

Екстремални слънчеви събития: от векови минимуми до супербури

д-р Росица Митева

rmiteva@space.bas.bg

Секция „Космически климат“



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

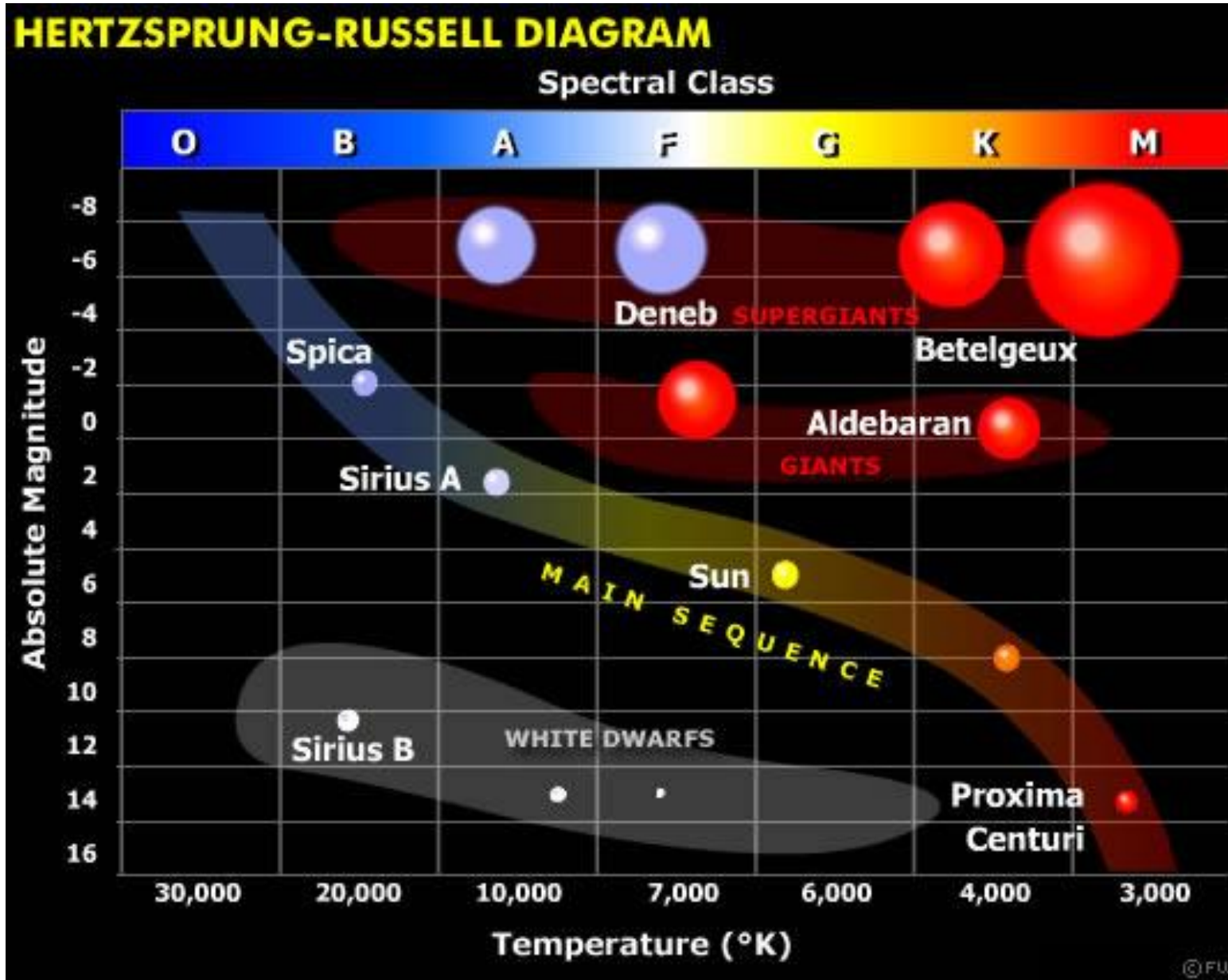
София 1113, ул. „Акад. Георги Бончев“ бл. 1, тел./факс +359 2 988 35 03, e-mail: office@space.bas.bg

24-та юлска лектория, Физически факултет - СУ

5 юли 2018

Ден на астрономията

Слънцето



жълто джудже

1 AU $\approx 1.496 \times 10^8$ km

Радиус: 109 земни

Маса: 333000 земни

Възраст: 4.6 мил. г.

H: 73%; He: 25%

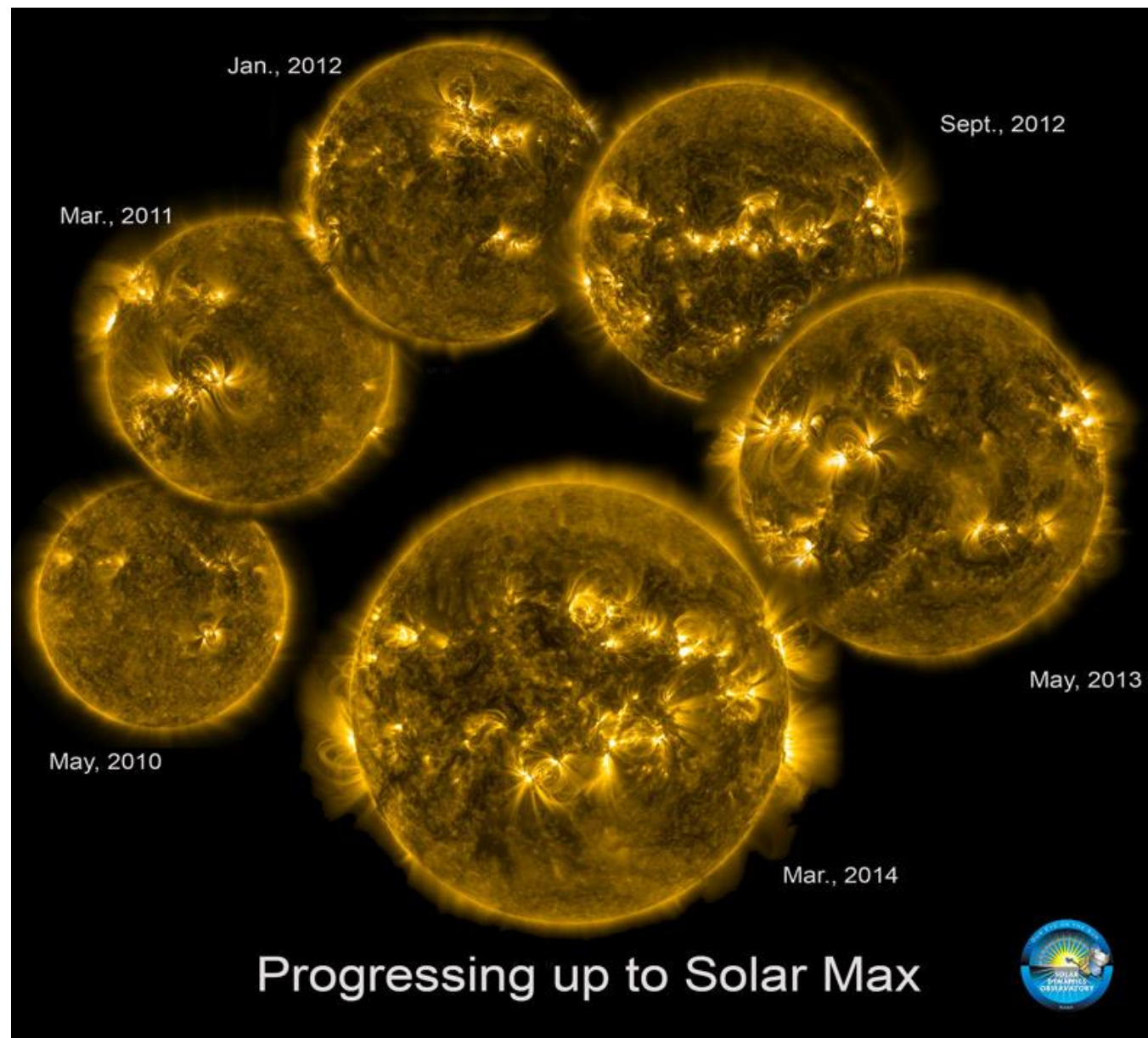
min



max



Слънчева активност



1. Слънчева активност: индекси и събития

Слънчеви петна

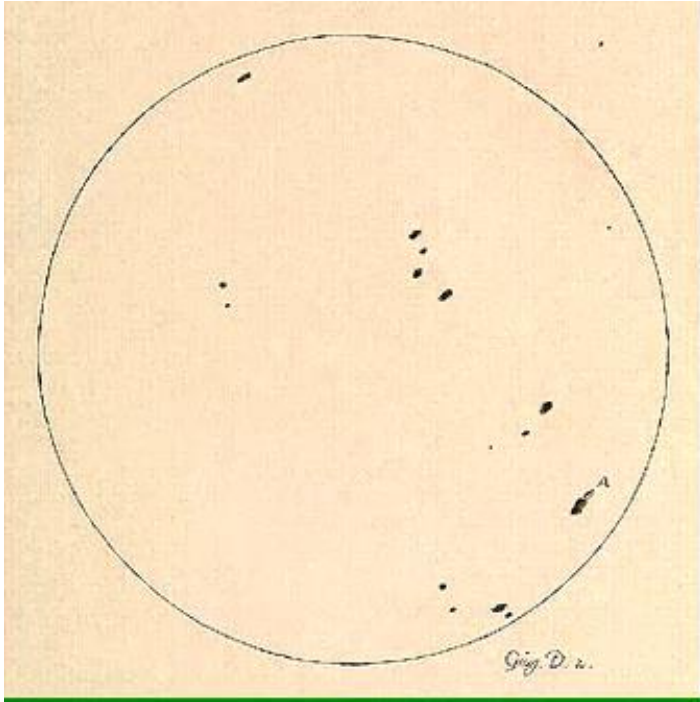
Слънчеви избухвания

Коронално изхвърляне на маса

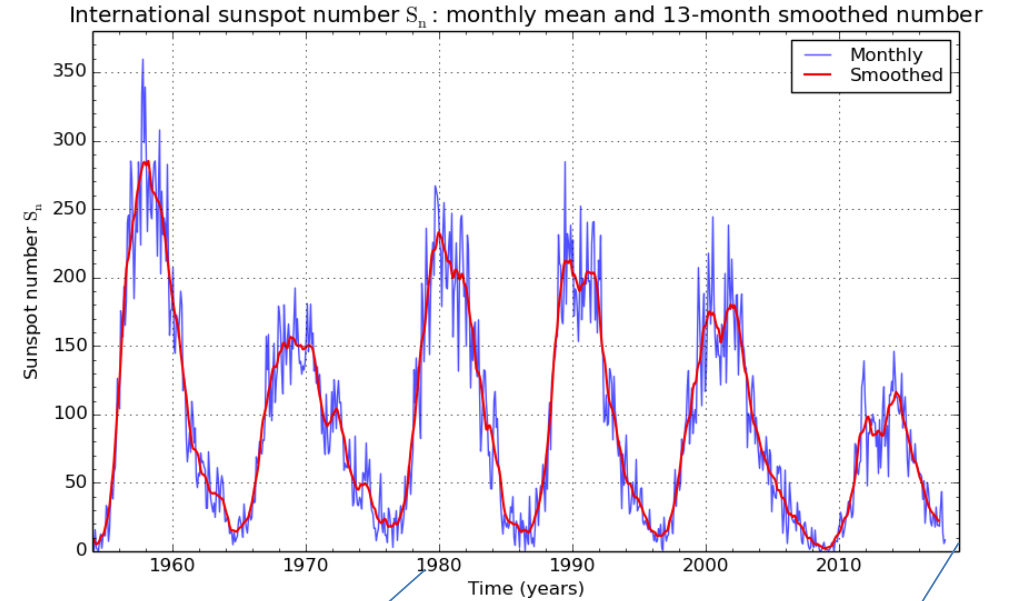
Потоци слънчев вятър

Слънчеви енергетични частици

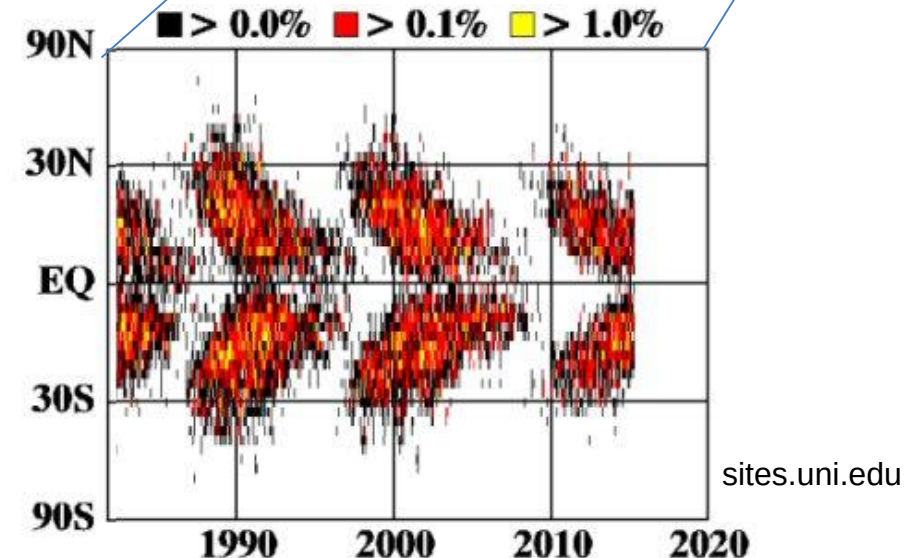
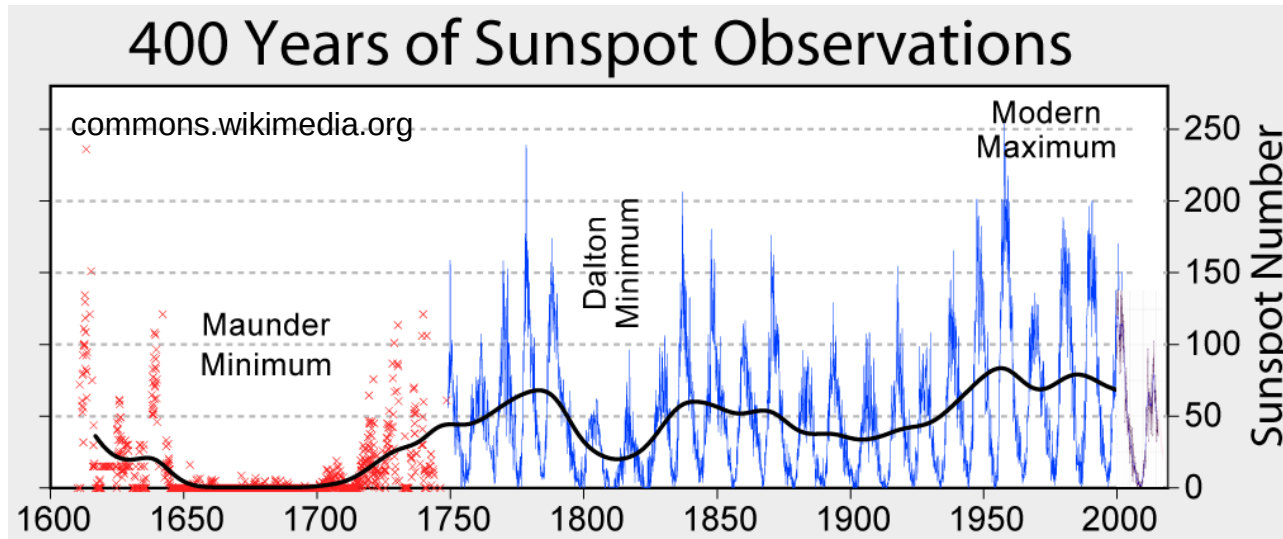
1a Видове слънчева активност: Слънчеви петна



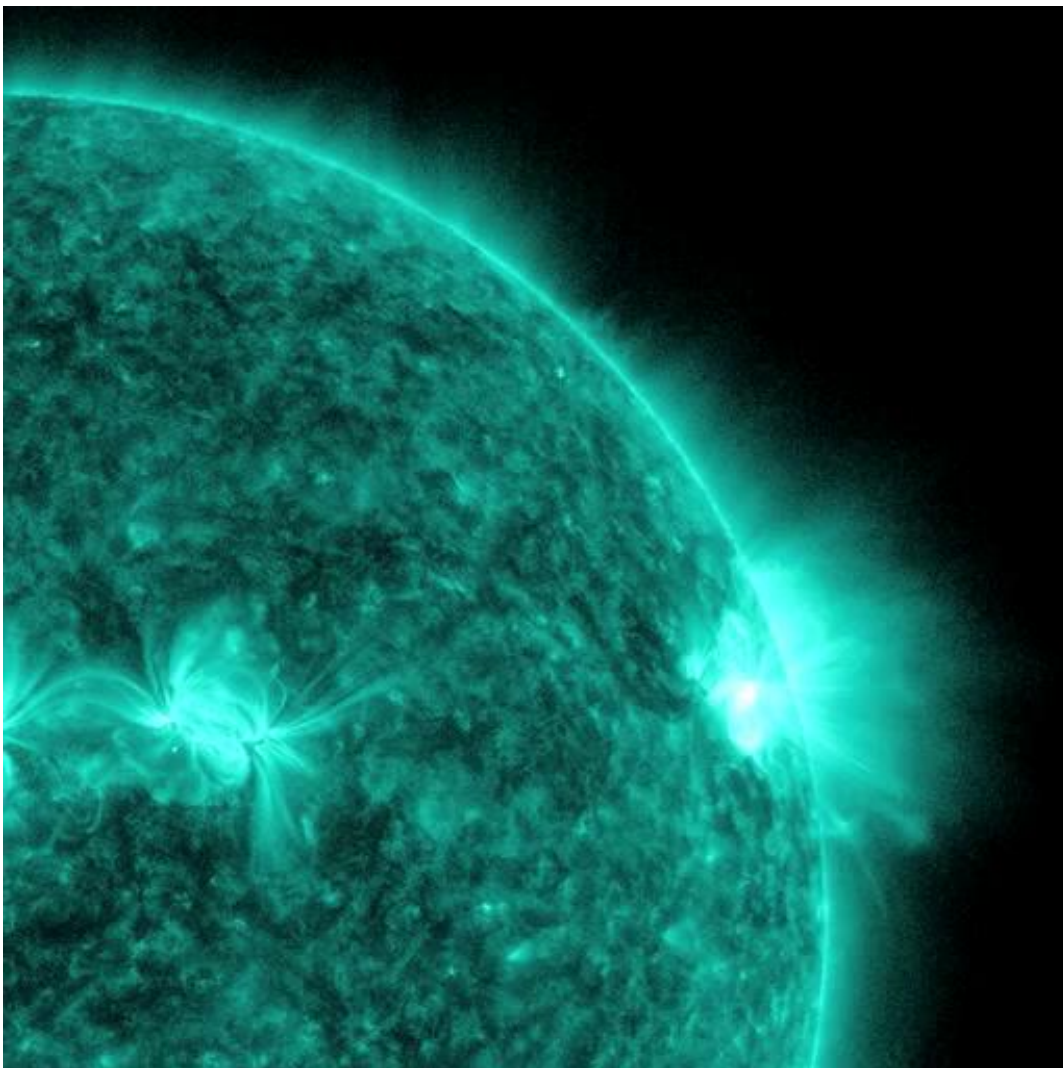
Галилей, 23-06-1613
http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html



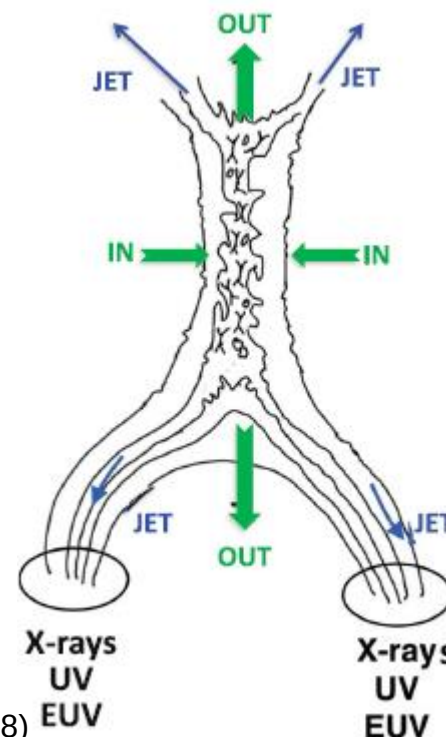
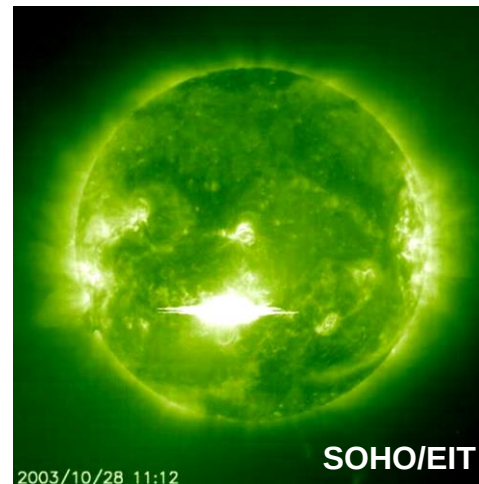
SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2018 January 1



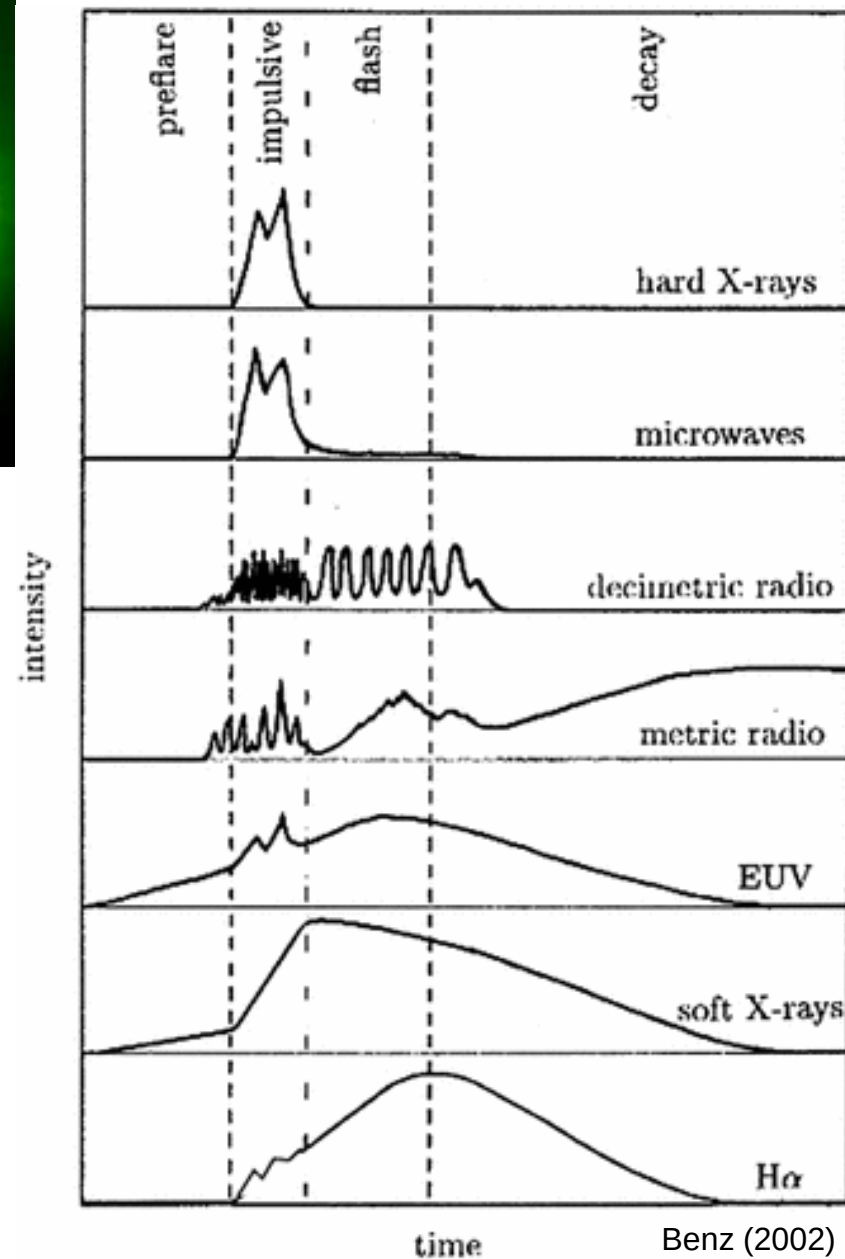
16 Видове слънчева активност: Слънчеви избухвания



SDO 131 Å <https://sdo.gsfc.nasa.gov/gallery/main/item/95>



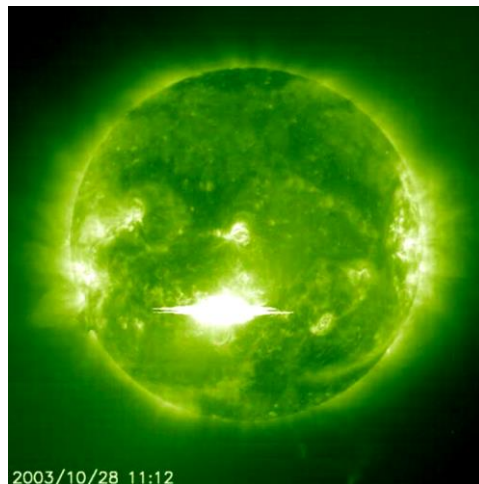
Cairns et al. (2018)
www.nature.com/scientificreports



Benz (2002)

Слънчеви избухвания

Светлина в различни дължини на вълната

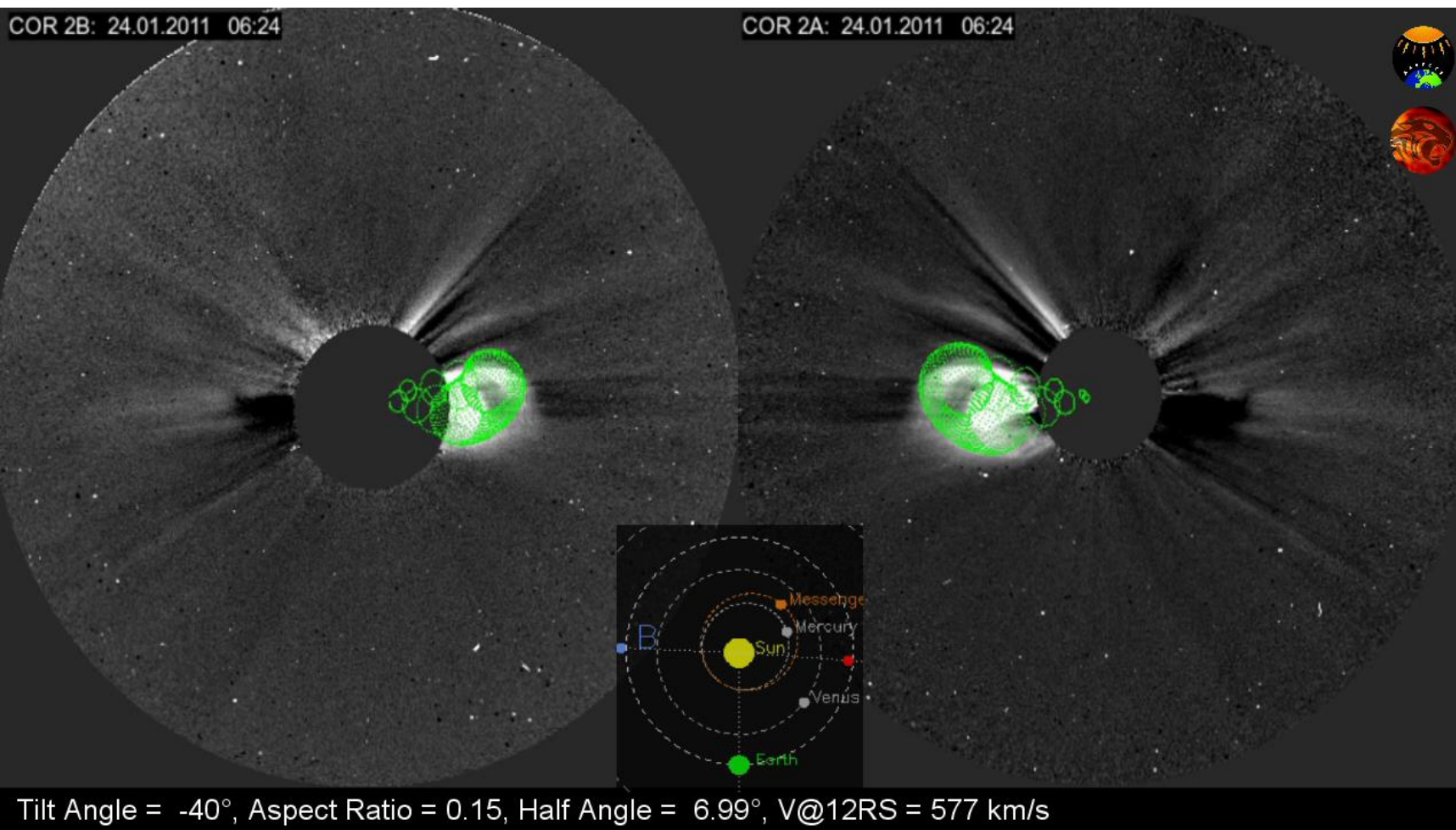


2003/10/28 11:12

минути

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

1в Видове слънчева активност: Коронално изхвърляне на маса



Коронално изхвърляне на маса

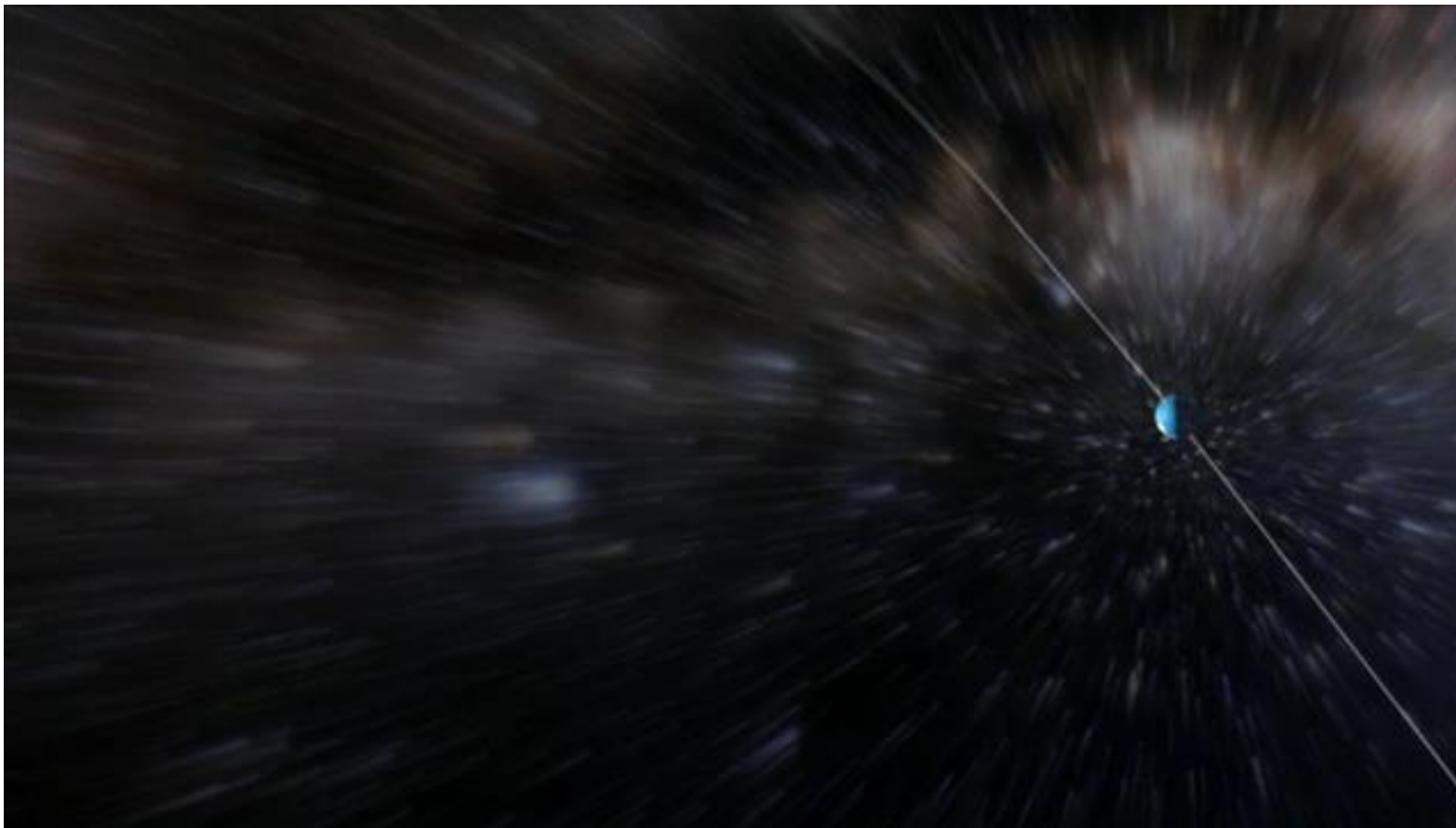
1 до 3 дни

- причиняват геомагнитни бури:
йоносферните 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

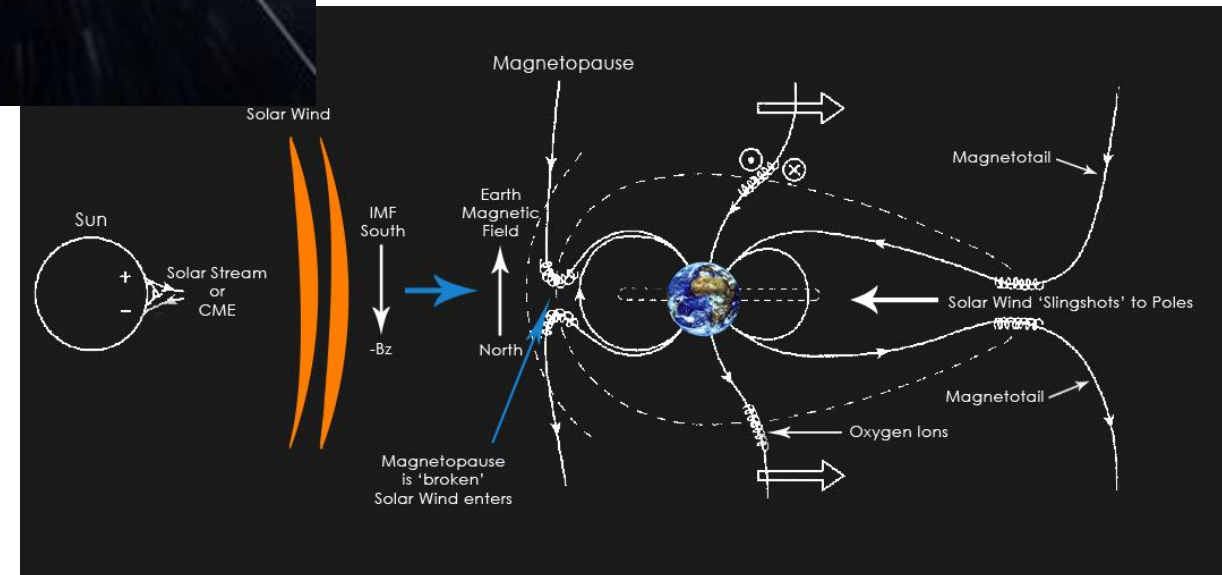


Геомагнитна буря

намаляване на хоризонталната
компонента на геомагнитното
поле



forskning.no
Department of Physics, University of Oslo



<http://www.natalia-robba.com/myblog/wp-content/magnetosphere.jpg>

Геомагнитна буря: класификация

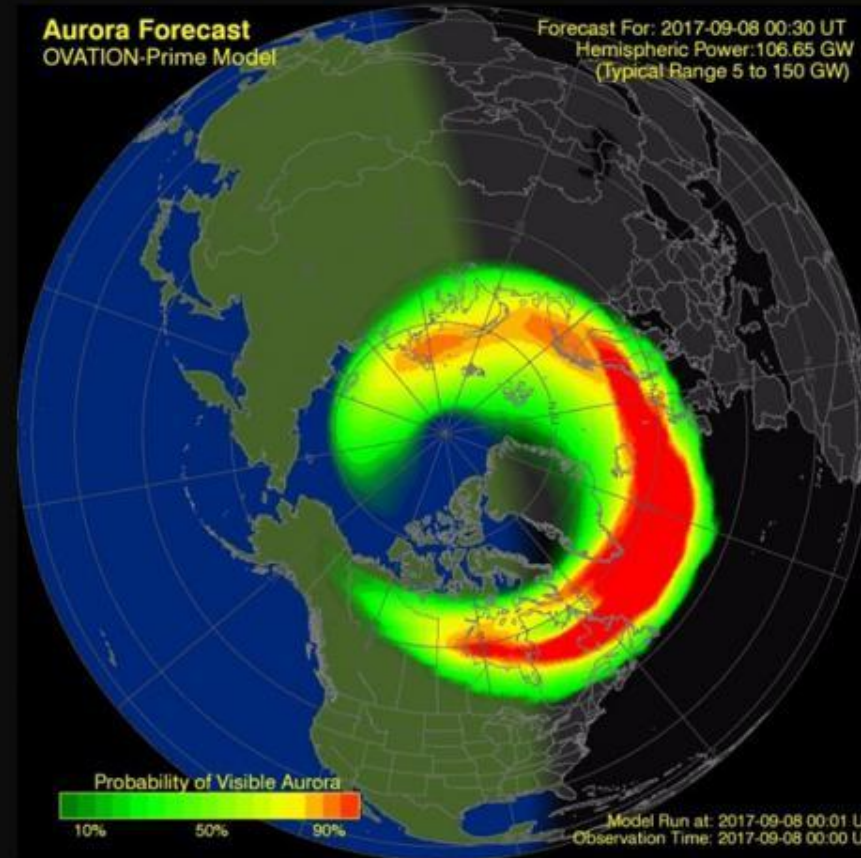
<https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>

Category		Effect	Physical measure	Average Frequency (1 cycle = 11 years)
Geomagnetic Storms			Kp values* (every 3 hours)	Number of storm events; (number of storm days)
G 5	Extreme	<u>Power systems</u> : widespread voltage control problems and protective system problems can occur, some grid systems may experience complete collapse or blackouts. Transformers may experience damage. <u>Spacecraft operations</u> : may experience extensive surface charging, problems with orientation, uplink/downlink and tracking satellites. <u>Other systems</u> : pipeline currents can reach hundreds of amps, HF (high frequency) radio propagation may be impossible in many areas for one to two days, satellite navigation may be degraded for days, low-frequency radio navigation can be out for hours, and aurora has been seen as low as Florida and southern Texas (typically 40° geomagnetic lat.).	Kp=9	4 per cycle (4 days per cycle)
G 4	Severe	<u>Power systems</u> : possible widespread voltage control problems and some protective systems will mistakenly trip out key assets from the grid. <u>Spacecraft operations</u> : may experience surface charging and tracking problems, corrections may be needed for orientation problems. <u>Other systems</u> : induced pipeline currents affect preventive measures, HF radio propagation sporadic, satellite navigation degraded for hours, low-frequency radio navigation disrupted, and aurora has been seen as low as Alabama and northern California (typically 45° geomagnetic lat.).	Kp=8	100 per cycle (60 days per cycle)
G 3	Strong	<u>Power systems</u> : voltage corrections may be required, false alarms triggered on some protection devices. <u>Spacecraft operations</u> : surface charging may occur on satellite components, drag may increase on low-Earth-orbit satellites, and corrections may be needed for orientation problems. <u>Other systems</u> : intermittent satellite navigation and low-frequency radio navigation problems may occur, HF radio may be intermittent, and aurora has been seen as low as Illinois and Oregon (typically 50° geomagnetic lat.).	Kp=7	200 per cycle (130 days per cycle)
G 2	Moderate	<u>Power systems</u> : high-latitude power systems may experience voltage alarms, long-duration storms may cause transformer damage. <u>Spacecraft operations</u> : corrective actions to orientation may be required by ground control; possible changes in drag affect orbit predictions. <u>Other systems</u> : HF radio propagation can fade at higher latitudes, and aurora has been seen as low as New York and Idaho (typically 55° geomagnetic lat.).	Kp=6	600 per cycle (360 days per cycle)
G 1	Minor	<u>Power systems</u> : weak power grid fluctuations can occur. <u>Spacecraft operations</u> : minor impact on satellite operations possible. <u>Other systems</u> : migratory animals are affected at this and higher levels; aurora is commonly visible at high latitudes (northern Michigan and Maine).	Kp=5	1700 per cycle (900 days per cycle)

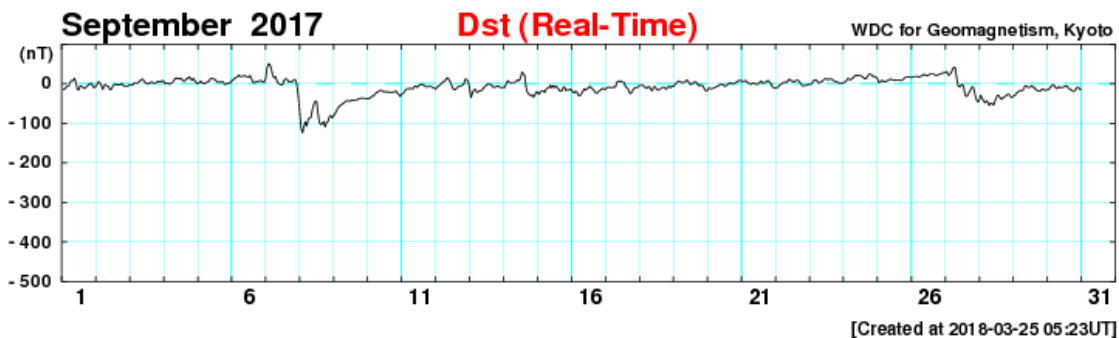
Геомагнитна буря: прогнози

Severe storm conditions met at: 07/2350 UTC

G4



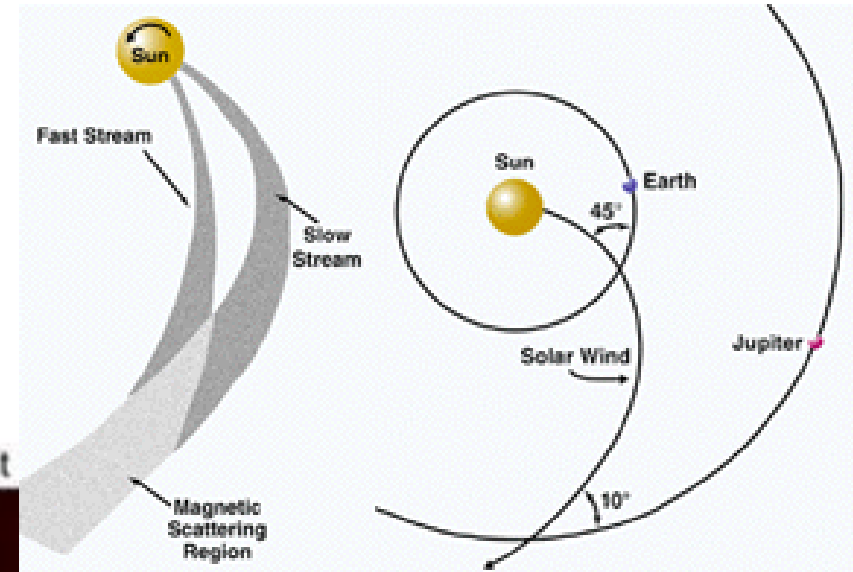
G4



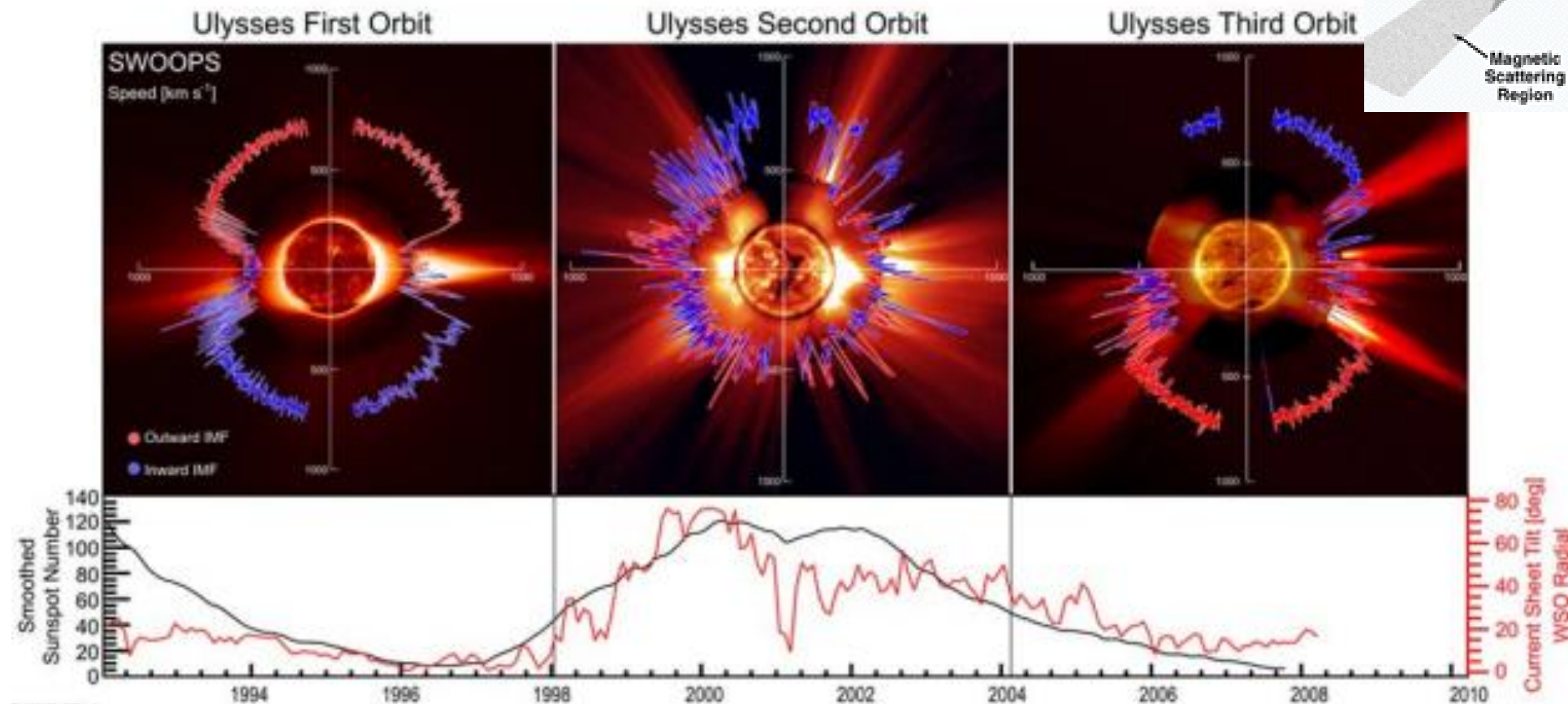
swpc.noaa.gov

Dst = -124 nT (2017-09-08, 02:00)

1г Видове слънчева активност: Потоци слънчев вятър



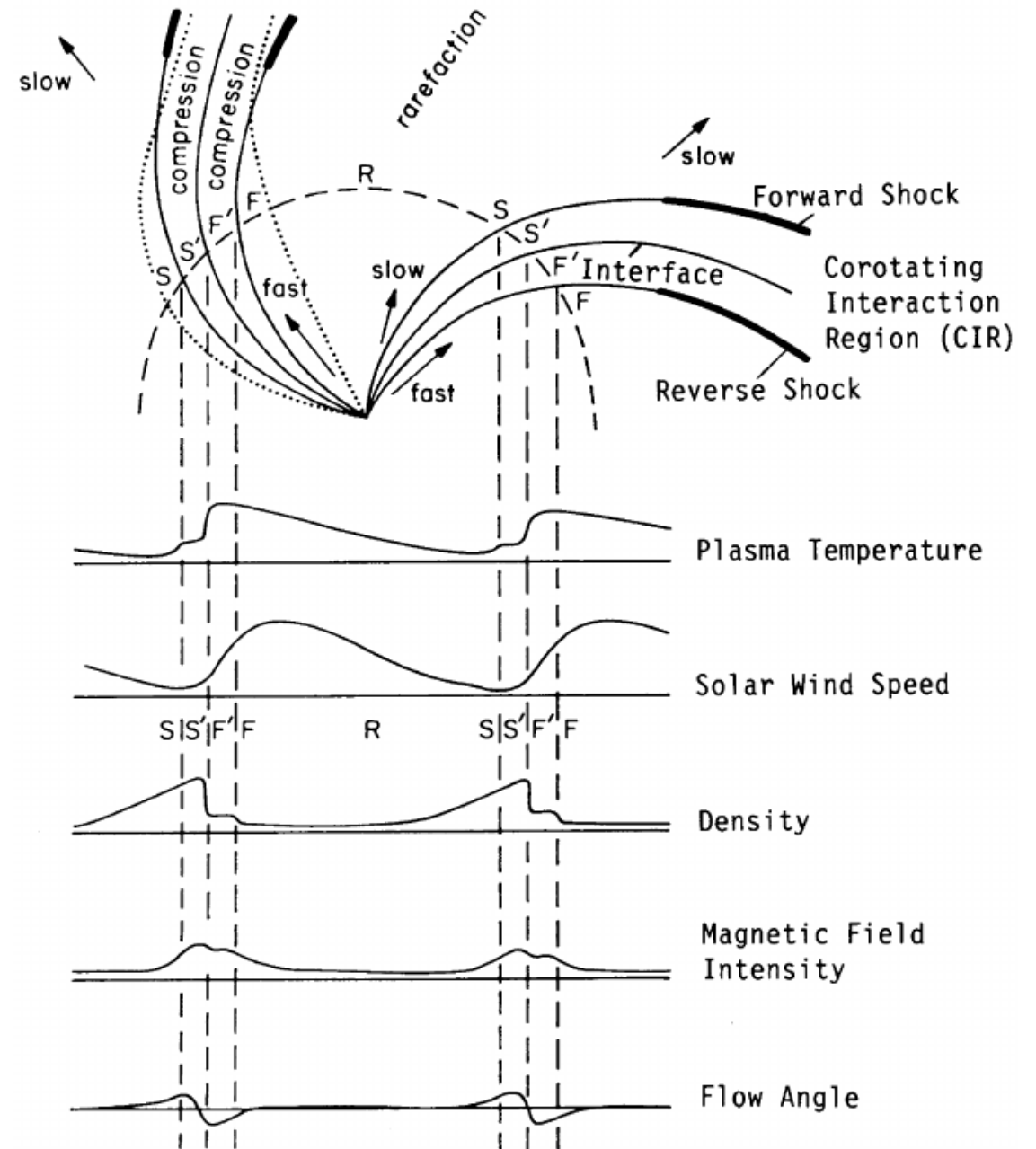
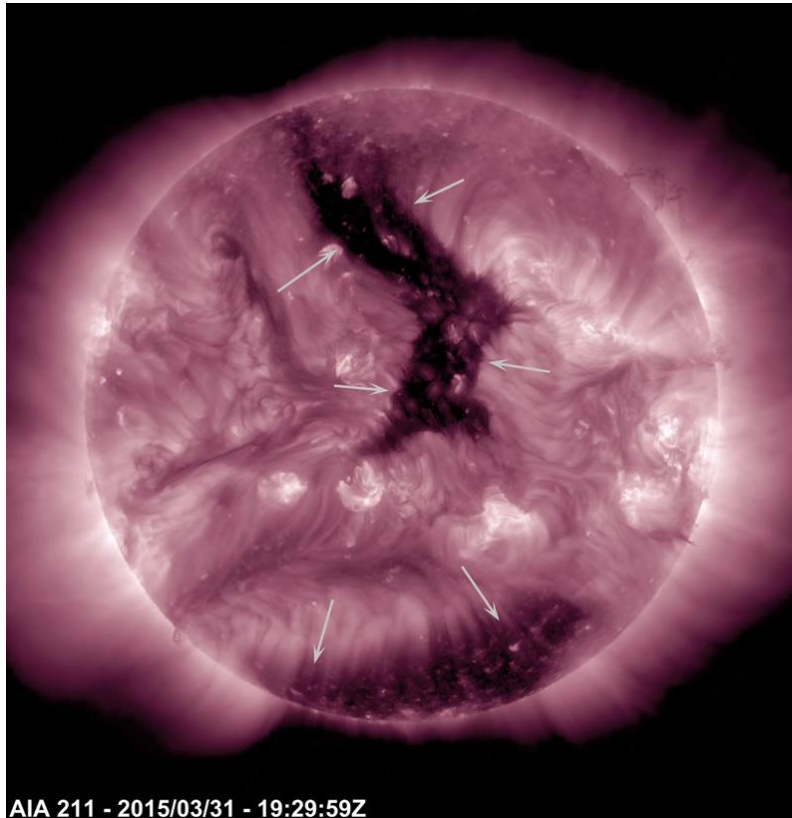
genesmission.jpl.nasa.gov



Потоци слънчев вятър

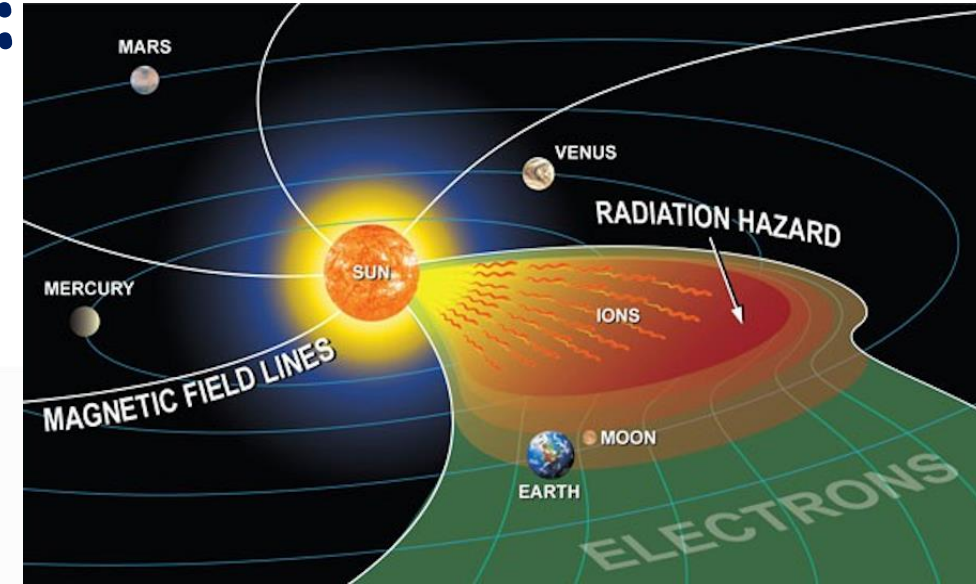
дни - седмици

- Повтарящи се магнитни бури с нисък интензитет, период ~27 дни

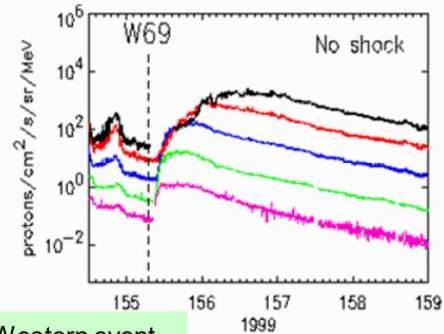


Richardson (2004)

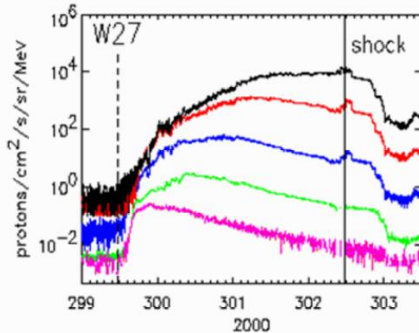
1д Видове слънчева активност: Слънчеви енергетични частици



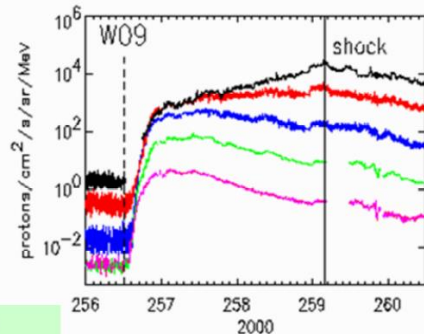
Posner (2009)



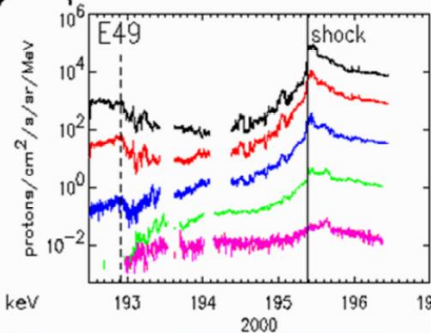
Western event



Central meridian event



195–321 keV
587–1060 keV
1.90–4.80 MeV
4.60–15.0 MeV
15.0–25.0 MeV

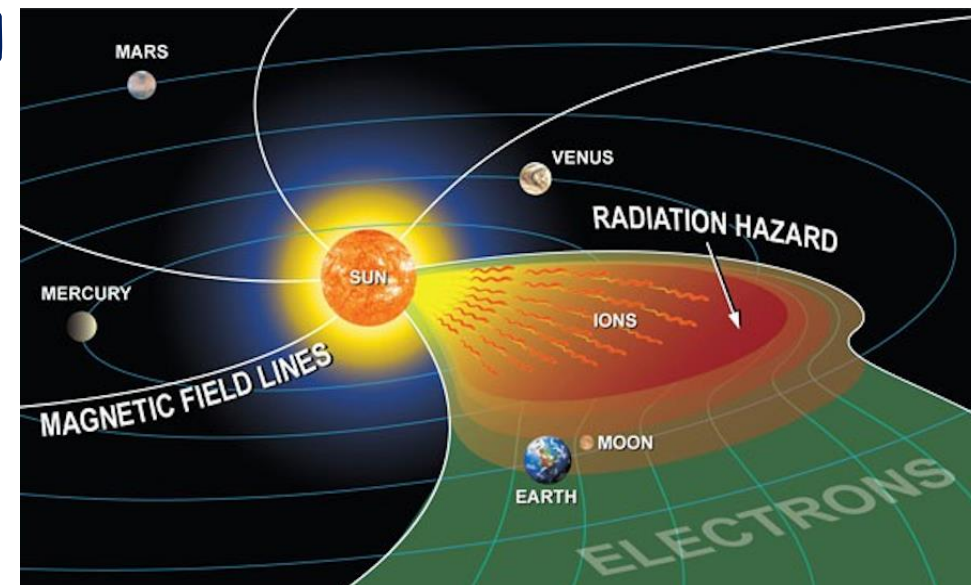


Eastern event

Lario & Simnett (2004)
ACE & IMP-8

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

Слънчеви енергетични частици



минути до часове

➤ 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 NO_x)

➤ електрони: риск за спътника; разряди - води до грешни измервания;
ерозия

(Научен проект)

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



Заглавие на проекта:

Произход на слънчевите енергетични частици:
слънчеви избухвания или коронални изнасяния на маса

**Конкурс за проекти по програми за двустранно сътрудничество 2016 г. –
България–Русия**

Продължителност: 2 години
Начало: 23 Юни 2017

Ръководител (България): Росица Митева
Ръководител (Русия): Лариса Кашапова

Цели

Основната цел на проекта е определяне на приноса на слънчевите избухвания и короналните изнасяния на маса към потока слънчеви енергетични частици.

Ще проверим три работни хипотези: ускорението на всички частици се дължи на един основен процес (избухване или изнасяне на маса); и двата типа ускорителни процеса оказват влияние, което се променя при различните явления; инжектирането и преносните ефекти са доминиращите фактори, които определят профила на енергетичните частици, в сравнение с процесите на ускорение.

Обширни статистически проучвания ще бъдат допълнени от подробни изследвания на явленията (използвайки данни от руските спътници "Vernov" и CORONAS-F SONG, както и наземни наблюдения от Националната астрономическа обсерватория Рожен, България).



© SRTI-BAS 2018 Last modified 27-11-2017



Проектът е подкрепен от:

Руската фондация за фундаментални изследвания



2. Слънчева активност: вариации и крайности

Слънчеви петна - цикли, велики минимуми и максимуми

Избрани примери

Слънчеви избухвания

Коронално изхвърляне на маса

Геомагнитна активност

Слънчеви енергетични частици

Наблюдения на слънчевата (магнитна) активност

Индекси

Физически

поток в някоя дължина на вълната (F10.7 cm; Fe XIV/530 nm);
площ на сл. петно;
слънчева светимост...

Синтетични

брой слънчеви петна;
flare index (в H α);
геомагнитни;
хелиосферни (интензитет на галактичните лъчи);
сияния;
изотопи...

Наблюдения на слънчевата (магнитна) активност

... нестационарни, неравновесни, еруптивни процеси

Слънчеви петна ~1610 (най-дълга серия от наземни наблюдения, а след 1876 има фотографски изображения)

Слънчеви избухвания ~1970 (наземни и спътникови)

Коронална маса ~1996 (спътникови)

Геомагнитни смущения ~1830 (наземни)

Енергетични частици ~1950 наземни: GLE и ~1976 спътникови

Цикли на слънчевата активност

Години

11 - Schwabe (брой петна)

22 - Hale
(смяна на магнитна полярност)

векови: 60-120 (90) - Gleissberg
(модулация)

≈210 - Suess/de Vries (изотопи)

хилядолетен?: 600-700 до 1000-1200 - Eddy (непостоянна цикличност)

≈2400 - Hallstatt (изотопи)

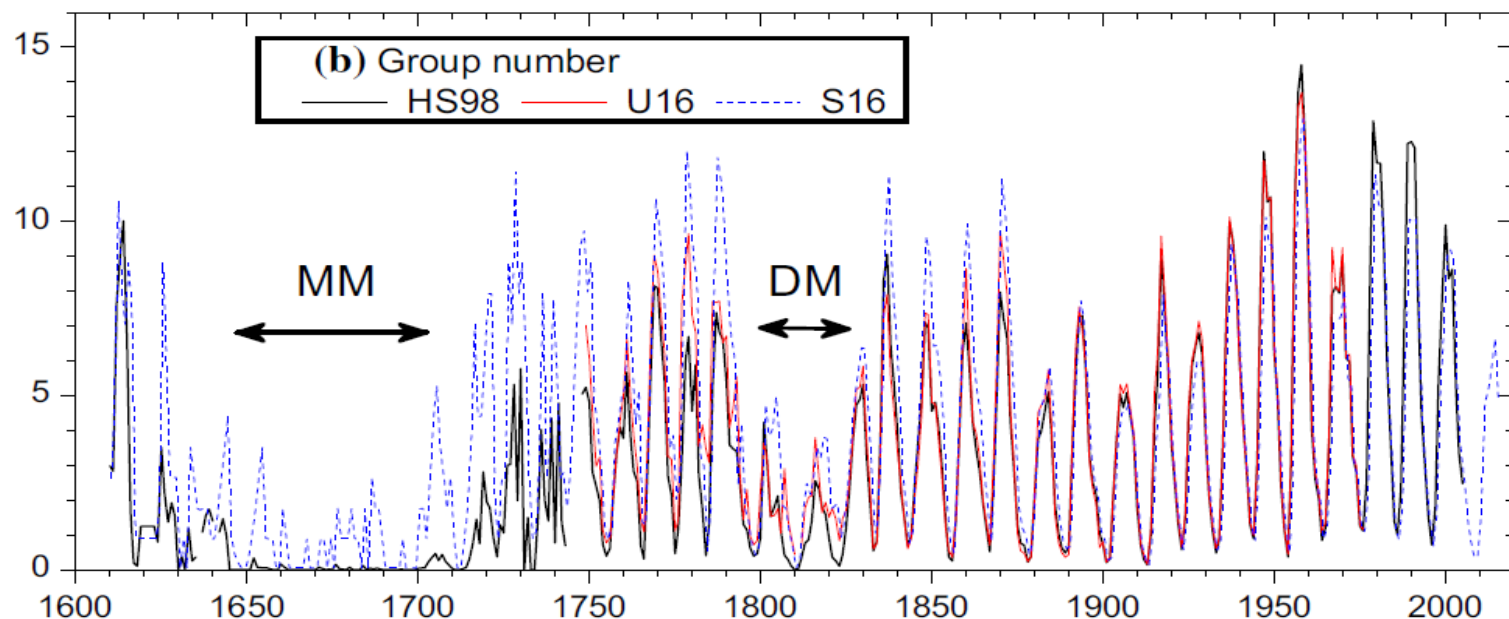


Fig. 1 Annual sunspot activity for the last centuries. **a** International sunspot number series versions 1 and 2 (the latter is scaled with a 0.6 factor, see SILSO, <http://sidc.be/silso/datafiles>). **b** Number of sunspot groups: HS98—(Hoyt and Schatten 1998); U16—(Usoskin et al. 2016b); S16—(Svalgaard and Schatten 2016). Standard (Zürich) cycle numbering is shown between the panels. Approximate dates of the Maunder minimum (MM) and Dalton minimum (DM) are shown in the *lower panel*

Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

Реконструкция на слънчевата активност

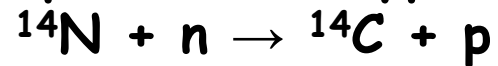
Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

ИЗОТОПИ

^{14}C

Хронология по пръстени на дървета,
(седименти, лунни скали или
метеорити)

време на полуразпад: 5730 години



^{10}Be

Сондажи в ледени масиви
(Антарктика и Гренландия)

време на полуразпад:

1.5 мил. години

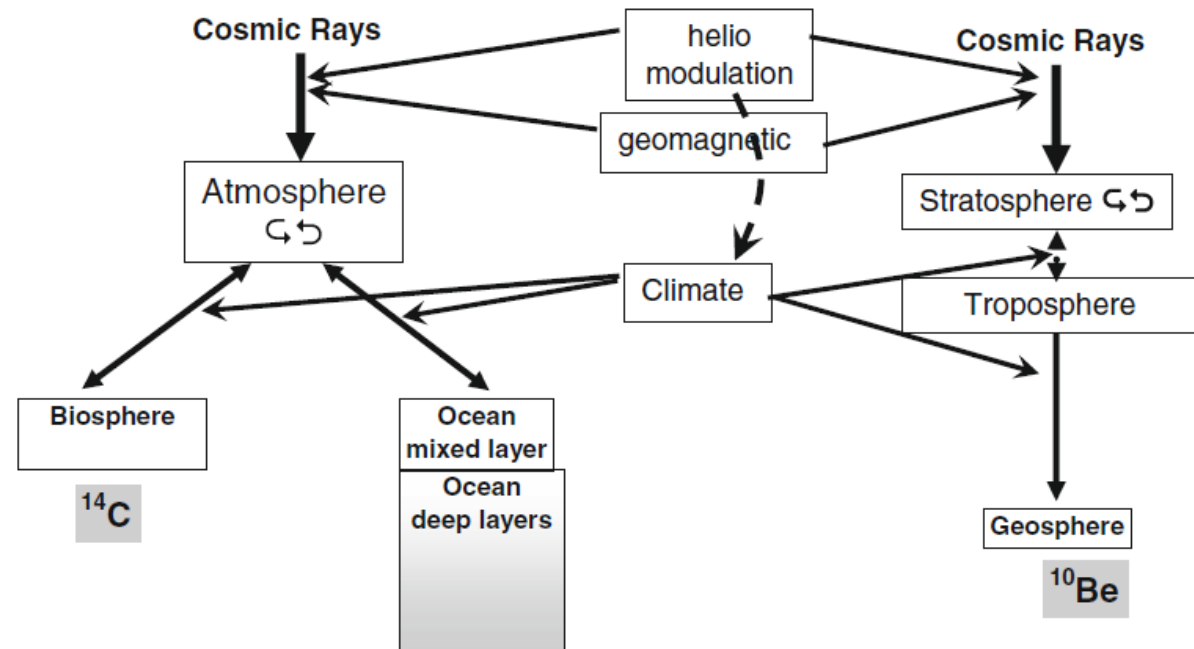


Fig. 7 Schematic representation of ^{14}C (left) and ^{10}Be (right) production chains. The flux of cosmic rays impinging on the Earth is affected by both heliospheric modulation and geomagnetic field changes. The climate may affect the redistribution of the isotopes between different reservoirs. *Dashed line* denotes a possible influence of solar activity on climate

Велики минимуми

Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

Table 2 Conservative list with approximate dates (in –BC/AD) of grand minima in reconstructed solar activity [1—listed in Usoskin et al. (2007); 2—listed in Inceoglu et al. (2015); 3—listed in Usoskin et al. (2016a)]

Center (–BC/AD)	Duration (years)	Comment
1680	80	Maunder ^a
1470	160	Spörer
1310	80	Wolf
1030	80	Oort
690	80	1–3
–360	80	1–3
–750	120	1–3
–1385	70	1–3
–2450	40	2, 3
–2855	90	1–3
...		

Два типа

- кратки (Маундер)
- дълги (Шпйорер)

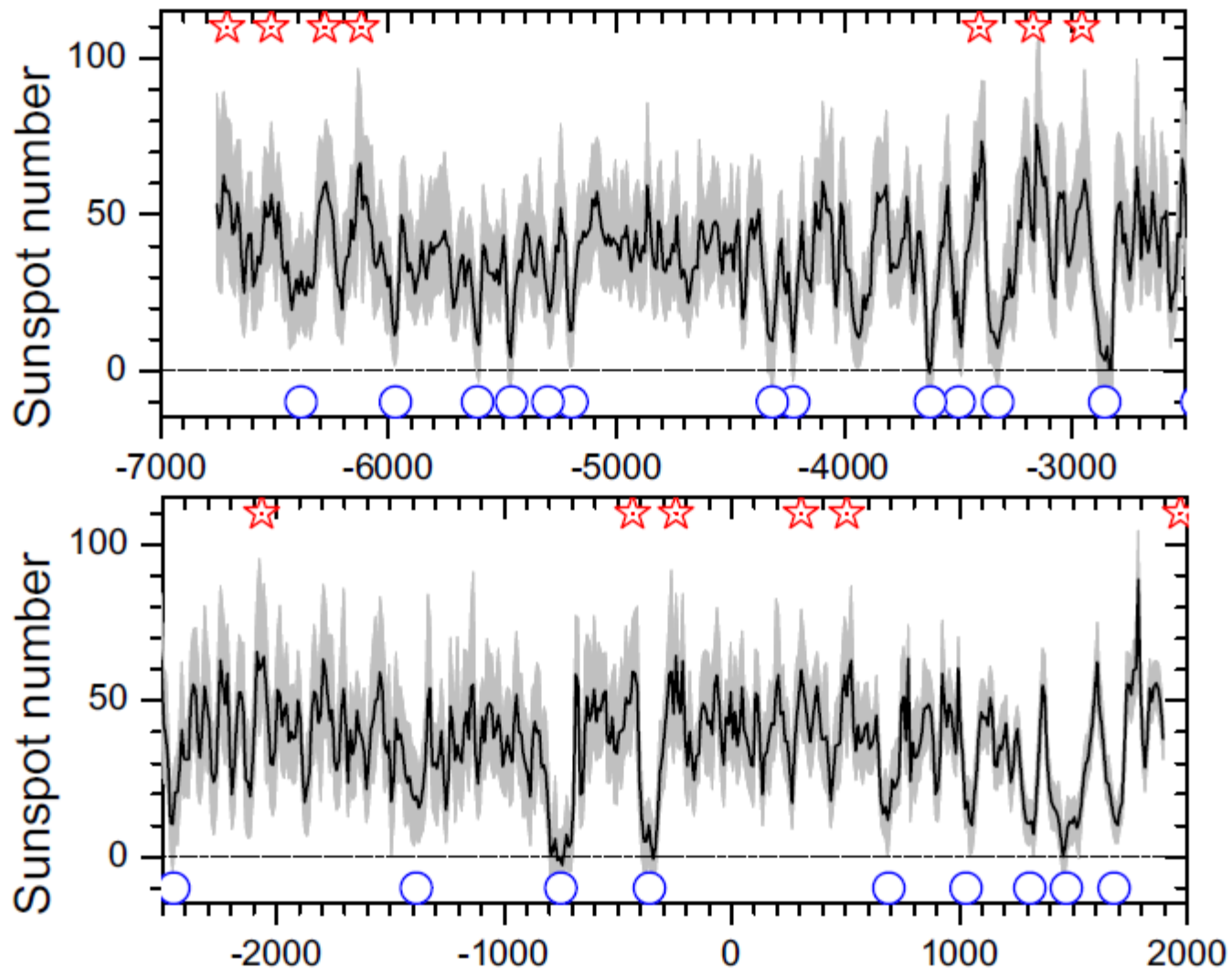
Велики максимуми

Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

Table 3 Conservative list with approximate dates (in –BC/AD) of grand maxima in reconstructed solar activity [1—listed in [Usoskin et al. \(2007\)](#); 2—listed in [Inceoglu et al. \(2015\)](#); 3—listed in [Usoskin et al. \(2016a\)](#)]

No.	Center	Duration
1970	80	Modern
505	50	2, 3
305	30	2, 3
–245	70	2, 3
–435	50	1–3
–2065	50	1–3
–2955	30	2, 3
–3170	100	1–3
–3405	50	2, 3
–3860	50	1–3
...		

Велики минимуми и максимуми



Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

Групиране около
екстремумите на
циклите на Халстат?

Fig. 20 Sunspot activity (decadal data) throughout the Holocene, reconstructed from ^{14}C by Usoskin et al. (2016a). Blue circles and red stars denote grand minima and maxima, respectively

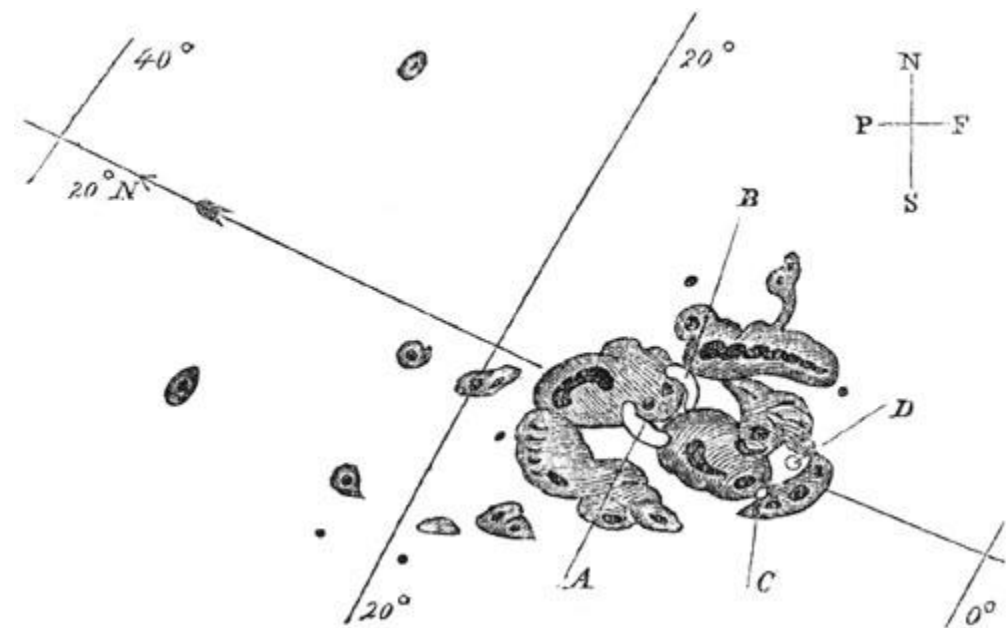
1 септември 1859

избухване в бяла светлина (N20W12)

Carrington & Hodgson докладват в MNRAS

Cliver & Dietrich (2013) - поредица от събития?

Оценка: X45 ($45 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$), **най-голямо избухване досега!**



рисунка от Карингтън

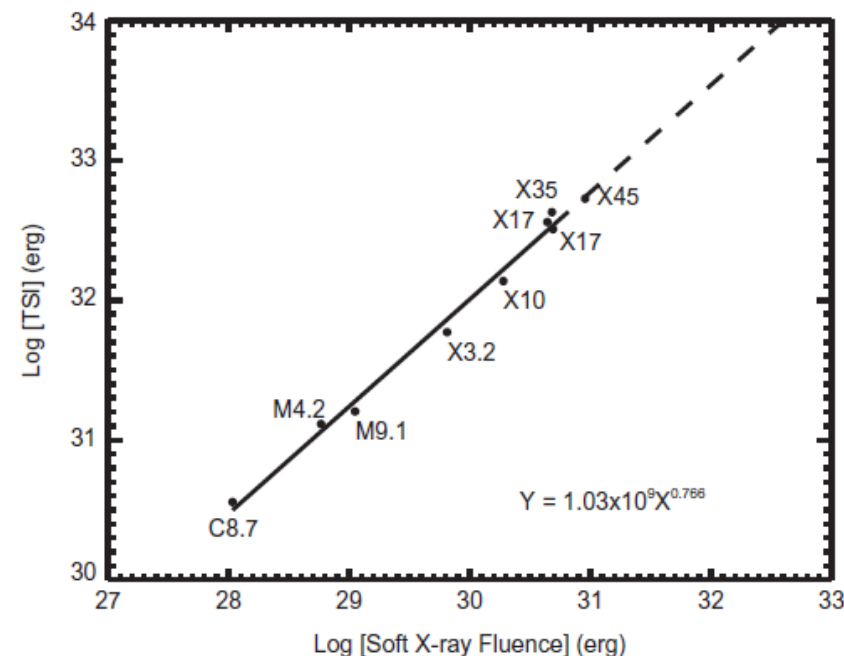


Fig. 3. Plot of the log of flare bolometric fluence vs. the log of the corresponding flare 1–8 Å SXR fluence. The data are taken from Kretzschmar (2011) and Emslie et al. (2012; we use X35 for the 4 November 2003 flare.) The regression line is a geometric mean least squares fit. The X45 event corresponds to the Carrington flare.

1 септември 1859

избухване в бяла светлина (N20W12)
Carrington & Hodgson докладват в MNRAS

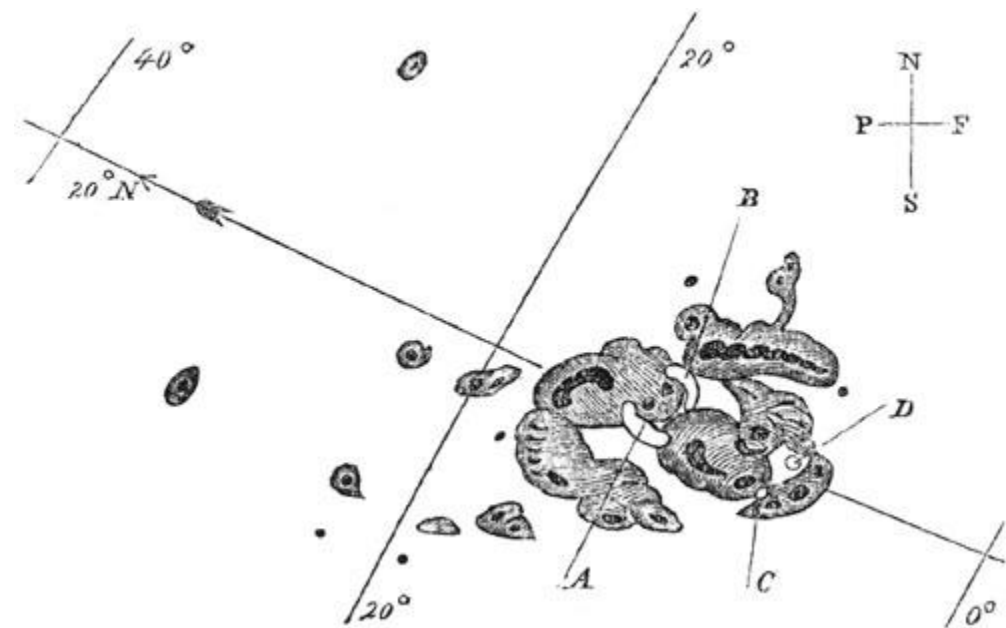
Cliver & Dietrich (2013) - поредица от събития?

Оценка: $X45$ ($45 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$), **най-голямо избухване досега!**

След ~17.5 часа

(**скорост на короналната маса** ~2400 km/s, наблюдавани са и **по-бързи!**):

най-голямата геомагнитна буря наблюдавана досега, с оценки: -800 nT до -1750 nT!



рисунка от Карингтън

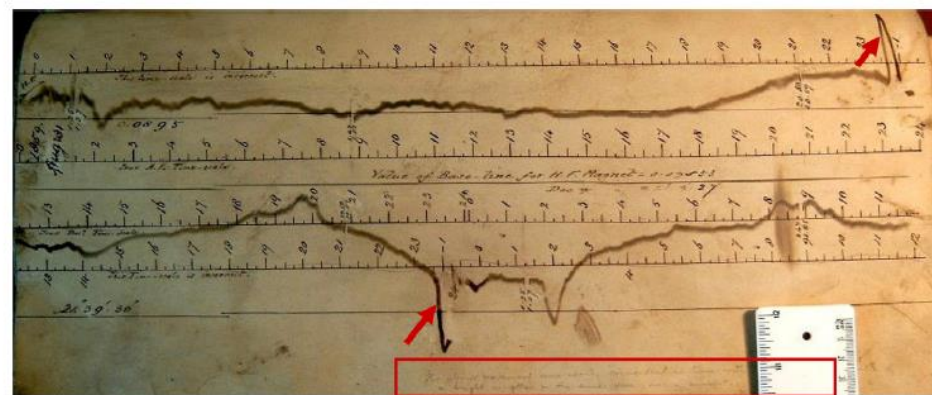


Fig. 1. Greenwich Observatory magnetometer traces (horizontal force on top and declination on the bottom; the two traces are offset by 12 h) during the time of the solar flare on 1 September 1859. The red arrows indicate the magnetic crochet or SFE. The writing at the bottom in the red box says “The above movement was nearly coincidental in time with Carrington’s observation of a bright eruption on the Sun. Disc[overed] over a sunspot. (H.W.N., 2 Dec 1938)”. H.W.N. refers to Harold W. Newton, Maunder’s successor as the sunspot expert at Greenwich. (From [Cliver & Keer 2012](#), with permission of *Solar Physics*.)

1 септември 1859

избухване в бяла светлина (N20W12)
Carrington & Hodgson докладват в MNRAS

Cliver & Dietrich (2013) - поредица от събития?

Оценка: $X45$ ($45 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$), **най-голямо избухване досега!**

След ~17.5 часа

(**скорост на короналната маса** $\sim 2400 \text{ km/s}$, наблюдавани са и **по-бързи!**):

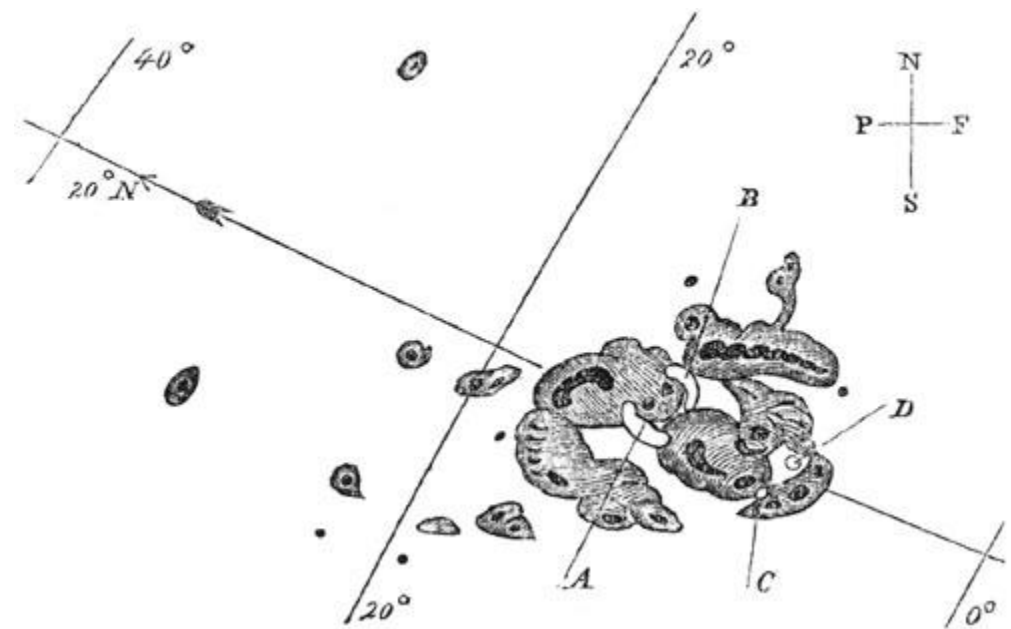
най-голямата геомагнитна буря наблюдавана досега, с оценки: -800 nT до -1750 nT !

Няма показатели за силен поток от енергетични частици!

Северни сияния са наблюдавани на ниски ширини: $\sim 18^\circ$!

Проблеми с телеграфите!

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



рисунка от Карингтън

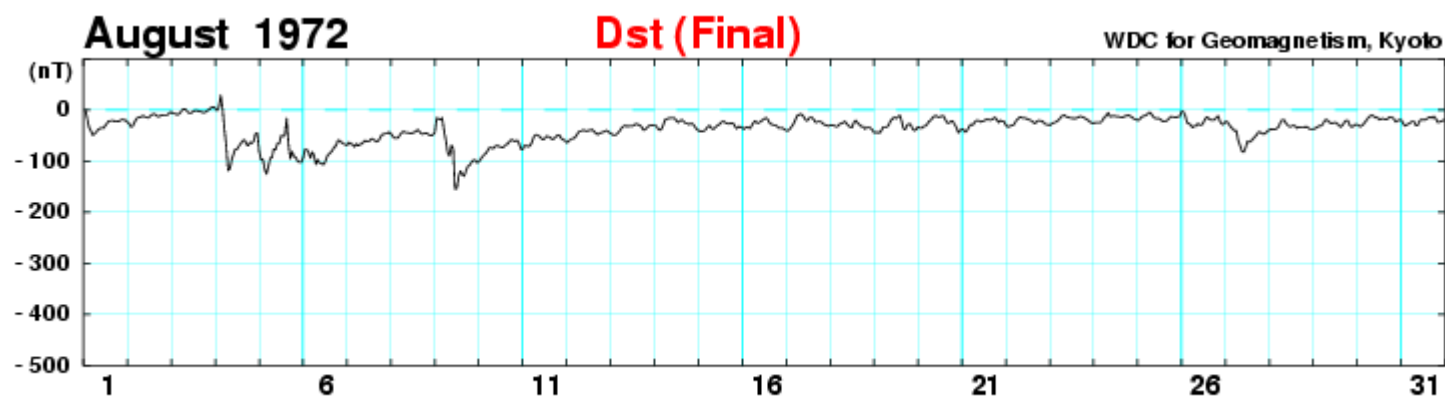
4 август 1972

Между две мисии на Аполо: 16 & 17!

Избухване: X2 (2 август)

Коронална маса: ??

Геомагнитна буря: Dst = -118 nT на 4 август, (-125 nT на 5-ти, -154 nT на 9-ти)



http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html

Енергетични частици: ??

Прекъсване на телефонни услуги и повреди в канадската телекомуникационна мрежа

775AD

Usoskin, Liv. Rev. Sol. Phys. 2017

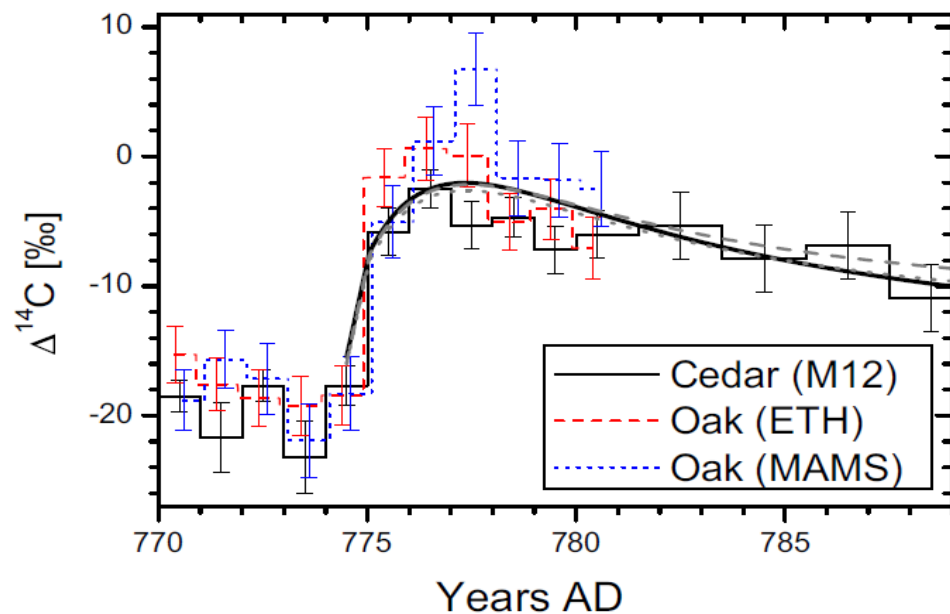
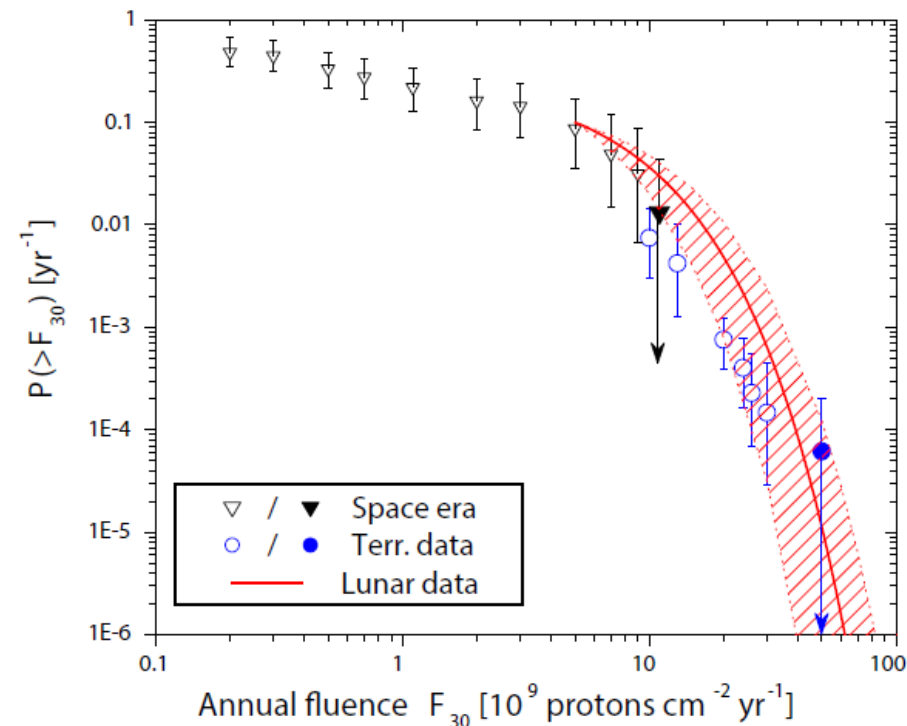


Fig. 24 Time profiles of the measured $\Delta^{14}\text{C}$ content in Japanese cedar (M12—Miyake et al. 2012) and German oak (ETH Zürich & Mannheim AMS—Usoskin et al. 2013) trees for the period around 775 AD. Smooth *black* and *grey* lines depict a family of best fit $\Delta^{14}\text{C}$ profiles, calculated using a family of realistic carbon cycle models for an instantaneous injection of ^{14}C into the stratosphere (Usoskin and Kovaltsov 2012). Image after Usoskin et al. (2013)

Fig. 27 Cumulative probability (with the 90% confidence interval) of occurrence of a SEP event with fluence (>30 MeV) exceeding the given value F_{30} , as assessed from the data for the space era 1956–2008 (*black triangles*), cosmogenic isotope data (*blue circles*), and cosmogenic data from lunar rocks (*red shaded area*). Modified after Kovaltsov and Usoskin (2014)



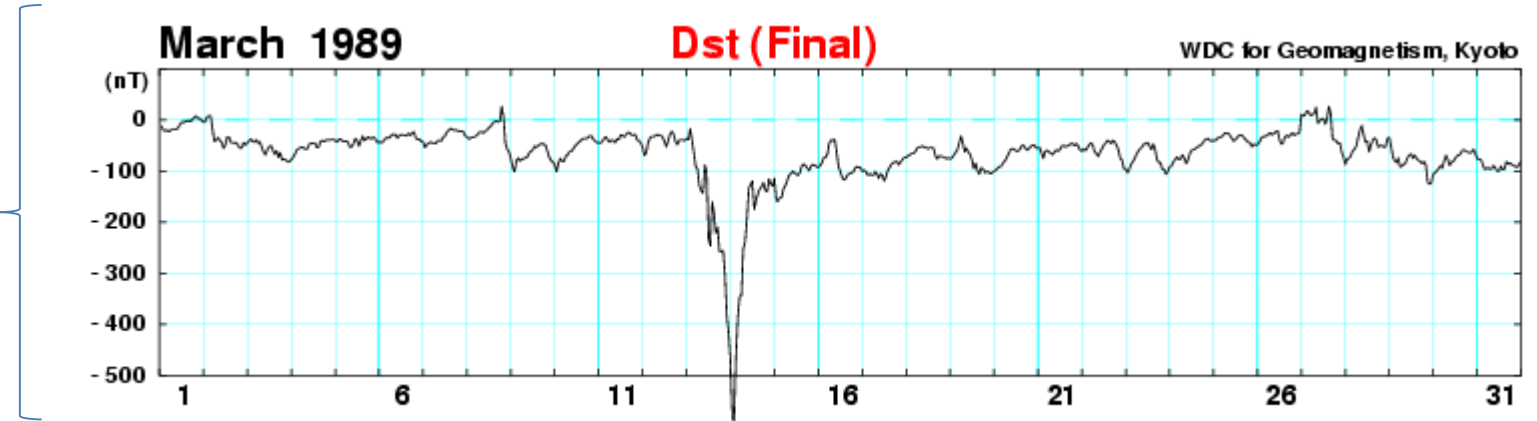
Оценка за протонното събитие 775 AD:
най-интензивното за последните 6000 години
(994AD, с $\frac{1}{2}$ интензитет)

13 март 1989

Избухване: X15 (6 март)

Коронална маса: ?? (9-10 март)

Геомагнитна буря: -589 nT (14 март)



Сияния: видими до Тексас и Флорида

Енергетични частици: 3500 pfu (8 март)
(40 000 pfu на 19 окт, най-голямото протонно събитие за последните 40 години в диапазона 5 - 100 MeV)

Прекъсване на тока в провинция Квебек (6 мил. население), грешни команди на сензори на космическа совалка Дисковъри, прекъсване на радио сигнали, загуба на достъп до спътници

Октомври-Ноември 2003

Бурята Хелоуин - серия от силни събития

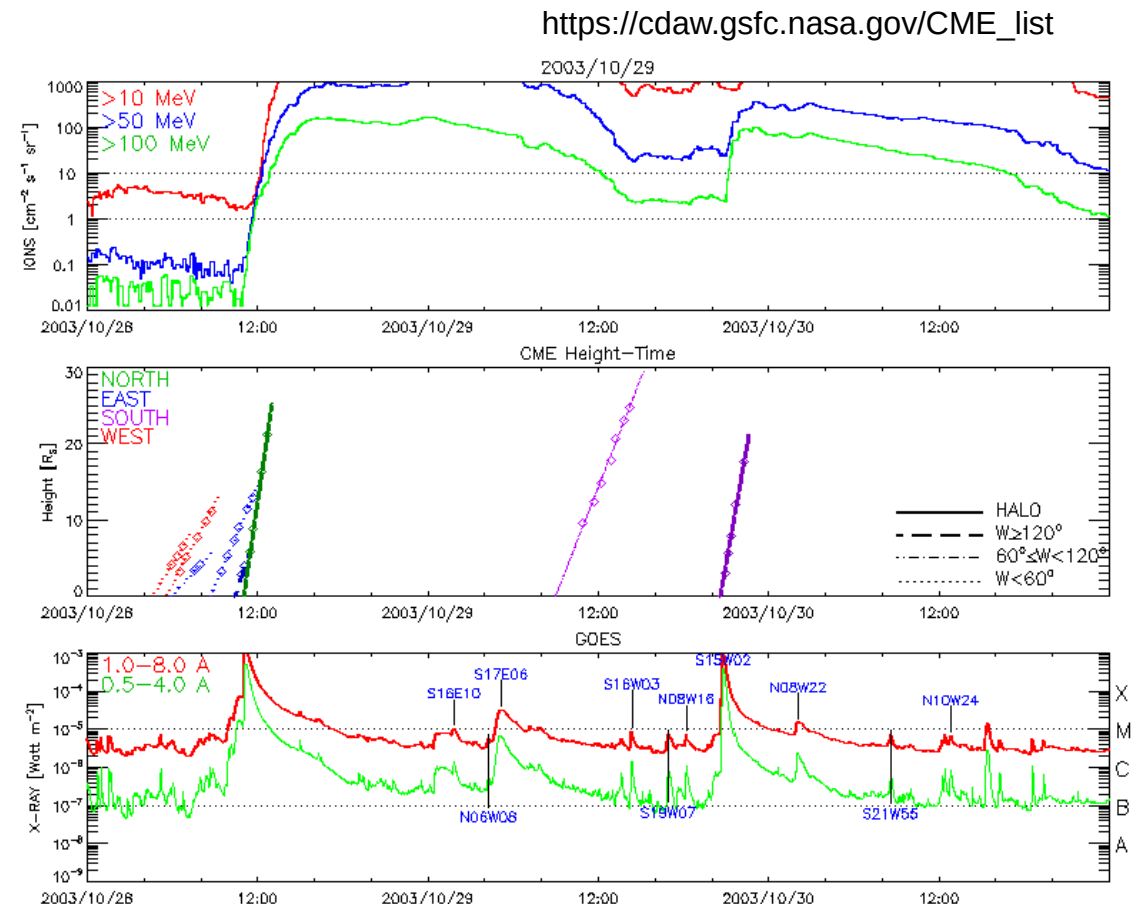
28/29 октомври

Избухване: X17/X10

Коронална маса: 2459 km/s/2029 km/s

Геомагнитна буря: -350 nT/-383 nT

Енергетични частици: 29 500 pfu/>10000 pfu
(най-силното събитие за слънчев цикъл 23)



Октомври-Ноември 2003

Бурята Хелоуин - серия от силни събития

4 ноември

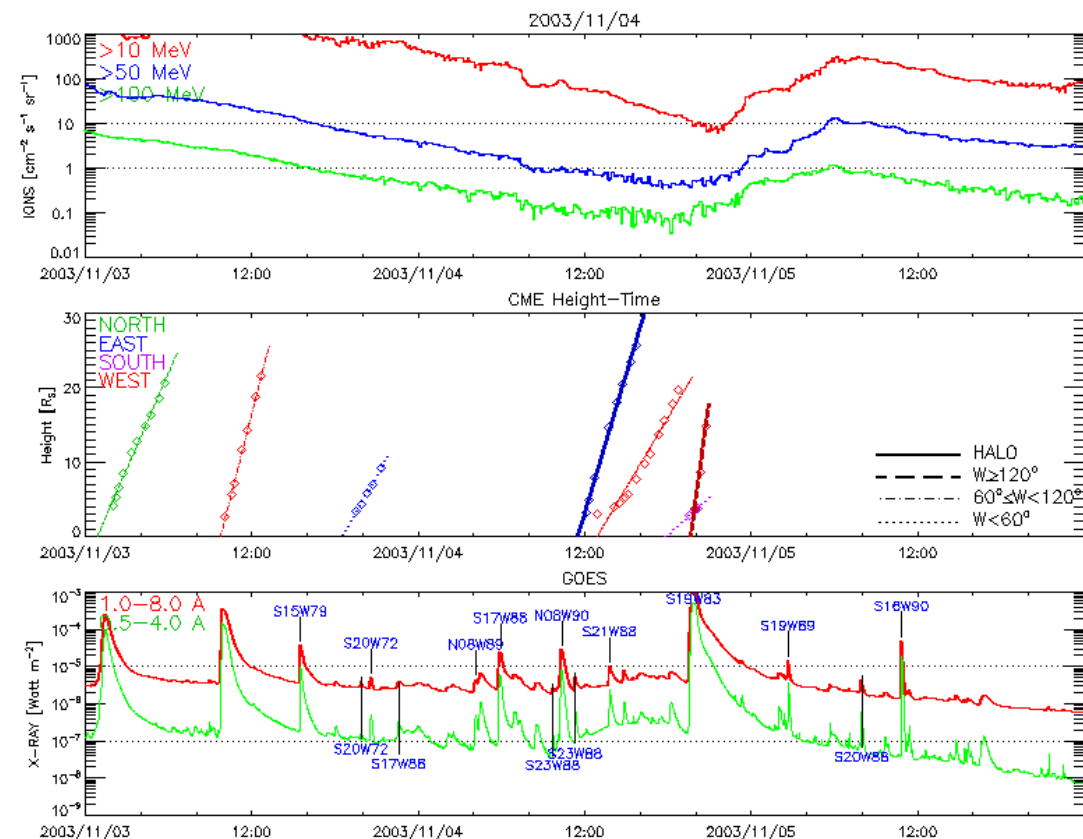
Избухване: X28 (№1 от наблюдения)

Коронална маса: 2657 km/s (№4)

Геомагнитна буря: -69 nT

Енергетични частици: 353 pfu

https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list



7/10 Ноември 2004

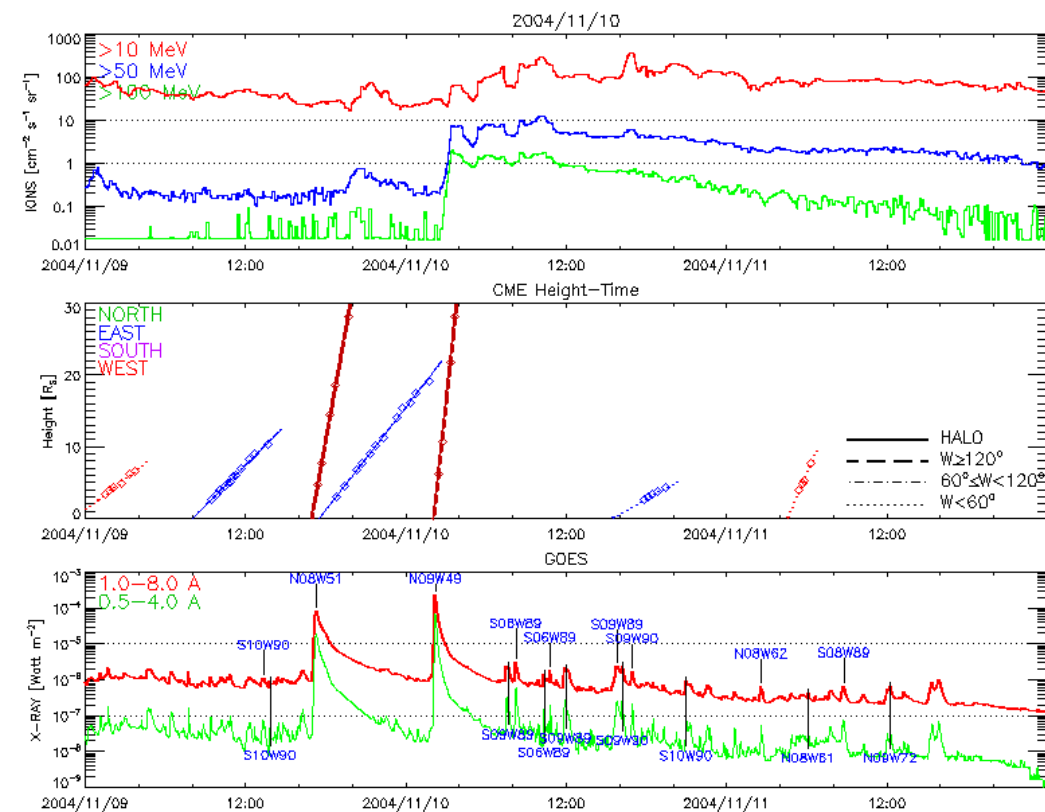
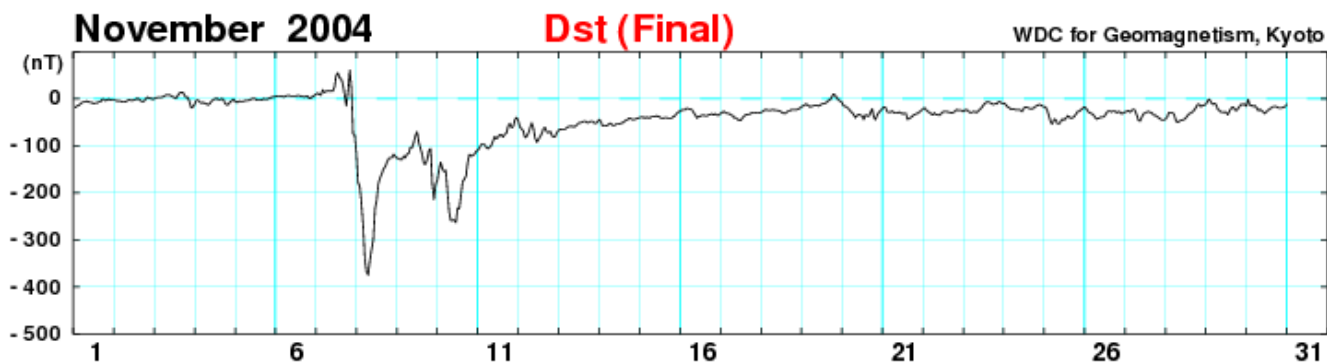
Избухване: X2.0/X2.5

Коронална маса: 1759 km/s/3387 km/s (№1)

Геомагнитна буря: -374 nT/-263 nT

Енергетични частици: 495 pfu/<200 pfu

https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list



...В заключение

✓ В 70% от времето се наблюдава умерена слънчева активност

✓ 10-15% - велики максимуми

рядък феномен, не е сигурно дали са циклични

✓ 15-20% - велики минимуми

типични, рядък феномен, начин на работа на слънчевото динамо, резултат от хаотичен процес за 2000-2400 години,
по-къси (80) и по-дълги (160 годишни) минимуми

✓ Избухване $\leftrightarrow$ Коронална маса $\leftrightarrow$ Геомагнитна буря $\leftrightarrow$ Енергетични частици

#1859 (оценка): най-голямо $\leftrightarrow$ сравнително силно $\leftrightarrow$ най-голяма $\leftrightarrow$ липсват

→ трудност при прогнозиране