

# *Slniečná koróna včera a dnes*

**RNDr. Vojtech Rušin, DrSc. ([vrusin@ta3.sk](mailto:vrusin@ta3.sk))  
Astronomický ústav SAV, 059 60 T. Lomnica,  
Slovensko**



PROGRAM  
CEZHRANIČNEJ  
SPOLUPRÁCE  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA  
EURÓPSKY FOND  
REGIONÁLNEHO ROZVOJA  
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

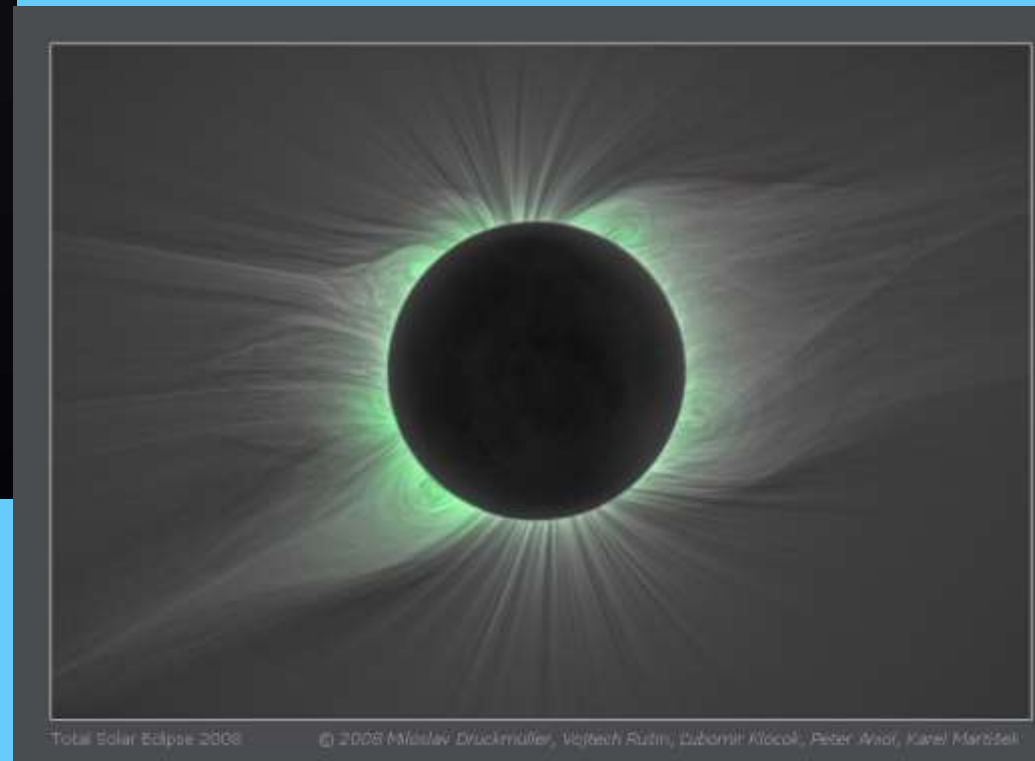


FOND MIKROPROJEKTŮ

# *Štruktúra prednášky*

- Čo sme sa dozvedeli o koróne počas úplných zatmení Slnka
- Čo sme sa dozvedeli o koróne z pozorovaní mimo zatmení
- Čo nám o koróne povedali prístroje z kozmu
- Aká je teda koróna súčasnosti
- Záver

Čo je vlastne slnečná koróna a prečo sa jej venuje toľko pozorností?



# O koróne

- Slnečná koróna - najvyššia vrstva atmosféry Slnka je:
- Zdrojom častíc slnečného vetra, ktoré obtekajú okolo Zeme (Zem sa nachádza v slnečnej koróne), ako aj CME
- Častice slnečného vetra vyťahujú siločiaru magnetického poľa; ochrana pred kozmickým žiarením
- Extrémne horúca, riedka, ale mechanizmus jej ohrevu nie je spoľahlivo známy
- Zdrojom erupcií (rekonexia)
- Prvé informácie o koróne máme z pozorovaní úplných zatmení Slnka
- Súčasnosť: koróna sa pozoruje zo Zeme aj z kozmického priestoru v mnohých oblastiach žiarenia
- **Paradox: koróna bola/je objektom omylov a pokroku**

# ***Z histórie výskumu zatmení***

- Hi a Ho – historka asi z 2137 p.n.l
- 3 May 1375 BC or 5 March 1223 BC – záznam na hlinených tabuľkách v Sýrii (Ugarit)
- Plutarch – pokus o určenie vzdialenosti Mesiaca od Zeme
- Rôzne záznamy – väčšina, že „cez deň nastala noc a hviezdy bolo vidieť“
- Strach zo zatmení
- Červené jazyky okolo tmavého Mesiaca (Kyjevská kronika) – asi 10. st.
- 13. máj 1733 – B. Wassenius (Švédsko) – prvá správa o prot. vid. voľným okom – mali patriť Mesiacu

# ***Z histórie výskumu zatmení***

- Ukončenie vojny medzi Médmi (kráľ Cyaraxes) a Lýdmi (Alyattes) v roku 585 (trvala už asi 5 rokov) – Malej Ázii
- Zatmenie predpovedal Tales Miletsky (pravdepodobne sa jedná o zatmenie z 28. mája); informácia je od historika Herodotusa (484-425 p.n.l.)
- **Zatmenie 12. 10. 1605: Kepler – biele svetlo je atmosférou Mesiaca**
- Halley Edmond (1656-1742): zastáva Keplerov záver o koróne, výpočet polôh zatmení

## *Prvá zmienka o koróne?*

- Prvá zmienka o koróne:
- Byzantský historik Leo Diaconus (ca. 950-994), pozoroval úplné zatmenie 22. decembra 968 z Constantinopolu (dnes Istanbul, Turecko). Jeho popis je v *Annales Sangallenses*, kde sa píše:
- *"...at the fourth hour of the day ... darkness covered the earth and all the brightest stars shone forth. And it was possible to see the disk of the Sun, dull and unlit, and a dim and feeble glow like a narrow band shining in a circle around the edge of the disk".*

## *Iné zmienky o koróne*

- Zatmenie 22. mája 1724: G. M. Maraldi (Talián) – hovorí, že koróna je súčasťou Slnka lebo „Mesiace cez ňu prechádza“
- Zat. 16. júna 1806: José J. Ferrera (Španiel): usudzuje, že koróna nie je atmosférou Mesiaca: ...„ak by bola, mysela by byť 50 krát väčšia ako je Zem“.
- 1780 – vraj po zatmení Mesiaca 19. mája bola po dlhšie obdobie taká tma, že niektorí náboženský fanatici to dávali s druhým príchodom Ježiša Krista na Zem

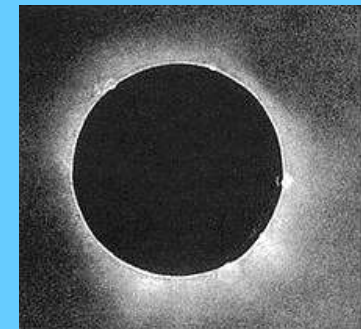


## ***Z histórie výskumu koróny***

- F. Bailey: 1836 – opis prenikavého svetla cez doliny na Mesiaci – Bailyho perly (v okolí 2. a 3. kontaktu) – nesú jeho meno
- 8. júla 1842: Baily pozoroval zatmenie v Taliansku a identifikuje korónu a protuberancie ako časť atmosféry Slnka
- 8.7.1842: Majocchi (Rakušan) – prvý neúspešný pokus fotografovania úplného zatmenia (len čiastočnú fázu)
- D. F. Jean Arago (1786-1853): na základe pozorovania zatmenia hovorí, že Slnko je z plynu

# ***Zatmenie 28.7.1851***

- Robert Grant (UK) a Karl Ludwig von Lottrow (Rakúsko): protuberancie sú časťou Slnka (Mesiac ich zakrýva)
- Sir George B. Airy (UK): ako prvý opisuje chromosféru Slnka: nazýva ju sierra-mali to byť vrchy na Slnku (boli to spikule a malé protuberancie), N. Lockyer v roku 1868 pomenoval túto vrstvu – chromosféra (podľa jej červeného vzhľadu)
- Berkowski: prvá fotografia úplného zatmenia Slnka (Východné Prusko, dnes Kalinigrad-Rusko), expozícia 24 sekúnd
- prvé pozorovanie polarizácie v koróne



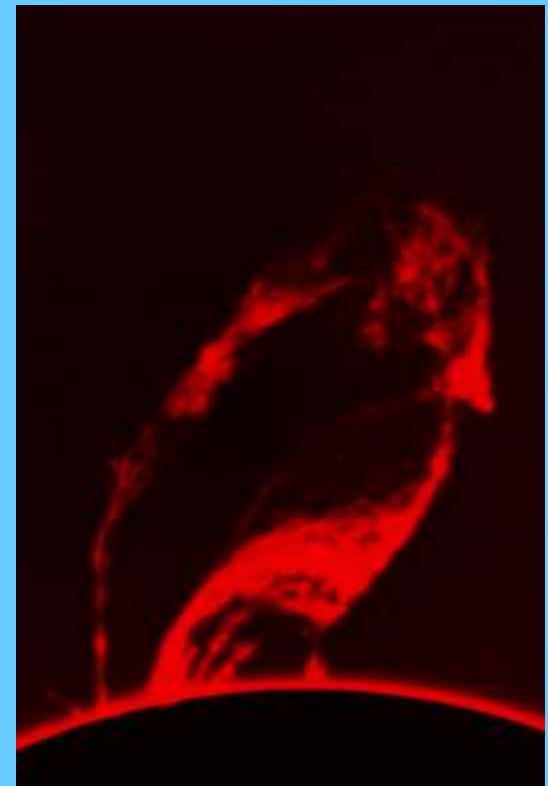
# ***Prelomové zatmenie z 18. júla 1860***

- 18. júla 1860 – Angelo Sechci a Warren de la Rue: nezávislé fot. pozorovanie zatmenia v Španielsku (cca 400 km od seba)
- ***Ich záver: biele svetlo okolo tmavého mesačného kotúča – koróna – patrí Slnku***
- Definitívne prijatie tohto záveru bolo až okolo roku 1900



# ***Z histórie výskumu koróny***

- 18.8.1868: Janssen počas zatmenia Slnka v Indii objavil nový prvok „hélium“ – pomenovaný na počesť gréckeho boha Slnka – Helios (hélium na Zemi bolo objavené o 25 rokov neskôr)
- 19.8.1868: prvé pozorovanie
- Protuberancii mimo zatmení



# ***Z histórie výskumu koróny***

- Zat. 29.7.1878: S. P. Langley, C. Abbe a S. Newcomb (všetci USA) pozorovali v rovine ekliptiky koronálny lúč do vzdialenosti 6 stupňov a navrhli, že toto svetlo je zdrojom zodiakálneho svetla, čo je aj pravda!

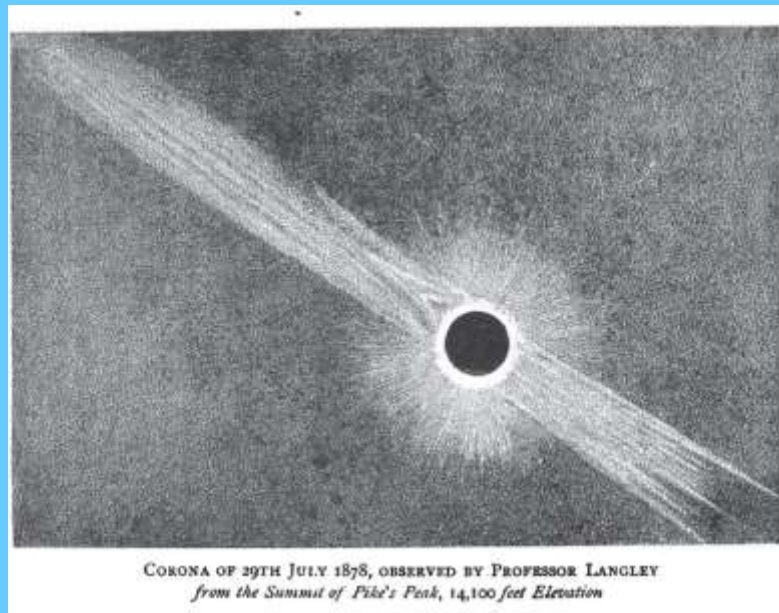




PLATE 10

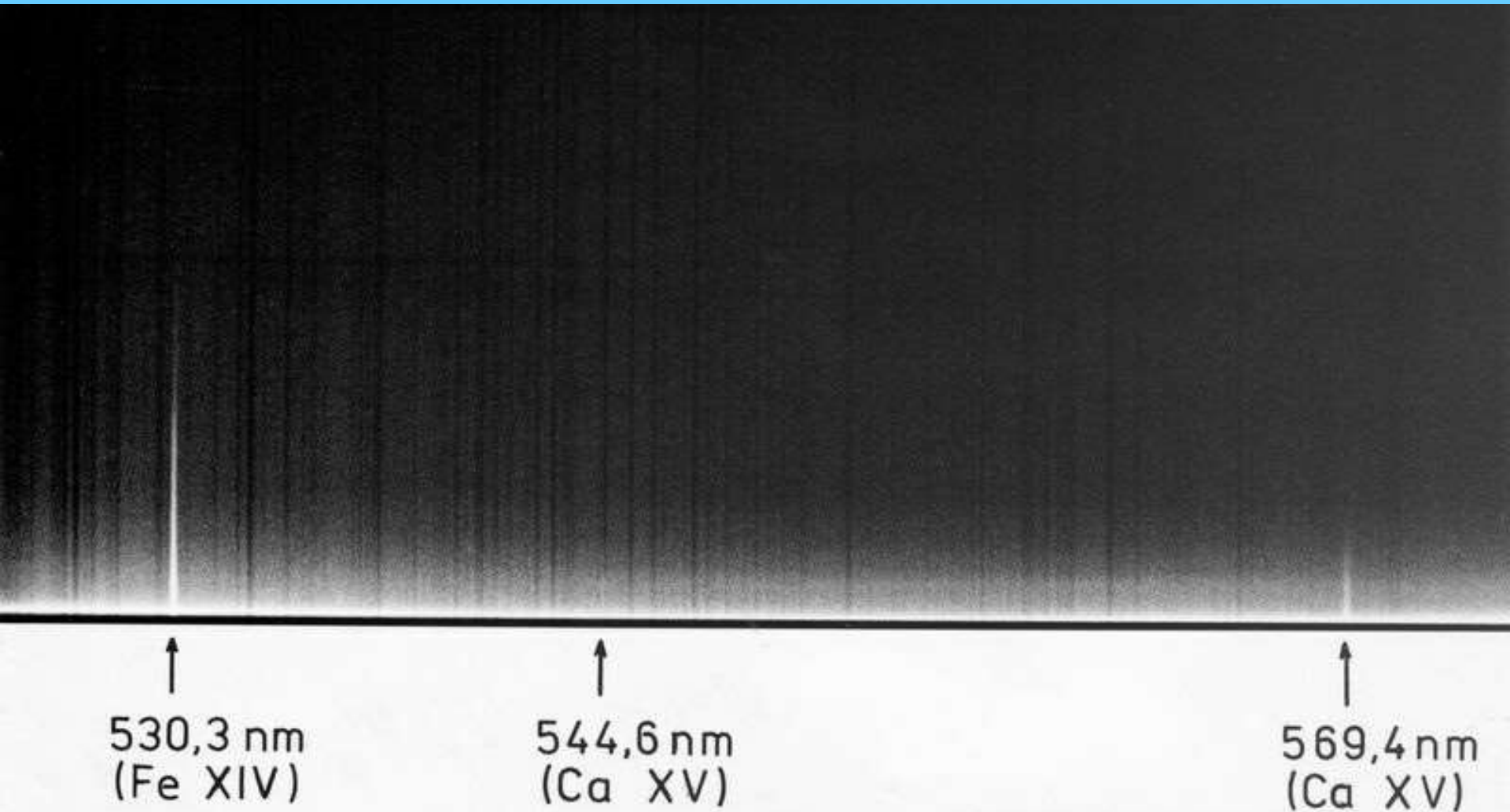
Copyright 1911 by Charles C. Burleigh

# TOTAL ECLIPSE of the SUN.

Observed July 28 1878, at Ogden, Wyoming Territory

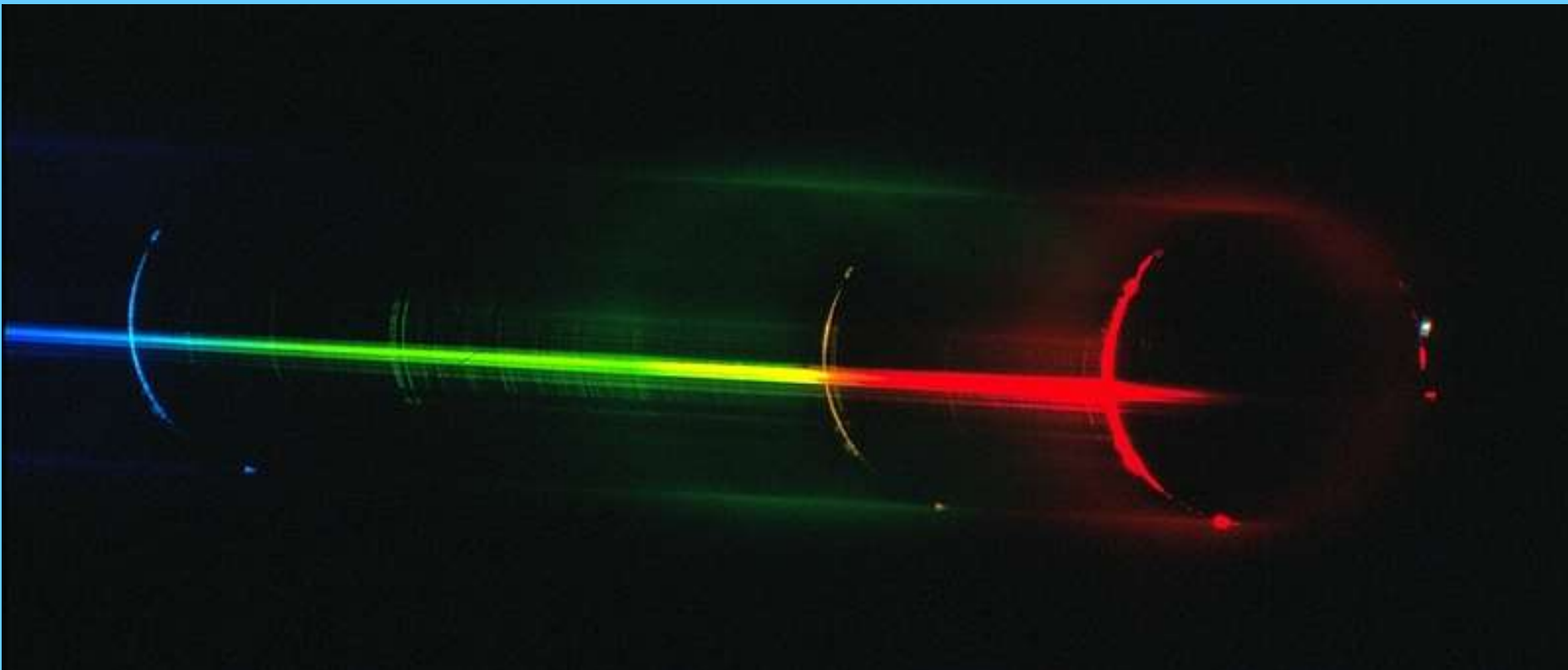
*E. S. Burleigh*

**7. august 1869 – objav emisnej čiary  
530,3 nm v spektre: CH. Young a W.  
Harkness**





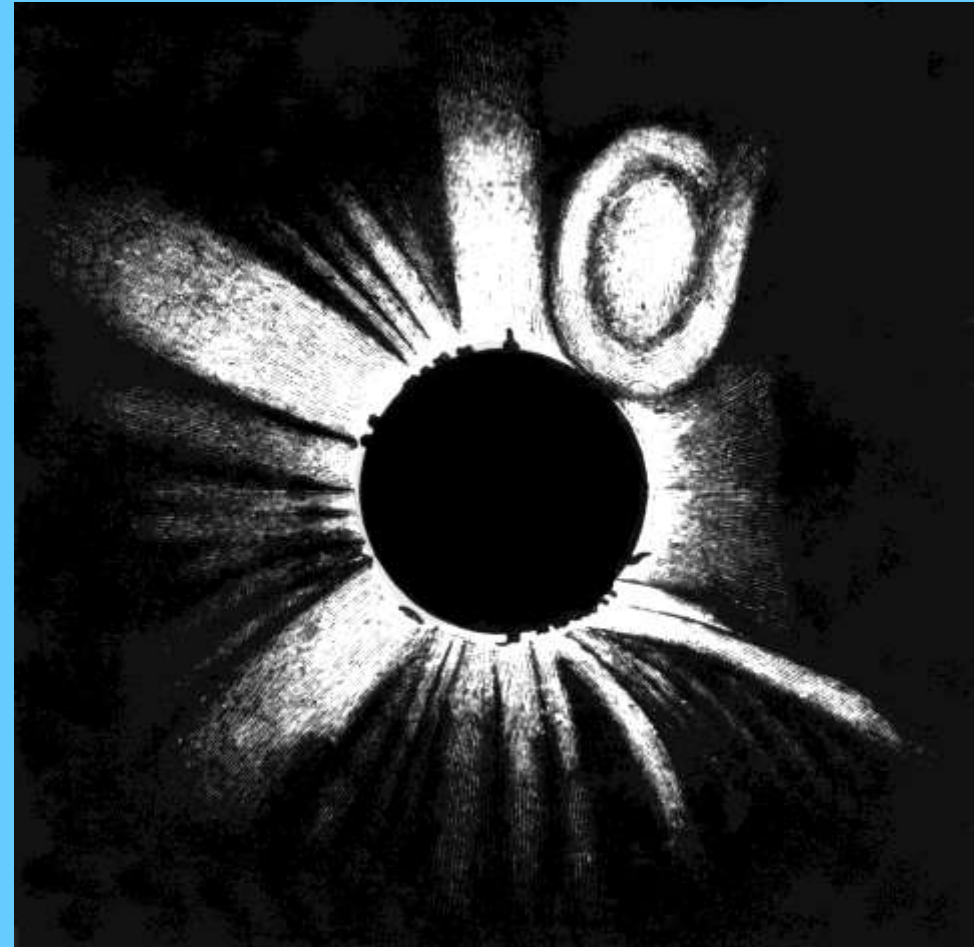
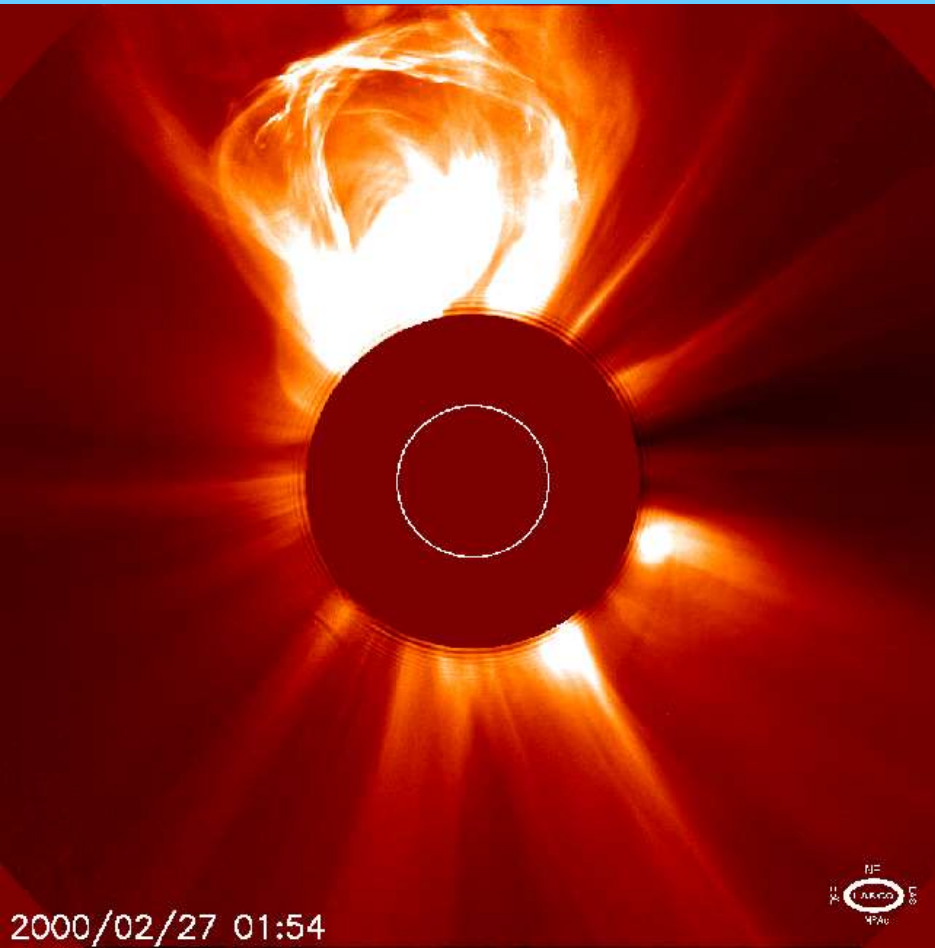
# *Bleskové spektrum*





## ***Prvá ejakcia korónálnej hmoty:***

18. júl 1860 – vraj fantázia; pozorovateľ G.  
Tempel

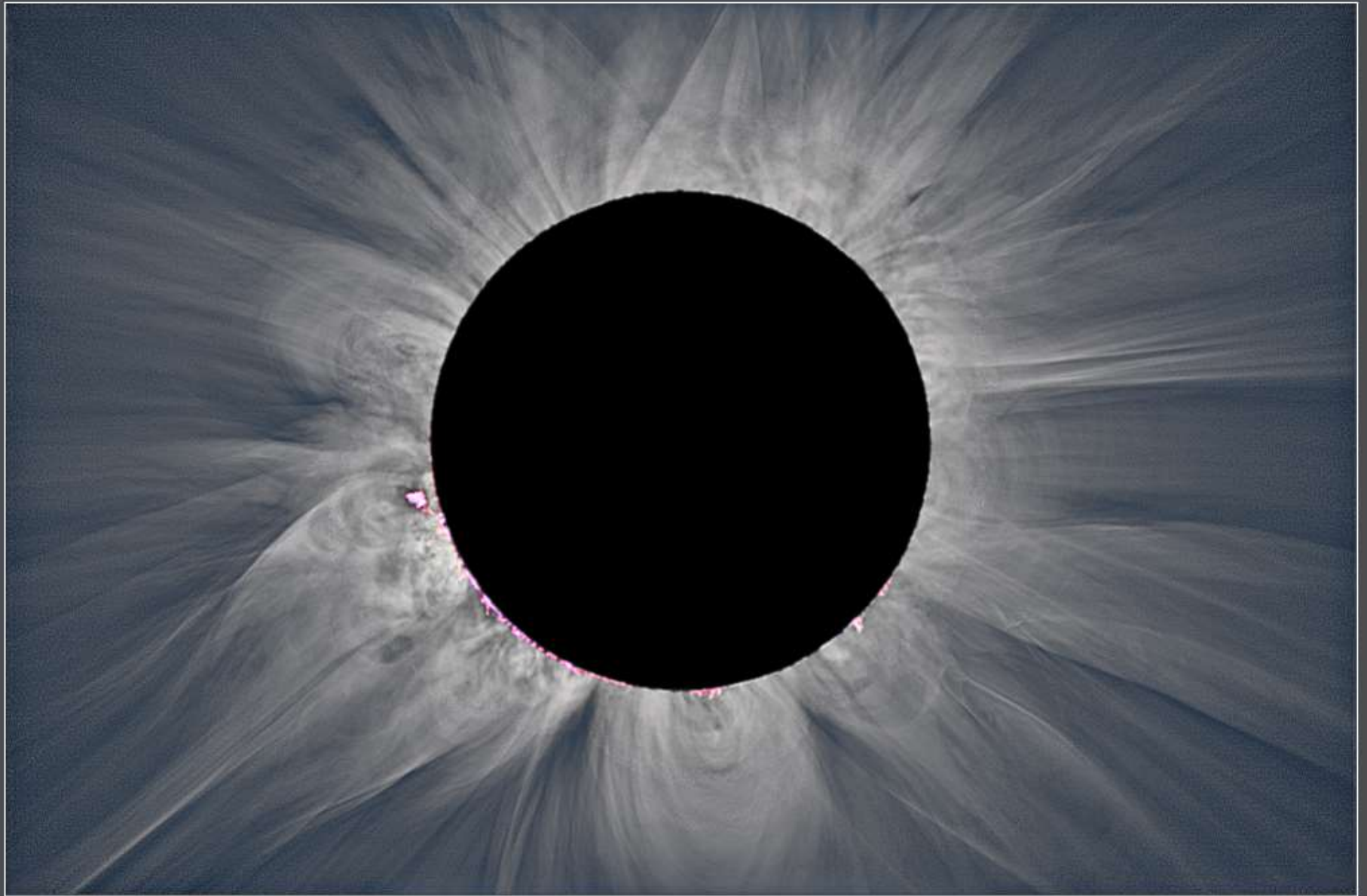


# Lyot a koronograf

- 1930 – objav koronografu B. Lyotom
- Možnosť pozorovania koróny mimo úplných zatmení Slnka
- 1939 – zavedenie systematických pozorovaní emisných sp. čiar koróny M. Waldmeierom (Fe XIV, Fe X a Ca XV, prípadne iných)
- Rozmach nastal po druhej svetovej vojne
- Súčasnosť: 2-3 stanice, dôvod: presun do kozmu

# *O koróne*

- Najvrchnejšia zložka atmosféry Slnka
- Skladá sa zo 4-5 zložiek (E, F, K, T a S(?))
- Pokračovanie koróny v medziplanetárnom priestore – slnečný vietor
- K – koróna (rozptyl žiarenia na voľných elektrónoch)
- F – koróna (rozptyl na prachových časticiach)
- E – koróna (vlastné svetlo koróny v iónoch)
- T – termálna koróna: reemisia žiarenia v IČ oblasti spektra vo výškach okolo 4 polomery Slnka
- S – sublimačná? Emisia pri 380, nm vo výškach okolo R 20



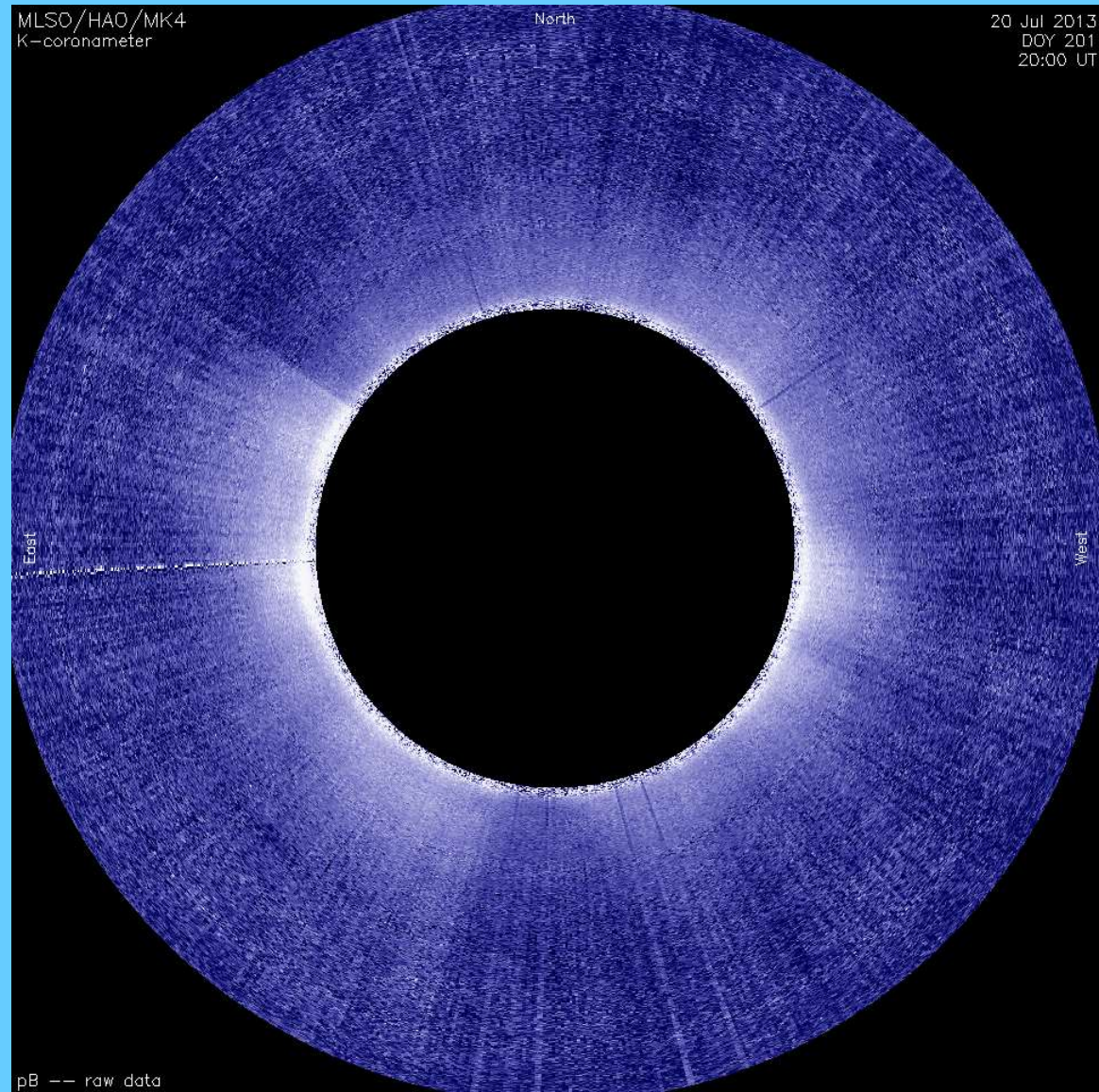
Total Solar Eclipse 2001

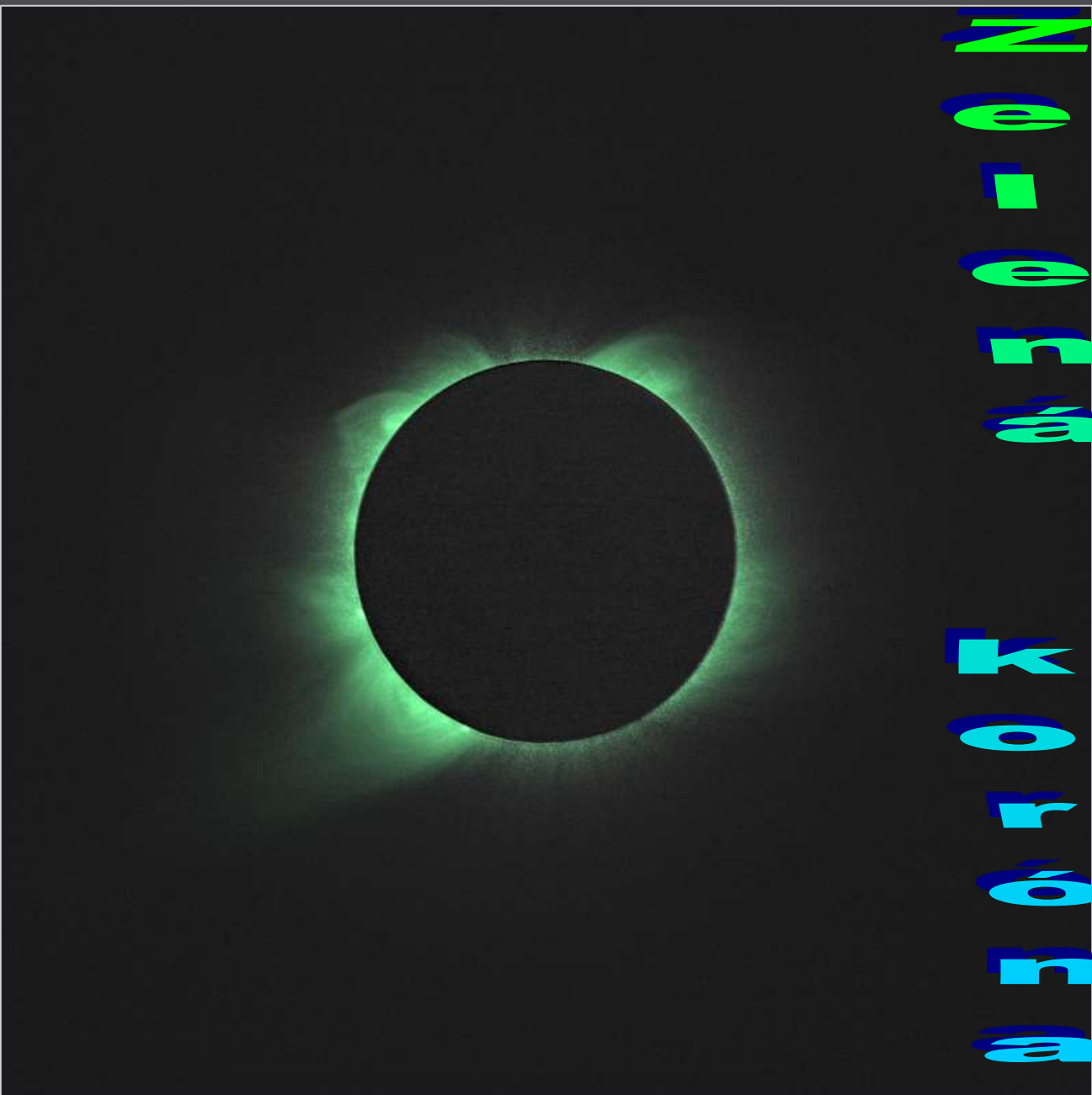
© 2001 Friedhelm Dorst © 2005 Miloslav Druckmüller



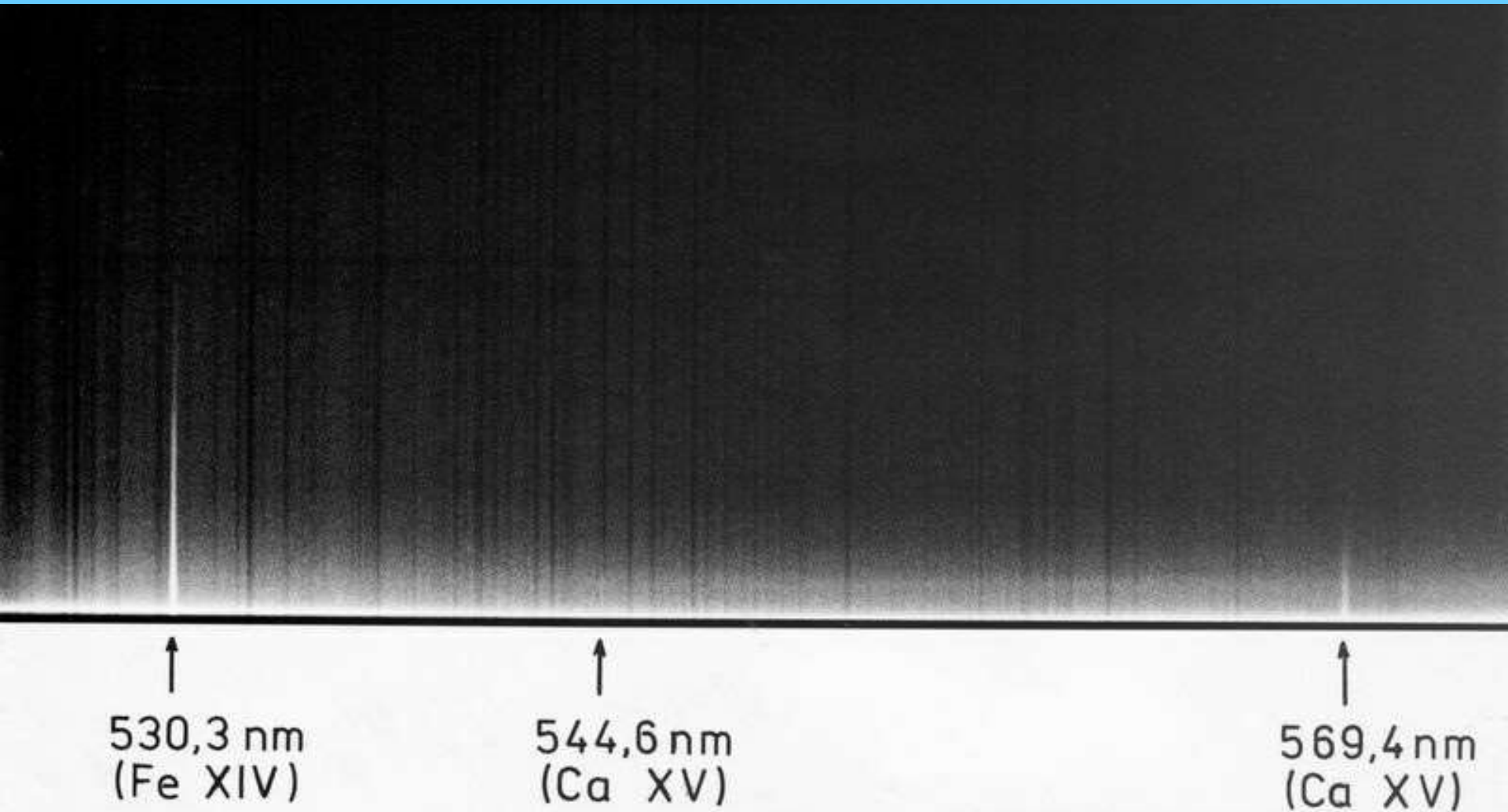
# Biela (pB) koróna

- Mauna Loa,
- MK III
- coronameter

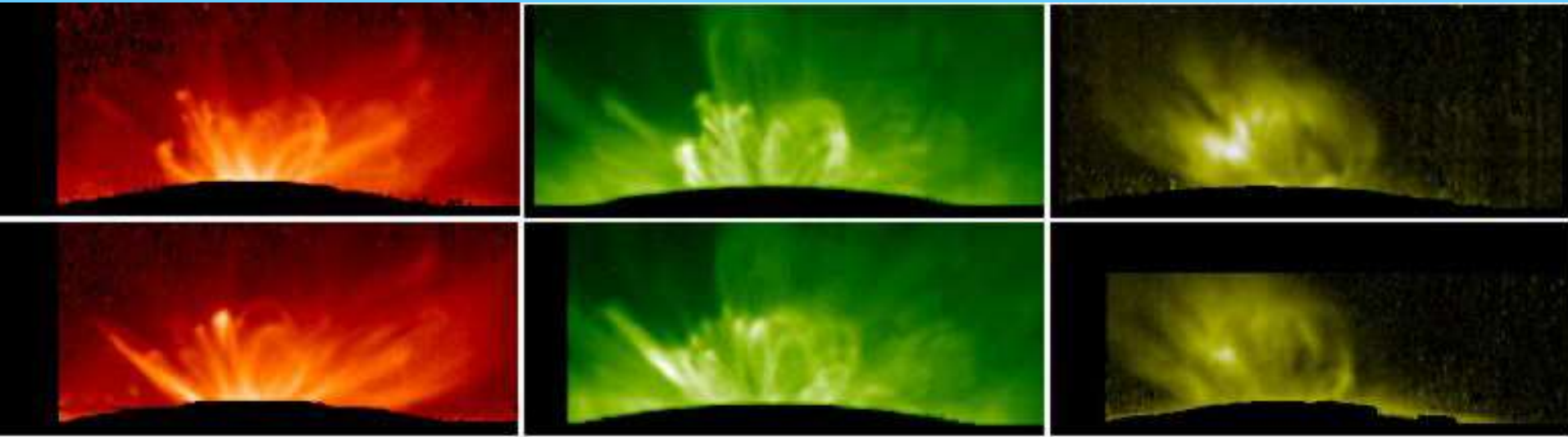




# Emisná koróna



637,4; 530,3 a 569.4 nm koróny



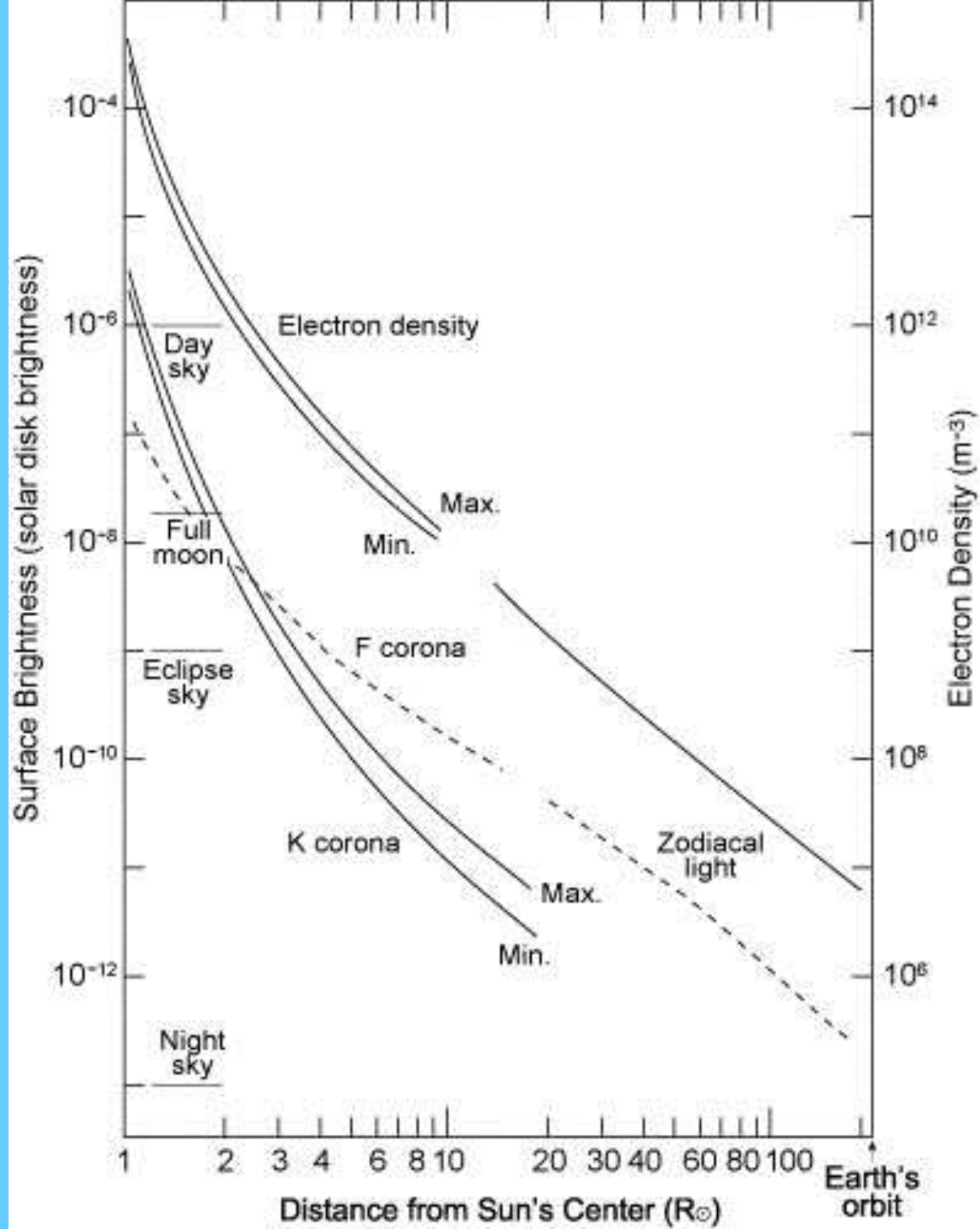


# Emisná koróna

- Emisné spektrálne čiary tvoria vysokoionizované prvky, napr. Fe (Fe XIV, Fe X, Fe XI, Fe XIII), Ni (Ni XIII), Ca (Ca XV), atď.
- Na ich vznik je potrebná vysoká teplota, napr. od 1 do 5 E6 K
- Po objave Fe XIV (530.3 nm, zelená čiara) sa predpokladalo, že túto čiaru tvorí nový, na Zemi neznámy prvok „coronium“; mal byť ľahší ako vodík, čo sa nepotvrdilo
- Pôvod em. sp. čiar sa vysvetlil v rokoch 1939 až 1942 (Grotrian a Edlén)
- Vo vizuálnej oblasti spektra sa pozoruje asi 28 emisných sp. čiar (zakázané čiary), dovolené sú v EUV a rtg. oblasti
- Na ich pozorovanie sa používajú úzkopásmové filtre alebo spektrografy

# *Fyzikálne vlastnosti koróny*

- Veľmi horúca – milióny K
- Nízka hustota ( $10^{-11}$  cm<sup>-3</sup>)
- Veľký gradient teploty, hustoty a jasnosti s výškou
- Diferencované zdroje/mechanizmy častíc do slnečného vetra
- Vysoká dynamika (CME, 5 min oscilácie, slnečný vietor, etc.)
- Výtrysky hmoty v polárnych lúčoch
- Kmitanie lúčov
- Diferencovaná rýchlosť častíc v slnečnom vetre

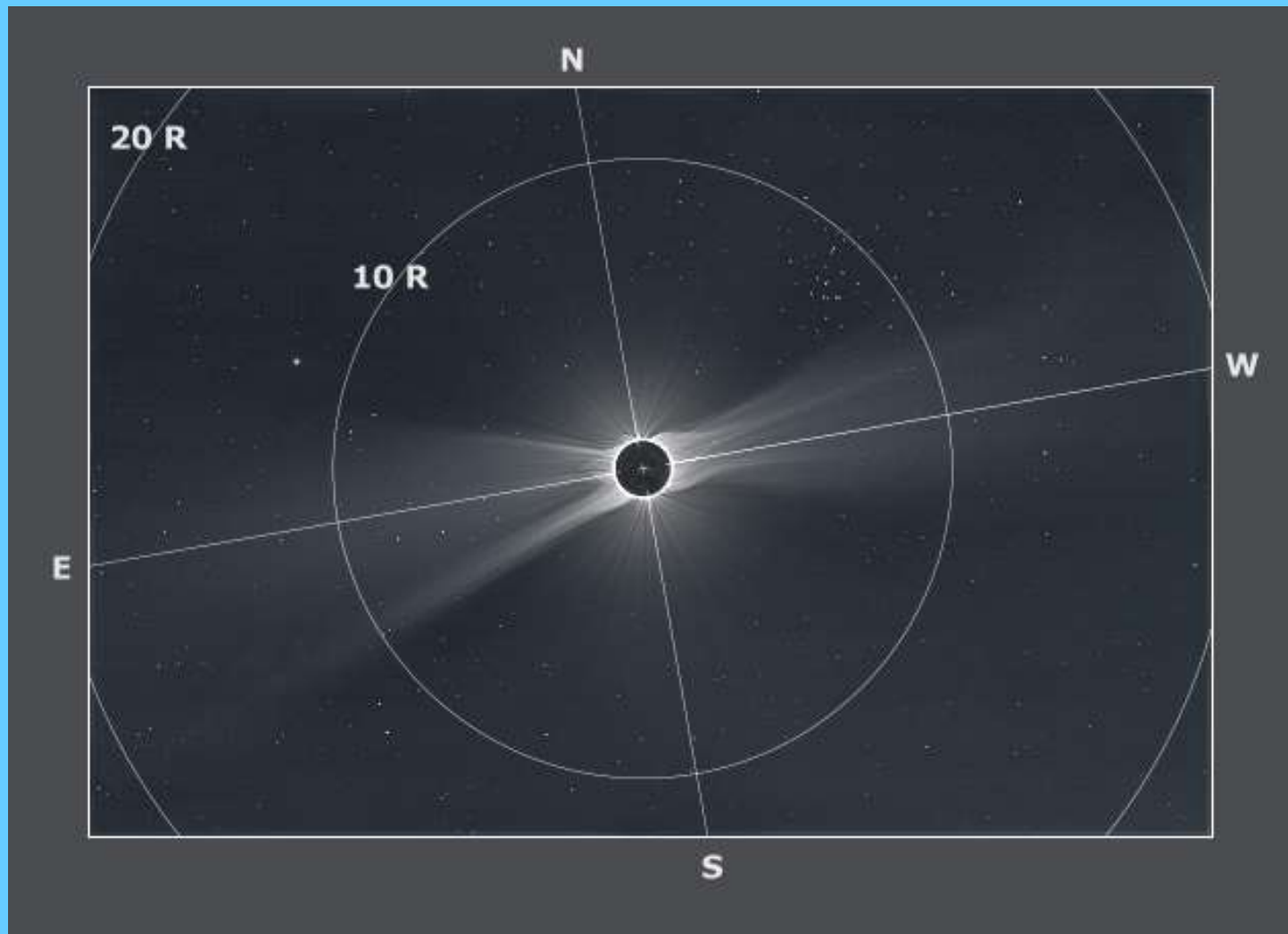


# ***Koronálne štruktúry***

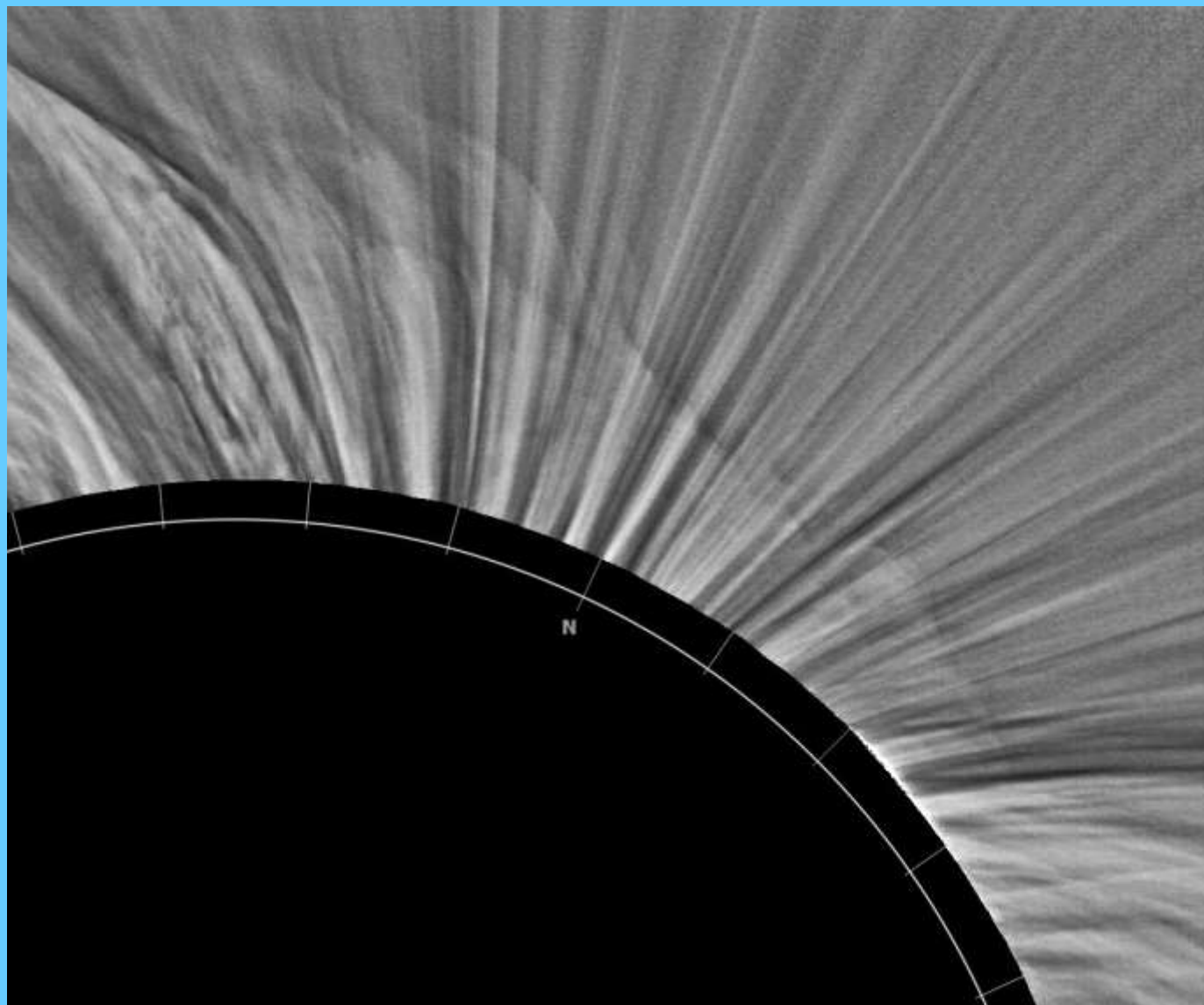
- **Veľkoškálová štruktúra: prilbicovité lúče, koronálne diery**
- **Máloškálová štruktúra: slučky, polárne lúče, tenké lúče, koronálne diery, koronálne kondenzácie**
- **Variácie tvaru koróny s cyklom: koróna maxima, minima, prechodná**
- **Koronálne štruktúry -> dôsledok magnetických polí (lokálnych aj globálneho) na Slnku**
- **Paradox: magnetické pole v koróne pre jeho slabosť (2-6 G v pokojnej, dolnej koróne) je ťažko merateľné (nepriamo z polarizácie, alebo „EIT vln“ – SDO/AIA, Hinode)**

# *Prilbicovité lúče a koronálne diery*

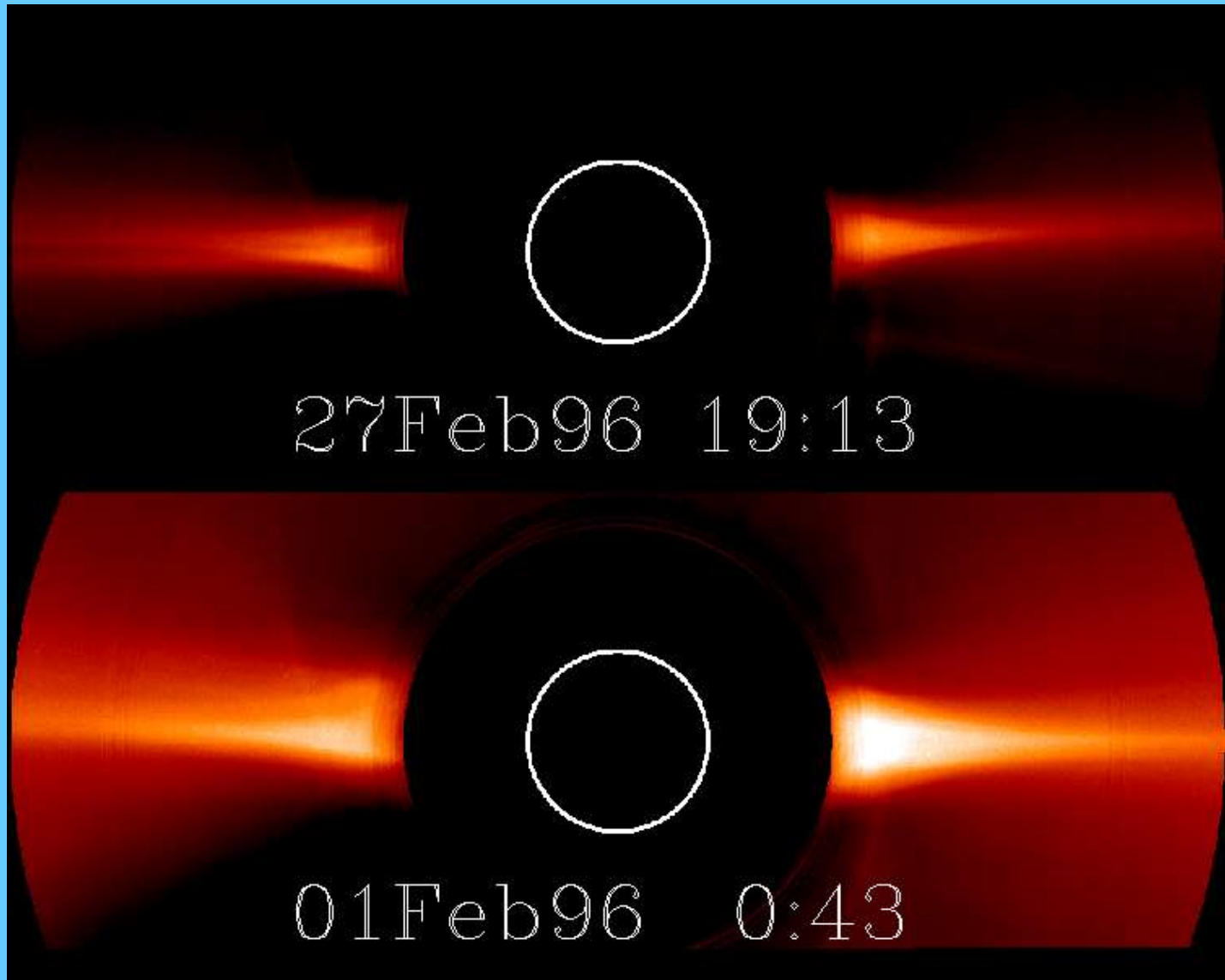
## *1.8.2008*



# *„Záclona“*

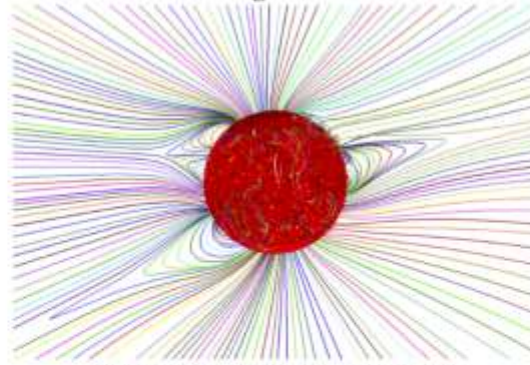


## *Koróna minima*



## August 1, 2008 Total Solar Eclipse

Predicted Magnetic Field Lines



Predicted Polarization Brightness

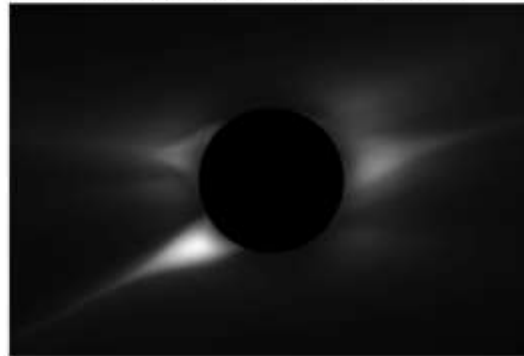
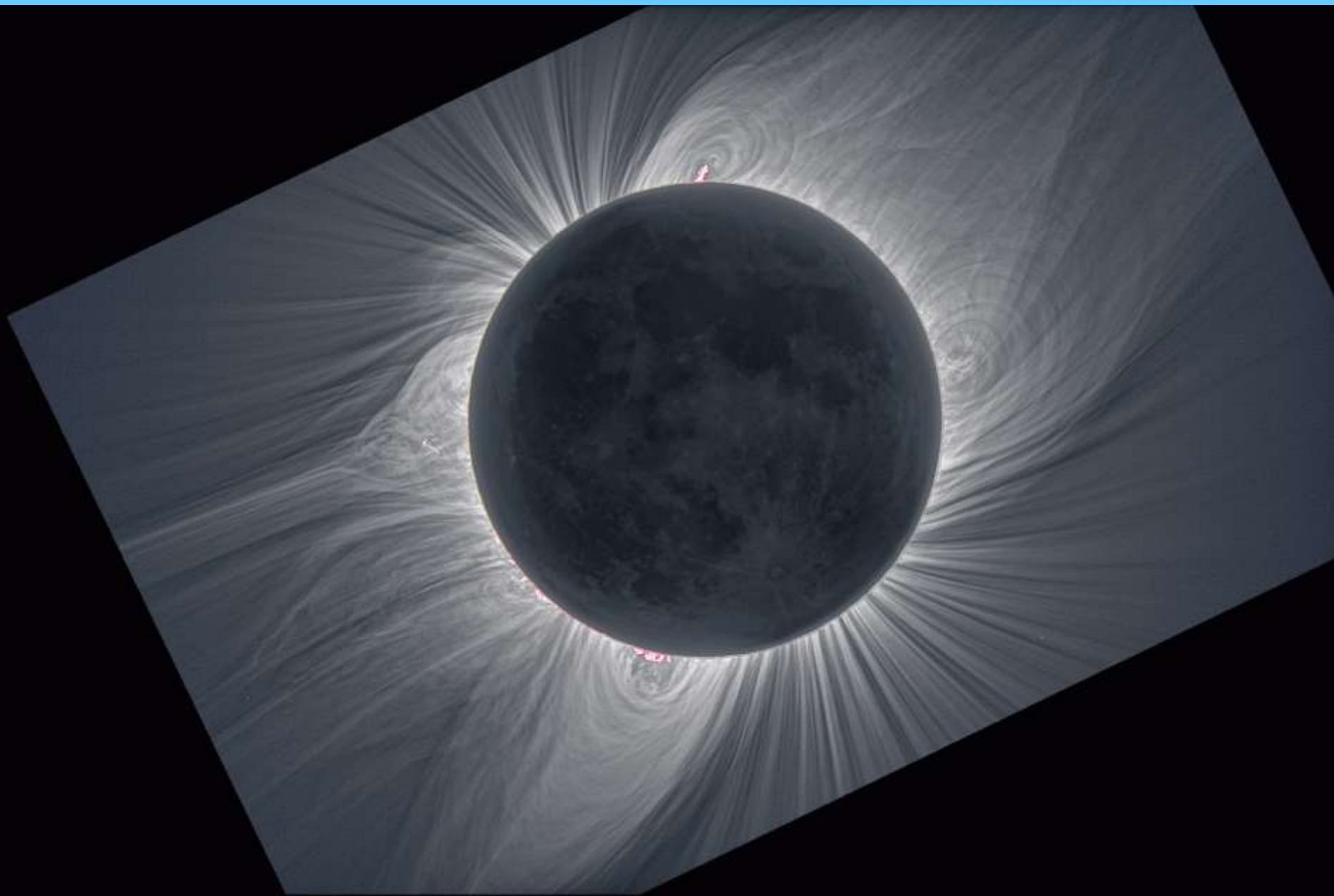


Image from Mongolia (Druckmüller, Aniol, & Rušin)



Comparison between the predicted eclipse corona from the MHD model and an image taken in Bor Udzuur, Mongolia (© Miloslav Druckmüller, Peter Aniol, and Vojtech Rušin). The eclipse image is a composite of many photographs with different exposures, with considerable sharpening applied to emphasize filamentary structures. The image is oriented so that solar north is  $12.1^\circ$  counterclockwise from the vertical direction. It is evident that the bright features correspond to regions with closed magnetic field lines. Although the model does not reproduce the high-resolution features of the corona, the locations of the major streamers are predicted reasonably well.

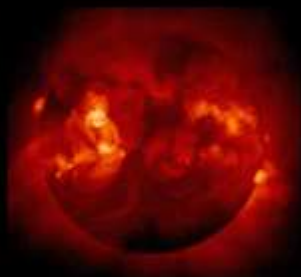




28.9.1991



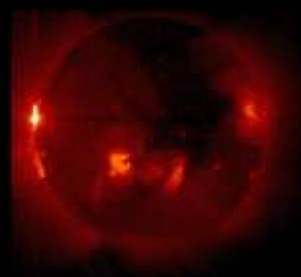
27.3.1992



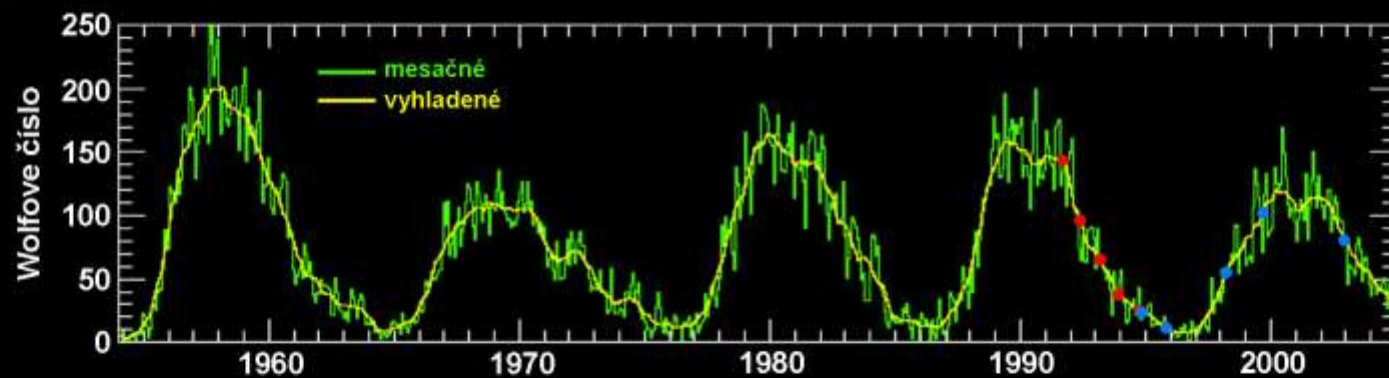
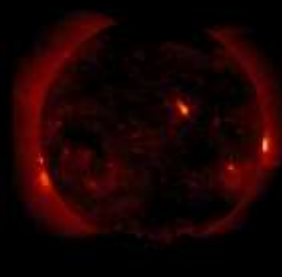
26.1.1993



4.11.1993



20.9.1994



3.11.1994



24.10.1995



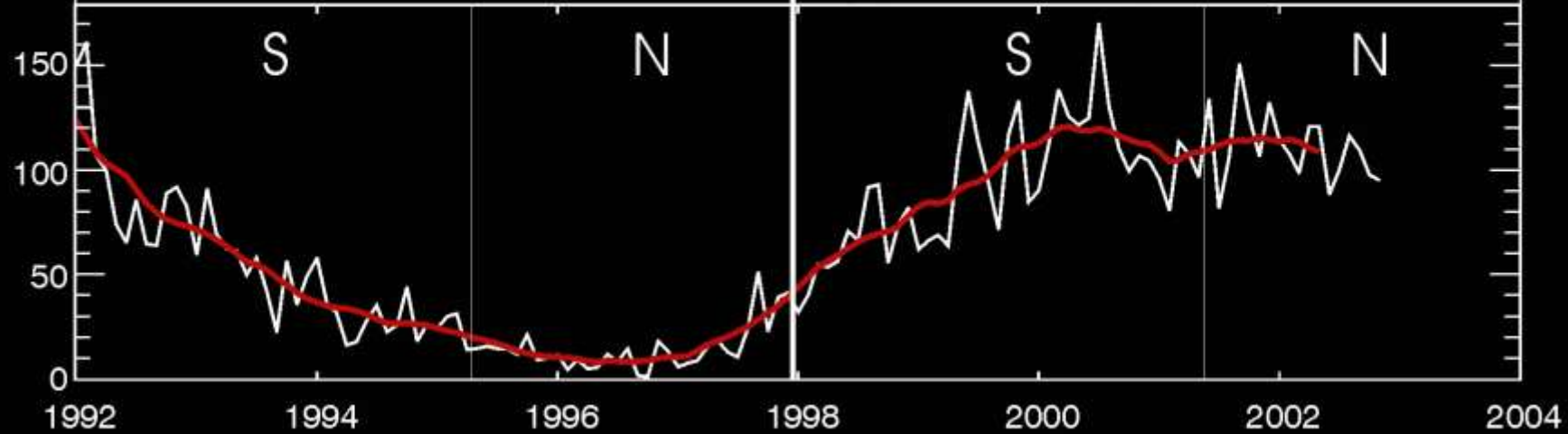
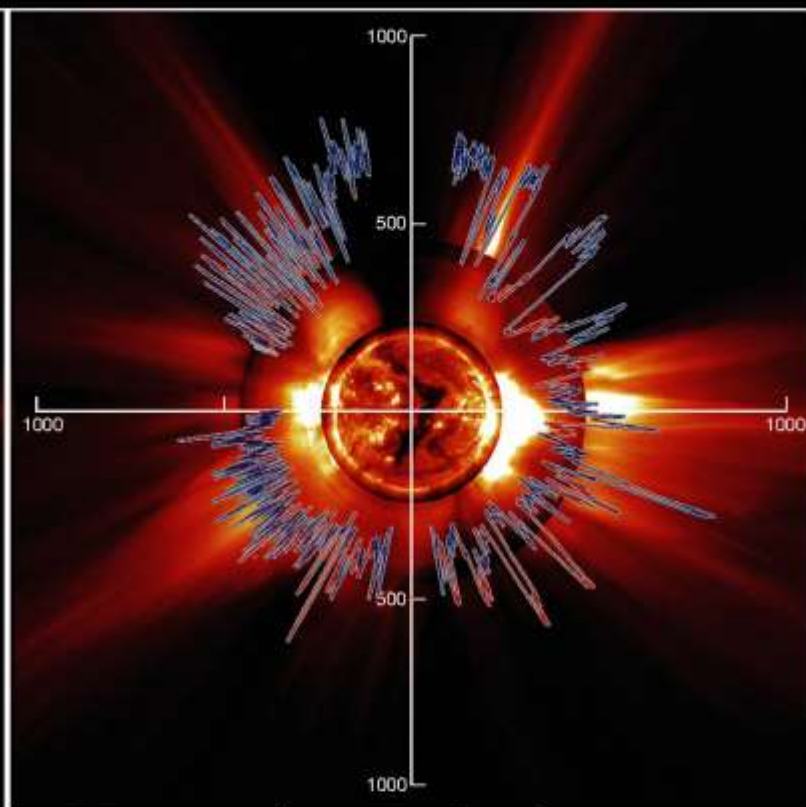
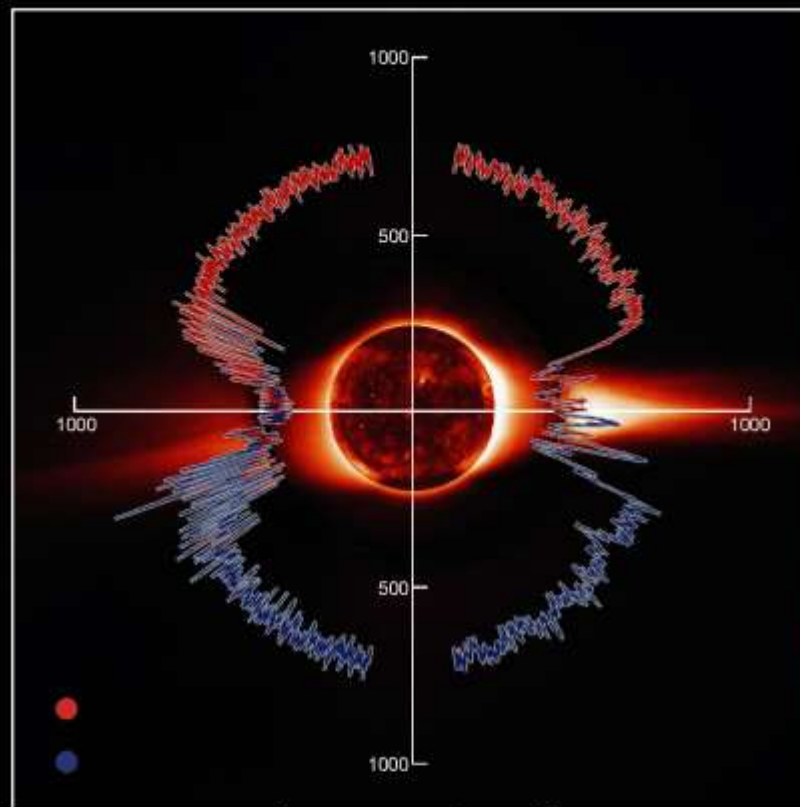
26.2.1998



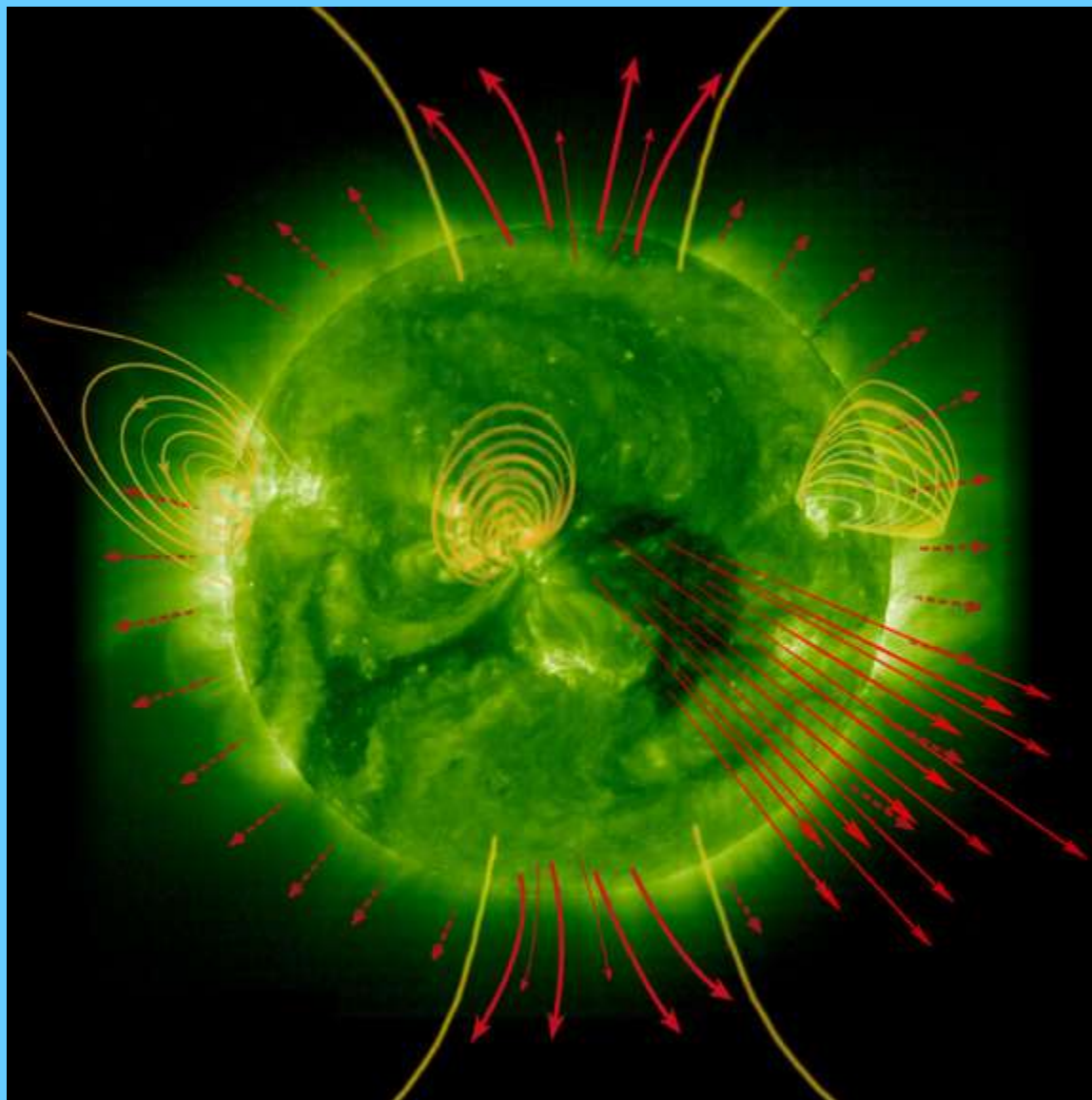
11.8.1999



4.12.2002

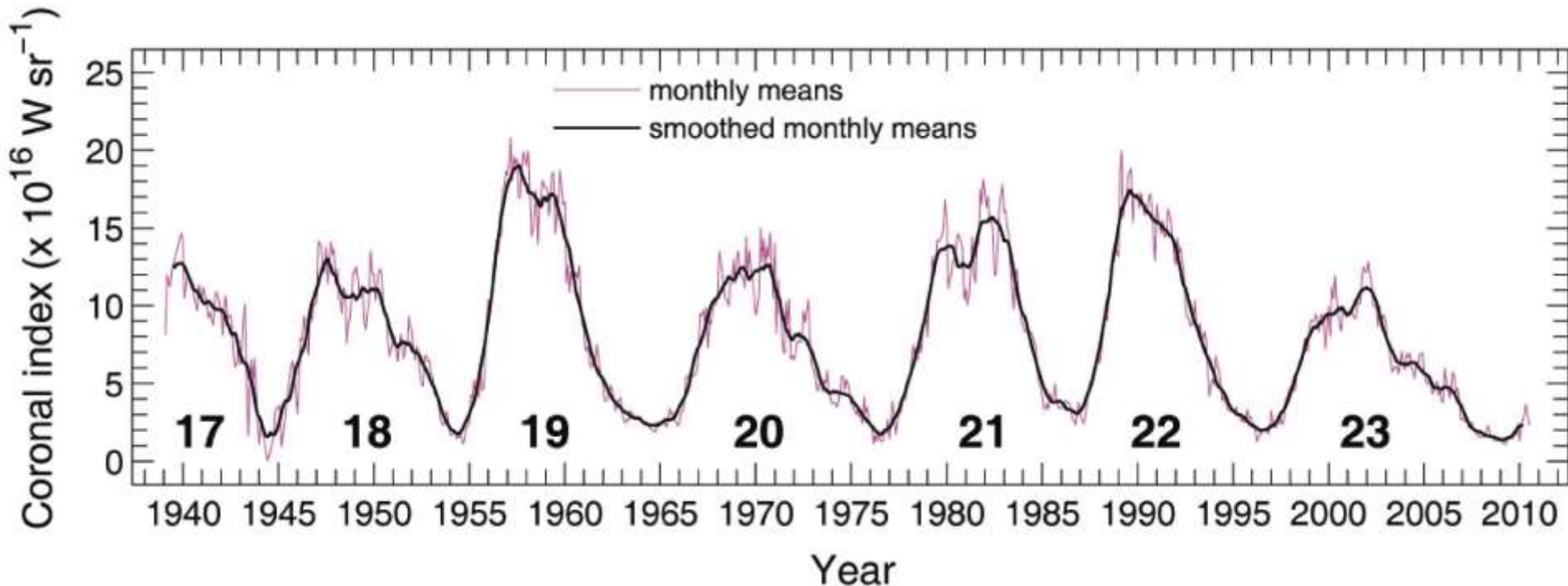


# *Zdroje částic do slnečného vetra*



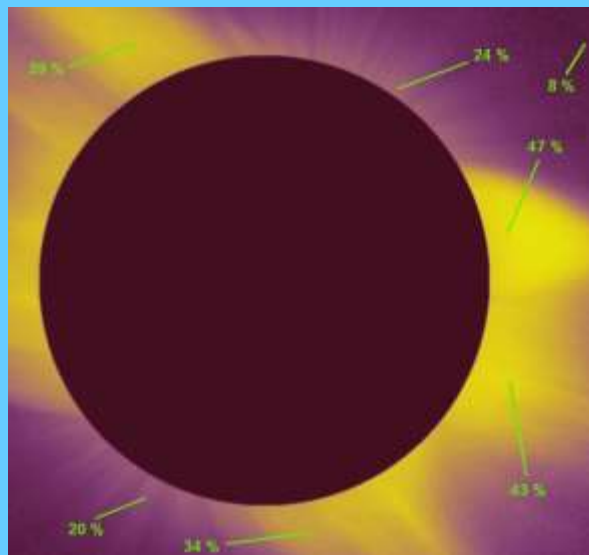


# ***Cyklus slnečnej aktivity podľa CI***



# Polarizácia koróny

- Dôležitý prostriedok na určovanie fyzikálnych vlastností koróny (teplota, hustota, magnetické pole a pod.)
- Polarizácia závisí od mnohých faktorov, napr. výšky nad povrchom Slnka, vlnovej dĺžky, zložením koróny, magnetického poľa v koróne a pod.
- Zeemanov efekt – ZE (rozštep sp. čiar v mag. polí; mag. pole v koróne je slabé a preto sú problémy s jeho meraním); najvhodnejším kandidátom je Fe XIII (1074,7 nm); rozštep rastie s vlnovou dĺžkou
- Hanleho efekt (depolarizácia; vhodná len pre spektrálne čiary)
- Problémy: magnetické pole je slabé a koróna je opticky tenká



# Polarizácia koróny (2001)



# Koróna z kozmického priestoru

- Výskum slnečnej koróny z kozmického priestoru začal po vypustení prvej družice Zeme – 4.10.1957
- K koróna
- Emisná koróna
- Slnečný vietor



# CME – ejekcia koronálnej hmoty

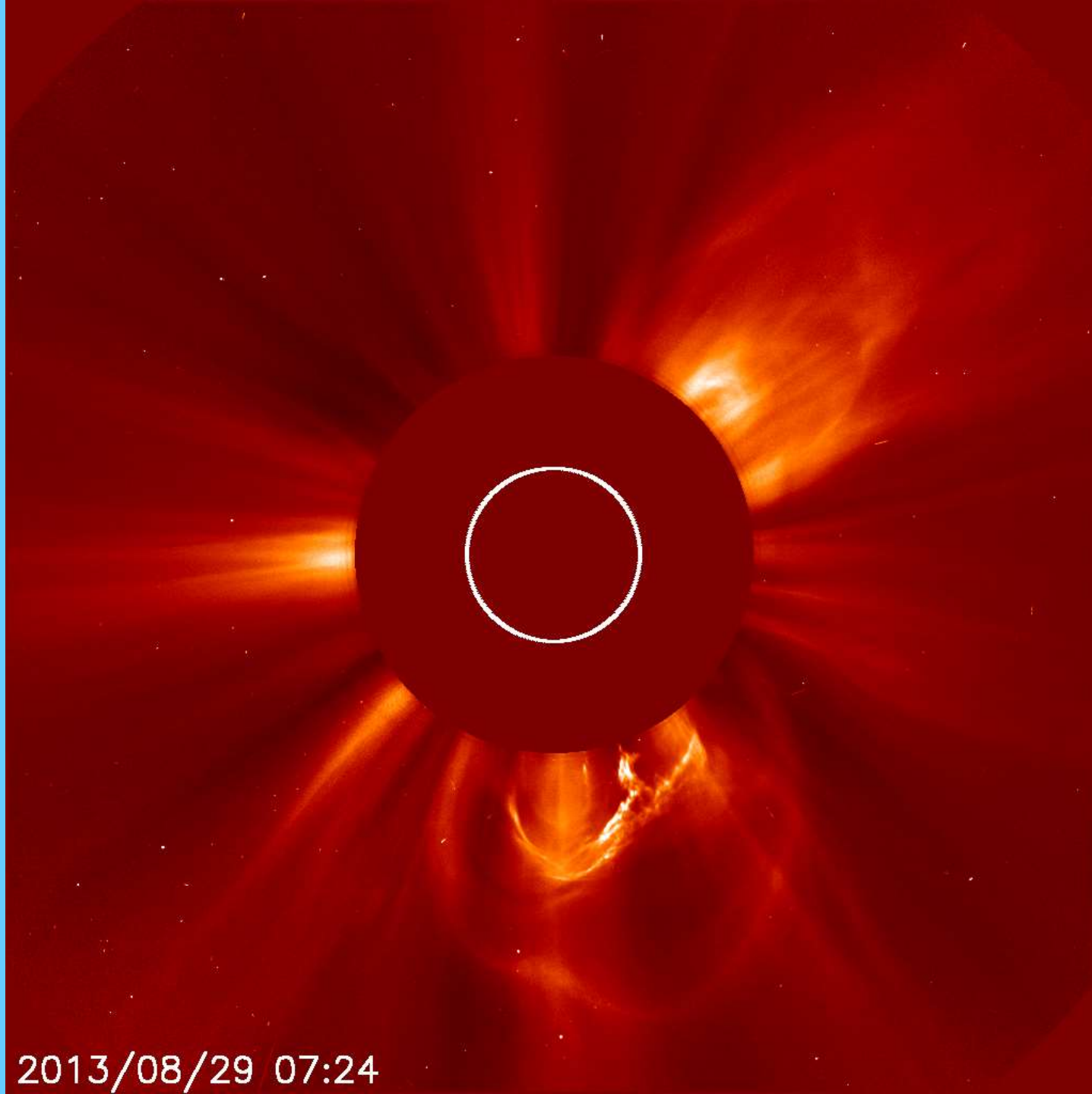
- Prvé pozorovanie v novodobej histórii sa uskutočnilo 14. decembra 1971 na OSO-7 (službukonajúci technici si myslel, že sa pokazila vidikonová kamera, ktorá ho zachytila)
- Skylab, SOHO, SDO, STEREO
- A aj zatmenia, napr. 1980, 2010



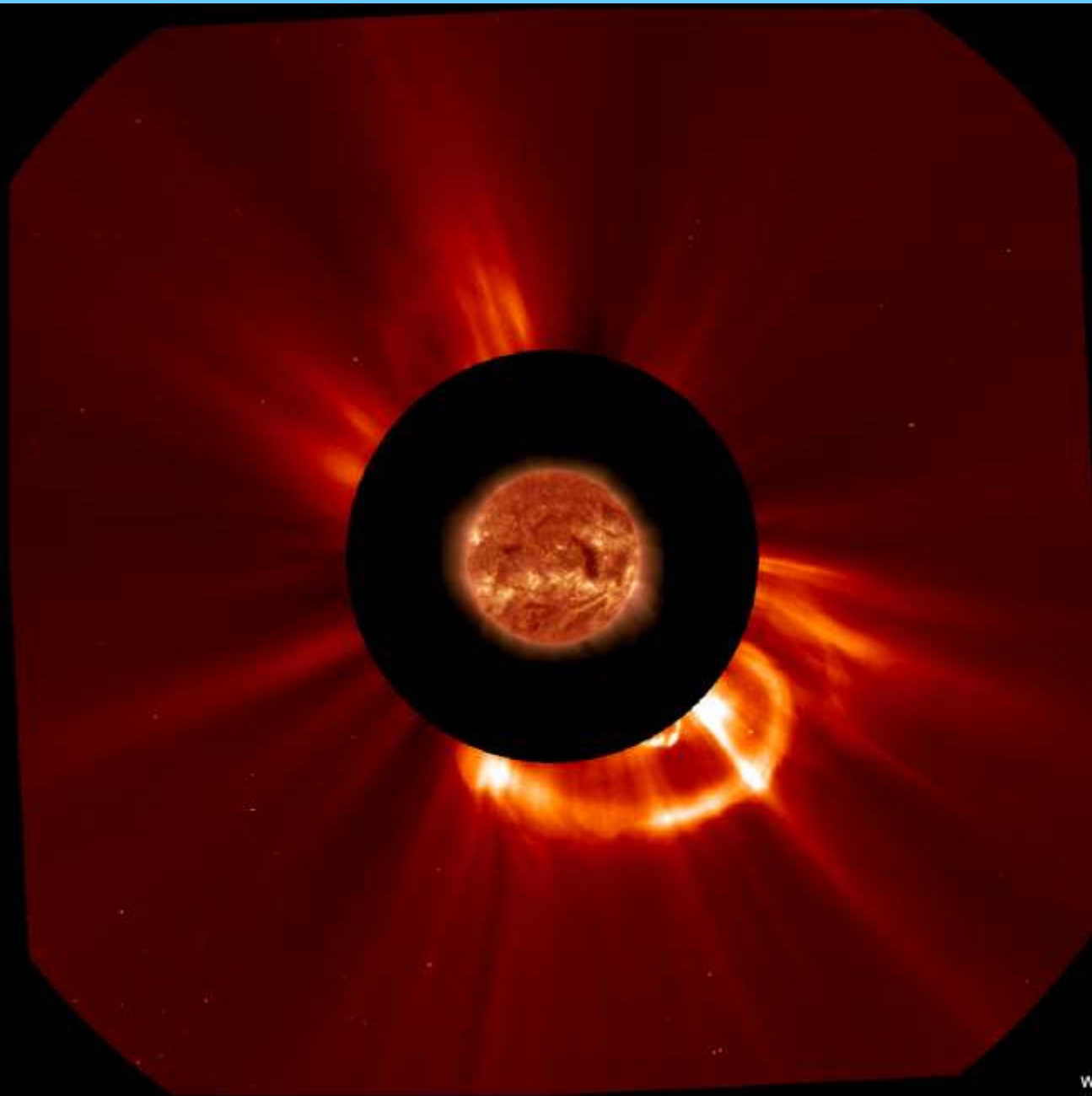
Total Solar Eclipse 2010

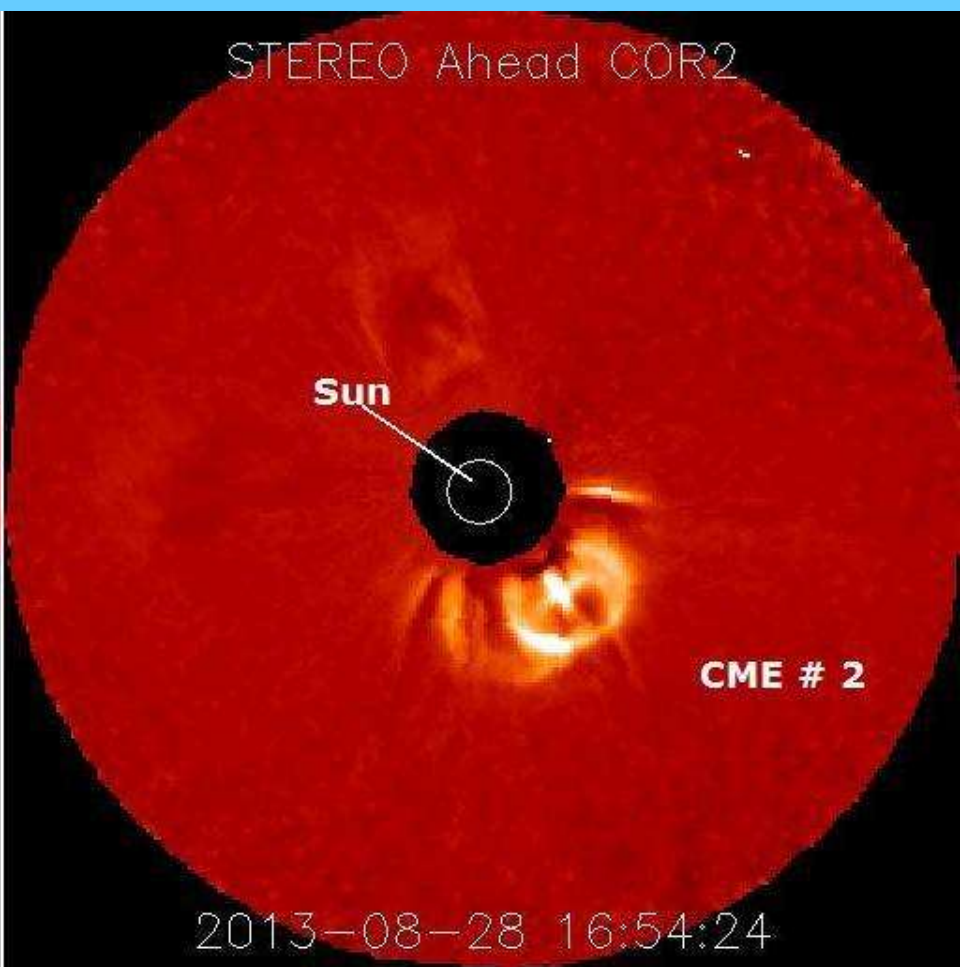
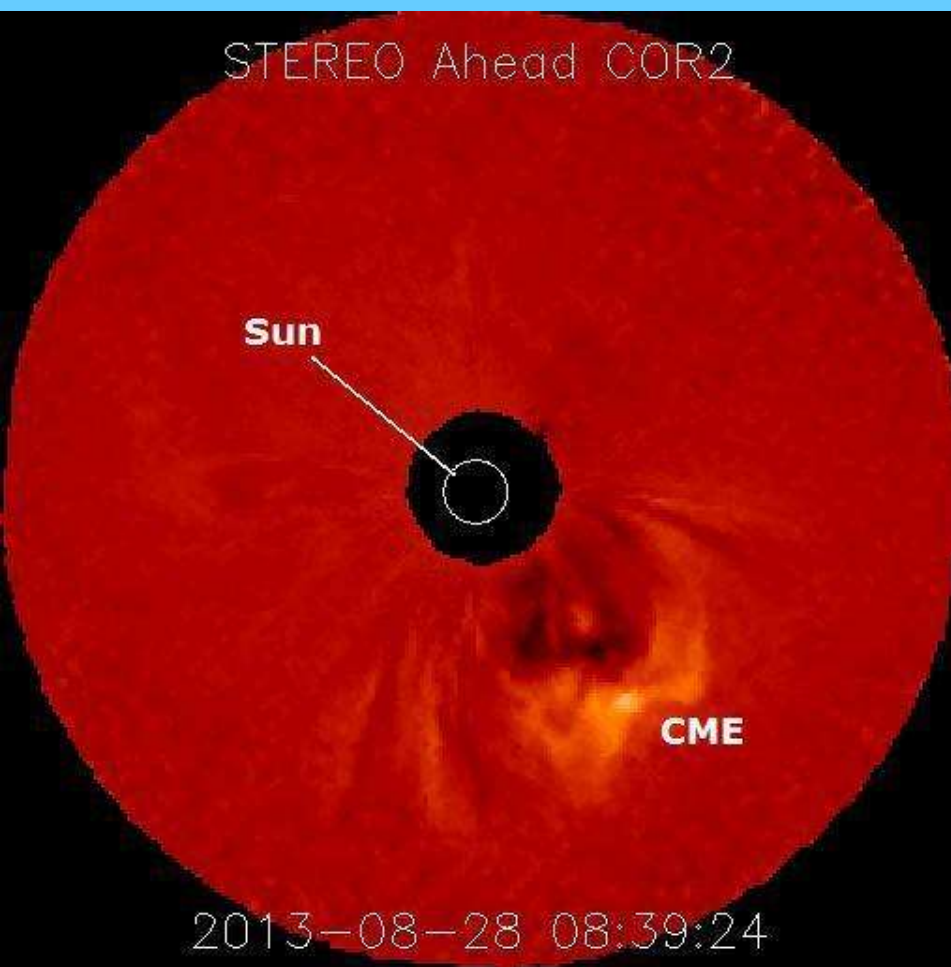
© 2010 Miloslav Druckmüller, Martin Dietzel, Shadia Habbal, Vojtech Rušin



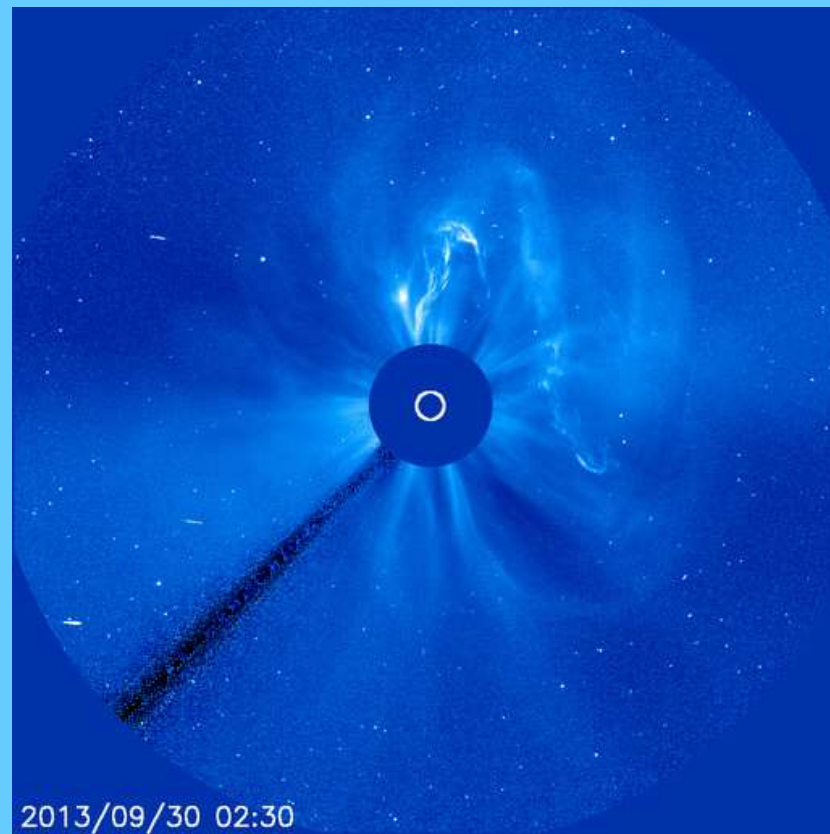
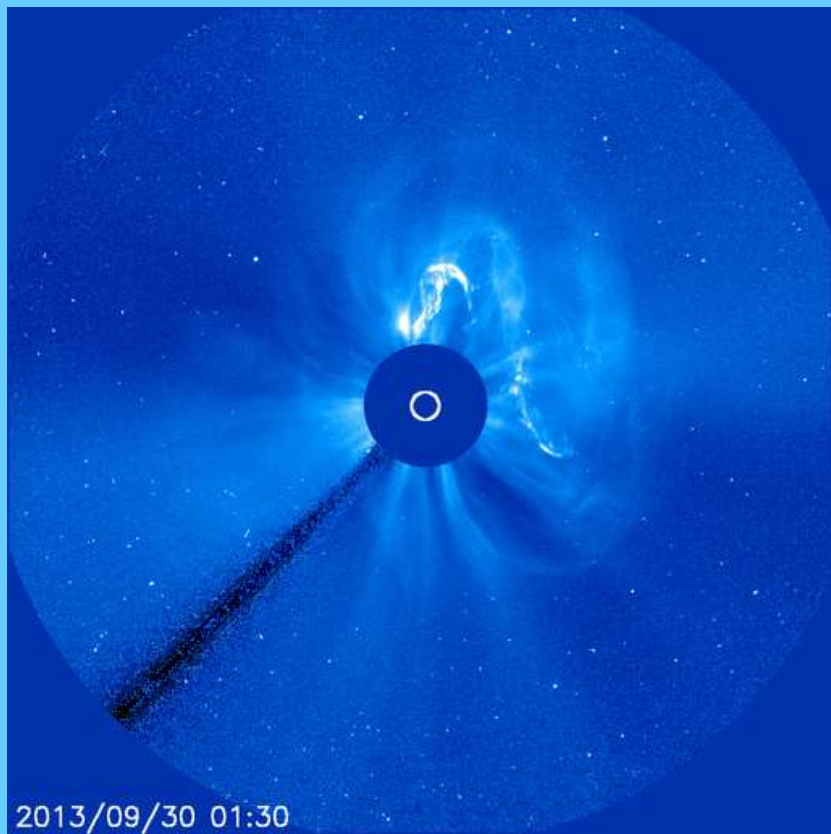


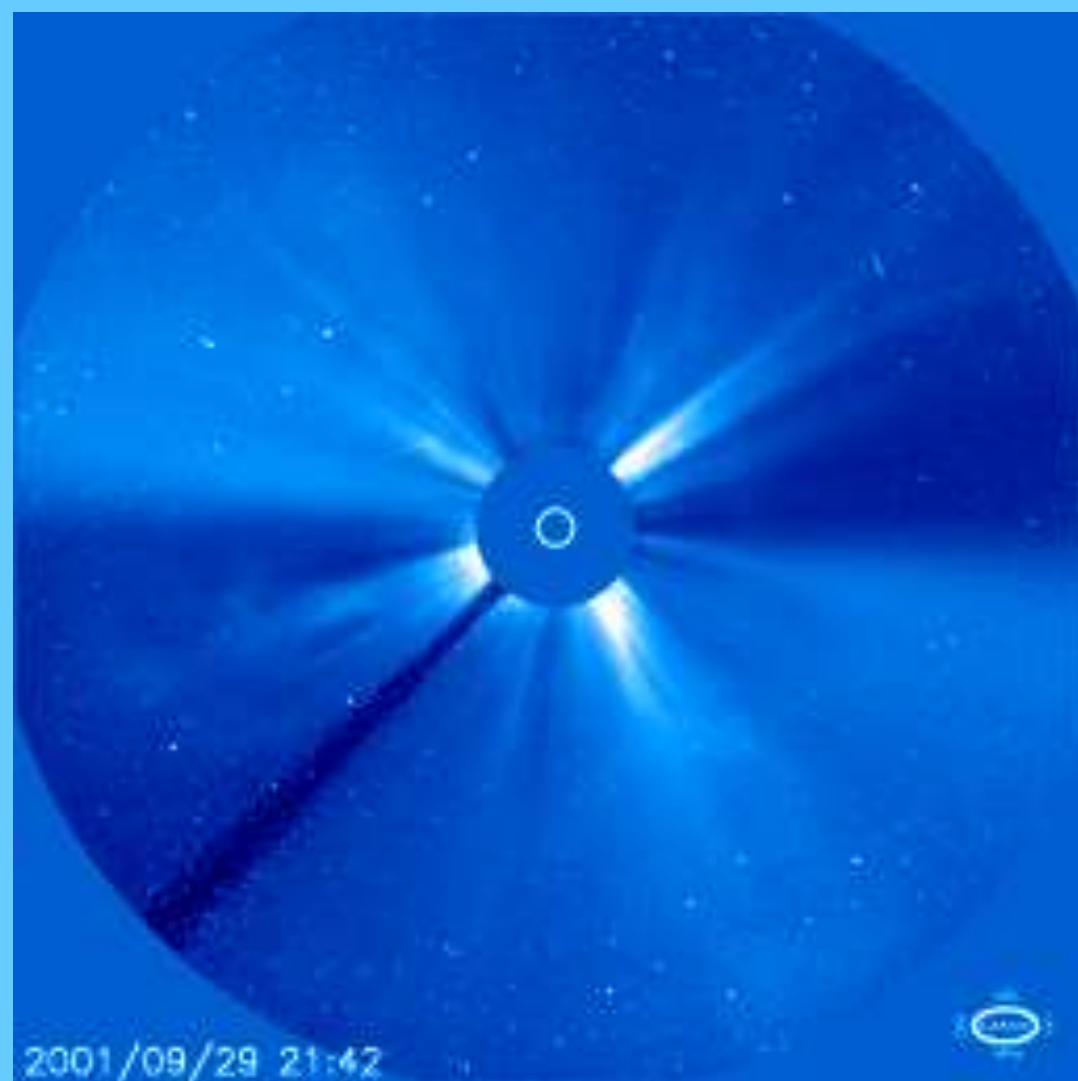
2013/08/29 07:24







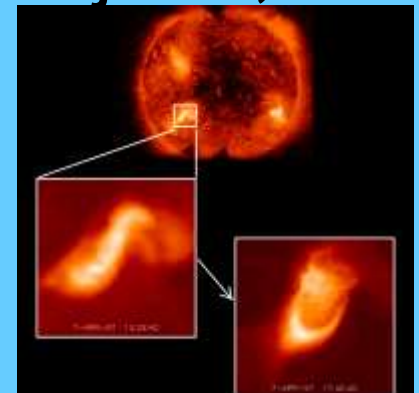




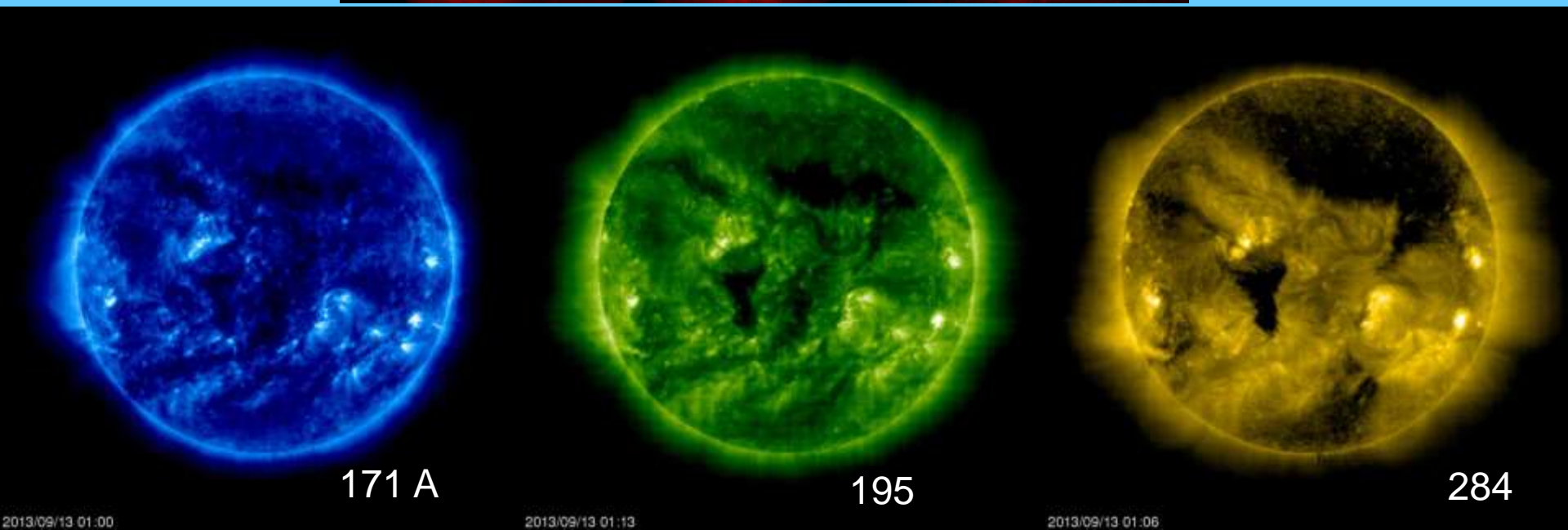
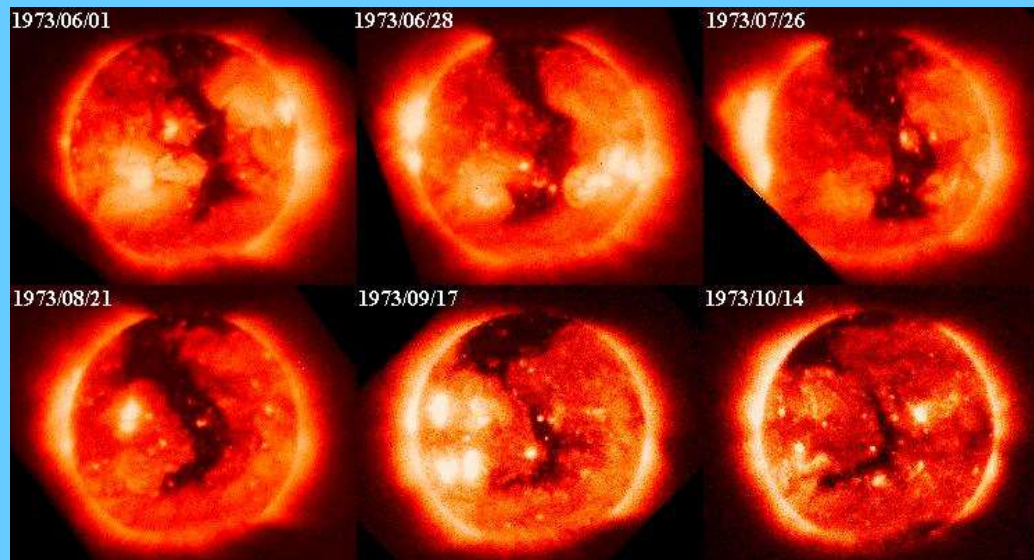


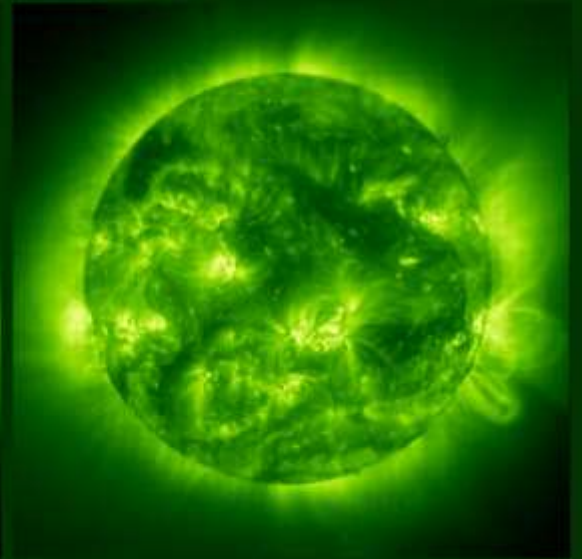
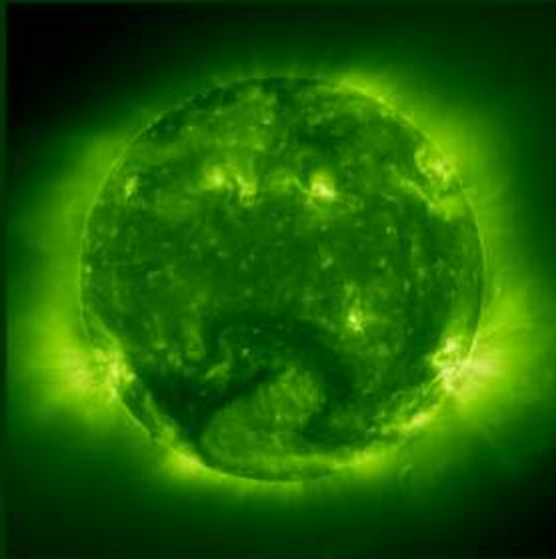
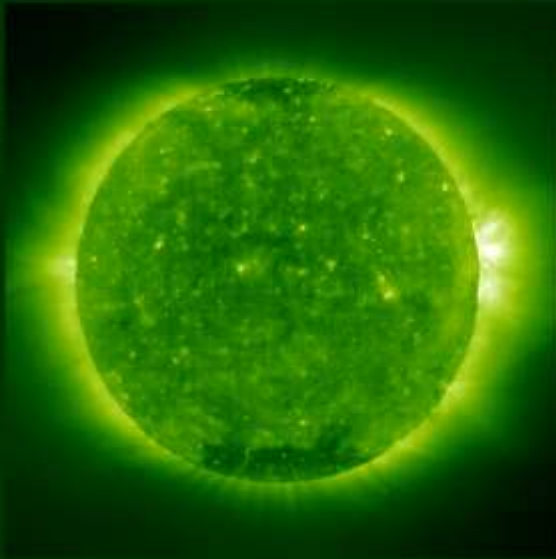
# Pôvod CME (dôsledok)

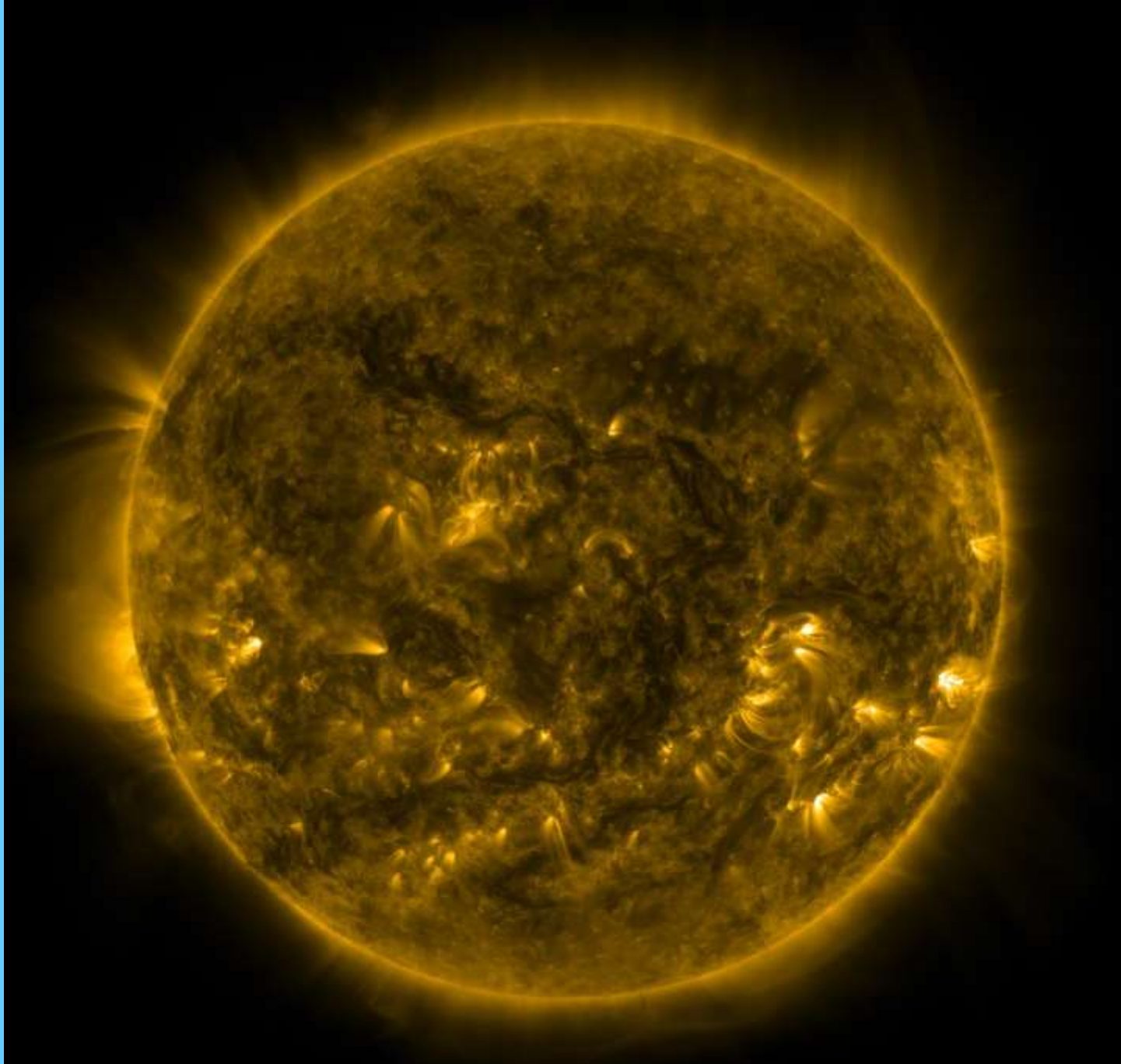
- Erupcií
- Eruptívnych protuberancií a rtg-sigmoidov
- Koronálneho stmavnutia (dlhotrvajúci pokles jasnosti na slnečnom povrchu)
- EIT a Moreton vln
- Koronálnych vln (čelo zvýšeného jas, šíriace sa od erupcie)
- Poerupčných arkád/slučiek



# Emisná koróna – EUV a rtg

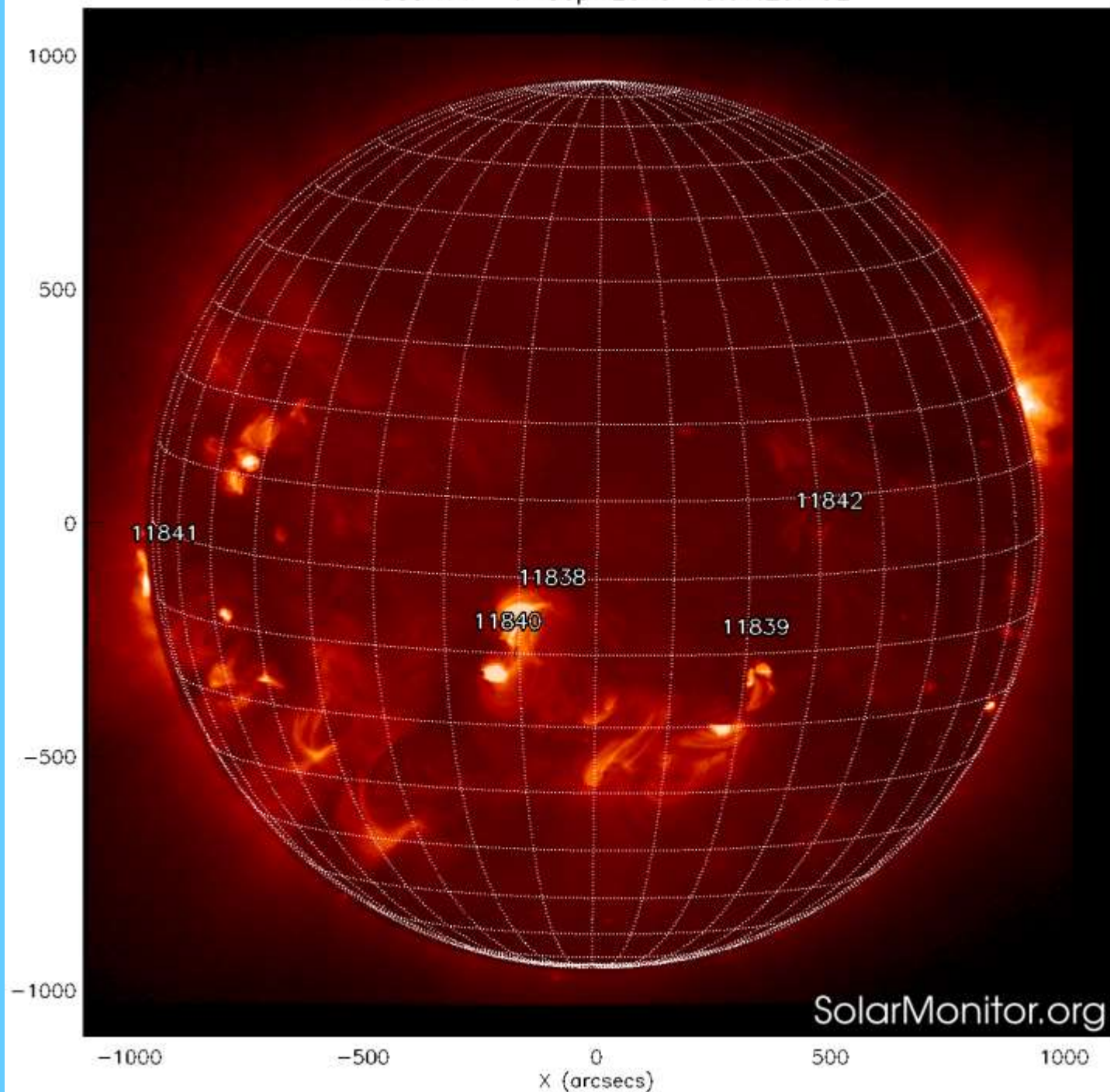




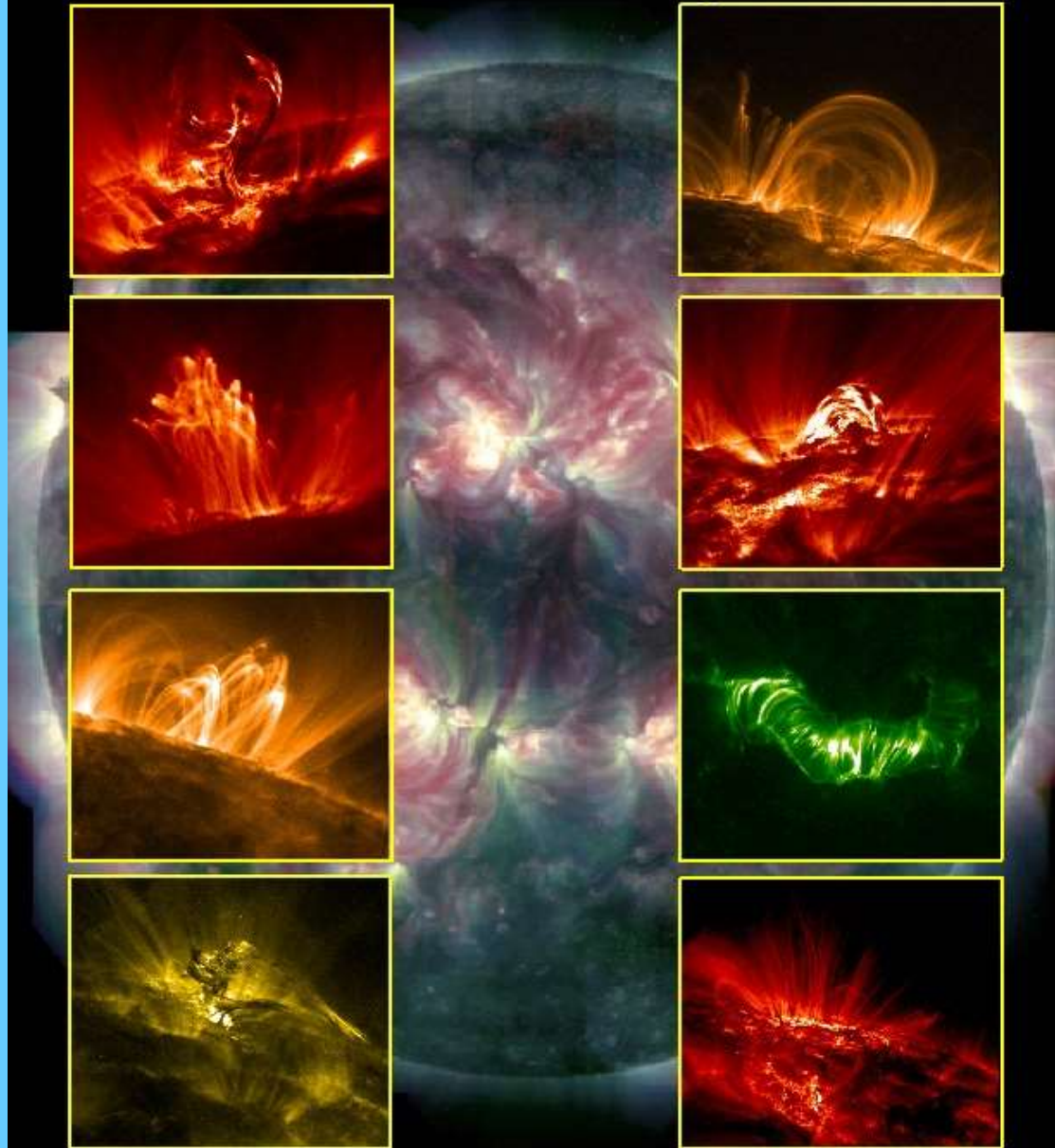


SDO/AIA 171 2013-09-13 15:28:12 UT



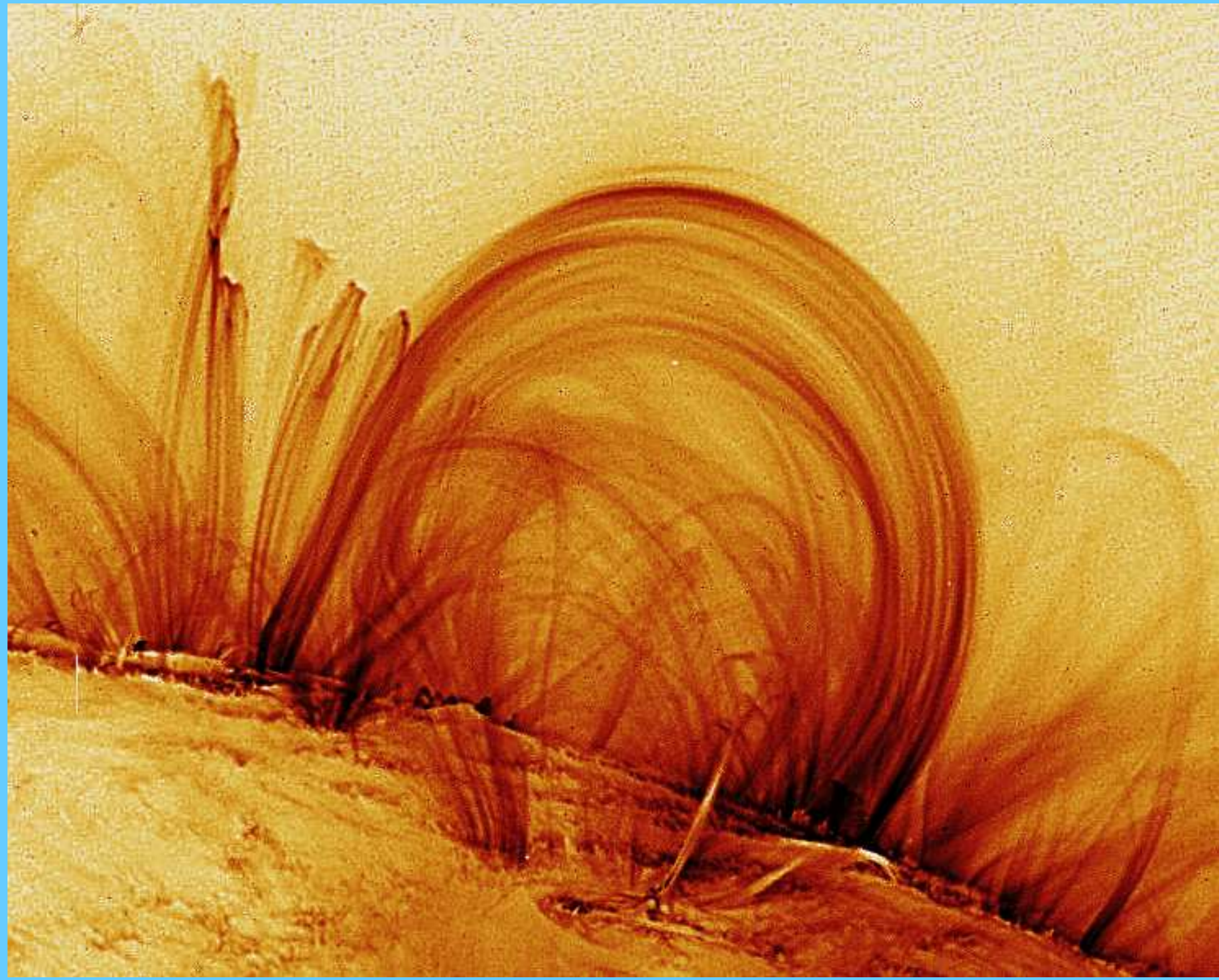


# *TRACE A new view of the Sun*

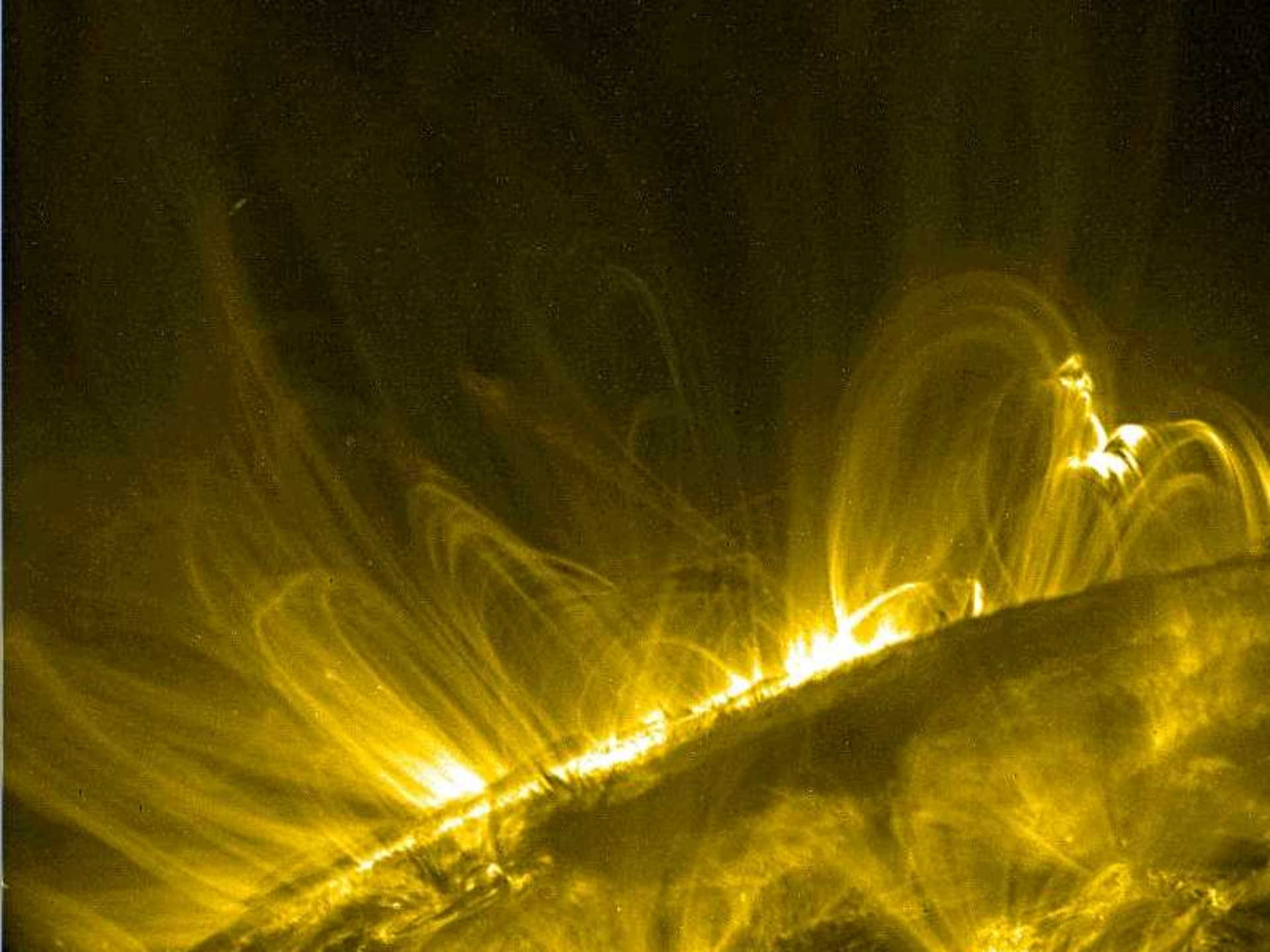


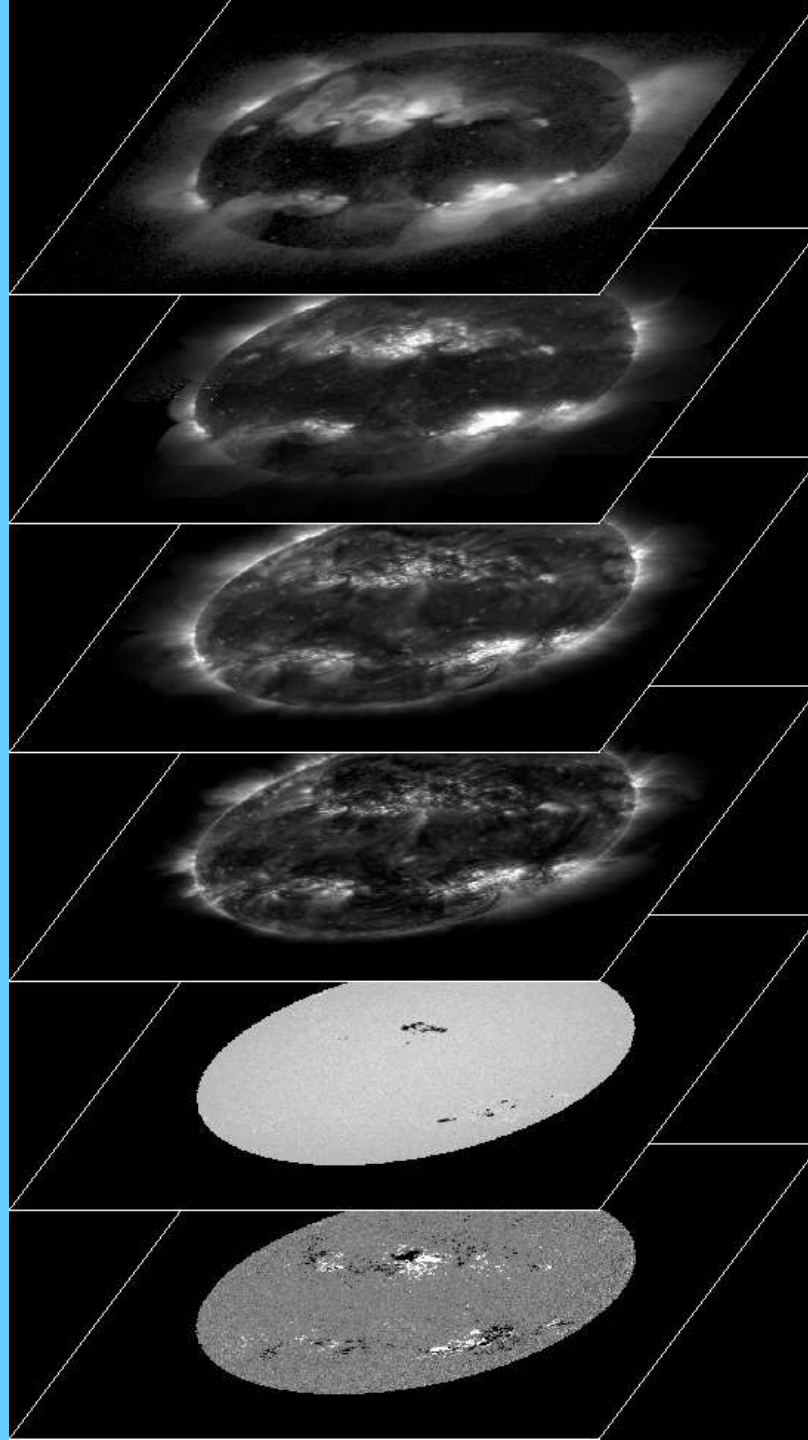
<http://vestige.lmsal.com/TRACE>







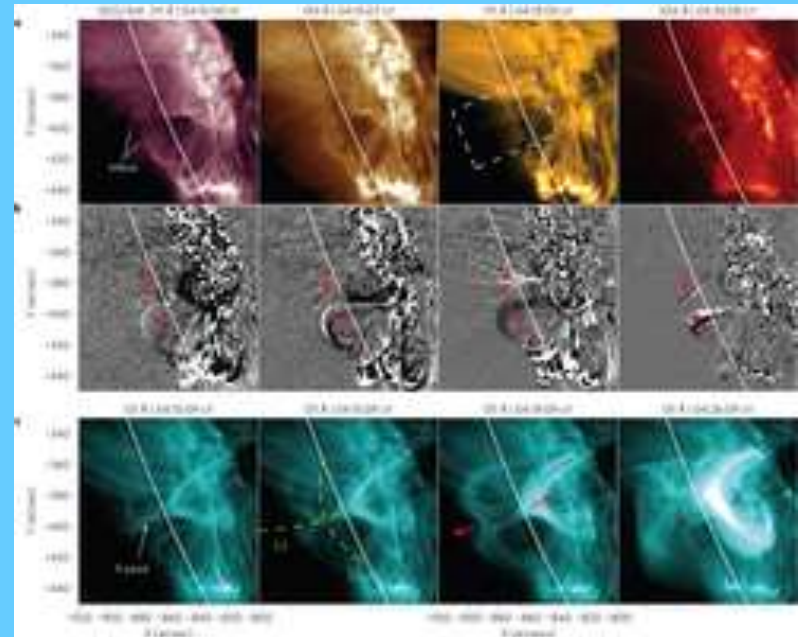
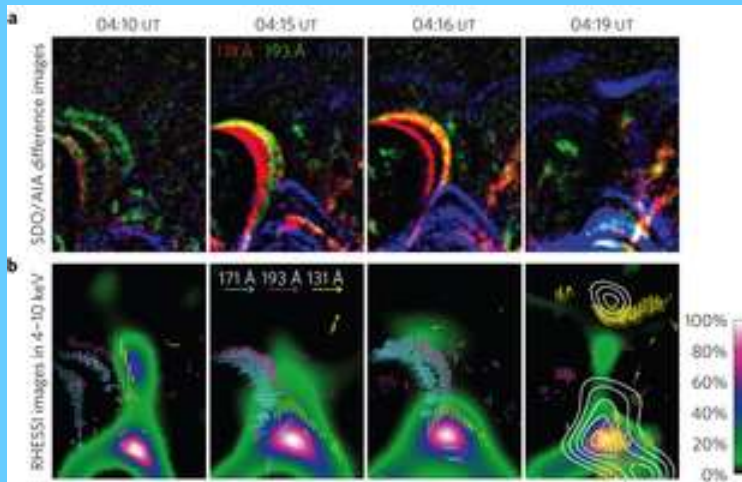




# Mechanizmus ohrevu koróny

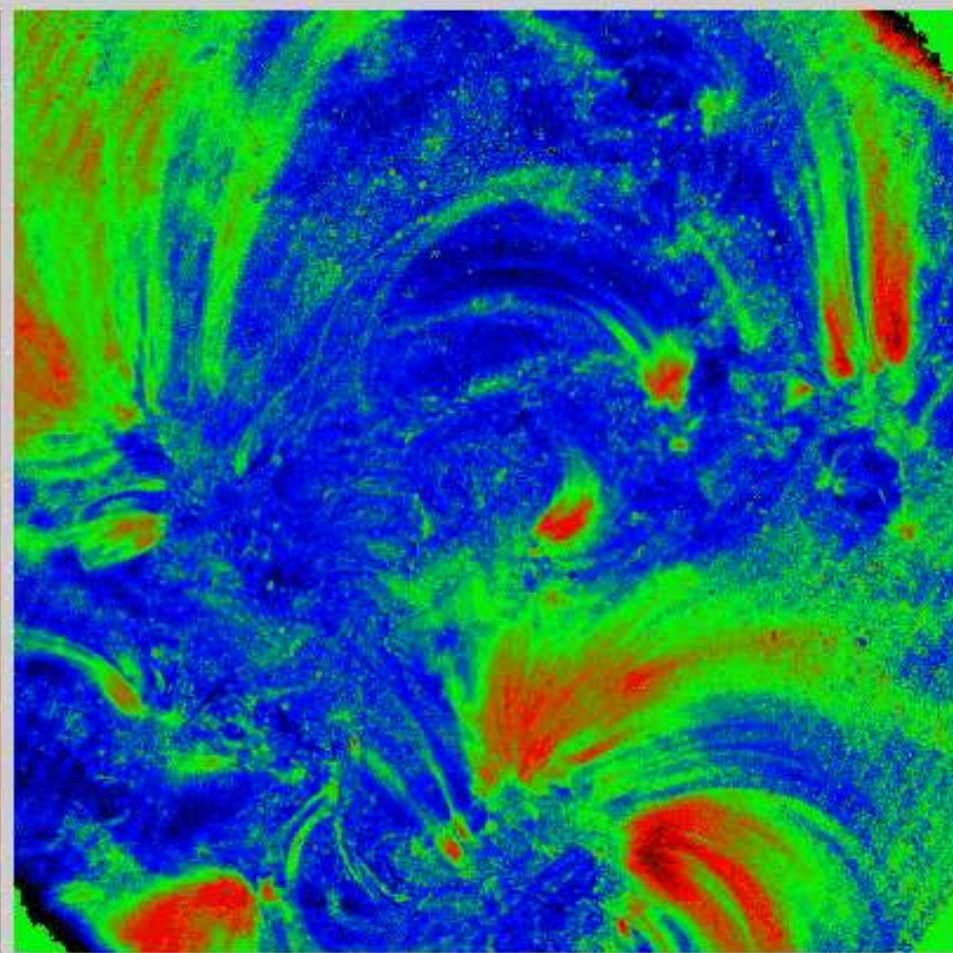
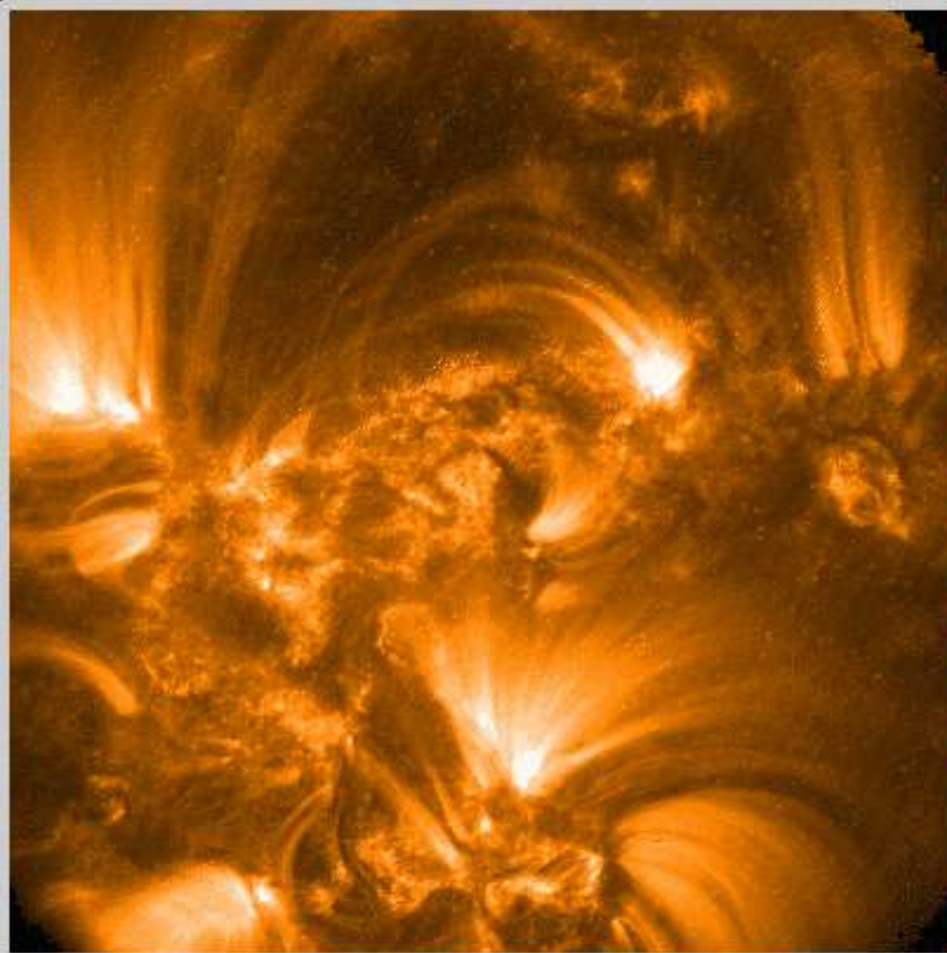
- Vlny:
- Alvénove – nízkofrekvenčné vlny modifikované interakciou hmoty v plazme;
- magnetoakustické – zvukové vlny modifikované prítomnosťou magnetického poľa. Pôvod: turbulencia granúl a supergranúl. Problémy s ich detekciou, ale niečo sa už podarilo.
- Rekonexia malých, lokálnych spletenecov (braids) magnetických polí (indukcia elektrických tokov s uvoľnením energie)
- Spikule, typ II (objavené 2007):  $v=100$  km/s, krátka životnosť – (dodávanie horúcej plazmy do koróny); klasické spikule: 20 km/s, životnosť okolo 15 min.

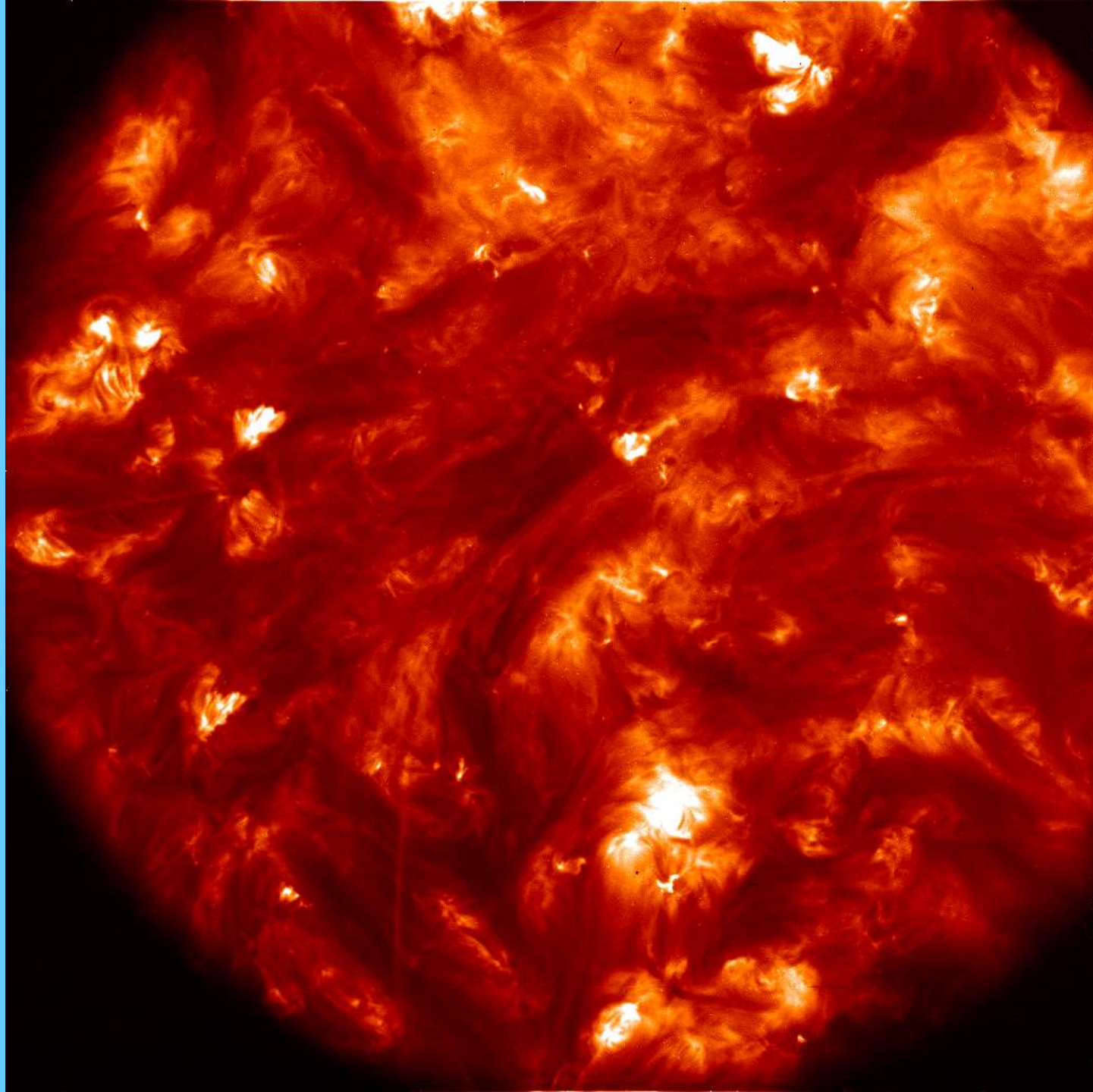
# Ohrev plazmy pri rekonexii (viac ako 10 MK, prvé priame pozorovanie na SDO/AIA)



Yang Su et al. Nature Physics 9, 489–493, (2013)

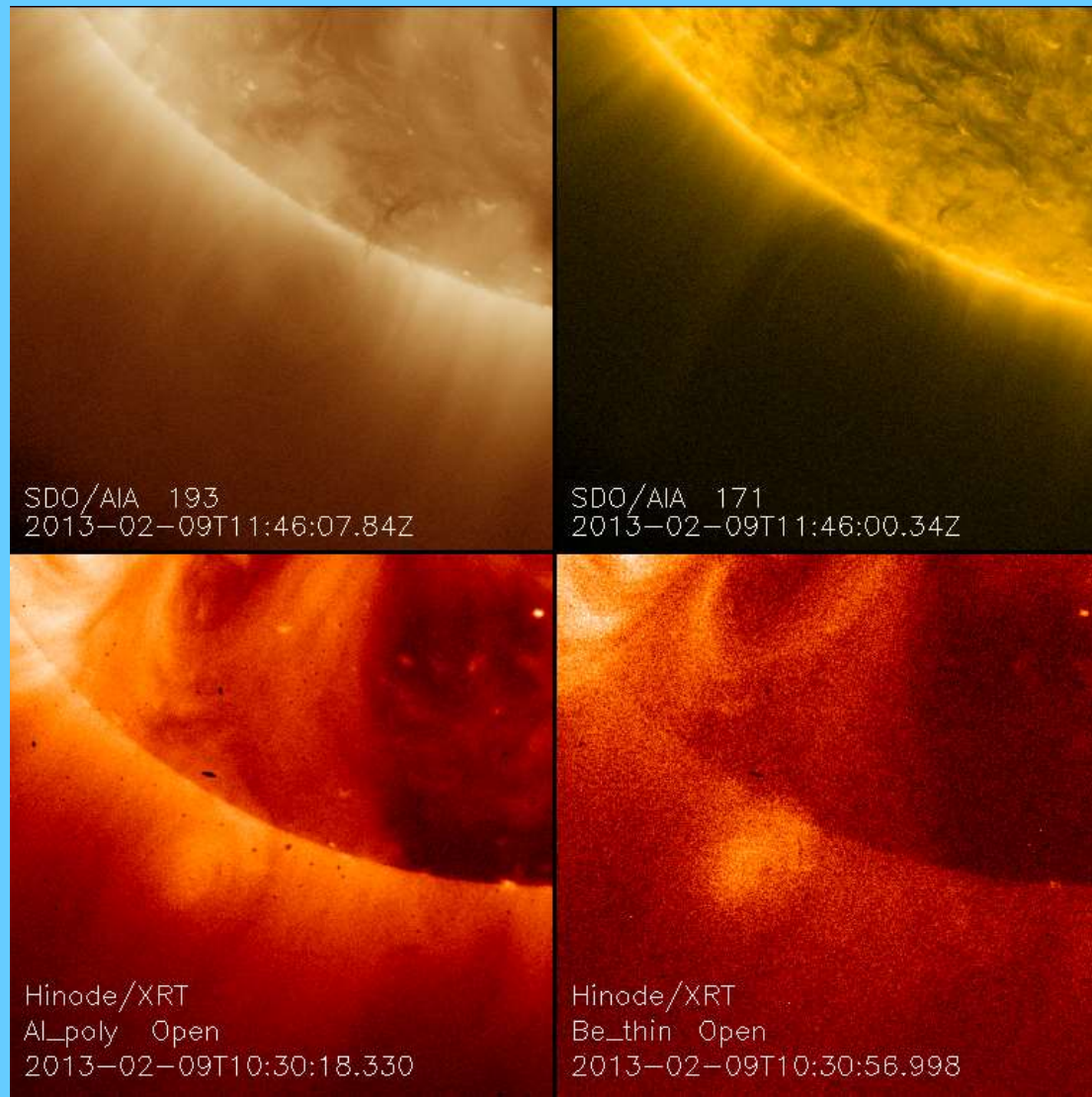






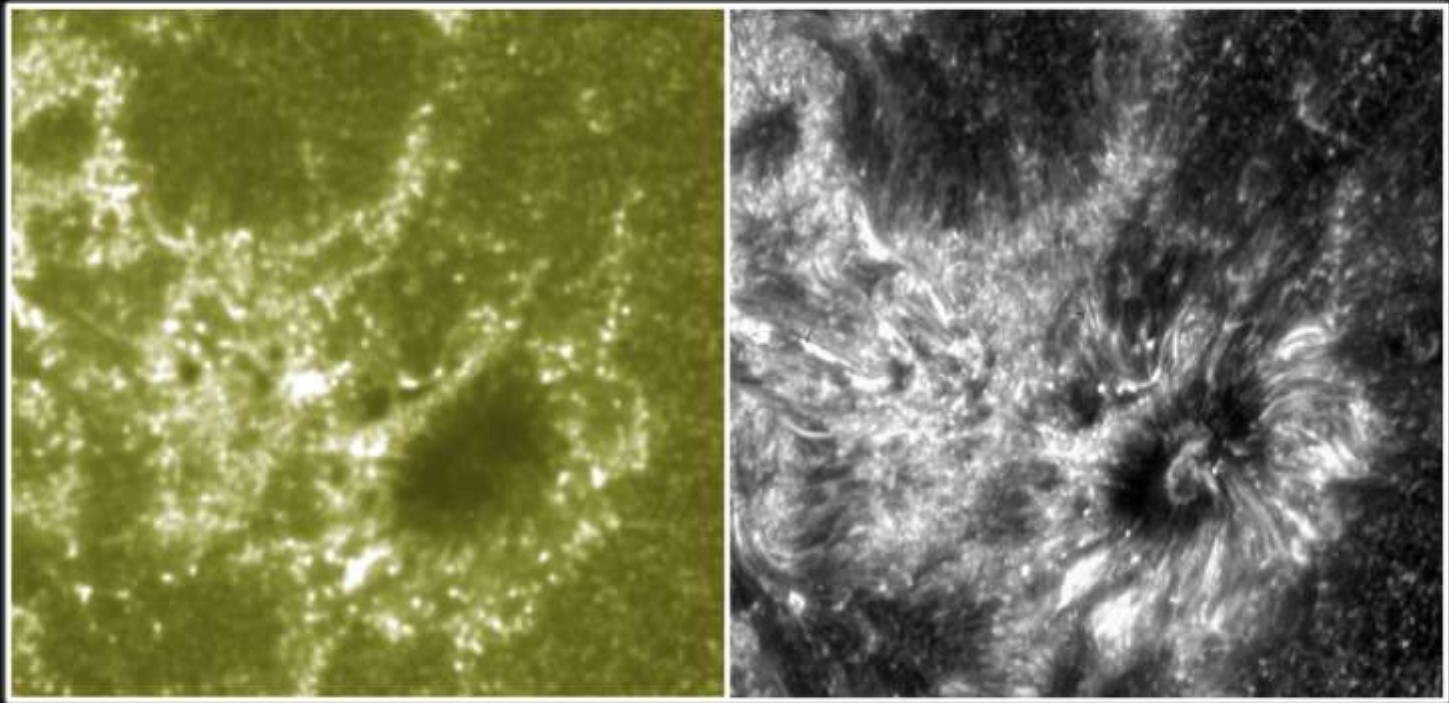


# Koronálne dutiny a super horúca hmota v nich





# NASA's Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) on the right and NASA's SDO on the left

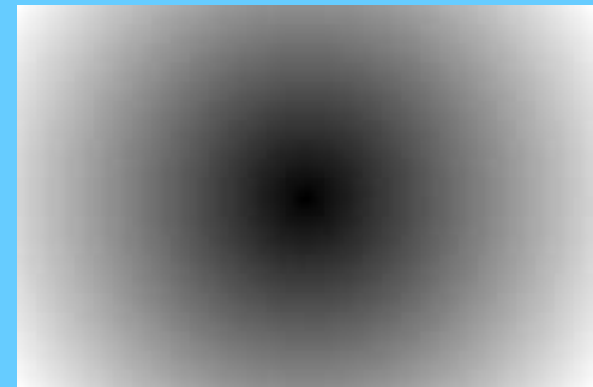


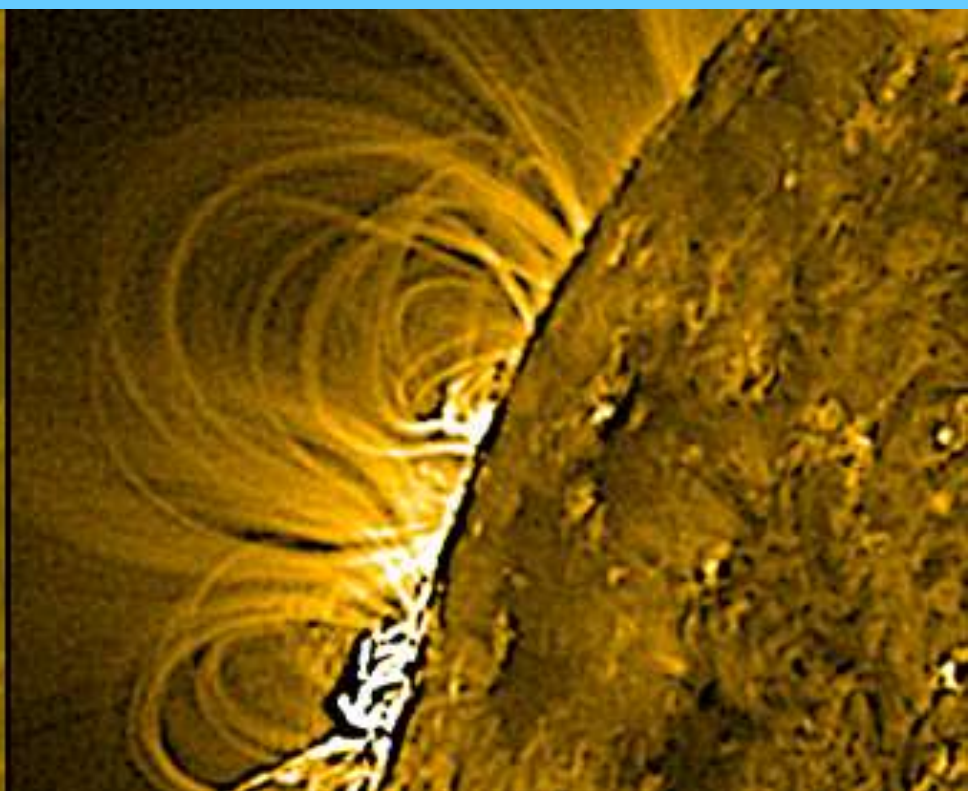
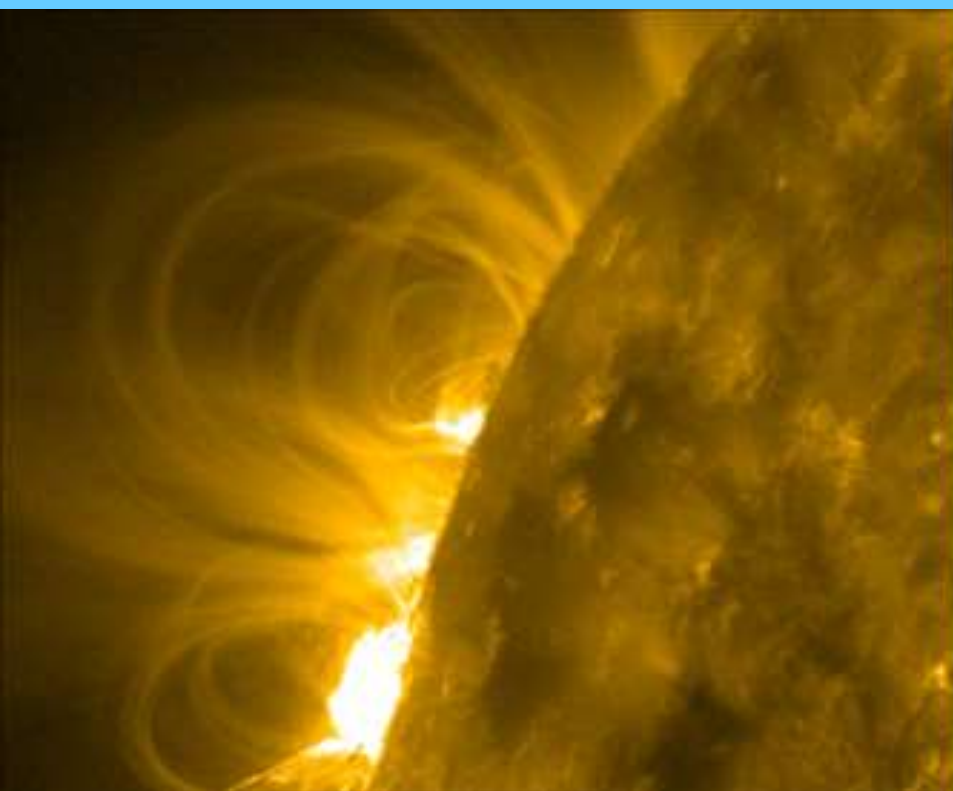
SDO AIA 1600

IRIS Si IV

# *Detekčná technika a spracovanie obrazu koróny*

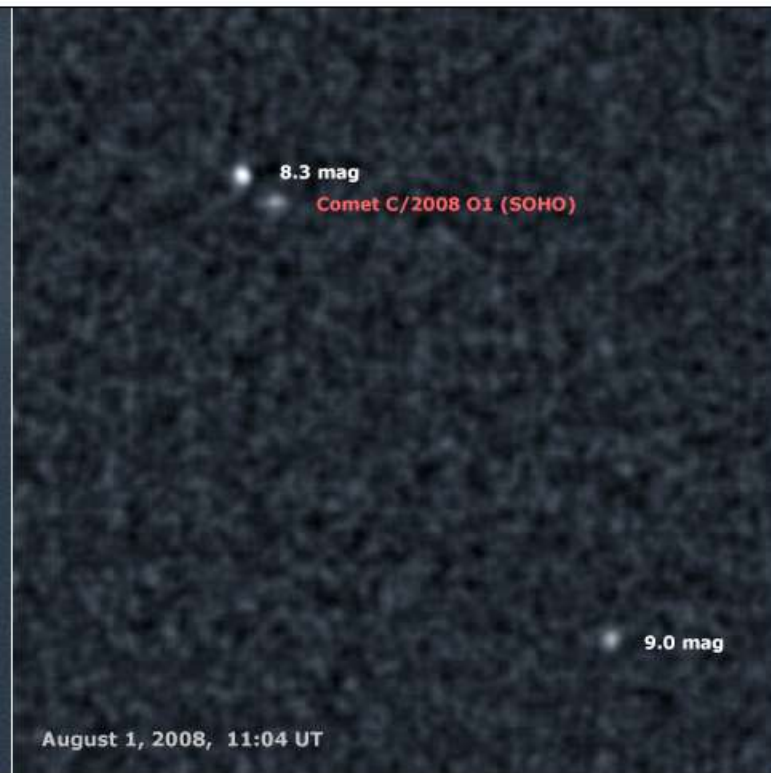
- Biela koróna s výškou má veľmi veľký gradient svetla
- Medzi štruktúrami je malý kontrast: výsledok – obraz koróny nám splýva
- Rotujúci sektor (okolo 1950)
- Radiálny filter (1970)
- Úpravy počítačom



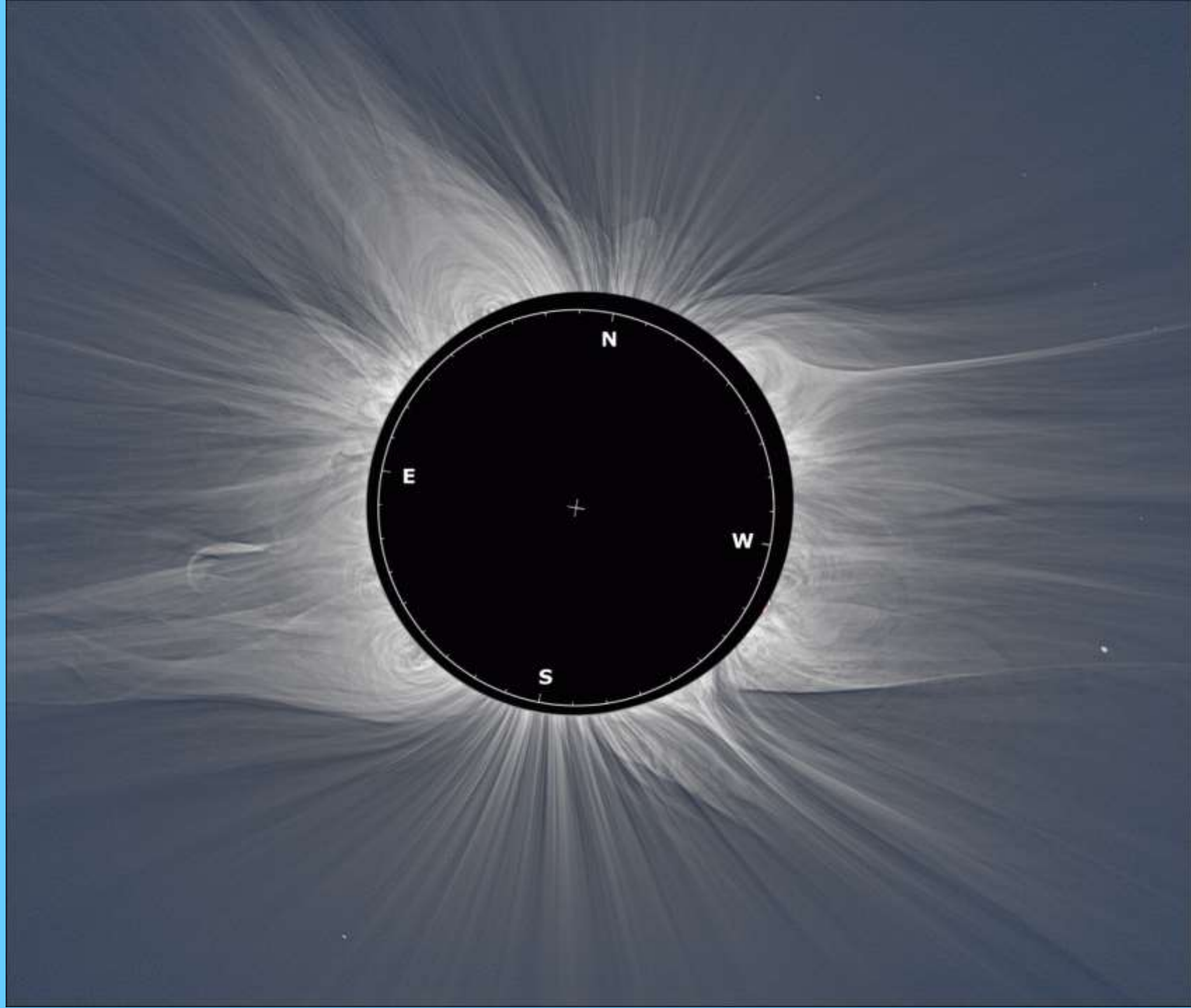




Total Solar Eclipse 2008

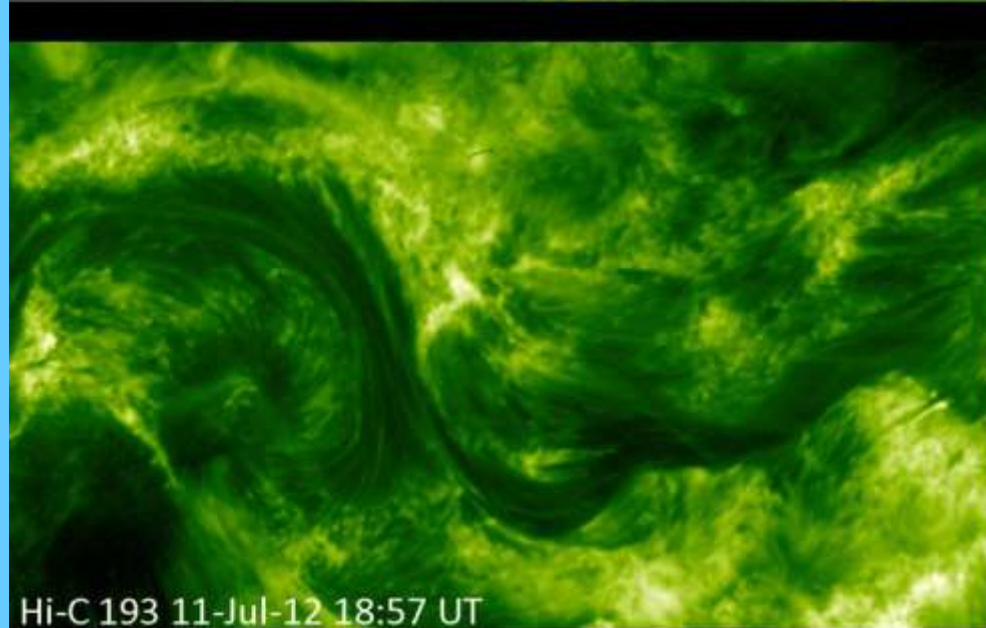
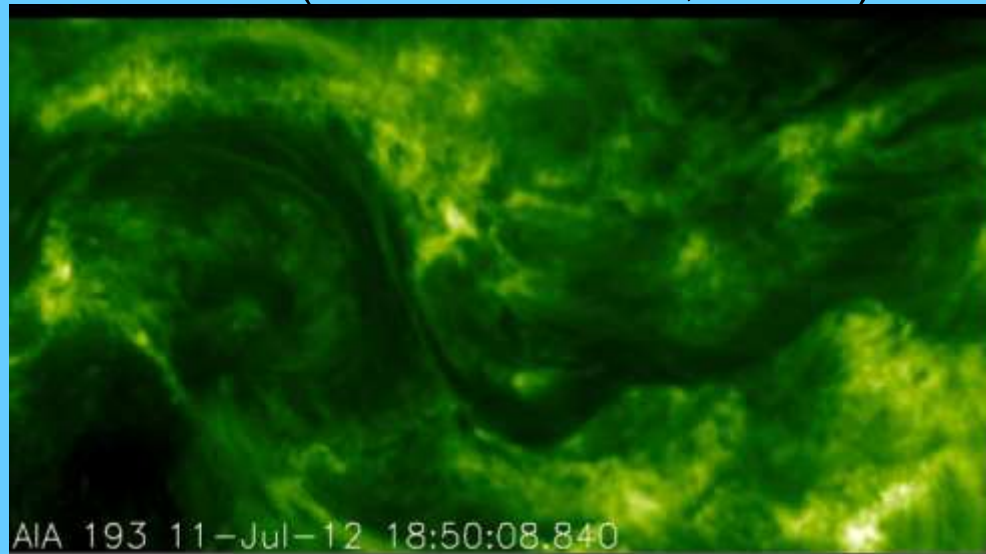


© 2008 Miloslav Druckmüller, Peter Aniol, Vojtech Rušin



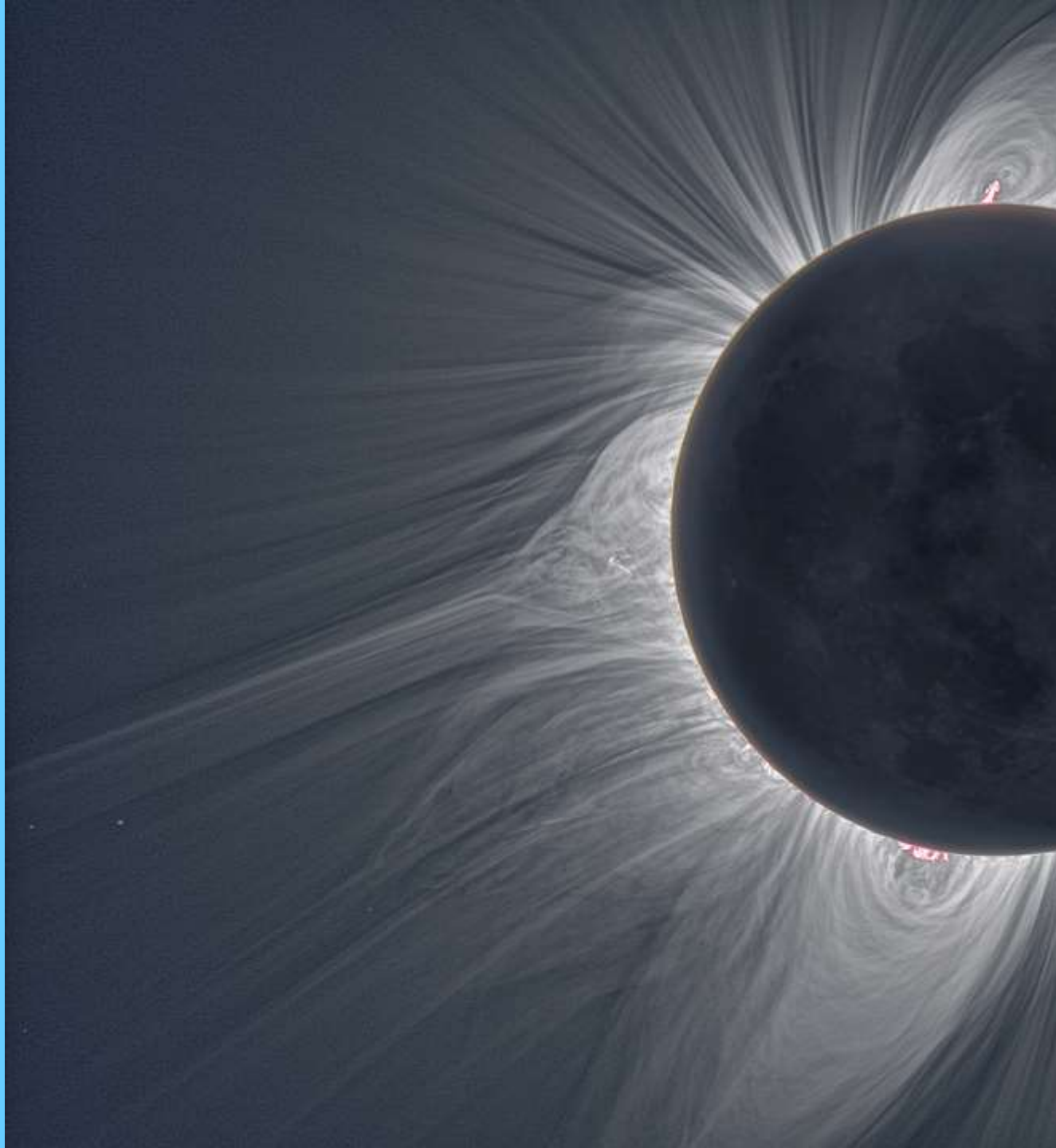


High-resolution Coronal Imager, 19,3 nm, rozlíšenie: 0,2 obl. sekundy  
(Kredit: L. Golub, NASA)



# Dynamika vnútornej koróny





CoMP 1074

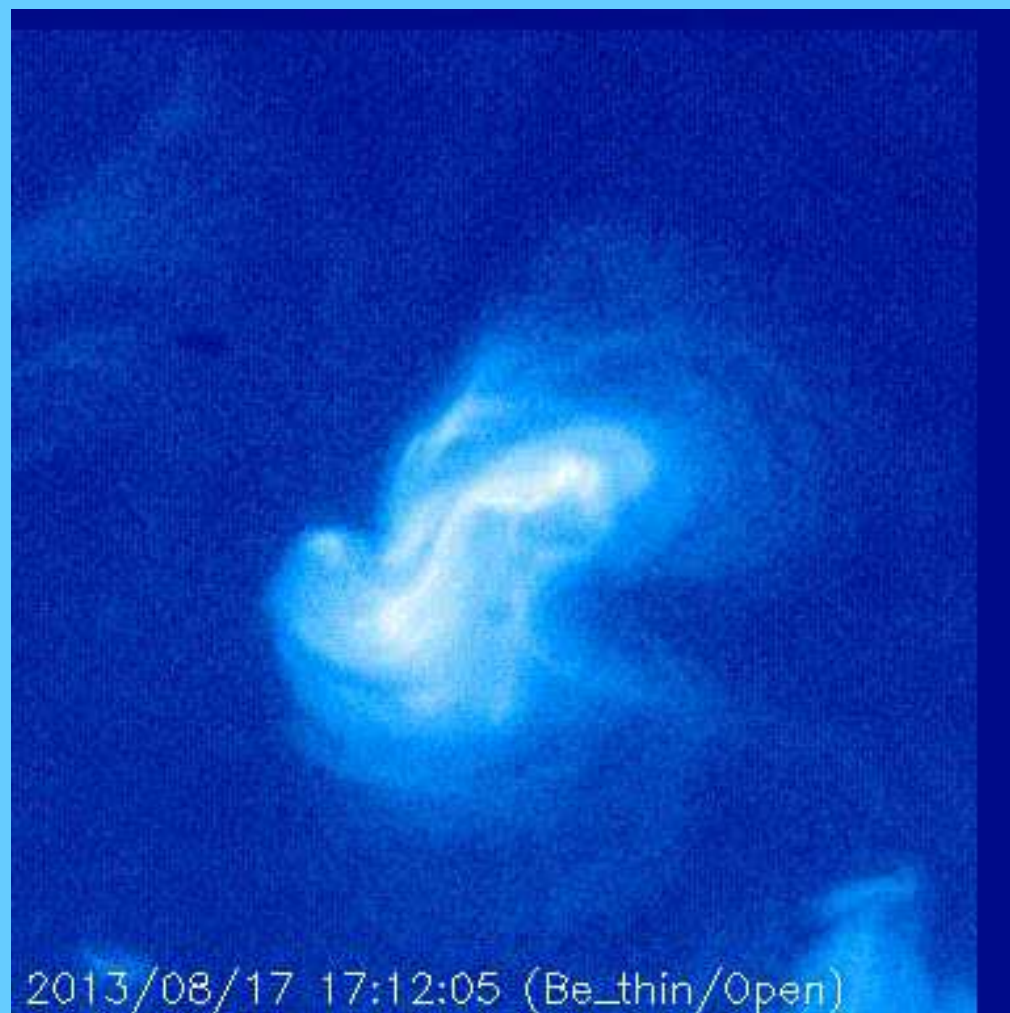
2012-06-01 20:16:27 UT



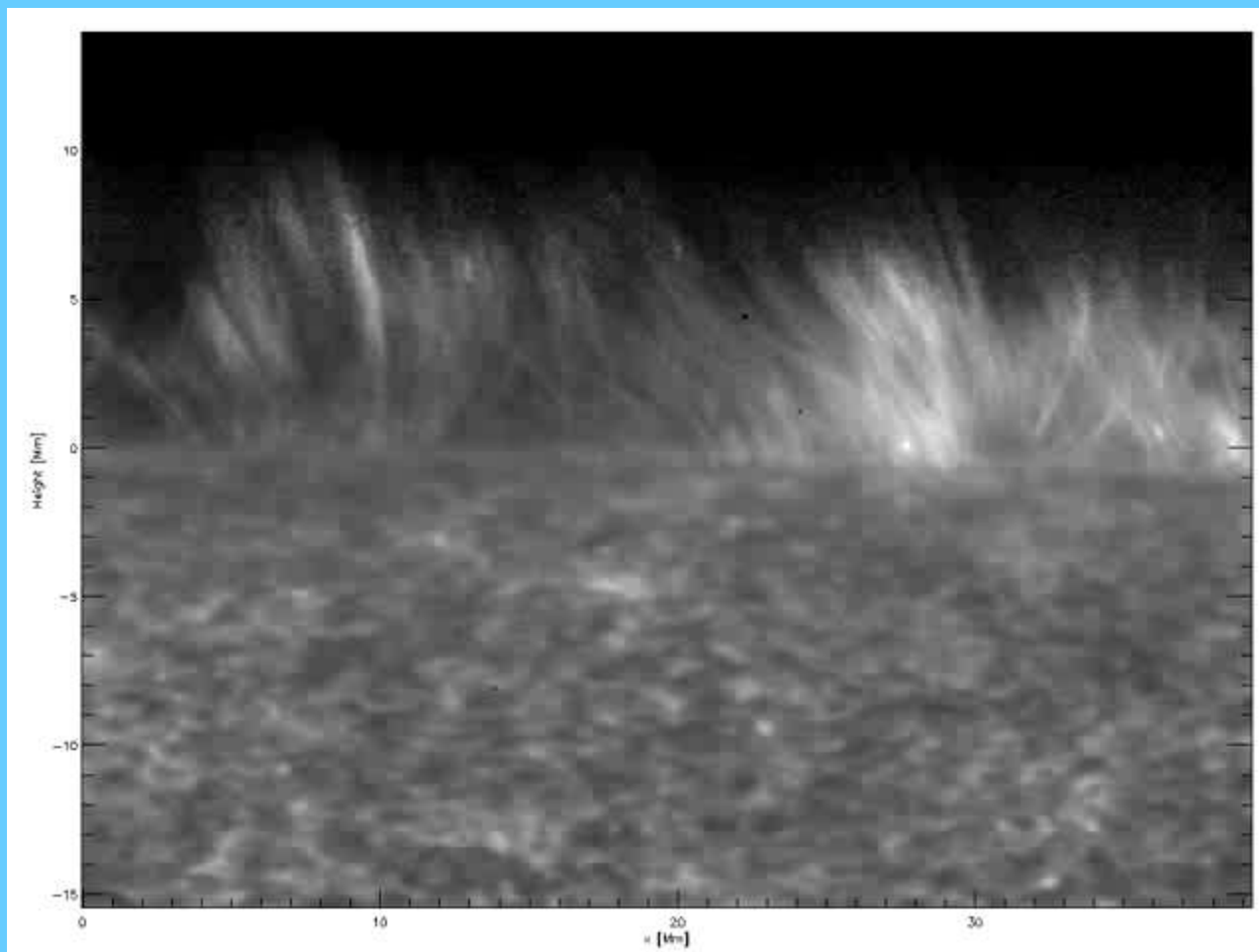
# Doppler Velocity

LOS velocity [km/s]

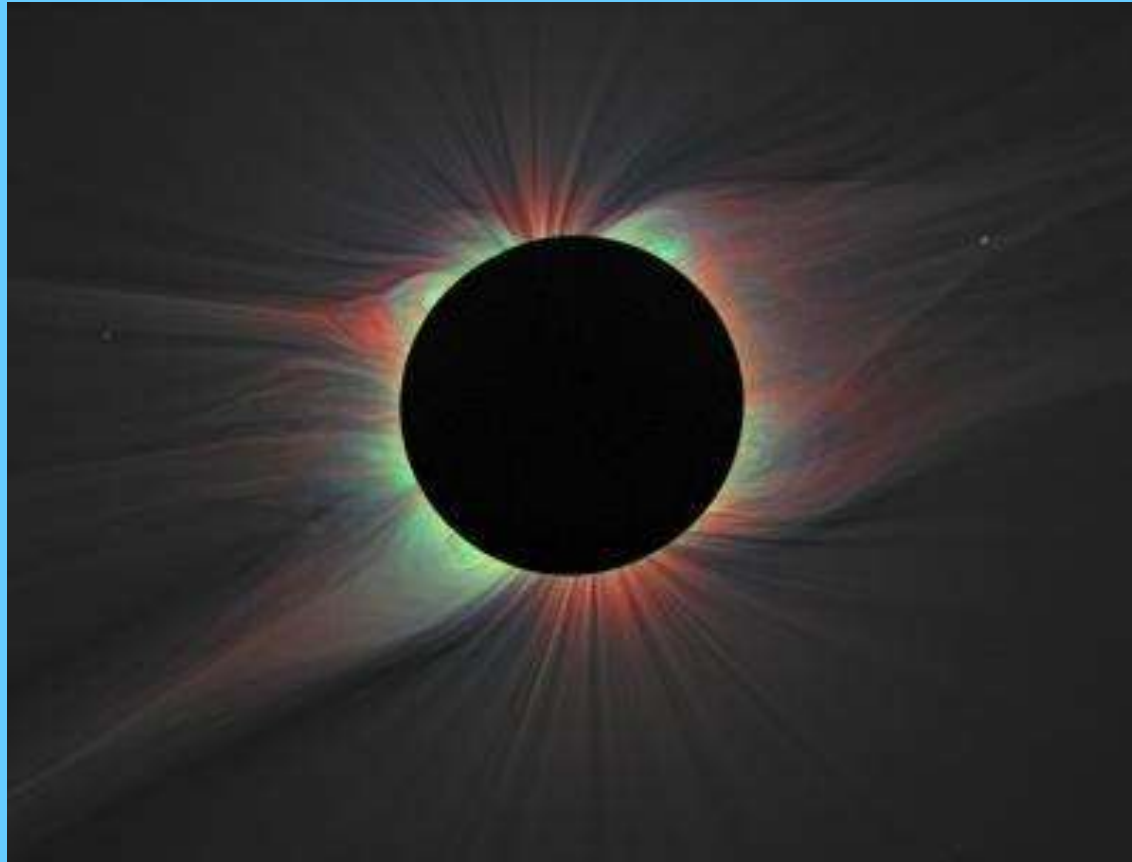




# *Spikule typu II (Call H čiara z Hinode)*



# *Rozdelenie elektrónovej teploty a stupňa ionizácie v koróne*



*Biela a emisná koróna (zatmenie v roku 2008) v iónoch železa:  
Červená – Fe XI 789,2 nm, modrá – Fe XIII 1074,7 a Fe XIV 530,3 nm.  
(Credit: Habbal, et al., 2010)*





Total Solar Eclipse 2010

*White light / Fe X 637.4 nm red / Fe XIV 530.3 nm green*



# ZÁVER

- E a K koróna sú vysoko dynamické, teplotne a hustotne veľmi diferencované štruktúry, ktoré vytvárajú magnetické polia Slnka a menia sa s fázou cyklu slnečnej aktivity
- F koróna: nevykazuje nijaké zmeny svietivosti medzi minimom a maximom cyklu
- O zložkách „T“ a „S“ sa málo hovorí, ak vôbec
- Hlavné úlohy: mechanizmus ohrevu, uvoľňovanie častíc do slnečného vetra, tvorba koronálnych štruktúr, zmeny sa fázou cyklu
- Meranie magnetických polí v koróne







**Veľa šťastia  
A  
Trvalý úsmev  
Na tvári  
Vám želá  
Majurčanka ...**



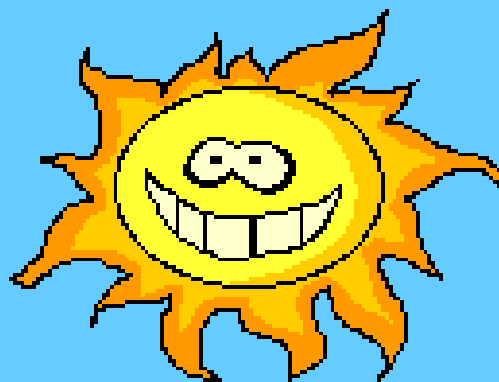
**„ A ja Vám  
Ďakujem za  
Pozornosť!**



***Dnešným oslávencom!***







Pripravené pre medzinárodnú konferenciu

**1. ČESKO-SLOVENSKÉ SETKÁNÍ  
POZOROVATELŮ SLUNCE**

Valašské Meziříčí, Česká republika,  
Október 4 – 6, 2013