

Vzdělávací soustředění studentů projekt KOSOAP
Slunce, projevy sluneční aktivity a využití spektroskopie v astrofyzikálním výzkumu

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKOU UNIÍ, Z PROSTŘEDKŮ FONDU MIKROPROJEKTŮ
SPRAVOVANÉHO REGIONEM BÍLÉ KARPATY



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



TRENČIANSKY
SAMOSPRAVNÝ
K • R • A • J

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ EURÓPSKOU ÚNIOU, Z PROSTRIEDKOV FONDU MIKROPROJEKTOV
SPRAVOVANÉHO TRENČIANSKYM SAMOSPRAVNÝM KRAJOM

Slunce – nejbližší hvězda



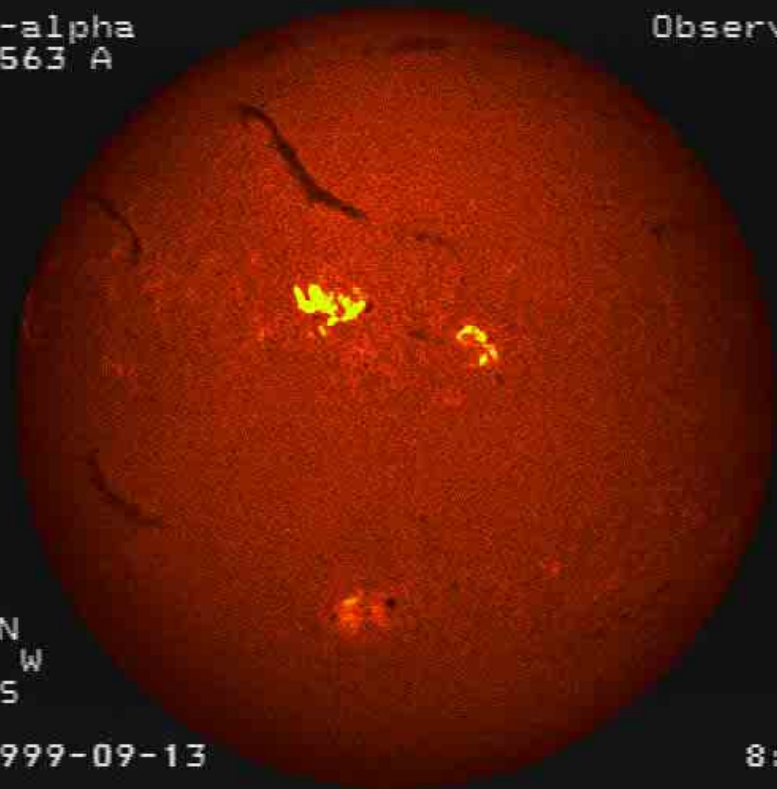
Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.
Kysucká hvězdárna v Kysuckom Novom Meste



RNDr. Eva Marková, CSc., Hvězdárna v Úpici

H-alpha
6563 A

Observatory
Upice



N
E W
S

1999-09-13

UT
8:25:43

Slunce

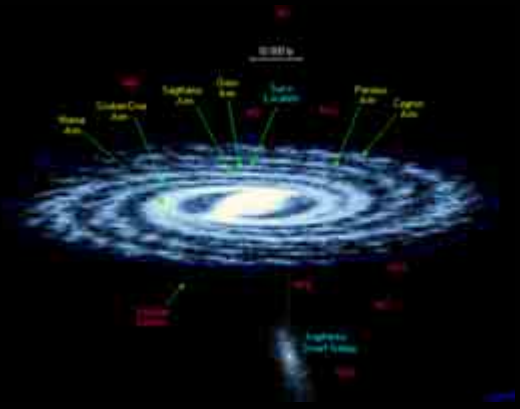
Naše nejbližší hvězda

Víme o ní hodně, ale vlastně velmi málo

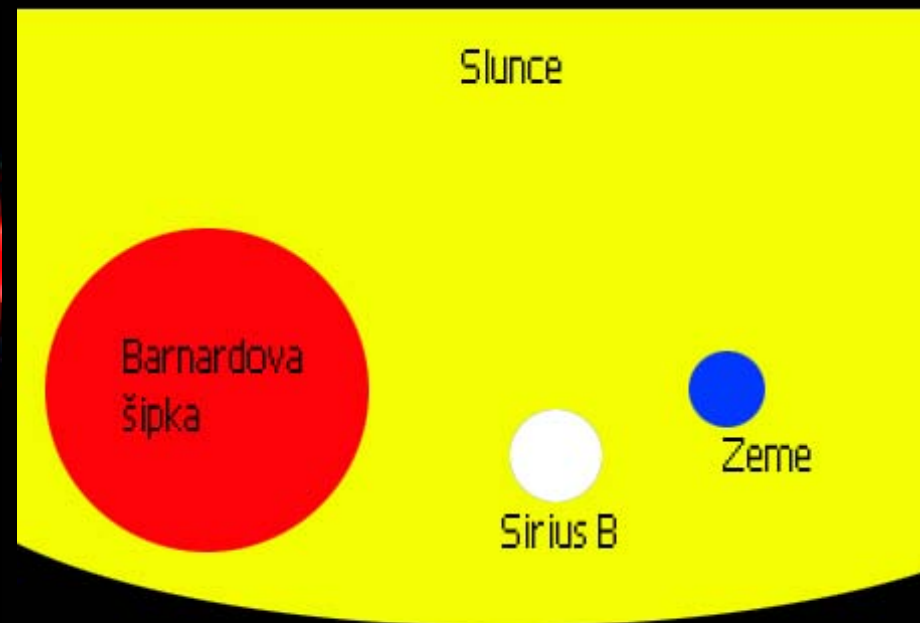
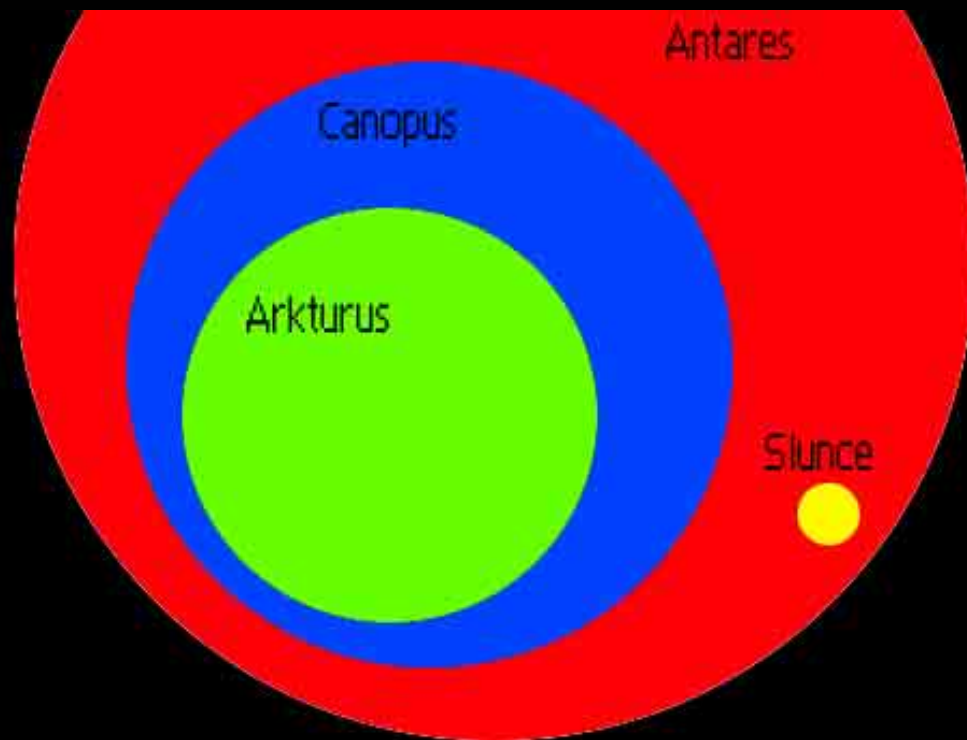
**Podmínky a jevy jsou velmi komplikované,
nelze je simulovat v pozemských laboratořích**



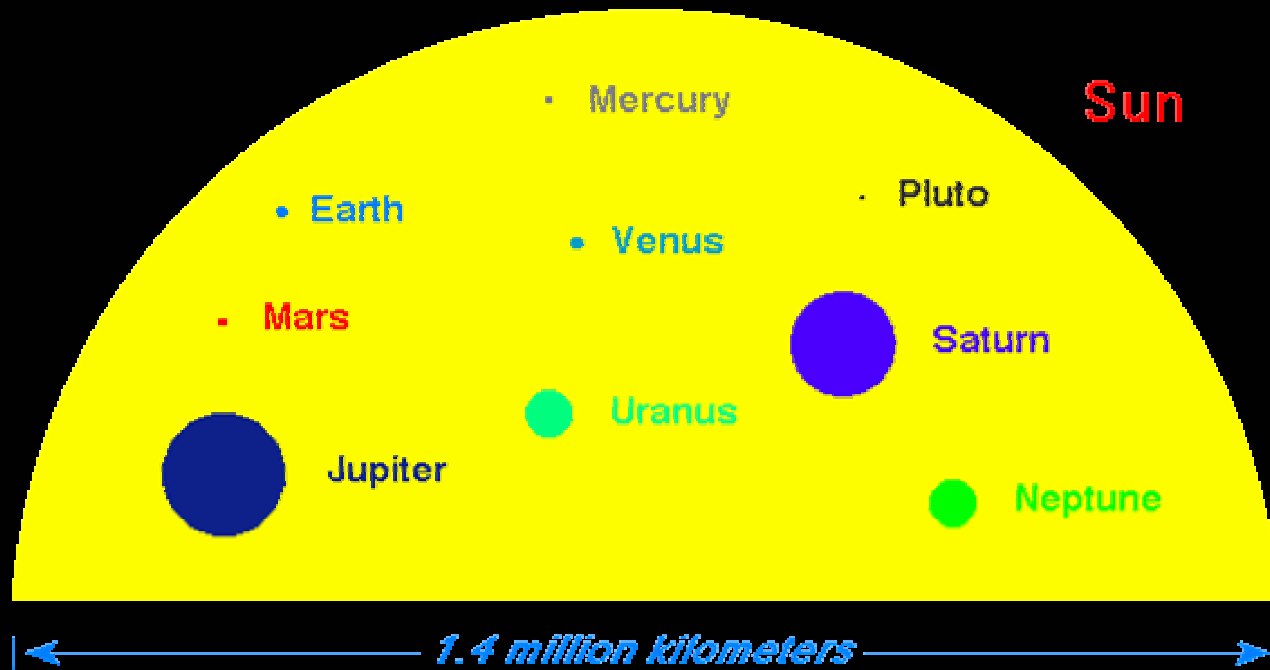
Slunce a hvězdy



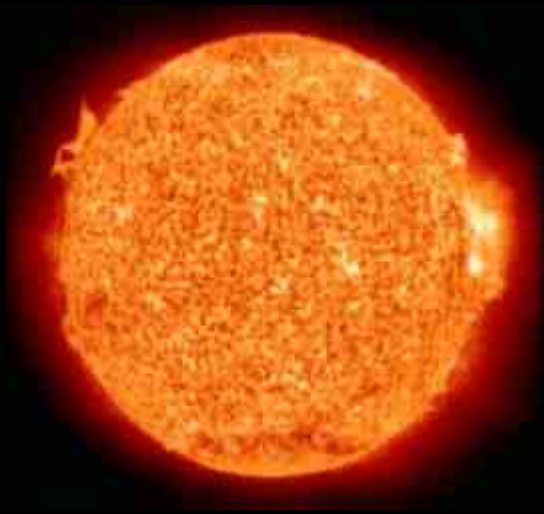
Slunce je jednou z průměrných hvězd v naší Galaxii



Slunce a planety



Slunce



Hmotnost	$1,989 \times 10^{30}$ kg
Průměr	1 392 000 km
Průměrná hustota	1,4 g cm ⁻³
Doba rotace:	25 dní - rovník 35 dní - okolo polů
Tíhové zrychlení	28 g \approx 274,68 m s ⁻²
Celkový výkon	4×10^{26} W

Chemické složení :

H	92,1	%
He	7,2	%
O	0,06	%
C	0,03	%

Povrchová teplota	5 700 K
Teplota v nitru	15 mil. K
Teplota v koróně	několik mil. K

Spektrální třída G 2

Magnituda :	Relativní	-26,4 mag
	Absolutní	4,1 mag

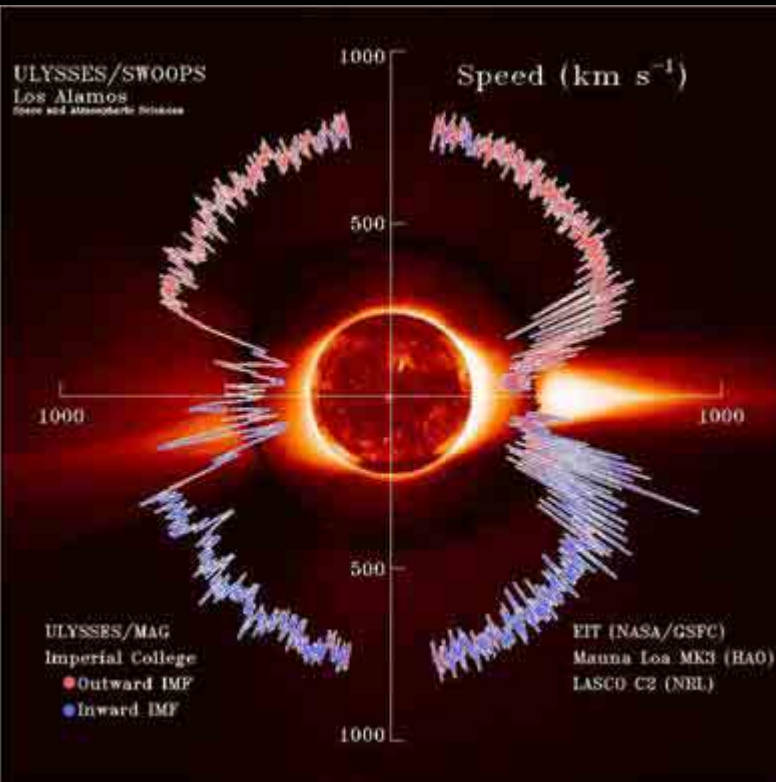
Slunce



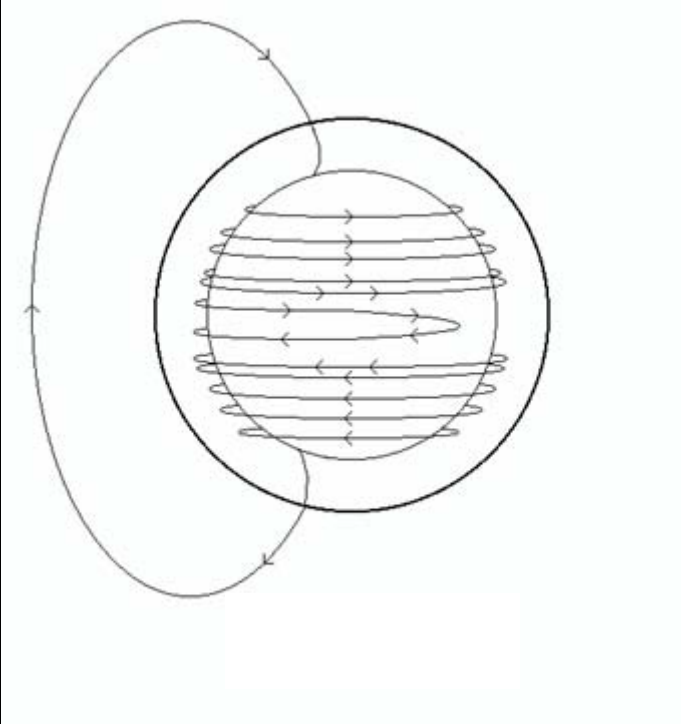
Sluneční vítr:

Rychlost 1600 km/h na povrchu Slunce

Rychlost v koróně až desítky tisíc km/h



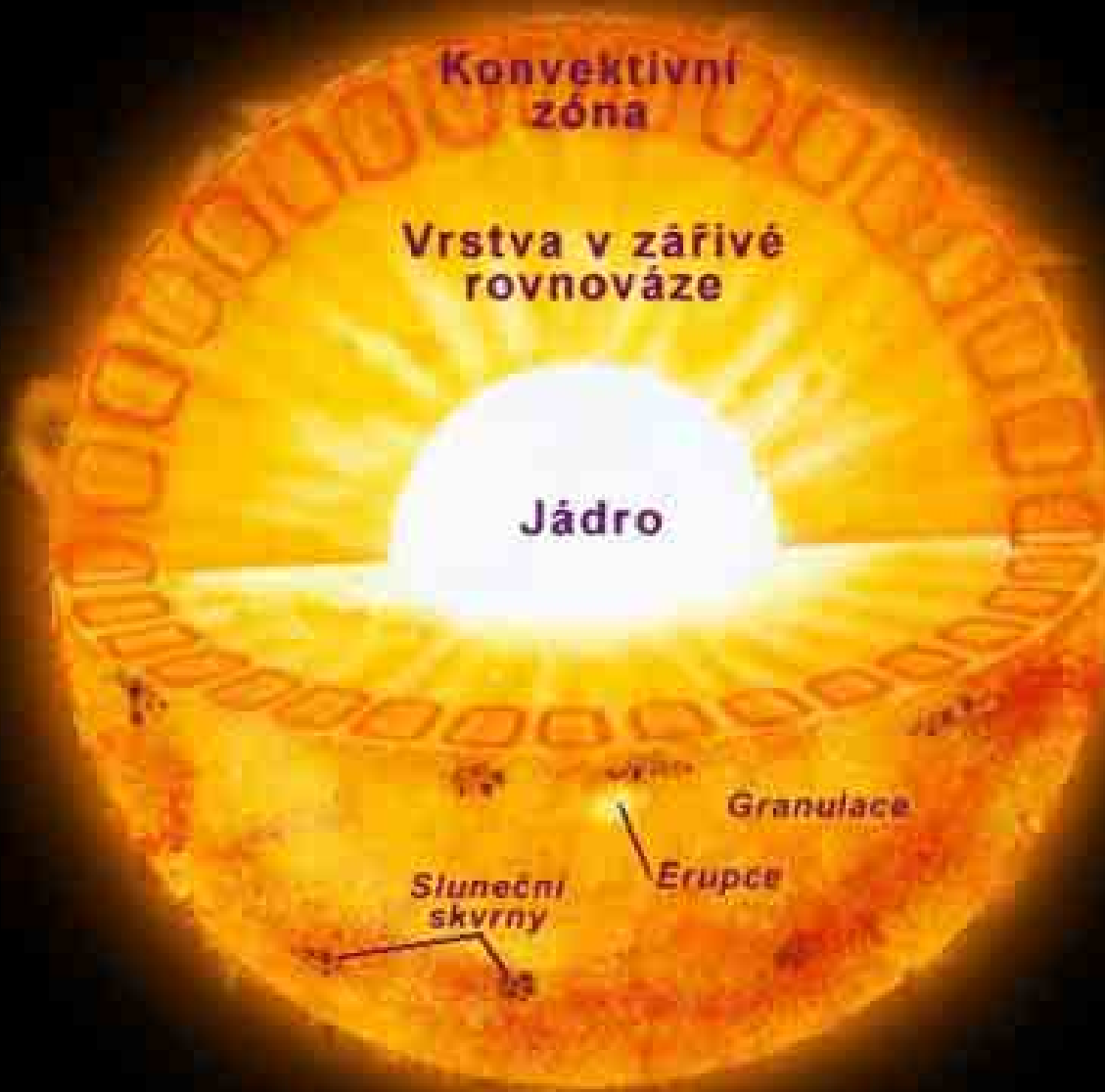
Slunce



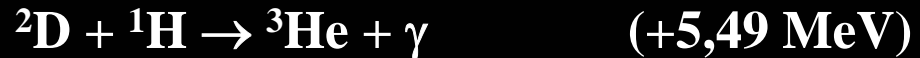
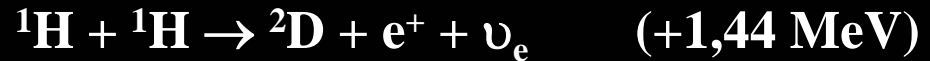
Nejdůležitější ve sluneční fyzice je magnetické pole – hlavní příčina proměnlivosti

Směr meridionální (S-N), zamrzlé na Slunci, namotávání v důsledku toho, že Slunce není pevné těleso. Přitom se někdy vynoří až na povrch – vznik skvrn různé polarity, a to nejen v různých skvrnách ve stejné skupině, ale i v rámci stejné skvrny – vznik erupcí

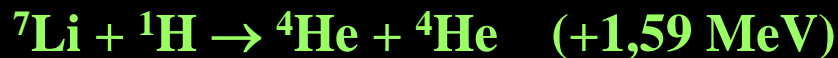
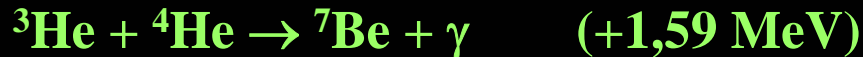
Řez Sluncem



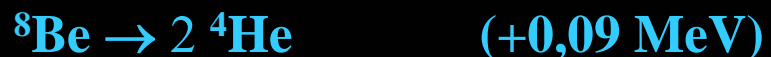
Co se děje ve slunečním nitru



19,79 MeV

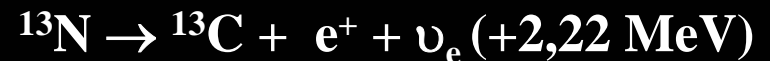


25,13 MeV



Co se děje ve slunečním nitru

Uhlíkový CNO cyklus

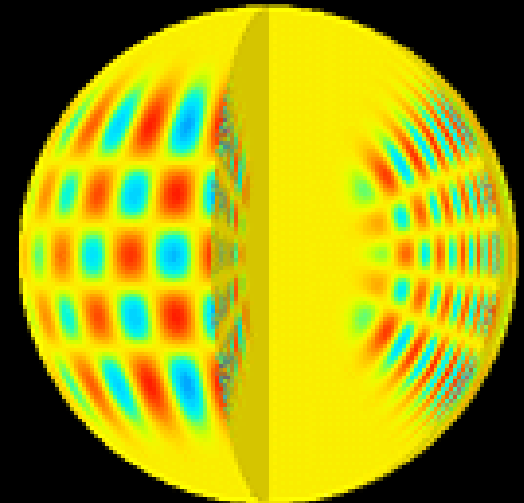
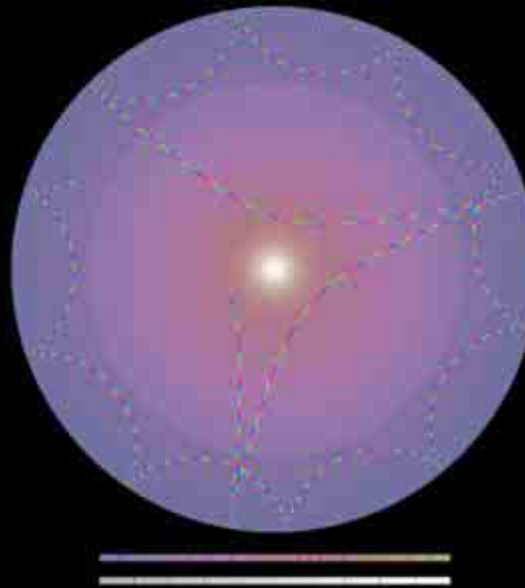
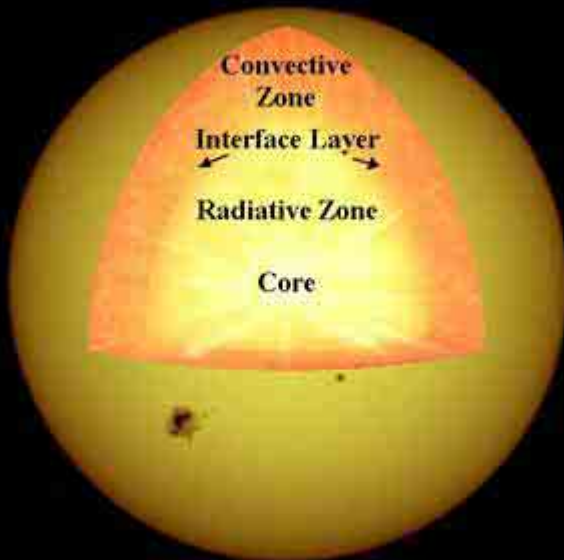


26,74 MeV

Helioseismologie

Původní informace - na základě výpočtu modelů vnitřní stavby hvězd

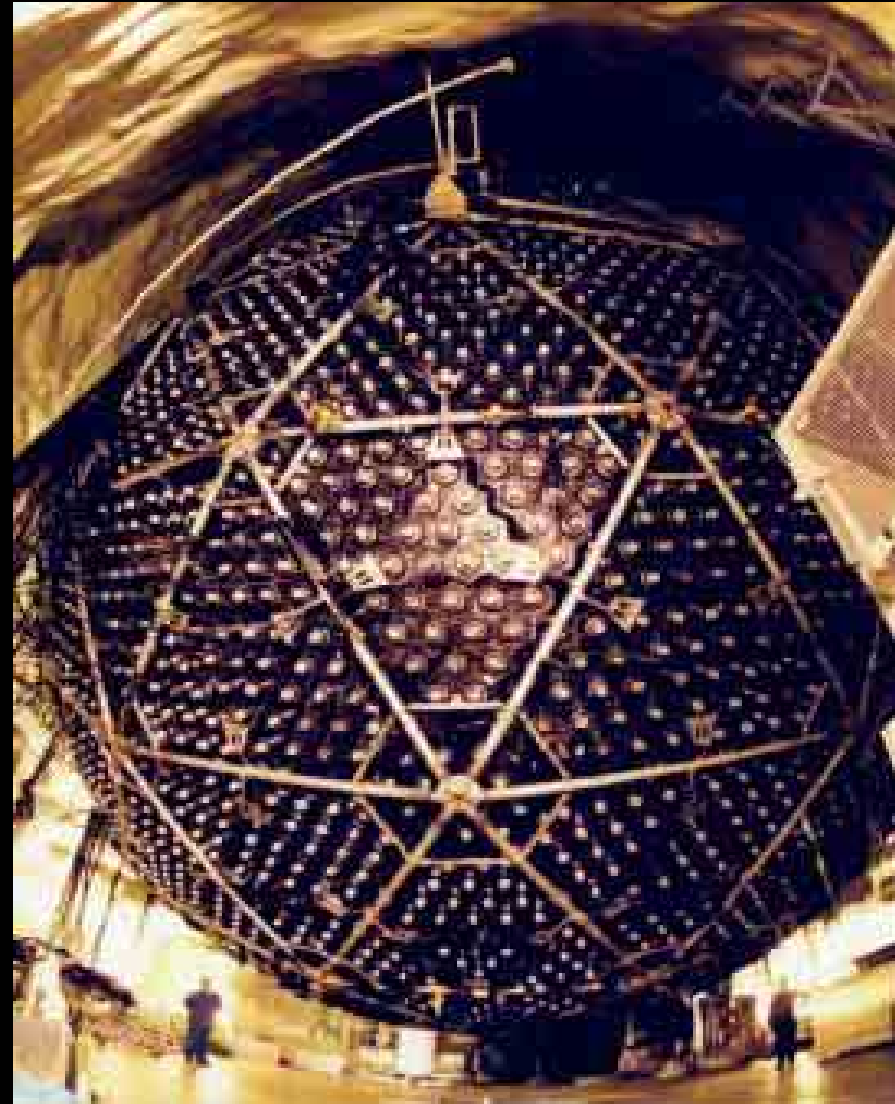
Nové informace - helioseismologie (modely, družice), velké množství vln různých délek (čím delší, tím větší hloubka – hustší prostředí, vyšší teplota, ...)
5 minutové oscilace



Problém neutrin

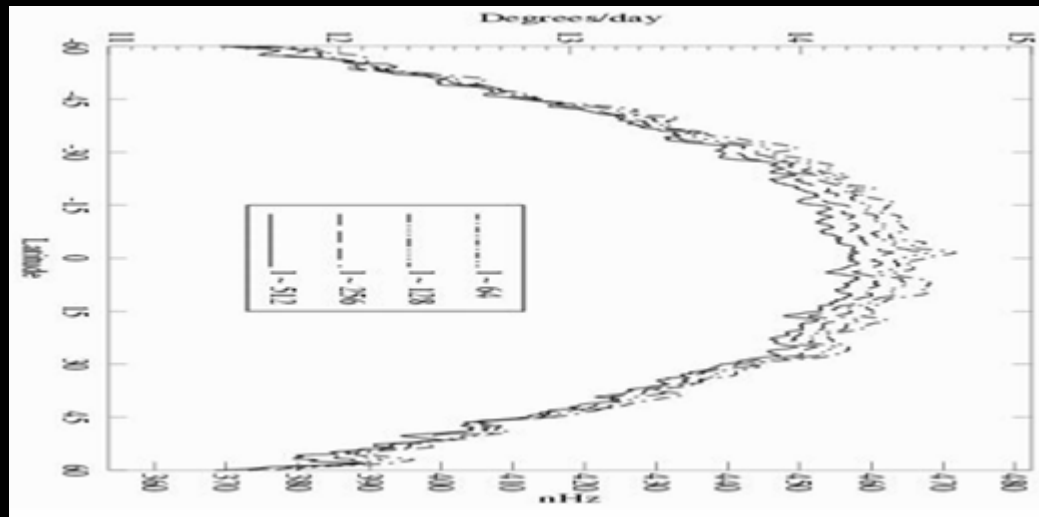
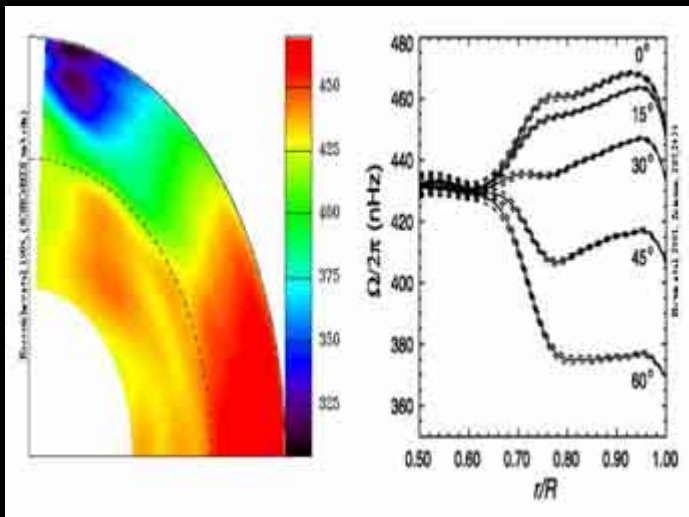
Vyšší teploty směrem k nitru než se původně předpokládaly – rozpor s pozorováním malého množství neutrin

Možné vysvětlení: 3 typy neutrin, které se vzájemně přeměňují, my jsme v současnosti schopni detekovat jen jeden typ



Sudbury Neutrino Observatory (SNO)

Rotace Slunce



Diferenciální rotace Slunce:

Od pólu směrem k rovníku – zrychlování

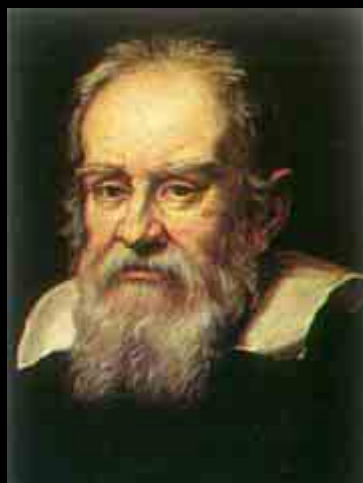
Povrchová vrstva (50 000 km) rotuje pomaleji než hlubší části (SOHO)

Rotace v konvektivní zóně se mění s periodou cca 1,3 roku, jádro rotuje jako pevné těleso (helioseismologie)

Sluneční skvrny

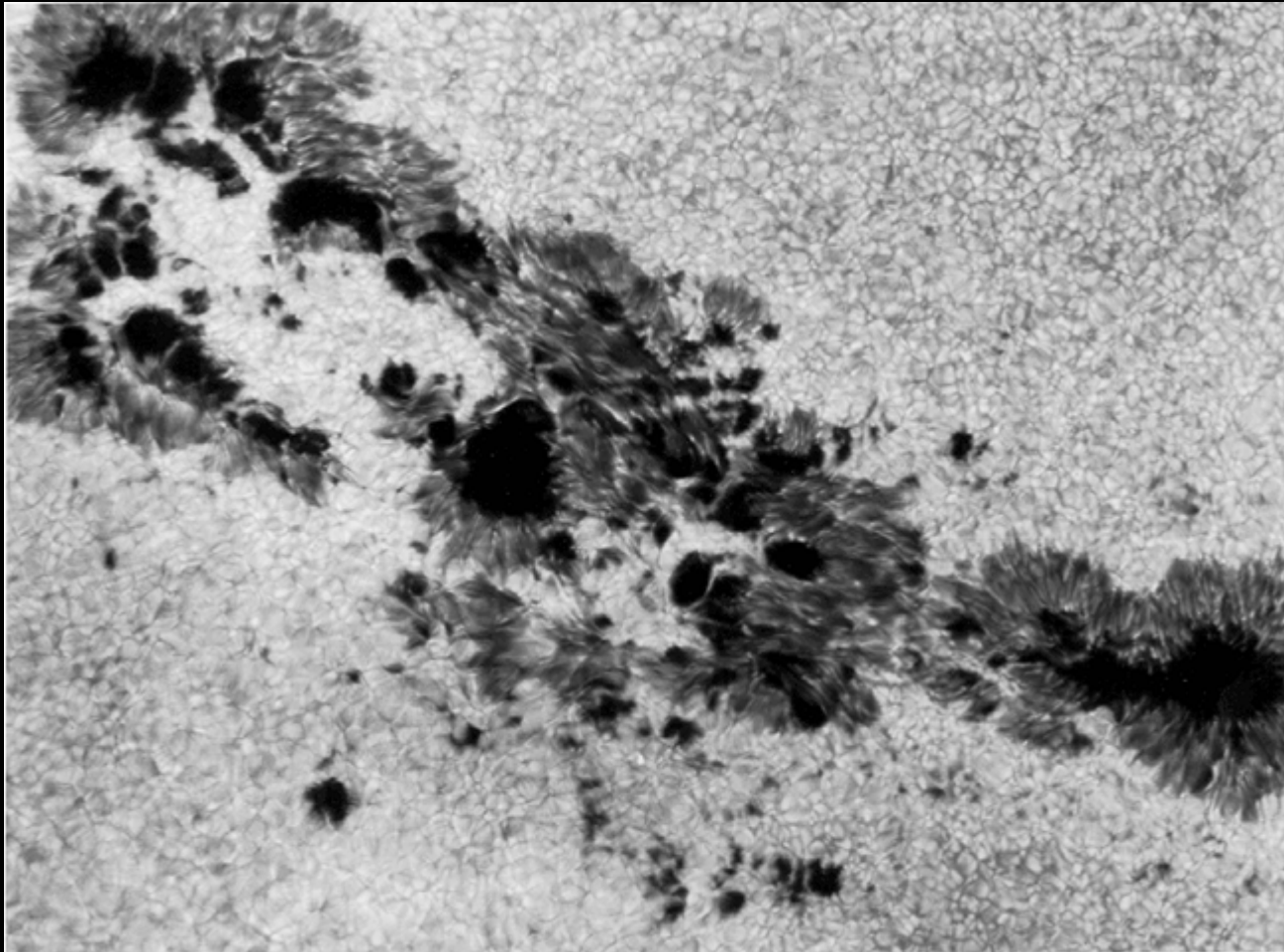


Near
Minimum,
Sept. 30, 1996



Near
Maximum,
Nov. 11, 1999

Sluneční skvrny

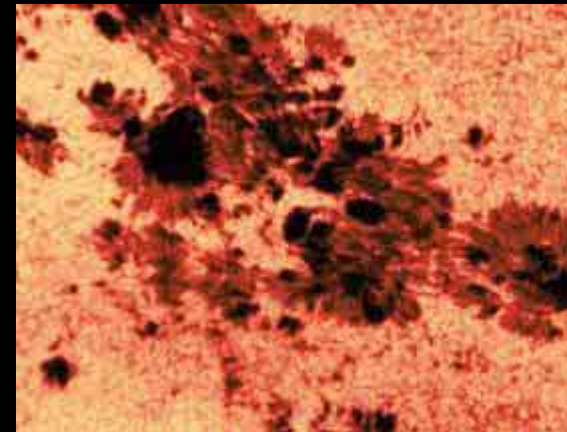
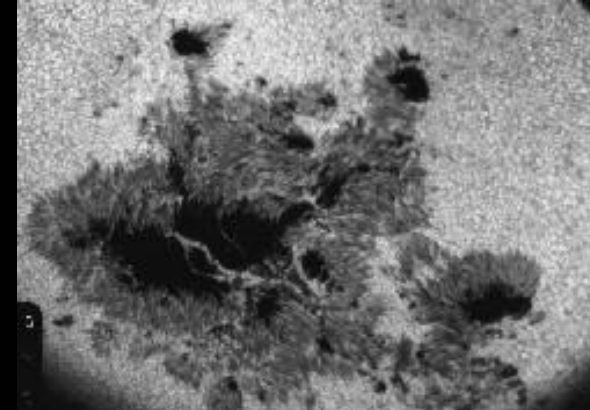
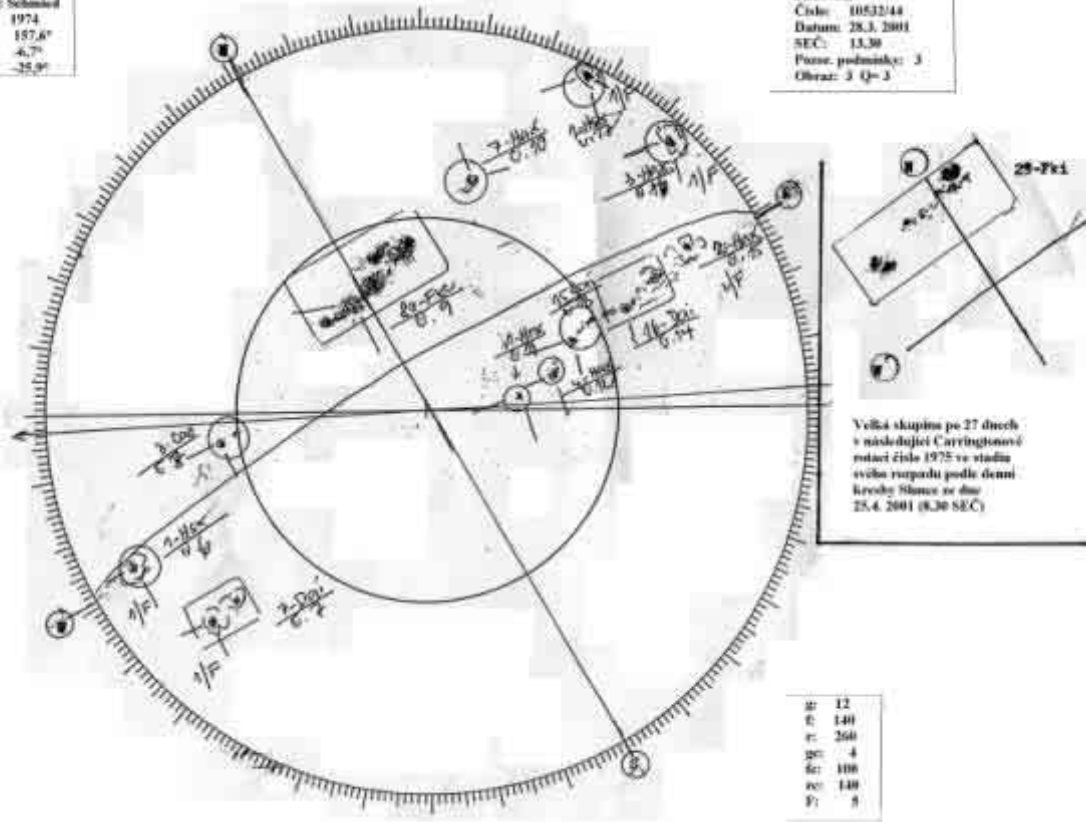


Silné mg. pole potlačuje konvekci – skvrny chladnější a tmavší

Sluneční skvrny

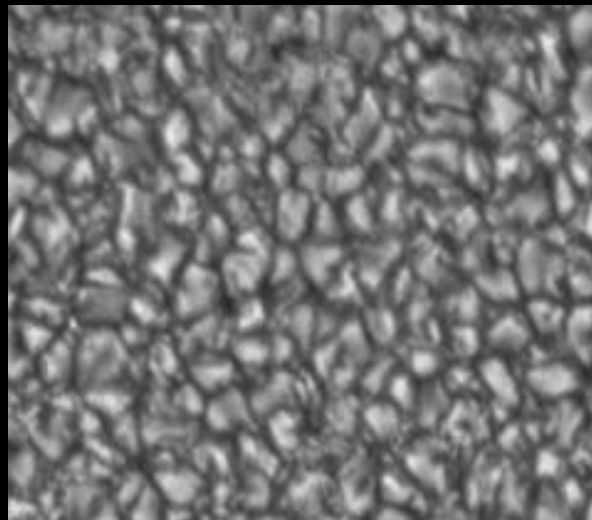
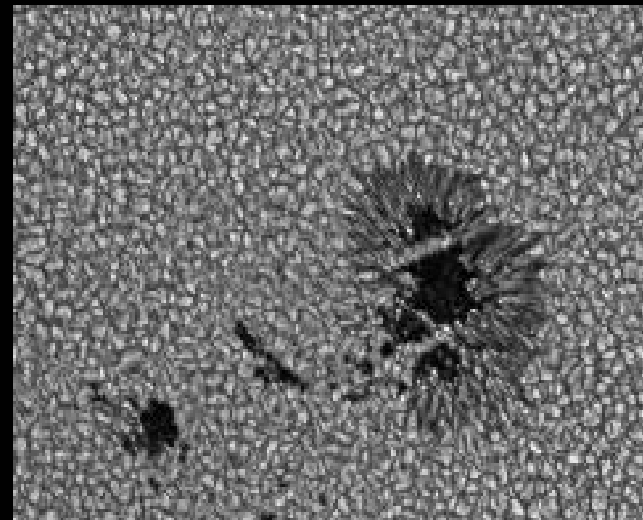
Místo: Koutník
 Pozorovatel: Schmidt
 Rok: 1974
 TD: 187,6°
 BD: -6,7°
 P: -35,9°

SLUNCE
 Číslo: 10532/44
 Datum: 28.3.2001
 SEC: 13,30
 Pozor. podmínky: 3
 Obráz: 3 Q-3



Wolfovo číslo $R = 10 \times g + f$

Sluneční skvrny a fotosféra



Póry

Skvrny

T=1 den – měsíce

11 letý cyklus

Granule

Horké bubliny stoupající k povrchu, po ochlazení opět

klesají

Průměr 1000 km

T=5-10 min

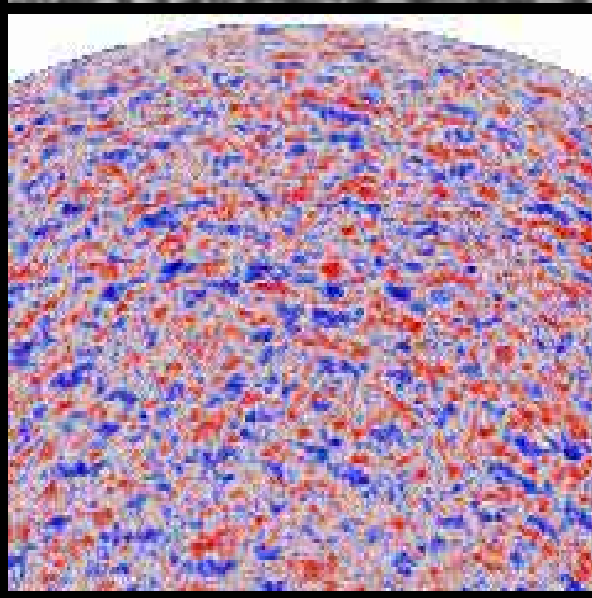
V= několik km/s

Supergranule

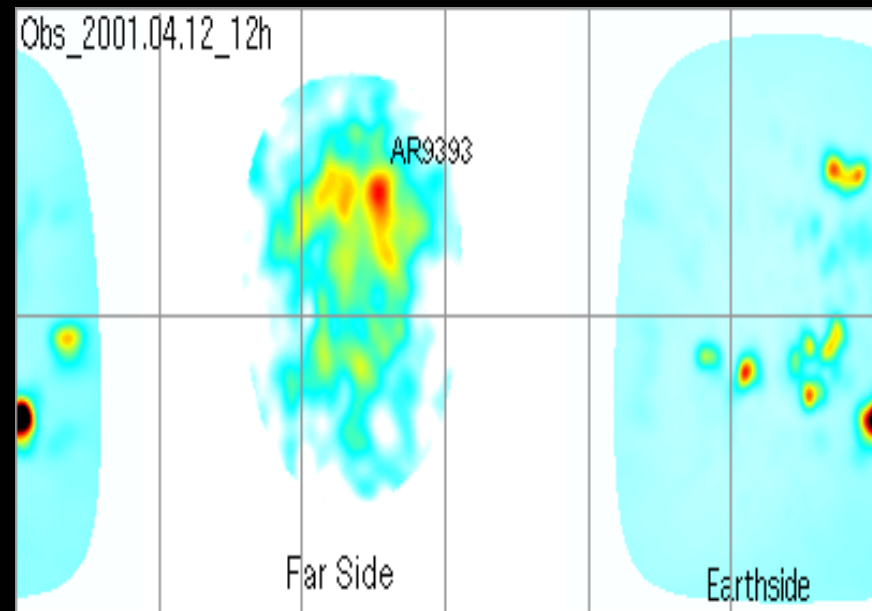
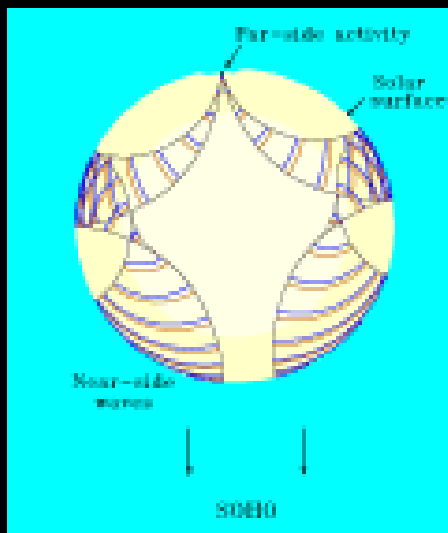
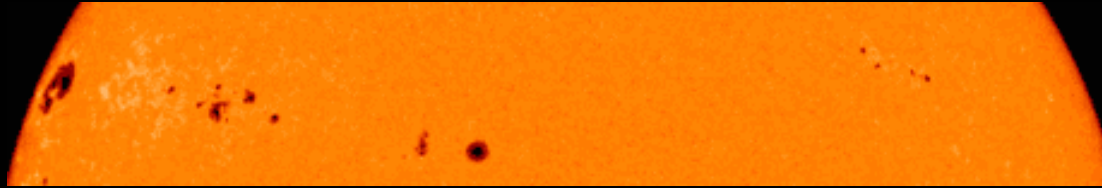
Průměr cca 30 000 km

T=cca 1 den

V= 500 m/s



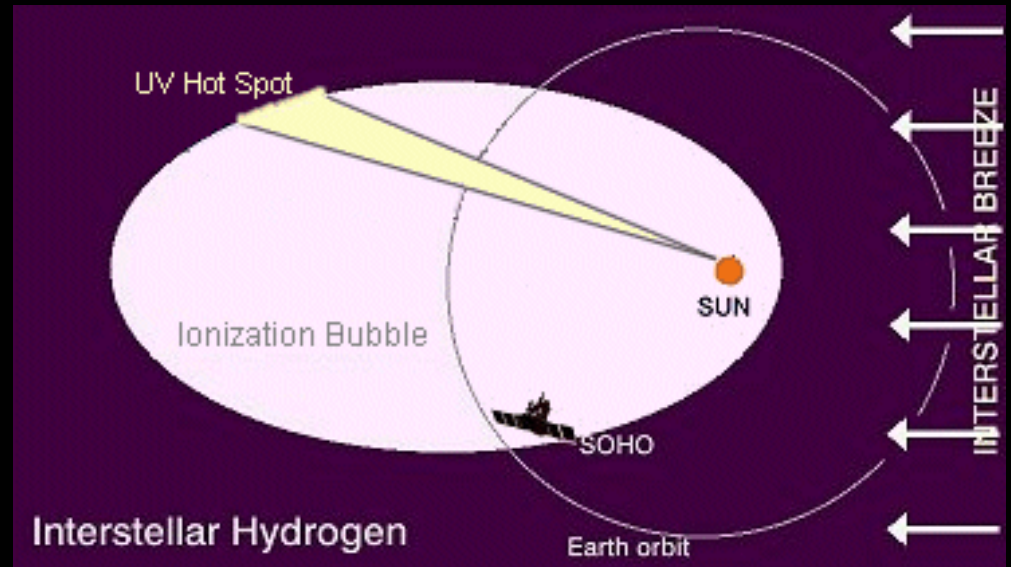
„Průhledné Slunce“



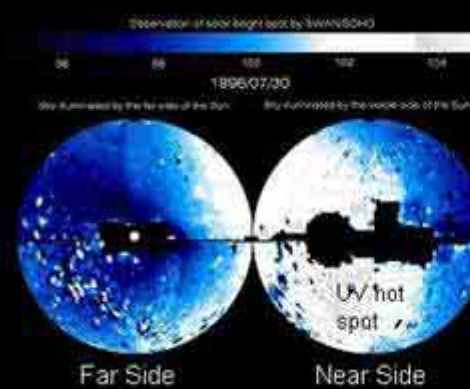
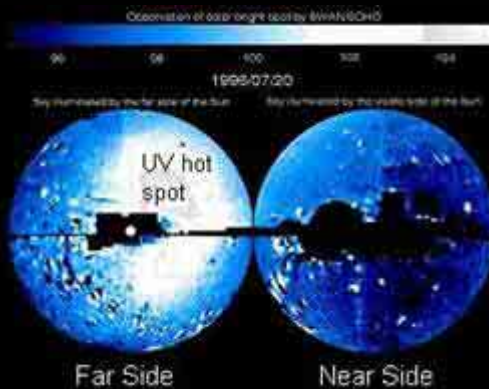
Metoda MDI, SOHO

„Průhledné Slunce“

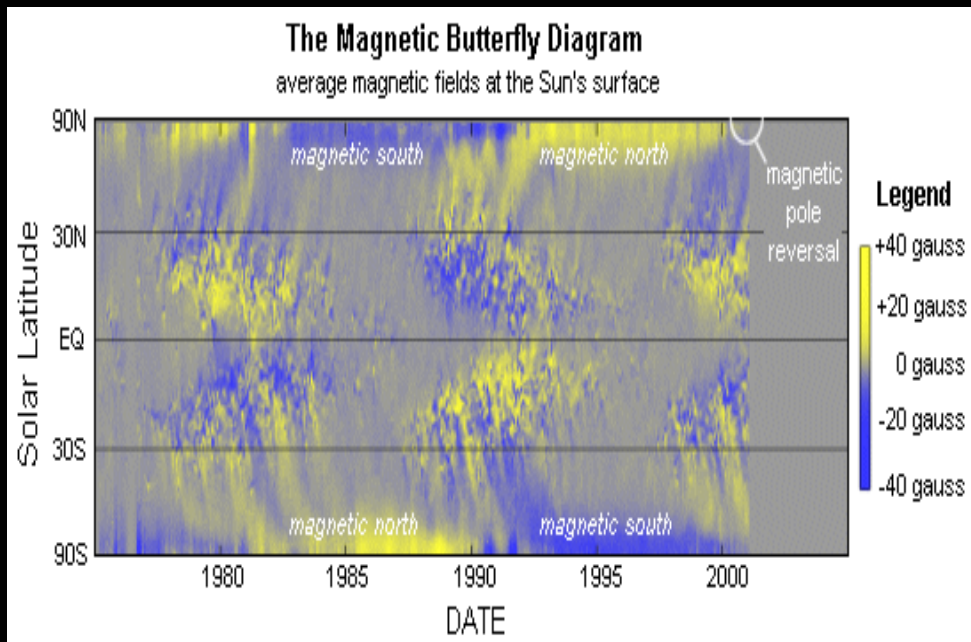
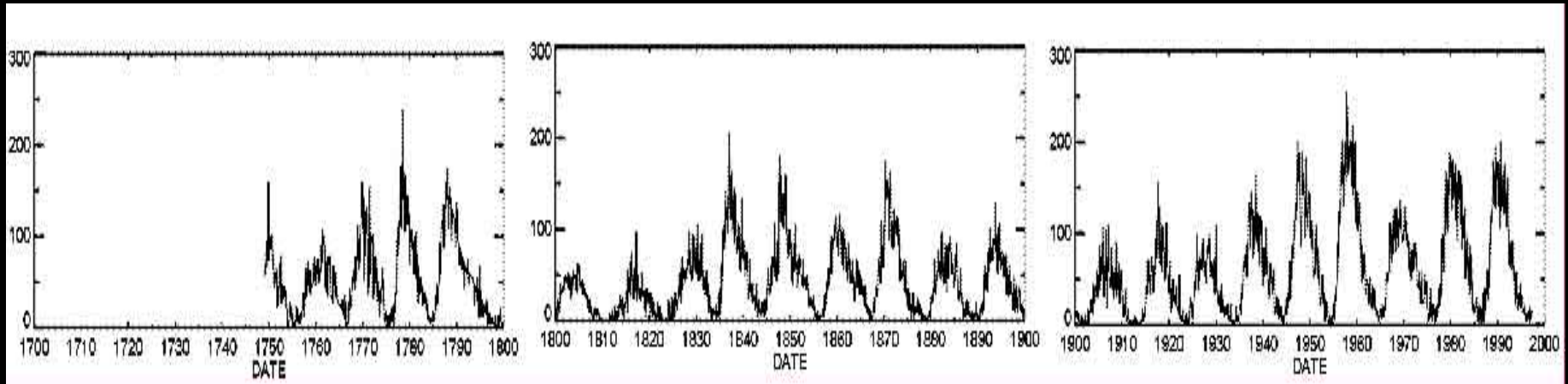
The Sun



Metoda SWAN (Solar Wind Anisotropies), SOHO

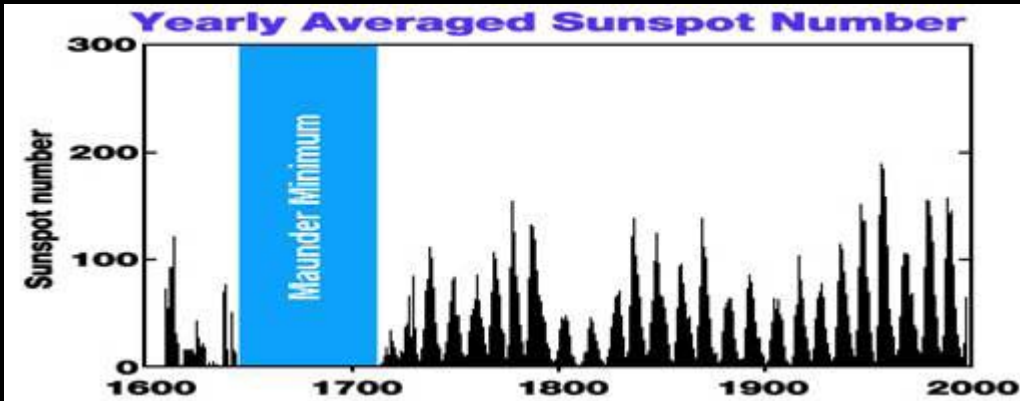


Sluneční cyklus a jeho proměny



Přepólování – 22 letý cyklus
(namotávání, stlačování, rozpadání siločar, vynášení siločar nahoru, anihilace)
Spojování v ještě delší cykly
důležité dlouhodobé pozorování skvrn a to i pouhým okem –
prodloužení pozorovací řady

Sluneční cyklus a jeho proměny



Otázka zářivosti Slunce

Vysvětlení Mauderova minima (1645-1715), opakem je velké maximum ve 12. století



V maximu hodně skvrn, tmavší – Slunce by mělo zářit méně, ale více fakulových polí, takže v době maxima září více
Při slabé aktivitě je chladněji

Sportování na zamrzlé řece

pravděpodobně okolo roku 1660

Aert van der Neer (Dutch, 1603/4–1677)

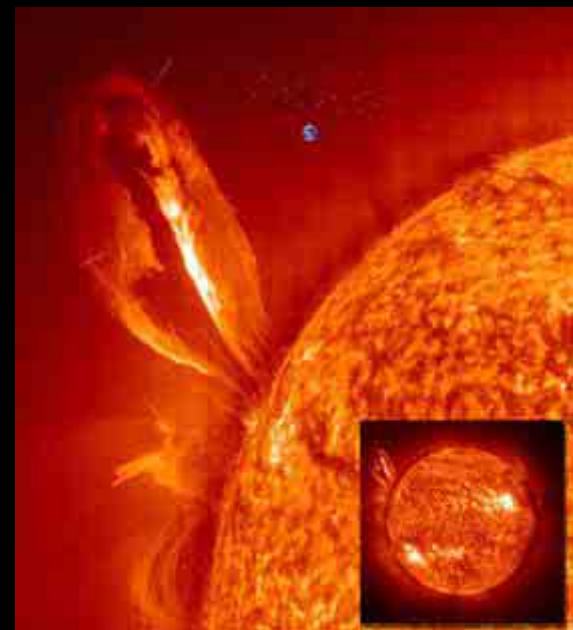
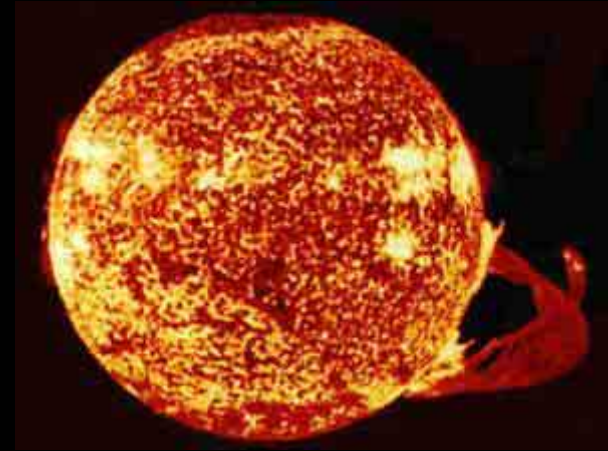
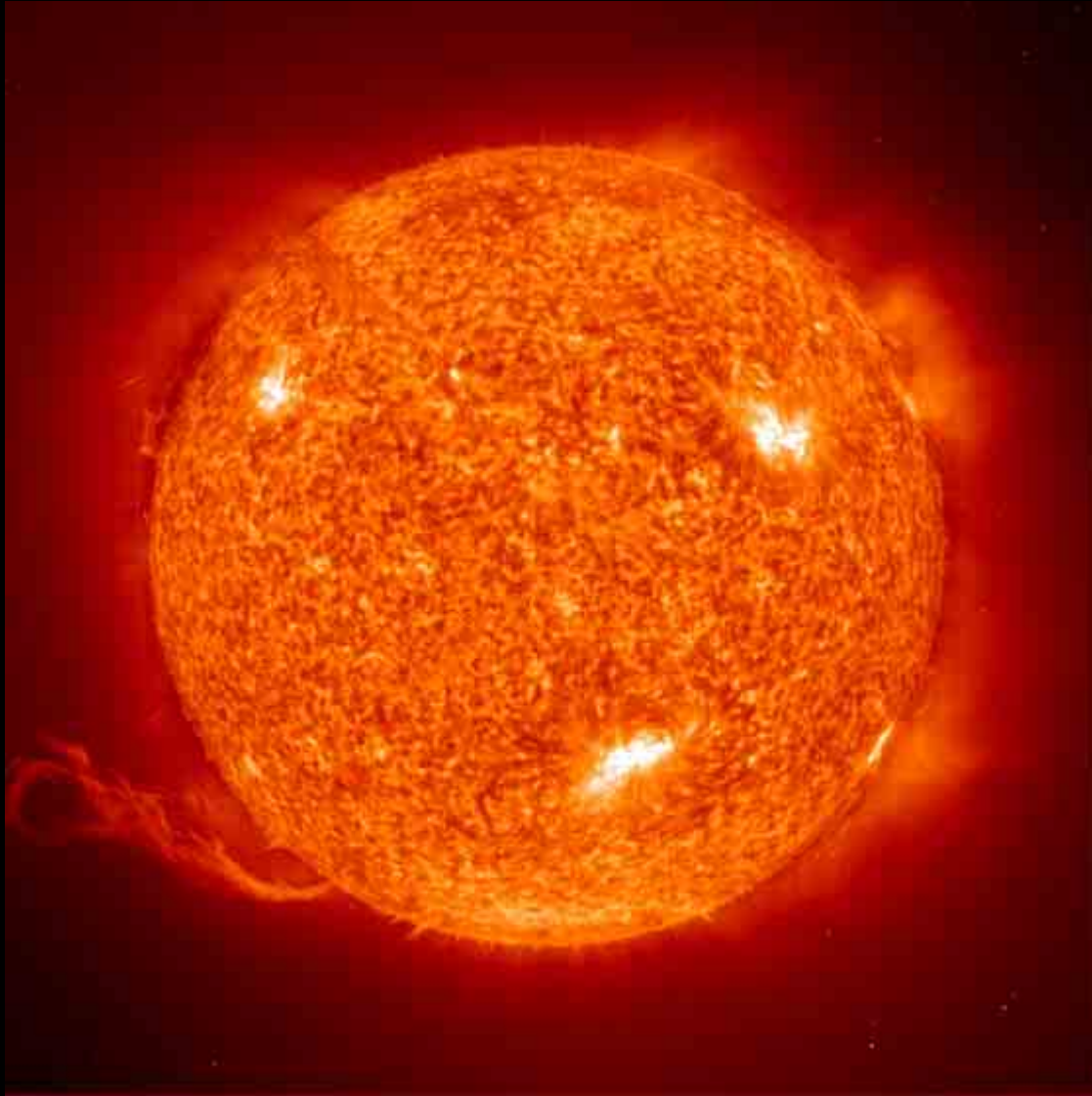
Chromosféra

Teplota zde roste z 6000 K ve fotosféře na 20 000 K.

Při těchto teplotách vyzařuje vodík červené světlo v H-alfa emisi .

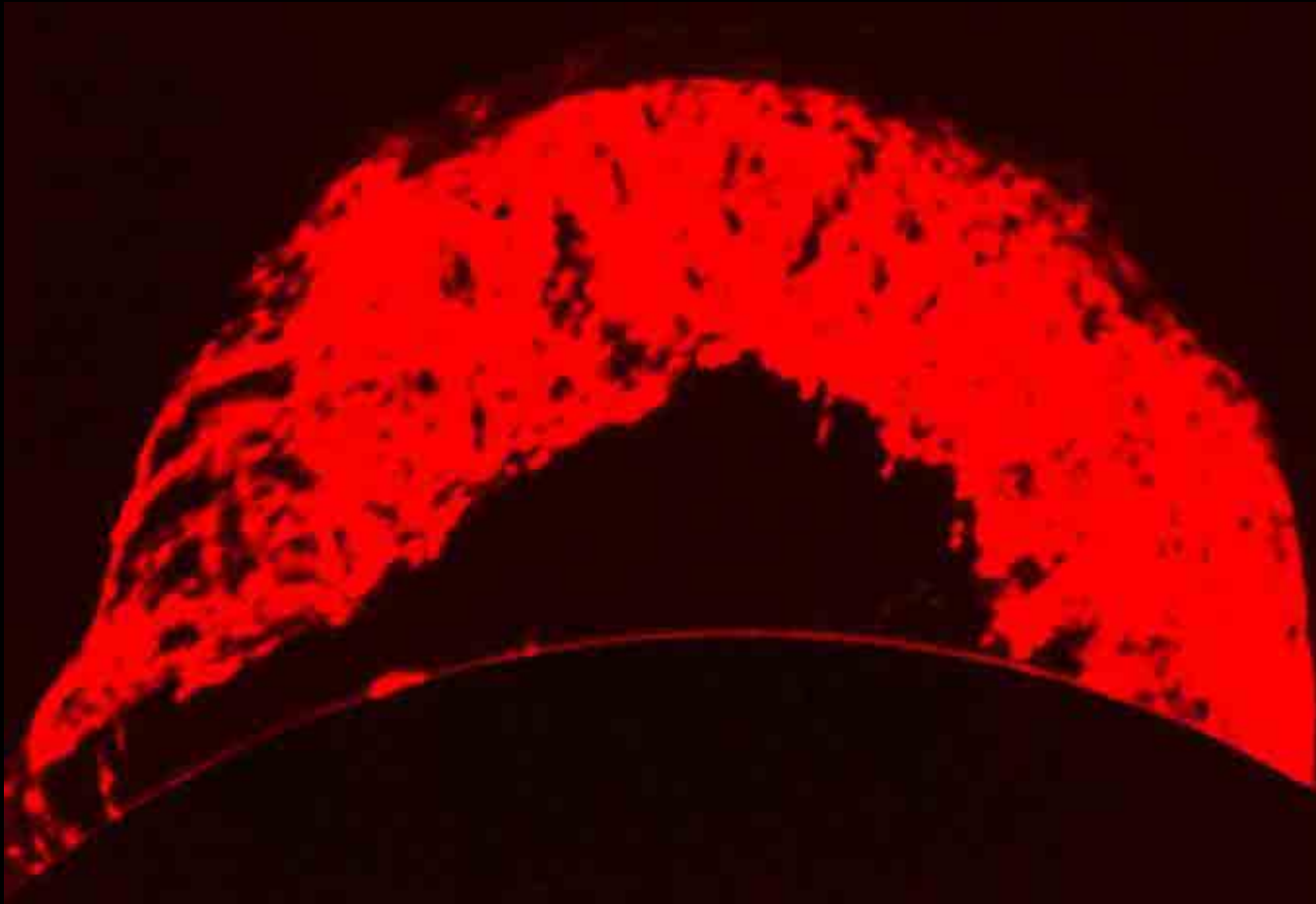


Chromosféra



Protuberance

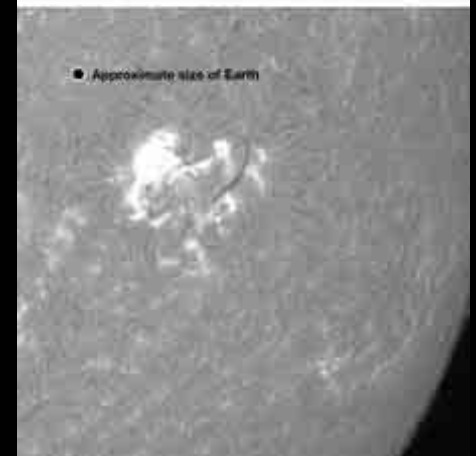
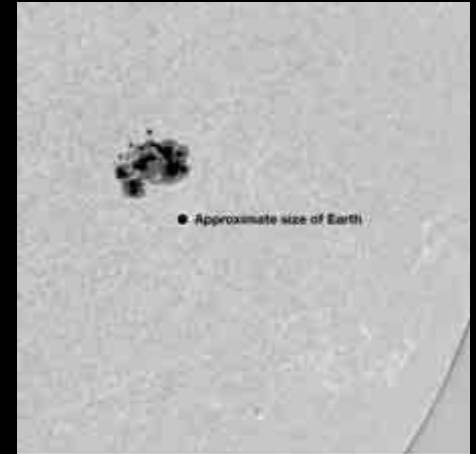
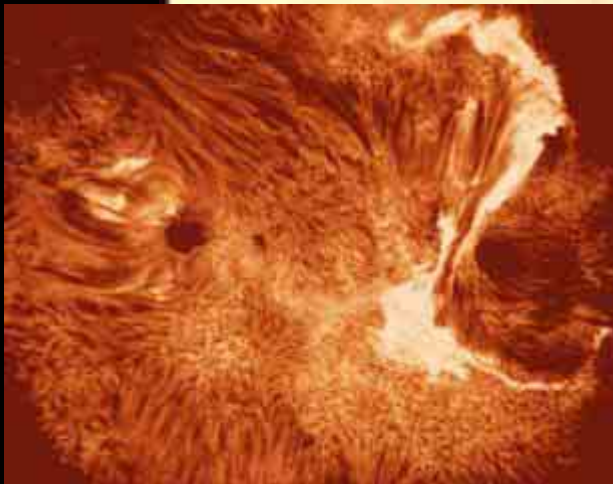
Chromosféra



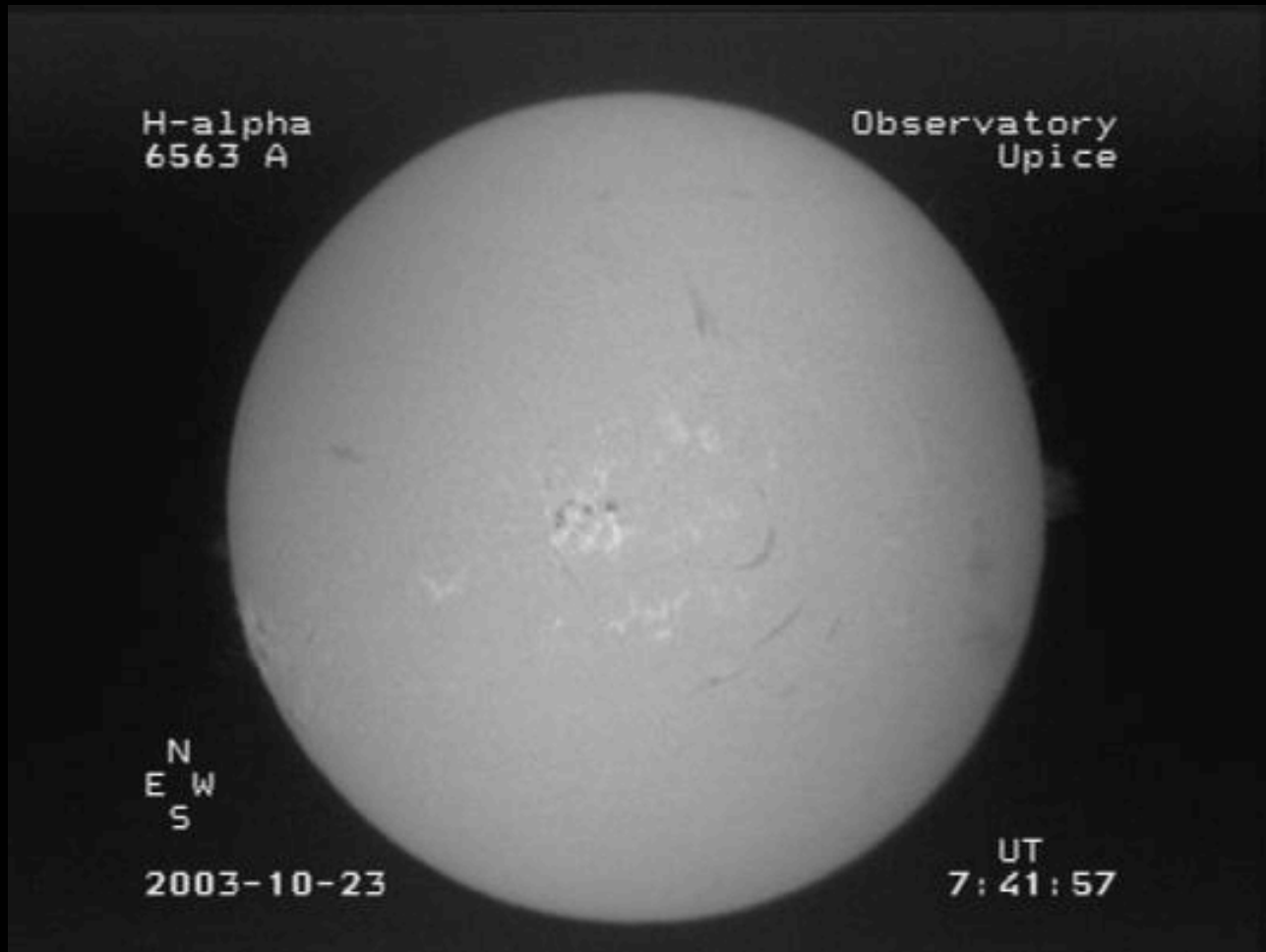
Výška až 50 000 km, teplota – tisíce K (nižší než okolí), doba života různá, 200x vyšší hustota než okolní koróna

Protuberance

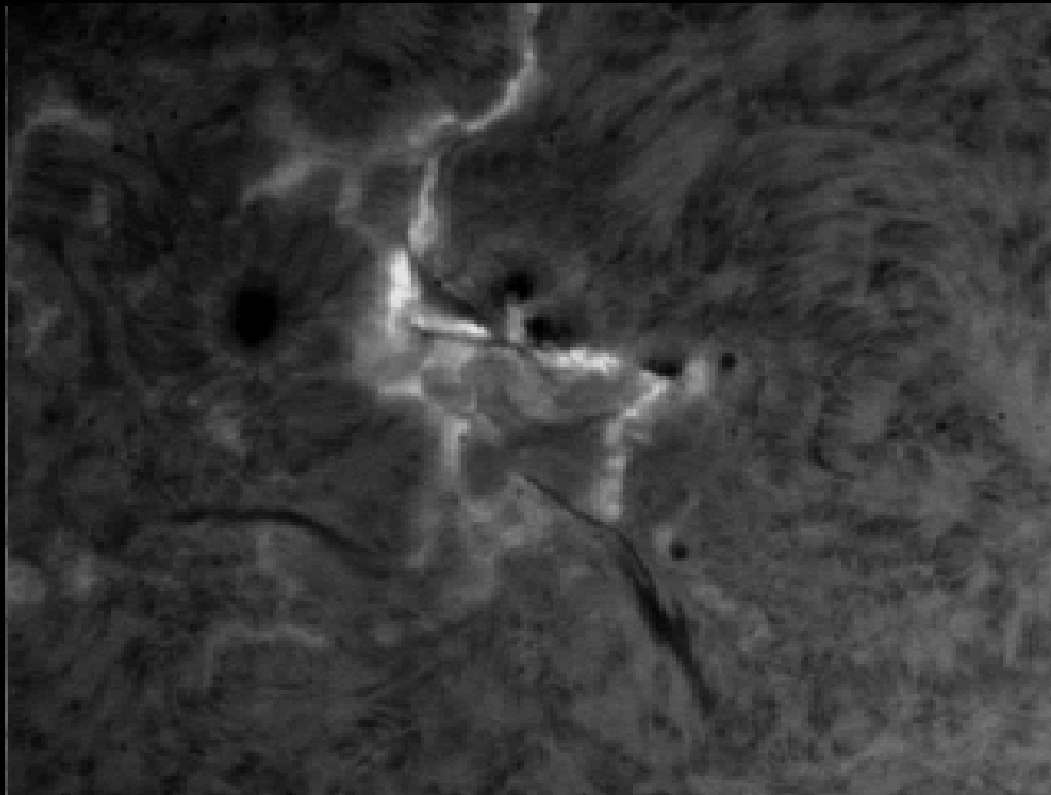
Sluneční erupce



Sluneční erupce



Sluneční erupce



Tue Jun 6 14:56:45 GMT 2000

Sluneční erupce

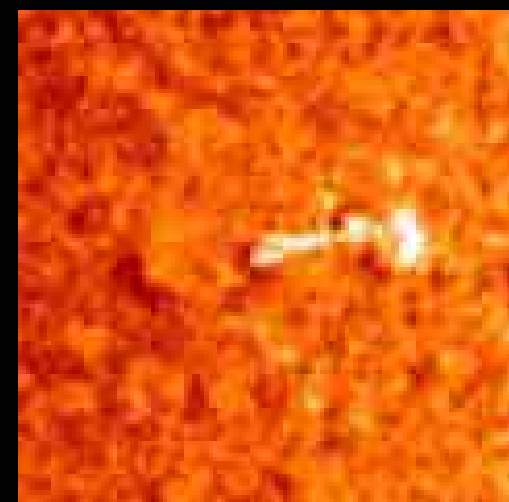
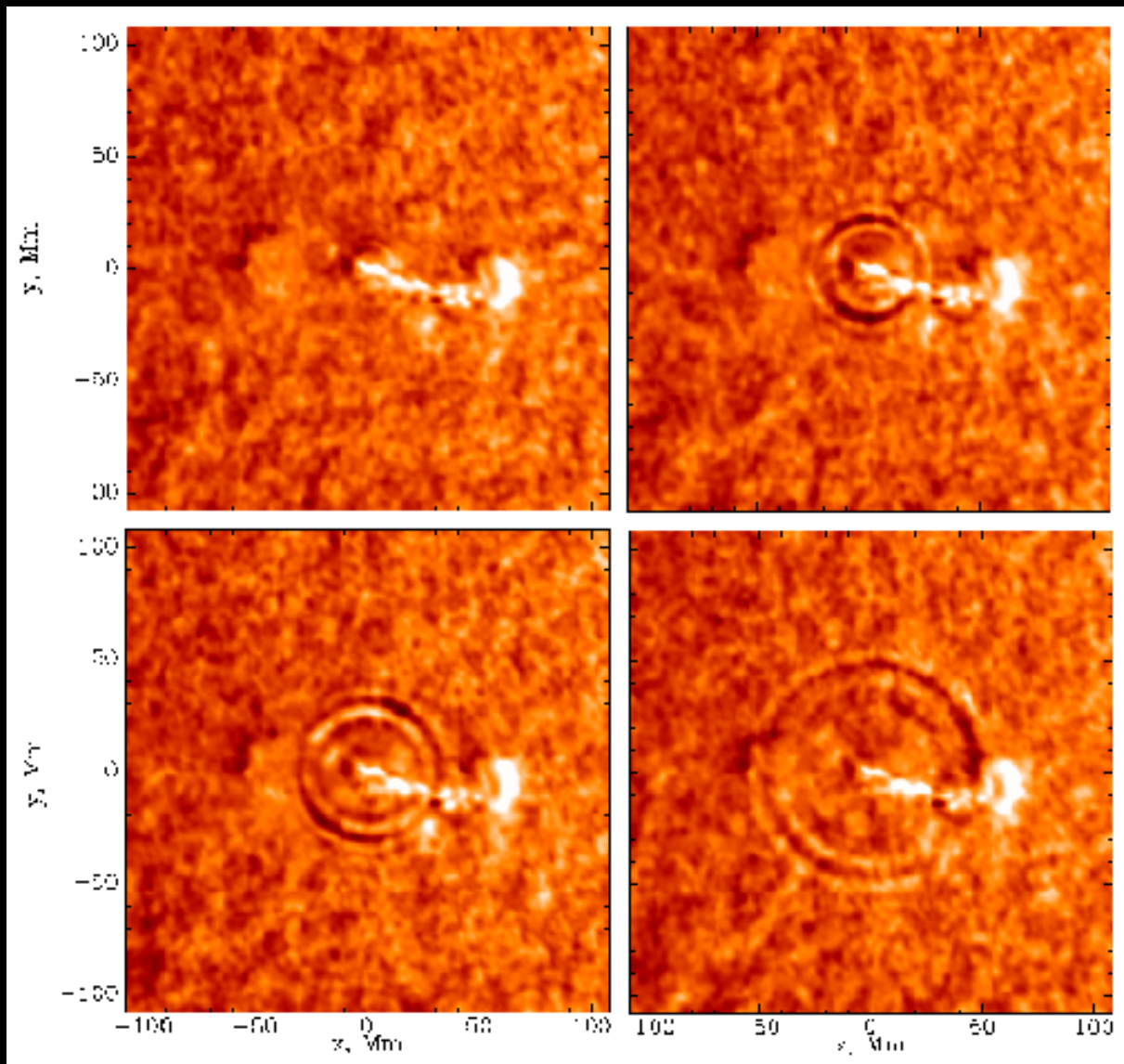
Teploty až 100 milionů K

Energie se uvolní v celém elektromagn. spektru

Několik minut až několik hodin



Sluneční erupce



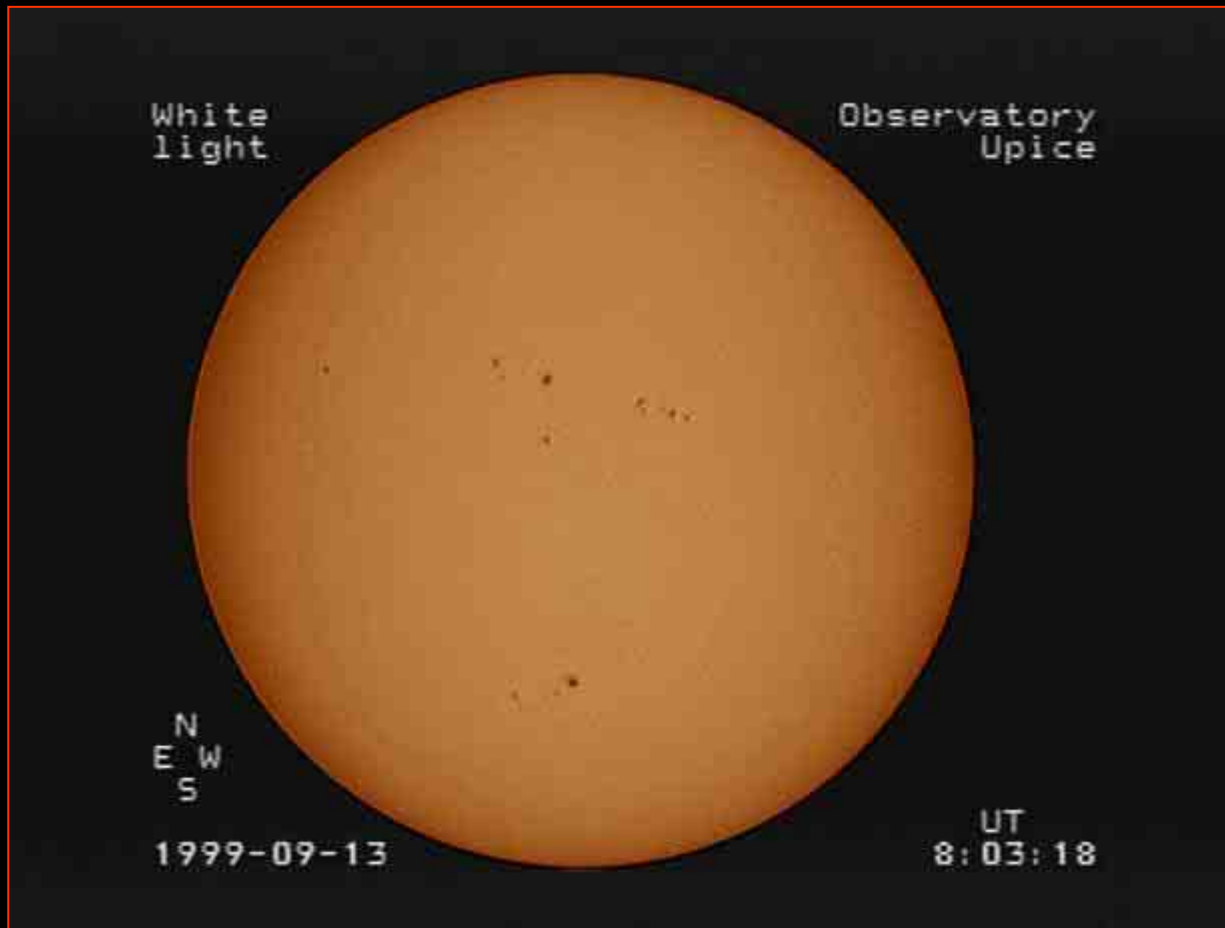
Optická lavice



- Umožňuje rychlou změnu pozorovacího experimentu (bílé světlo, vodíková čára H-alfa a čára vápníku CaII-K)
- Zpracování v elektronické podobě



Optická lavice



Na snímku v bílém světle můžeme pozorovat nejvýraznější útvary pozorovatelné na slunečním povrchu – sluneční skvrny.

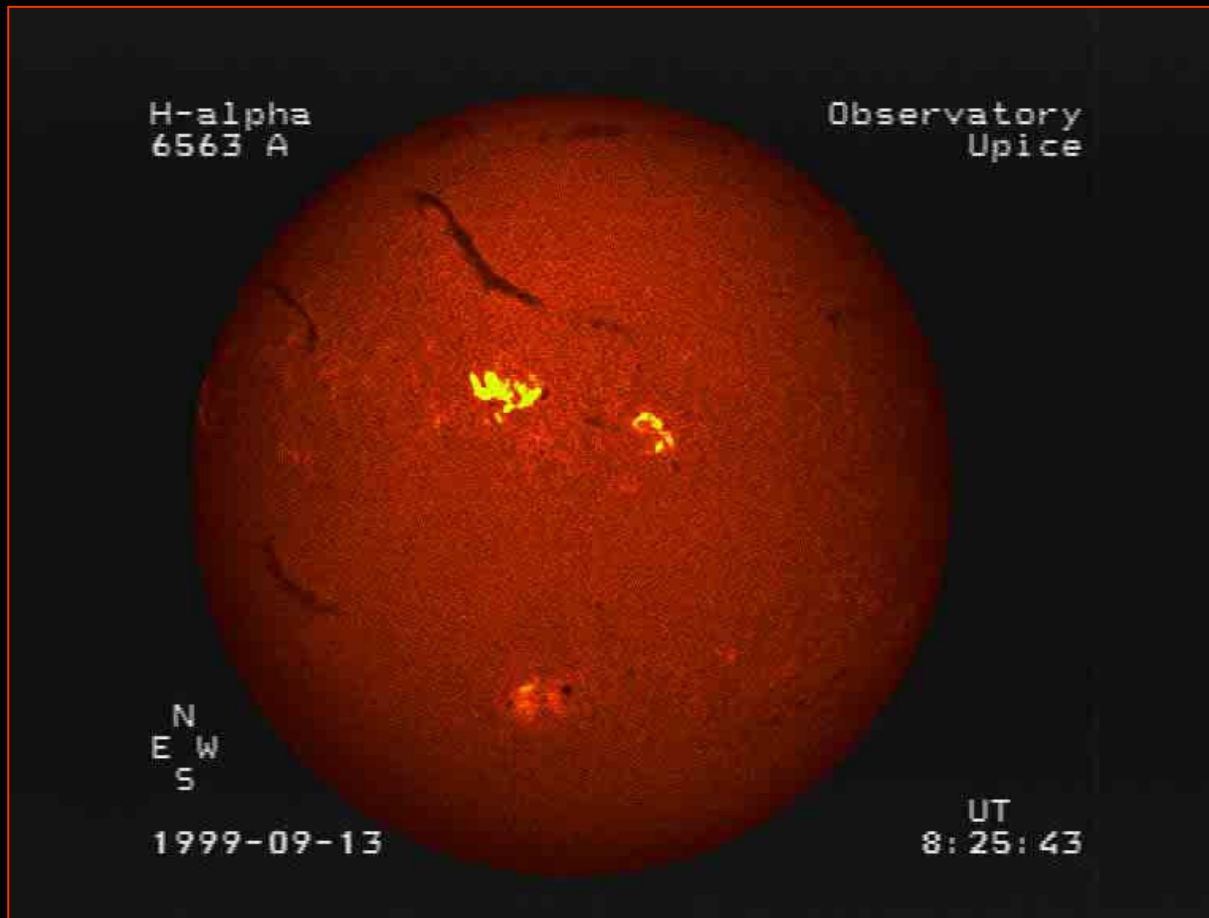
Jedná se o místa s porušeným magnetickým polem, kde je nižší teplota.

Proto je vidíme na slunečním povrchu tmavé až černé.

Obraz Slunce v bílém světle

Optická lavice

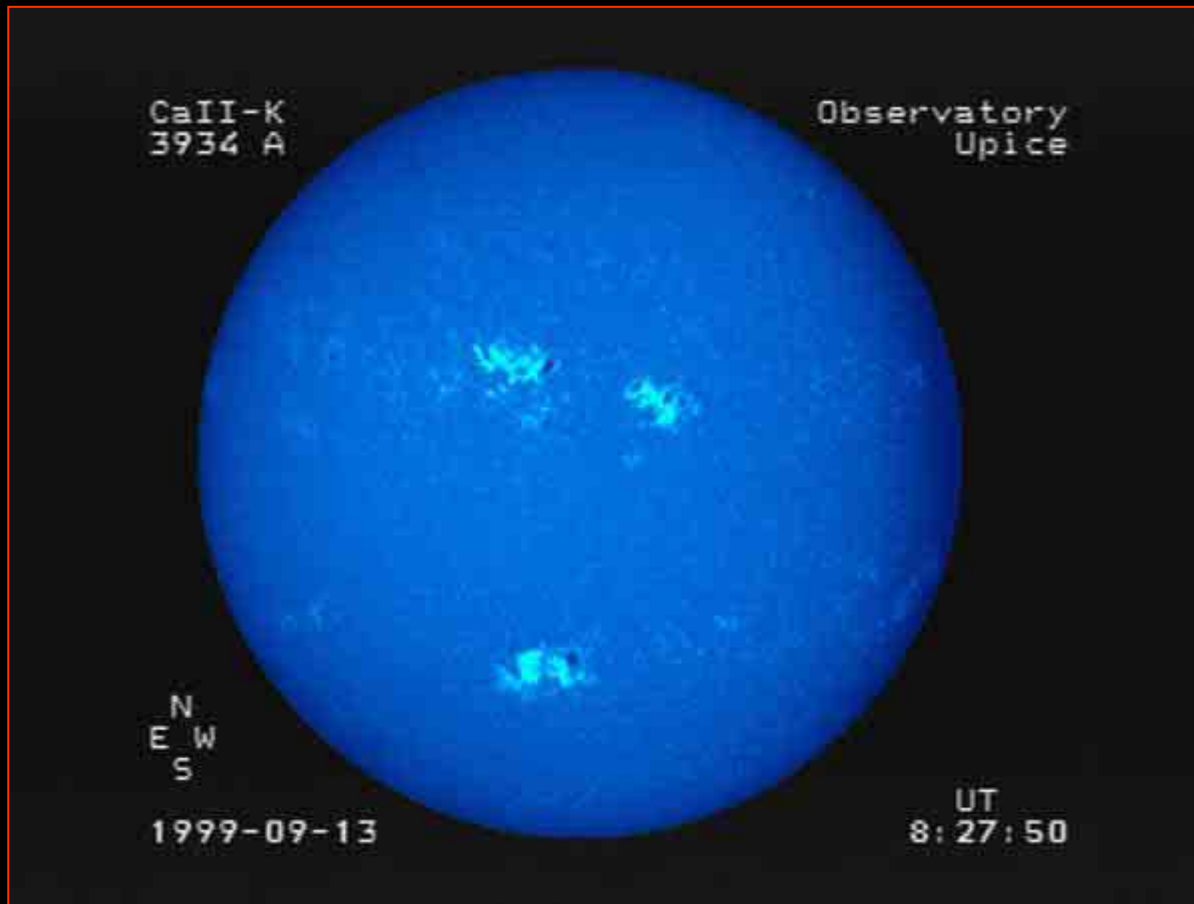
Na snímku ve vodíkové čáře H-alfa můžeme pozorovat sluneční erupce – jasné zářivé body či oblasti, protuberance promítající se na povrch Slunce (temné filamenty) a jasné aktivní plochy aktivních oblastí.



Obraz Slunce v H-alfa čáře

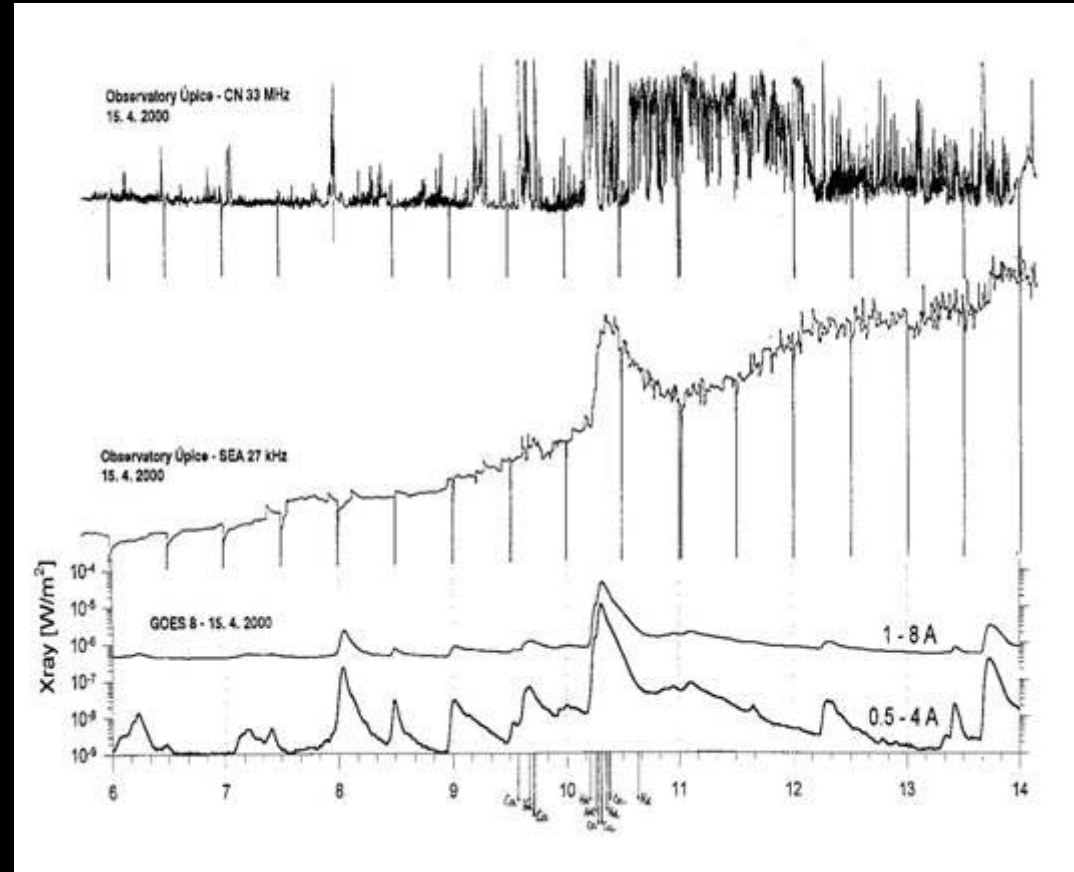
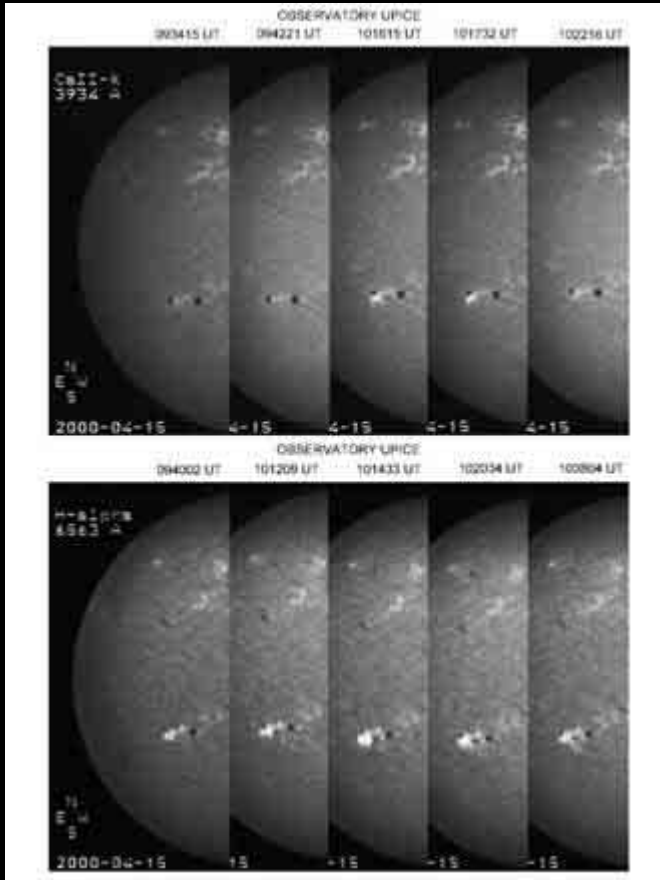
Optická lavice

Na snímku ve vápníkové čáře CaII-K můžeme pozorovat zejména oblasti s porušeným magnetickým polem, které jsou oblastmi, kde mohou vznikat sluneční erupce.



Obraz Slunce v CaII-K čáře

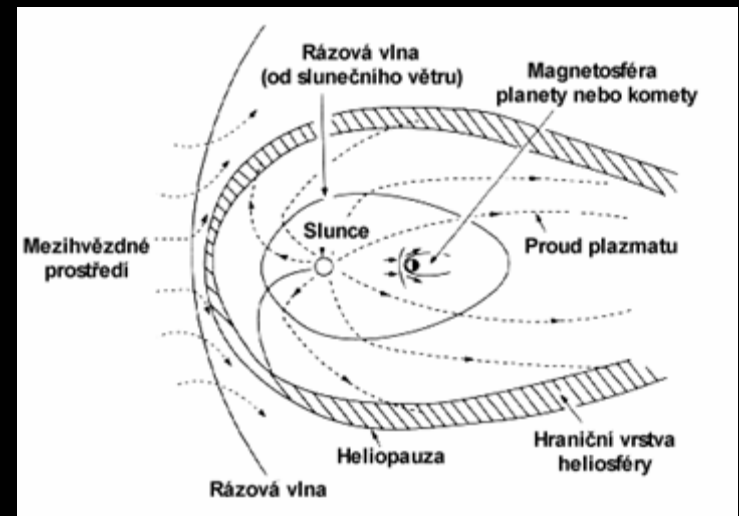
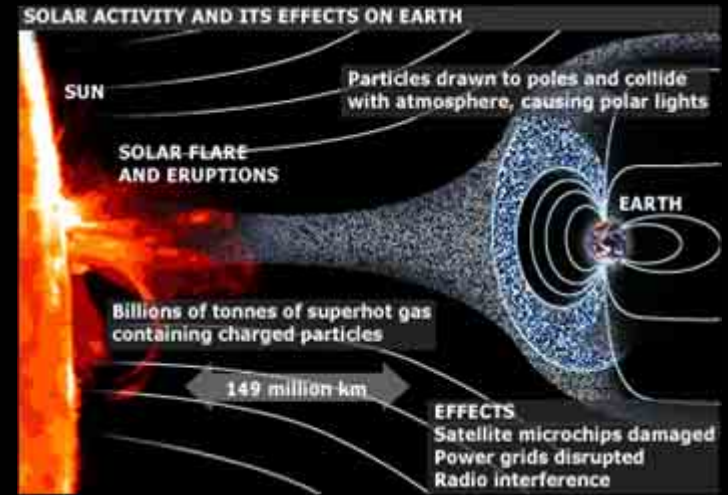
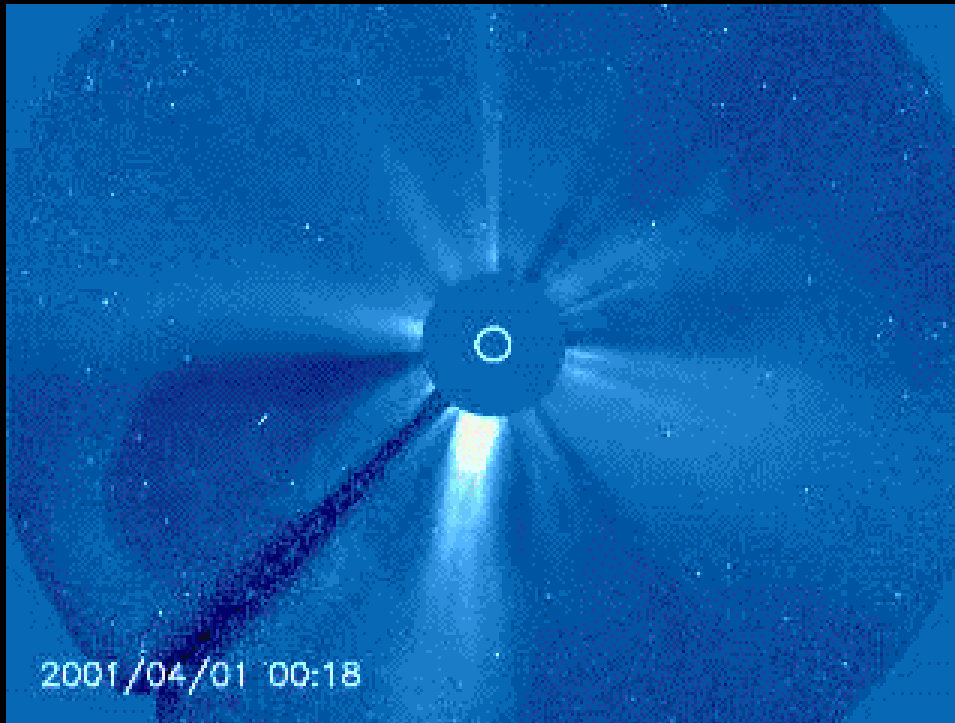
Sluneční erupce



Výtrysk sluneční hmoty - CME

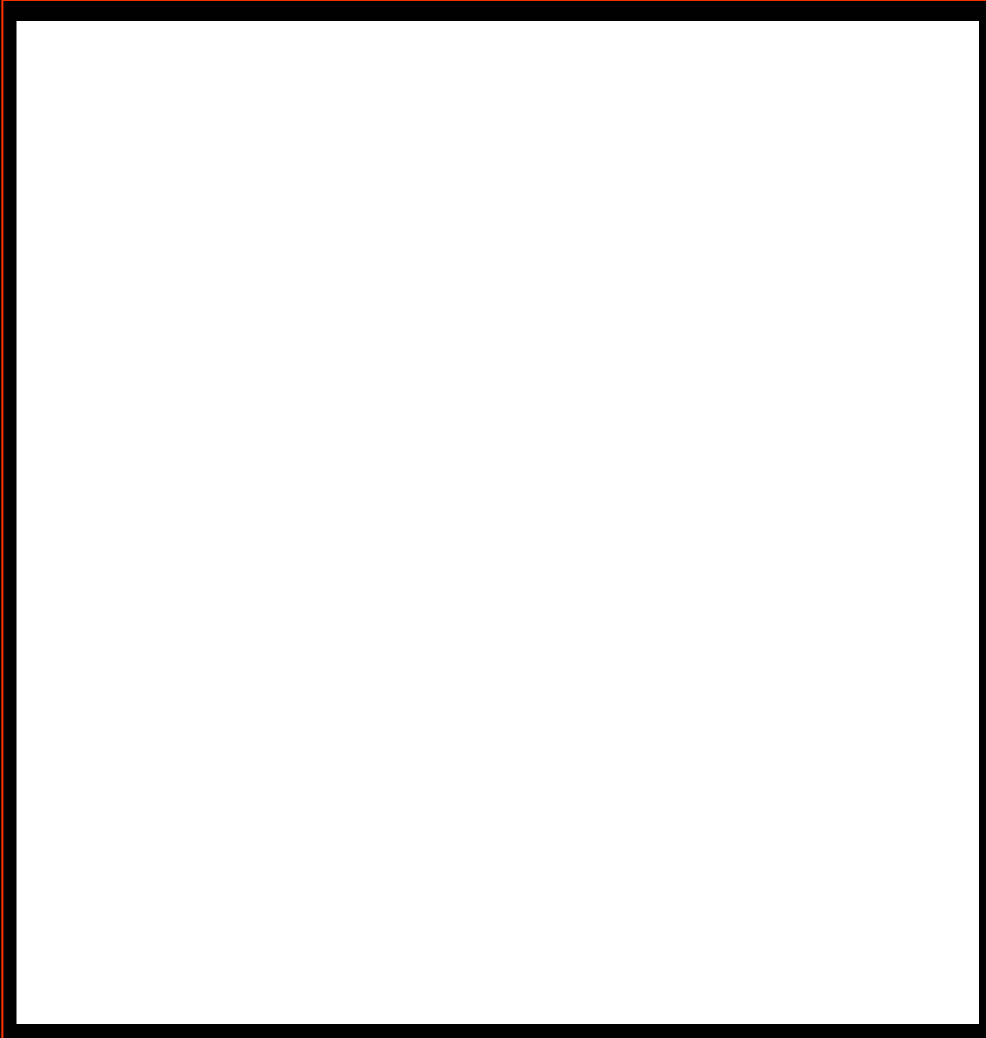


Výtrysk sluneční hmoty - CME



- Spouštěcí mechanismus erupcí
- přímo na Slunci stlačením a rekonexí magnetických siločar
 - důsledek CME (CME → erupce)

Optická lavice

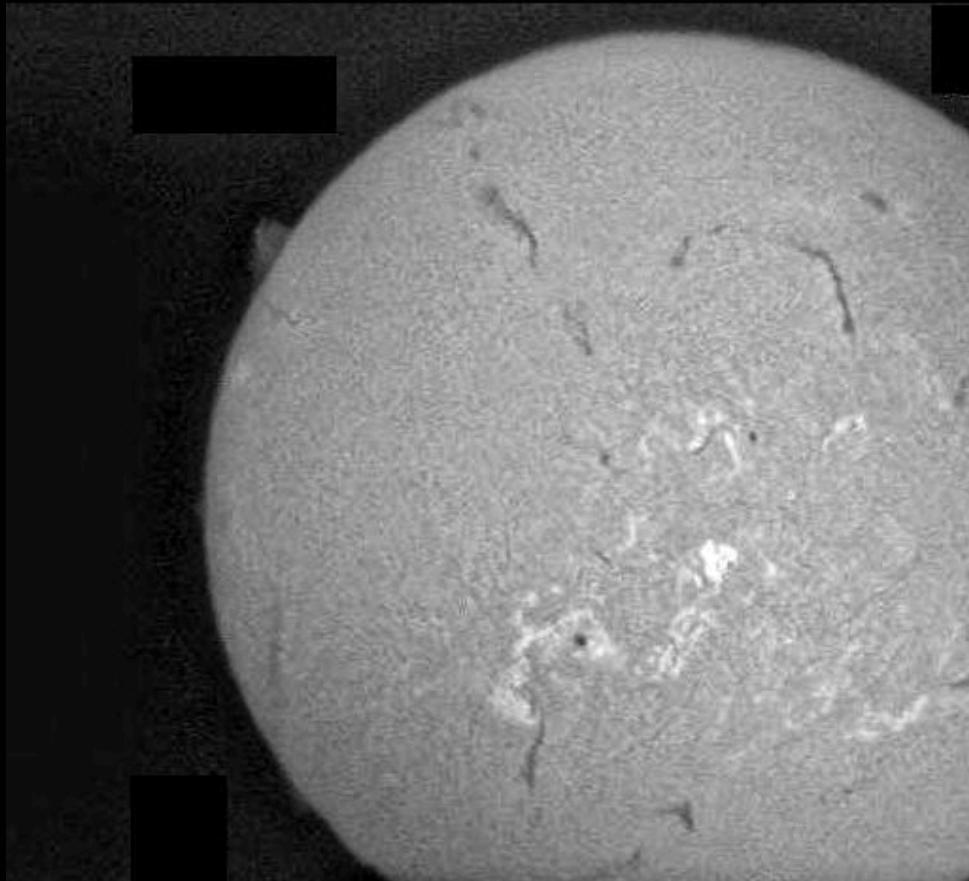


Na této animaci je možno pozorovat silný eruptivní jev 15. května 2000, který přešel v rozsáhlé CME viditelné z družice SOHO.

Na spodních grafech je vidět průběh jevu zaznamenaný na úpické hvězdárně (atmosferiky SEA a kosmický šum CN) a na družici GOES

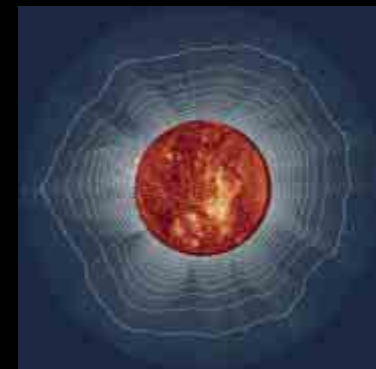
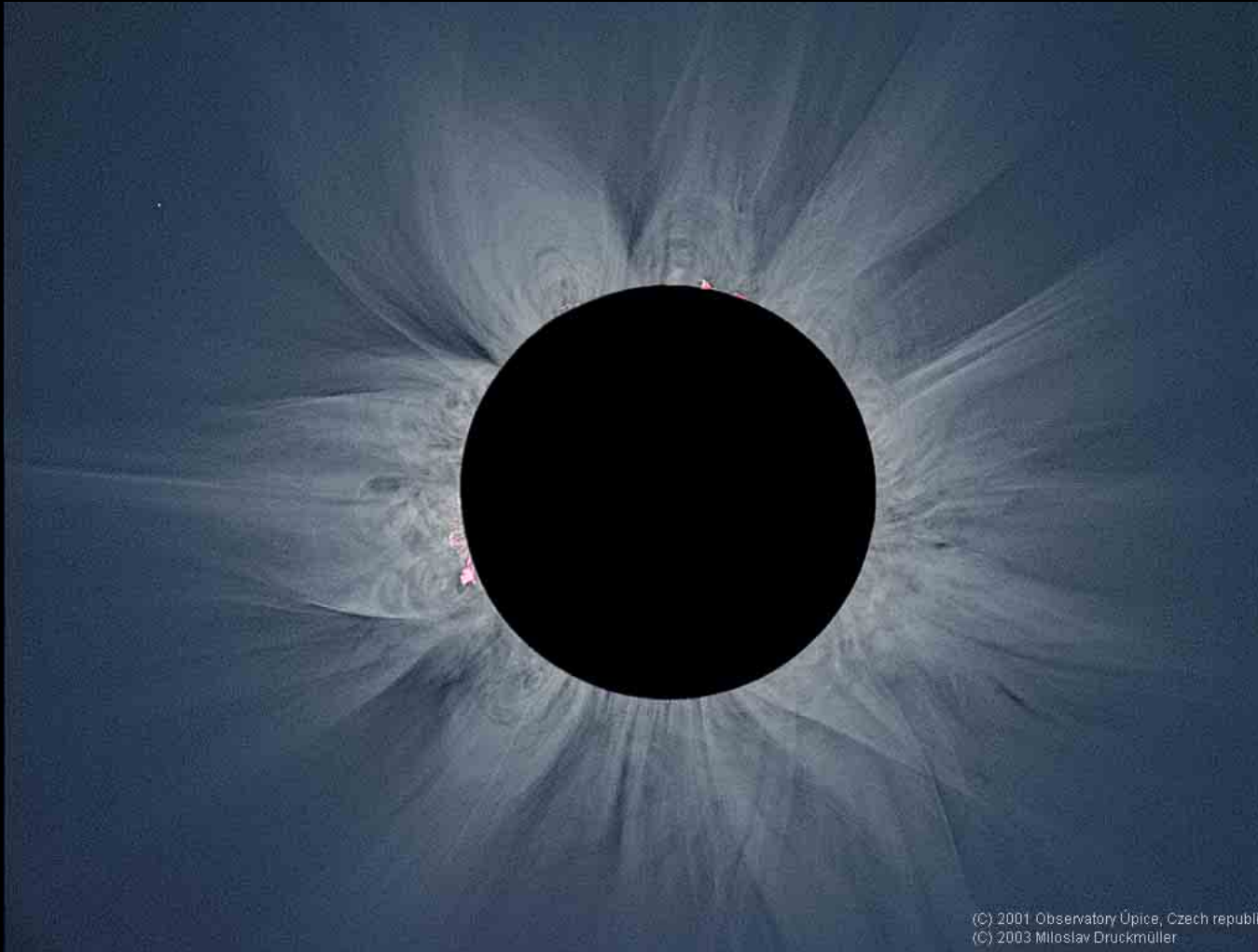
Optická lavice

OBSERVATORY UPICE 2002-01-04 082822 UT H-alpha



4. ledna 2002 došlo na Slunci k výbuchu eruptivní protuberance, jež byla pozorovatelná také na družici SOHO, Počáteční fáze by zachycena na Hvězdárně v Úpici.

Sluneční koróna



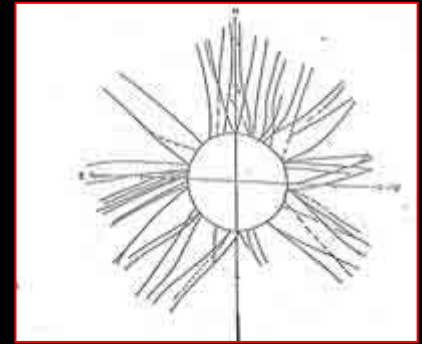
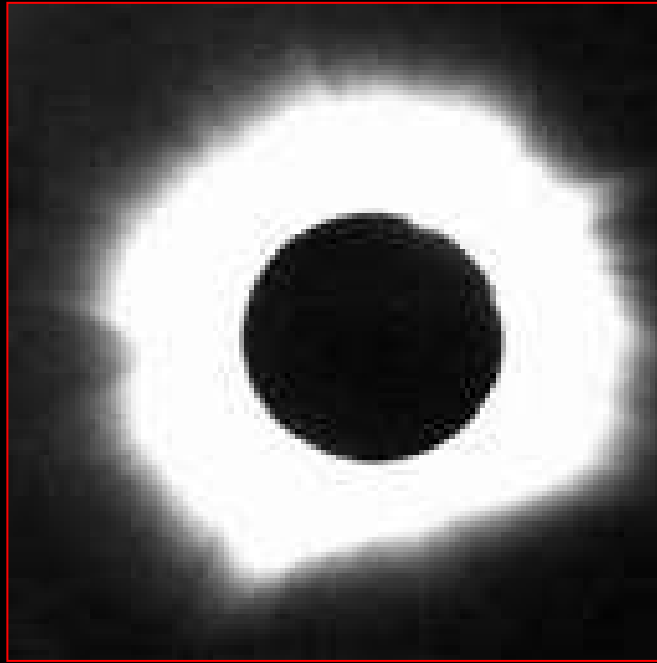
Vrchní část sluneční atmosféry
Sahá do vzdálenosti asi 60AU

Sluneční koróna

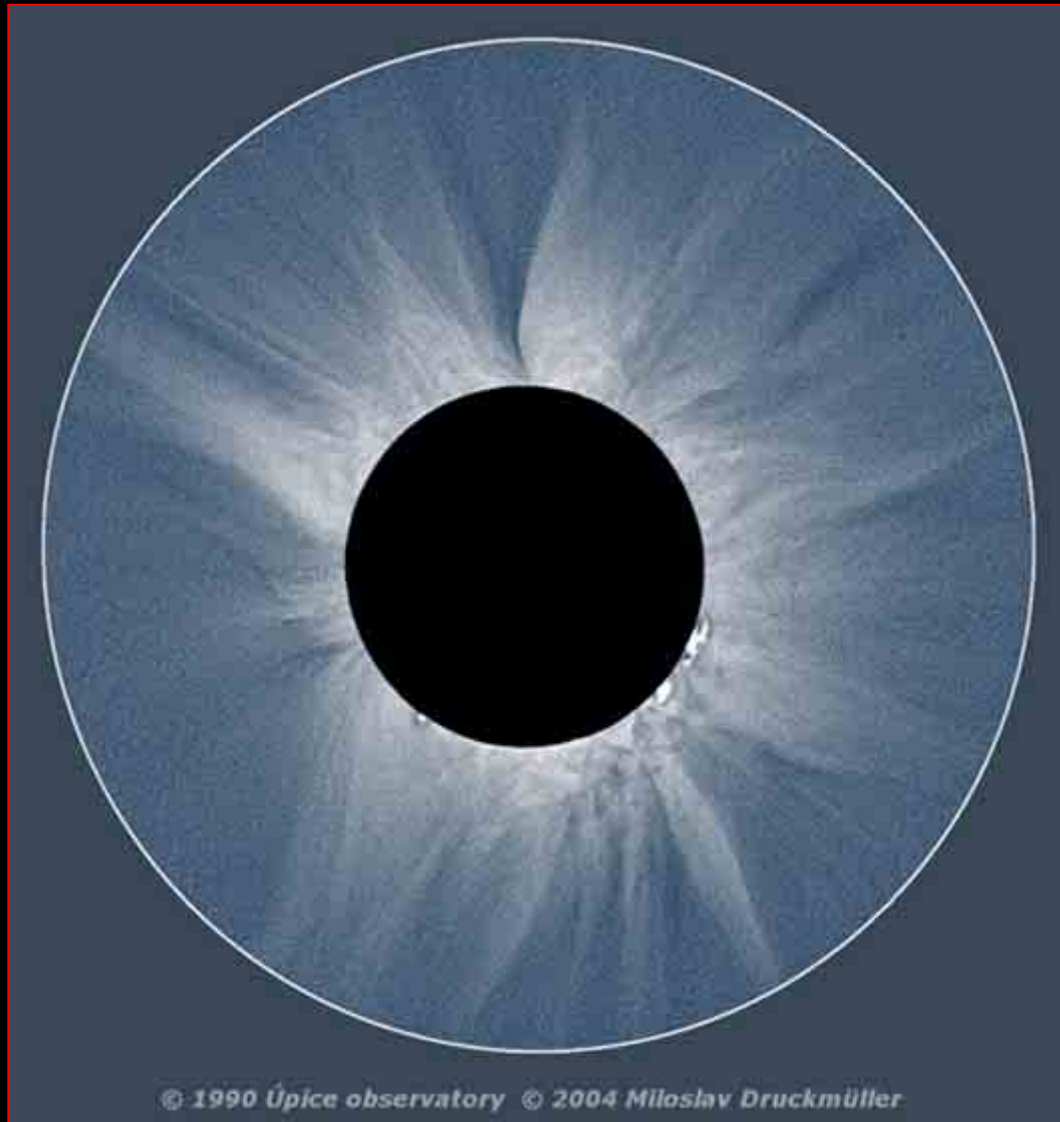
- Řídká plazma – leží v ní celá sluneční soustava
- Velká a složitá dynamická struktura
- Hlavní slovo – opět všemocné mg. pole
→ pozorována smyčková struktura – životní doba několik hodin
- Teplota závisí na místě – nad erupcemi mohou dosahovat až desítky miliónů K, při přerušení ohřevu ochlazení a plyn klesá zpět na povrch
- Mg. siločáry jsou propojeny, tvoří velké motanice – i zde je to ovlivněno granulárním pohybem
- Tlak s výškou klesá – v teplejších místech mnohem pomaleji
- Hustota s výškou klesá



Zatmění Slunce - 1990 Čukotka

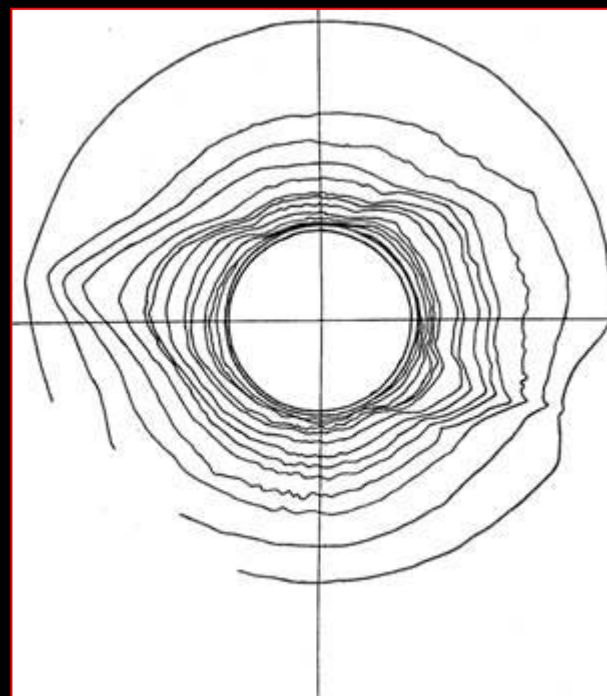
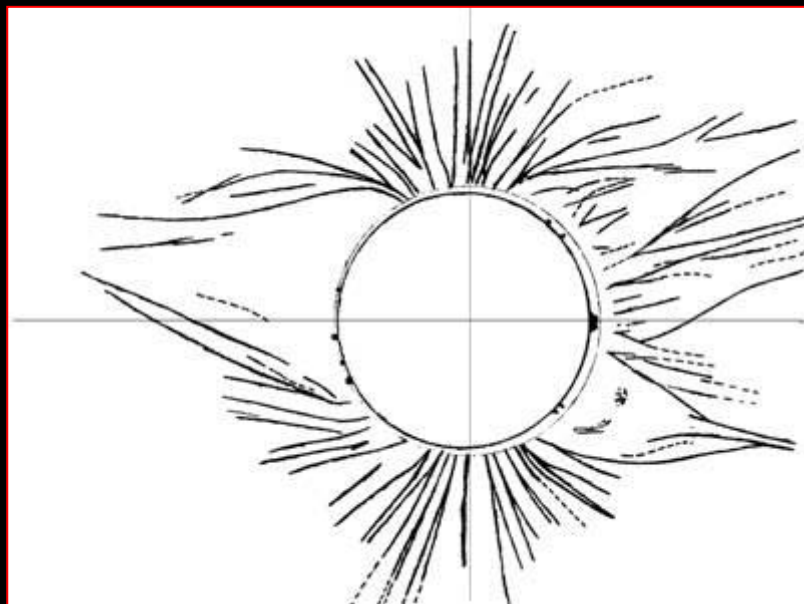
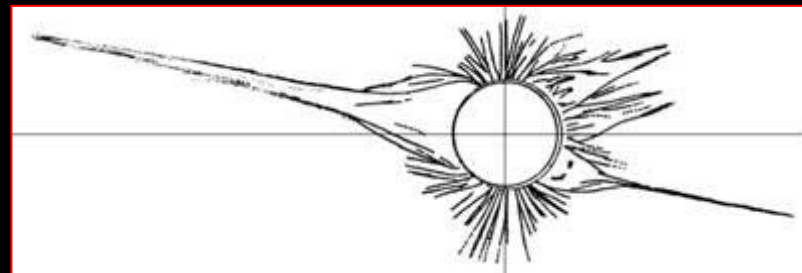


Zatmění Slunce - 1990 Čukotka



© 1990 Úpice observatory © 2004 Miloslav Druckmüller

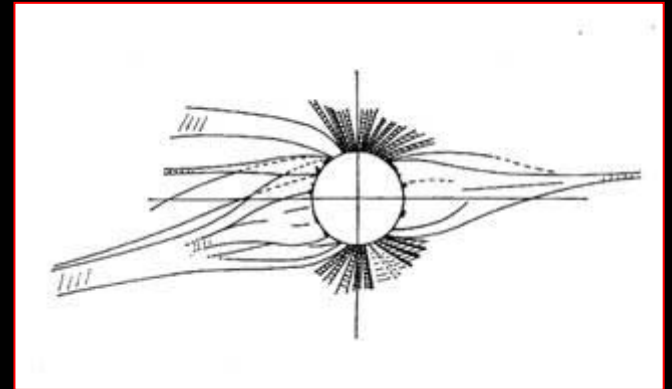
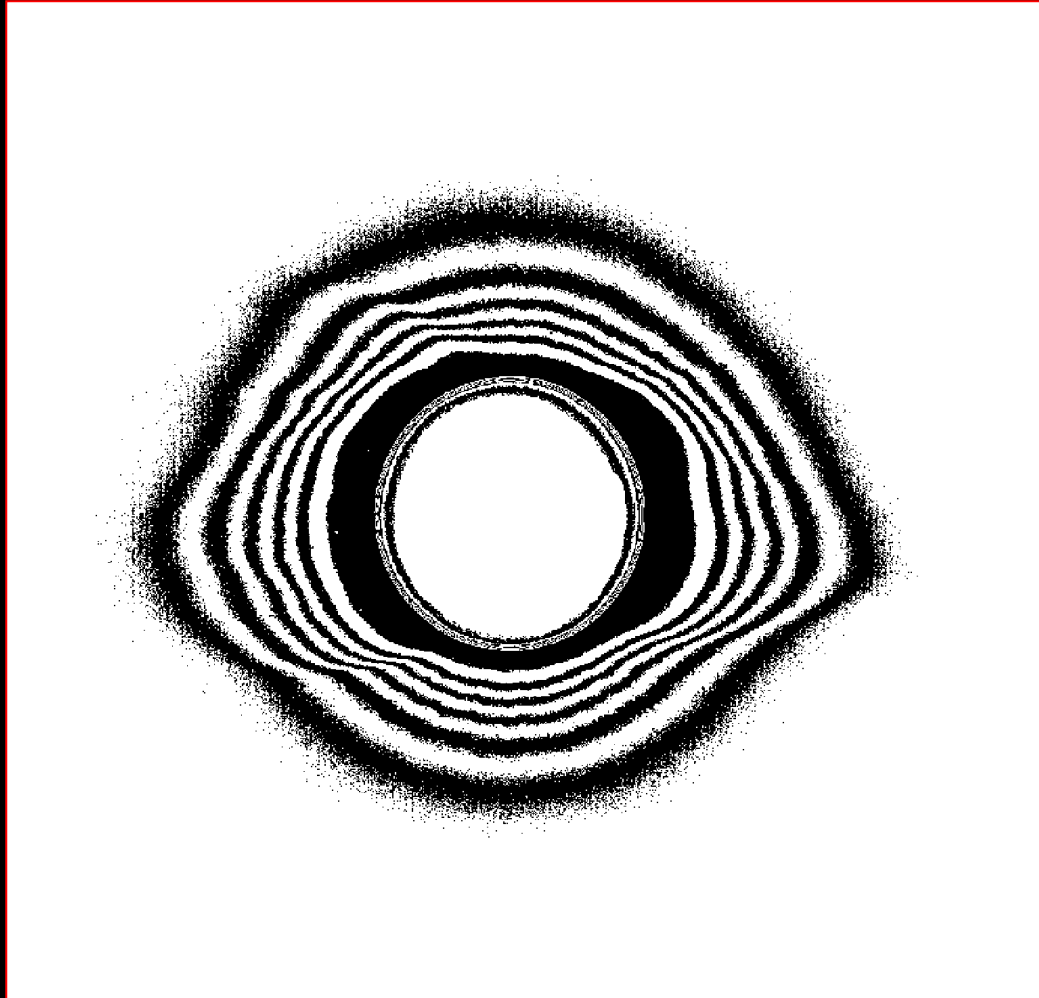
Zatmění Slunce - 1994 Brazílie



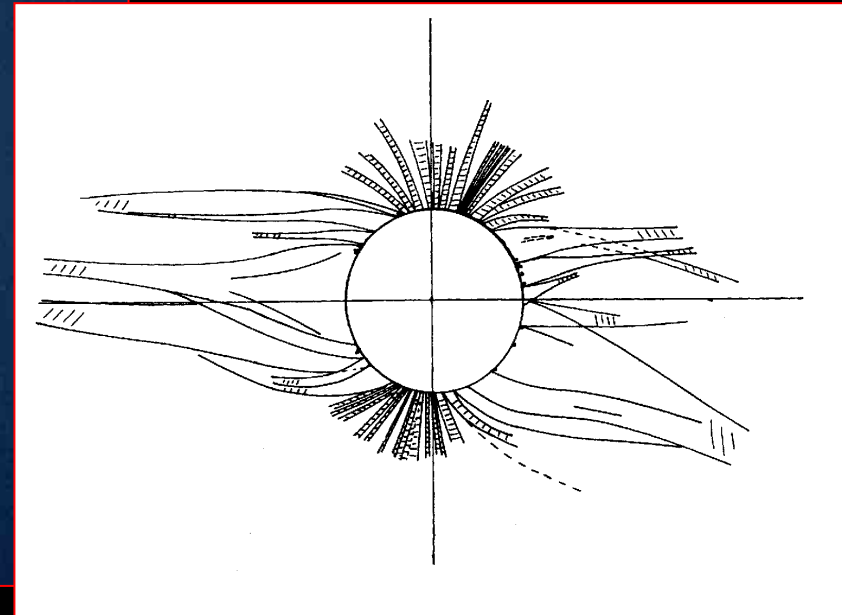
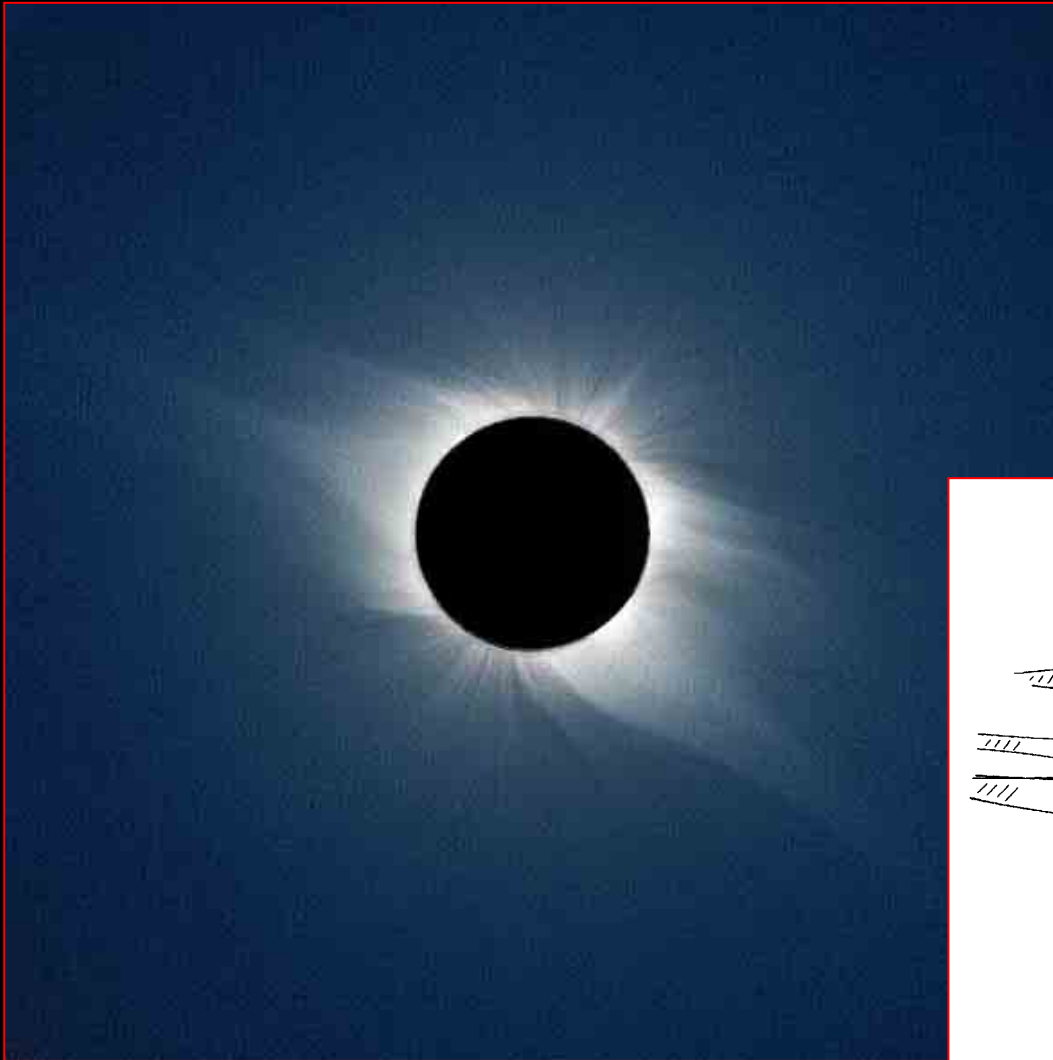
Zatmění Slunce - 1995 Indie



Zatmění Slunce - 1997 Sibiř



Zatmění Slunce - 1998 Venezuela



Zatmění Slunce - 1999 Evropa



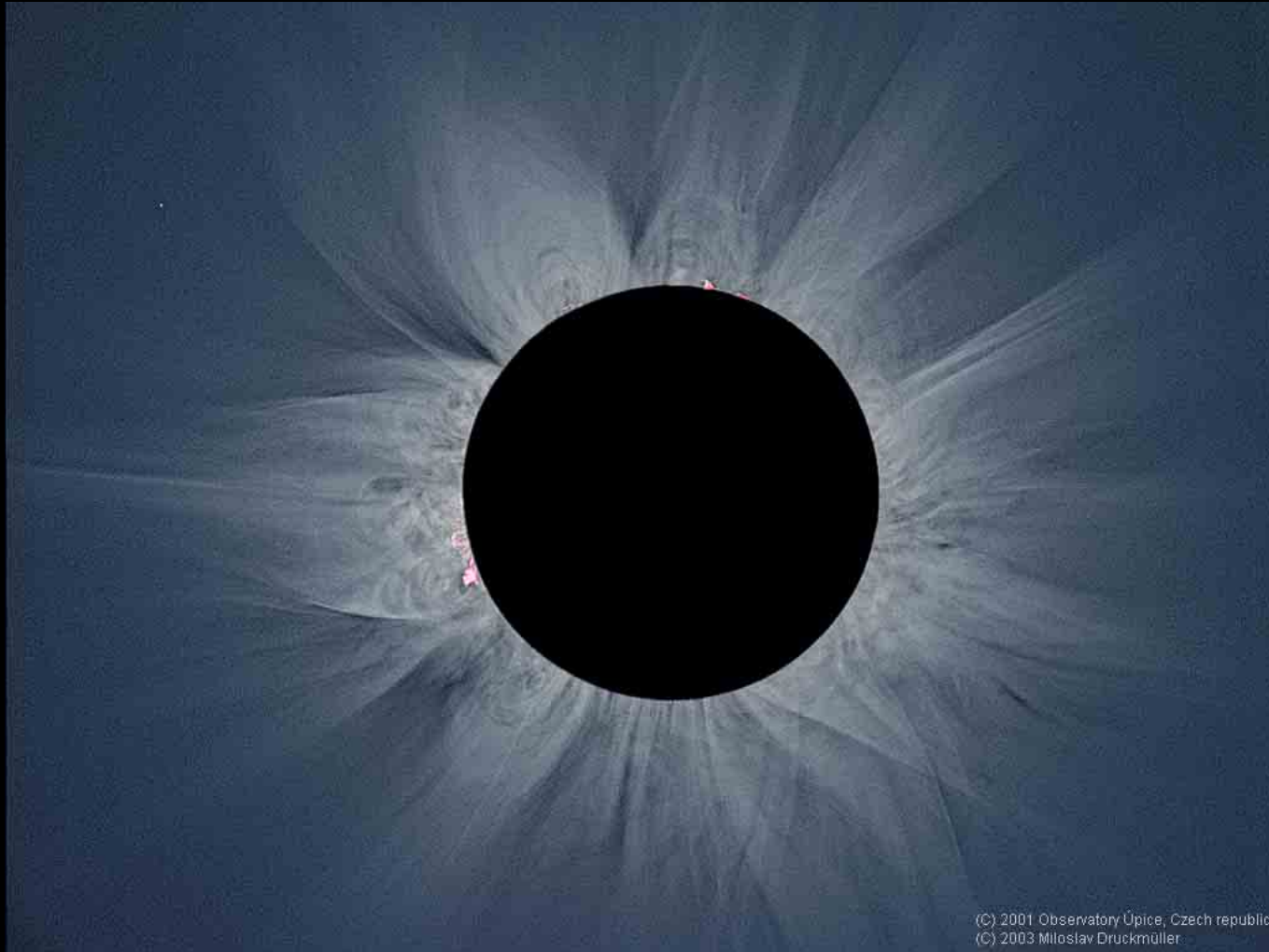
Zatmění Slunce - 2001 Angola



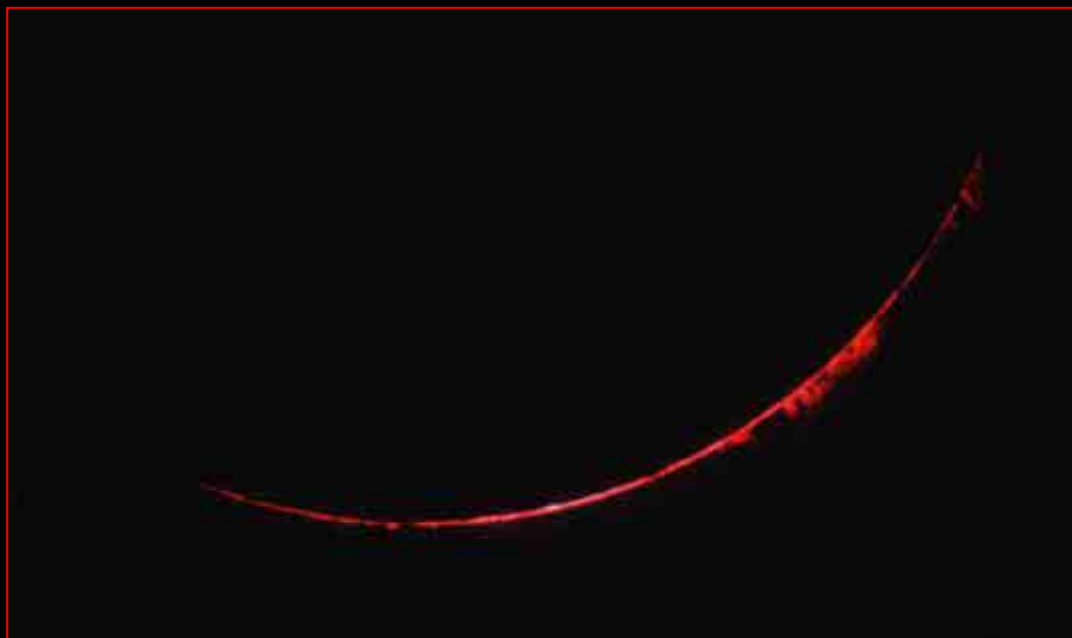
Zatmění Slunce - 2001 Angola



Zatmění Slunce - 2001 Angola



Zatmění Slunce - 2002 JAR



Sluneční koróna

Nevyřešené problémy:

- Teplota roste od povrchu Slunce až na několik miliónů K – proč?
co způsobuje ohřev koróny?
 - a) MHD a Alfénovy vlny (konvekce a mg. pole)
 - b) magnetické rekonekce
 - c) nanoerupce
 - d) elektrické proudy, detekované pomocí oscilací (sekundové a menší)

Předpoklad – koronální ohřev vzniká ve fotosféře – nejvíce aktivní dolní část koróny

vysoká termální vodivost horkého koronálního plynu – SOHO a TRACE objevily, že tato vodivost je velmi účinná

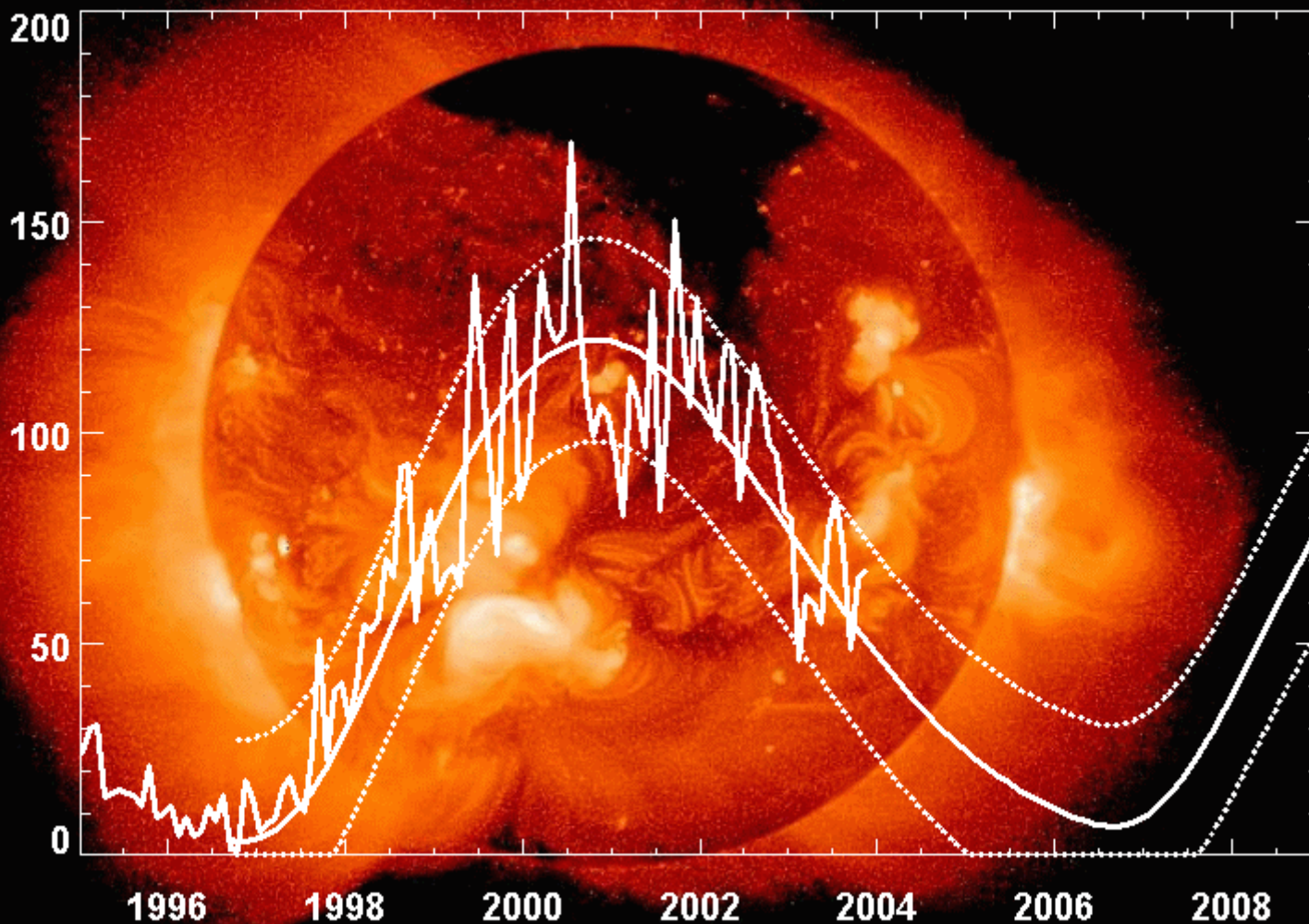
Sluneční koróna

Nevyřešené problémy:

- Doplnování koronální hmoty ze slunečního povrchu: proč ji není přebytek?
Možná se vypařuje do slunečního větru – jak (nepřetržitě, kaskádovitě)?, kudy (spikulemi, protuberancemi, nanoerupcemi)?
- Spoluexistence horké koróny a v ní chladných protuberancí
- Urychlování částic z koróny do slunečního větru
- Složitá struktura koróny: různé typy útvarů – přilbicové a polární paprsky, smyčky, dutiny, tmavé dutiny, super-jemné struktury (0,4 arcsec, životní doba 200s) – propojení s fotosferickými útvary a protuberancemi
- Změny struktury koróny v závislosti na slunečním cyklu a různých cyklech
- Přítomnost neutrální hmoty v koróně

Co se dělo na podzim 2003 ?

Cycle 23 Sunspot Number Prediction (December 2003)



Co se dělo na podzim 2003 ?



Anthony Ayiomamitis
<http://www.perseus.gr>

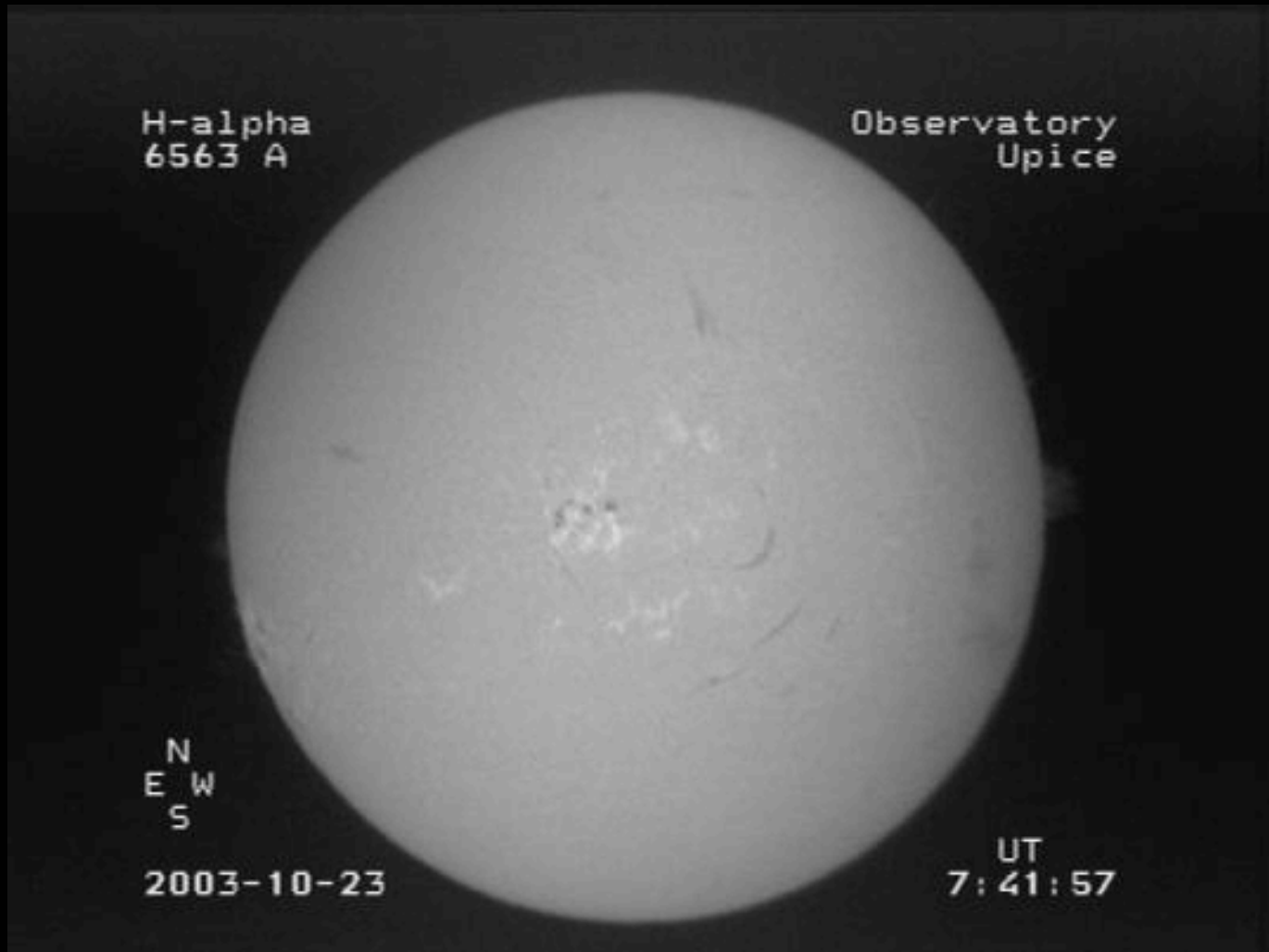
Velké TRIO

Co se dělo na podzim 2003 ?



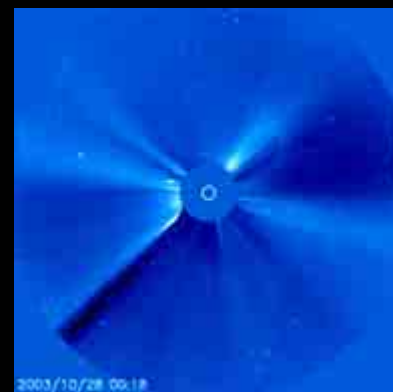
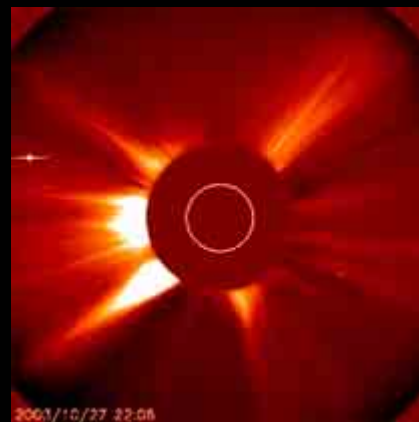
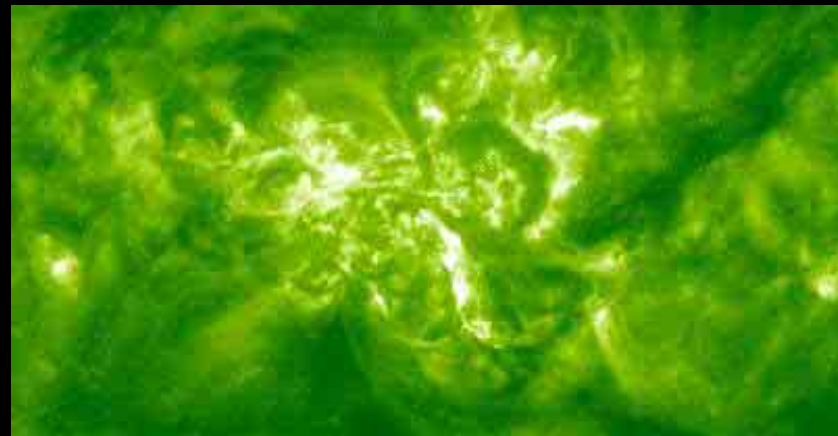
23. říjen 2003

Co se dělo na podzim 2003 ?



23. říjen 2003

Co se dělo na podzim 2003 ?



V obrovské skupině skvrn v aktivní oblasti 486 vznikla jedna z největších pozorovaných erupcí (třída X11). Při ní bylo uvolněno velké CME mířící k Zemi.

28. říjen 2003

Co se dělo na podzim 2003 ?



30. října dorazila CME k Zemi a vyvolala efektní polární záře

Co se dělo na podzim 2003 ?

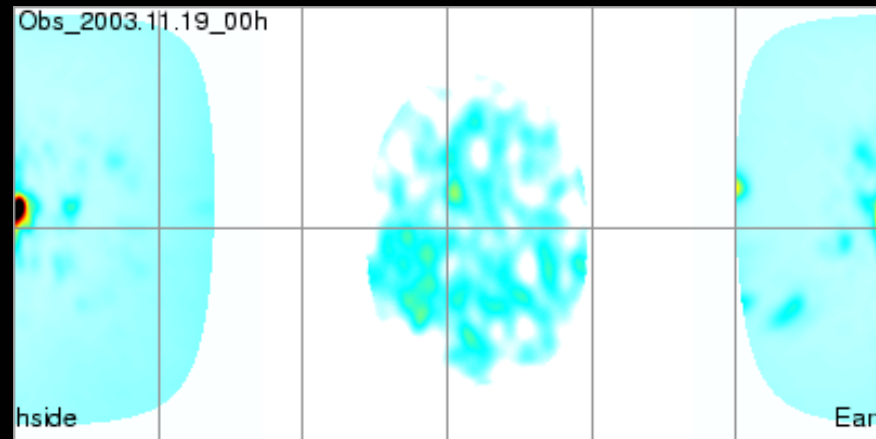
31.10.2003



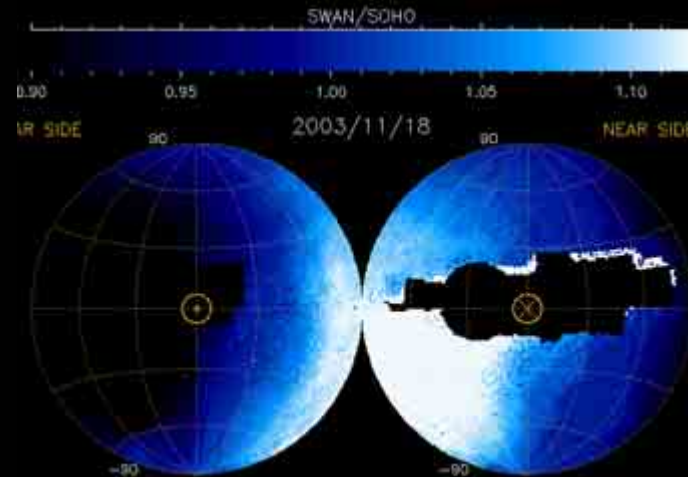
5.11.2003



Co se dělo na podzim 2003 ?

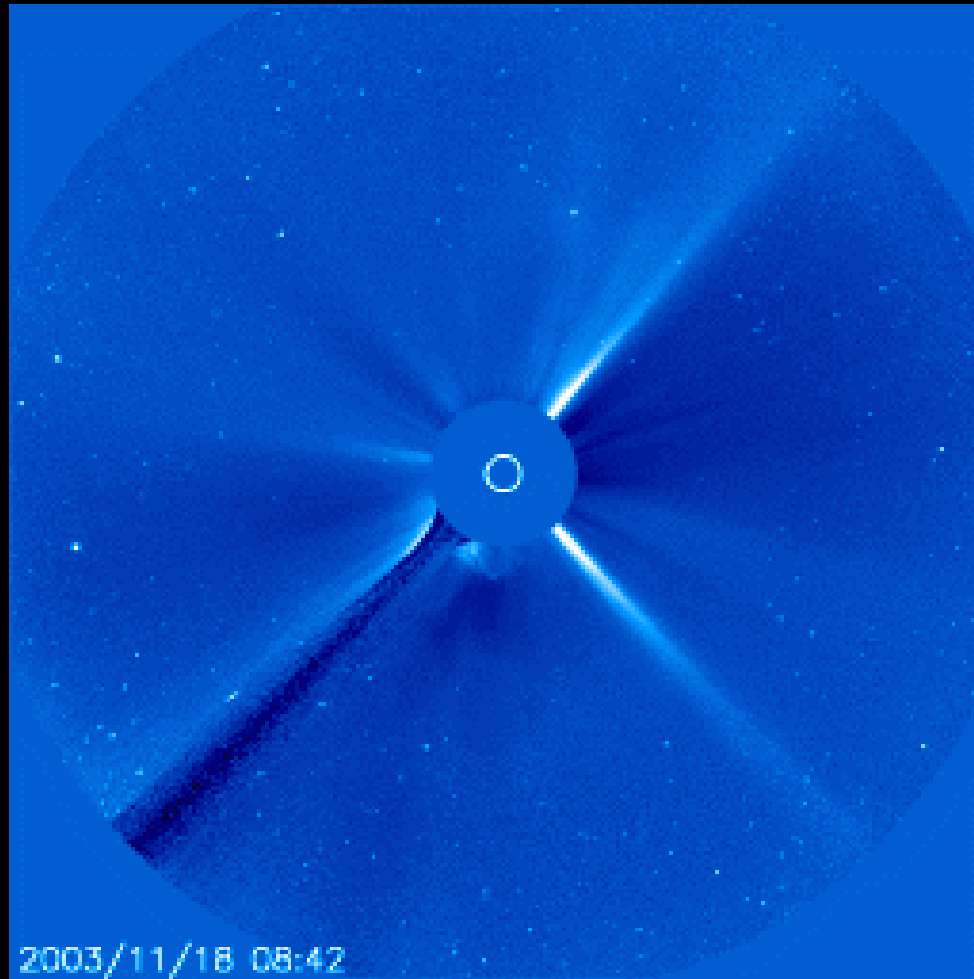


Ve skupině 484 vzniká mohutná erupce (třída M)



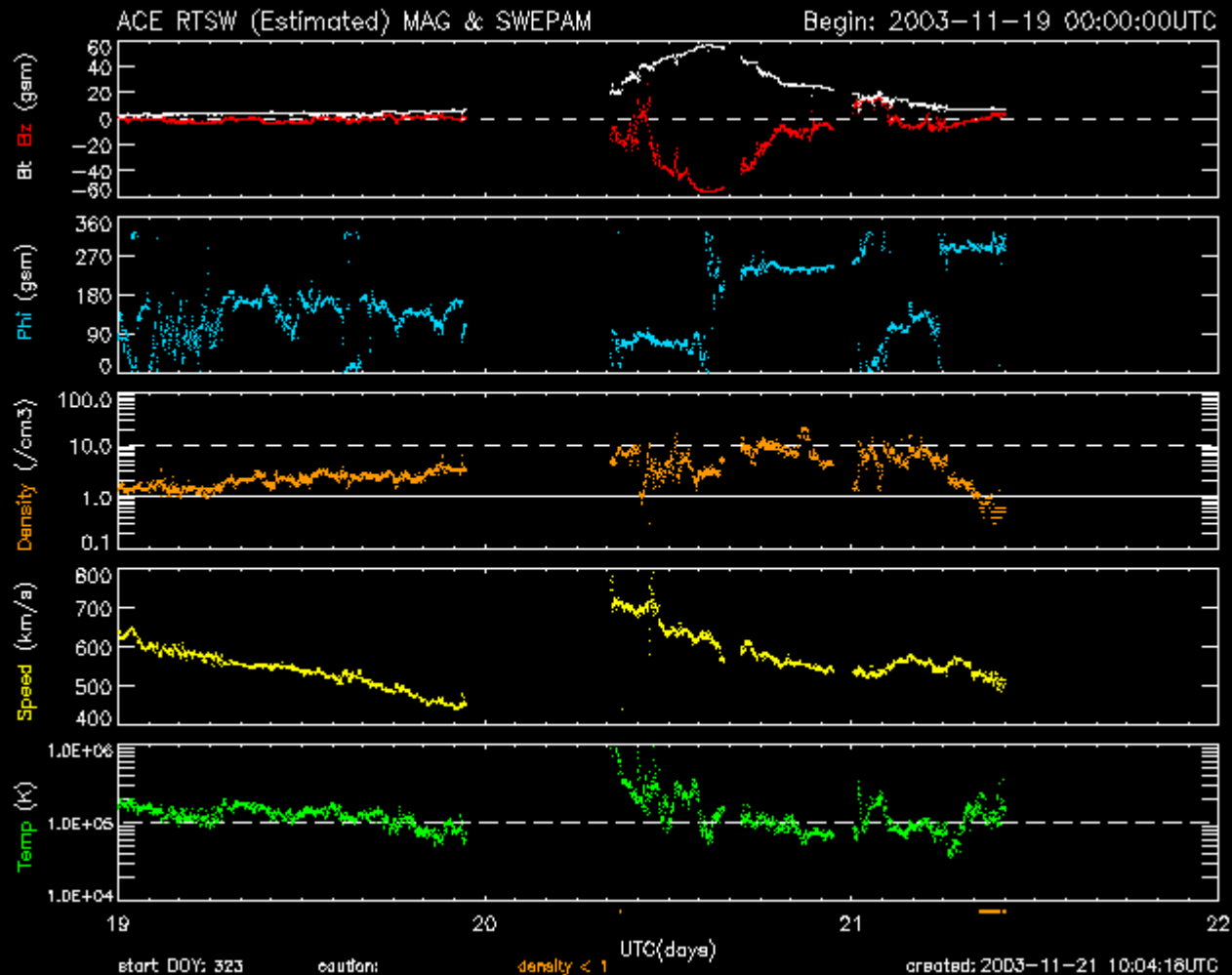
18. listopad 2003

Co se dělo na podzim 2003 ?



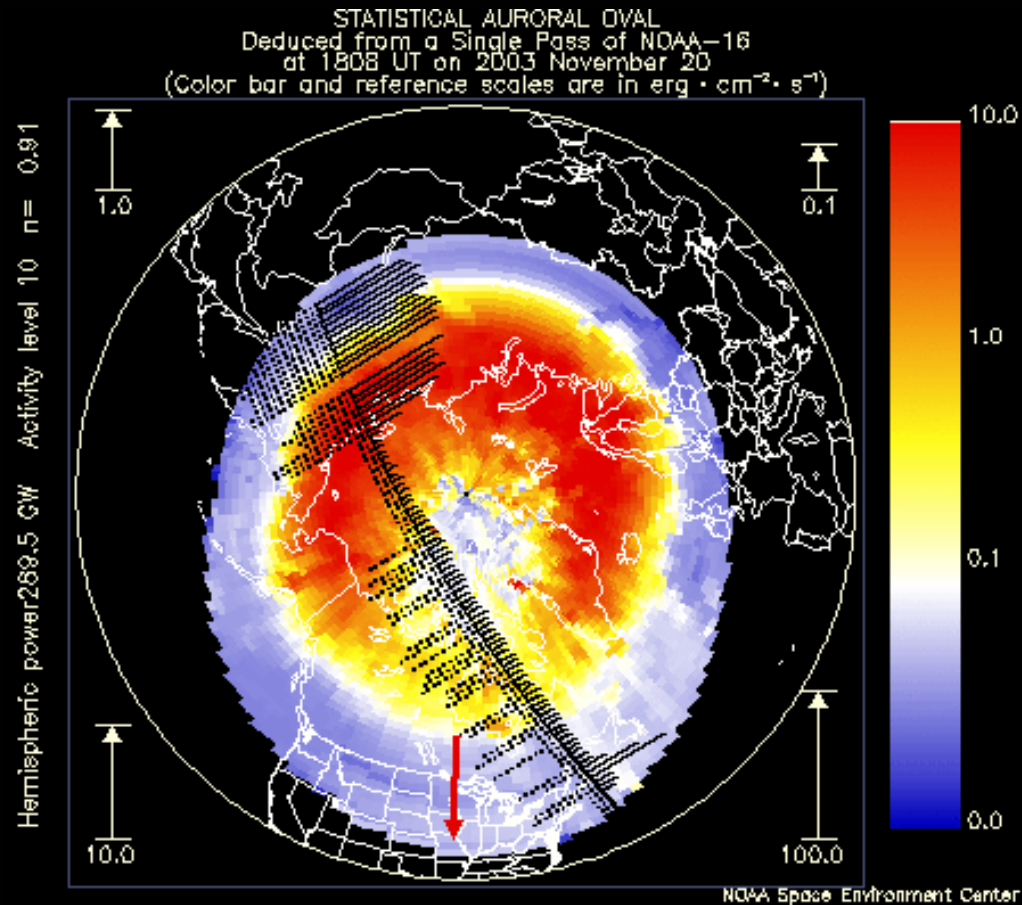
Při erupci bylo uvolněno velké CME.

Co se dělo na podzim 2003 ?



Částice sluneční hmoty se blíží k Zemi

Co se dělo na podzim 2003 ?



20.11.2003

**Nabité částice vstupují k Zemi v oblasti zemských pólů,
kde reagují s atmosférou – vzniká polární záře**

Co se dělo na podzim 2003 ?

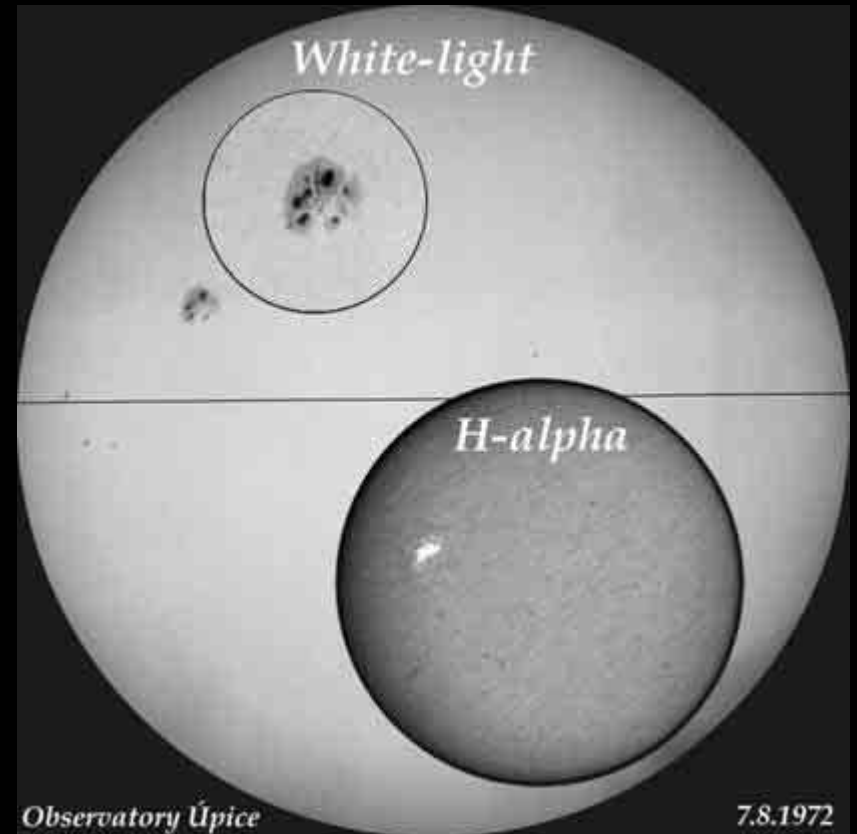


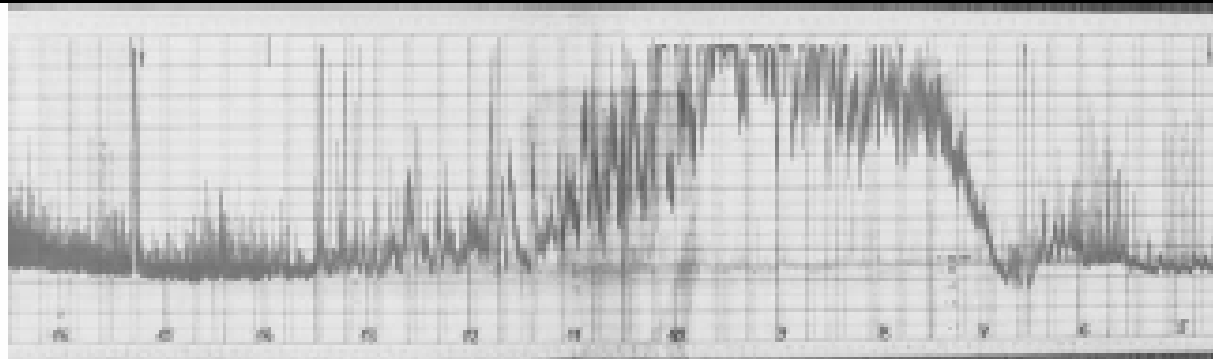
Polární záře 20.11.2003

Byl podzim 2003 výjimkou?

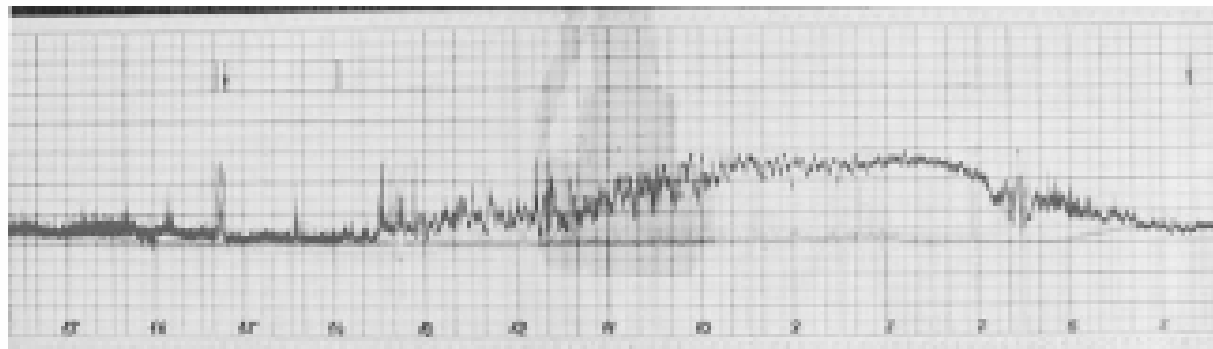


Srpen 1972:

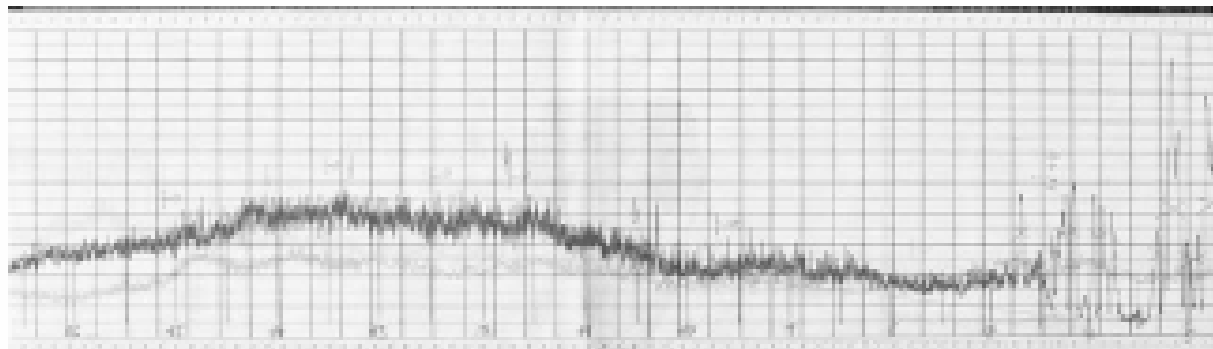




Obr. 6a: Registrace kosmického šumu, 19.5 MHz, Úpice

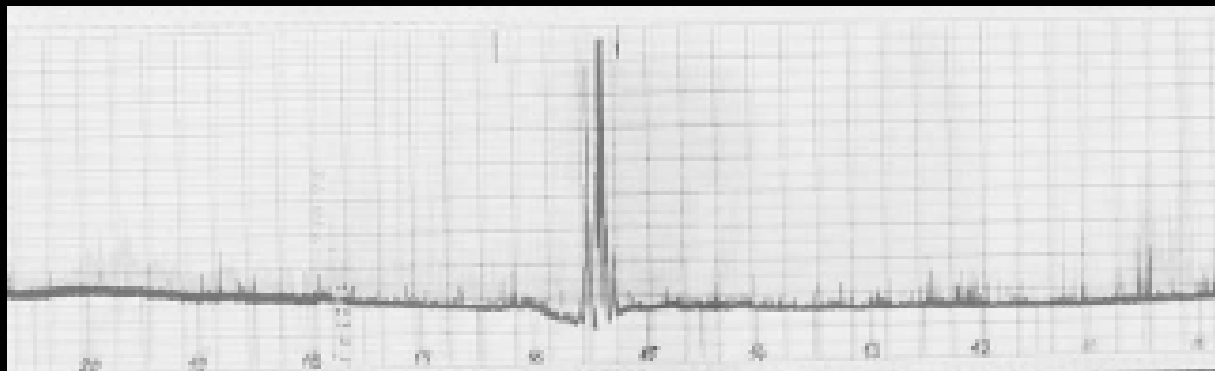


Obr. 6b: Registrace kosmického šumu, 32.8 MHz, Úpice

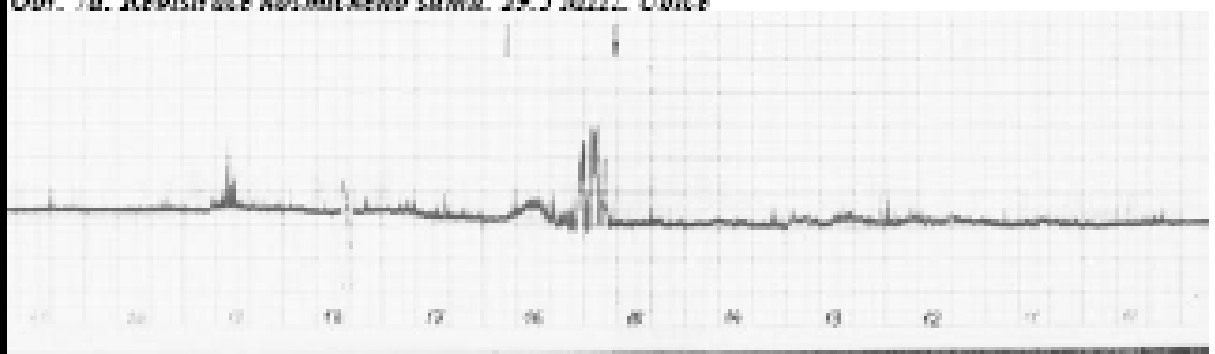


Obr. 6c: Registrace rentgenového záření, 27.5 MHz, Úpice

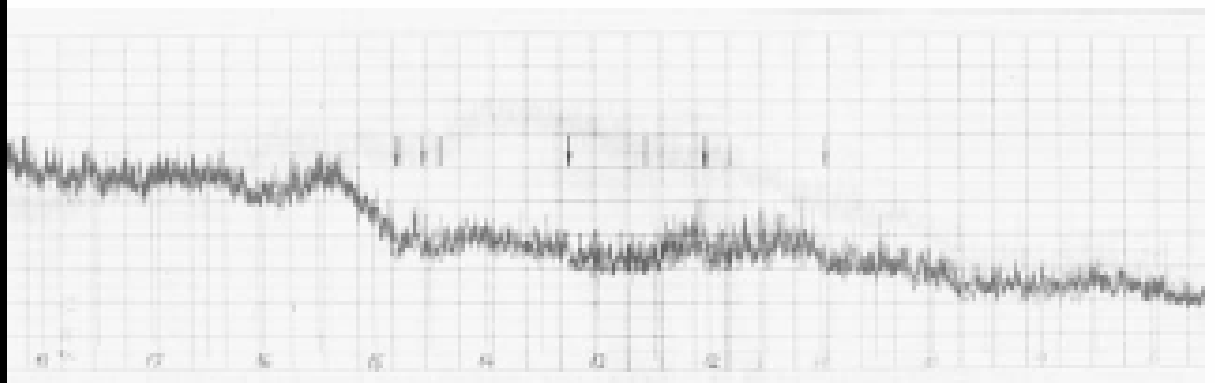
Záznam erupce
4.8.1972 v rádiovém
oboru



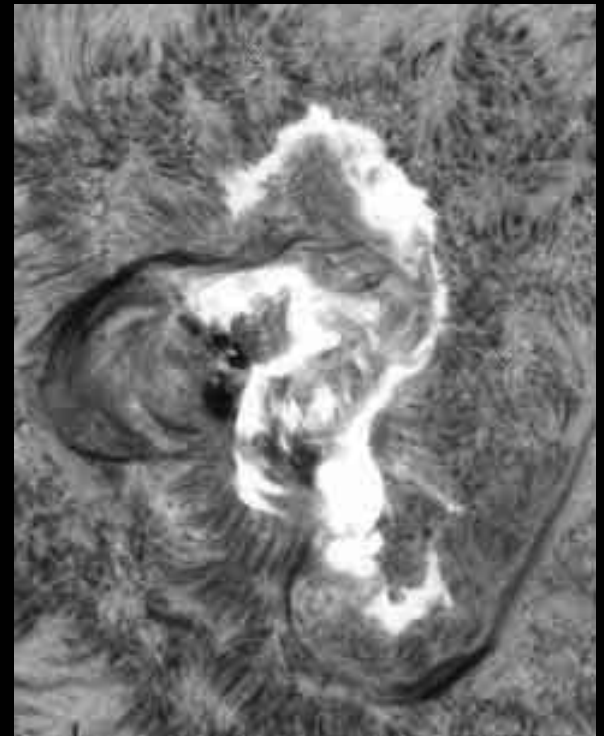
Obr. 7a: Registrace kosmického šumu, 29.5 MHz, Úpice



Obr. 7b: Registrace kosmického šumu, 31.8 MHz, Úpice



Obr. 7c: Registrace rentgenového záření, 27.5 kHz, Úpice



Erupce 7.8.1972
v H-alfa čáře
(Big Bear Observatory)
a záznam
v rádiovém oboru

Jaká je situace se současným cyklem?
Kdy začal?

Možný začátek 24. cyklu sluneční aktivity

First Sunspot of the New Solar Cycle: Jan. 4, 2008

White light image (left) and magnetogram (right) courtesy of SOHO



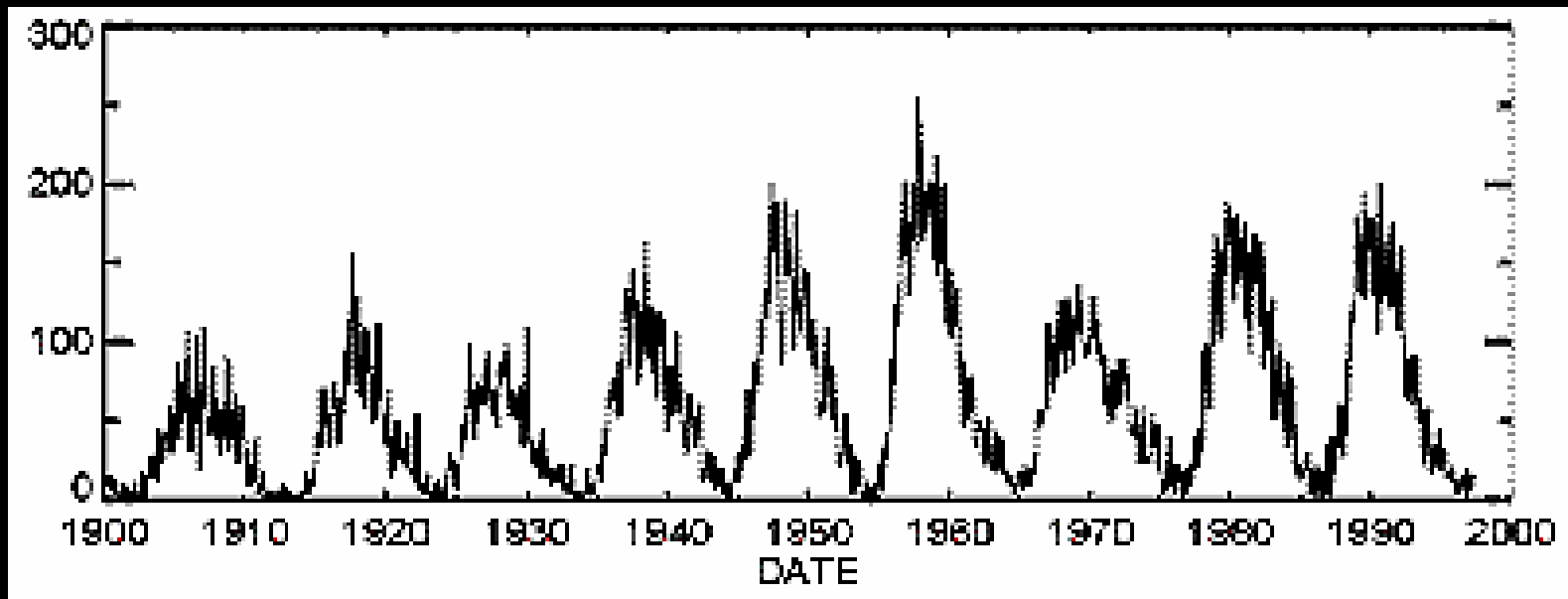
2008/01/04 14:24



2008/01/04 14:28



1913 – 311 dní bez skvrn
2008 – 266 dní bez skvrn
2009 – do 31.3. 78 dní bez skvrn
2009 - celkem 260 dní bez skvrn



Délka minim:

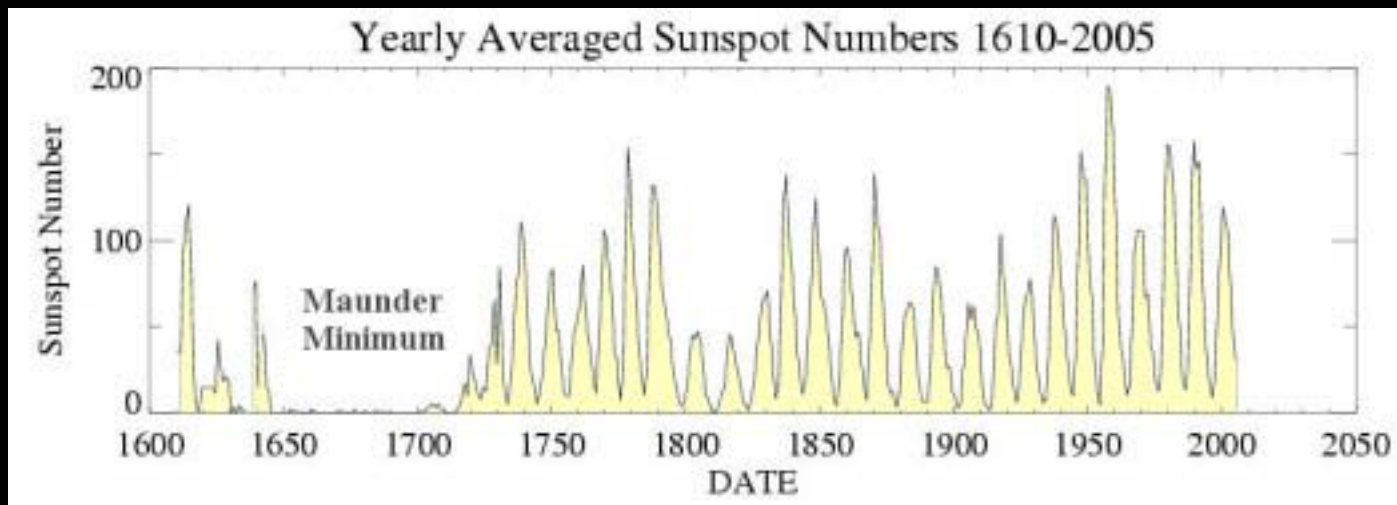
1922/23 – 534 dny

1933 – 568 dnů

1966 - 309 dnů

1986 – 273 dny

2008/9 – do 31.3.2009 597 dnů



Daltonovo minimum 1790-1830

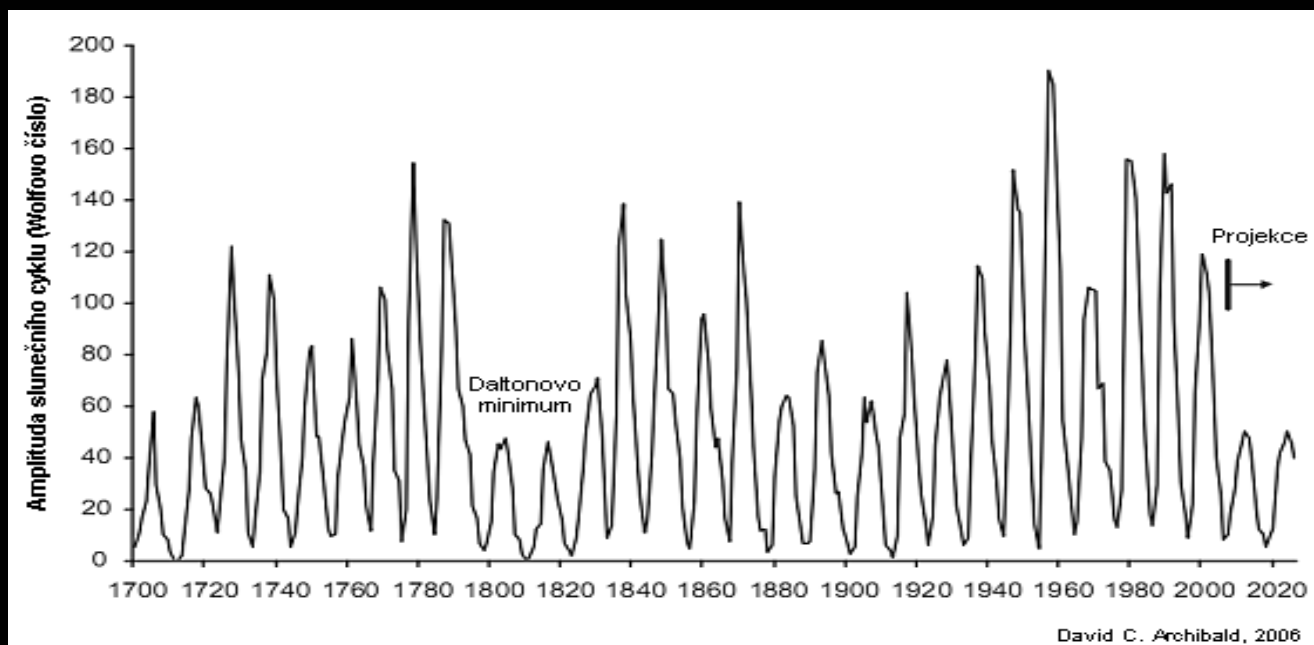
Maunderovo minimum 1645-1715

Spörerovo minimum 1420-1570

Wolfovo minimum 1280-1340

Oortovo minimum 1010-1050

Čeká nás další doba ledová nebo je to jen běžná anomálie ve sluneční činnosti?



7.11.2011



Kosmické počasí

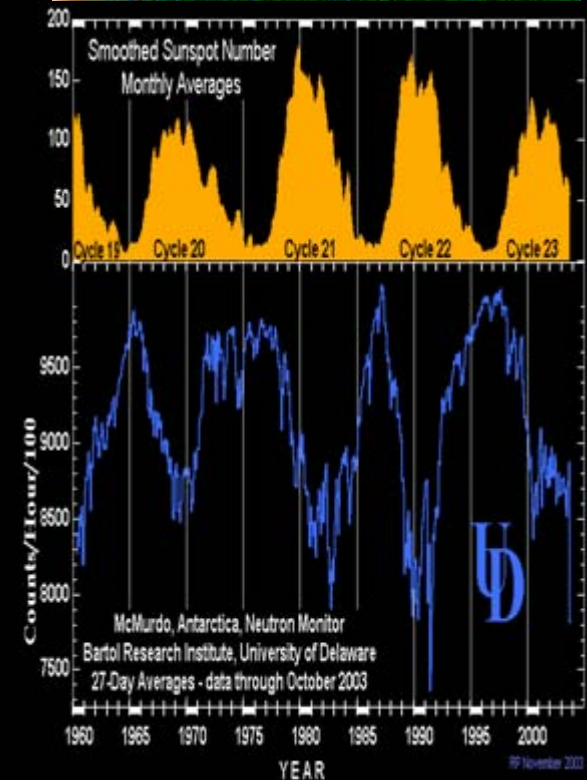
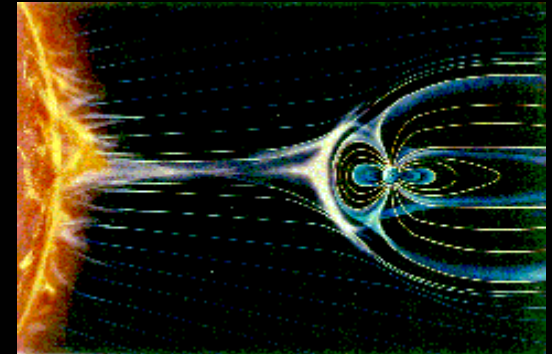
(vztahy Slunce Země)

Stav kosmického počasí je dán především okamžitým stavem Slunce.

Interakce slunečního magn. pole se zemským
Zvýšený příliv nabitých částic při zvýšené sluneční aktivitě

Kosmické záření

- vznik geomagnetických bouří
- polární záře
- poruchy při spojení
- indukce vysokých elektrických proudů a napětí na dlouhých vedeních
- vliv na vývoj počasí
- nebezpečí pro kosmonauty a družice
- vliv na zdravotní stav člověka a živé organismy



Kosmické počasí

(vztahy Slunce Země)

Mechanismus jevů není v řadě případů znám

Modely a jejich ověřování napozorovanými daty → nutnost co nejpřesnějších měření a předpovědí

Yohkoh, SOHO, TRACE, GOES,... - měří hodnoty slunečního větru, vzestup toku nabitých částic pro včasném varování

Družice STREO – 3D snímky

Projekt SPACE WEATHER (Kosmické počasí), konference SOLSPA (Space Weather Euroconference), na internetu Space Weather Euro News (swen@wm.estec.esa.nl)

NASA - program Vztahy Slunce-Země (družice vybavené speciálními přístroji pro tento program, kompletní analýza dat a počítačové modely)

Pozorování slunečních skvrn jednoduchým dalekohledem

Lze zakoupit ve Vývojové optické dílně v Turnově (součást Ústavu fyziky plazmatu).

Kontakt: vod@ipp.cas.cz nebo cas-tur@telecom.cz; telefonem na čísla 481 322 622, 481 322 587.

Cena je cca 600 Kč.

Nebo: zakoupit holé zrcátko za cenu cca 300 Kč a vlastními silami jej opatřit jednoduchou montáží, třeba z instalatérského materiálu.

Holé zrcátko lze zakoupit jednak taktéž u výrobce, nebo na Hvězdárně v Úpici (hvezdarna@obsupice.cz).



Zdroje a literatura

<http://www.obsupice.cz>

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov>

<http://www.metmuseum.org>

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

<http://science.msfc.nasa.gov/newhome/headlines/>

<http://www.hvezcb.cz/jihocas/2001/jihocas22001.html>

<http://www.nso.edu/>

<http://online.kitp.ucsb.edu/online/solar02/>

<http://quake.stanford.edu/~wso/wso.html>

<http://solar-heliospheric.engin.umich.edu/Theory/SolarPhysics/VisualizationoftheField.html>

<http://www.visi.com/~brainiac/solar/>

<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.html>

<http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/sno2.html>

Sluneční soustava – prezentace Viktora Votruby

<http://science.nasa.gov/headlines/y2008/images/solarcycle24/newspot.jpg>

Bílý trpaslík 1/2009 str. 2