

КОСМИЧЕСКО ВРЕМЕ

[Space Weather]



д-р Росица Митева

Секция „Космически климат“

Институт по космически изследвания и технологии

Българска академия на науките

rmiteva@space.bas.bg

Юлска лектория, Физически факултет, Софийски университет

7 юли 2017

Какво е космическо време?

Национален план по космическо време на САЩ:

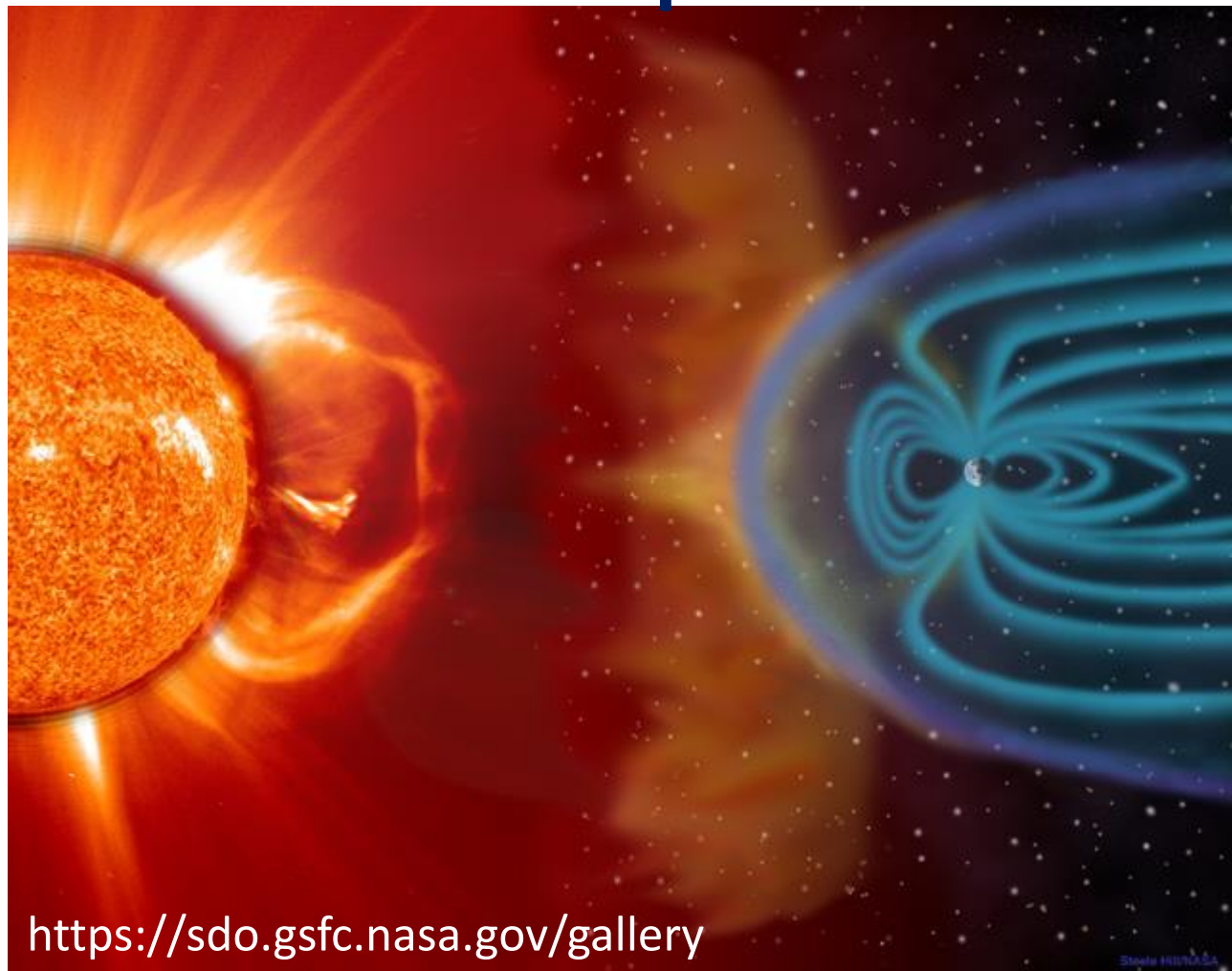
„... космическо време се отнася до условията [и промените, наблюдавани в краткосрочен план] на Слънцето и в слънчевия вятър, магнитосферата, йоносферата и термосферата, които могат да повлияят върху работата и надеждността на космически и наземни технологични системи и да въздействат върху човешкия живот и здраве...”

Избрани обзорни статии със свободен достъп (на англ. ез.):

R. Schwenn, 'Space Weather: The Solar Perspective', Living Rev. Solar Phys. (2006, 2010)

T. Pulkkinen, 'Space Weather: Terrestrial Perspective', Living Rev. Solar Phys. (2007)

Космическо време: схема



Слънце
• явления
[слънчева физика]

напускане &
разпространение

междупланетно пространство
[хелиосферна физика]

- слънчев вятър
- (космични лъчи...)

L1

- спътници
[инж. науки]

Земя

- магнитосфера
- атмосфера
- повърхност
[науки за Земята]

пристигане &
ефекти

Нежелани ефекти

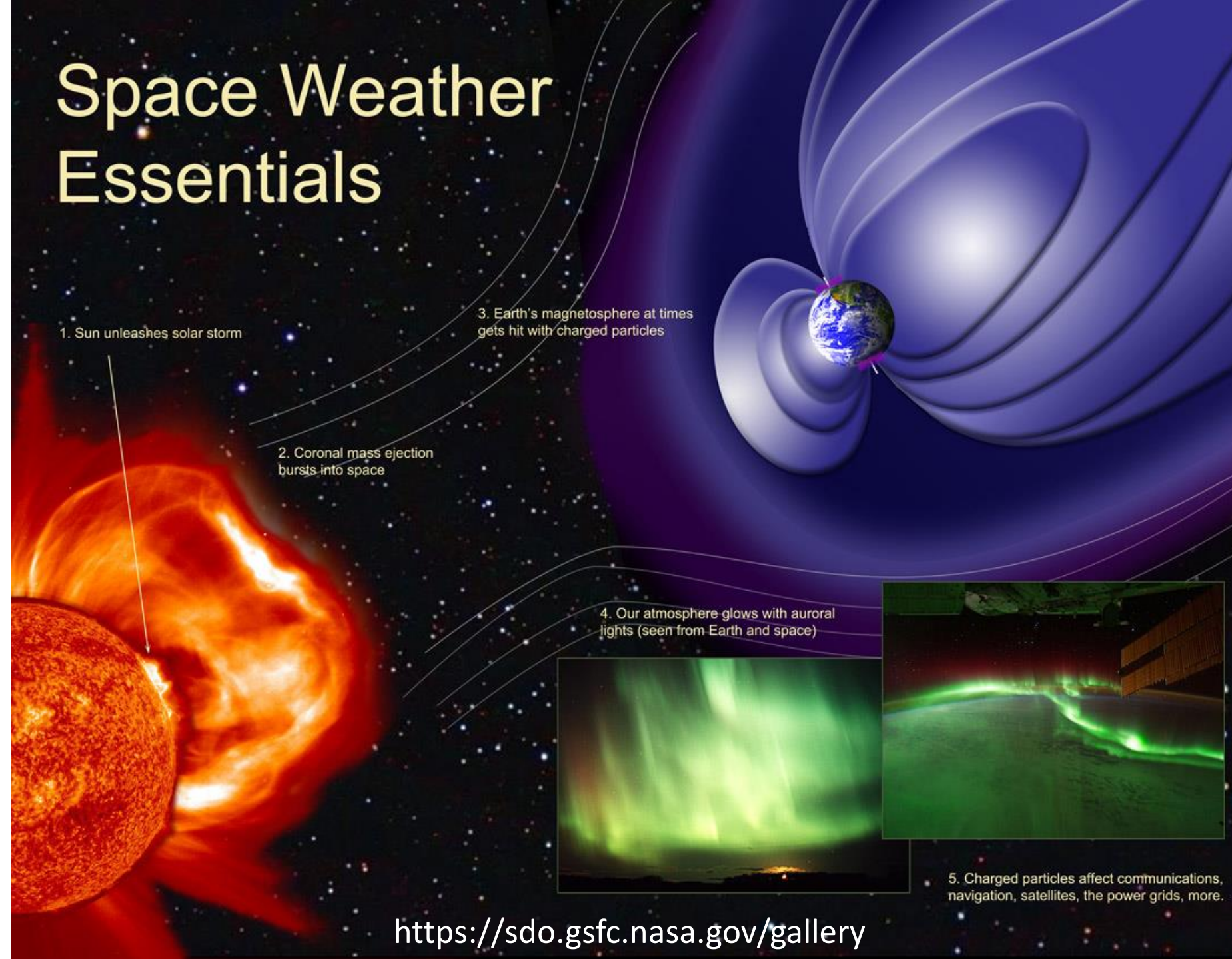
- спътници
- наземни

технологични
системи

- хора

Положителни ефекти

- северни/южни
сияния



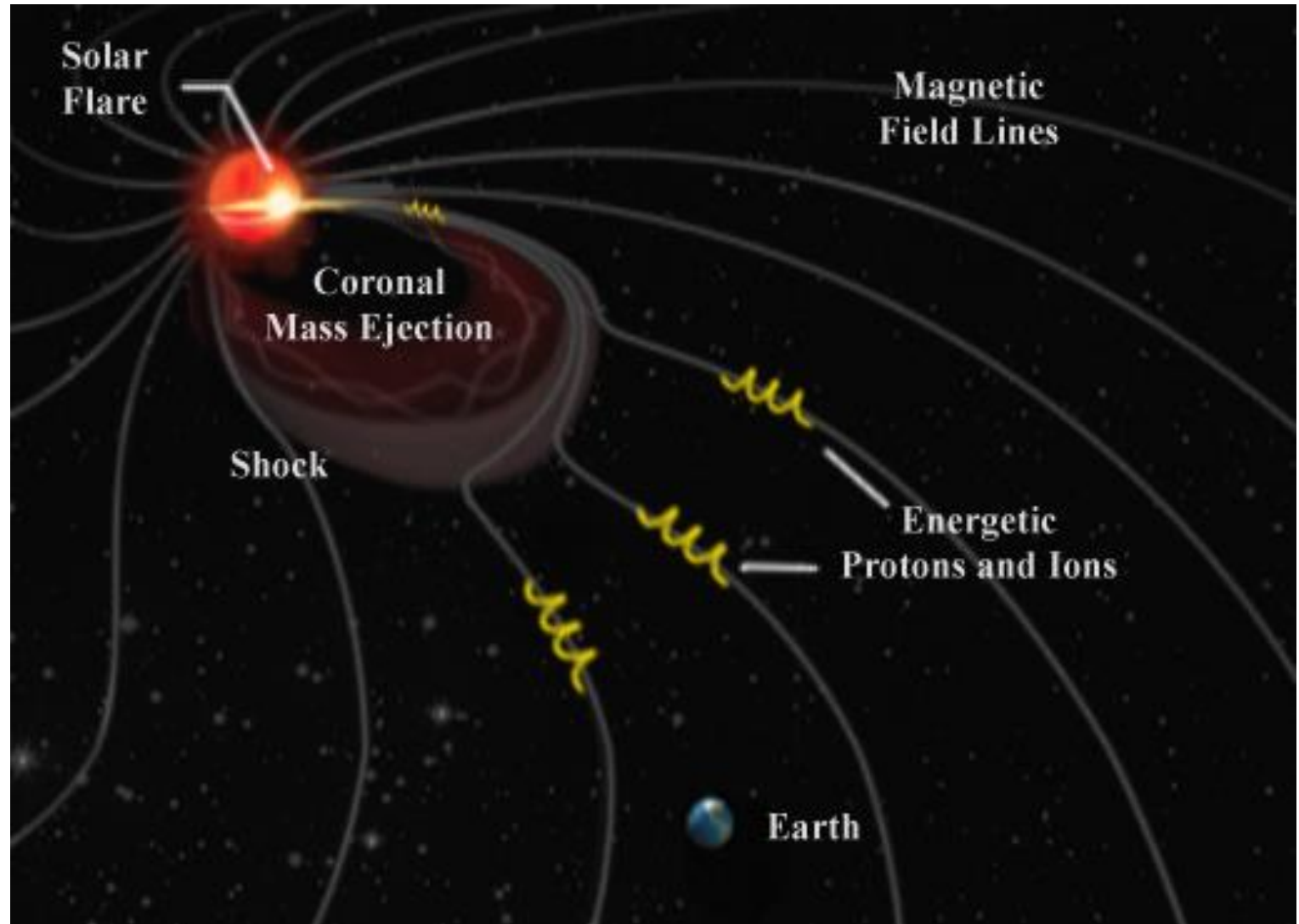
Причини за космическо време: от слънчев произход

1. Слънчев вятър и
междупланетно
магнитно поле

2. Избухвания

3. Коронално изнасяне
на маса

4. Заредени частици



Историческо събитие: Carrington-Hodgson

1 септември 1859: голямо избухване в бяла светлина
Carrington & Hodgson докладват в MNRAS

1–2 септември 1859: най-голямата геомагнитна буря
наблюдавана досега, с оценки: -800 nT до -1750 nT

Carrington предпазливо предполага връзка, въпреки
че 'една птичка пролет не прави'...

Северни сияния са наблюдавани на ниски ширини &
екватора!

Проблеми с телеграфите!

Съвременни оценки за икономически загуби поради
събитие от същата величина: трилиони!

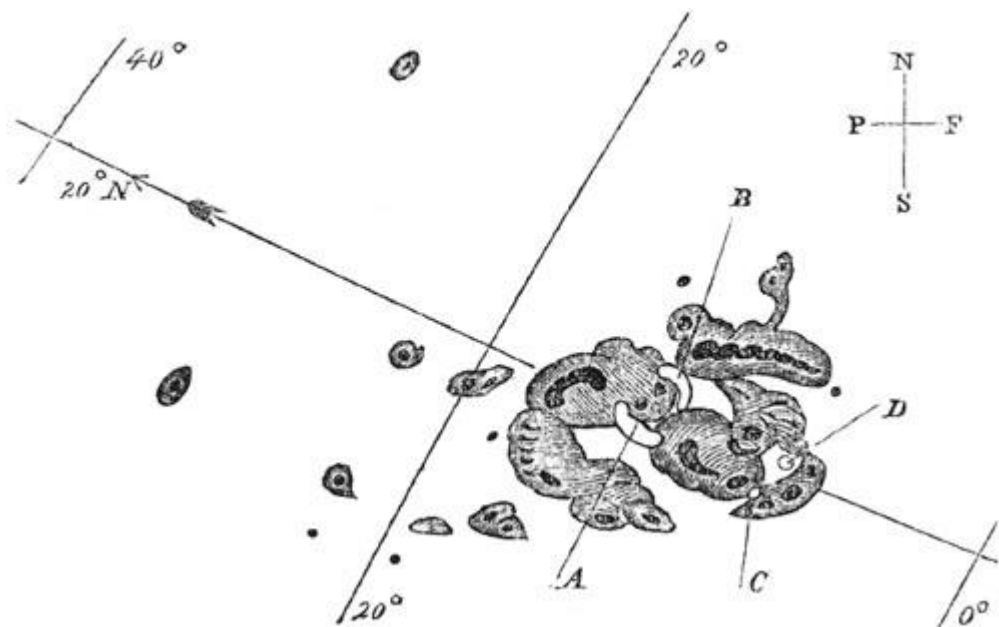
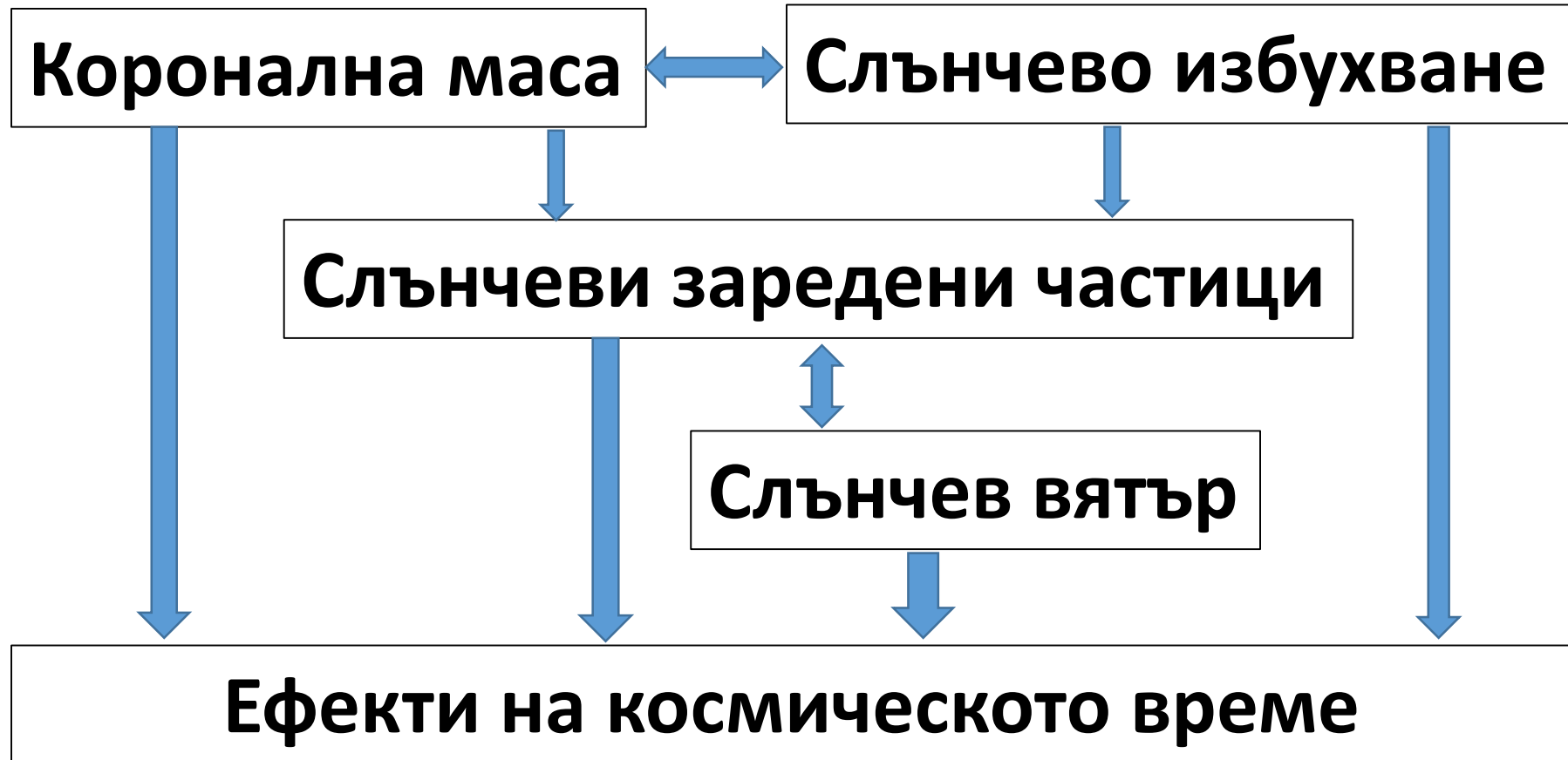


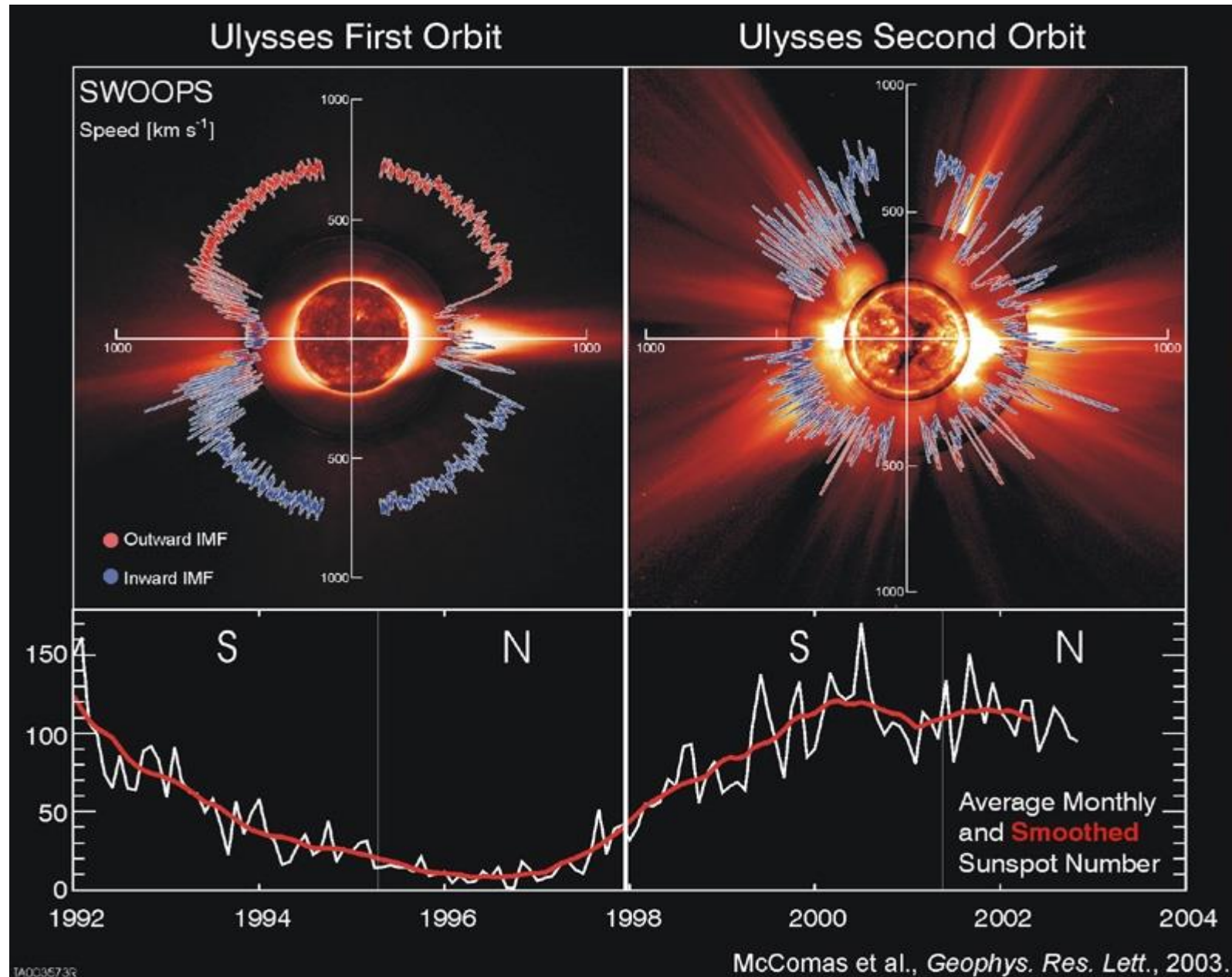
рисунок от Карингтън

Схема



Причини: слънчев вятър

- Поток от заредени частици изтичащи от слънчевата корона
- Първоначално се предлага за обяснение на ориентацията на кометната опашка (eg. Eddington 1910; Biermann 1950s)
- терминът се предлага от Eugene Parker (1958)



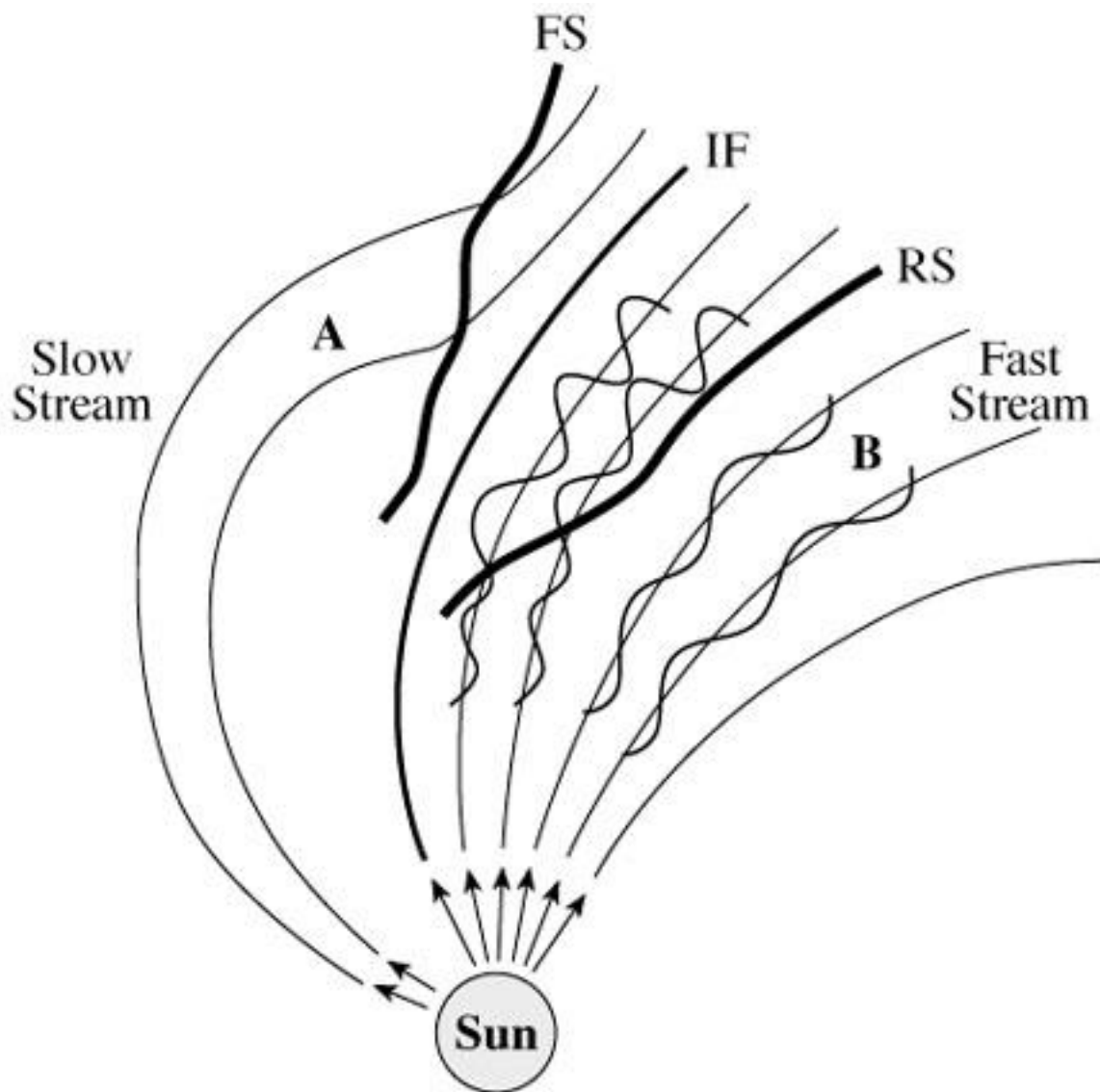
Бърз вятър

- от т.нар. коронални дупки; при полюсите
- ниска плътност

Бавен вятър

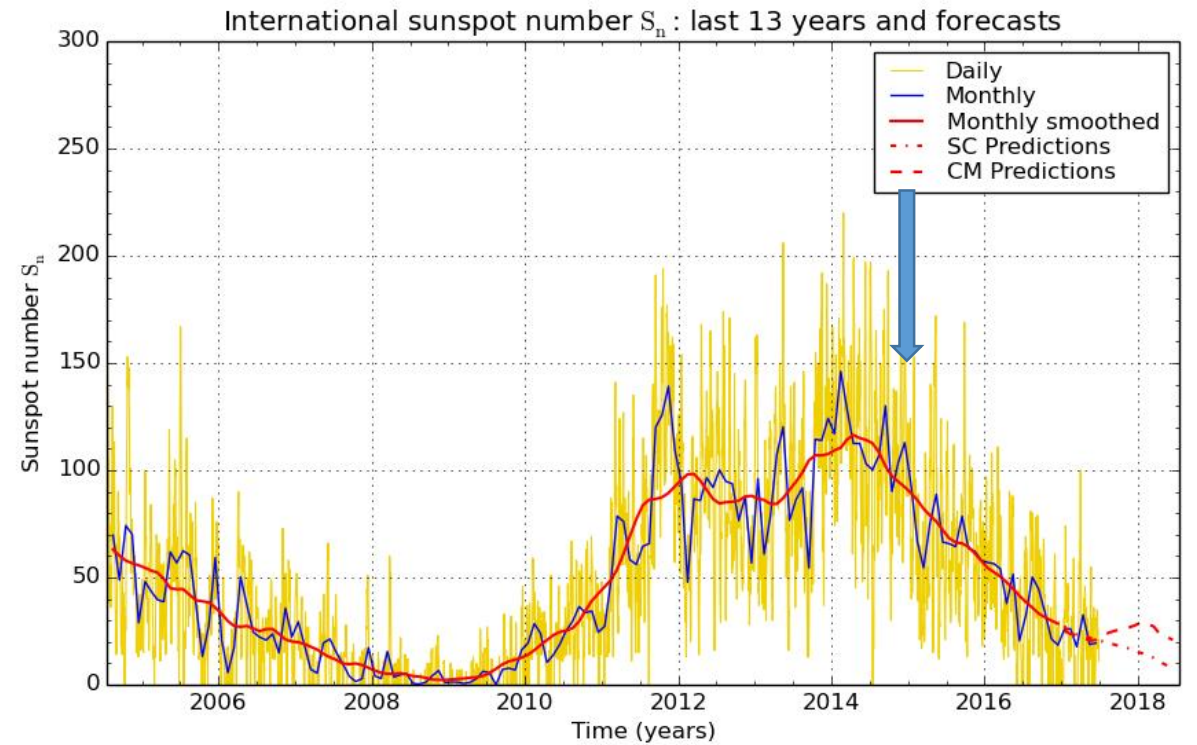
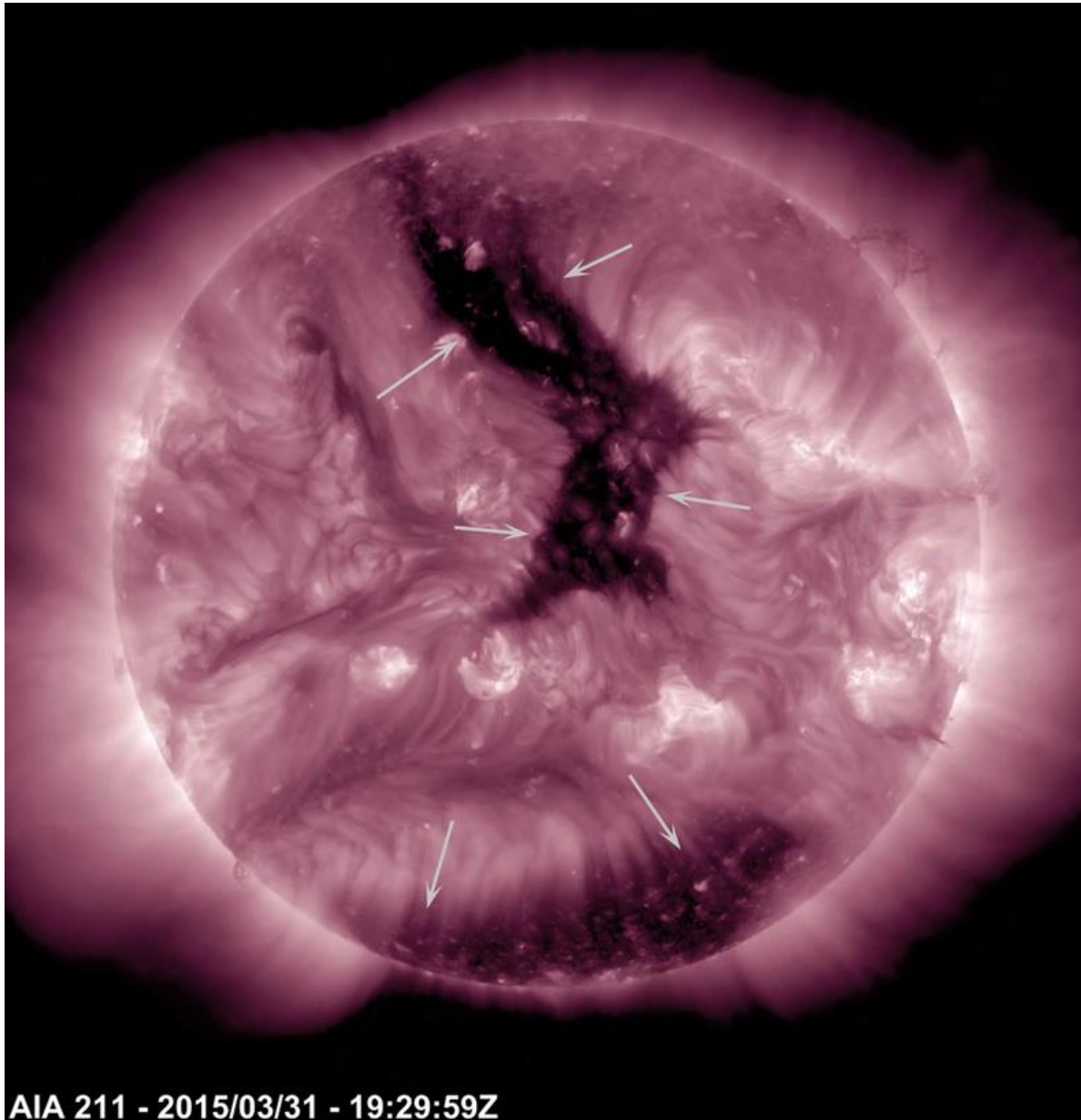
- от т.нар. активните области; при екватора
- висока плътност

Причини: взаимодействащи области



- Формират се при взаимодействието между бърз и бавен слънчев вятър
- Магнитното поле на бавните (бързите) потоци слънчев вятър се по-закривени (по-радиални) поради скоростите
- Co-rotating Interaction Regions са оградени от ударни вълни: forward shock (FS)–reverse shock (RS)
- Източник на ускорени частици в междупланетното пространство

Причини: коронални дупки



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2017 July 1

27-дневна поява на коронални дупки –
циклични геомагнитни смущения

NASA/SDO

Причини: слънчеви избухвания

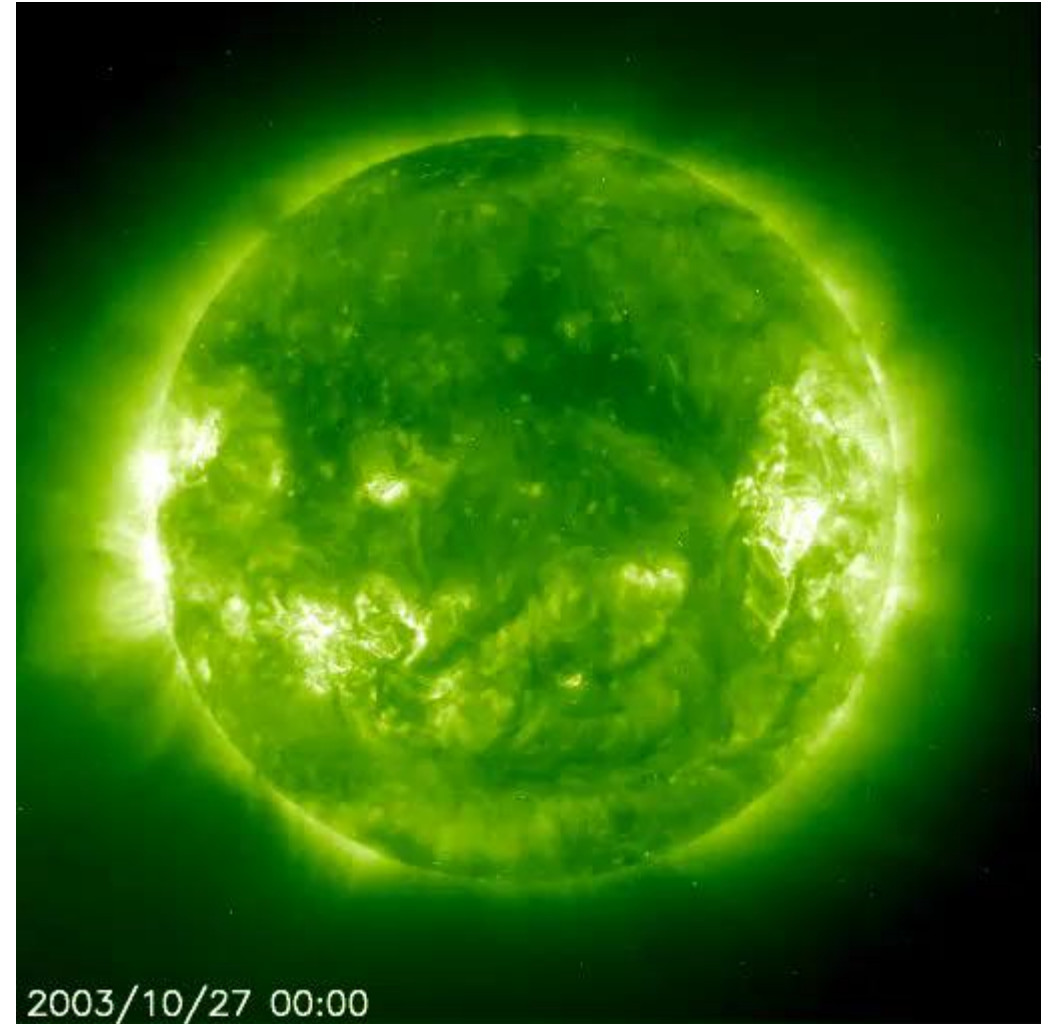
Внезапна, бърза и интензивна промяна в яркостта: огромна експлозия в слънчевата атмосфера, която създава:

- Излъчване: от γ до радио вълни (10^{32} erg or 10^{25} J)
- Движение на плазма
- Заредени частици

Често се наблюдава в активни области, където има различна полярност на магнитните силовите линии

Спътникови и наземни наблюдения – в зависимост от дължината на вълната

Прогнозиране: проект FLARECAST.eu
(Horizon 2020)



“Halloween storm”

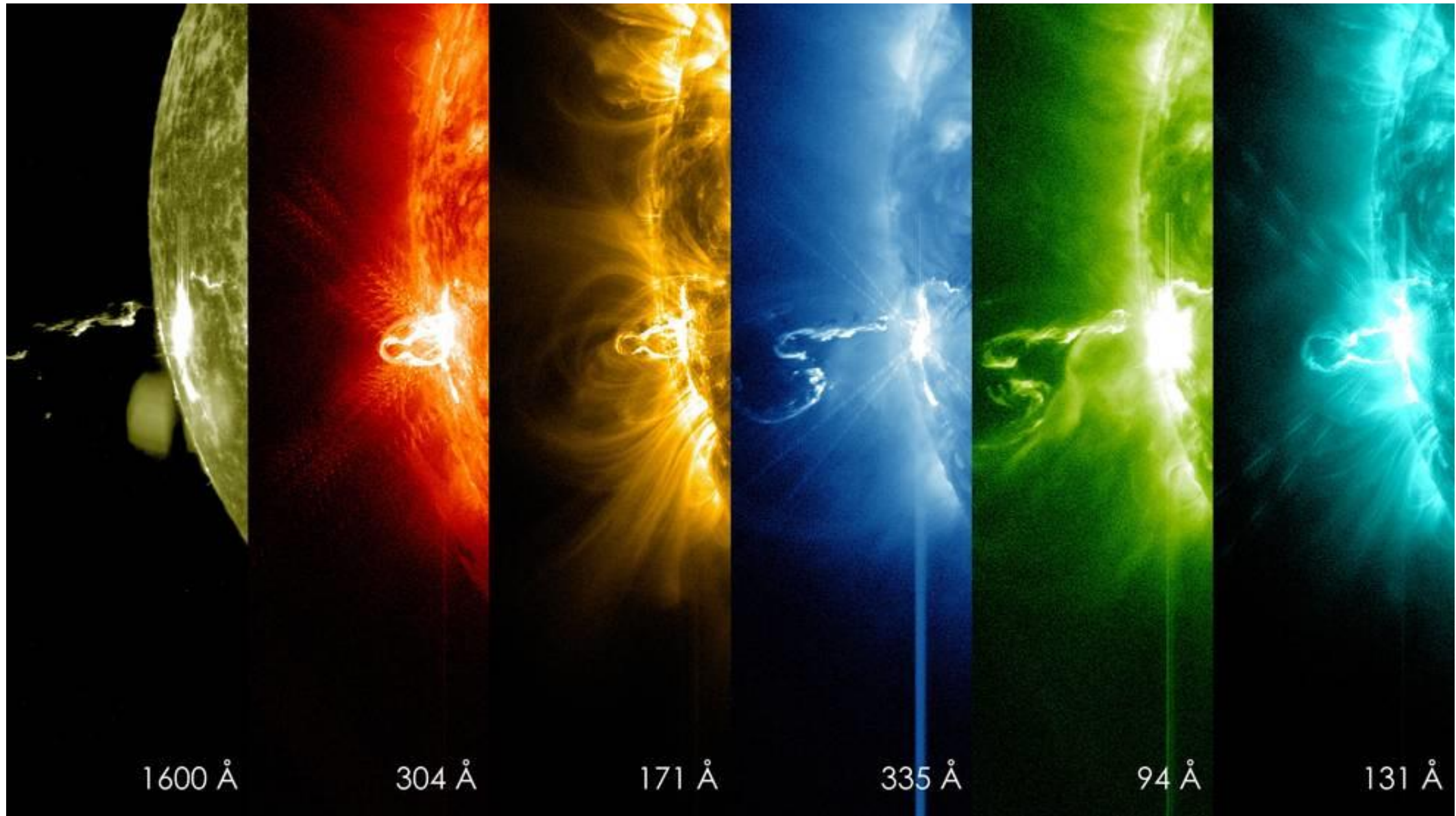
ESA/NASA
SOHO/EIT 195 Å

Причини: слънчеви избухвания

X4.9

($X=10^{-4} \text{ W/m}^2$)

25-02-2014
(00:39 UT)



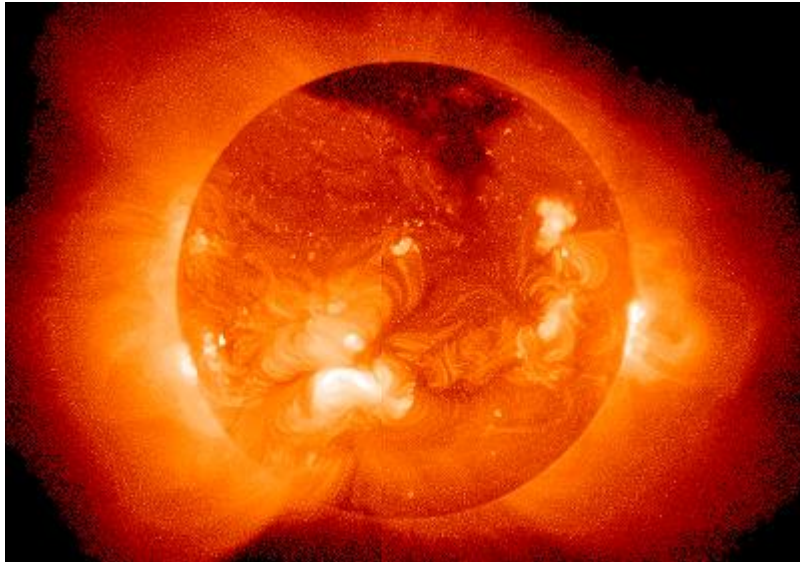
NASA SDO/AIA

Причини: слънчеви избухвания

Yohkoh/Soft X-ray Telescope

10 Å; 8 May 1992

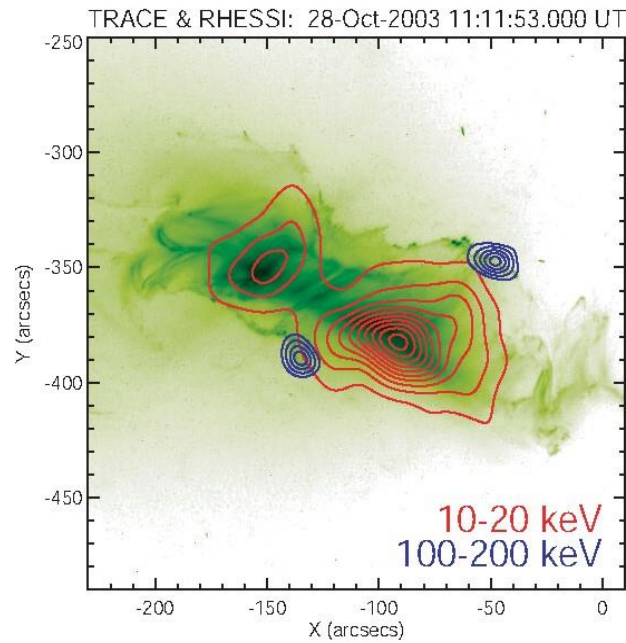
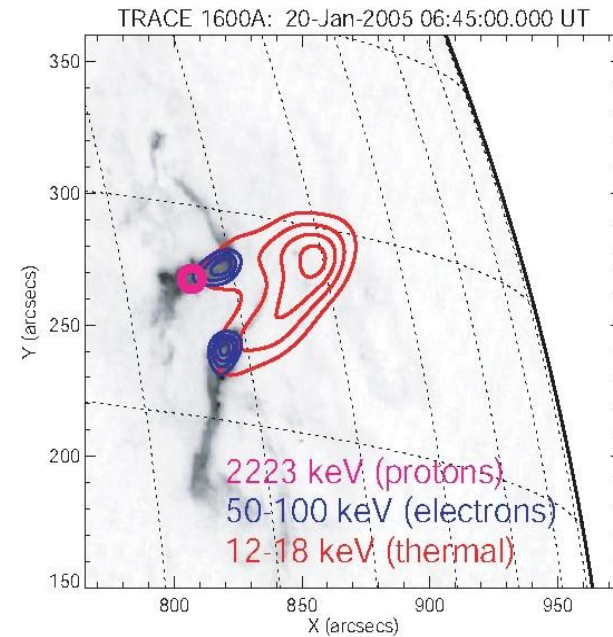
<http://ylstone.physics.montana.edu/ylegacy/>



Hard X-ray and γ -line

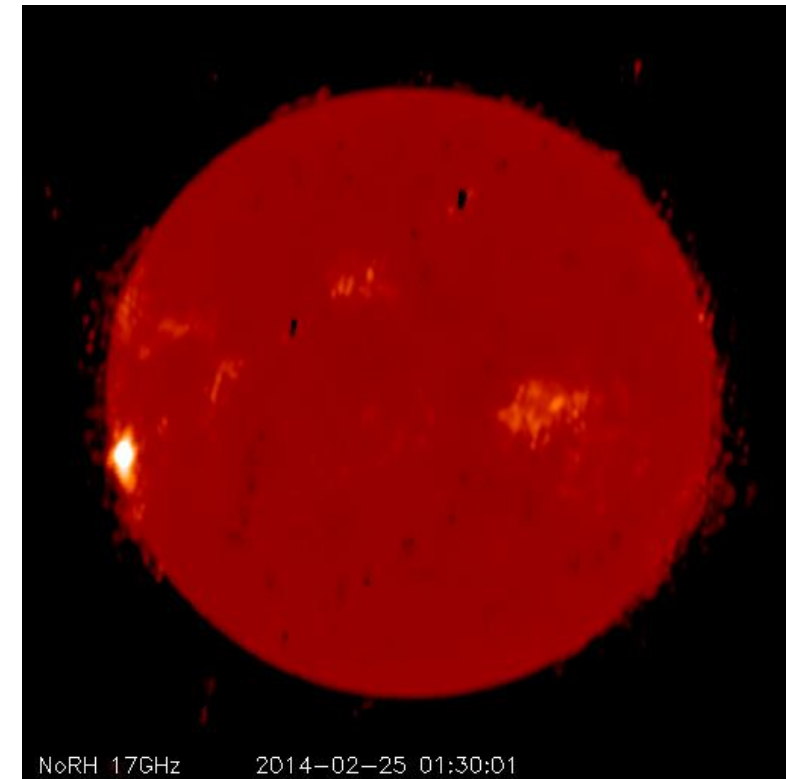
S. Krucker

ILWS workshop 2006

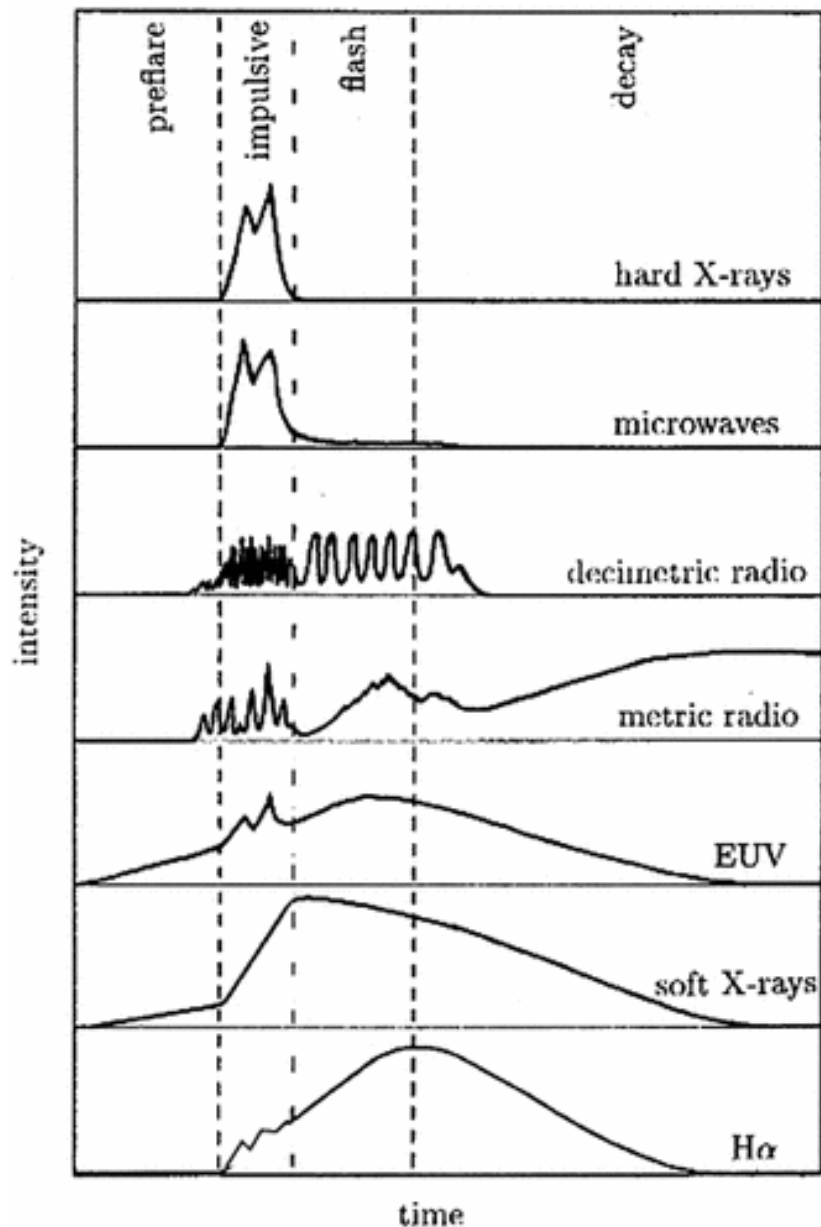


Nobeyama mm radio emission

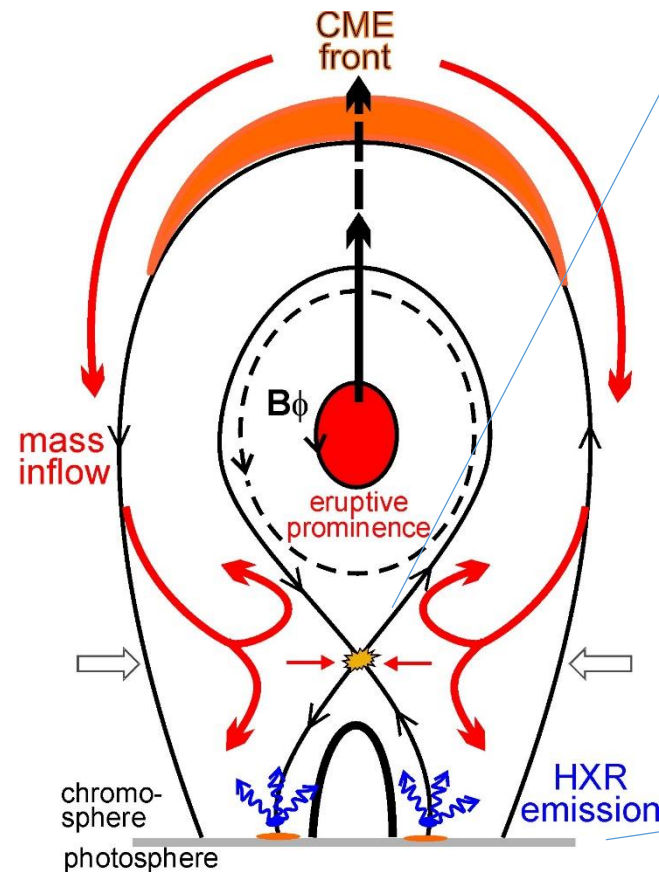
<https://cdaw.gsfc.nasa.gov/>



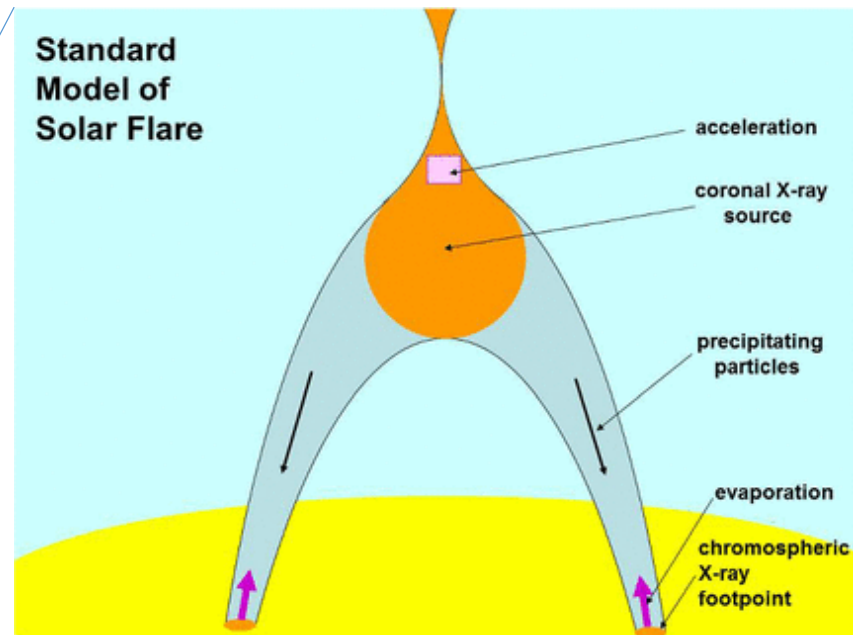
Причини: слънчеви избухвания



Benz (2002)



Temmer et al. (2008)



Benz (2016)

натрупаната магнитна енергия в слънчевата атмосфера се освобождава внезапно:
магнитно присъединяване

<http://solarmuri.ssl.berkeley.edu/~hudson/cartoons/>

Причини: коронална маса

Открити през 1970-те

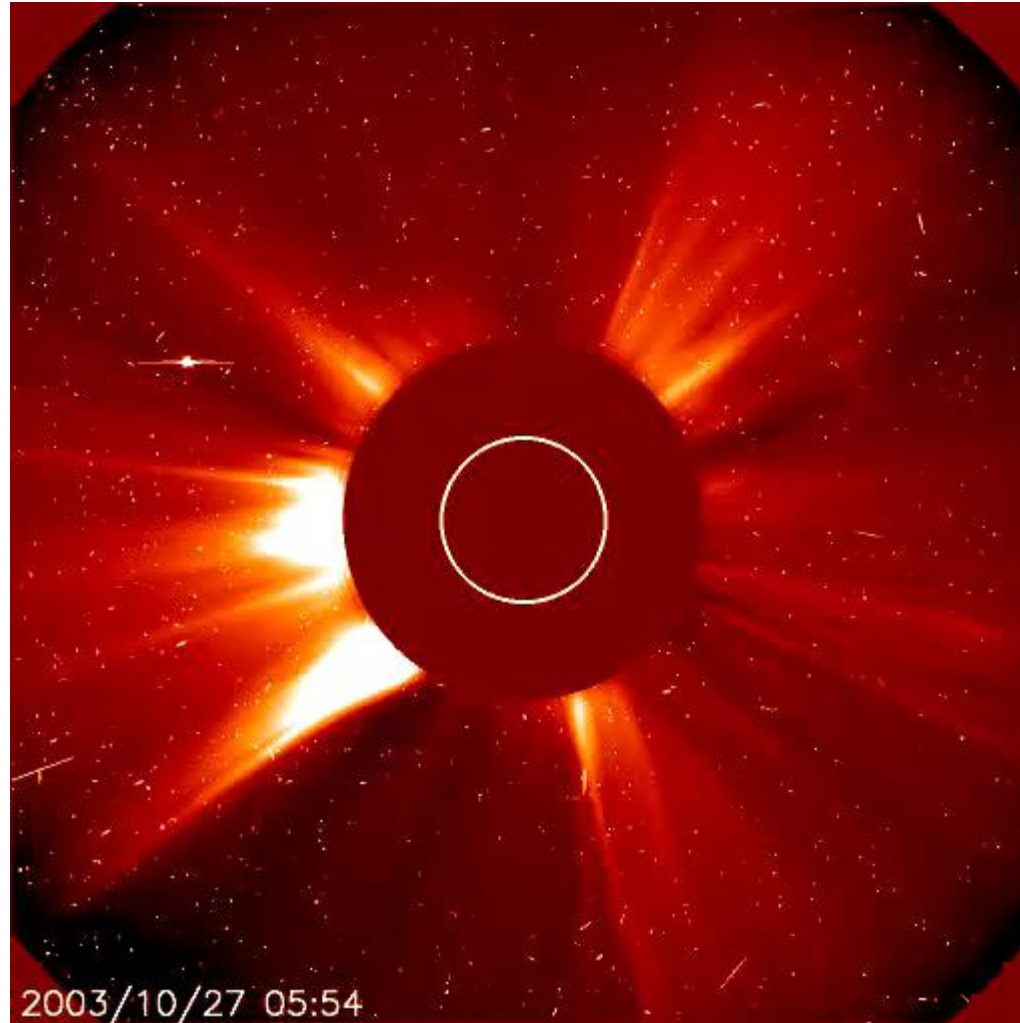
наблюдения: чрез закриване
на ярката фотосфера

Наблюдения от земята и спътници

Представяват огромни облаци от
плазма и магнитно поле

Скорости: 100s km/s – 3000 km/s

Маса: $\sim 10^{15}$ g
(1–10 % от слънчевия вятър)



ESA/NASA
SOHO/LASCO C2
1.5 to 6 $R_{\odot}$

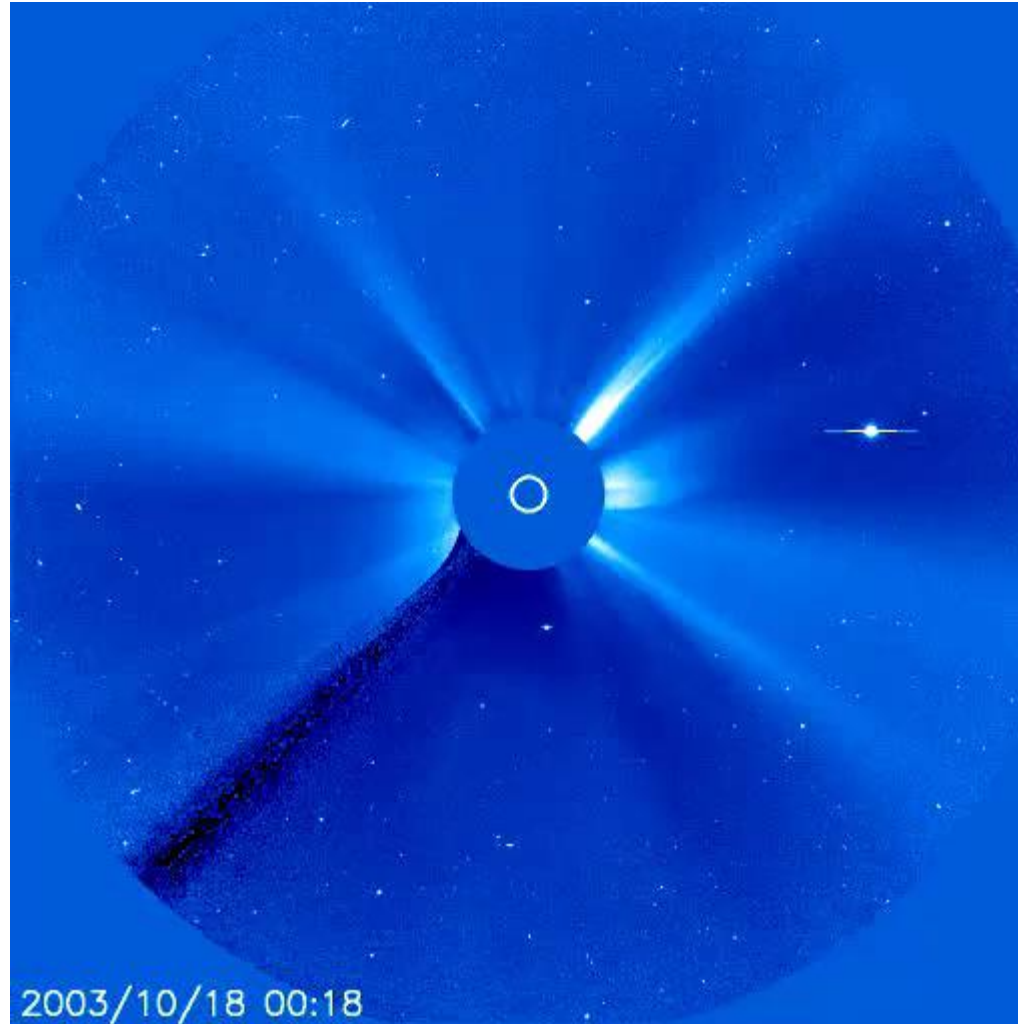
1 $R_{\odot} \approx 700\,000$ km
 ≈ 1 arcsec

Причини: коронална маса

Основен проблем:

Скорост – само в проекция

Няма in situ измервания
между Земята и Слънцето

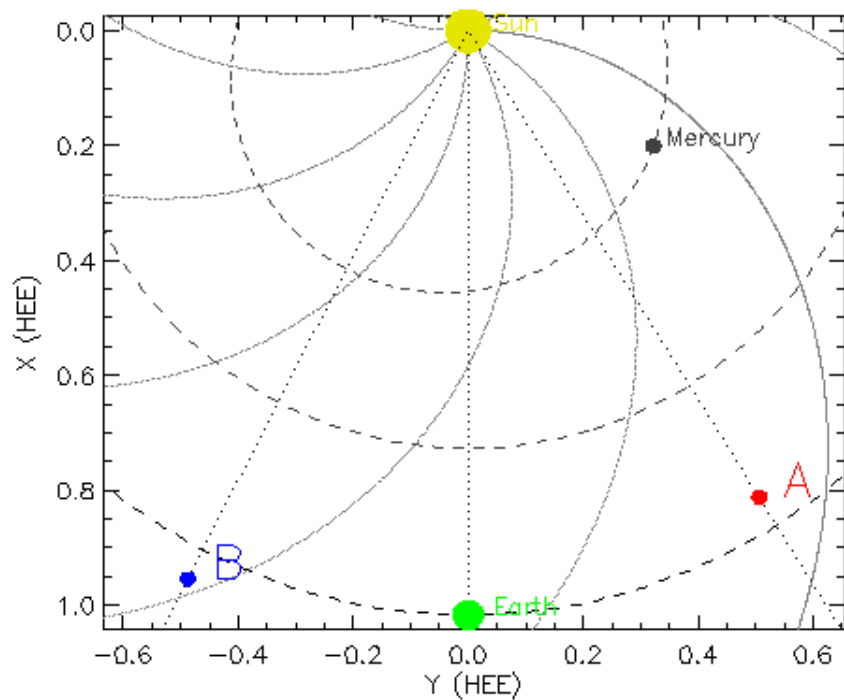


ESA/NASA
SOHO/LASCO C3
3.5 to 30 $R_{\odot}$

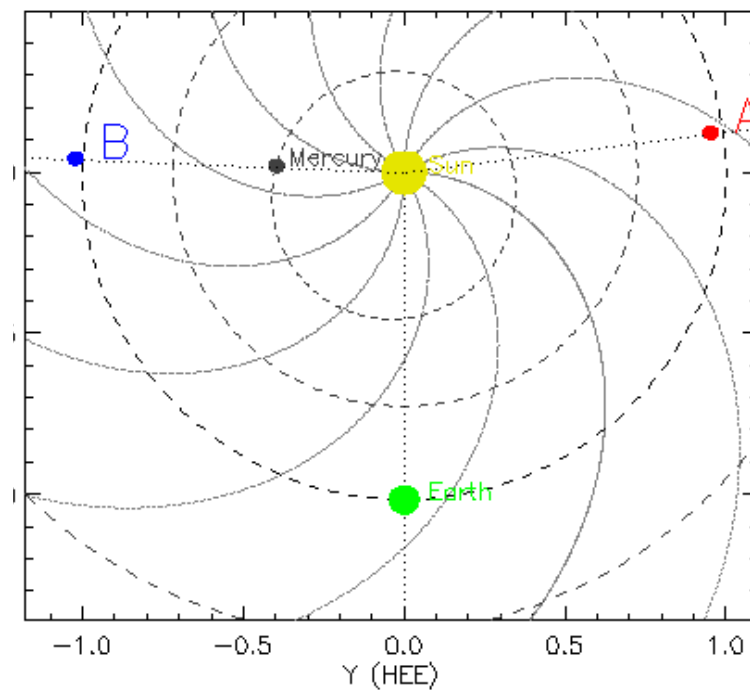
1 $R_{\odot} \approx 700\,000$ km
 ≈ 1 arcsec

Причини: коронална маса

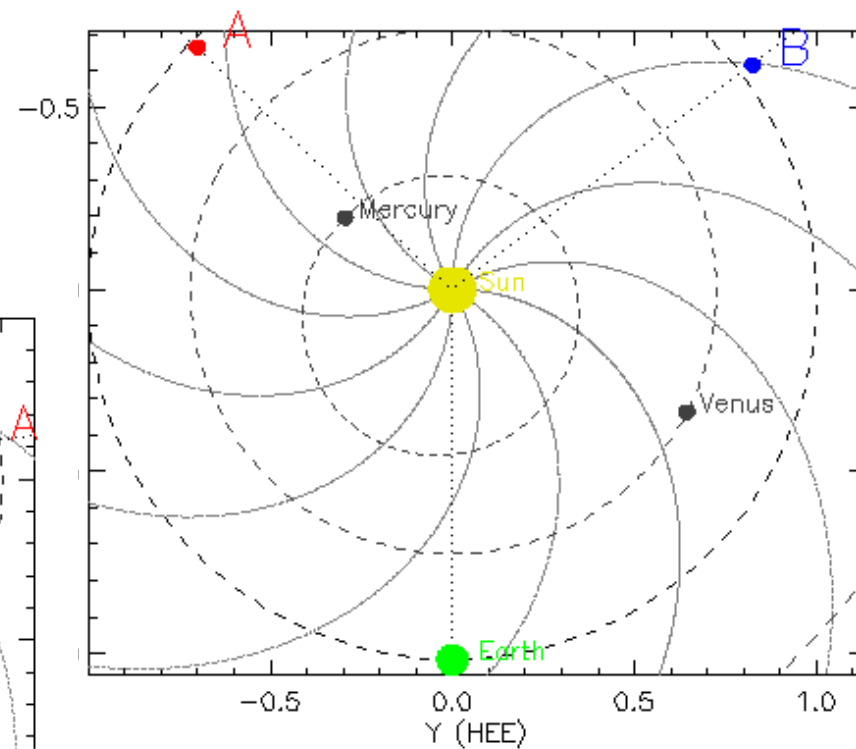
NASA/STEREO



2008



2011



2017

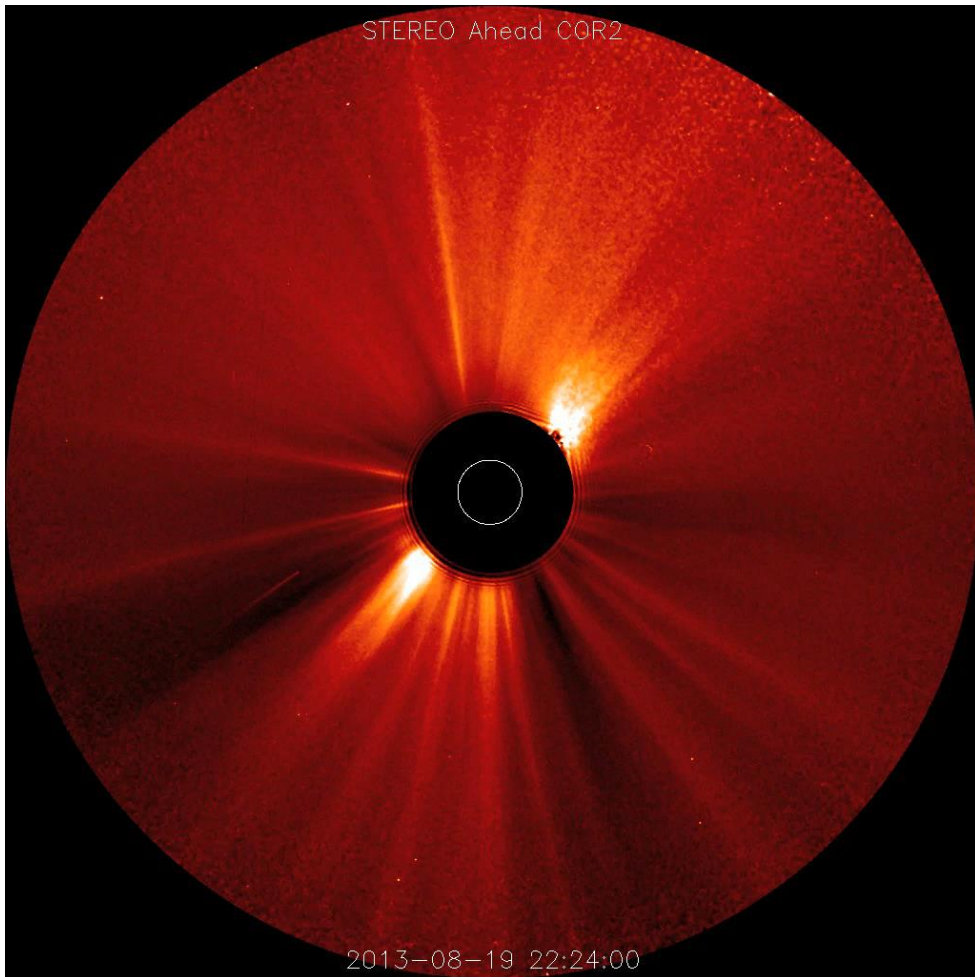
Няма данни от ST-B от 09-2016!

<https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov>

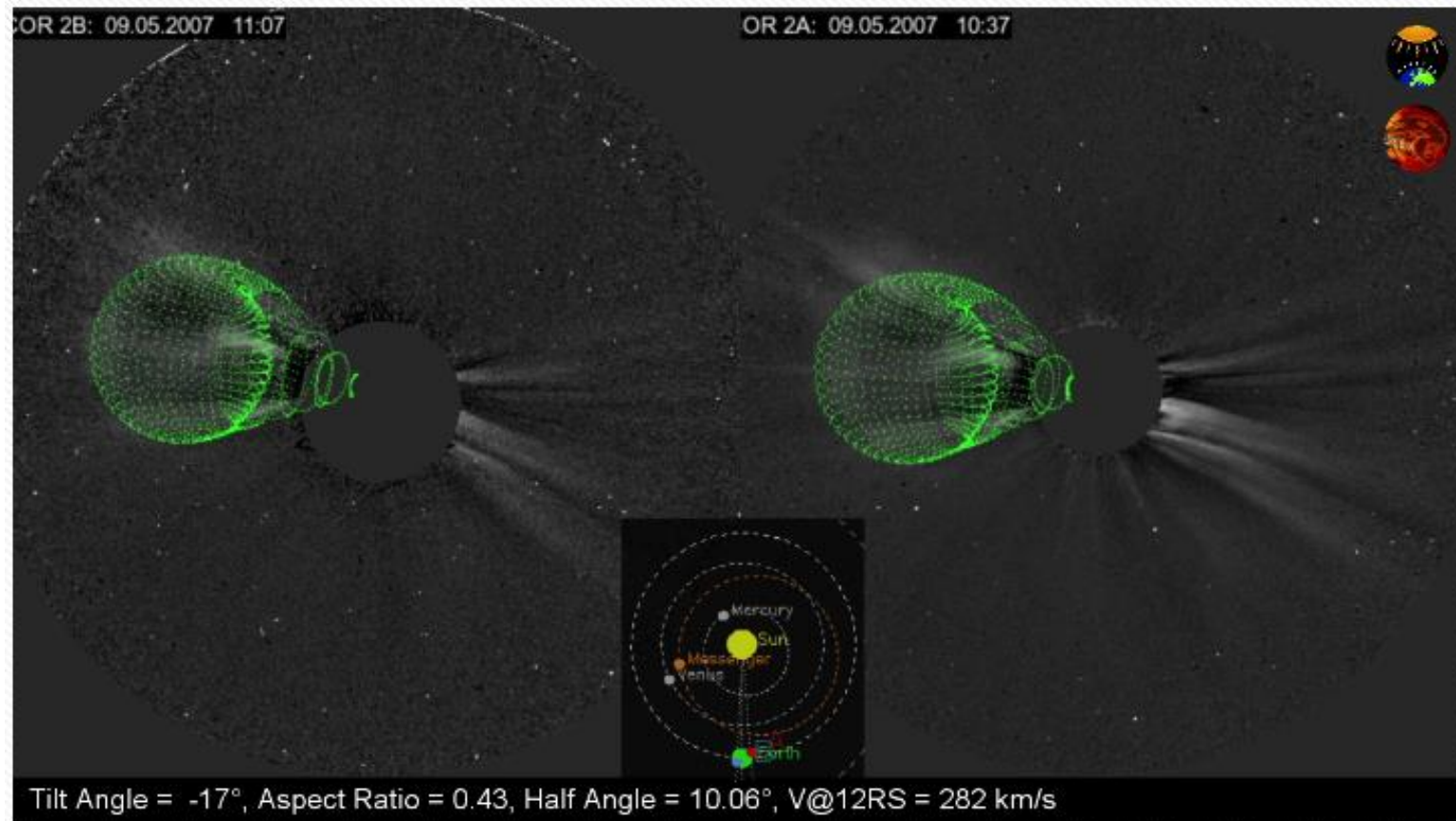
Каква е пространствената скорост на коронална маса?

Геометрични модели

Предположения



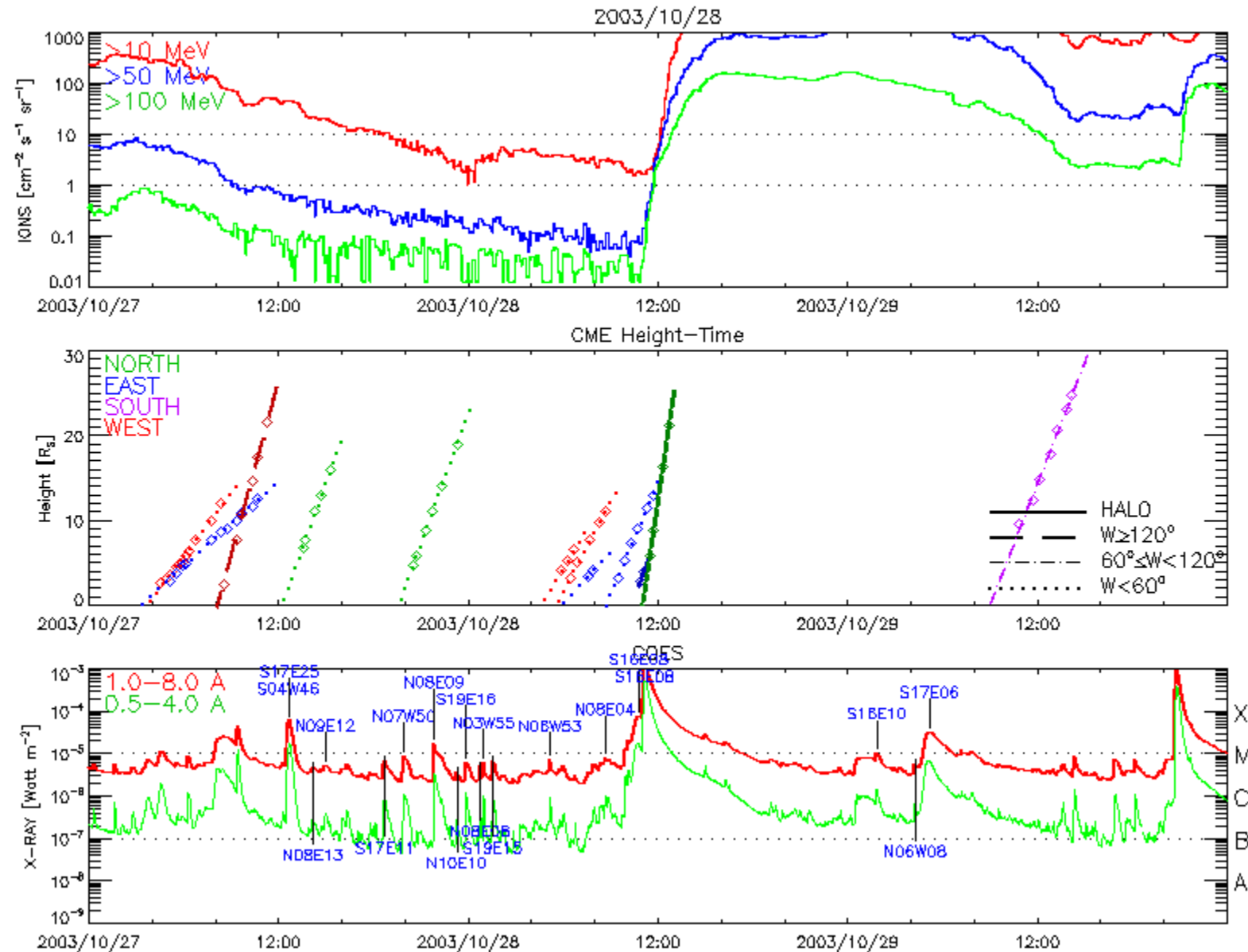
Прогнозиране?



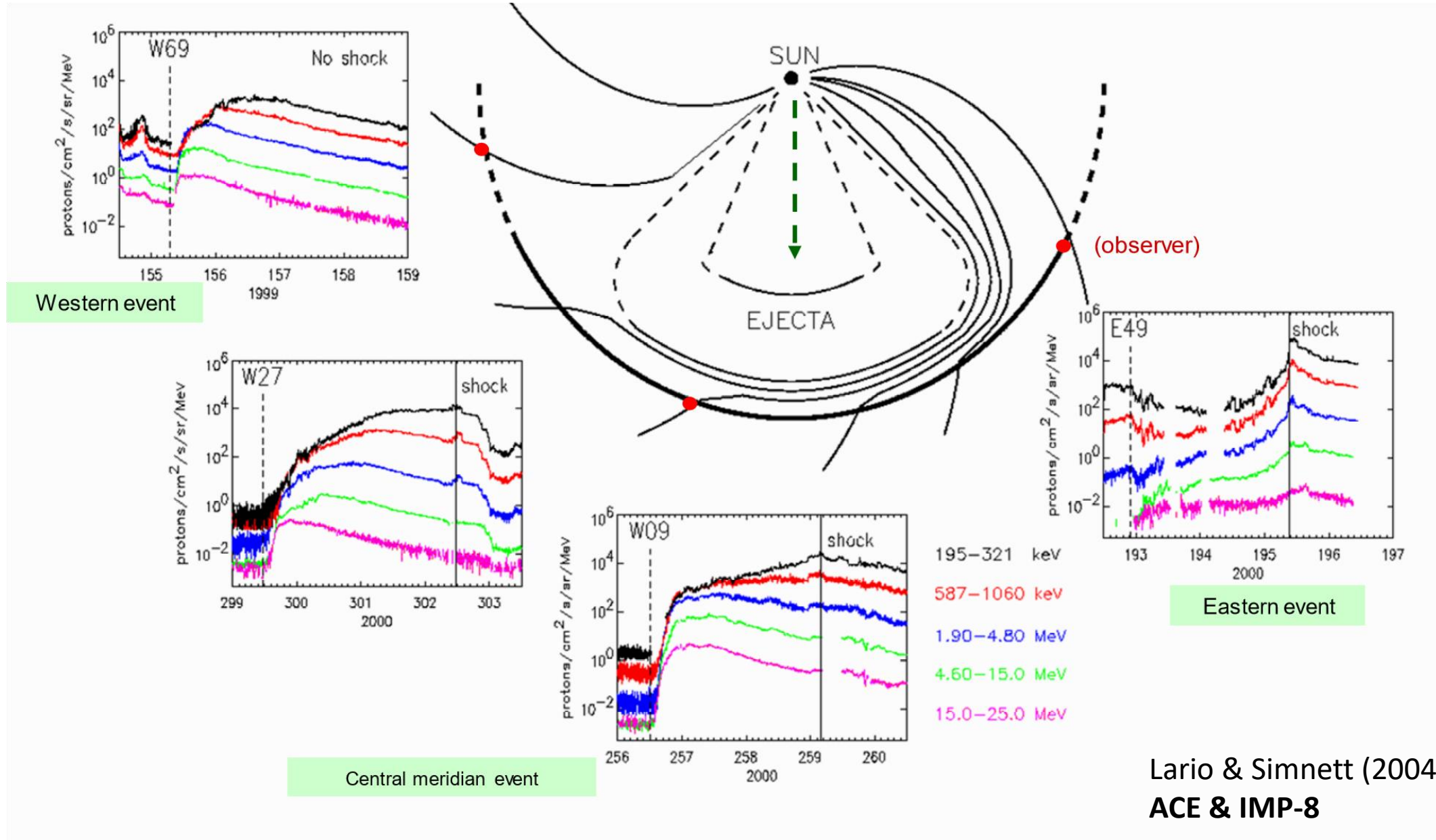
<http://www.affects-fp7.eu/>
<https://www.helcats-fp7.eu/>

Причини: слънчеви заредени частици

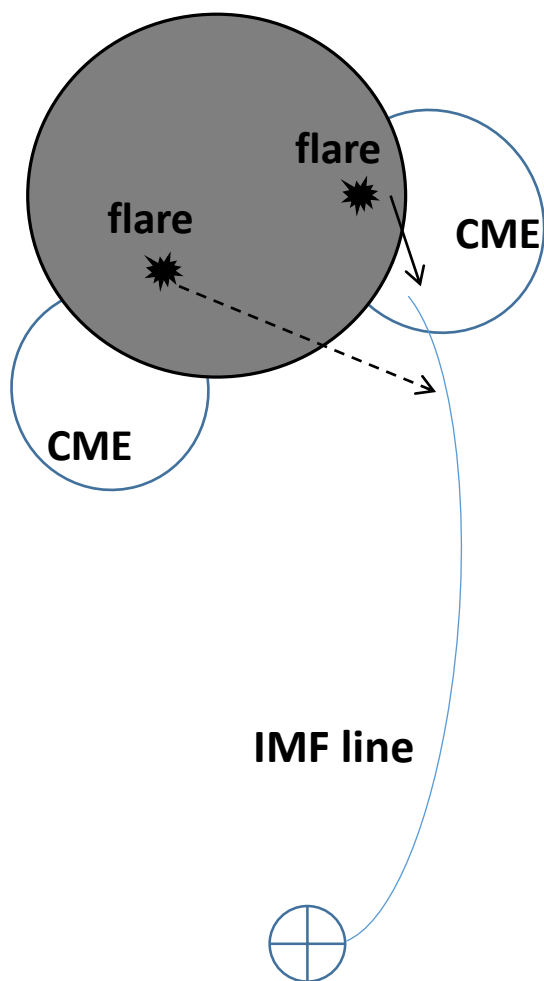
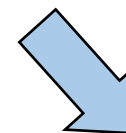
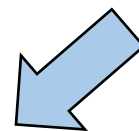
- увеличение на потоци от електрони, протони и йони
- енергии: keV–GeV
- следват във времето слънчевата активност
- дисперсия по скорости



Причини: слънчеви заредени частици



Слънчеви частици: спор за техния произход



Поради избухвания “impulsive SEPs”

- Магнитно присъединяване (малки разстояния)
- Напускане на слънчевата корона (силни полета):
нужни са отворени магнини конфигурации
- Достигане до спътниците по силовите линии

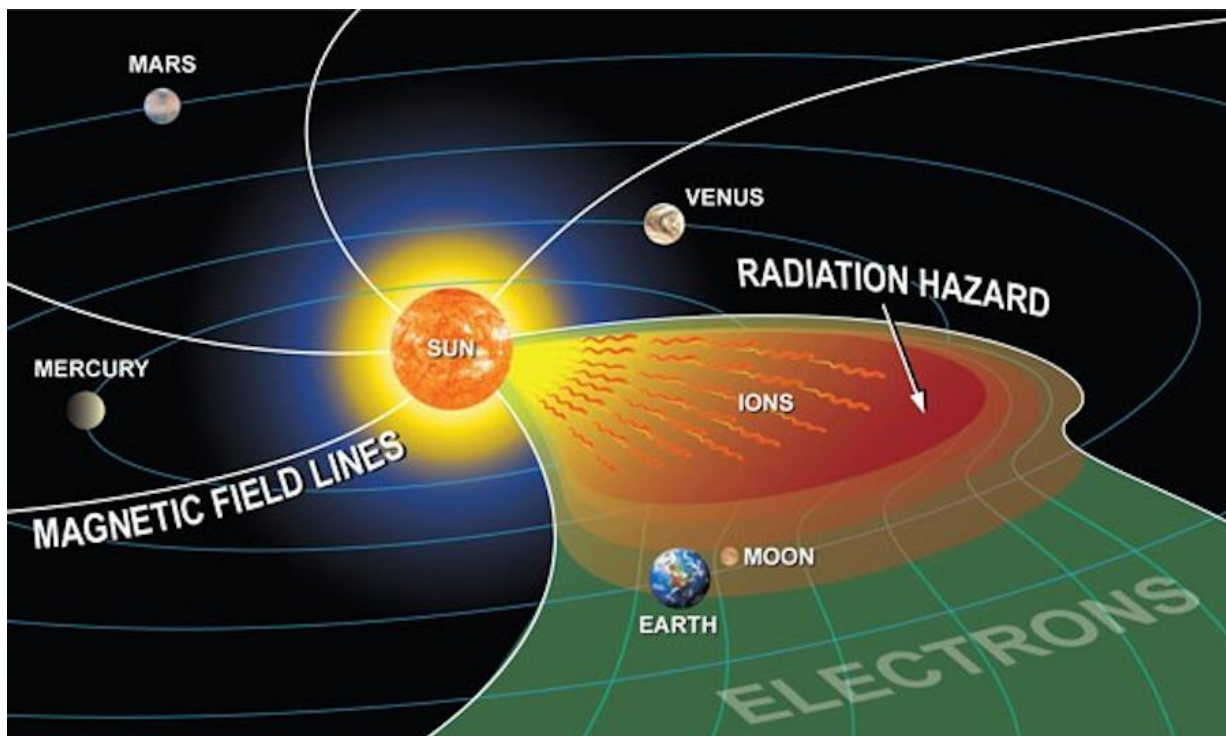
Поради коронална маса “gradual SEPs”

- Ускорение при ударни вълни (големи разстояния)
- Напускане на зоната на ускорение: нужни са отворени магнини конфигурации
- Достигане до спътниците по силовите линии

- Общи x-ки (напр. ударни вълни)
- Множество събития със смесени x-ки

Слънчеви частици: прогнозиране

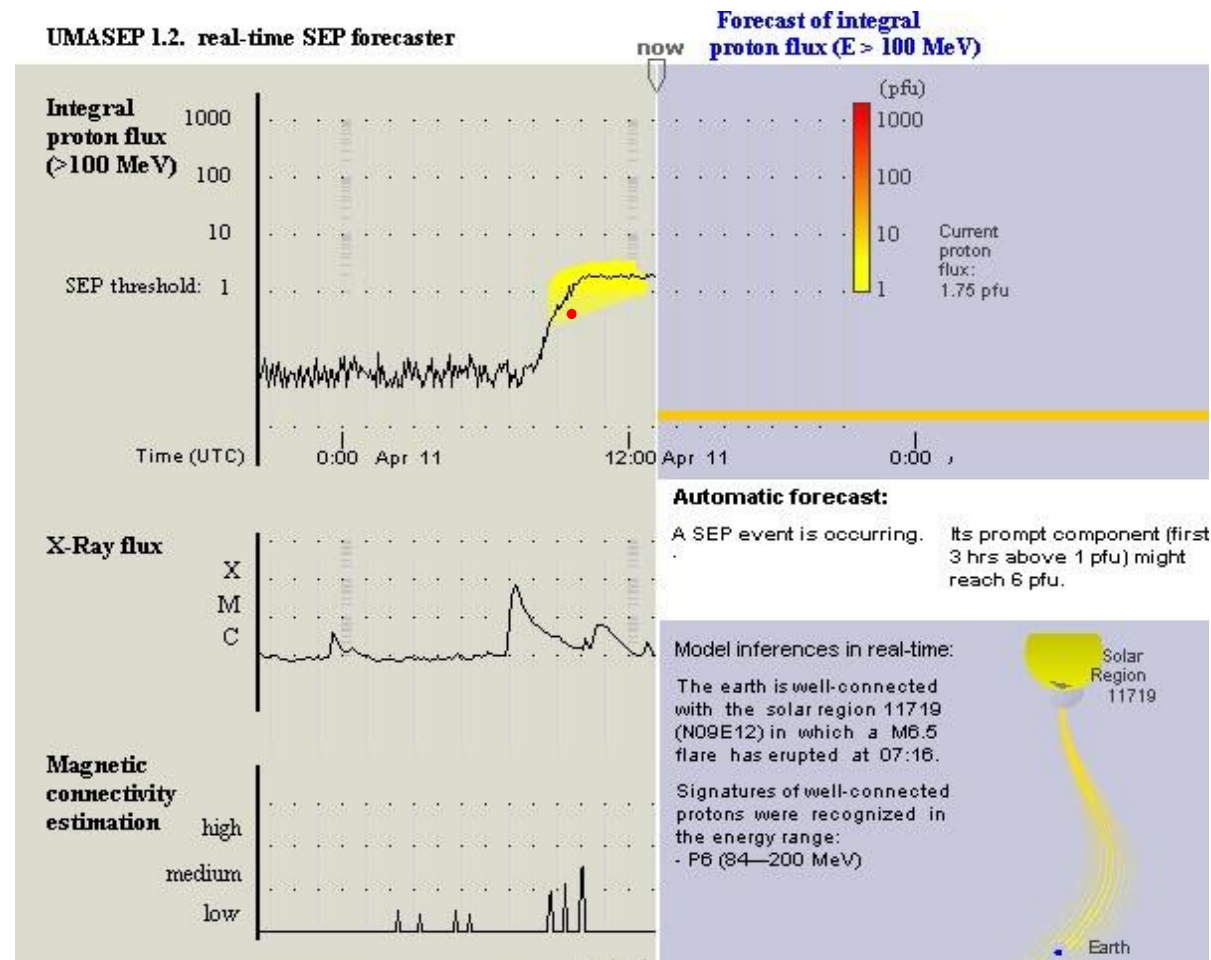
2 examples



Posner (2009)

Цел на прогнозите

- Голяма вероятност за настъпване на събитието
- Малко грешни прогнози
- Ранно предупреждение



M. Nunez (2011, 2015)

<http://spaceweather.uma.es/forecastpanel.htm>

Слънчеви частици: каталози в ИКИТ-БАН

Catalogs of Solar Energetic Particles

© SRTI-BAS 2017 Last modified 05/18/2017 17:17:48

Wind/EPACT proton event catalog

SOHO/ERNE proton event catalog

Other particle catalogs

Supported by
Space Climate Group
Space Research and Technology Institute
Bulgarian Academy of Sciences

Contact: R. Miteva
Web-support: D. Danov

StatCounter "Number of Visits" from Jan. 12, 2017 until now is 000136

Wind/EPACT proton event catalog

Solar cycle 24: 2009-present

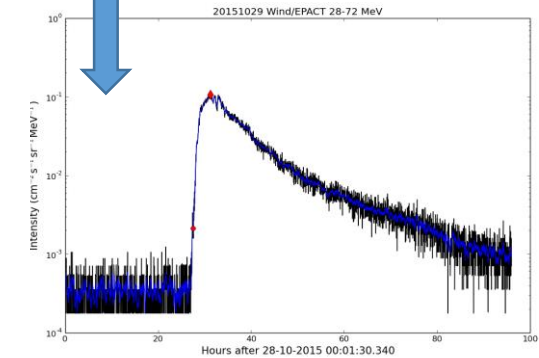
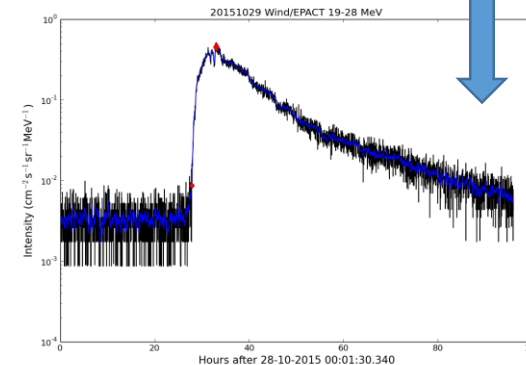
© SRTI-BAS 2017 Last modified 05/18/2017 21:14:08

[Back to list of Catalogs](#)

[Back to Wind/EPACT](#)

[Solar cycle 23: 1996-2008](#)

Event date yyyy-mm-dd	19-28 MeV			28-72 MeV	Flare	CME	Comment
	onset time (UT)	peak time (UT)	J_p ($\text{cm}^2 \text{ s sr MeV}^{-1}$)	J_p ($\text{cm}^2 \text{ s sr MeV}^{-1}$)	SXR class/ onset time (UT)/ location	time (UT)/ speed (km s^{-1})/ width (deg)	
2009	-	-	-	-	-	-	no SEP events
2010-05-07/08	-	-	-	-	-	-	data gap
2010-05-12/18	-	-	-	-	-	-	data gaps
2010-06-12	04:04	08:39	0.0123	0.002	M2.0/00:30/N23W43	01:32/489/119	
2010-08-03	15:13	18:25	0.0478	0.0014	u	u	
2010-08-07	22:45	01:43 nd	0.0111	0.0014	M1.0/17:55/N11E34	18:36/871/360	
2010-08-14	11:15	13:05	0.158	0.0184	C4.4/09:38/N17W52	10:12/1205/360	
2010-08-18	08:01	12:18	0.0486	0.0034	C4.5/04:45/N18W88	05:48/1471/184	
2010-09-09	03:02	04:25	0.0071	0.0007	C3.3/23:05 nd /N21W87	23:27 nd /818/147	
2010-12-07	-	-	-	-	-	-	data gap



<http://newserver.stil.bas.bg/SEPcatalog>

Слънчеви заредени частици: нов проект

Произход на слънчевите частици: избухвания или коронална маса

2-годишен проект

двустранно сътрудничество между България и Русия

Екип от България

R. Miteva (coordinator)

N. Petrov

Ts. Tsvetkov

D. Danov

Екип от Русия

L. Kashapova (coordinator)

I. Myagkova

A. Bogomolov

N. Meshalkina

I. Myshyakov

D. Zhdanov



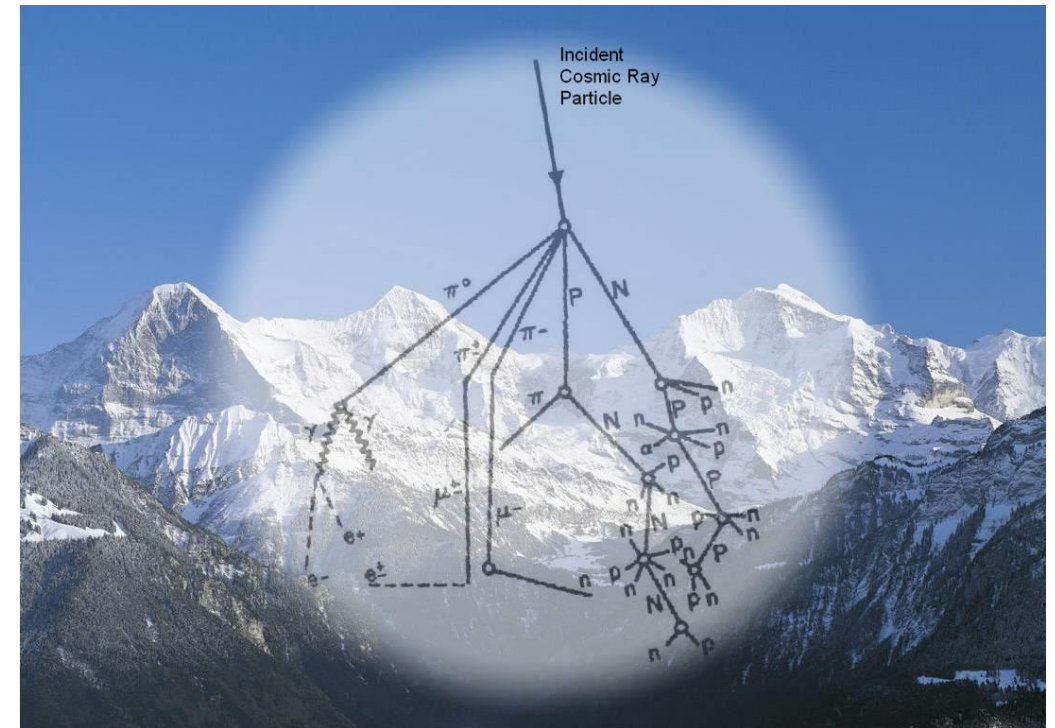
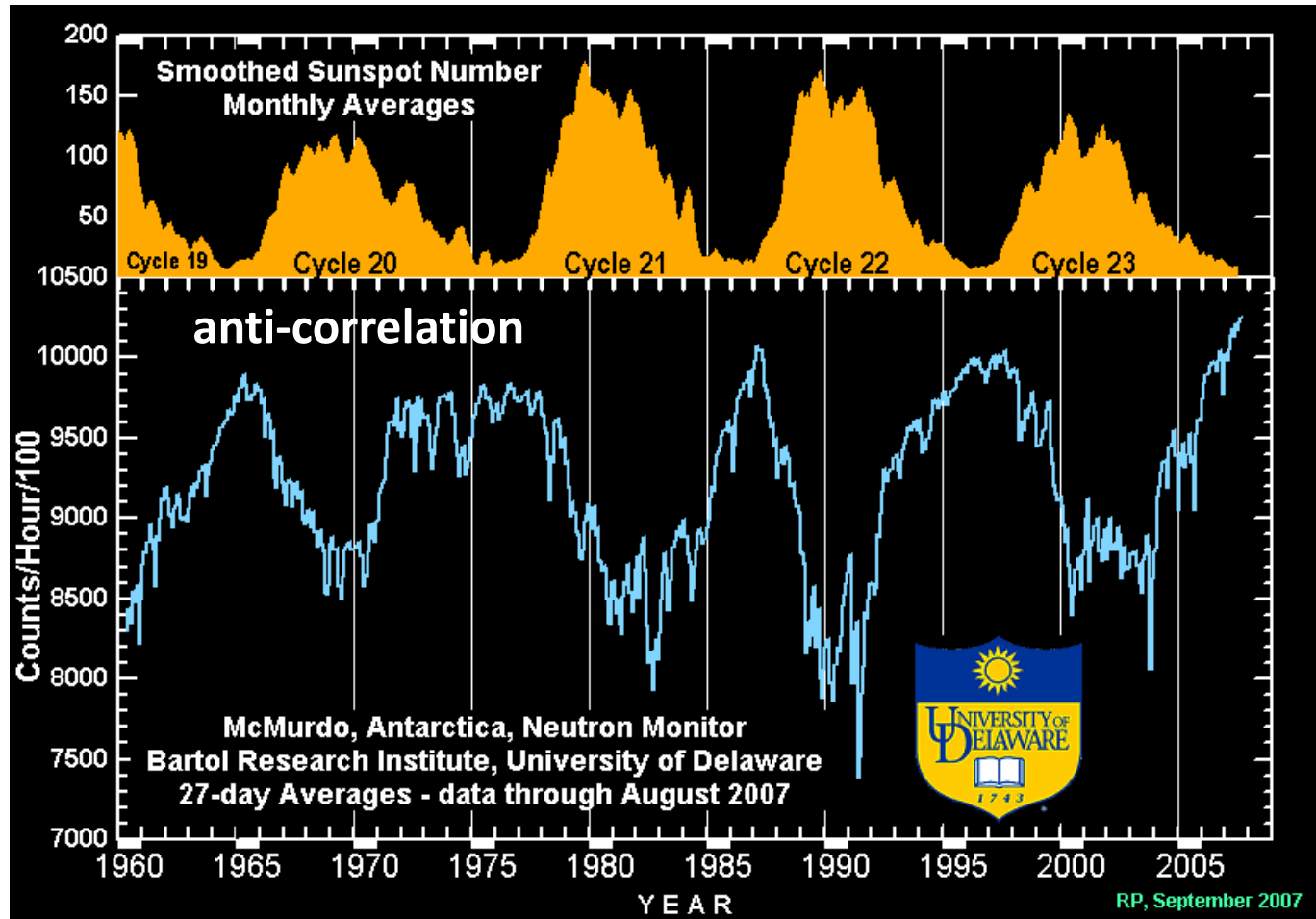
ФОНД
НАУЧНИ
ИЗСЛЕДВАНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

Договор № ДНТС/Русия 01/6 от 23 юни 2017

www.fni.bg

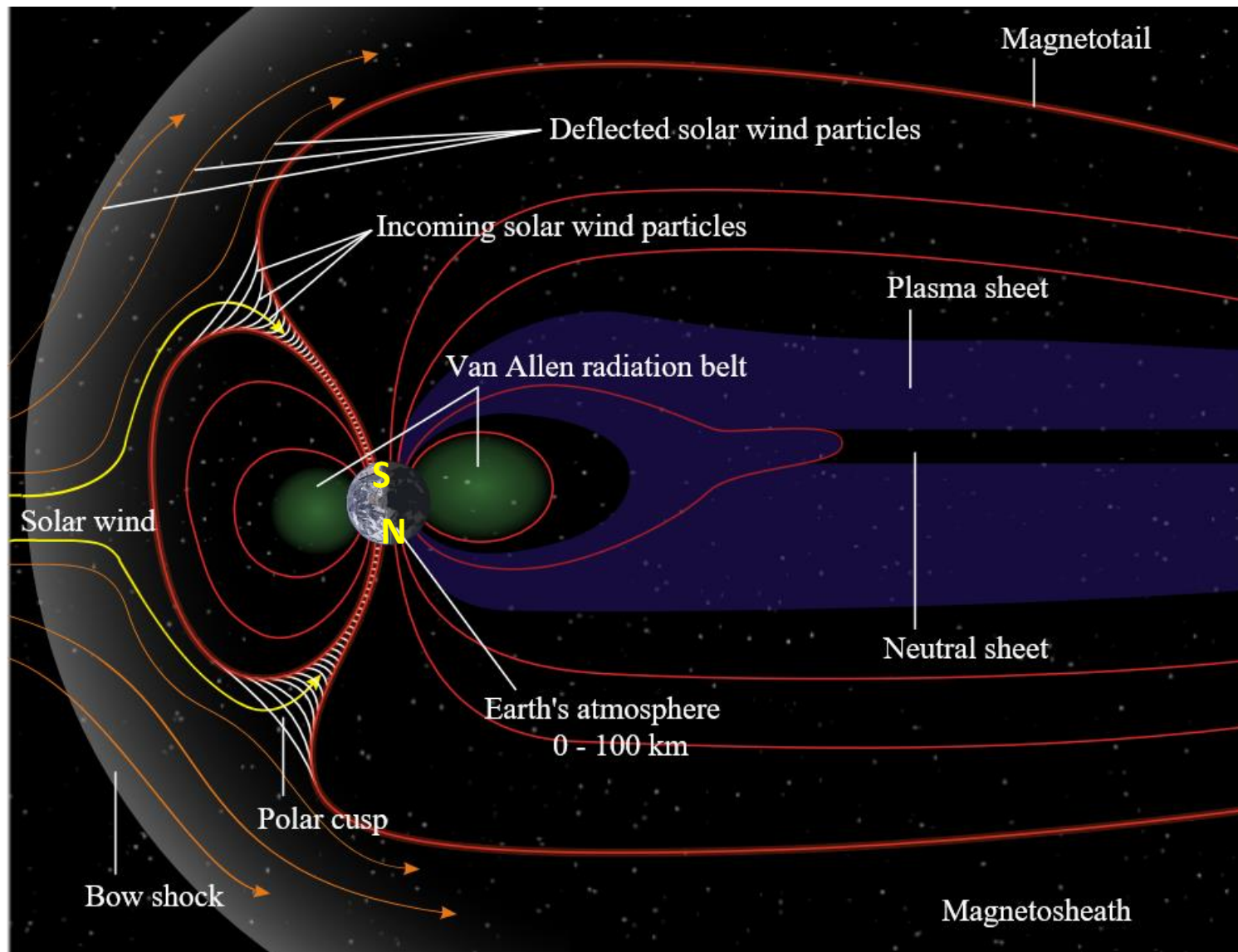
Слънчеви частици – галактични космични лъчи



<http://www.nmdb.eu/>

<http://neutronm.bartol.udel.edu/catch/cr3.html>

Земна магнитосфера



Причини за геомагнитните бури
Южна компонента на
междупланетното магнитно поле
Бързоскоростни потоци от плазма

Измервания
компоненти на приземното
магнитно поле

~60 μT = 0.6 Gauss в полярните области
~30 μT = 0.3 Gauss на екватора
1 Tesla = 10^4 Gauss
11° наклон към оста на въртене

Геомагнитни бури

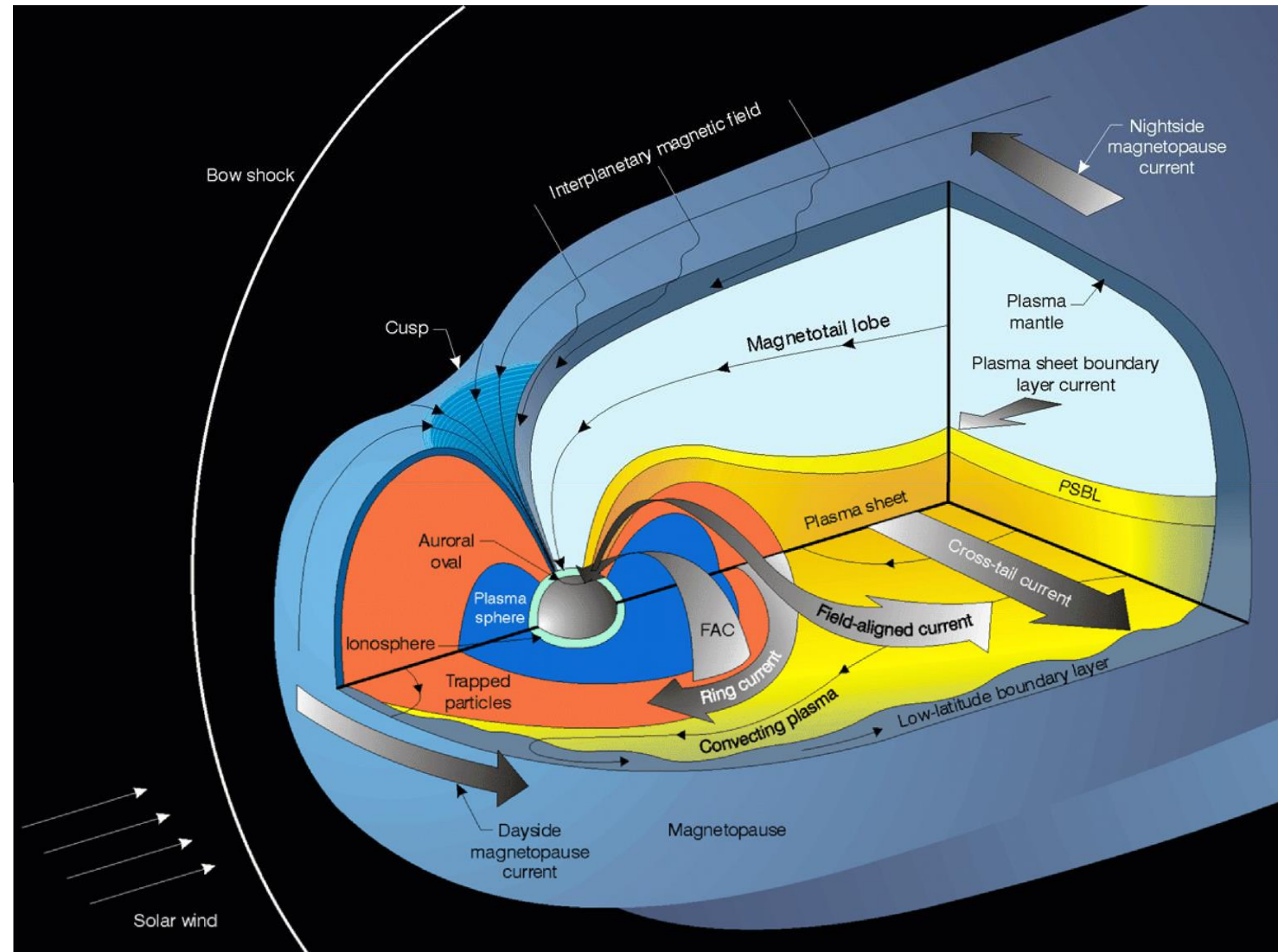
Временно смущение в земното магнитно поле (планетарен ефект)

Поради:

- Коронална маса (при слънчев max) – от 18 часа до 3 дни
- Високоскоростни потоци в слънчевия вятър (при слънчев min): CIRs, коронални дупки

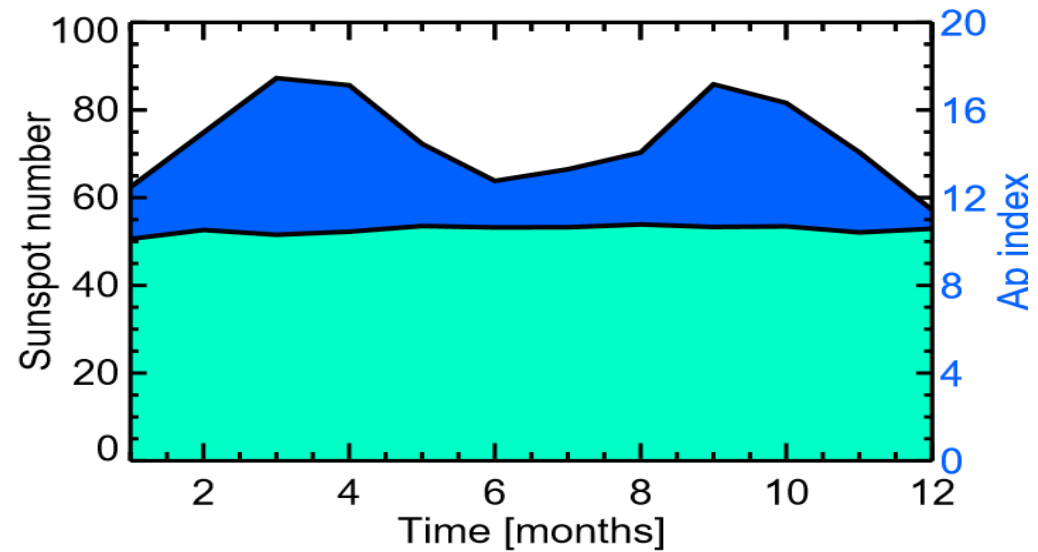
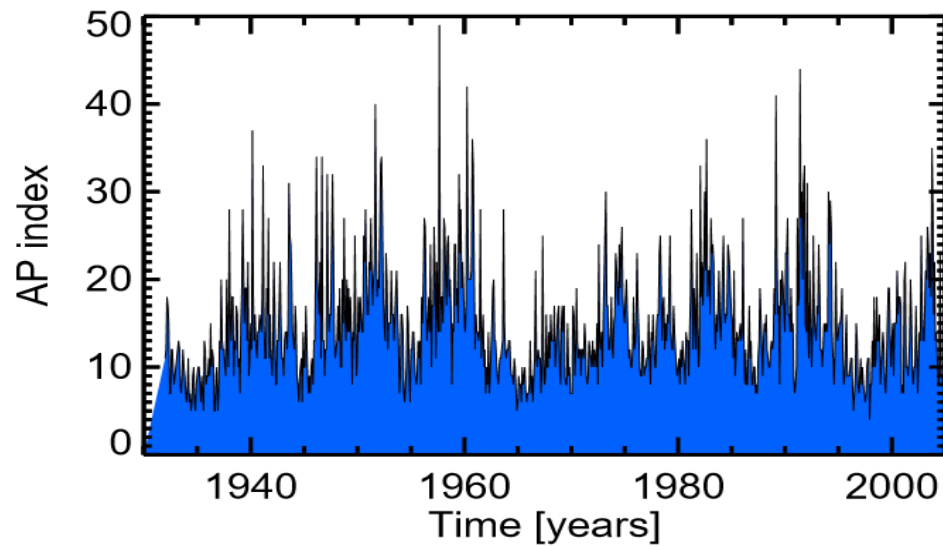
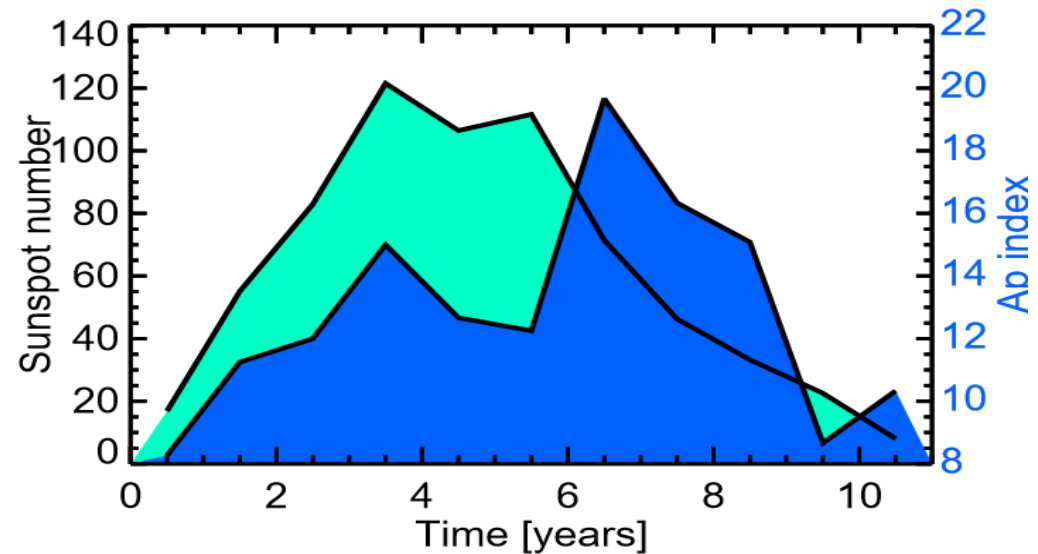
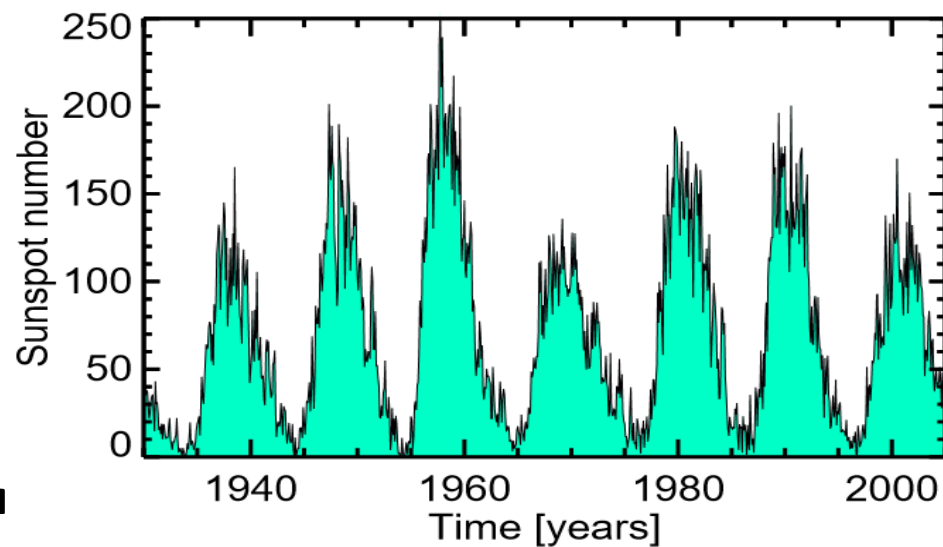
Първоначална компресия на магнитосферата – индуцират се токове – променят магнитното поле

Протичат процеси на магнитно присъединяване; енергиен обмен; заредени частици навлизат при полюсите



от презентация на F. Toffoletto, Rice University

Слънчева активност – геомагнитна активност



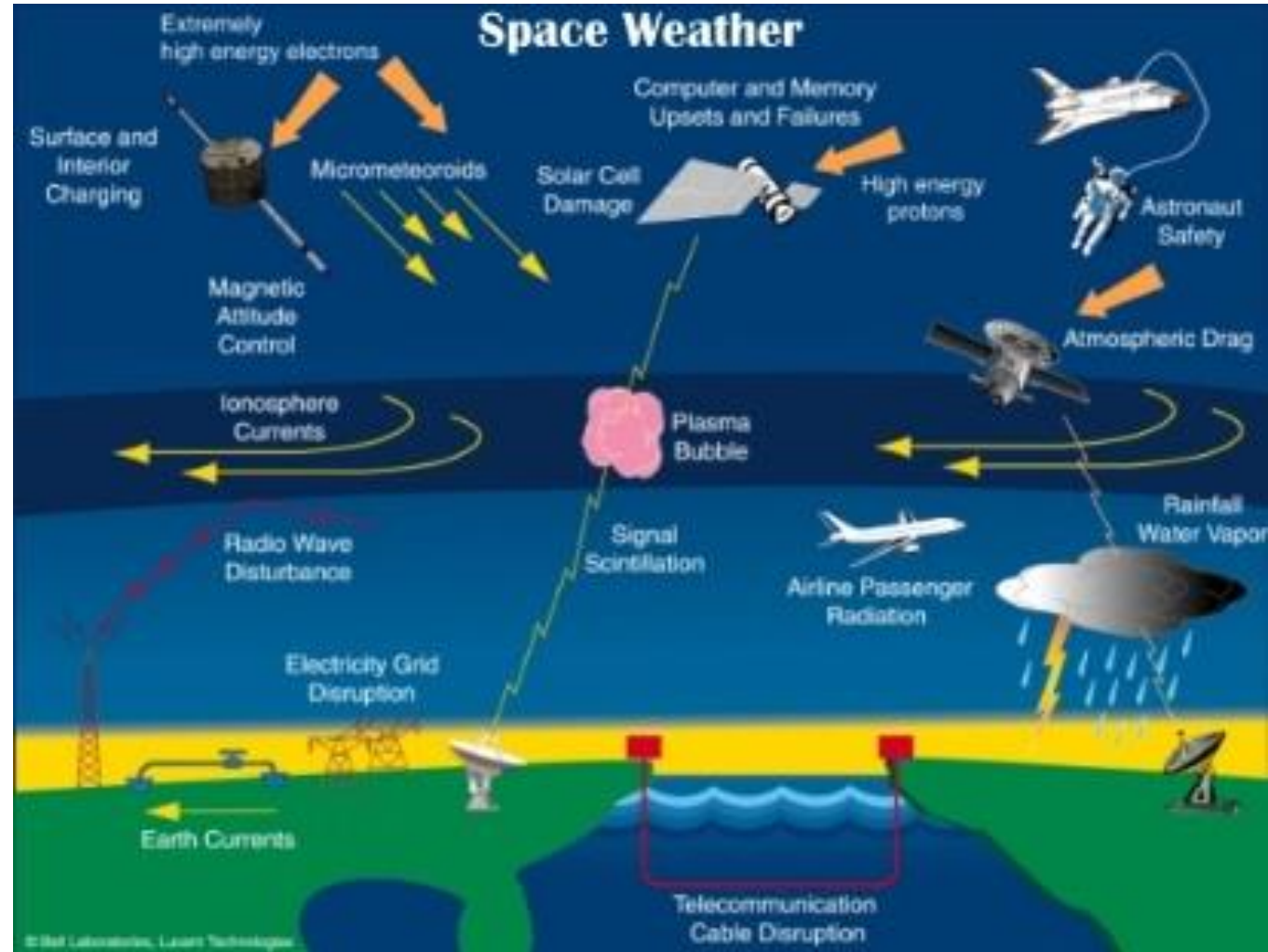
корелация

Pulkkinen (2007)

Причини: слънчеви избухвания

Светлина в различни дължини
на вълната –
достига до нас за около 8 минути

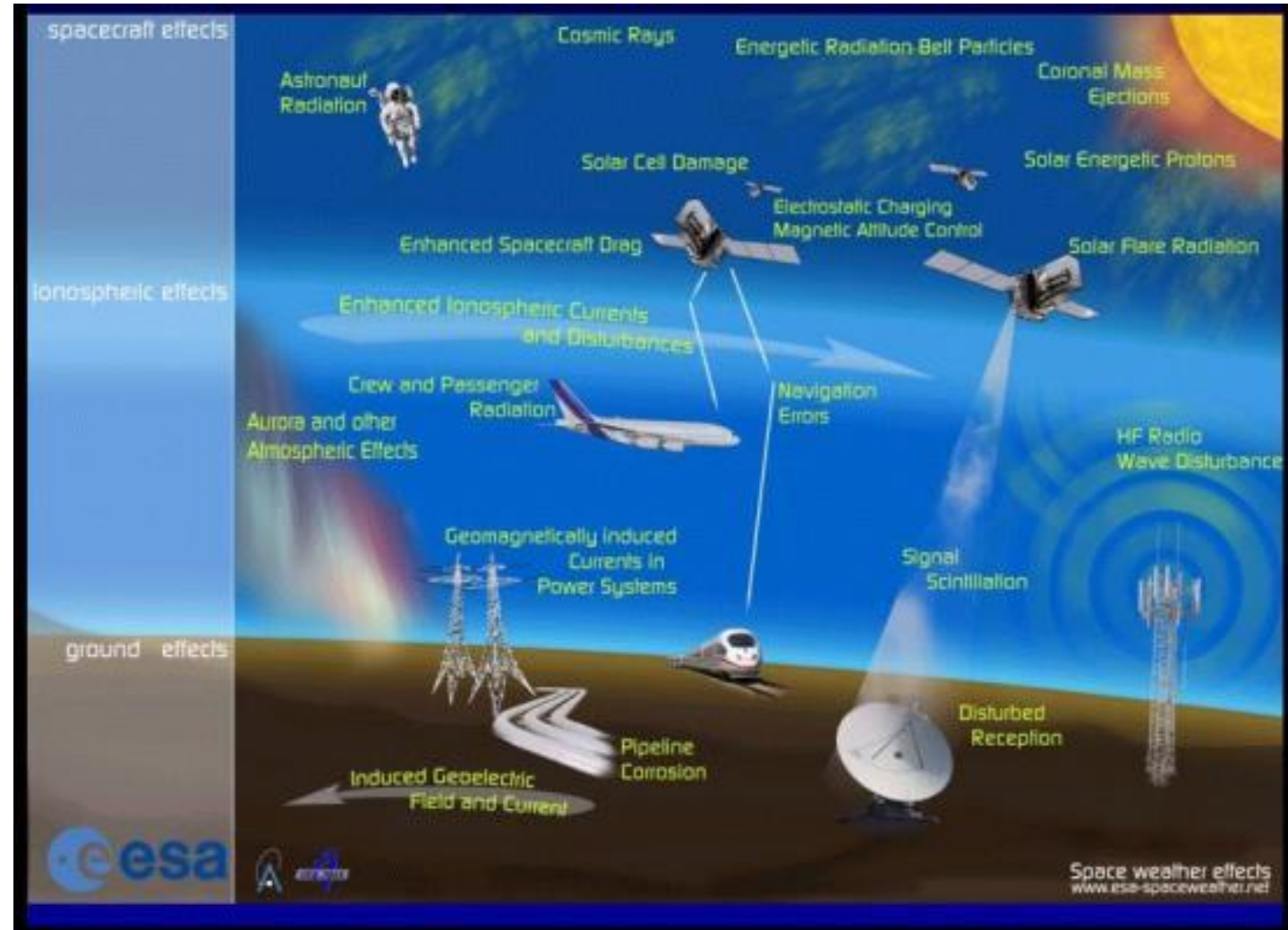
- $\text{Ly } 121.6 \text{ nm}$ нагрява земната атмосфера, сателитите спадат на по-ниска орбита
- UV модулира озона при полюсите
- Радио избухвания: смущения в GPS сигналите



Причини: коронална маса

Достигат Земята от 1 до 3 дни

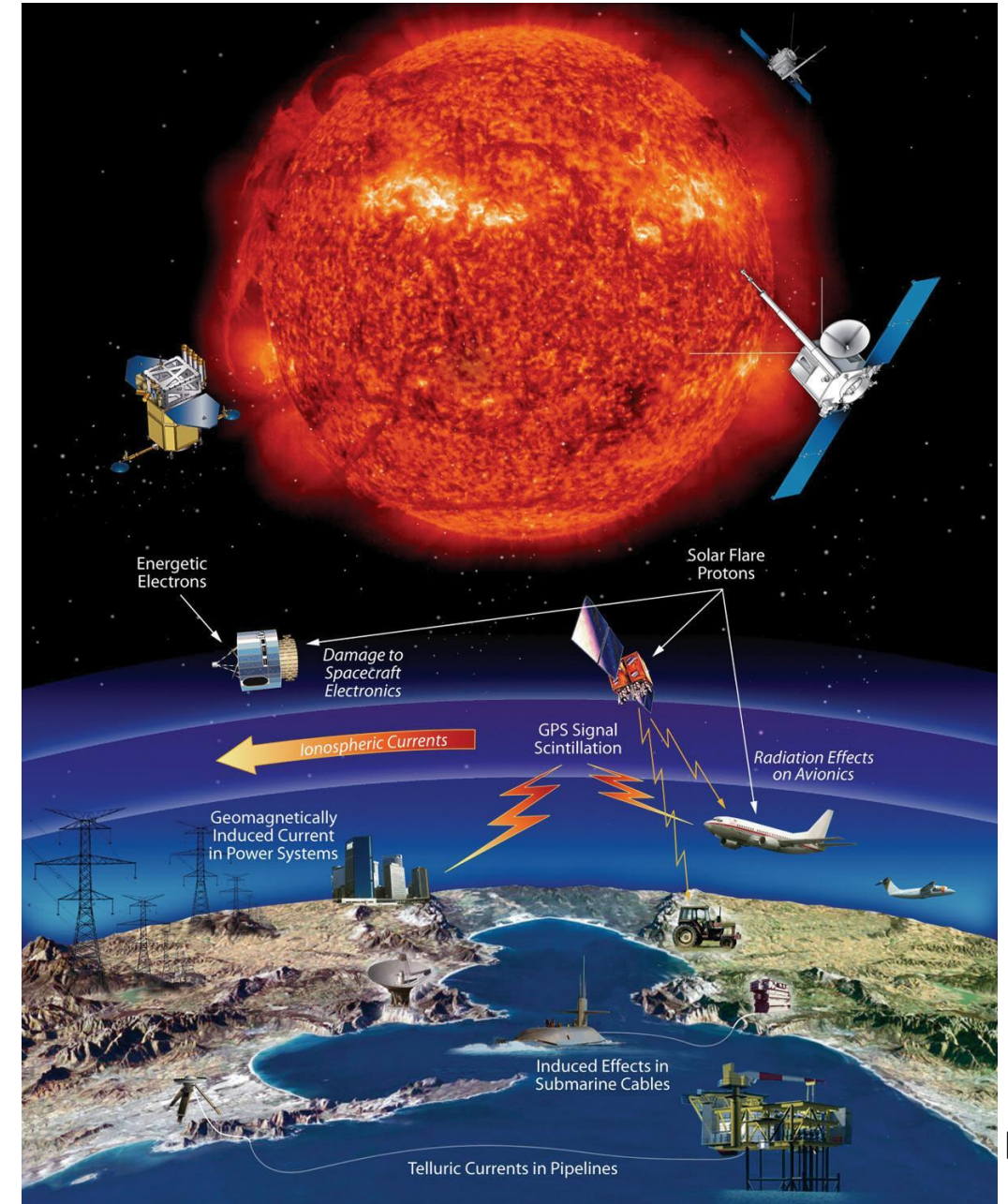
- причиняват геомагнитни бури: Ионосферните токове индуцират ток в проводящи системи (токопреносна мрежа, комуникационни кабели, тръбопроводи за газ и нефт, железопътни линии); прекъсване на ток, повреда на трансформатори, корозия на тръбопроводи
- най-голям риск има за: Скандинавските страни, Канада и Русия



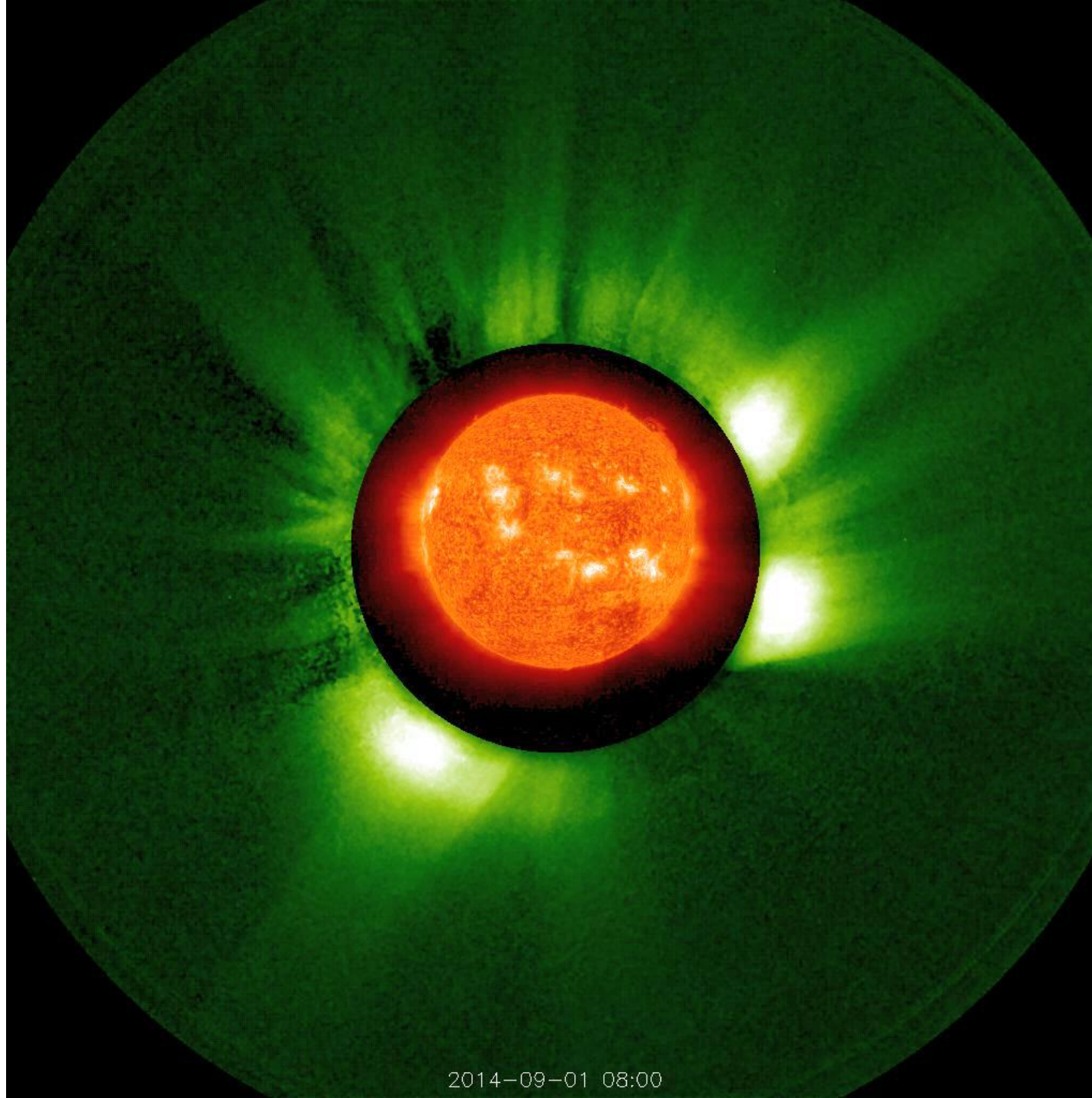
Причини: слънчеви частици

Частички с високи енергии достигат Земята за минути

- протони:
 - опасност при пътувания на астронавти през междупланетното пространство;
 - риск за самолетните екипажи и пътници при полярни маршрути;
 - грешни команди при управление на спътници;
 - деградация на слънчевите панели;
 - спътниковата електроника и покритие;
 - загуба на връзка със самолети при полярни маршрути;
 - намялявяне на озона над полярните области (поради увеличение на концентрацията NOx)
- електрони: риск за спътника;
- разряди – води до грешни измервания;
- ерозия



Слънчеви
заредени
частици
и
стабилност на
спътници



2014-09-01 08:00

NASA/SDO&STEREO

Полети в космоса

(опасностите извън земната магнитосфера)

Най-големите опасности за здравето и живота на хората при полети:

№ 3 продължителна безтегловност, известно е, че намалява костна плътност, мускули и зрение

№ 2 изолация, може да доведе до психологически проблеми

№ 1 космическа радиация, може да причини рак, вреда на централната нервна система, катаракт или безплодие

няма решение!

NASA Report No. IG-16-003

'NASA's efforts to manage health and human performance risks for space exploration'

Радиационно облъчване на МКС и при полети до Марс

Българският принос от ИКИТ-БАН

- **На борда на Международната космическа станция**
R. Koleva et al. presentation 2017 <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

Дозиметър Люлин-5 на MATROSHKA-R

2 измервания: 2007–2009; 2012–2015

По-висока доза по време на ниска слънчева активност,
но допълнителни дози при всяко събитие от слънчеви частици

NASA/ESA/Roskosmos
max 1 Sv радиационна доза през
цялата кариера на един астронавт

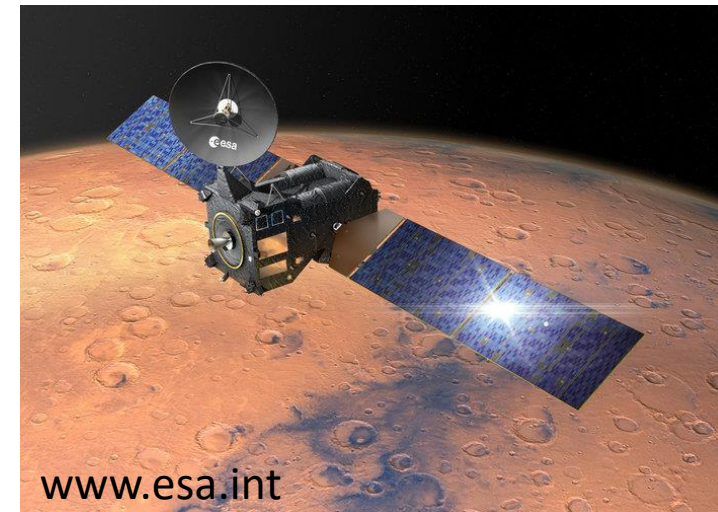
Естествена радиация на Земята: ~ 2.4 mSv/year
На морско ниво от галактични лъчи: ~ 0.3 mSv
При медицински изследвания: ~ 0.1 -10s mSv
www.nmdb.eu

- **Мисия до Марс – ExoMars Trace Gas Orbiter**
От презентацията на Й. Семкова 2017 <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

Дозиметър Люлин-МО на експеримента FRIEND

Измерени са само галактични лъчи, няма събития от слънчев произход
апр–сеп 2016 (пътуване); окт 2016–яну 2017 и фев–март 2017 в орбита

Оценка: по време на пътуването до Марс и обратно (по време на ниска слънчева активност) екипажът ще получи най-малко 60% от максимално допустимата радиационната доза през цялата си кариера!



Сравнение на радиационни дози на МКС и при полети до Марс

Българският принос от ИКИТ-БАН

➤ Variability of the radiation environment in ISS

	2007-2009 in the phantom	2012-2015 in the phantom	2012-2015 outside the phantom	SPE 7-10.03.2012 (at L>3 for 3 days)
D1	186 – 230 μGy/day	130-220 μGy/day	150-280 μGy/day	+ 180 μGy
D3	83 - 150 μGy/day	120 - 160 μGy/day		
Dose Equivalent	590-880 μSv/day	220-600 μSv/day	300-700 μSv/day	+ 450 μSv

От презентация на Р. Колева
2017

<http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

- ✓ Doses for an round trip to Mars - 1 year, 6 month in each direction
- ✓ One year stay in ISS

	To and from MARS	On ISS – Liulin-5
high SA <i>without SPE</i>	RAD: ~ 630 mSv	~ 180 mSv
<i>addition by SEP</i>	RAD: ~24.7 mSv (5 SPE)	~ 0.45 mSv
low SA	Liulin-MO: ~ 729 mSv	~ 234 mSv ~ 316 mSv <i>extreme case</i>

Космическо време: вътрешни планети

Меркурий

- има екзосфера (изпарение на повърхността поради слънчевата радиация)
- има слабо магнитно поле (1 % от земното)

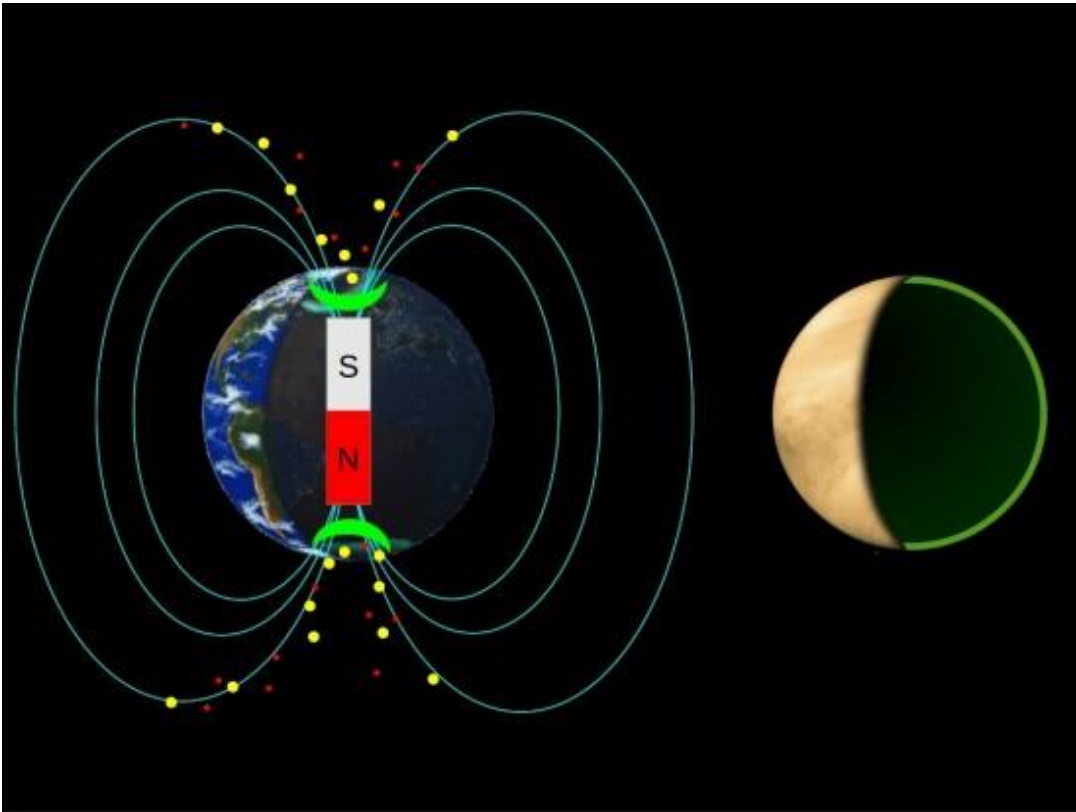
Няма наблюдения, предполага се че не може да възникнат сияния.

по данни от NASA/Messenger

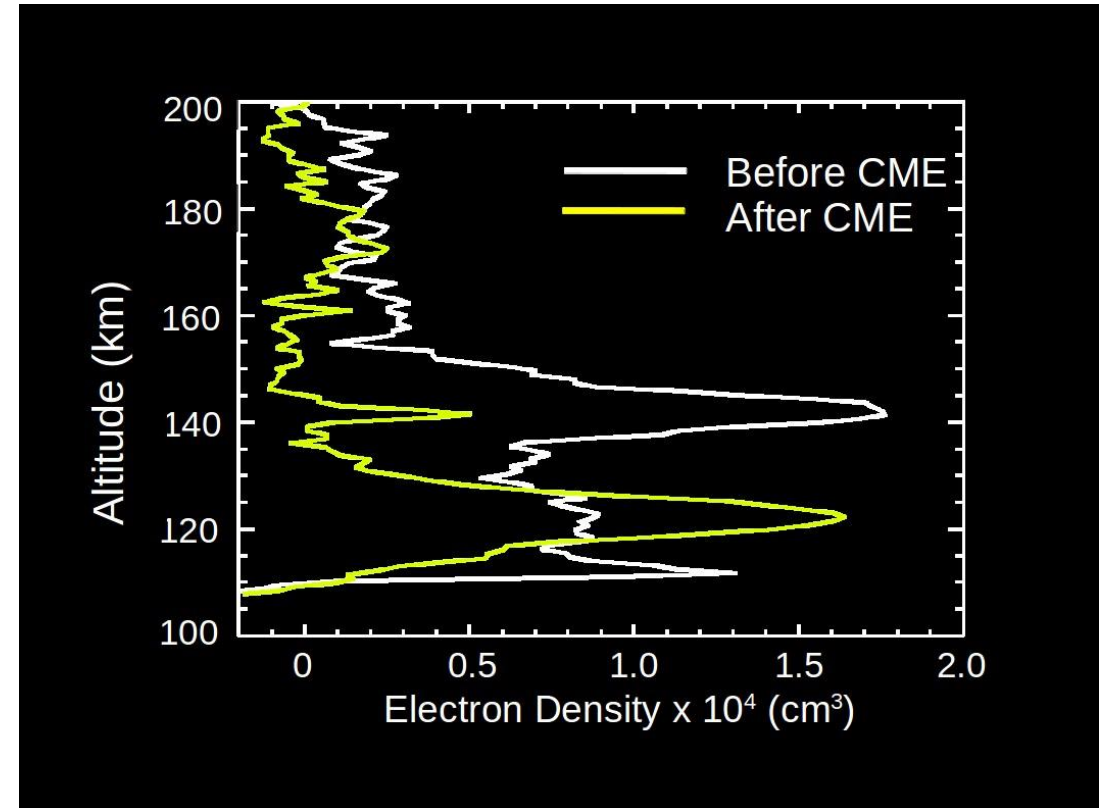
Космическо време: вътрешни планети

Венера – предположения за сияния

- Има атмосфера (вкл. йоносфера)
- **няма** планетарно магнитно поле



<http://earthsky.org>



DPS press release/C. Gray/New Mexico State University

Космическо време: вътрешни планети

- тънък слой атмосфера
- няма планетарно магнитно поле (само локално, поради намагнитени скали по повърхостта)

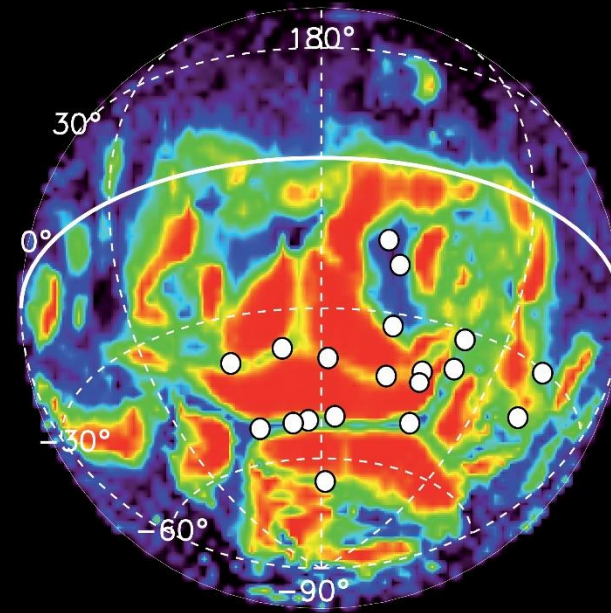
→ MARS' NIGHT-TIME AURORA

Using 10 years of data from Mars Express, scientists have for the first time combined all remote sensing observations of localised ultraviolet aurora with in situ measurements of electrons hitting the atmosphere, finding these rare light emissions only occur under special magnetic field conditions.

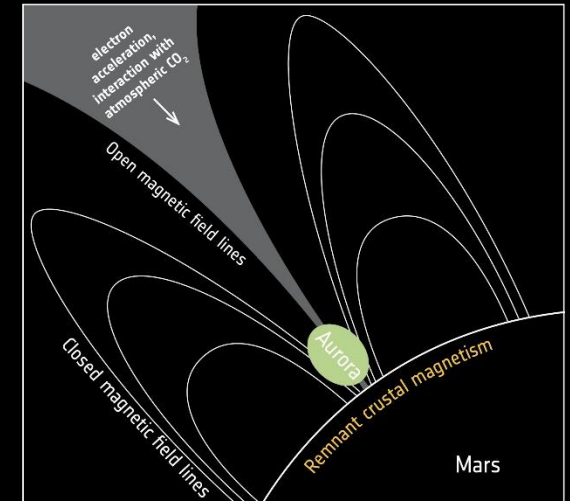
Locations of the 19 auroral detections (white circles) by SPICAM on the Mars nightside in the southern hemisphere, over locations already known to be associated with residual crustal magnetism (centre). The data are superimposed on the magnetic field line structure (from NASA's Mars Global Surveyor), where red indicates closed magnetic field lines, grading through yellow, green and blue to open field lines in purple.

The auroral emissions are very short-lived, they are not seen to repeat in the same locations, and only occur near the boundary between open and closed magnetic field lines (also visualised top right).

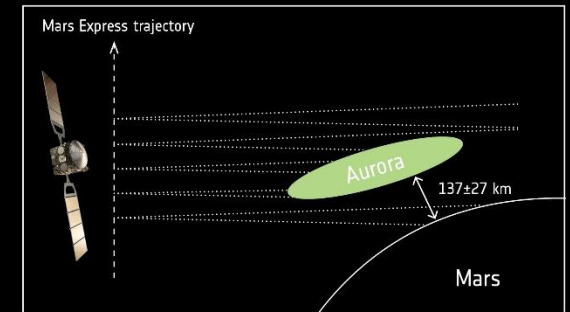
SPICAM limb observations enabled the altitude of some of the auroral events to be determined as 137 ± 27 km (bottom right).



→ Magnetic field structure near Mars aurora

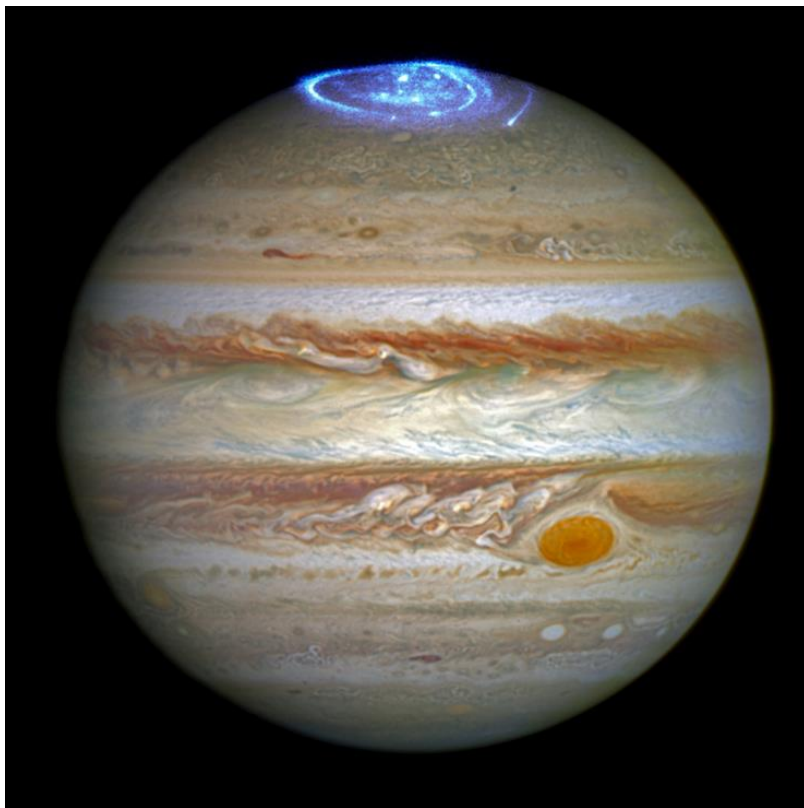


→ Measuring aurora altitude



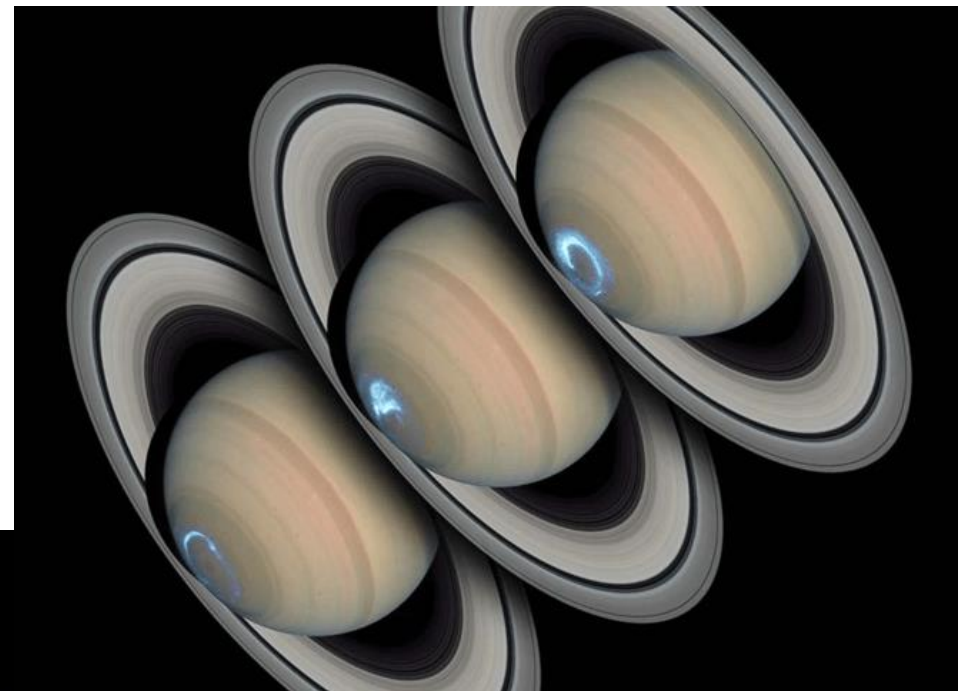
Космическо време: външни планети

Юпитер



NASA/ESA/Hubble

Сатурн



NASA/ESA/Hubble

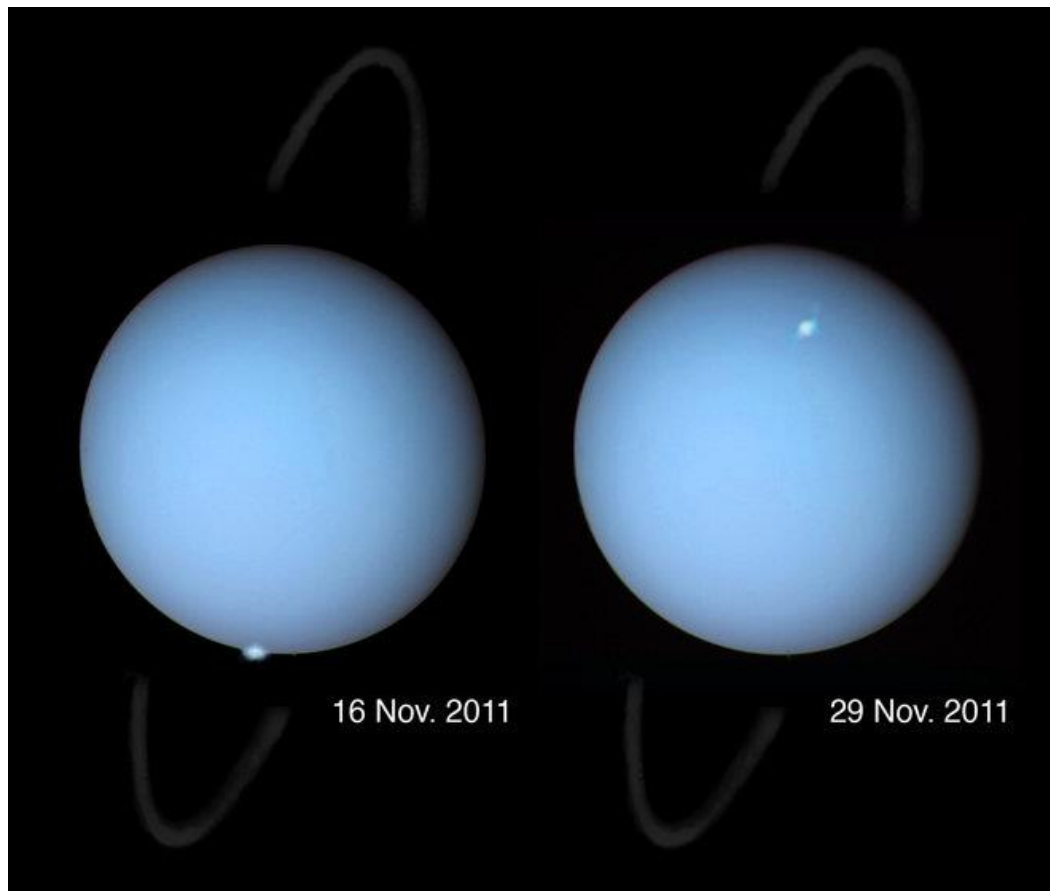
Юпитер



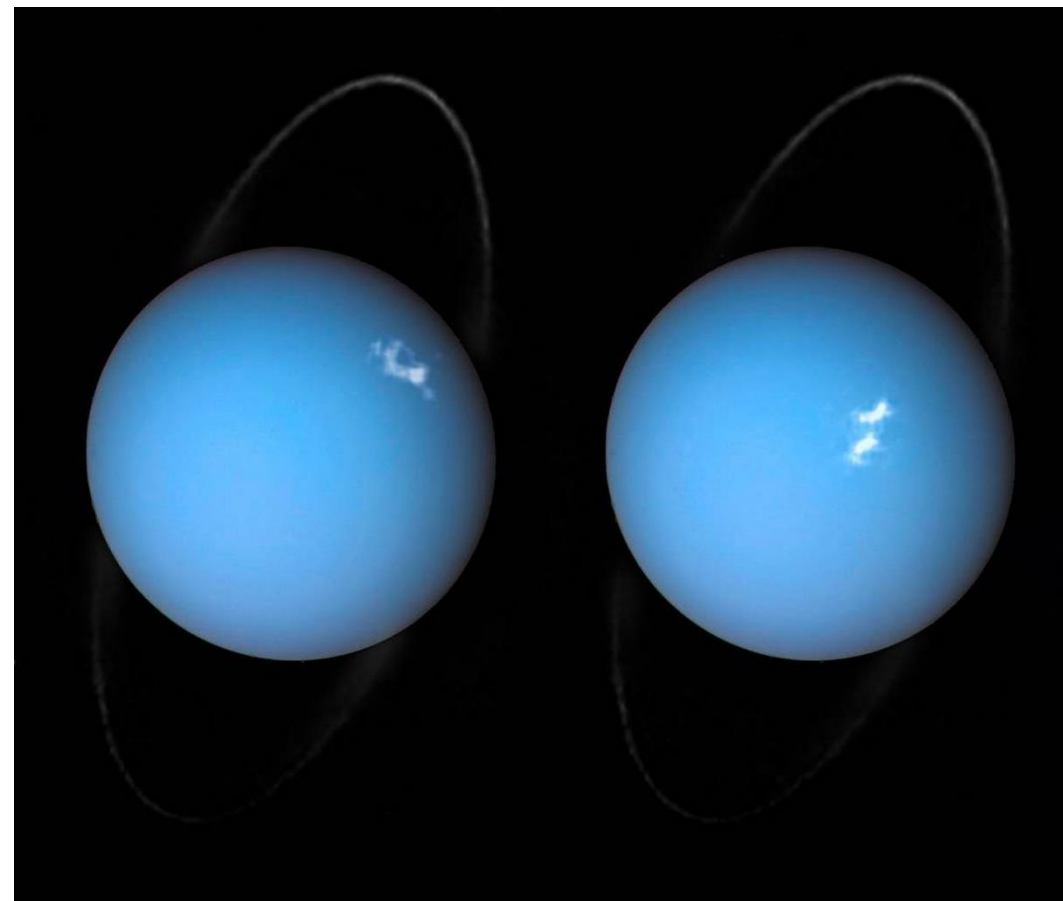
NASA/ESA/Hubble/J. Clarke

Космическо време: външни планети

Уран



NASA/ESA/Hubble
Laurent Lamy

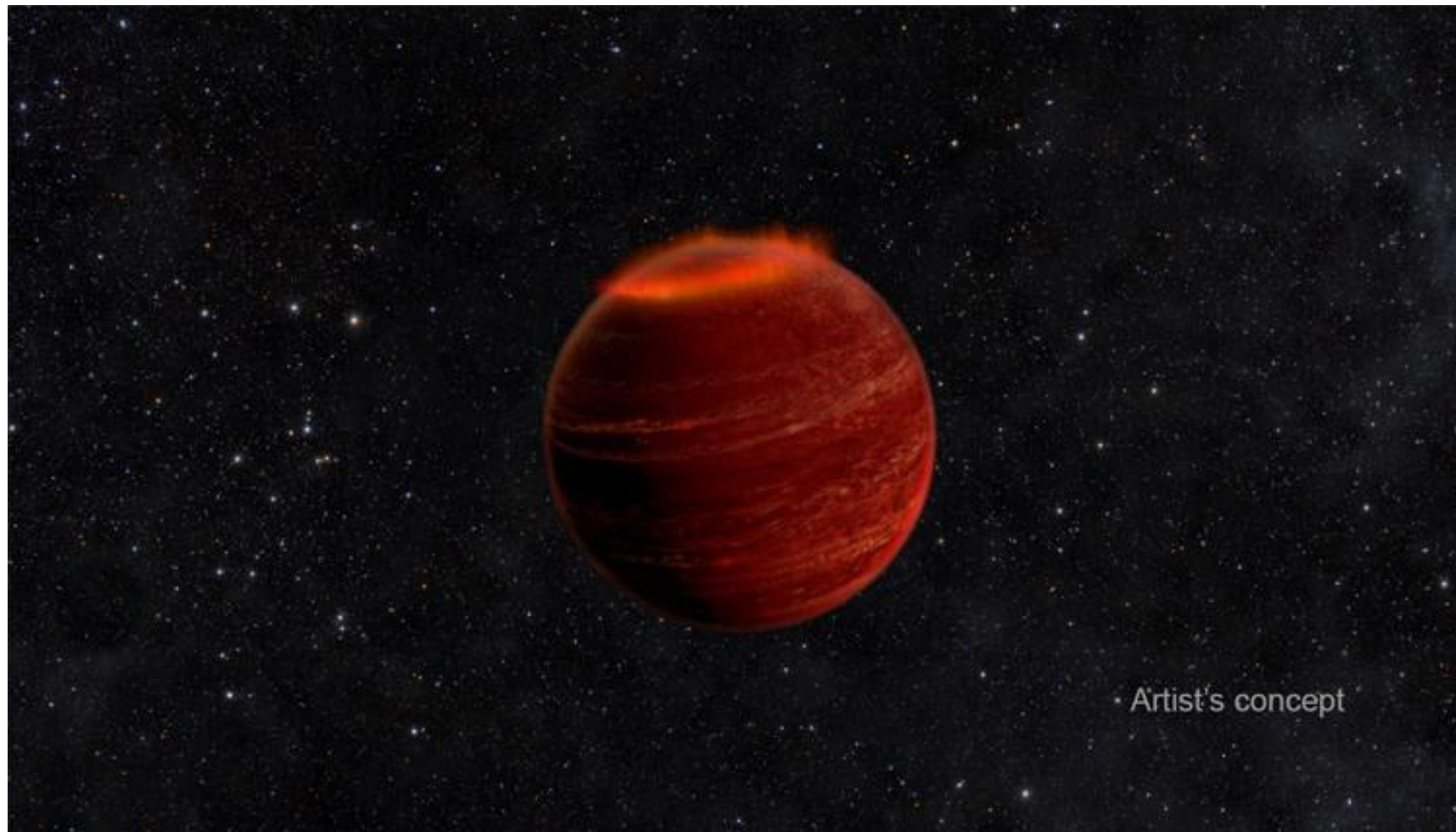


NASA/ESA/Hubble
Voyager 2

2012 & 2014

Космическо време: екзопланети

Кафяво джудже с червено сияние



**Възможност за нов
метод за търсене на
екзопланети с
атмосфера?**

Chuck Carter & Gregg Hallinan

Hallinan et al. (2015) Nature

<http://www.nature.com/nature/journal/v523/n7562/full/nature14619.html>

Космическо време: мултидисциплинарна област

Слънчева физика

Науки за Земята

- магнитосфера
- атмосфера
- климат

Инженерни науки

- спътници и приборостроене
- наземни системи

Слънчева система

Космически изследвания

Екзопланети

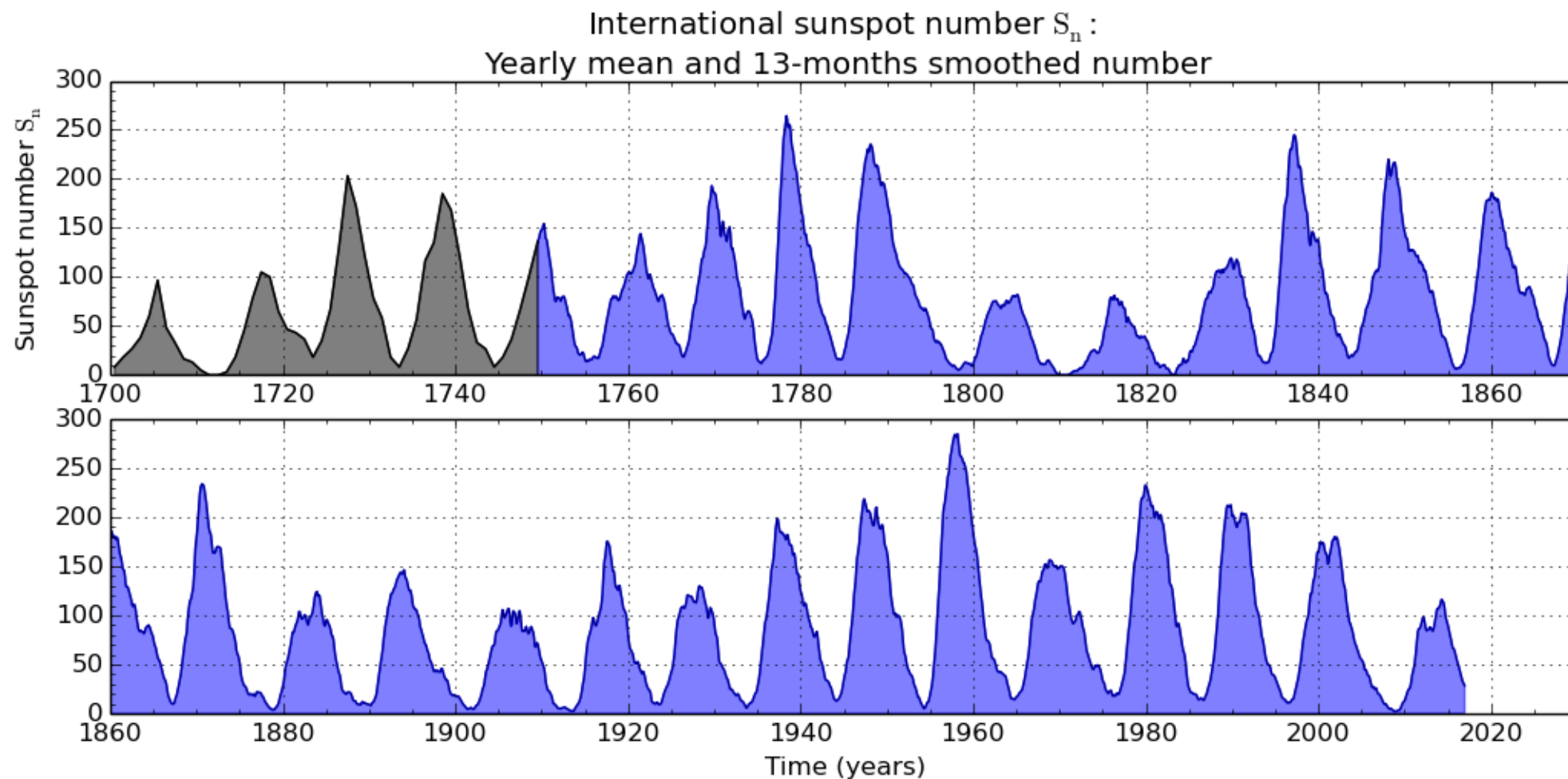
Европейски форум



<http://www.stce.be/esww14/>

Европейска седмица по
космическо време
Белгия
14-то издание през 2017

Космически климат: дългосрочни въздействия



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2017 July 5

Необходими са дългосрочни редици от наблюдателни данни
за температурата на земната повърхност и океани,
слънчево греење и активност и др.

Космически климат: дългосрочни въздействия

Haigh, Liv. Rev. Solar Physics (2007)

“Radiation from the Sun – the only energy source for the Earth’s atmosphere and changes in solar activity clearly have the potential to affect climate.

There is **statistical evidence for solar influence** on various meteorological parameters on all timescales, although **extracting the signal from the noise** in a naturally highly variable system **remains a key problem**.

Changes in total solar irradiance undoubtedly impact the Earth’s energy balance but uncertainties in the historical record of TSI mean that the magnitude of even this direct influence is not well known.

Variations in solar UV radiation impact the thermal structure and composition of the middle atmosphere but details of the responses in both temperature and ozone concentrations are not well established.

Various theories are now being developed for coupling mechanisms whereby direct solar impacts on the middle atmosphere might influence the troposphere but **the influences are complex and non-linear** and **many questions remain** concerning the detailed mechanisms which determine to what extent, where and when the solar influence is felt.

Variations in cosmic radiation, modulated by solar activity, are manifest in changes in atmospheric ionization but it is not yet clear whether these have the potential to significantly affect the atmosphere in a way that will impact climate.”



10th Международна конференция

Слънчеви въздействия върху магнитосферата, йоносферата и атмосферата

<http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

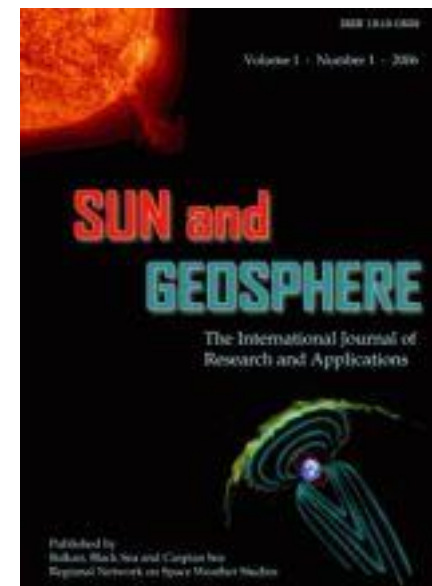
май–юни 2018, България

организатори: Секция „Космически климат“ (ИКИТ-БАН)

www.space.bas.bg

Теми

- ✓ Слънце и слънчева активност
- ✓ Слънчев вятър–магнитосфера–йоносфера
- ✓ Слънчеви въздействия върху ниската атмосфера и климата
- ✓ Слънчеви въздействия върху биосферата
- ✓ Инструменти за наблюдение на космическо време
- ✓ Обработка на данни и модели



Научни публикации на теми от
космическо време (англ.):

<http://sungeosphere.org/>