.**
- **Тонкая структура и динамика солнечной атмосферы, нановспышки и мелкомасштабная активность в солнечной атмосфере.**
- **Механизмы нагрева солнечной короны и ускорения солнечного ветра.**
- **Триггерные механизмы наиболее мощных проявлений солнечной активности - солнечных вспышек и выбросов и их влияние на гелиосферу и космическую погоду.**
- **Механизмы генерации и переноса энергичных частиц в гелиосфере. Формирование радиационной обстановки в ОКП.**

Три столетия наблюдений

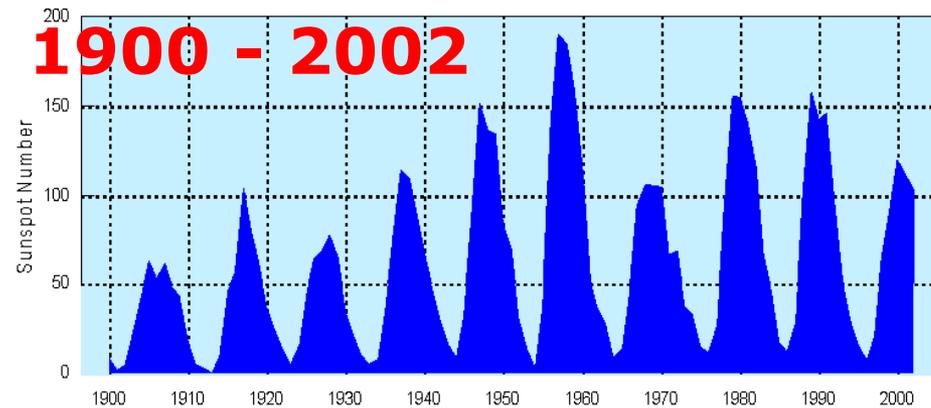
1700 - 1800



1800 - 1900



1900 - 2002



11-летний солнечный цикл



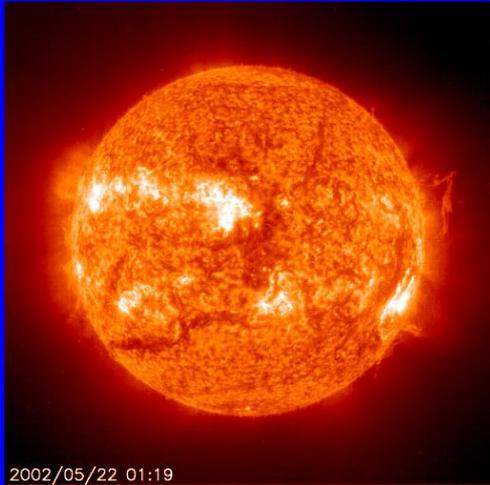
**Изменение
среднегодового числа
солнечных пятен от
цикла к циклу.**

**Изменение амплитуды
цикла: от 48 до 180**

**Изменение периода
цикла: от 8 до 14 лет.**

Стратегия солнечных космических миссий

**Внеэклиптические
наблюдения**



**Измерения вблизи
Солнца.**

Интергелиозонд



**Наблюдения вне линии
«Солнце-Земля». Трехмерные
изображения Солнца.**

**Интергелиозонд
Солнечный парус**



**Околоземные наблюдения
с ультравысоким разрешением**

Арка

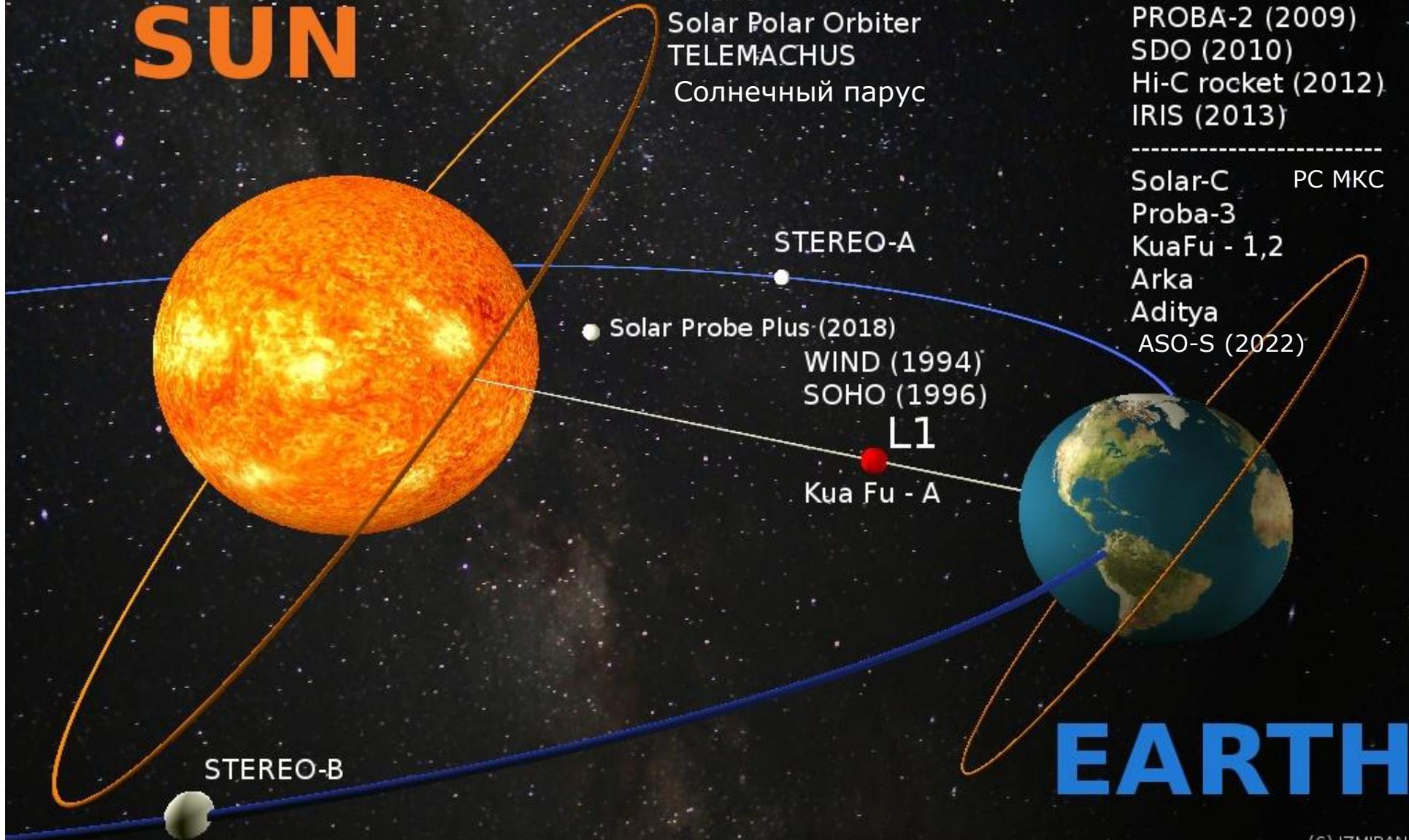
Концепция солнечных миссий

SUN

INTERHELIOPROBE (2022)
SolarOrbiter (2018)
Solar-D
SPORT
Polaris
Solar Polar Orbiter
TELEMACHUS
Солнечный парус

ACE (1997)
RHESSI (2002)
Hinode (2006)
EUNIS (rocket) (2013)
IBEX (2008)
PROBA-2 (2009)
SDO (2010)
Hi-C rocket (2012)
IRIS (2013)

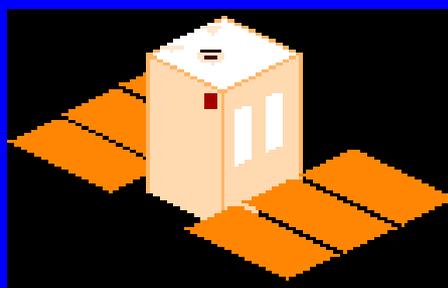
Solar-C PC MKC
Proba-3
KuaFu - 1,2
Arka
Aditya
ASO-S (2022)



EARTH

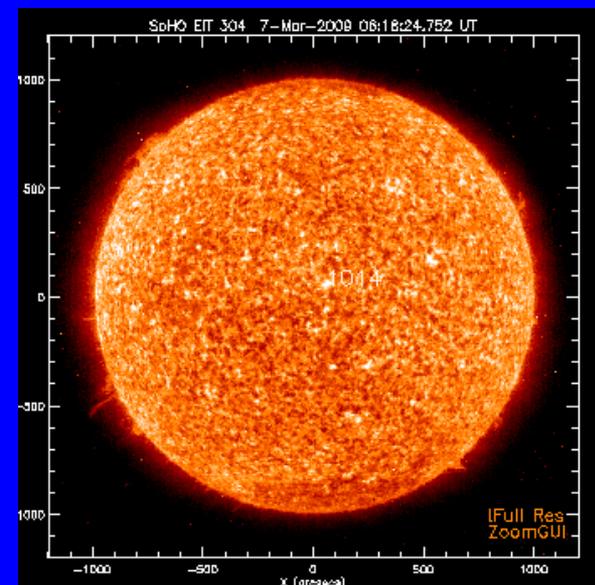
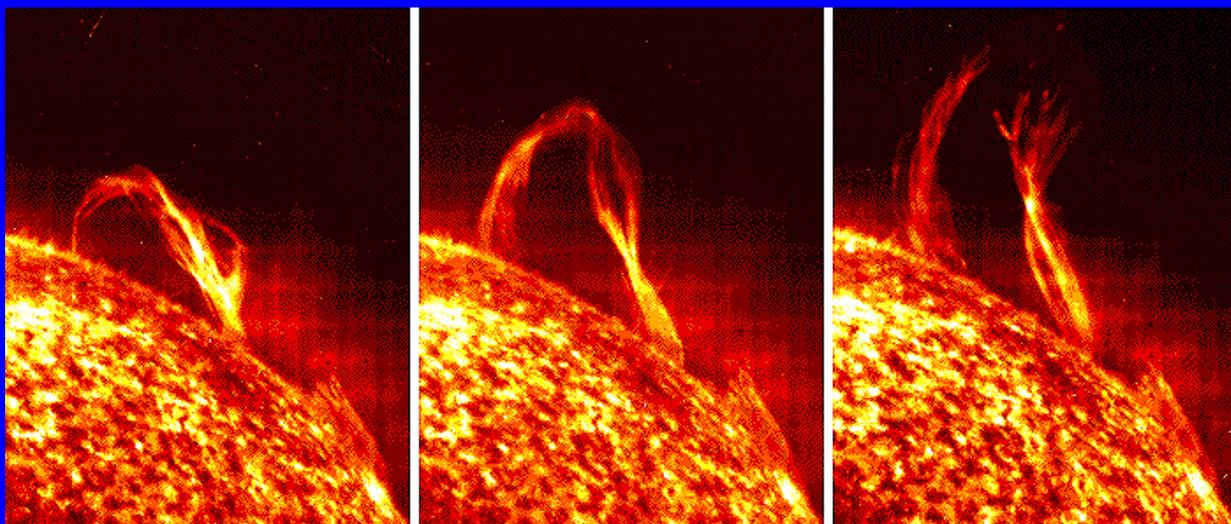
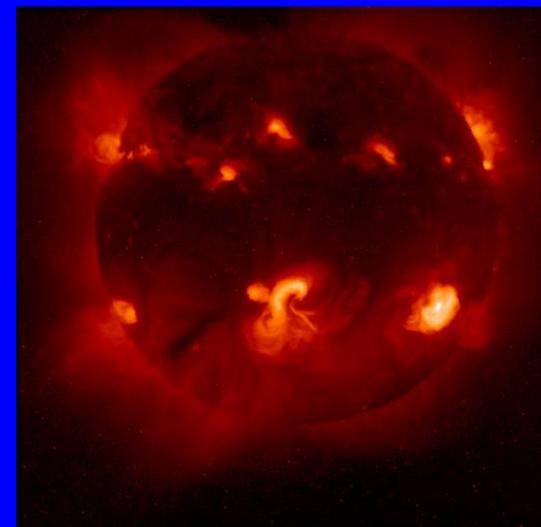
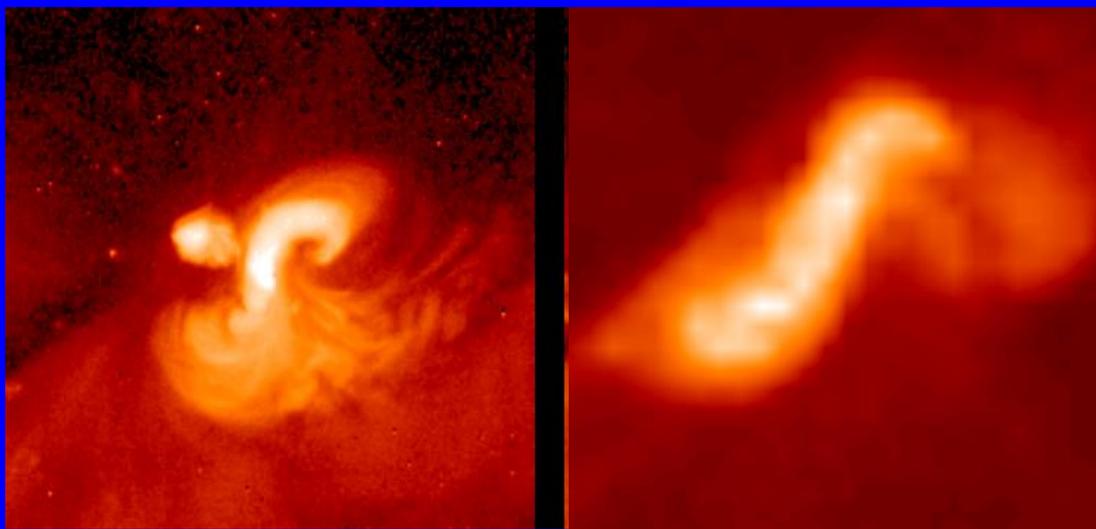
Солнечные космические проекты

	NASA + ESA + Japan	Россия
Завершенные	Yohkoh (1991-2001) ULYSSES (1990-2009)	КОРОНАС-И (1994-2001) КОРОНАС-Ф (2001-2005) КОРОНАС-ФОТОН (2009)
Действующие	SOHO (1995) TRACE (1998) RHESSI (2002) Hinode (2006) STEREO (2006) SDO (2010) DSCOVR(2015) Parker Solar Probe (2018) Solar Orbiter (2020)	
В стадии подготовки	ASO-S (Китай) (2022)	
В стадии разработки		Арка Интергелиозонд Солнечный парус

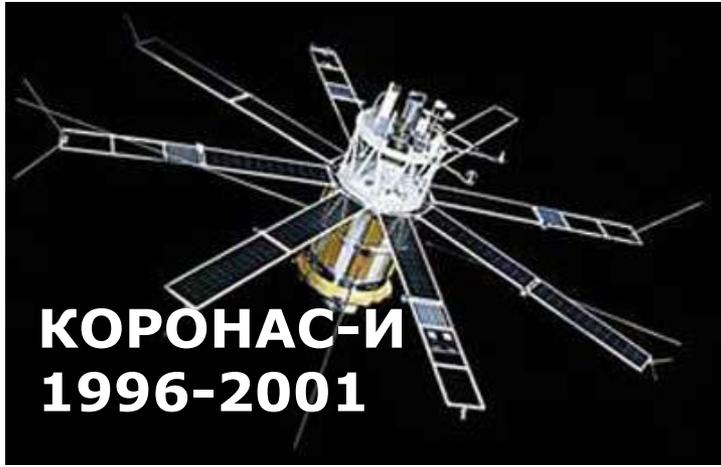


Yohkoh (1991-2001)

начало новой серии выдающихся
СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ



От КОРОНАС к Интергелиозонду



"Создание комплекса научной аппаратуры с новыми информационными каналами регистрации корпускулярного и электромагнитного излучений Солнца; приоритетные результаты в наблюдениях солнечной активности и ее воздействий на Землю со спутника КОРОНАС-Ф (2001-2005 гг.)"

Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2008 года



Комплекс научной аппаратуры спутника КОРОНАС-Ф

- 1. Многоканальный фотометр (ДИФОС)**
- 2. Рентгеновский телескоп (СРТ-К) (спирит)**
- 3. Рентгеновский спектрогелиограф (РЕС-К) (спирит)**
- 4. Спектрофотометр (ДИАГЕНЕСС)**
- 5. Рентгеновский спектрометр (РЕСИК)**
- 6. Солнечный спектрополяриметр (СПР-Н)**
- 7. Вспышечный спектрометр (ИРИС)**
- 8. Гамма-спектрометр (ГЕЛИКОН)**
- 9. Рентгеновский спектрометр (РПС-1)**
- 10. Амплитудно-временной спектрометр (АВС-Ф)**
- 11. Солнечный УФ радиометр (СУФР-сп-К)**
- 12. Солнечный УФ спектрофотометр (ВУСС-Л)**
- 13. Монитор космических лучей (МКЛ)**
- 14. Спектрометр энергий и хим. состава ионов (СКИ-3)**
- 15. Спектрометр солнечных нейтронов и γ -излучения (СОНГ)**

Проникновение солнечных энергичных частиц в магнитосферу Земли

Солнечные энергичные частицы

Граница проникновения солнечных энергичных частиц в магнитосферу

Орбита спутника КОРОНАС-Ф

Солнечные энергичные частицы

(Electrons)

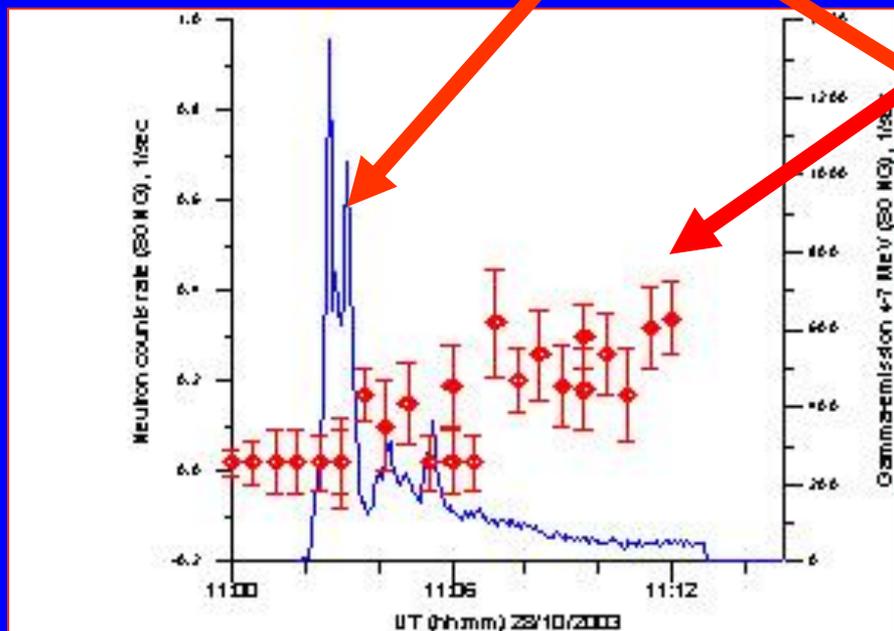
(Interstellar Matter)



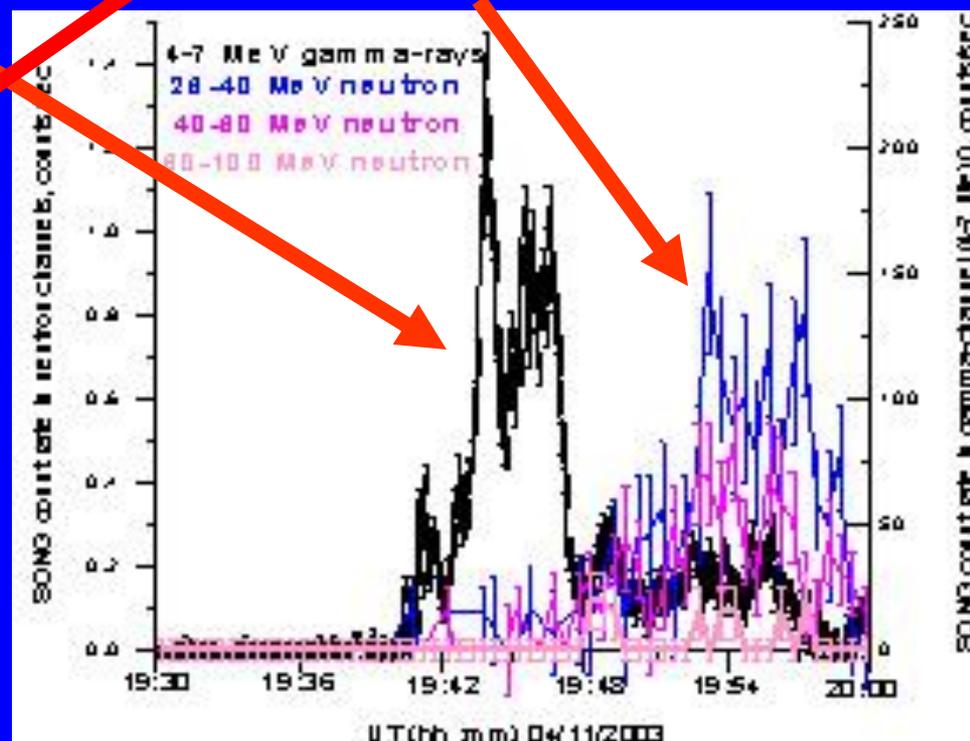
Осуществлена регистрация гамма-излучения и потоков энергичных нейтронов у Земли от мощных солнечных вспышек.

Гамма-излучение
 $E = 4 \div 7$ МэВ

Нейтроны
 $200 \div 400$ МэВ



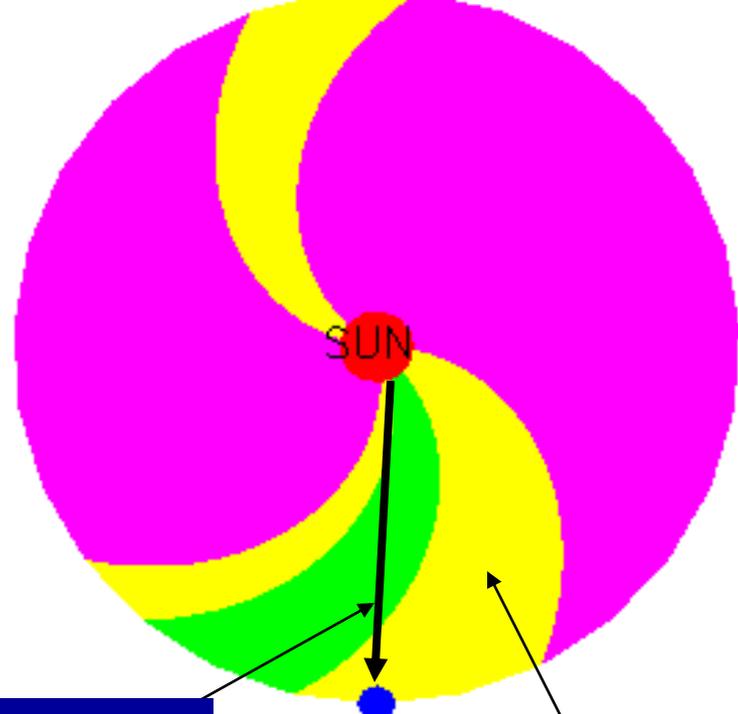
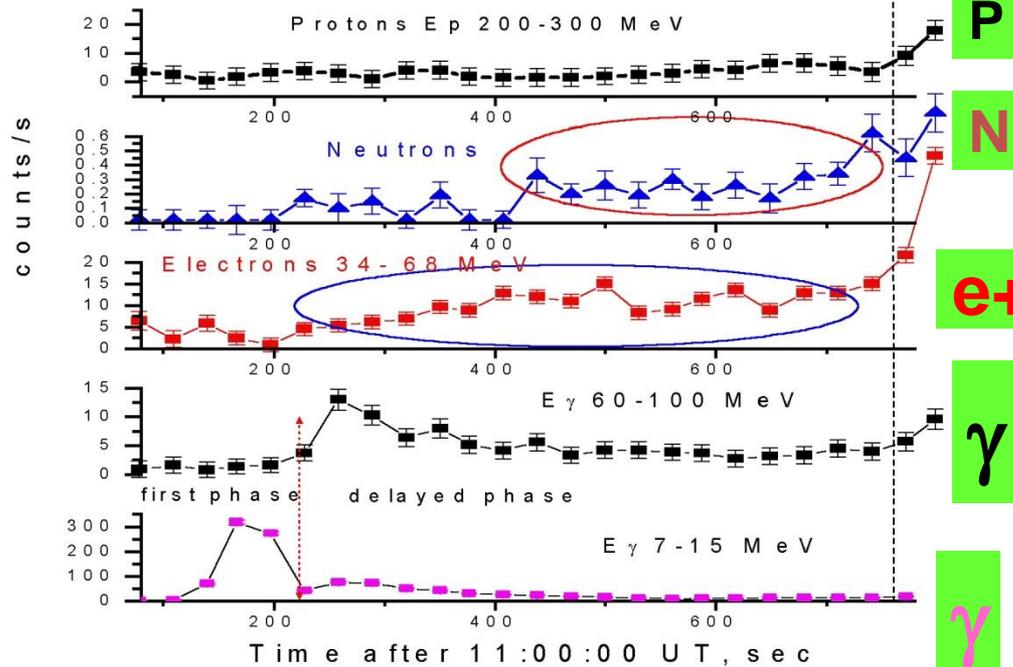
Вспышка 28 октября 2003 г.



Вспышка 4 ноября 2003 г.

October 28, 2003

SONG data



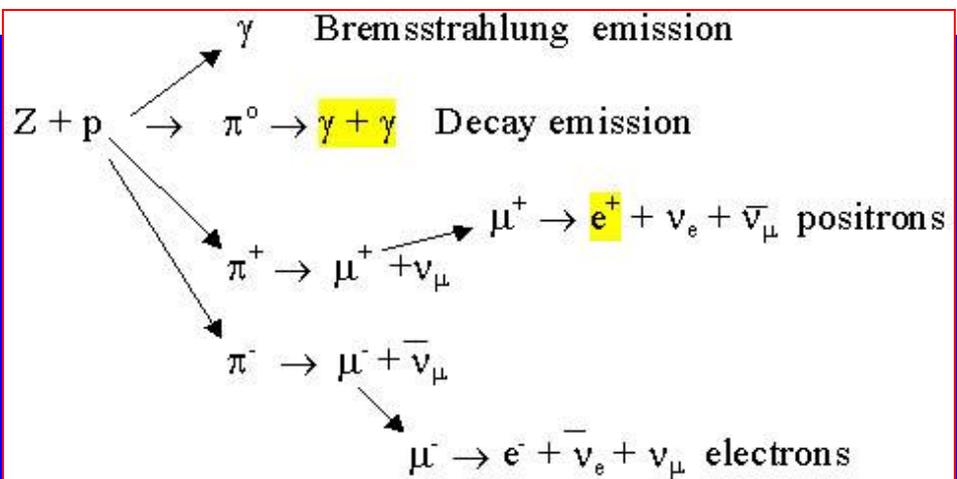
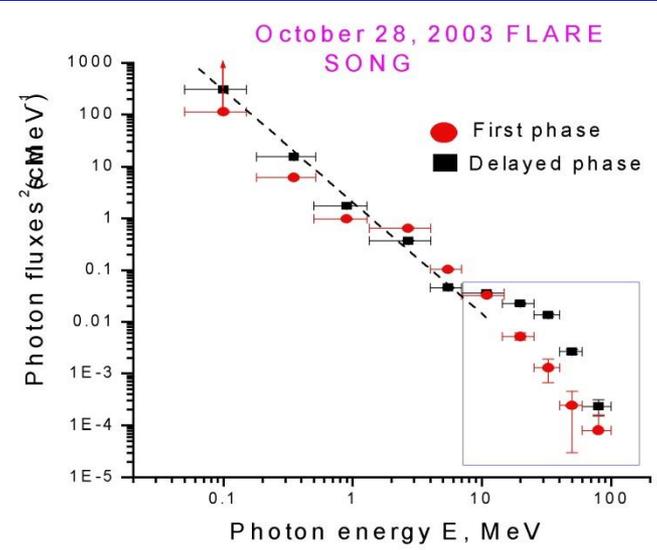
$E > 30 \text{ MeV}$

Нейтроны

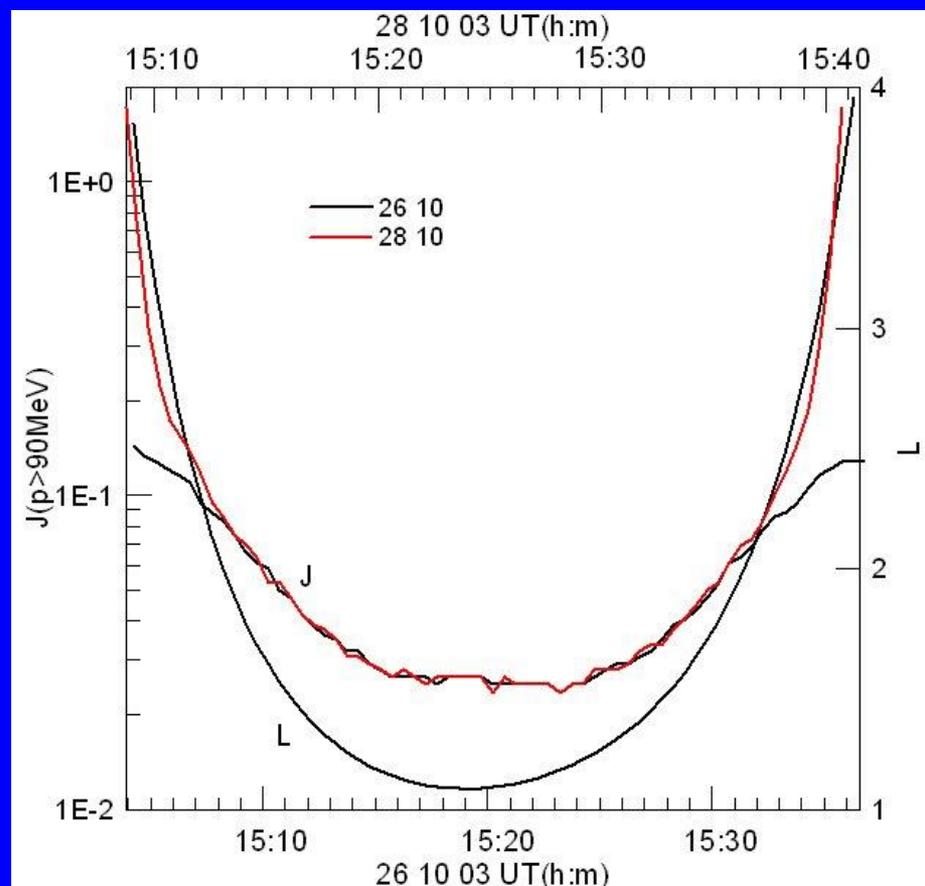
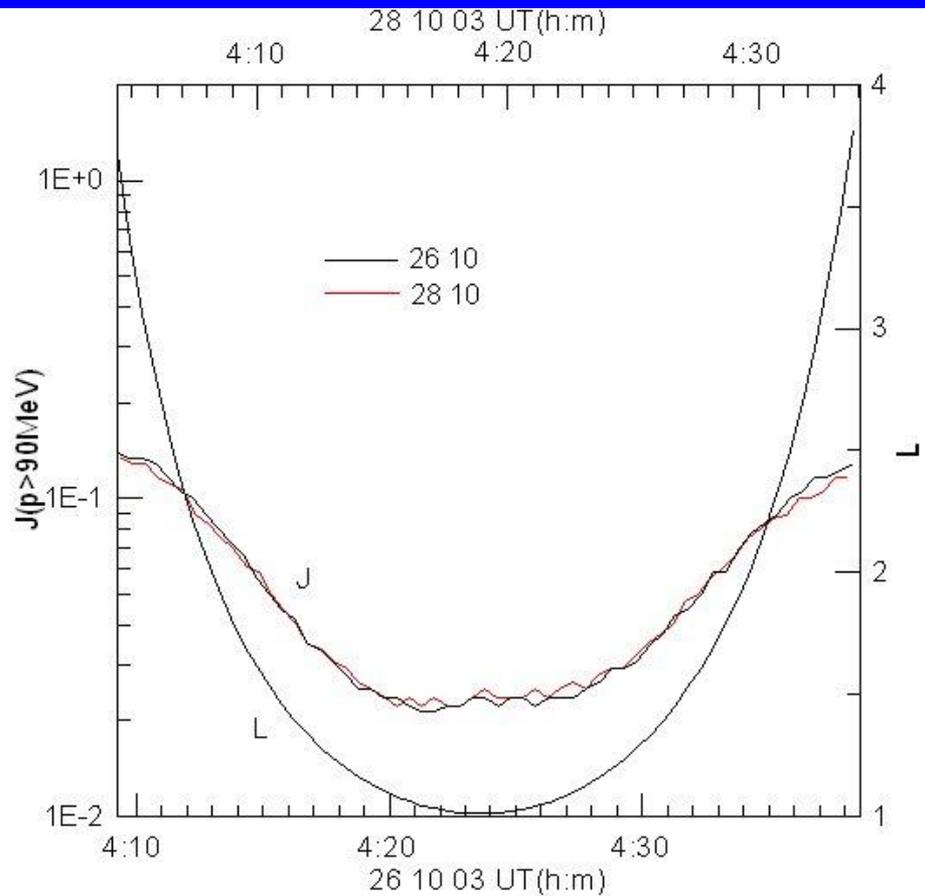
Электроны, протоны

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

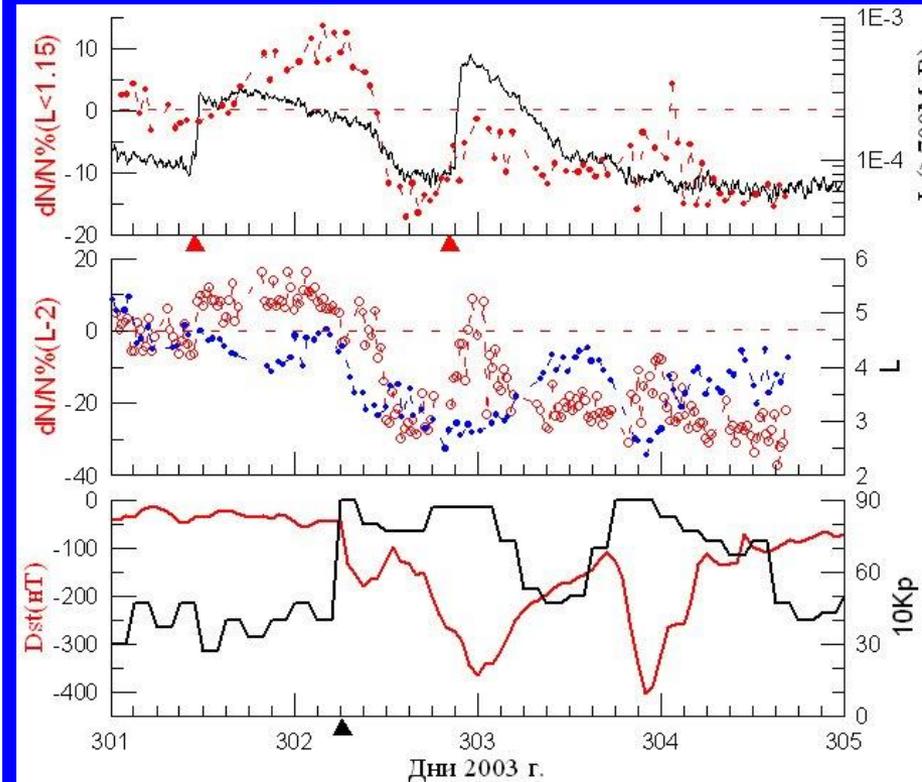
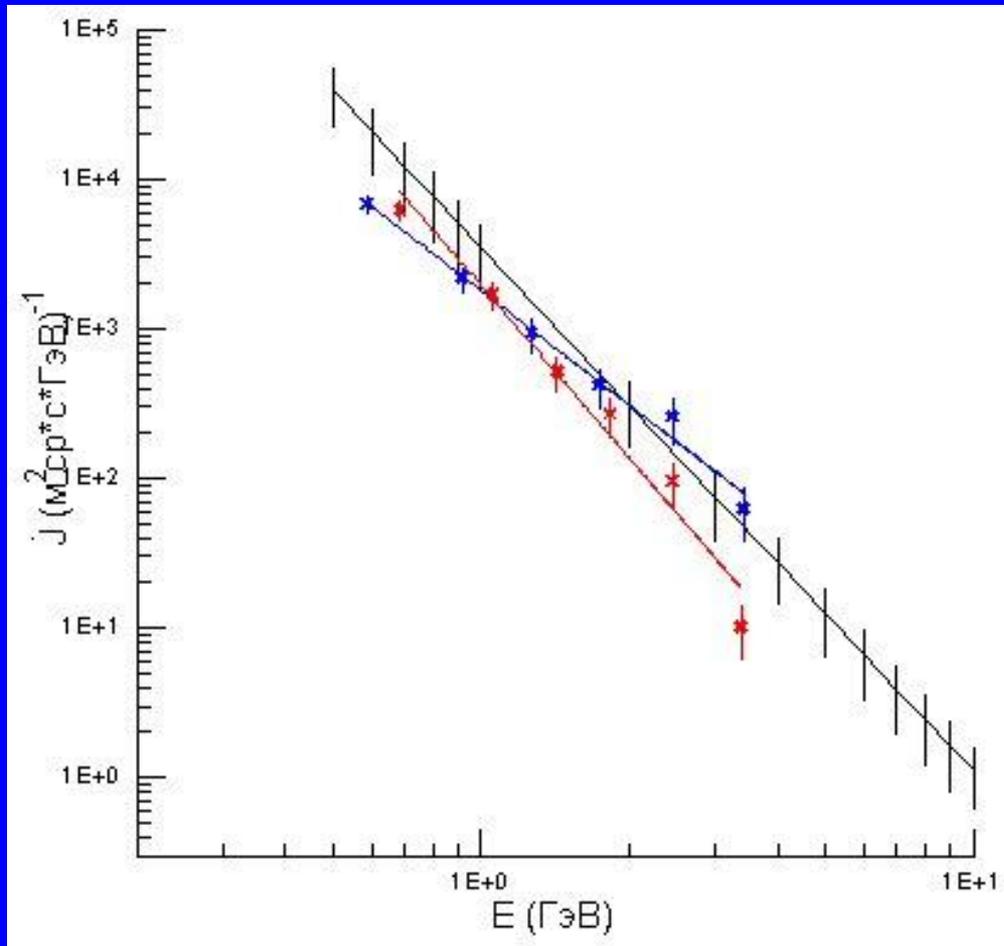
Спектрометр СОНГ



Релятивистские протоны от солнечной вспышки 28 октября 2003 г.

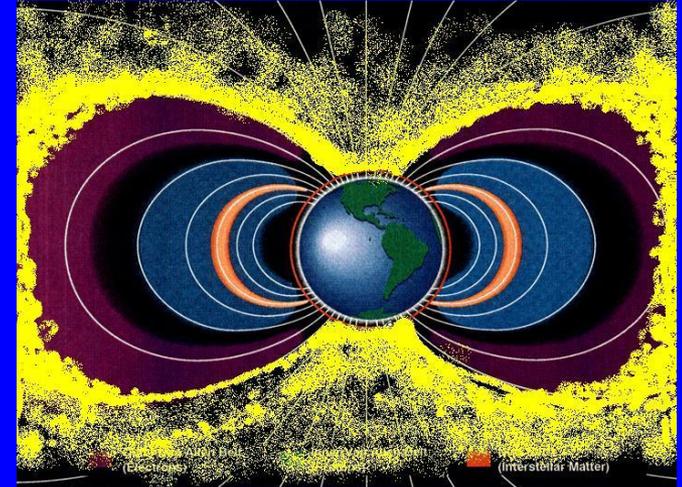
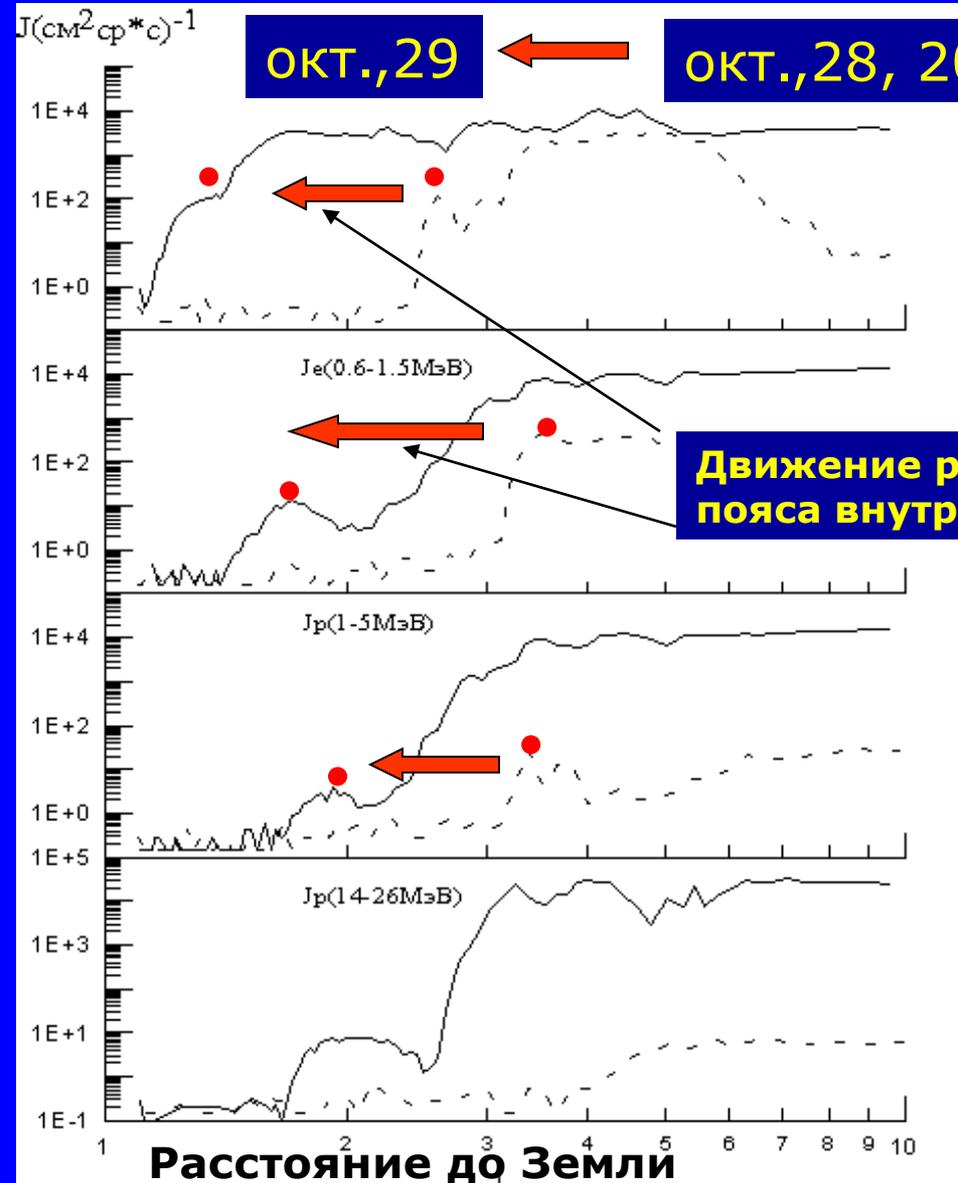


Спектр релятивистских протонов от солнечной вспышки 28 октября 2003 г.



Черная линия – наземные мониторы, синяя – КОРОНАС-Ф вечерняя сторона северного полушария, красная – дневная сторона северного полушария.

Изучена радиационная обстановка в околоземном космическом пространстве.

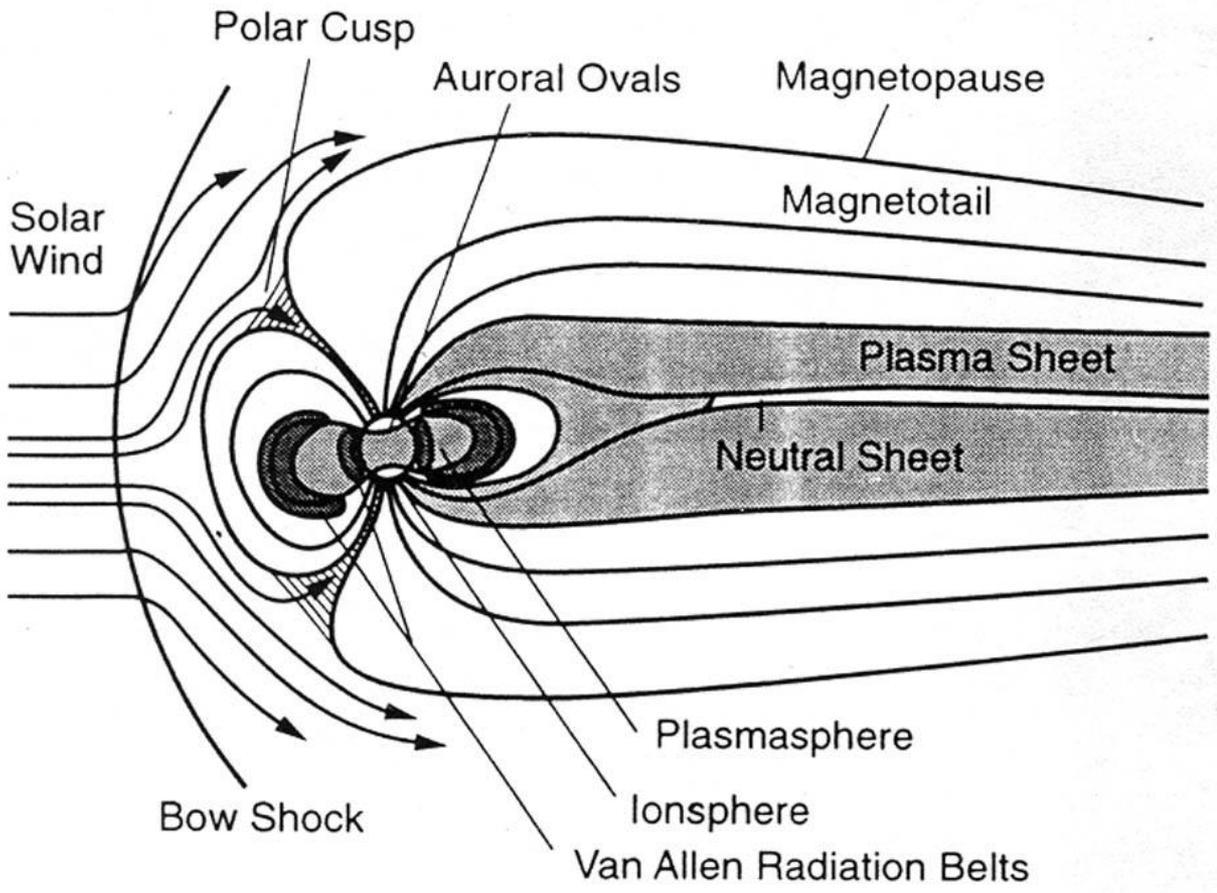


Движение радиационного пояса внутрь магнитосферы

Радиационные пояса электронов



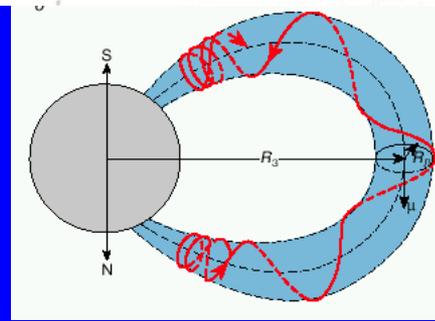
Структурная перестройка магнитосферы



**Исчезновение
внешнего
радиационного
пояса**

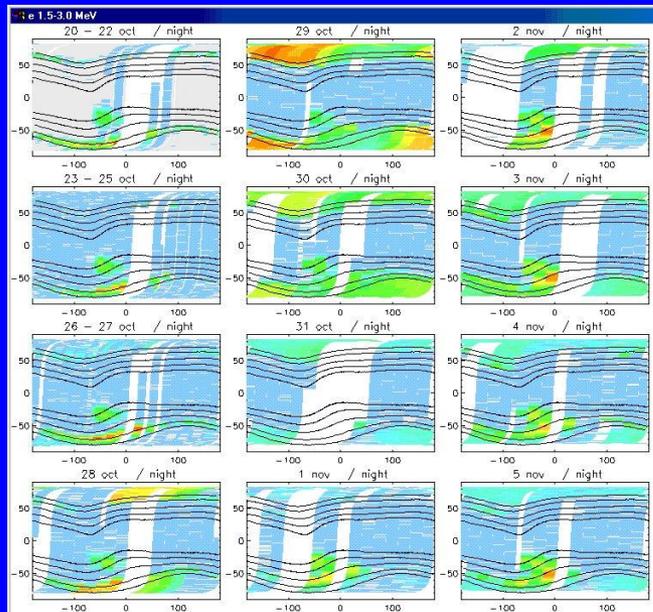
**Разрушение
регулярной
структуры
магнитного
поля и области
захваченных
орбит для
частиц**

**Периоды сильных
магнитных бурь**

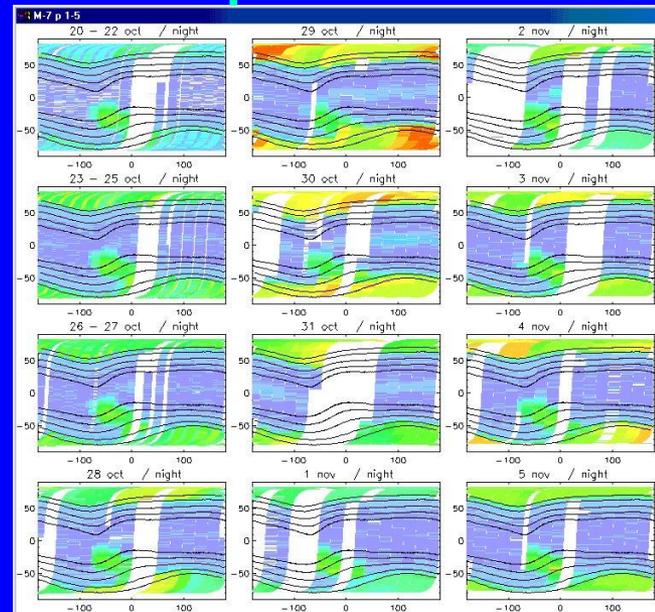


Карты интенсивности СКЛ в радиационных поясах в период сильных магнитных бурь октября-ноября 2003 г. (ночная сторона, высота 450 км)

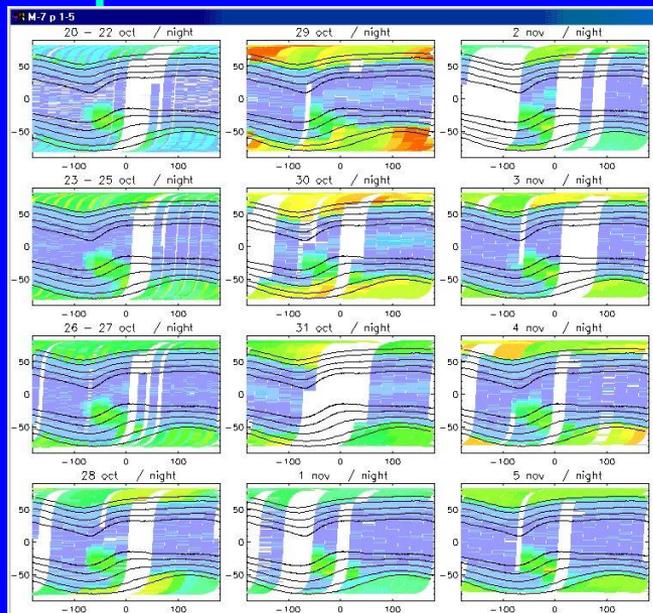
электроны 1.5-3 МэВ



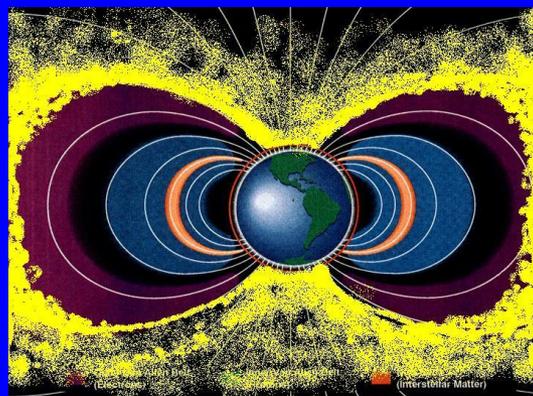
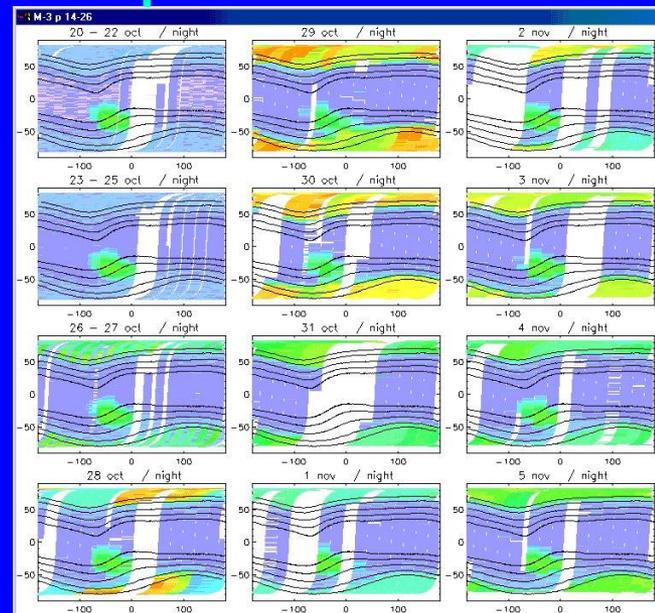
электроны 3-6 МэВ



протоны 1.5-3 МэВ

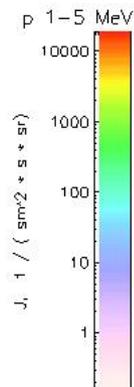
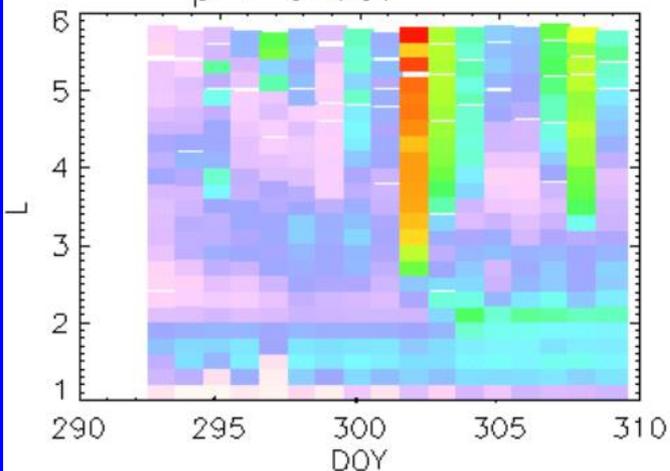


протоны 14-26 МэВ

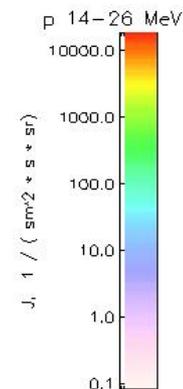
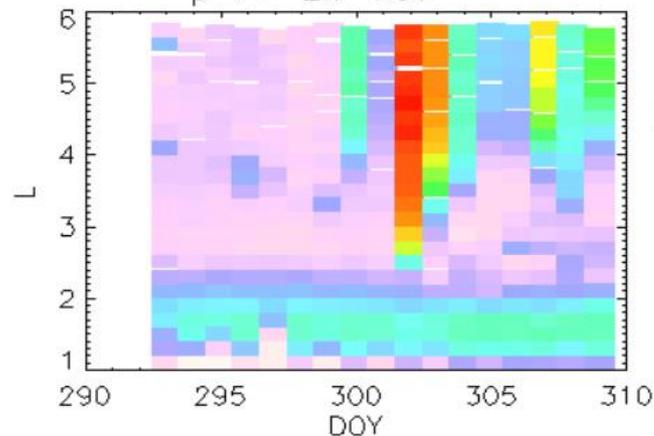


Вариации потоков протонов и электронов в период с 20 октября по 5 ноября 2003 г. (диаграммы временной зависимости интенсивности в L- координатах)

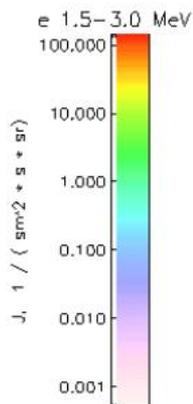
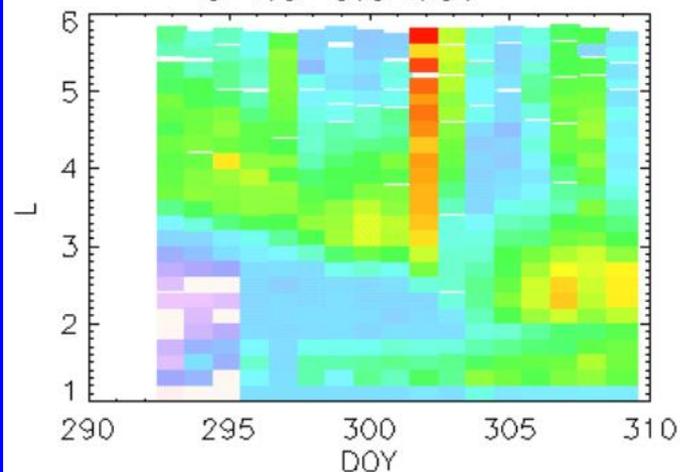
p 1–5 MeV



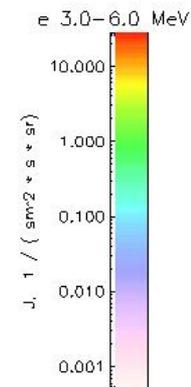
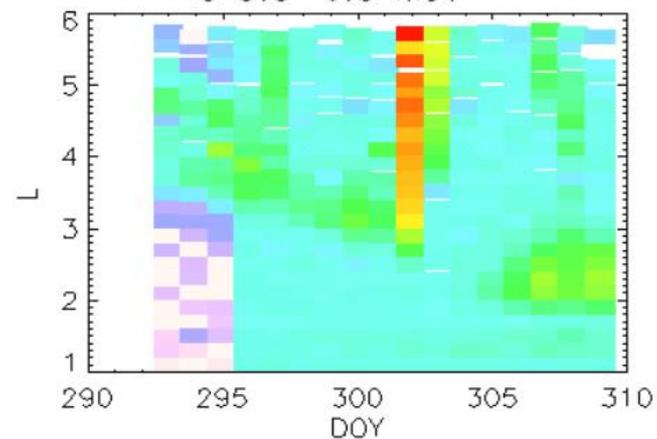
p 14–26 MeV



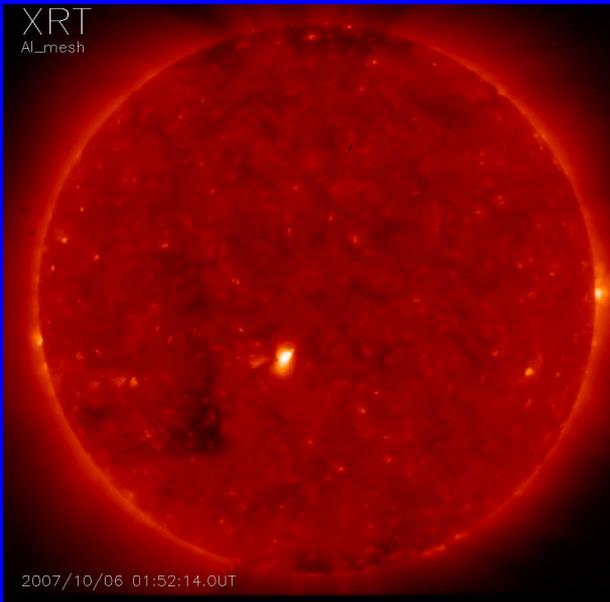
e 1.5–3.0 MeV



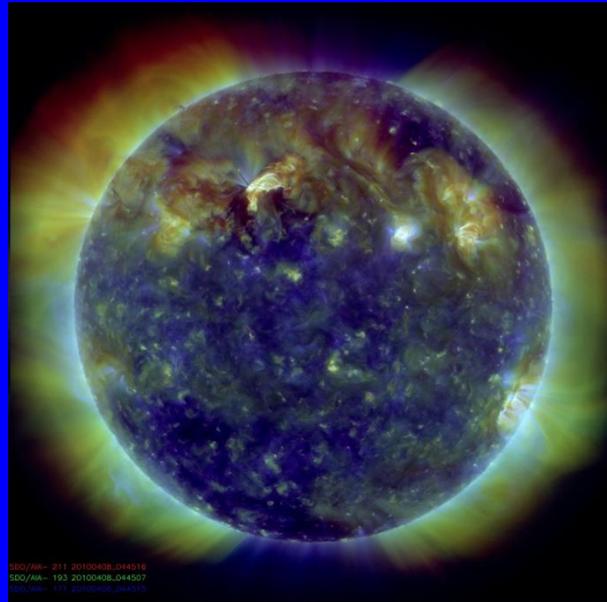
e 3.0–6.0 MeV



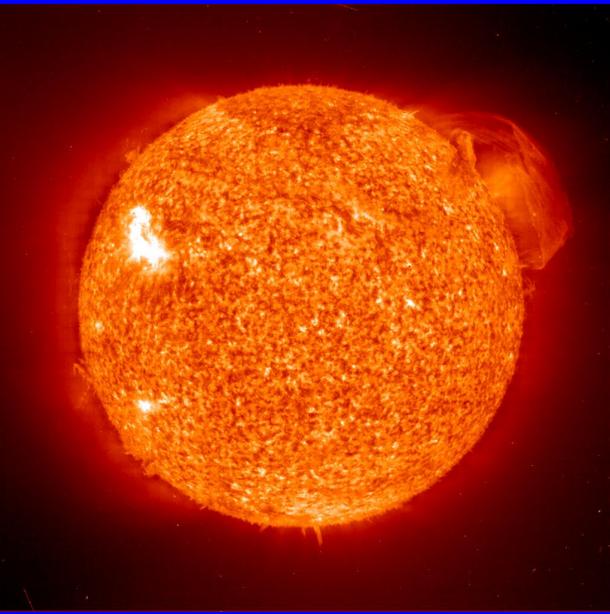
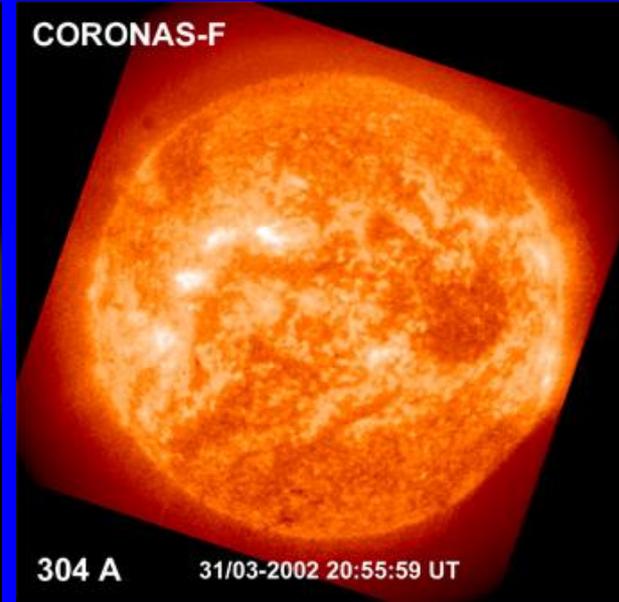
Hinode



SDO



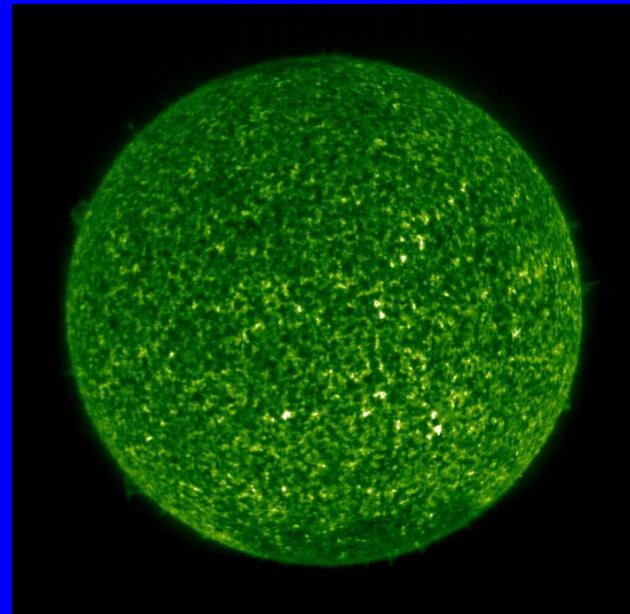
ΚΟΡΟΗΑΣ-Φ



SOHO



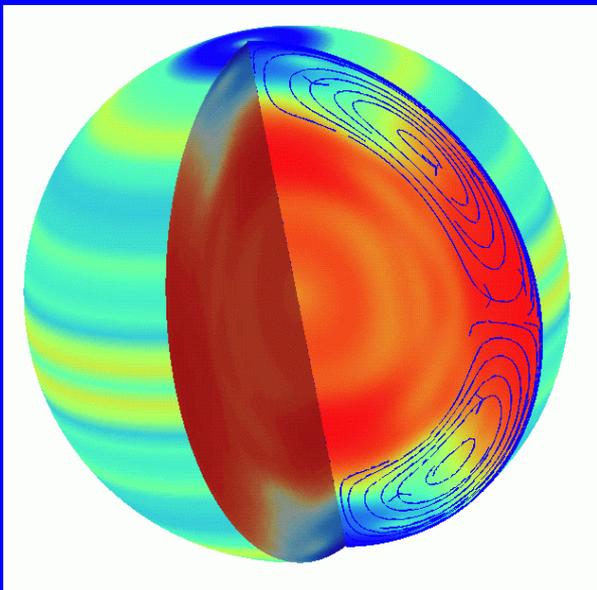
STEREO



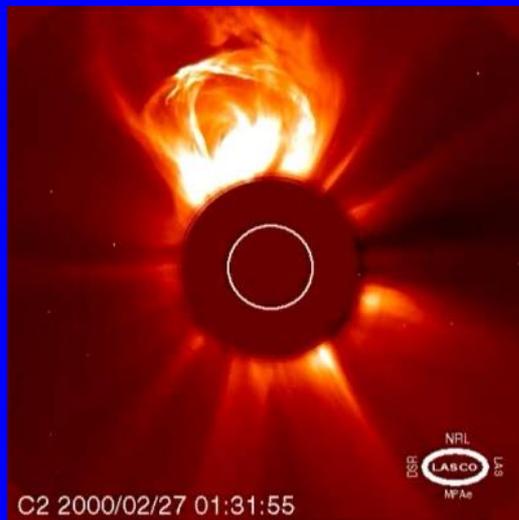
ΚΟΡΟΗΑΣ-ΦΟΤΟΗ

SOHO (1995)

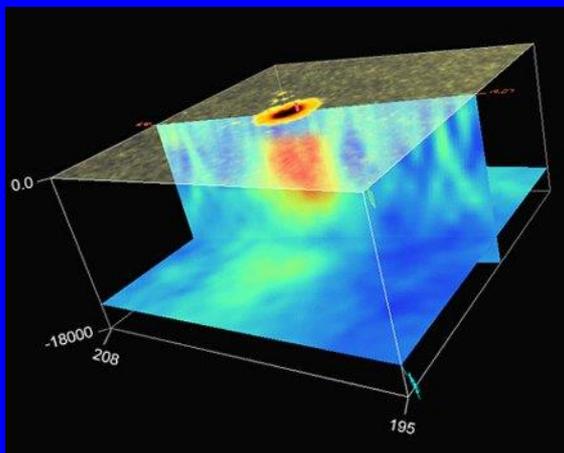
Вращение и течения на Солнце



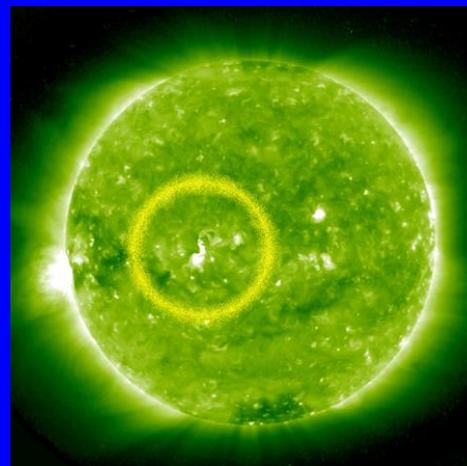
Корональные выбросы массы



Гелиосейсмология недр Солнца



Волны цунами на Солнце

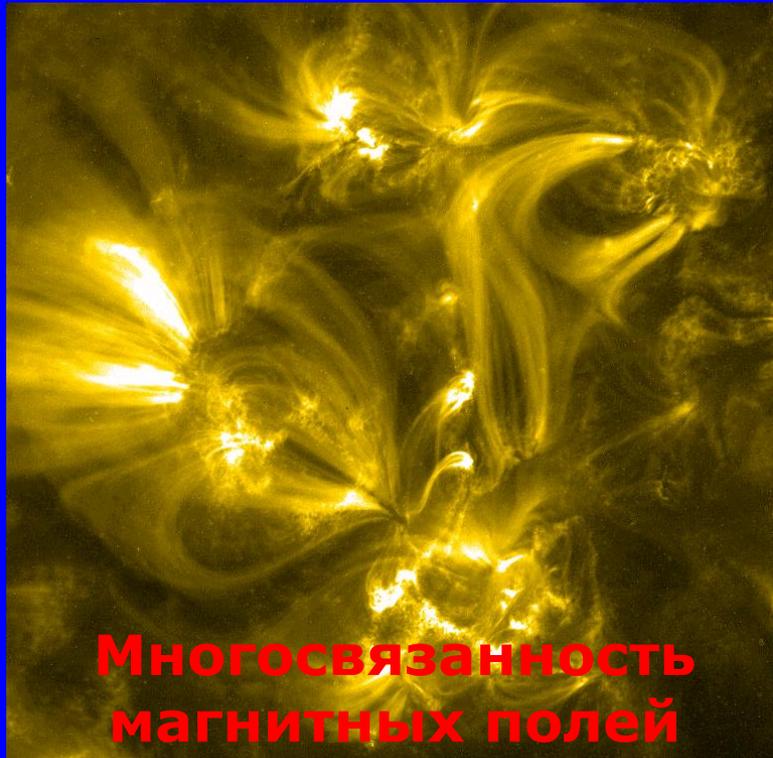


Магнитные поля от фотосферы до короны (TRACE, 1998)

Магнитный ковер



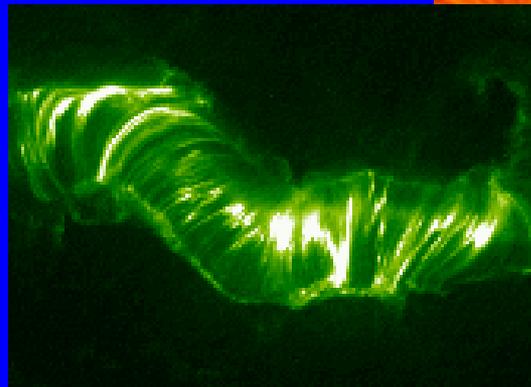
Большие и малые петли



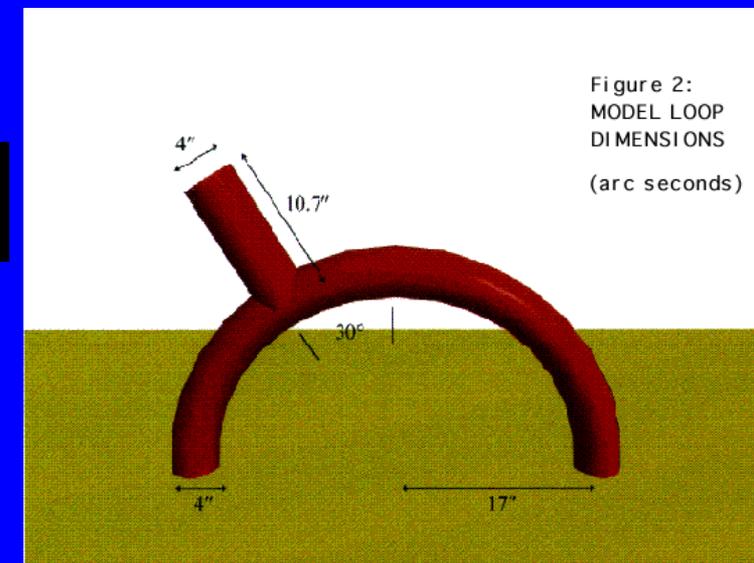
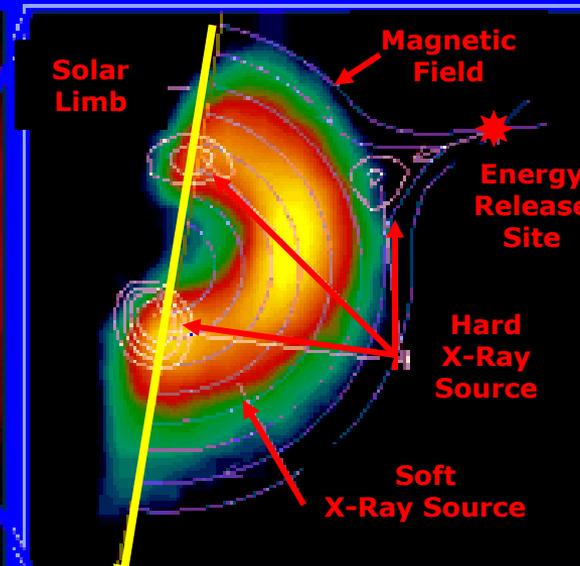
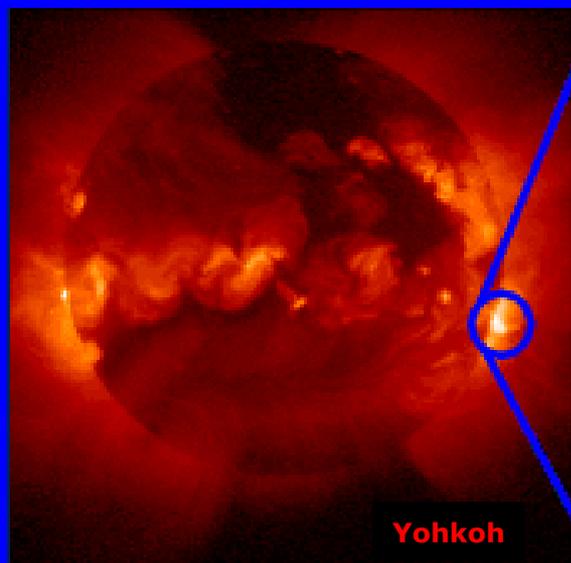
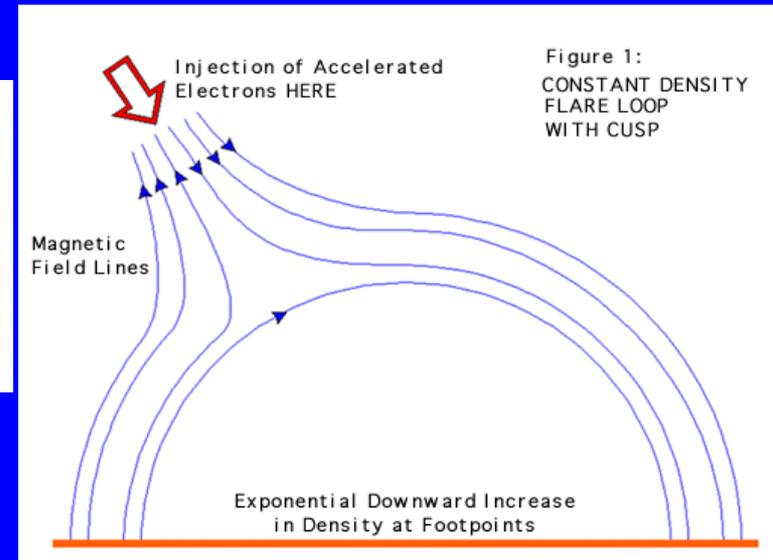
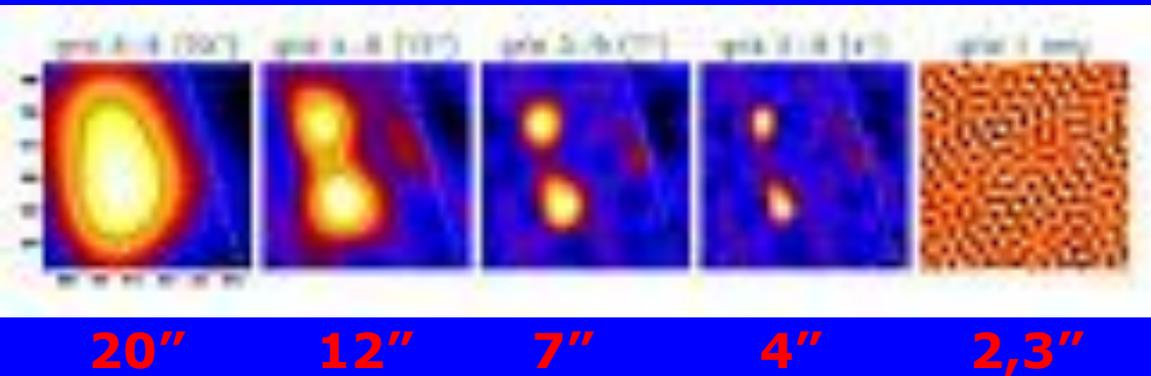
Многосвязанность магнитных полей



Сложная структура магнитного поля



Локализация выделения энергии в солнечных вспышках (RHESSI, 2002)



Hinode (2006)

Магнитное пересоединение
в полутени солнечного пятна

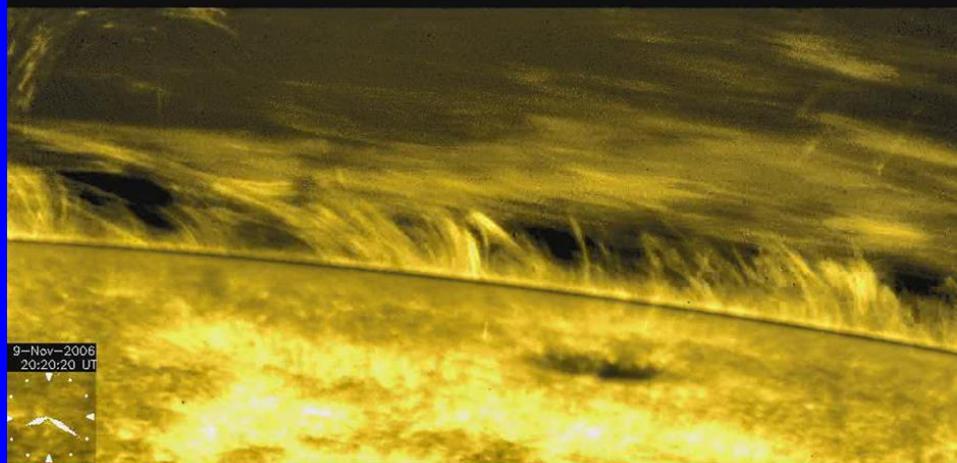
В линии CaII H
(нижняя хромосфера)



Микроджеты

- Длина: 1" ~ 4" (1000 км ~ 3000 км)
- Ширина: ~ 0.4" (300 км)
- Длительность: менее 1 мин
- Видимая скорость ~50км/с или более
- Наблюдаются везде над тенью!

Спикулы и магнитный ковер

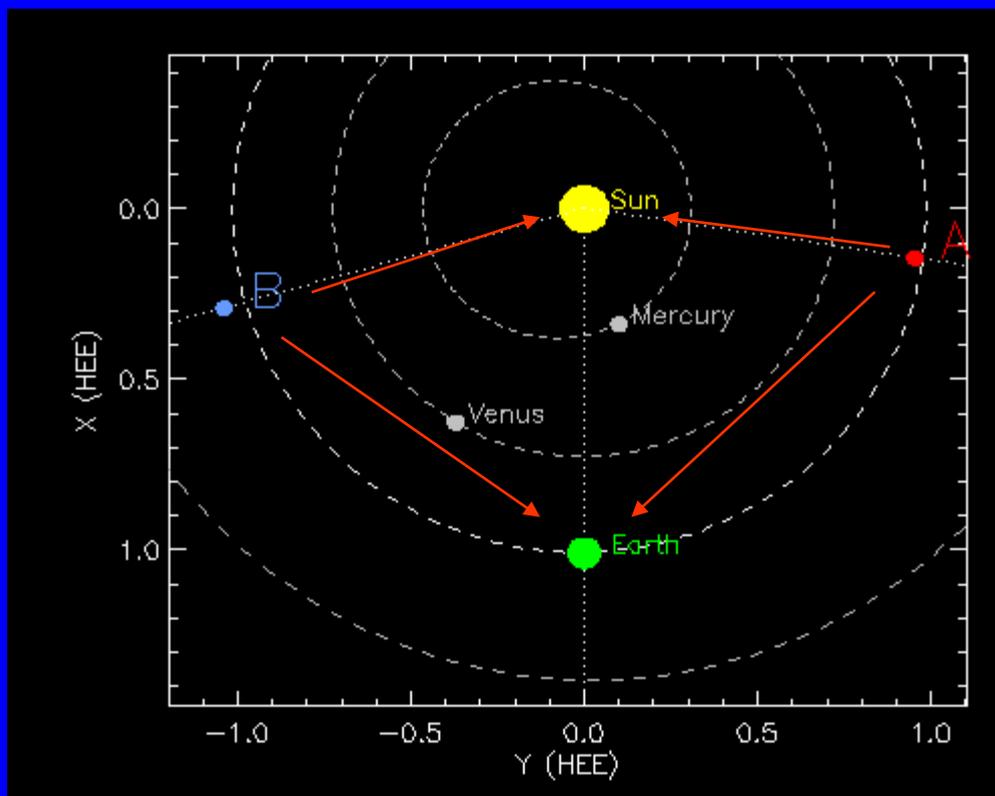
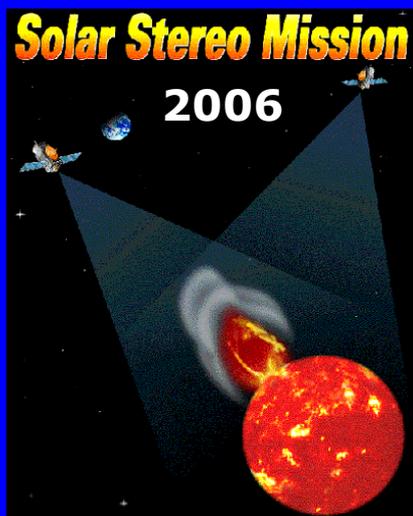


Хромосферная динамика
($T \sim 10\,000\text{ K}$) (Hinode)

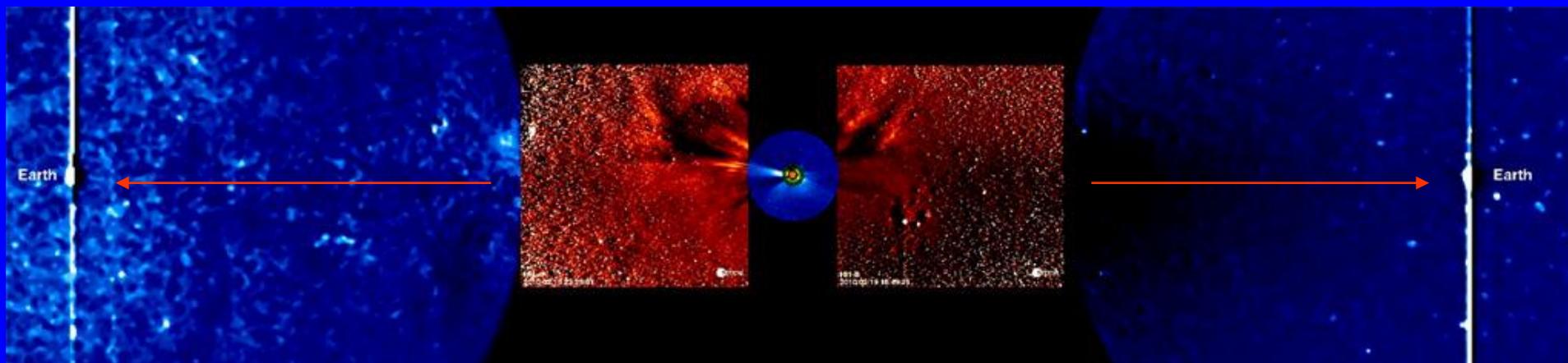
- Вспышки в тени пятна и колебания
- Микровыбросы в полутени пятен
- Хромосферные выбросы (surges)
- Спикулы



Обзор идущих от Солнца к Земле выбросов массы



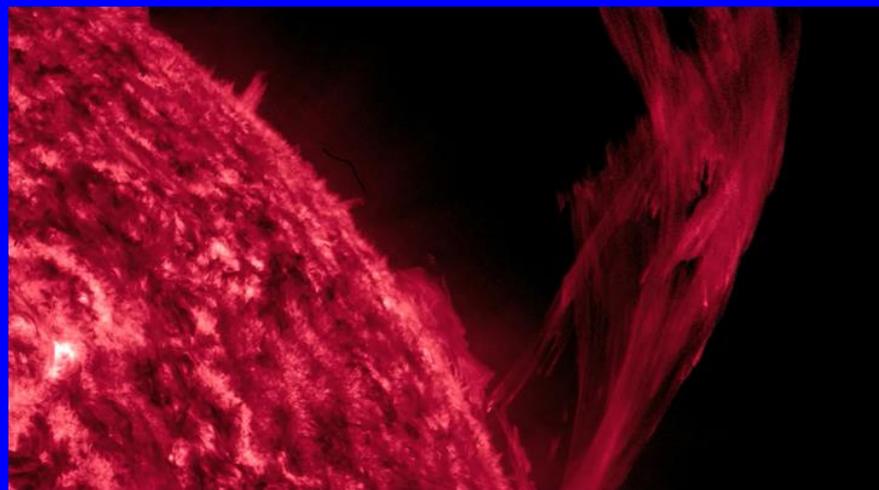
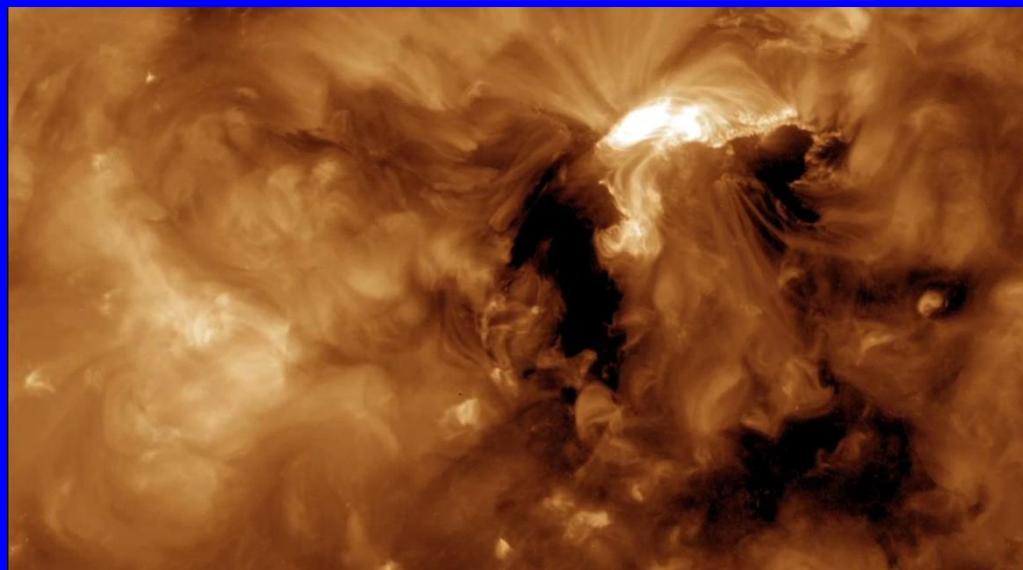
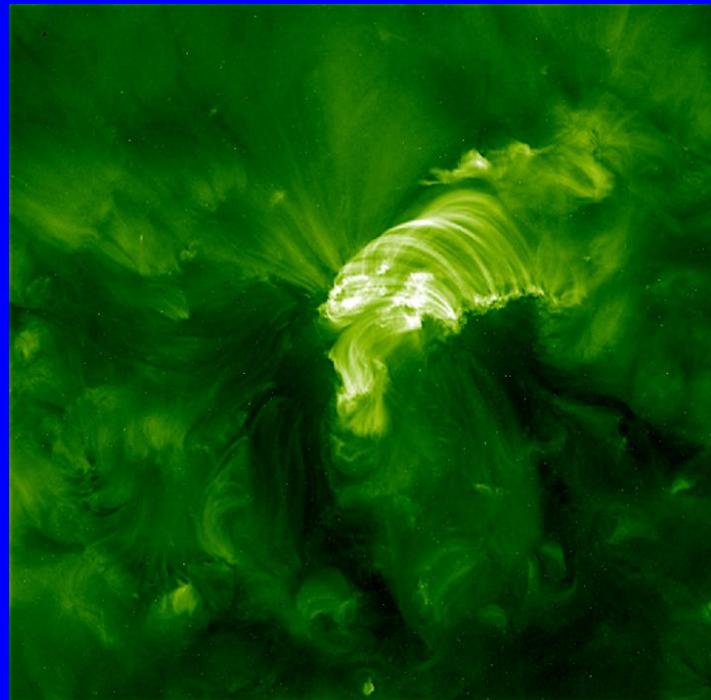
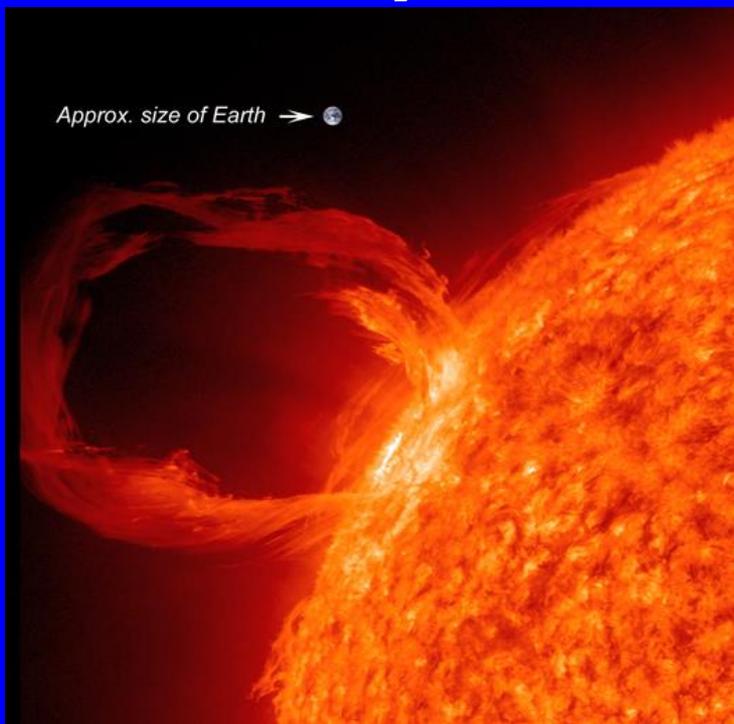
Положение КА на
8 сентября
2010 г.



SECCHI-A 2010-02-19 HI2A 08:09:21 HI2B 22:09:45 HI1A 23:29:01 HI1B 16:49:25 COR2A 23:08:15 COR1A 23:00:18 EUVIA 23:06:15

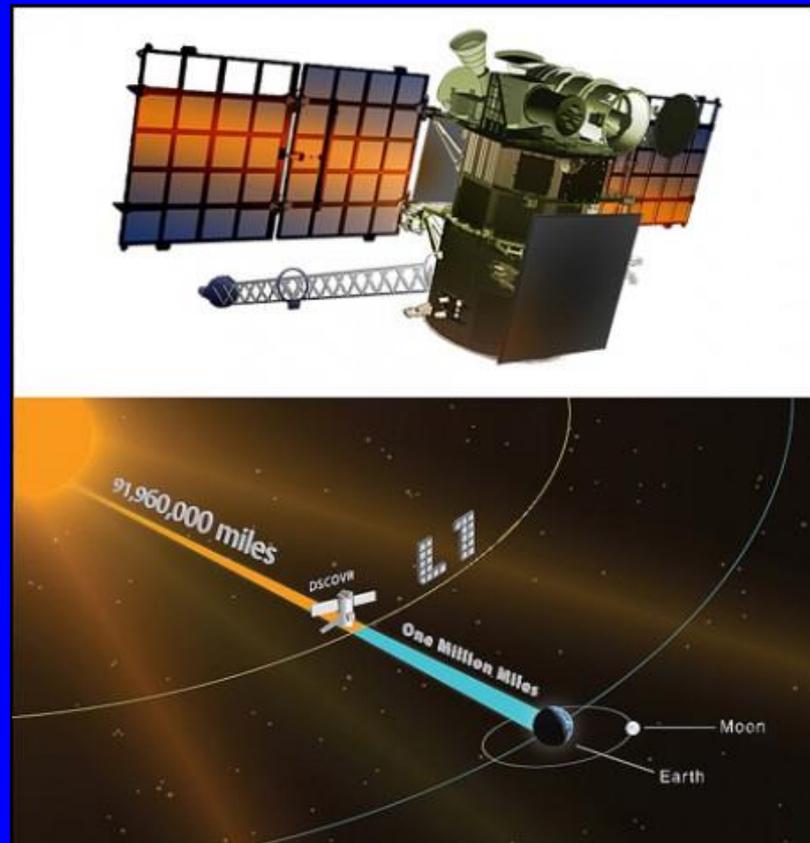
SECCHI-B

Solar Dynamic Observatory (SDO, 2010)



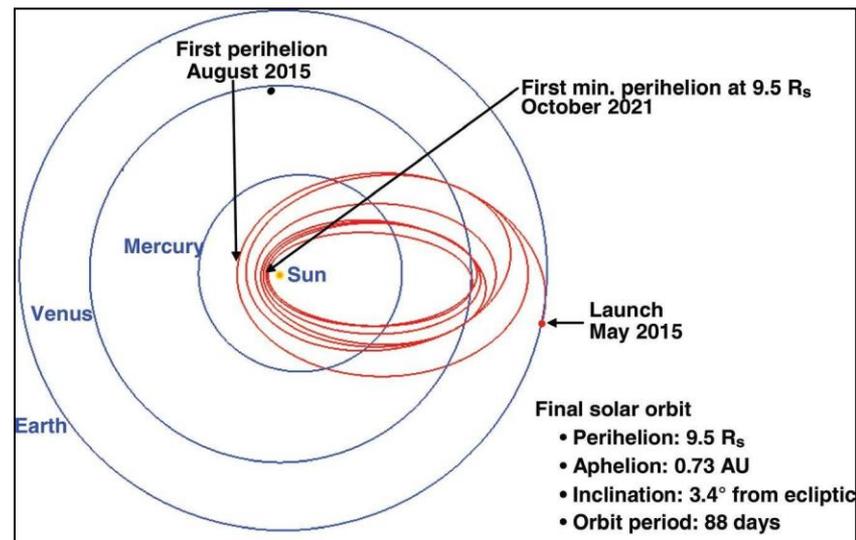
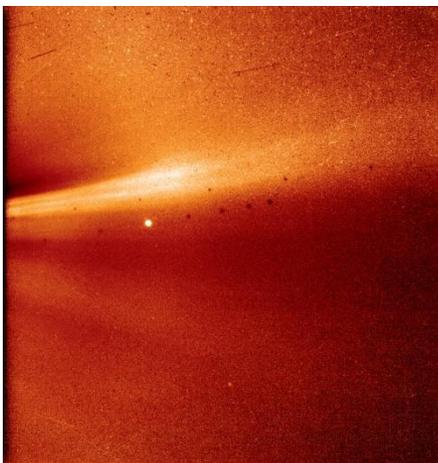
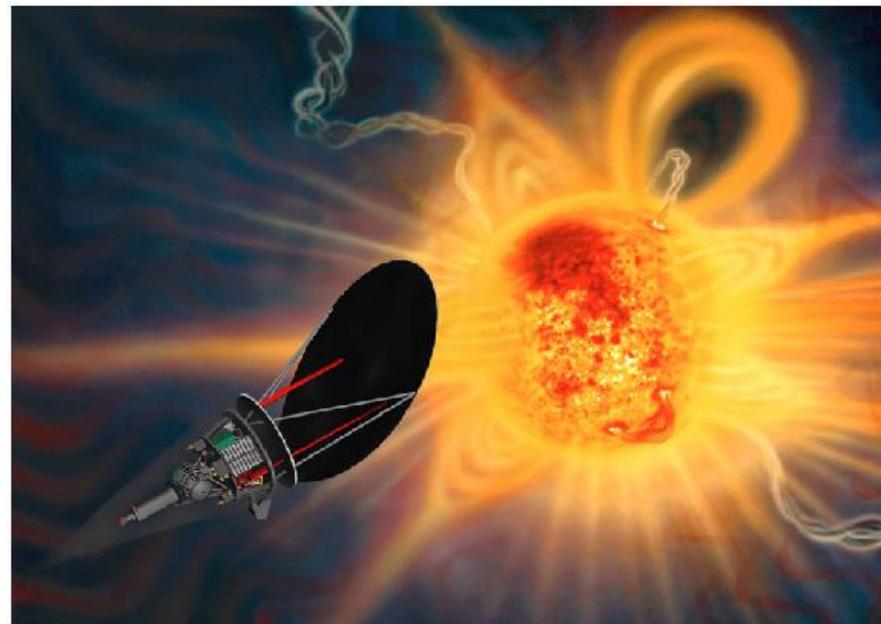
DSCOVR (2015)

В либрационной точке L1 КА регистрирует возмущения солнечного ветра за 15-60 минут до его столкновения с Землей, обеспечивая необходимое время для оповещения об опасностях и для прогнозирования космической погоды.



Parker Solar Probe (NASA) (2018)

- **Определить структуру и динамику магнитных полей в источниках быстрого и медленного солнечного ветра**
- **Отождествить потоки энергии, которые нагревают корону и ускоряют солнечный ветер**
- **Определить механизмы ускорения и переноса энергичных частиц**
- **Исследовать пылевую плазму в околосолнечном пространстве и определить ее влияние на генерацию солнечного ветра и энергичных частиц**



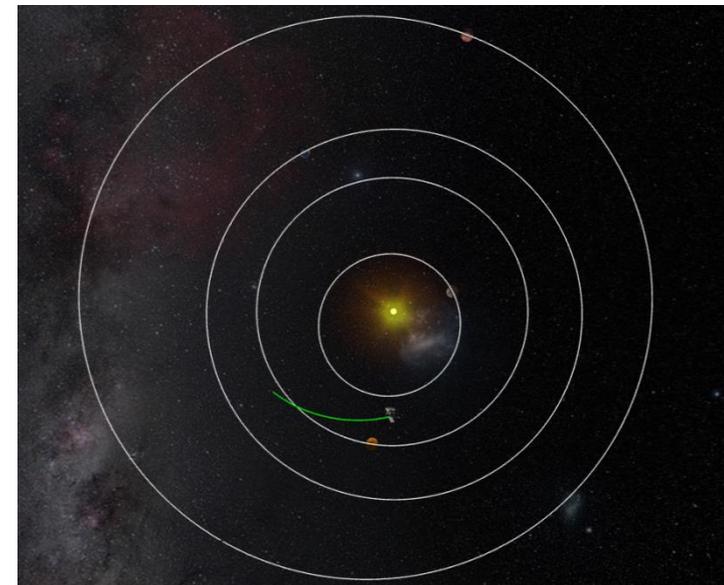
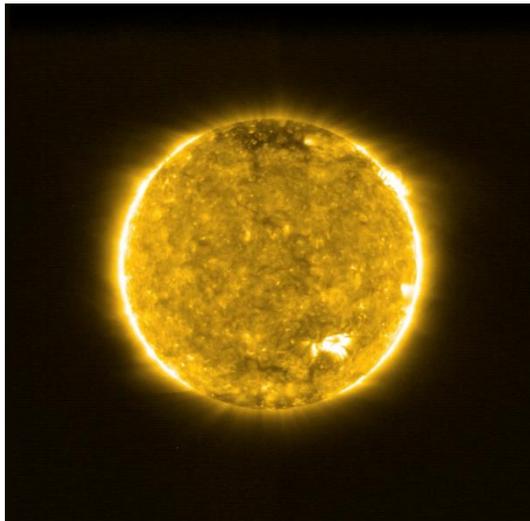
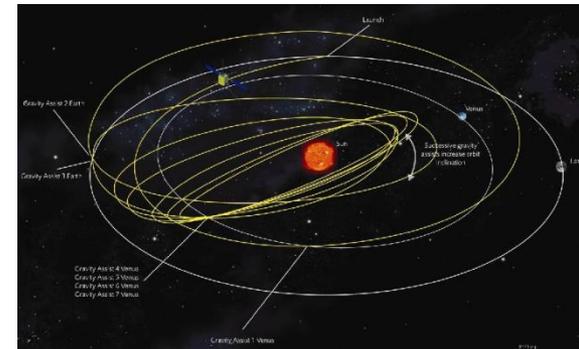
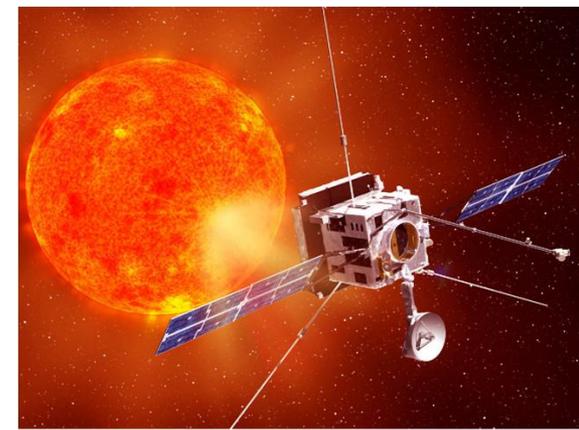
Solar Orbiter (ESA) (2020)

Как и где плазма солнечного ветра и магнитное поле возникают в короне ?

Как солнечные переходные процессы влияют на изменчивость гелиосферы?

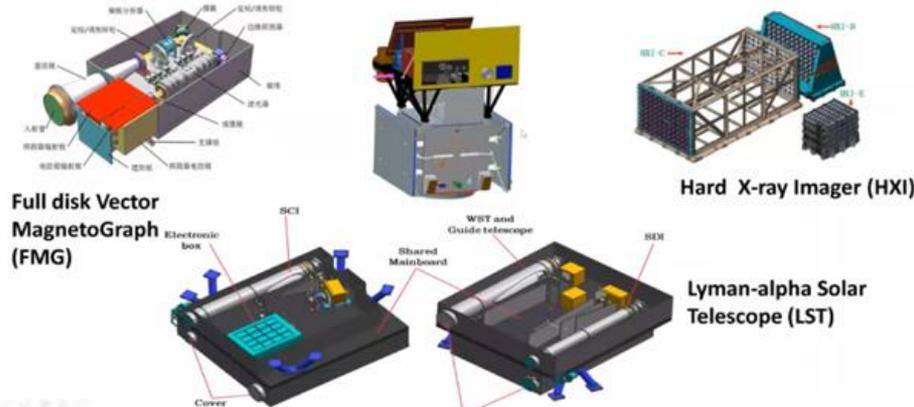
Как солнечные извержения производят излучение энергичных частиц, которое заполняет гелиосферу?

Как работает солнечное динамо и обеспечивает связь между Солнцем и гелиосферой?



Advanced Space-based Solar Observatory (ASO-S) (2022)

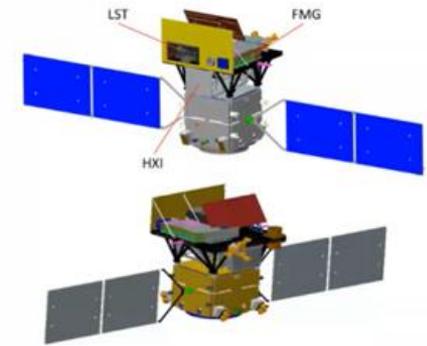
III. Payload Deployment



IV. Mission Profiles & Platform



- Orbit: 98.275°
- Attitude: 720 km
- Descending node: 6:00AM
- Attitude Control: 3-axis sta.
- Pointing accuracy: 0.01°
- Stability: 0.0005°/s
- Total Mass: ~ 888 kg
- Total mean power: 935 W
- Data: ~500 GB/day
- Carrier: LM-2D at Jiuquan
- Launch: **early 2022**, >4 years



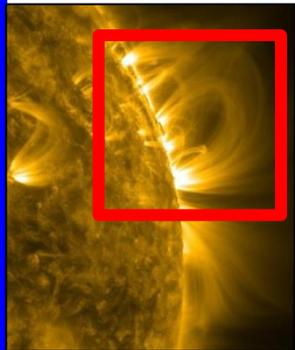
Platform: Innovation Academy for Microsatellite of CAS

III. Payload Deployment-characteristics



	STEREO (2006-)	Hinode (2006-)	SDO (2010-)	PSP (2018)	SO (2020)	ASO-S (2022)
FMG	×	√ (partial)	√	×	√	√
LST (coronagraph)	√ (WL)	×	×	Wide FOV	√ (FOV)	√
HXI	×	√ (SXR)	×	×	4-150 keV	√

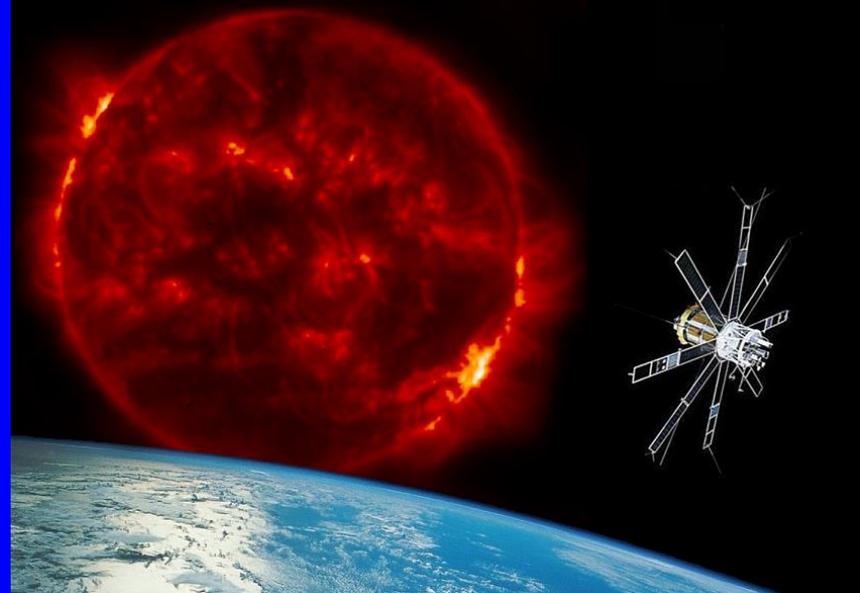
Рентгеновские наблюдения Солнца с высоким пространственным разрешением



Два рентгеновских телескопа (25 см)



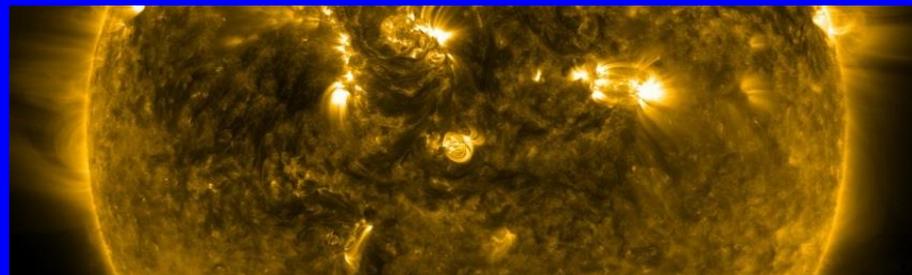
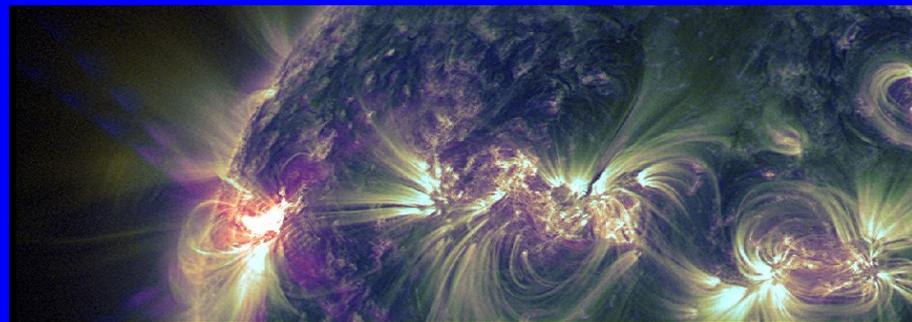
Арка



Прототип: TRACE, IRIS
(NASA SMEX program)

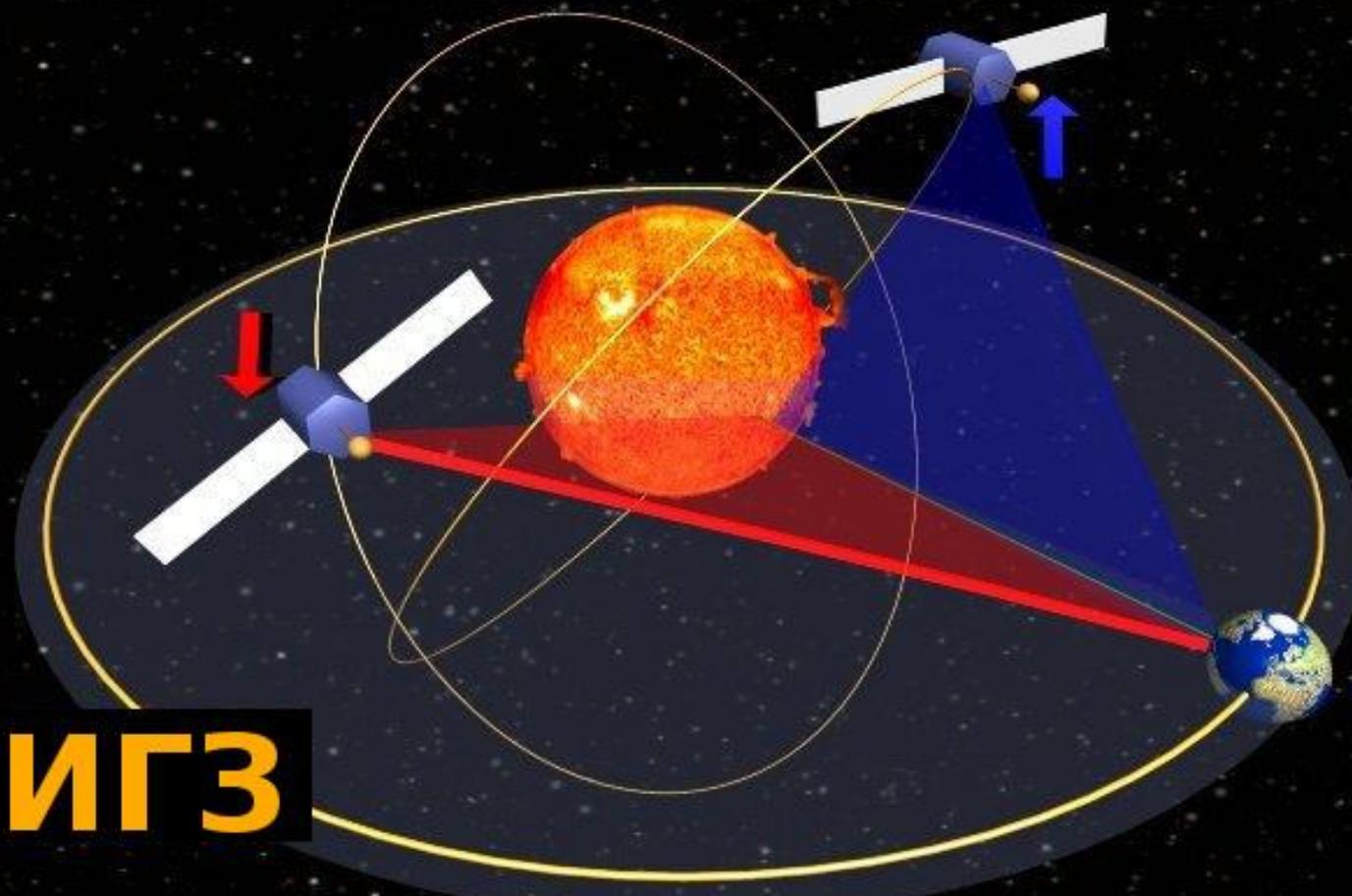
Научные цели

- активность в малых и сверхмалых масштабах ($75 \text{ км} = 0.1''$)
- микро- и нано-вспышки, пересоединение
- переходные процессы на границе хромосфера-корона и нагрев короны
- триггерные механизмы и предсказания вспышек и выбросов массы



Непрерывные внеэклиптические наблюдения и измерения

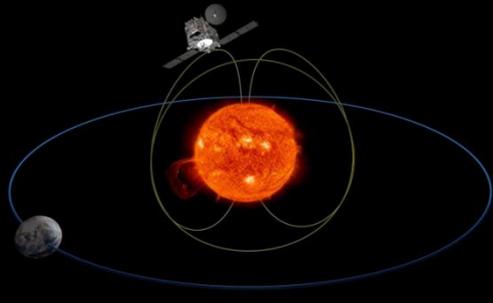
ИНТЕРГЕЛИОЗОНД



Солнечные внеэклиптические проекты

Solar Polar Imager: NASA

Observing Solar Activity from a New Perspective

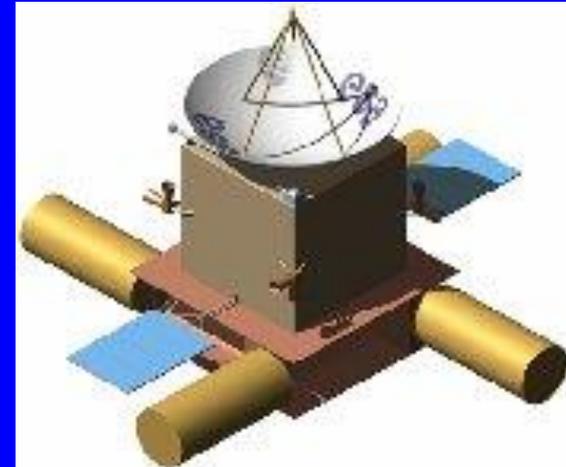


Vision Mission Study Final Report

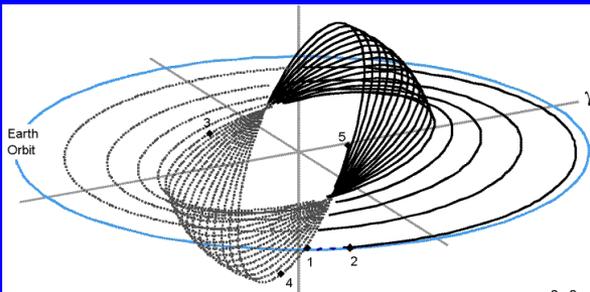
Solar-D (JAXA)



Расчетный орбитальный период 1 год,
синхронизирован с Землей



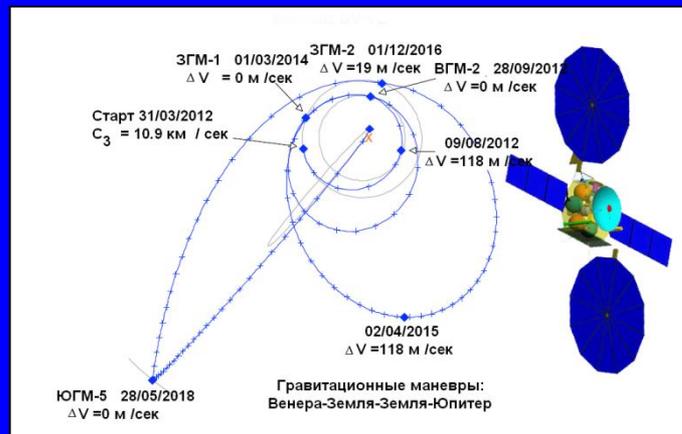
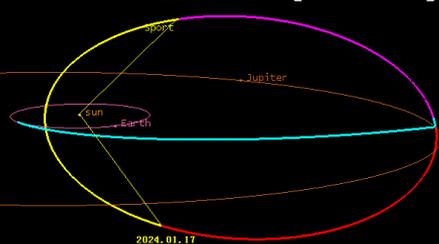
Solar Polar Orbiter (ESA)



Part of trajectory below Ecliptic
Identified by dashed curve

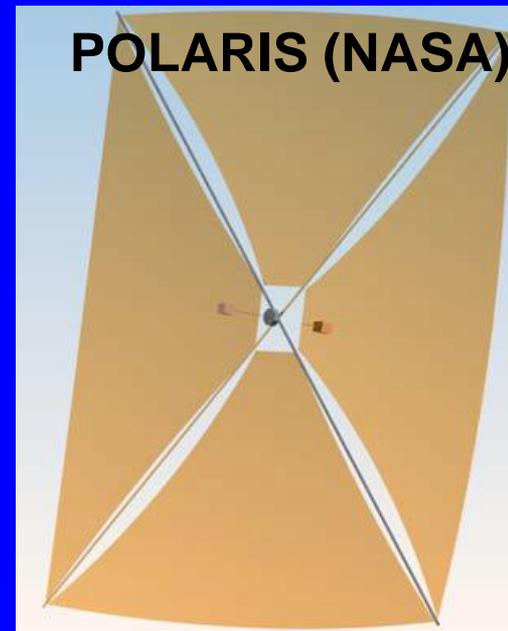
1. Launch 5-24-18 $C_3 = .25 \text{ km}^2/\text{s}^2$
2. Start of Sail Phase 6-3-18
3. Start of Cranking Phase 12-10-20
4. End of Cranking Phase 2-5-25
5. Start of Science Operations 3-2-25

SPORT (China)



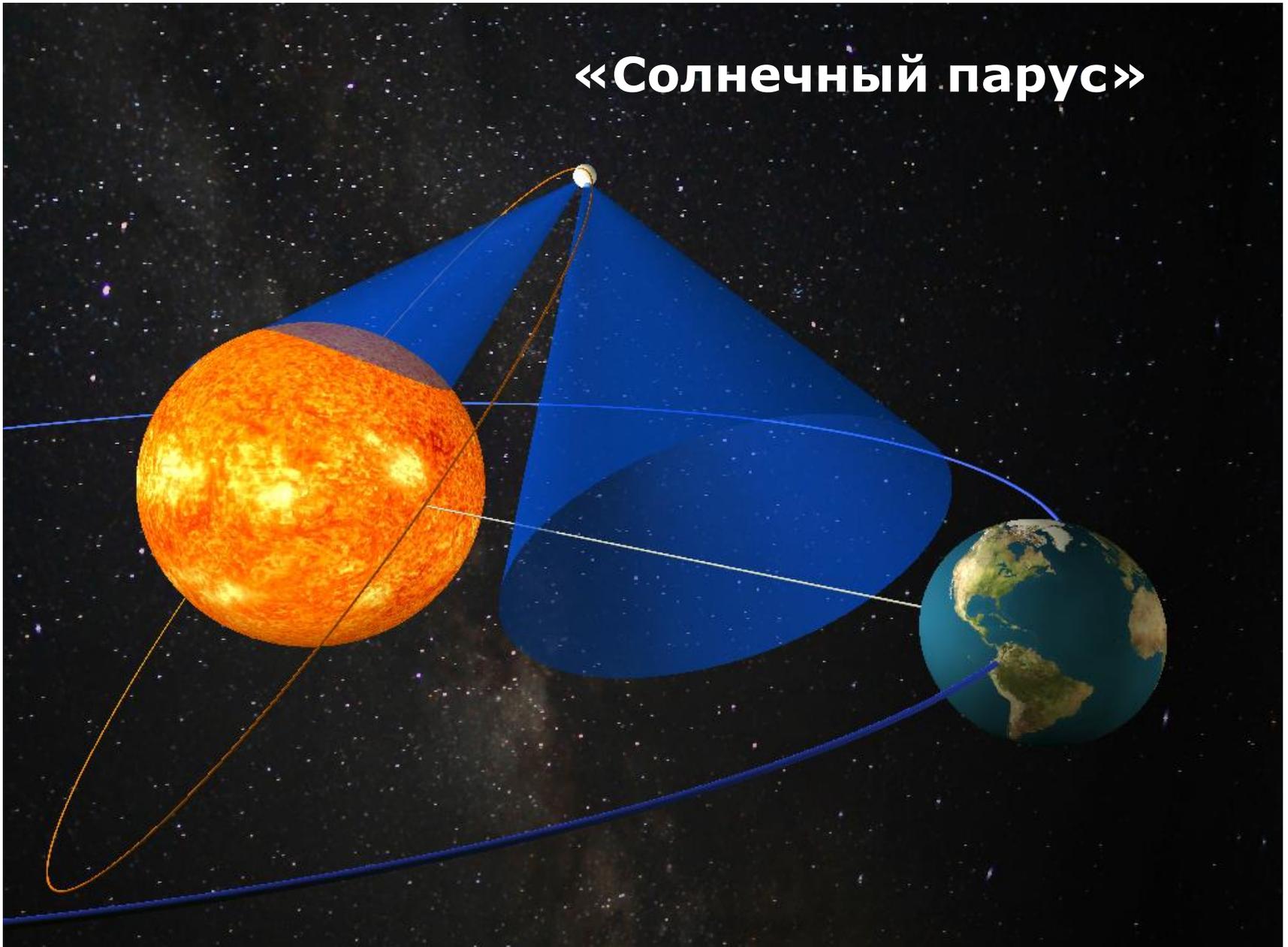
TELEMACHUS (NASA)

POLARIS (NASA)



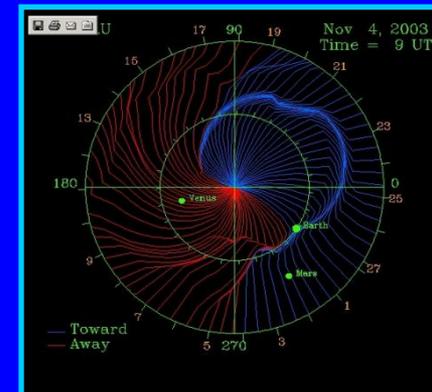
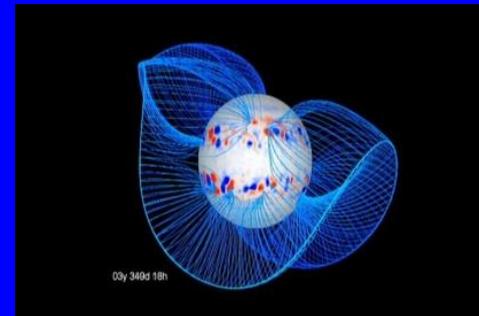
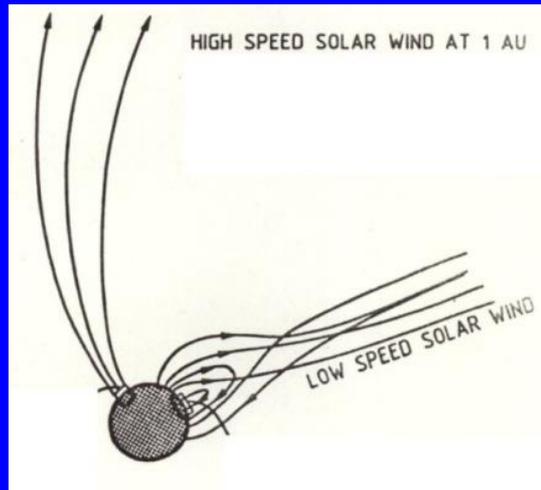
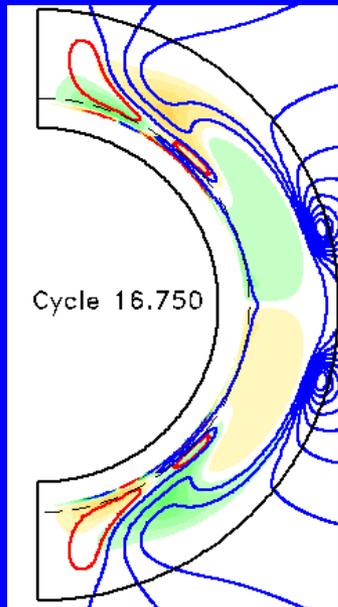
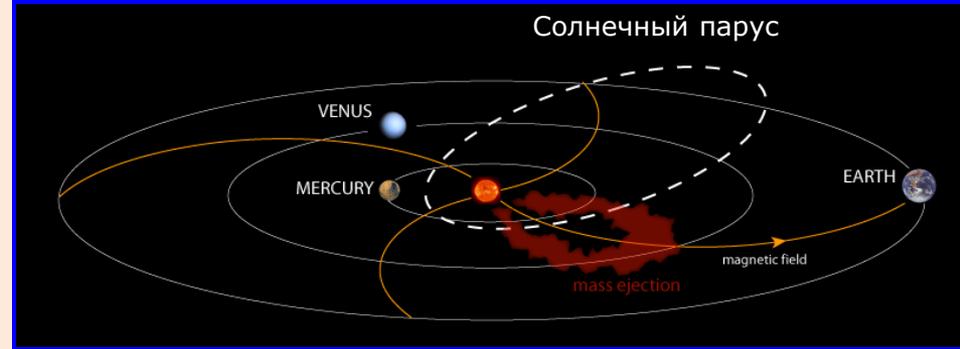
Полярные области Солнца, плоскость эклиптики и линия Солнце-Земля

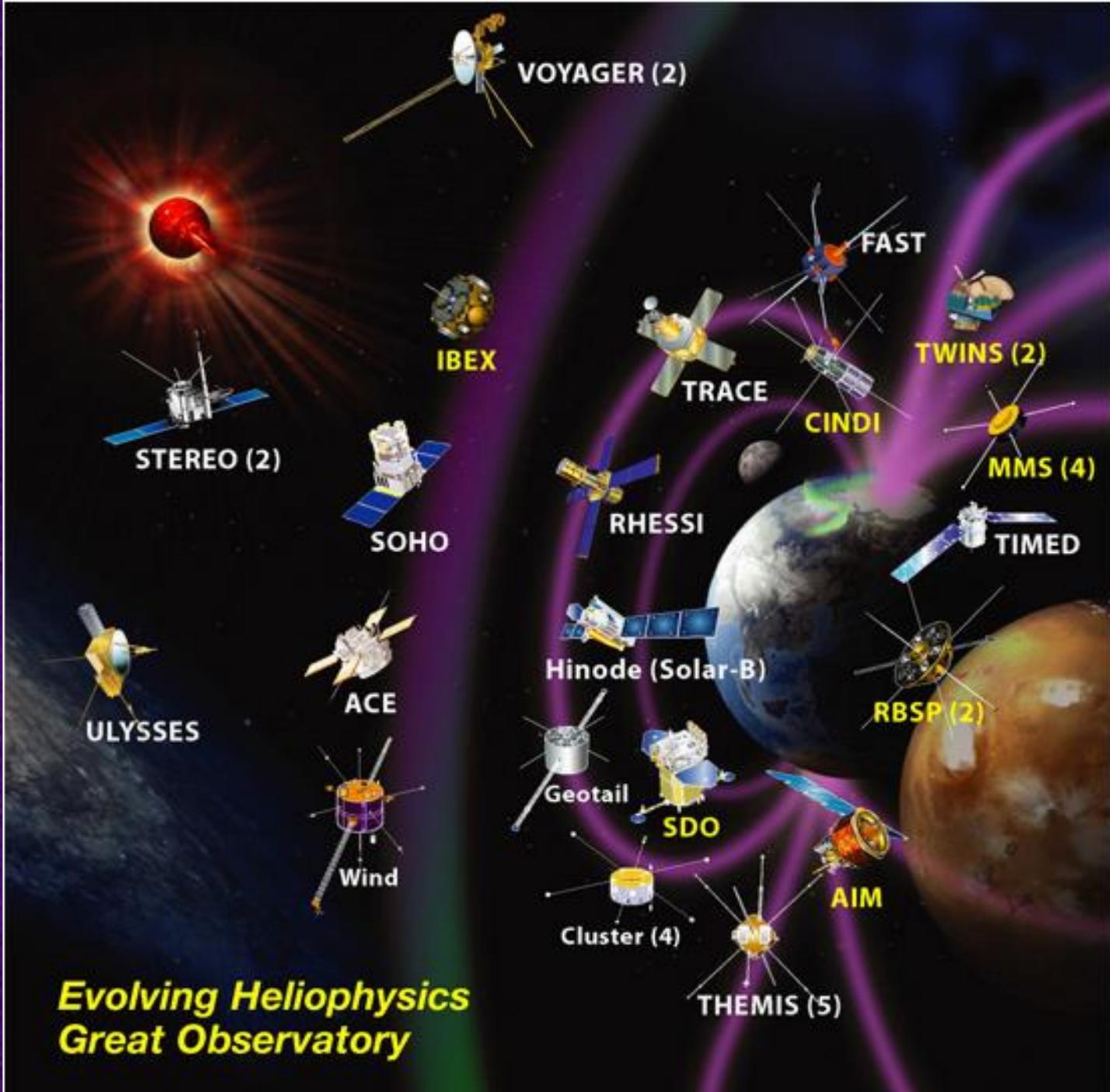
«Солнечный парус»



Солнечный парус

- Полярные области Солнца
- Высокоширотный солнечный ветер
- Энергичные частицы в гелиосфере
- СМЕs и источники космической погоды
- Солнечное излучение





***Evolving Heliophysics
Great Observatory***