

# Vzorová hvězda - Slunce



# Chemické složení Slunce

Prvek	Počet [%]	Hmotnost [%]
vodík	92.0	73.8
hélium	7.8	24.9
uhlík	0.02	0.20
dusík	0.008	0.09
kyslík	0.060	0.80
neon	0.010	0.16
hořčík	0.003	0.06
křemík	0.004	0.09
síra	0.002	0.05
železo	0.003	0.14

hmotnostně složení Slunce:  $X = 0.7380$ ,  $Y = 0.2485$  a  $Z = 0.0134$

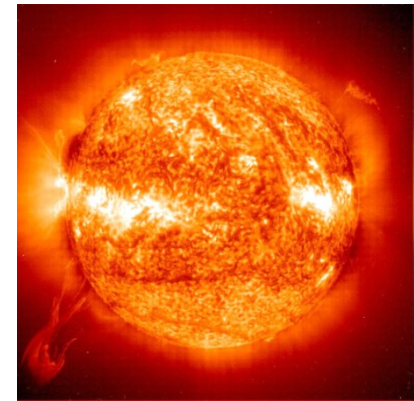
(P. Scott, N. Grevesse et al., 2015, **The elemental composition of the Sun – série článků**)

na 1 000 atomů vodíku v povrchových vrstvách Slunce:

85 atomů He, 1,2 atomu lehčích prvků (O, C, N, Ne),

0,14 atomu těžších prvků

1 000 kg sluneční látky – 738.0 kg H, 248.5 kg He, 13.5 kg jiných prvků (O, C, Fe, Ne, N, Si, S ...)



# Model Slunce

silná koncentrace látky ke středu hvězdy => můžeme hvězdy považovat za „hmotné body“ (vysoká koncentrace látky je zejména u obrů a veleobrů)

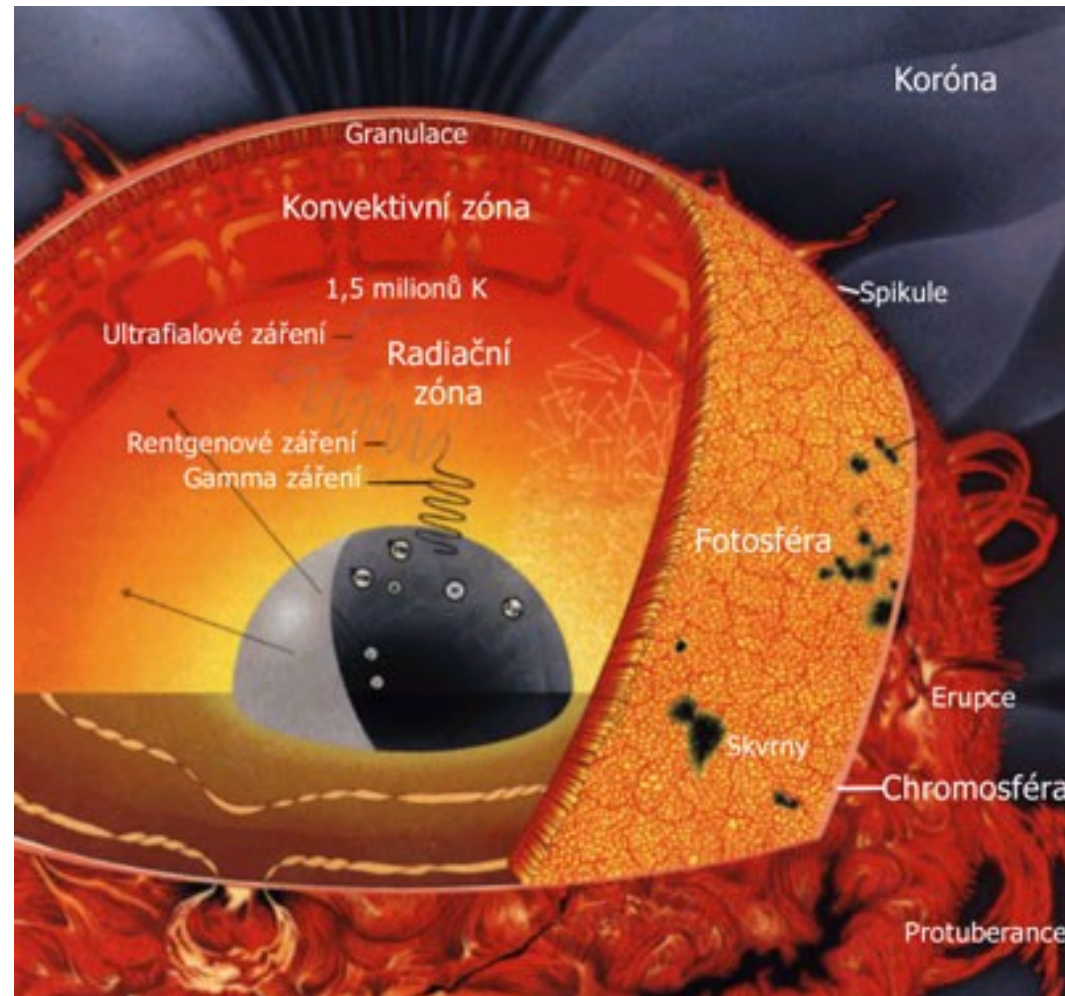
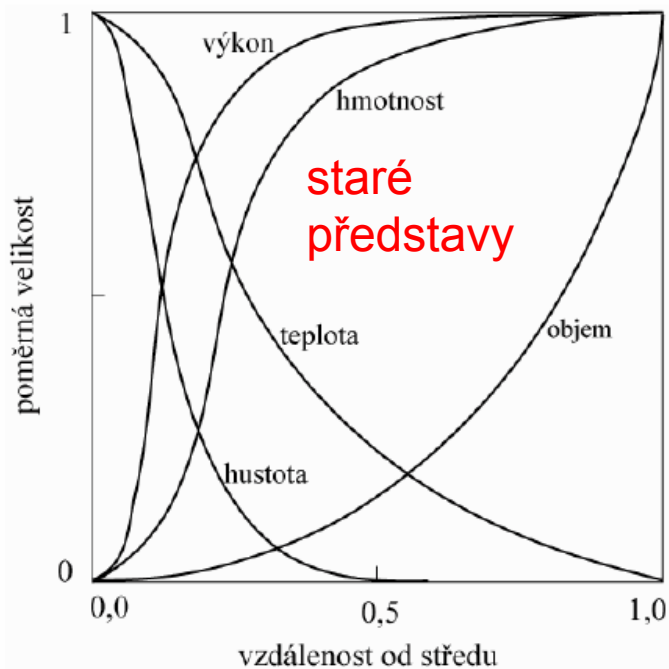
hmotnost:  $2,0 \cdot 10^{30}$  kg

poloměr:  $6,96 \cdot 10^8$  m

výkon:  $3,84 \cdot 10^{26}$  W

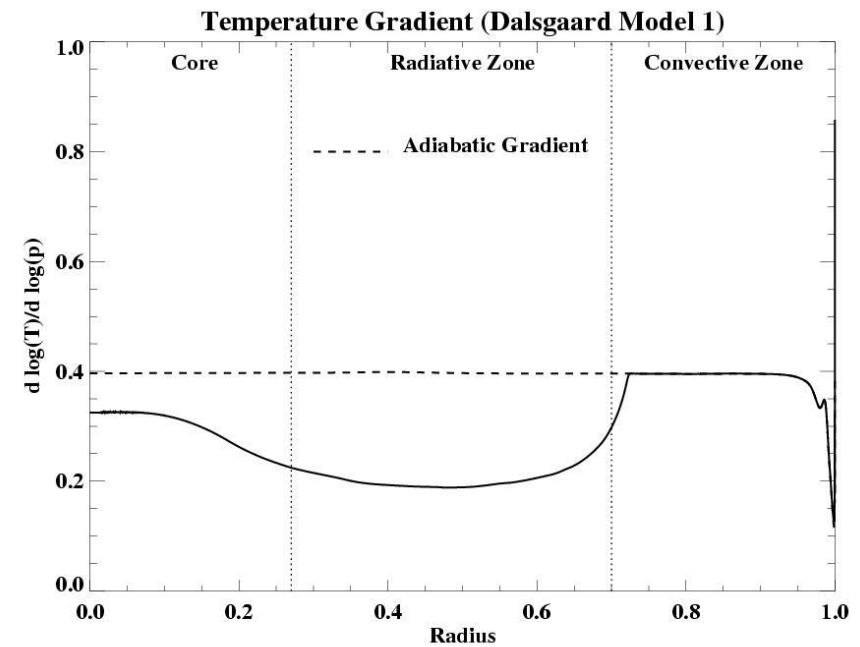
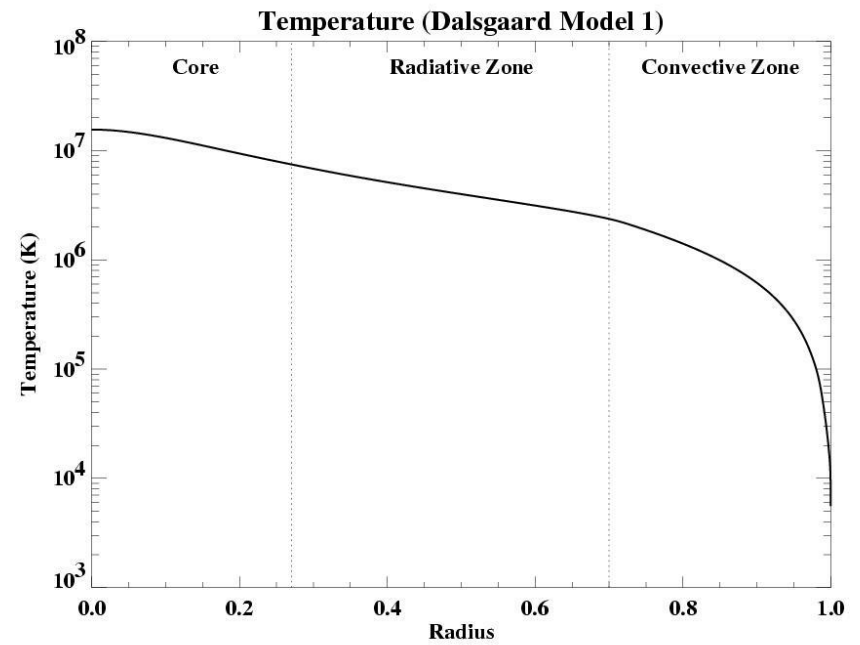
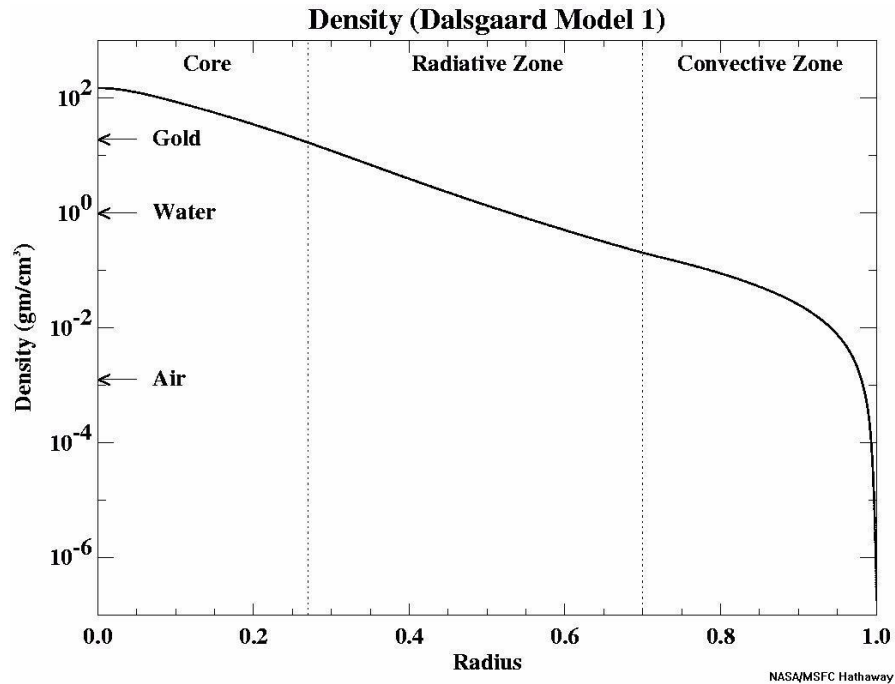
střed: hustota:  $1,5 \cdot 10^5$  kg.m<sup>-3</sup>

teplota:  $1,5 \cdot 10^7$  K



# Nový model

standardní model  
Christensen-Dalsgaard (1996)



NASA/MSFC Hathaway

NASA/MSFC Hathaway

# Projevy aktivity Slunce

## • Fotosféra

- sluneční skvrny
- granulace
- fakule

## • Chromosféra

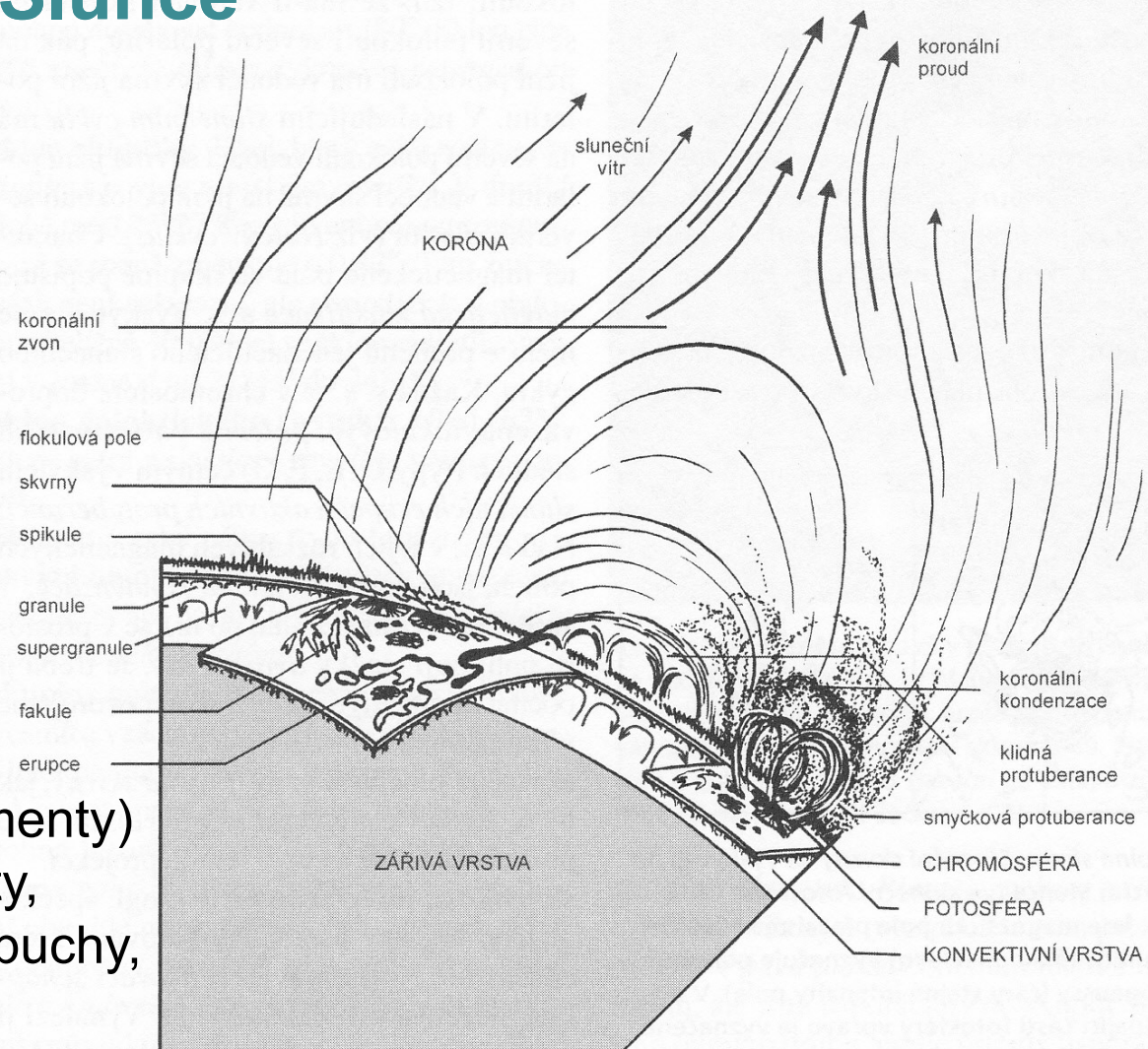
- erupce
- spikule
- flokule
- sluncetřesení

## • Koróna

- protuberance (filamenty)
- koronární transienty, kondenzace, výbuchy, díry

## • Heliosféra

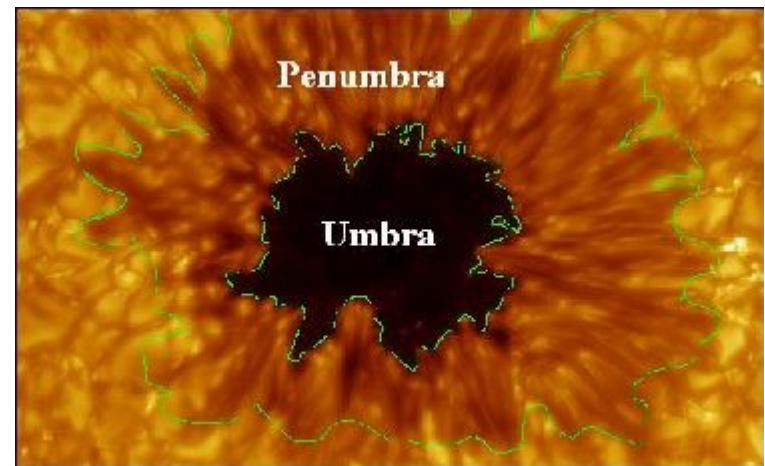
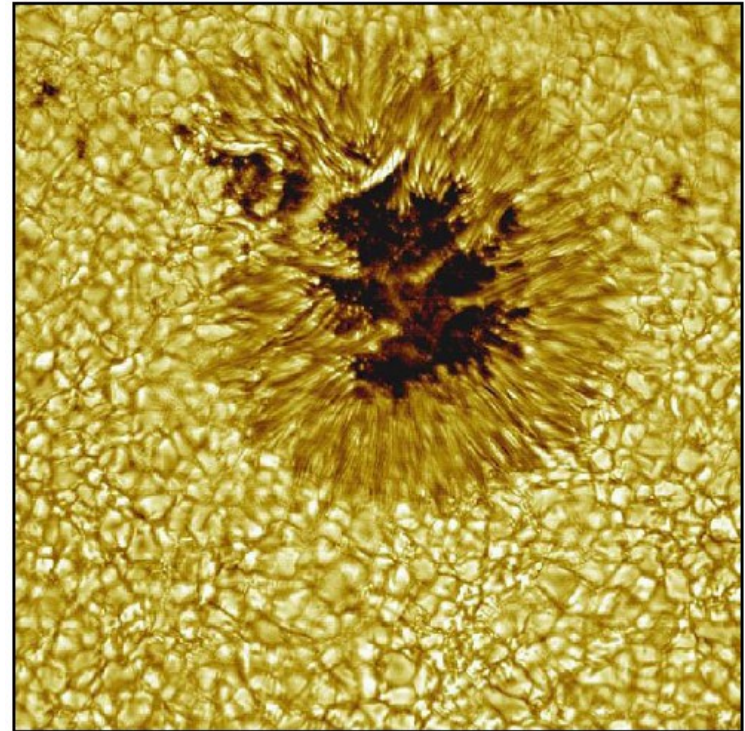
- sluneční vítr
- koronární proud

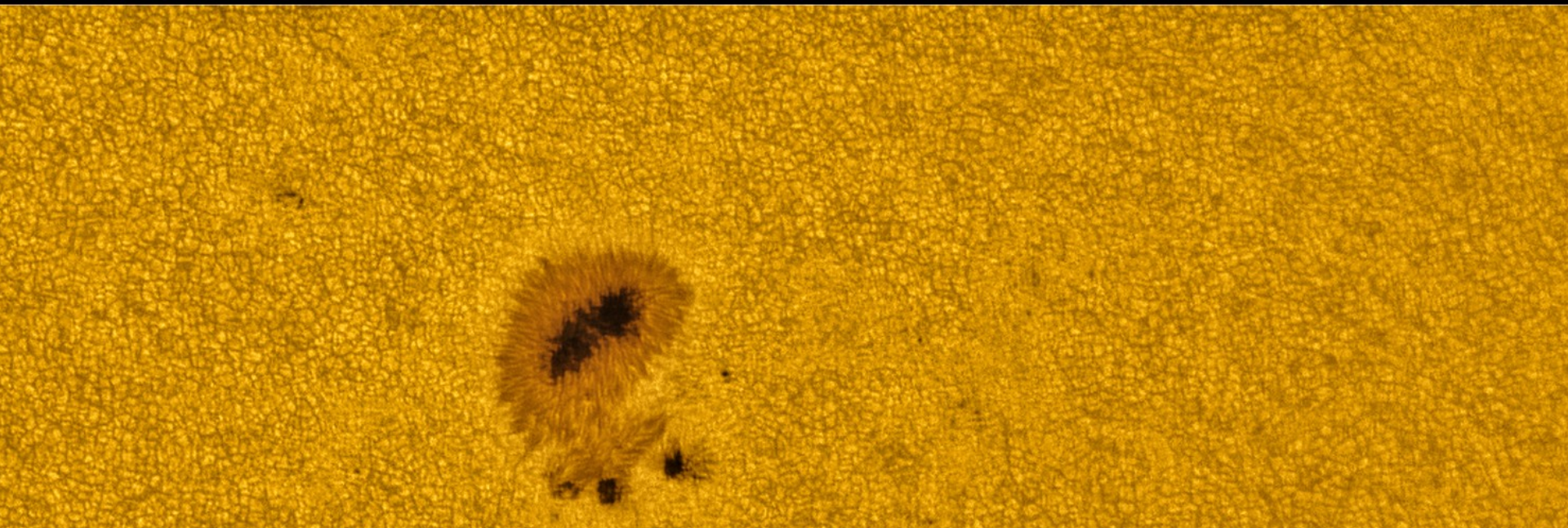


# Sluneční skvrny

nejnápadnější projev sluneční činnosti  
místo vzniku – fotosféra  
části - *umbra* (neboli stín),  
- *penumbra* (polostín) – vlákna  
doba trvání - hodiny až měsíce  
tvar i velikost skvrn se s časem mění

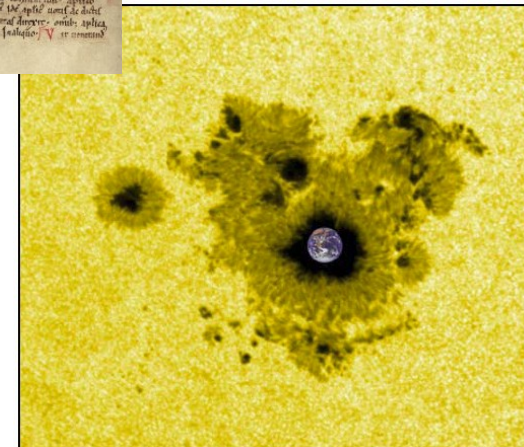
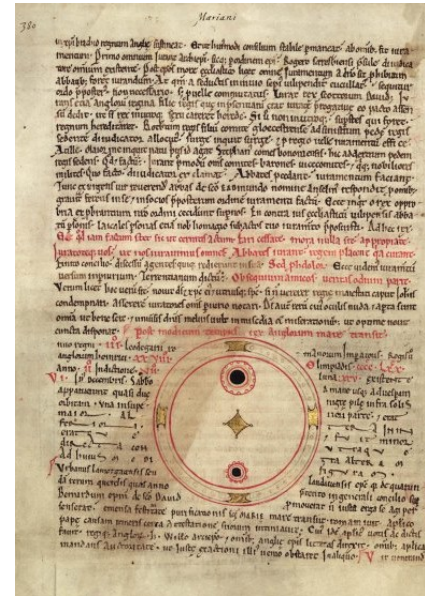
vývoj skupiny skvrn





## Historie

- 1. pozorování (cca 8. st. př.n.l. Čína), jmenovitě Anaxagoras z Klazomen (466 př. n. l.), Shi Shen (364 př.n.l.)
- 1. katalog 45 pozorování z let 301-1205, Číňan Ma Tuan-sien
- 807 n. l., Einhard, píše o přechodu Merkuru, ale šlo o sluneční skvrnu
- 1128 - 1. kresba skvrny - kronika Johna z Worcesteru
- objevitelé - David Fabricius a syn Johann  
9. března 1611 – pozorovali a publikovali!  
(8. prosince 1610 anglický matematik a filozof Thomas Harriot, avšak bez publikace)



## Co jsou zač?

- Herschel - průduchy v atmosféře
- vznikají interakcemi magnetického pole Slunce a vzhledem k nižší teplotě se jeví jako tmavé oblasti
- mohou velikostí i převyšovat velikost Země

## pozorování

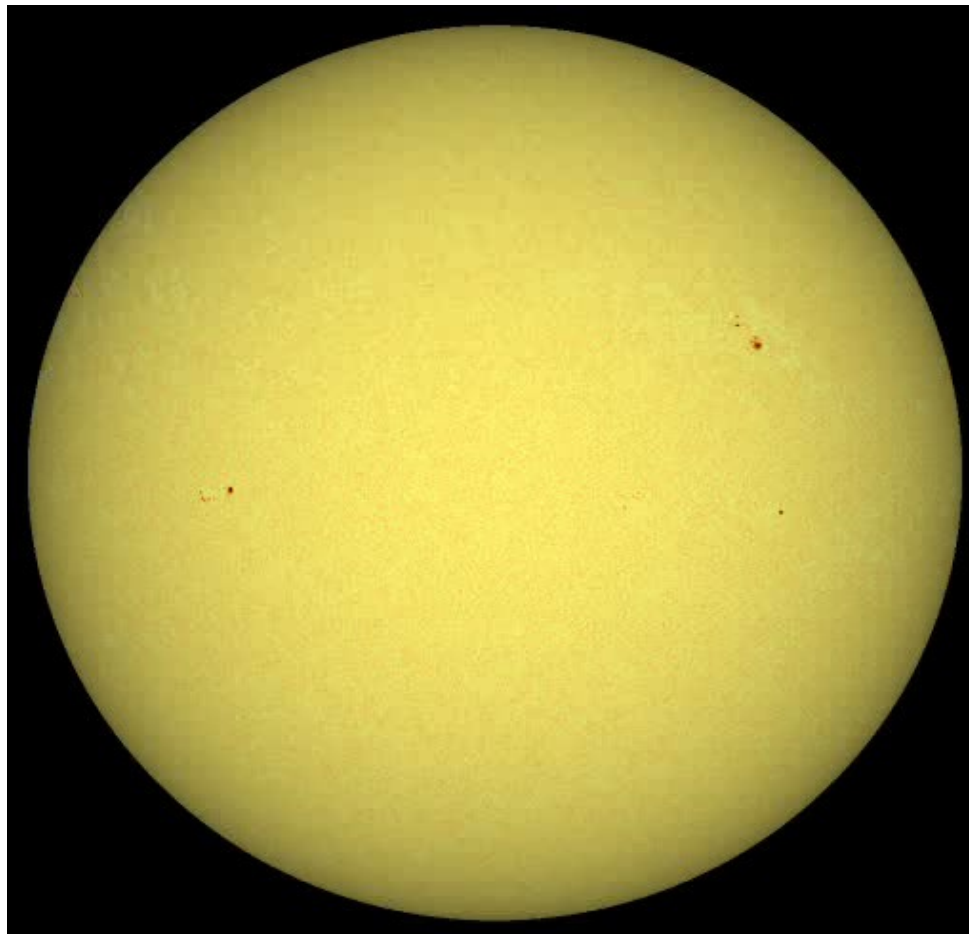
- dalekohledem (pouze projekcí nebo se speciální výbavou!)
- volným okem

aktuální situace <http://sohowww.nascom.nasa.gov/sunspots/>,  
<http://www.spaceweather.com/>, <http://prop.hfradio.org/>



## k čemu jsou sluneční skvrny dobré?

- určení rotace Slunce
- objev diferenciální rotace – 27.3 d

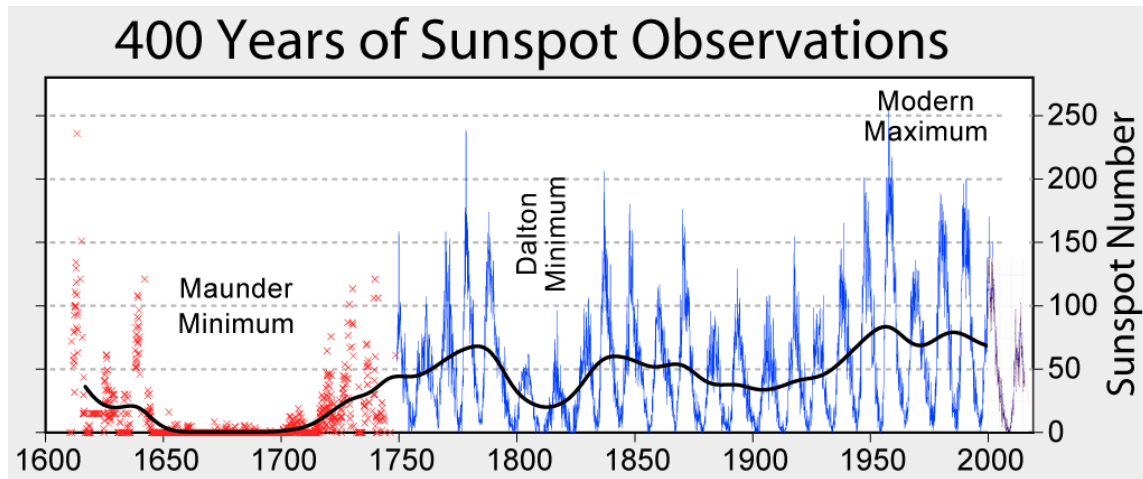
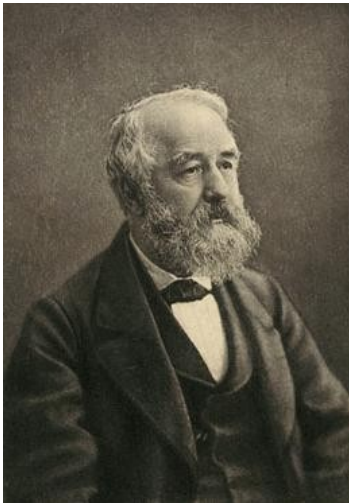


## Počet skvrn – příznak aktivity Slunce

periodické změny – odhad  $P \approx 10$  let (1844 Heinrich Samuel Schwabe)  
 - dnešní hodnota v průměru asi 11,3 roku

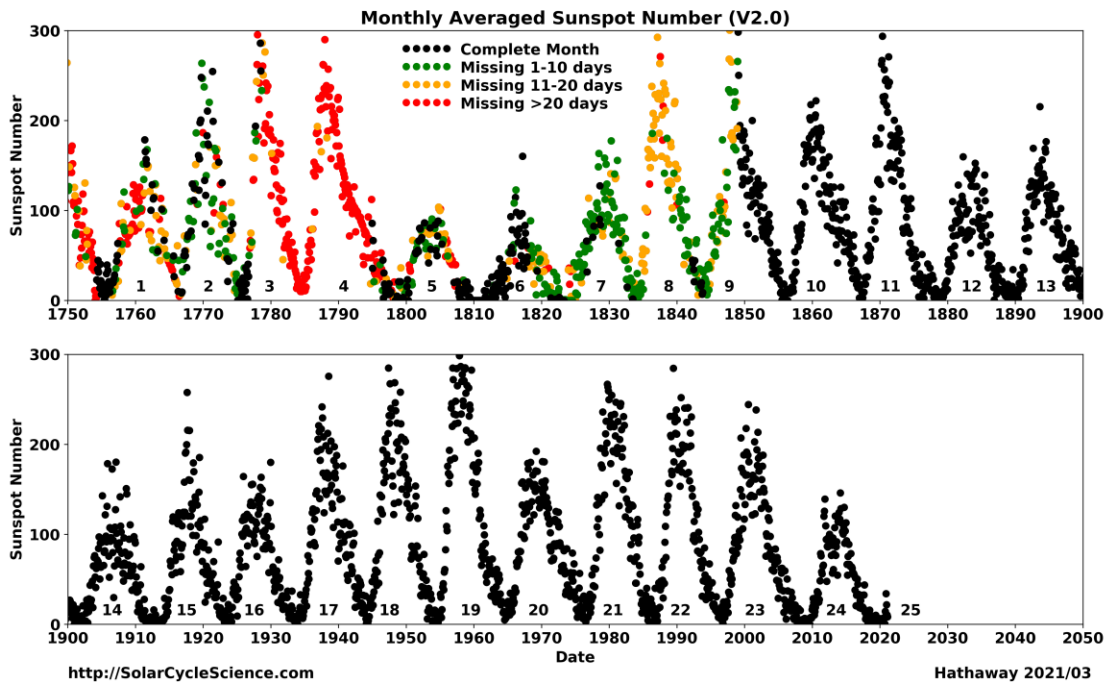
poslední maximum - 2001, 2014

výrazná minima = Slunce beze skvrn - 1645 – 1715 Maunderovo minimum,  
 1450-1550 Spörerovo minimum, 1790-1830 Daltonovo minimum



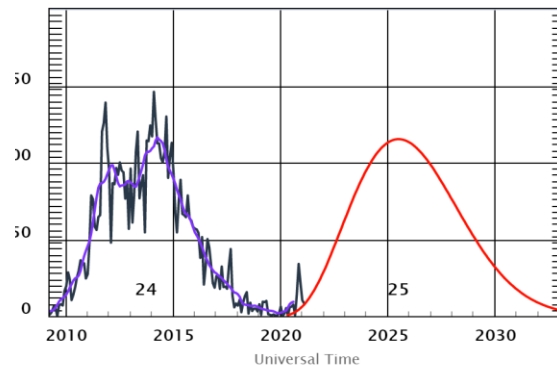
1848 Johann Rudolf Wolf – *relativní číslo* množství skvrn  
 na Slunci:

$R = 10 \cdot \text{počet skupin skvrn} + \text{celkový počet jednotlivých skvrn}$

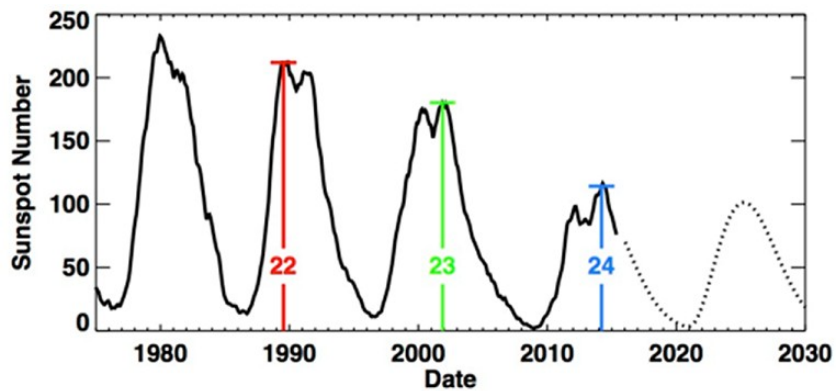


Hathaway 2021/03

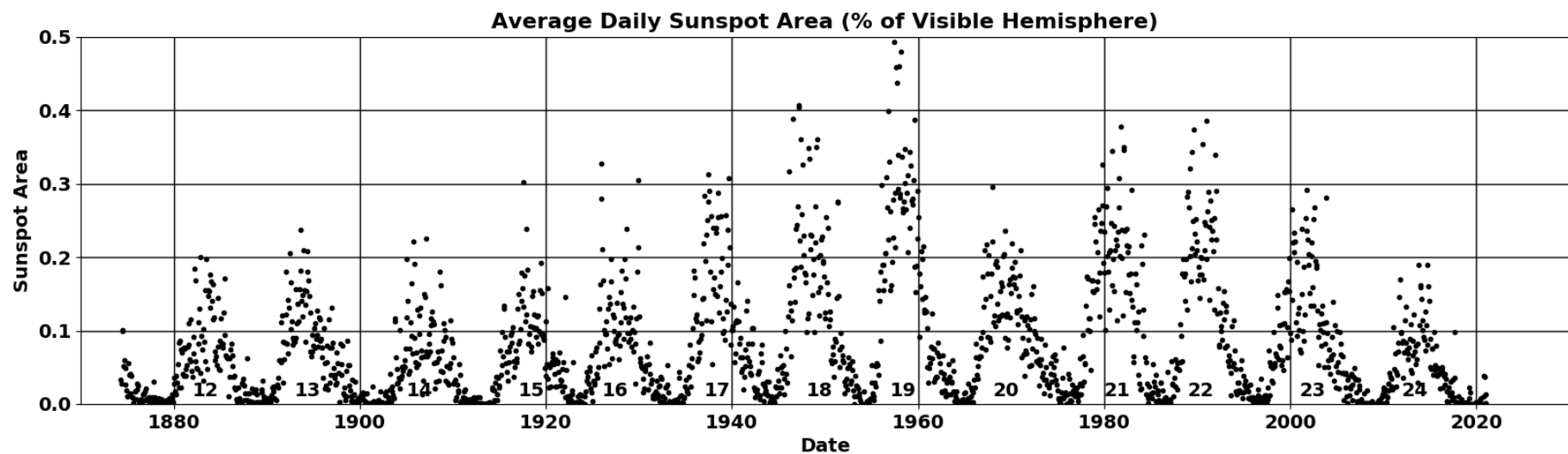
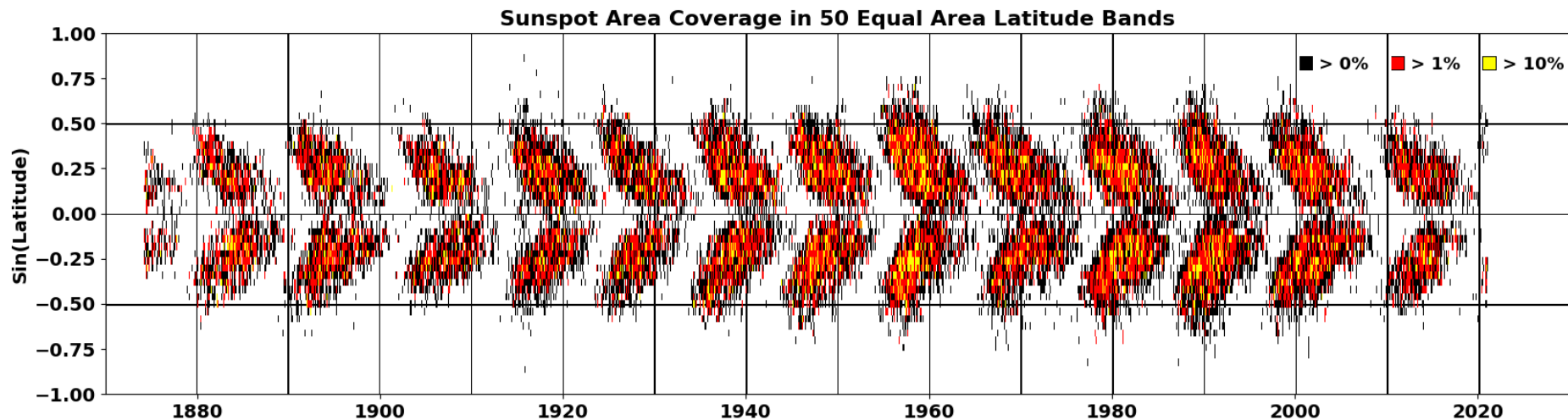
ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression



← Monthly Values    ← Smoothed Monthly Values    ← Predicted Values  
 Space Weather Prediction Center



Hathaway & Upton (2016)



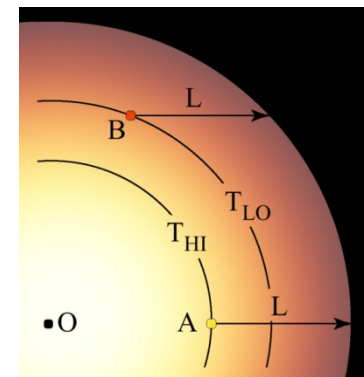
# Okrajové ztemnění

- na okrajích se díváme do menší hloubky než ve středu kotoučku

teplota s rostoucí hloubkou roste

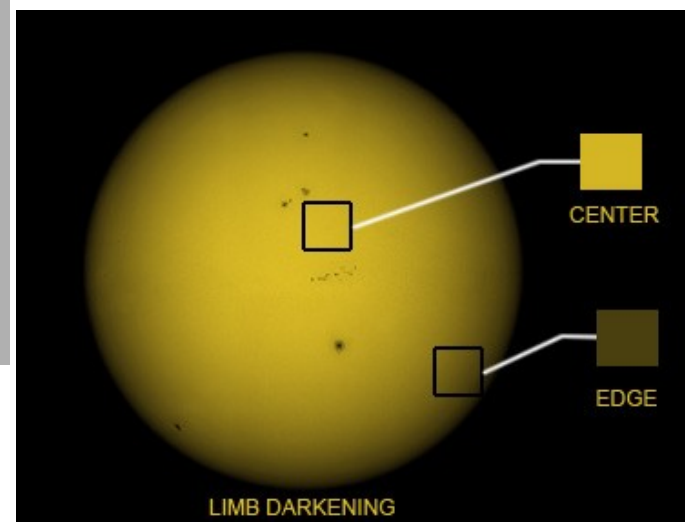
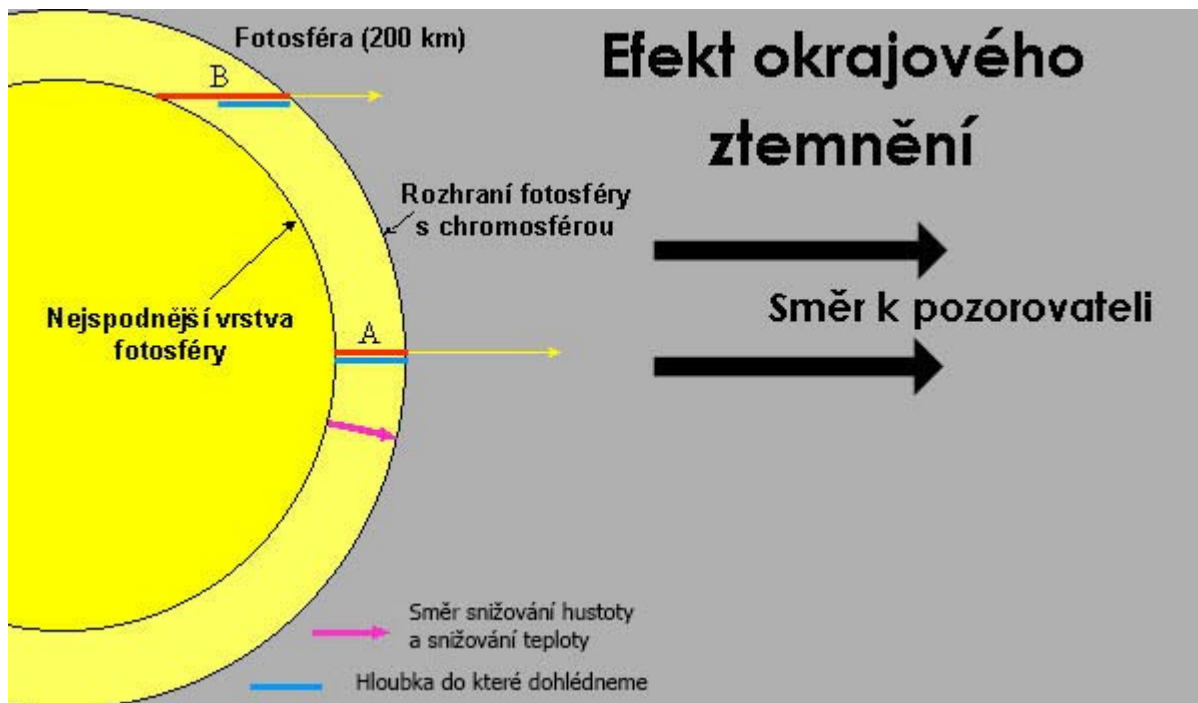
=> roste množství vyzařované energie

=> střed slunečního kotoučku září více než okraje



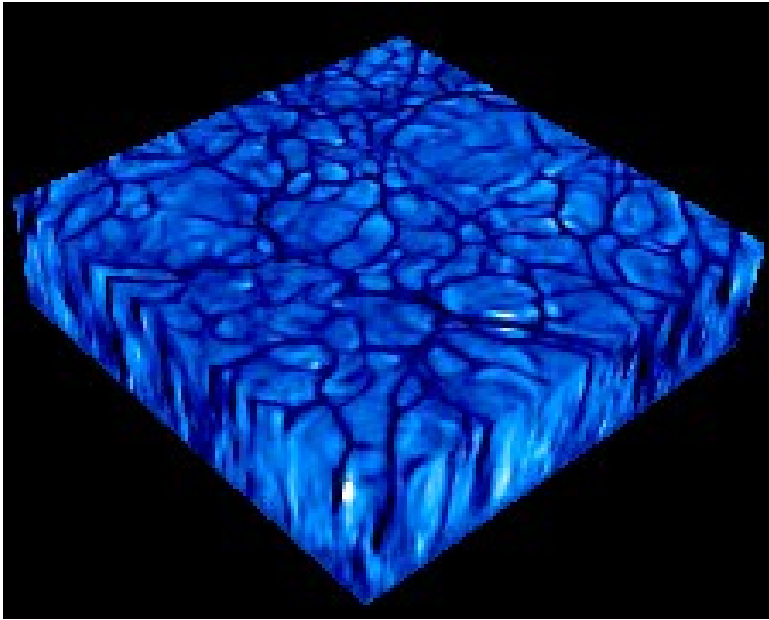
$T_{LO}$  = nižší teplota

$T_{HI}$  = vyšší teplota

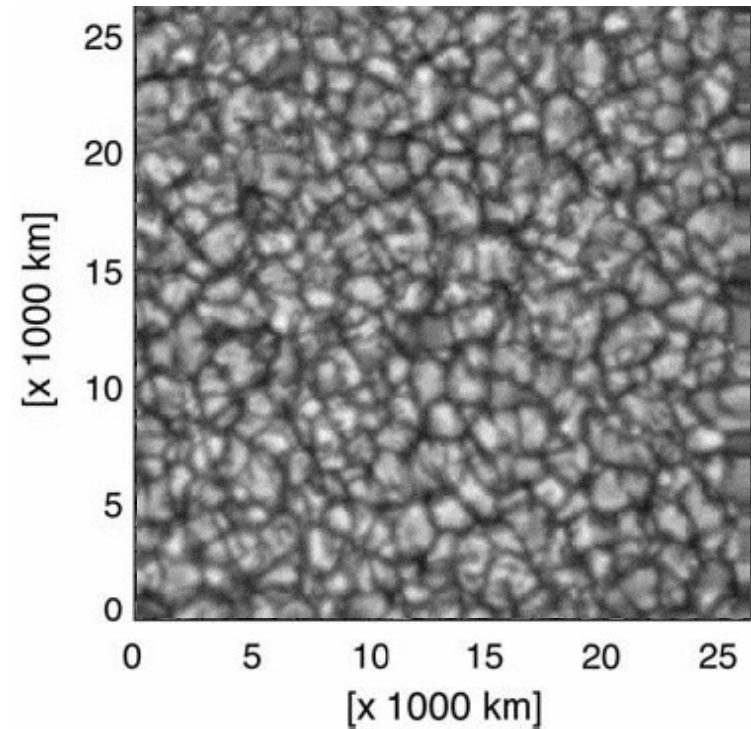


# Granulace (zrnitost)

granule - zrna o velikosti cca 700-1000 km; vrcholky vzestupných proudů plazmatu  
životnost - 6 až 8 minut;  
Pozorování - dalekohledem



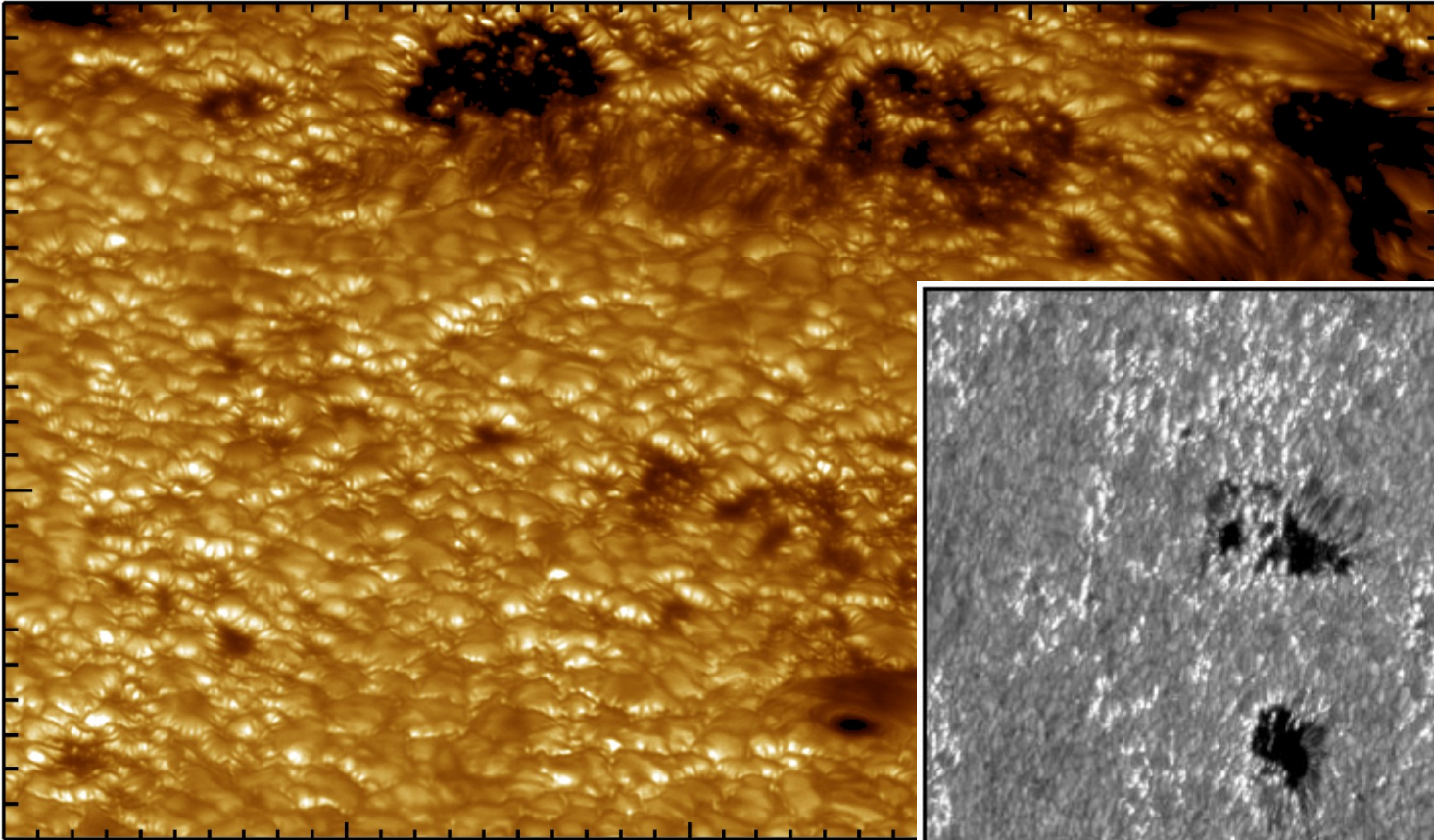
model



pozorování SVST  
(Švédský vakuový sluneční dalekohled)

## Fakule (pochodně)

světlé skvrnky nejnápadnější na okraji slunečního kotouče  
interpretace - místa s poněkud vyšší teplotou než okolní fotosféra  
pozorování - dalekohledem



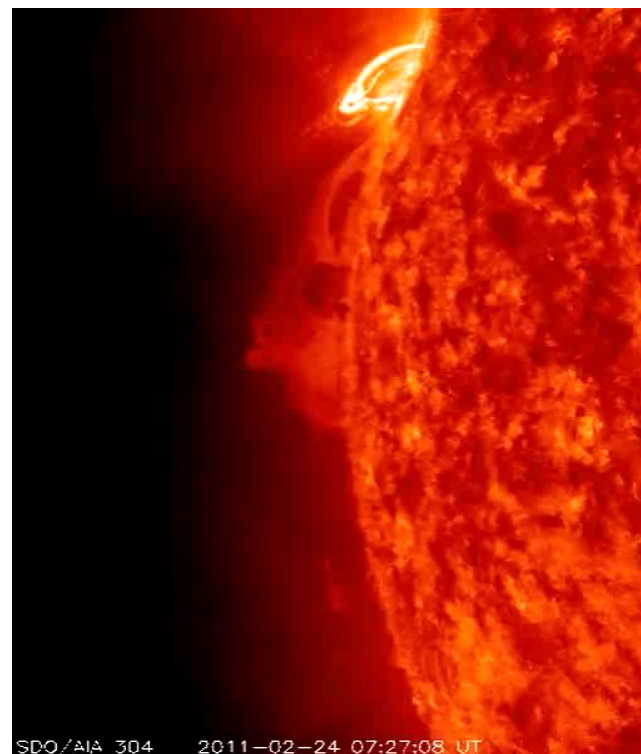
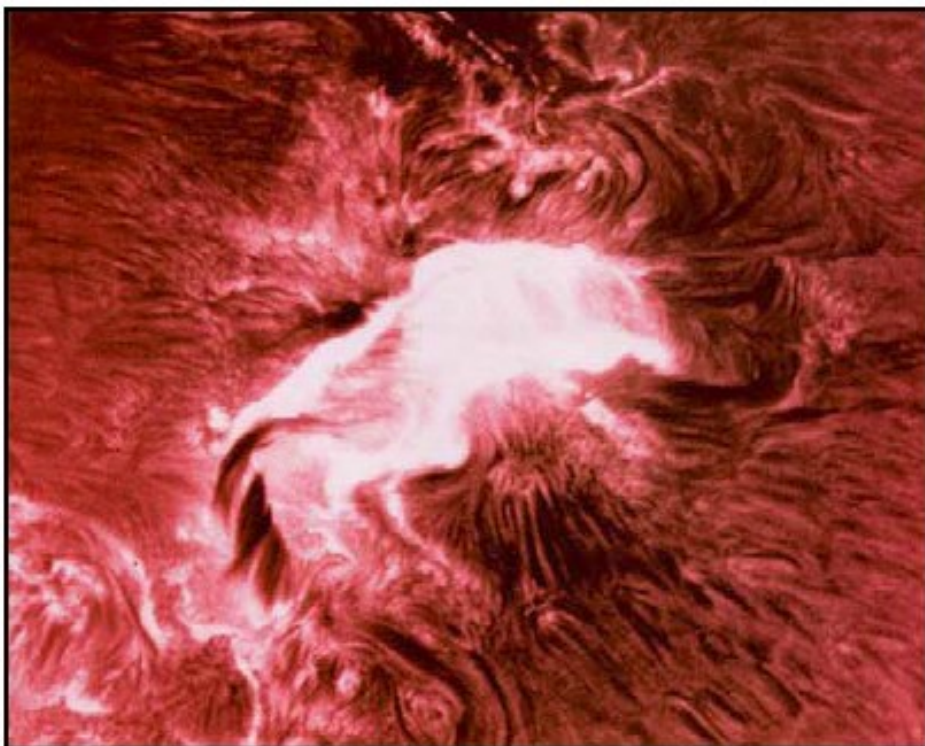
# Erupce

Místo vzniku - chromosféra

Náhlá zjasnění chromosféry, doprovázená silným vyzařováním na různých frekvencích a výronem nabitých částic do meziplanetárního prostoru.

Erupce vznikají v místech silných magnetických polí.

Doba trvání - několik desítek minut



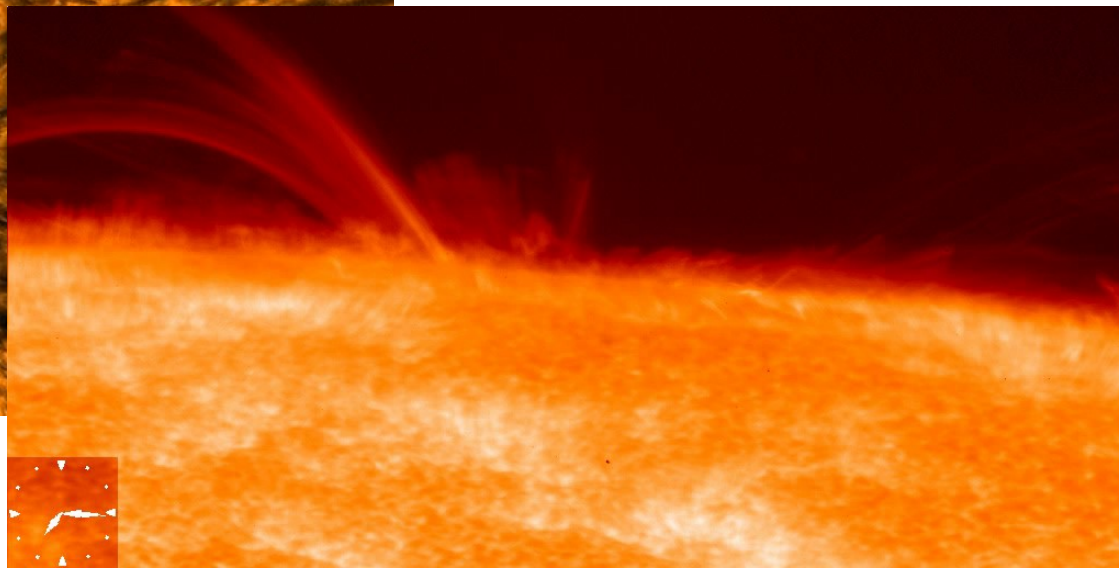
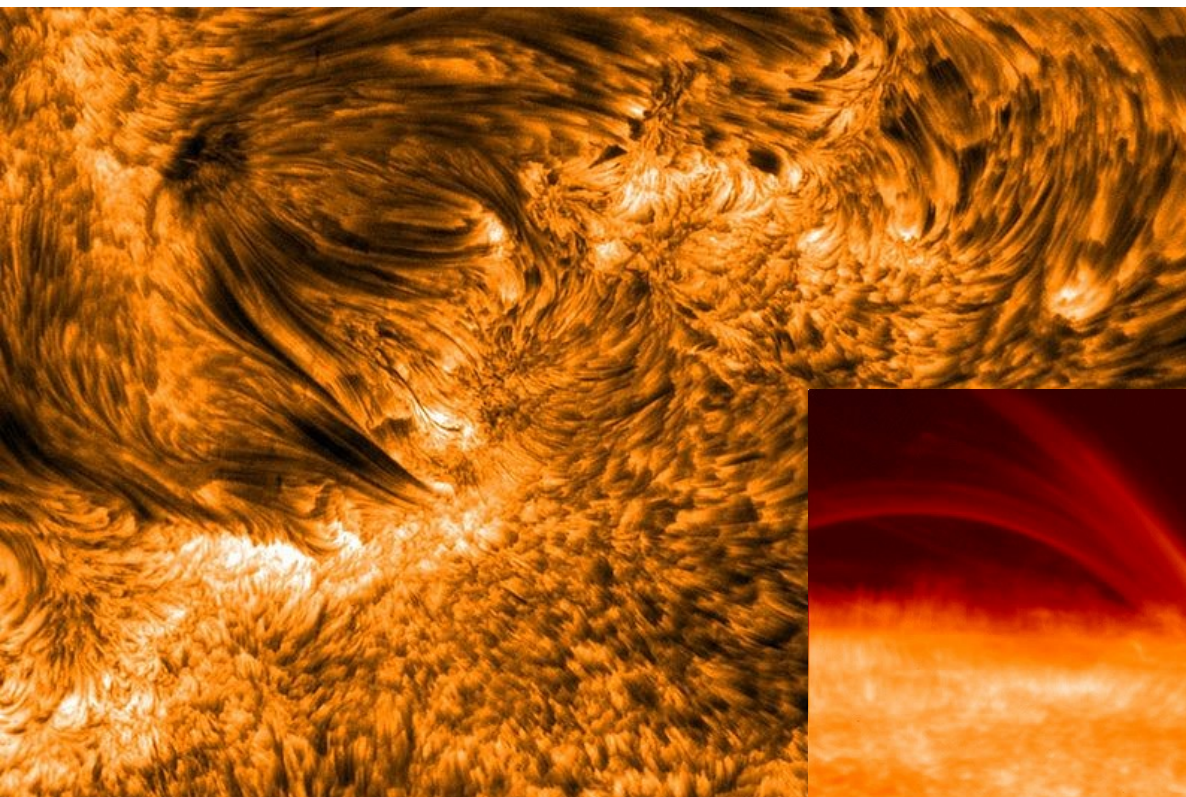


## Flokule a spikule

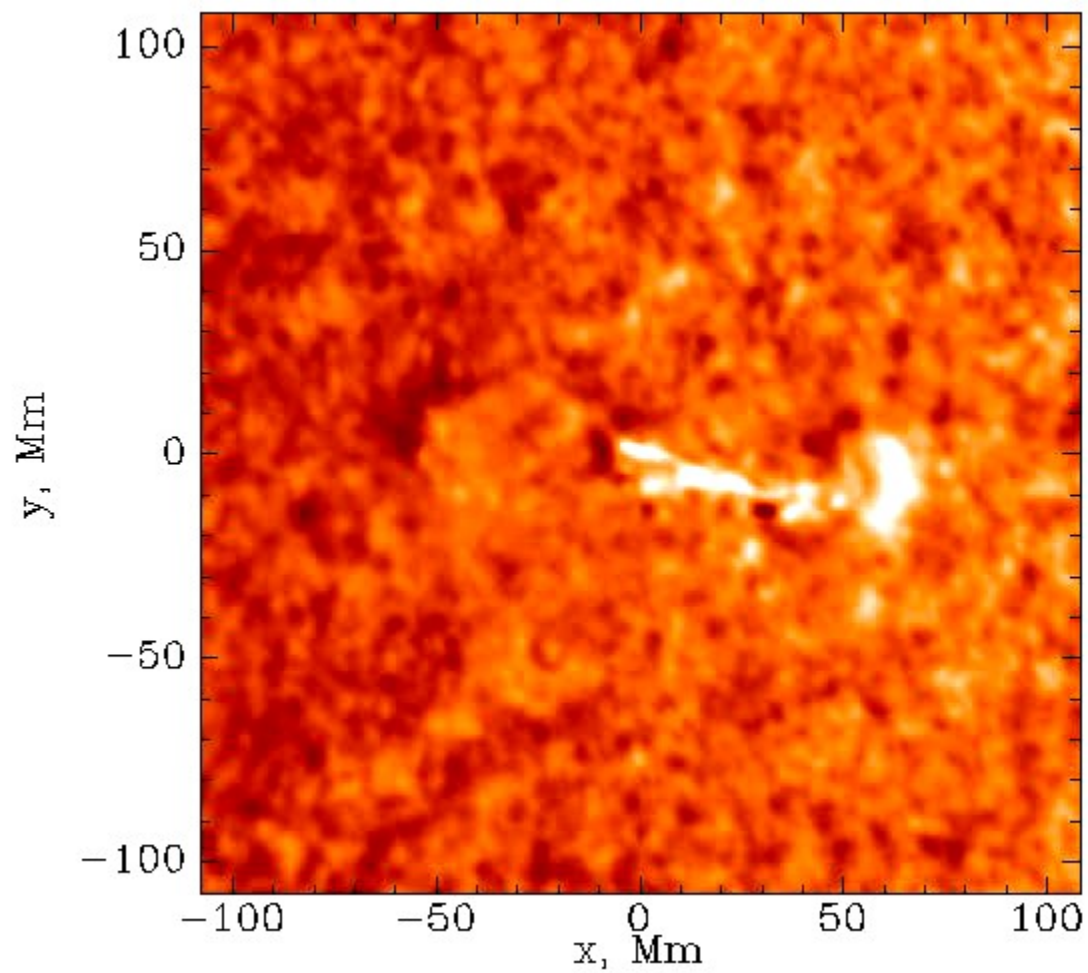
Flokule jsou jasná místa ve chromosféře, tvoří chromosférickou síť.

Spikule - vrcholky flokulí, velmi dobře pozorovatelné v čáře H-alfa.

Výtrysky z chromosféry do koróny – 10000 K, průměr vláken 1000 km;  
„hořící prairie“



# Sluncetřesení



9. července 1996

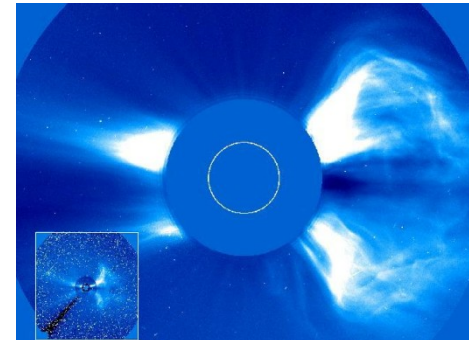
393 dní ze života Slunce

# Koróna

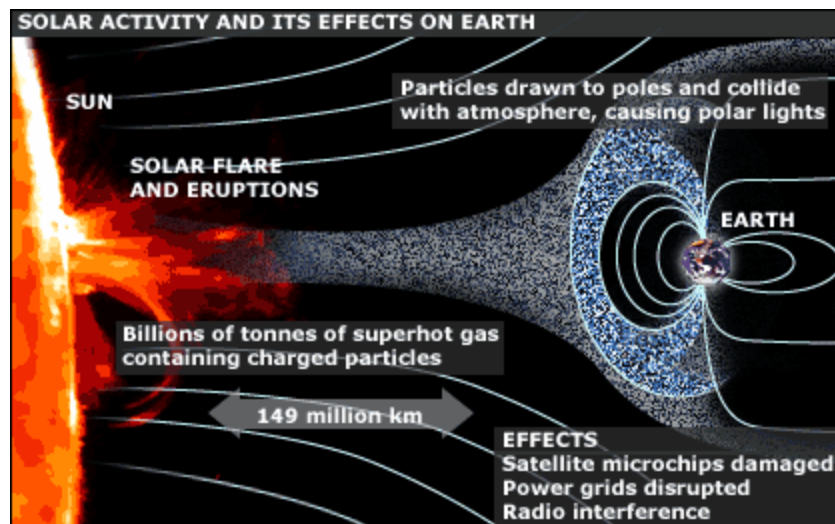
velmi řídký plyn obklopující Slunce, září zhruba milionkrát méně než fotosféra

pozorování - úplné zatmění Slunce, koronograf

- bez vnější hranice, přechází do okolního prostoru -> heliosféra
- sluneční vítr
- výtrysky částic (CME – Coronal Mass Ejection) – vliv na Zemi (20 - 3200km/s)

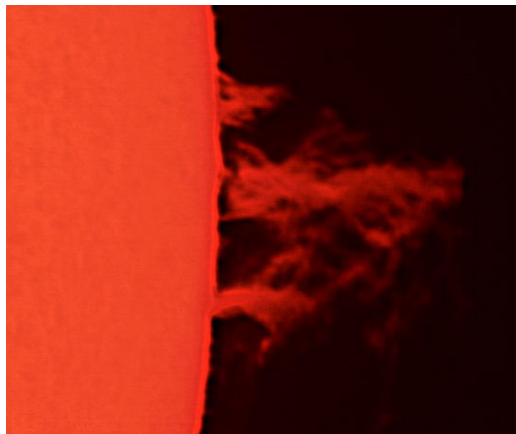


M. Druckmüller

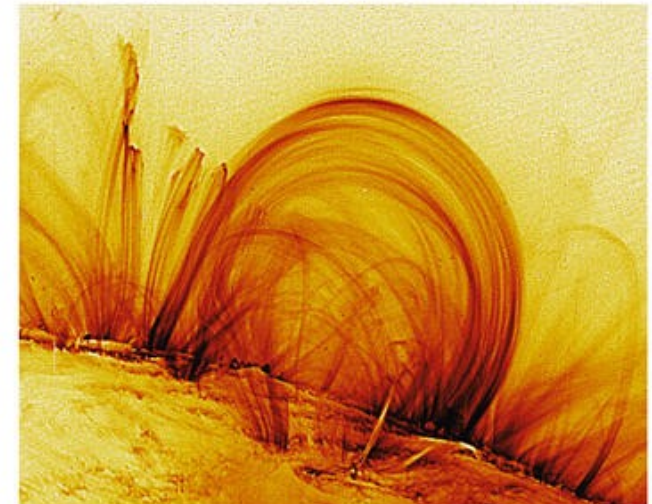
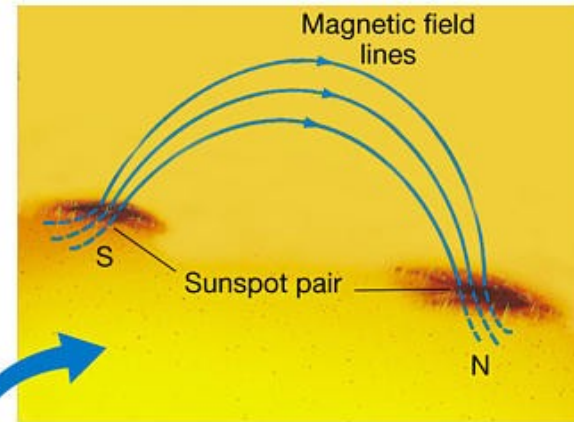
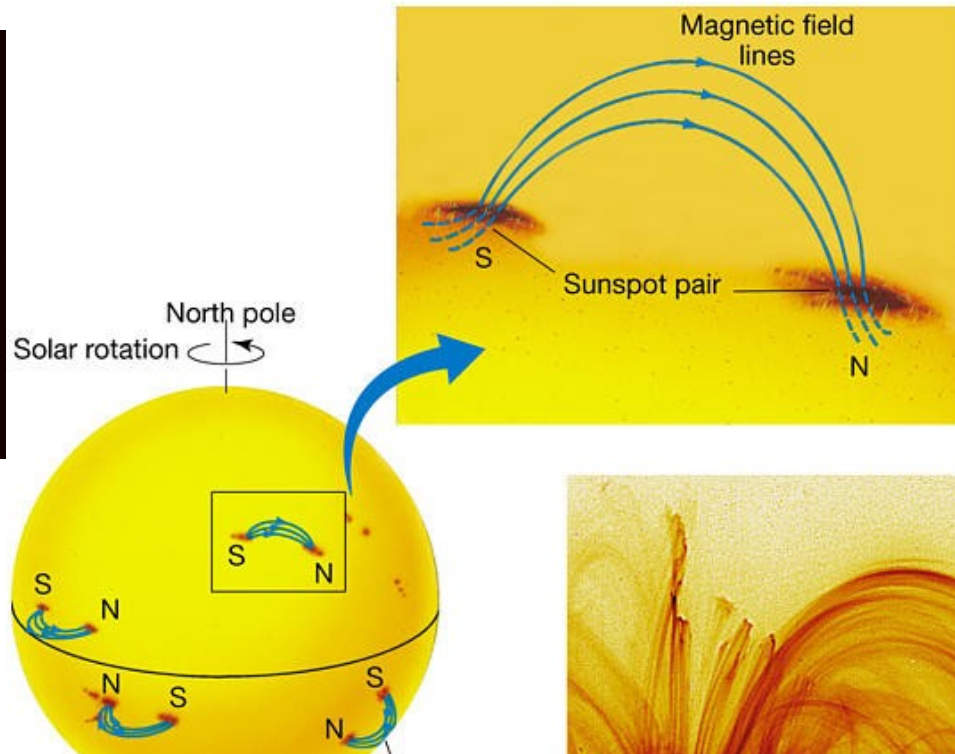


# Protuberance

oblaky chladného plazmatu - vystupují z chromosféry do koróny desítky tisíc km vysoko; peckový jev (diamagnetismus plazmatu)



klidná protuberance  
eruptivní protuberance



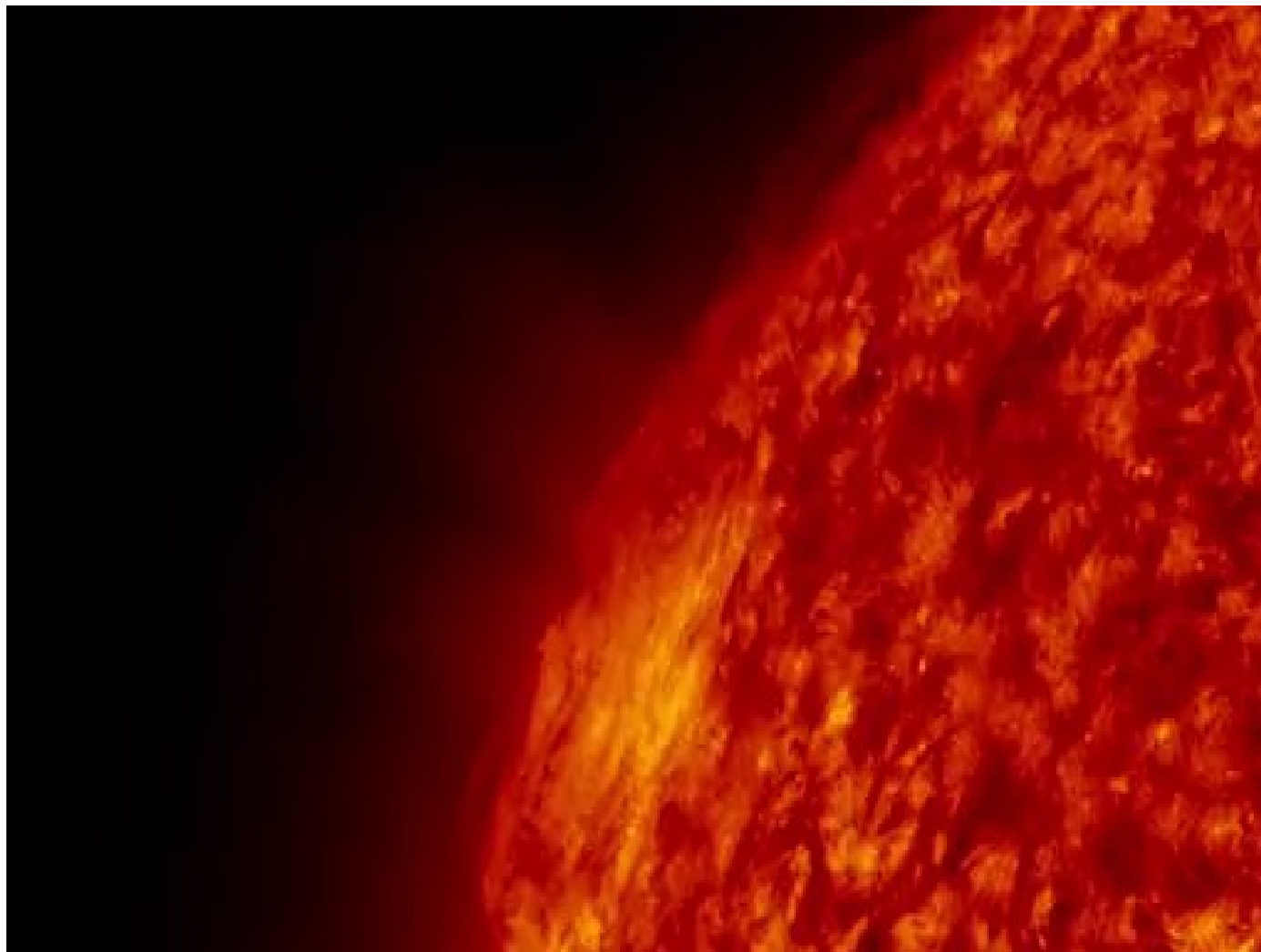
(b)





**Prominence Eruption**  
**1945 June 28**

**High Altitude Observatory**



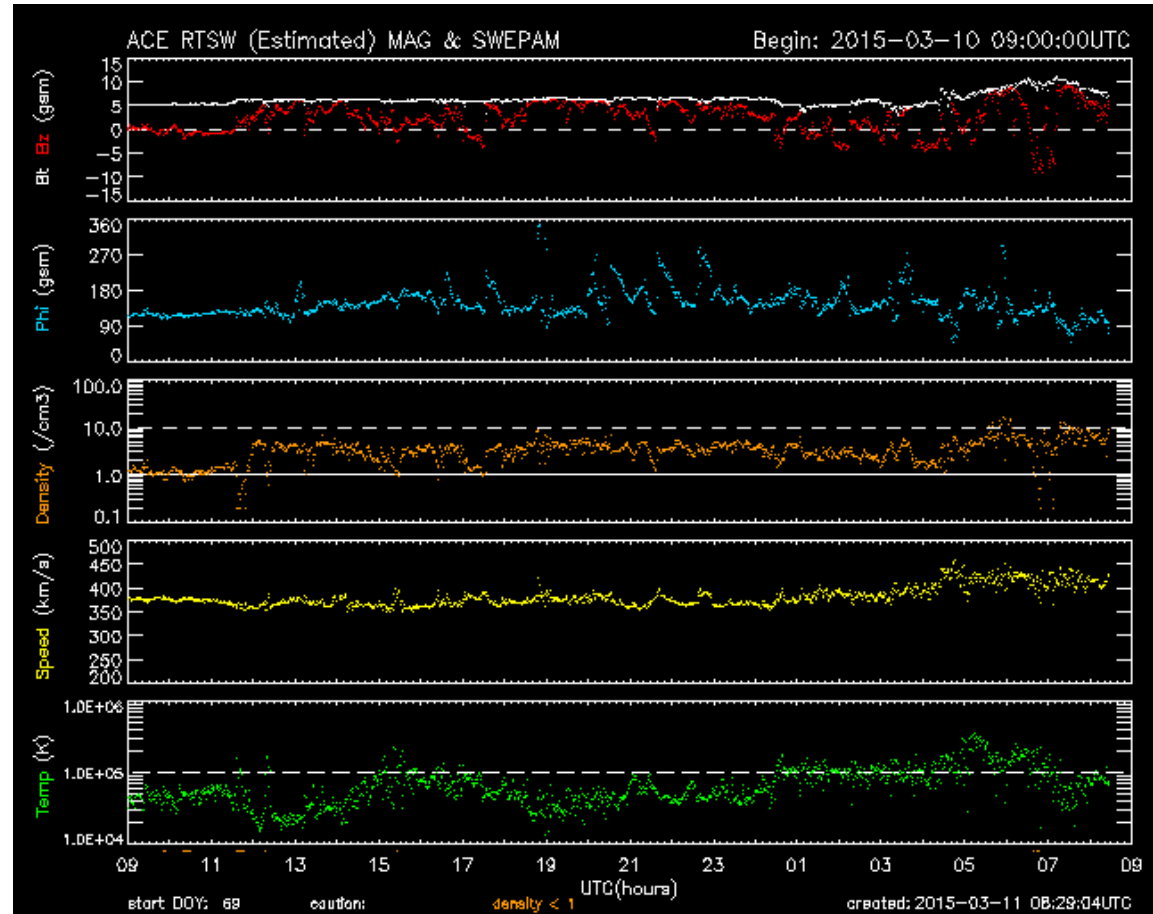
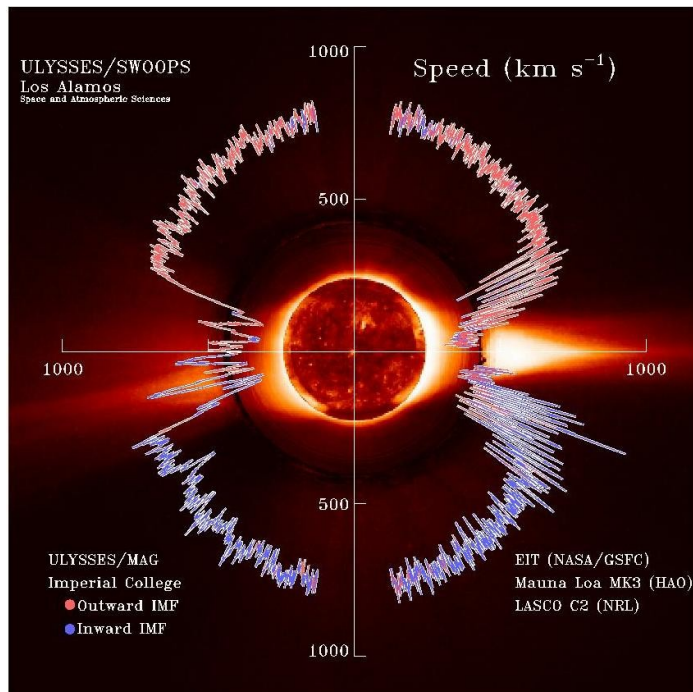
30. 3. 2010 – [eruptivní protuberance](#)

# Sluneční vítr

pomalý (stacionární) – 300 km/s

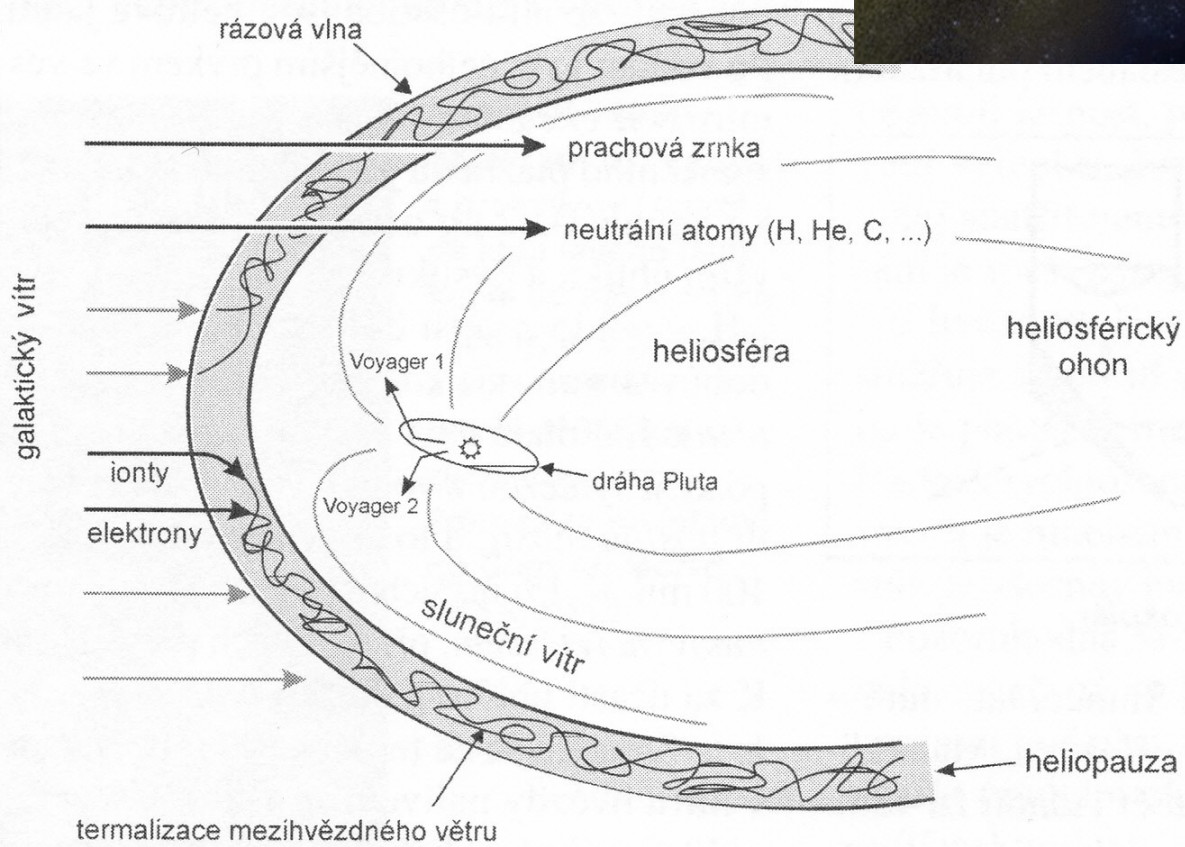
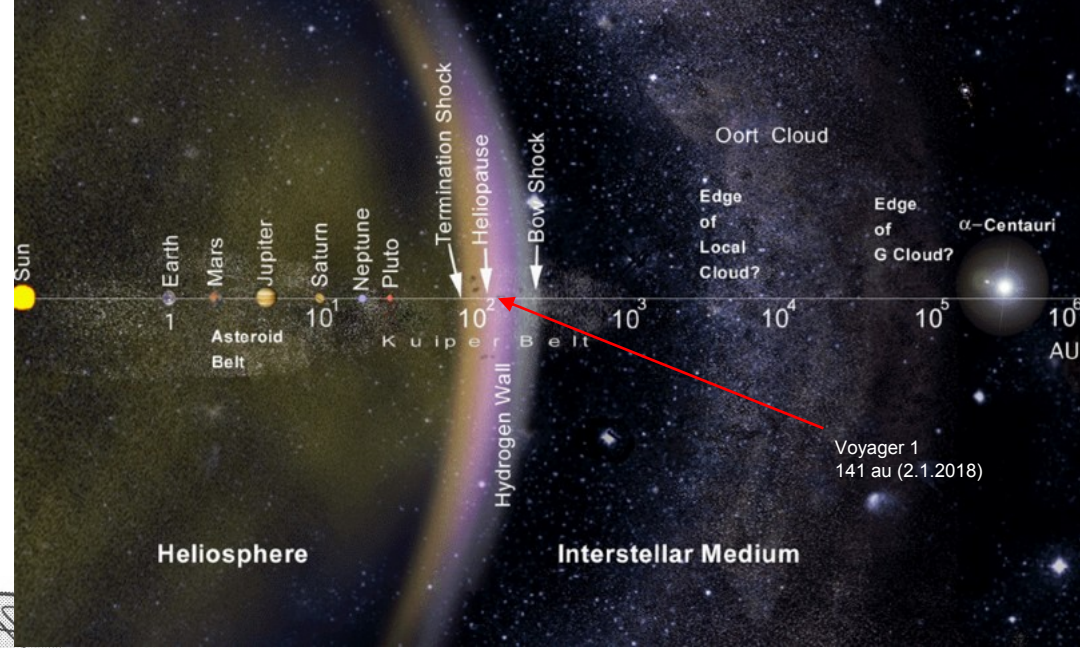
rychlý (kvazistacionární) – nad koronárními děrami (700-800 km/s)

velmi rychlý – přechodný, při výbuších Slunce – vede k tzv. meziplanetární bouři





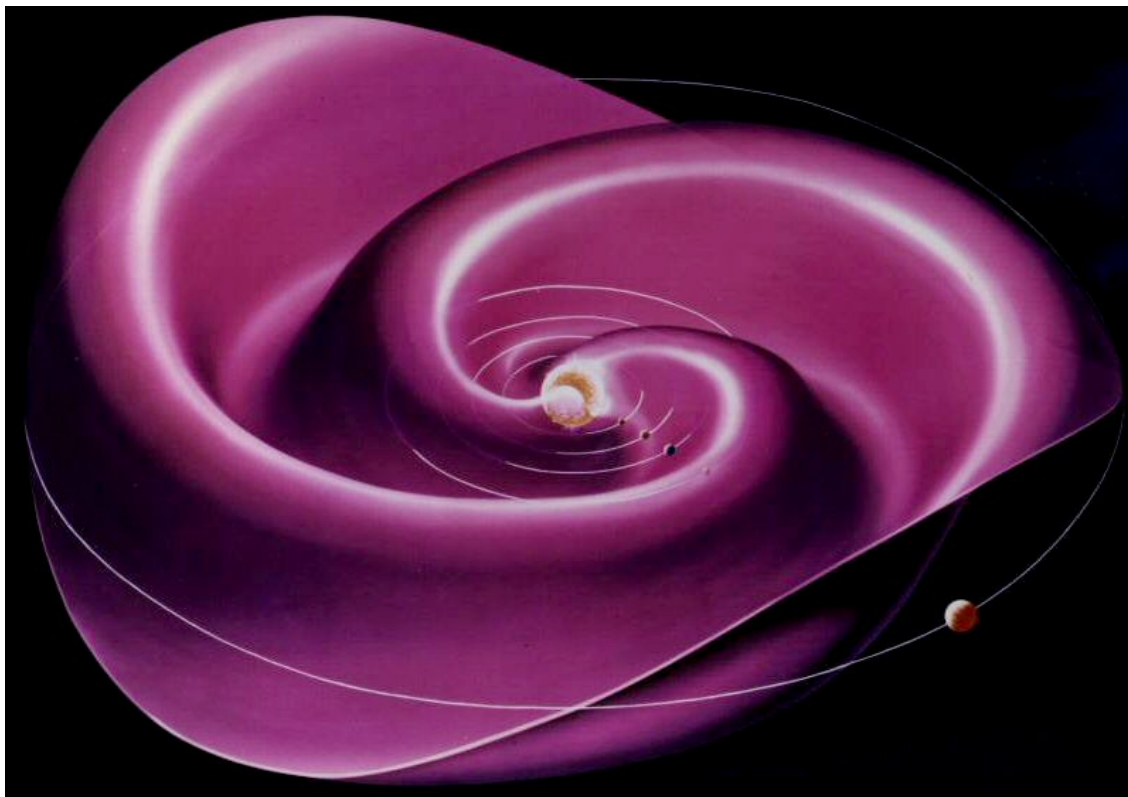
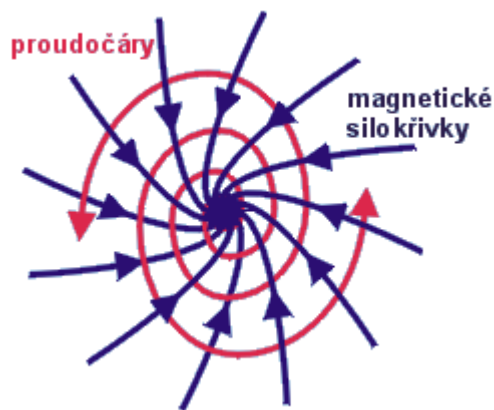
# Heliosféra



## Heliosférická proudová vrstva

Zvlněné proudové vrstvy uvnitř Sluneční soustavy – oddělují opačně orientované meziplanetární magnetická pole

- největší útvar ve Sluneční soustavě
- vychází z roviny slunečního rovníku
- tvar – výsledek rotace mg. pole Slunce a působení slunečního větru
- tloušťka vrstvy – cca 10 000 km
- el. proudy s hustotou  $10^{-10}$  A/m<sup>2</sup>, celkově proud až 3 GA





# spaceweather.com

*News and information about the Sun-Earth environment*

## **Kosmické počasí**

= škálu jevů, které ovlivňují meziplanetární okolí Země

Utváří jej:

- a) tok fotonů Slunce ve všech vlnových délkách
- b) sluneční vítr – proud částic uvolněný ze sluneční koróny
- c) kosmické záření – zejména vysokoenergetické protony pocházející z naší Galaxie

## **Projevy kosmického počasí**

- geomagnetické bouře
- polární záře
- ionosférické poruchy – poruchy rádiového spojení, TV a rozhlasového vysílání
- poruchy elektroniky – zejména družice, letadla, ale i na zemském povrchu
- poruchy dálkových vedení – indukovaná přepětí v síti (Quebec 1989)
- psychický a fyzický stav lidí