

Koróna, sluneční vítr

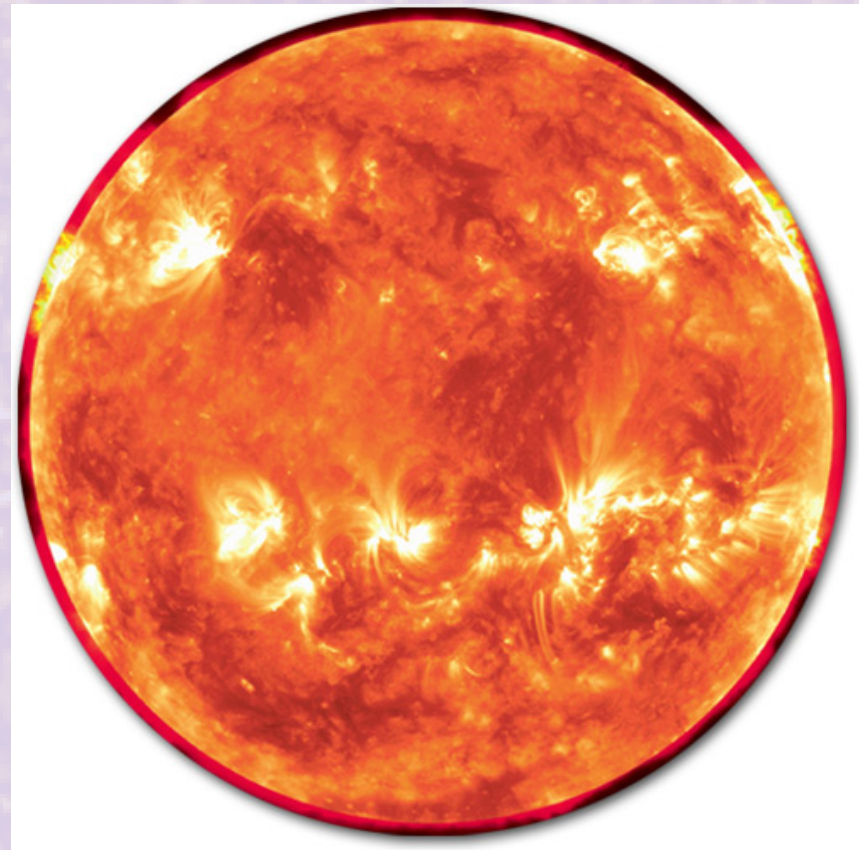
Sluneční fyzika
LS 2013/2014

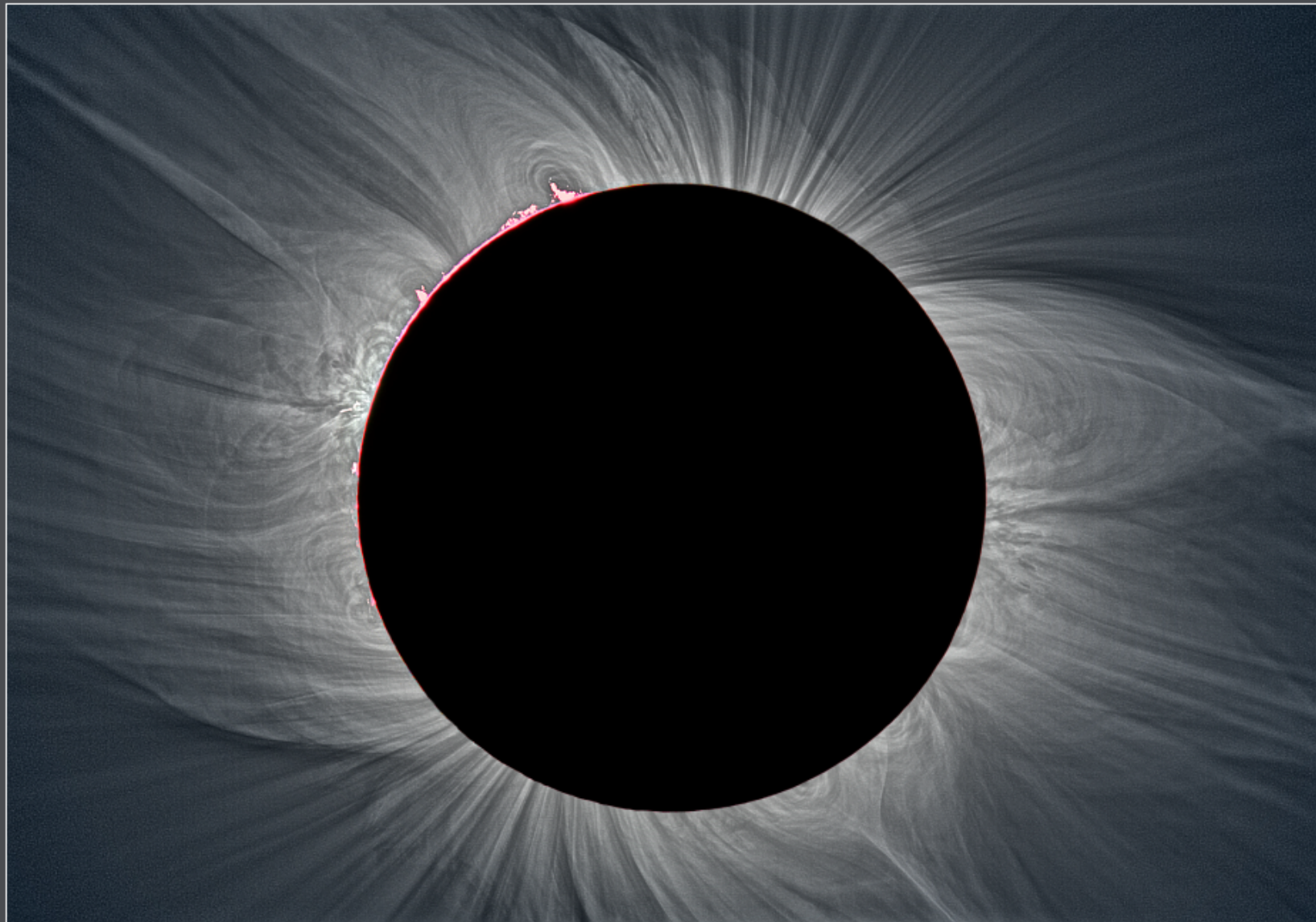
Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR

Přechodová oblast

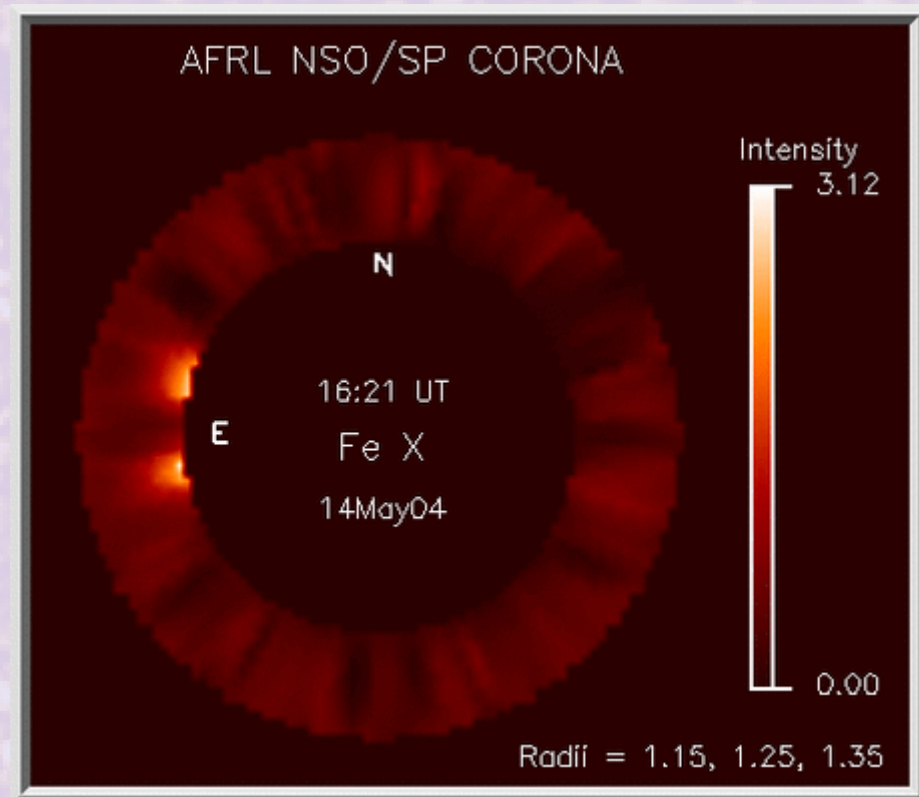
- Změna teplotní režimu mezi chromosférou (10^4 K) a korónou (10^6 K)
- Nehomogenní, pohyby (doppler-shift), vývoj
- S výškou se nehomogenity stírají – rozpínající se trubice magnetického pole?





Složky koróny

- F – Fraunhoferovy čáry
- K – kontinuum – vysoká teplota, čáry rozmyty pohyby
 - Polarizovaná
 - Thomsonův rozptyl na volných elektronech
- E – emisní
 - Vlastní záření, velmi slabá
 - Zakázané čáry i v optické oblasti spektra
 - Zelená koróna
 - „Korónium“ = Fe X (637.5 nm)
- T – termální emise částic prachu

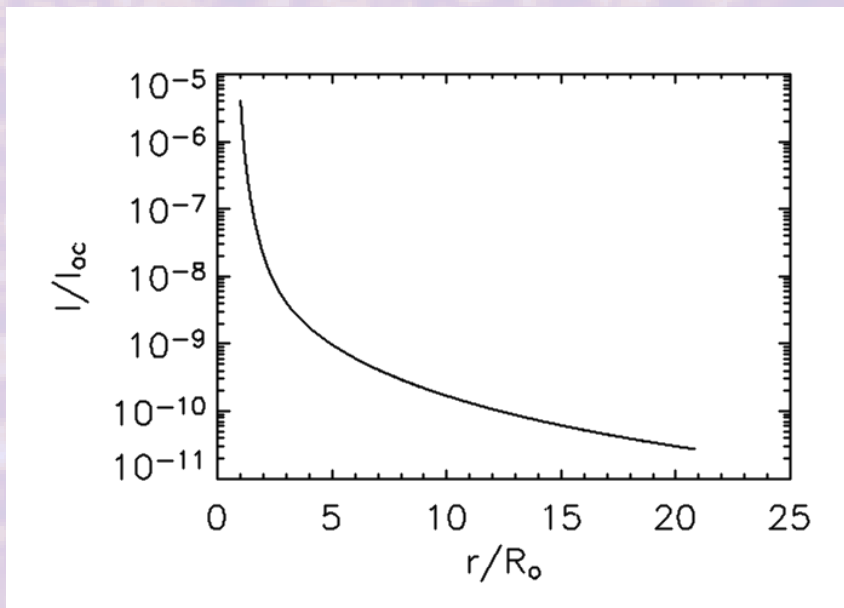


Empirický profil intenzity

$$\frac{I}{I_{oc}} = 10^{-6} \left(\frac{0,0532}{x^{2,5}} + \frac{1,424}{x^7} + \frac{2,565}{x^{17}} \right)$$

F-koróna K-koróna

$$x = \frac{r}{R_0}$$

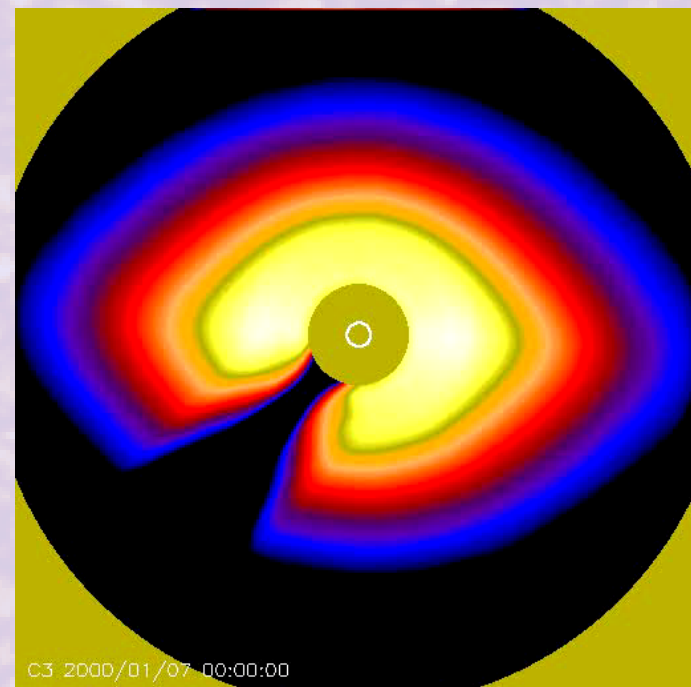


Pro Thomsonův rozptyl:

$$E_k \sim \sigma_T n_e R_o I_{oc}$$

$$E_k(R_o) \sim 10^{-6} I_{oc}$$

$$\rightarrow n_e \sim 4 \times 10^{13} \text{ m}^{-3}$$



Koróna v minimu/maximu



Total Solar Eclipse 1995

© 1995 Vojtech Rušin © 2004 Miloslav Druckr

← Minimum (1995)

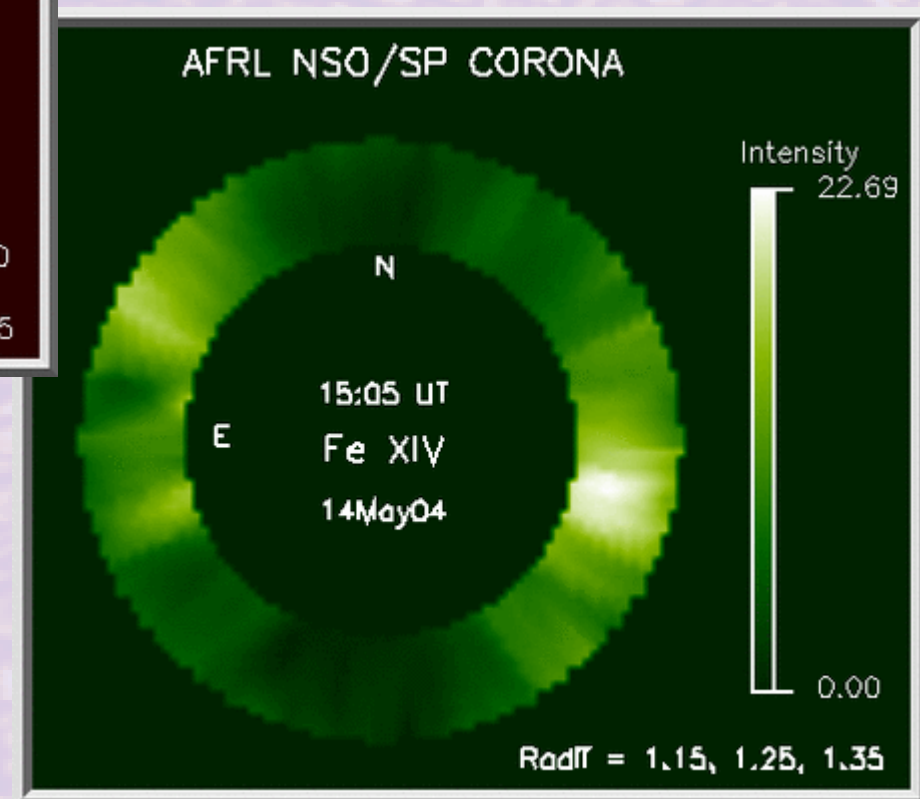
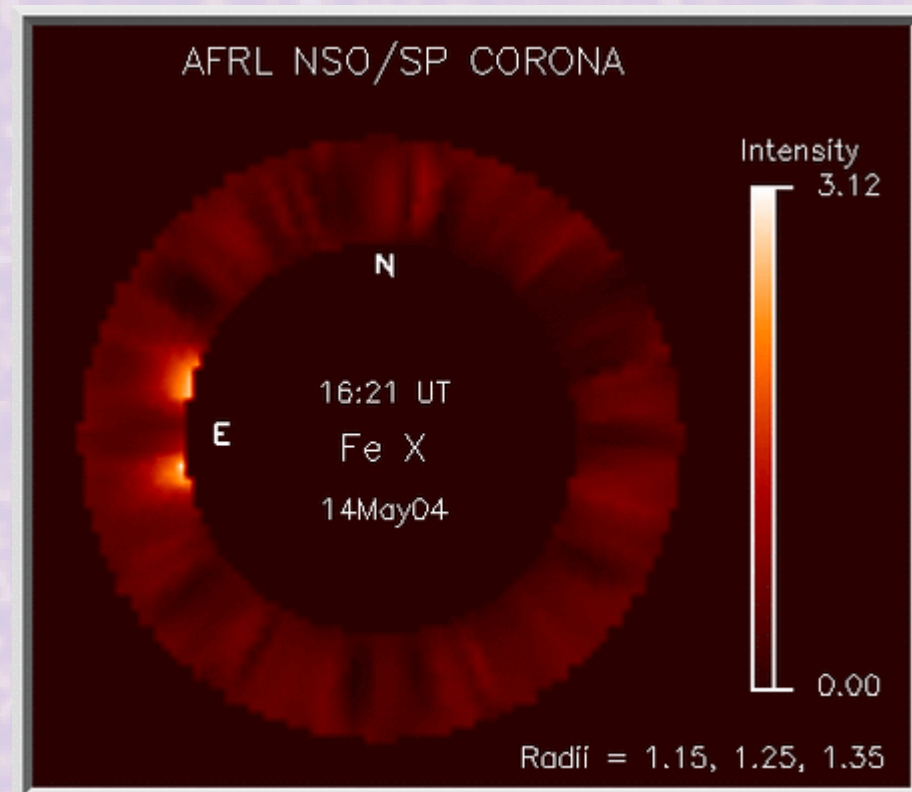
Maximum (2003) →



Total Solar Eclipse 2003

© 2003 David Finlay © 2005 Miloslav Druckmüller

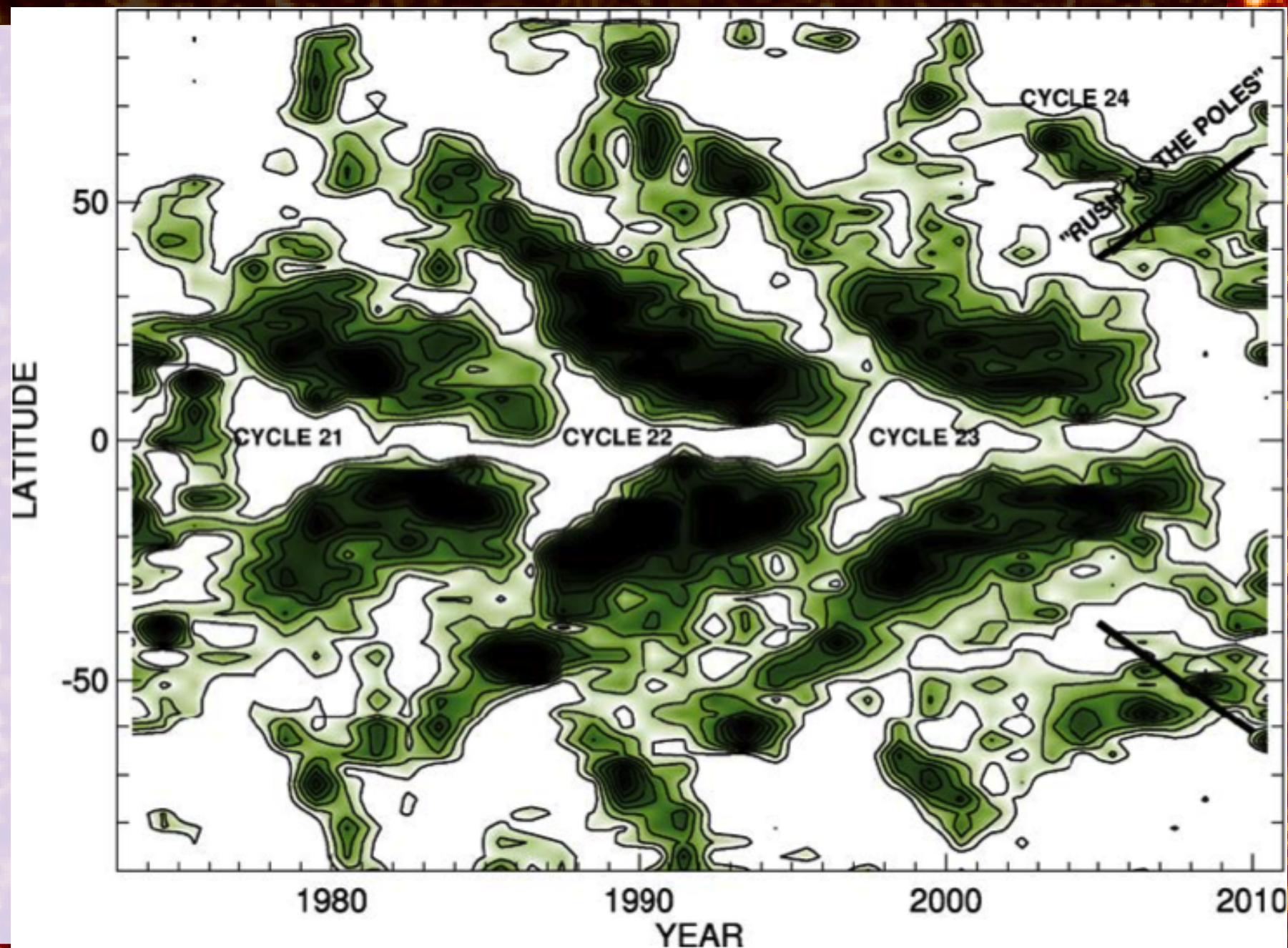
Zakázané čáry

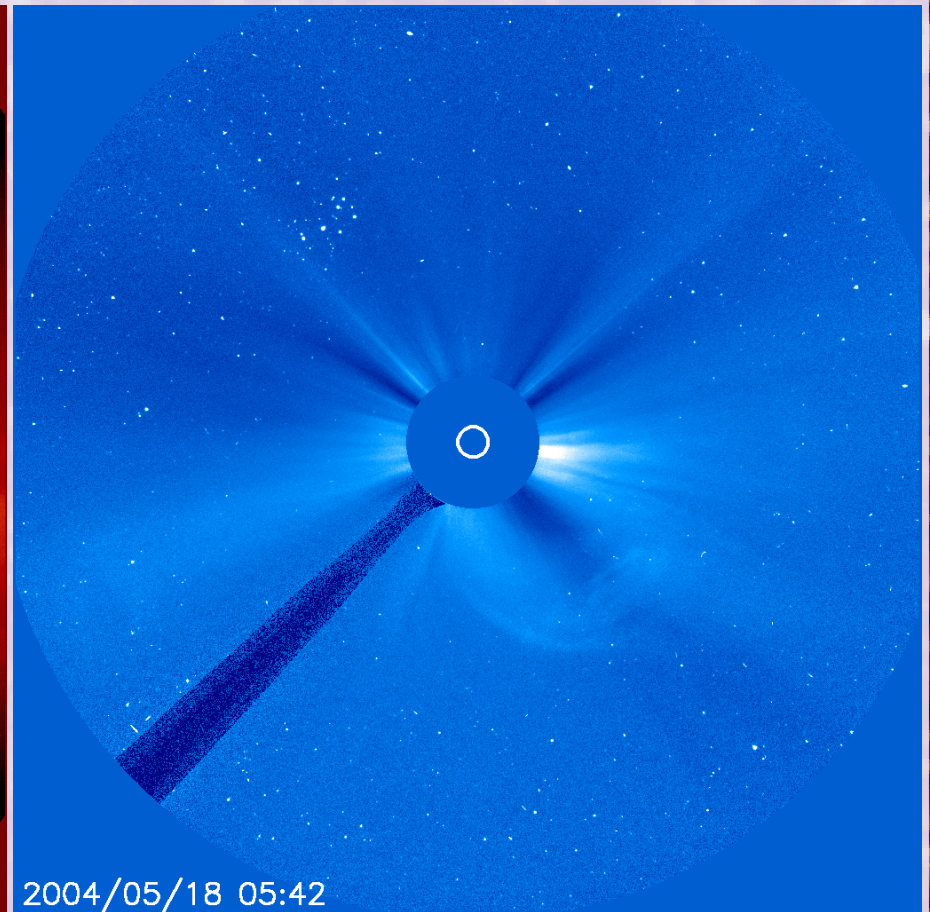
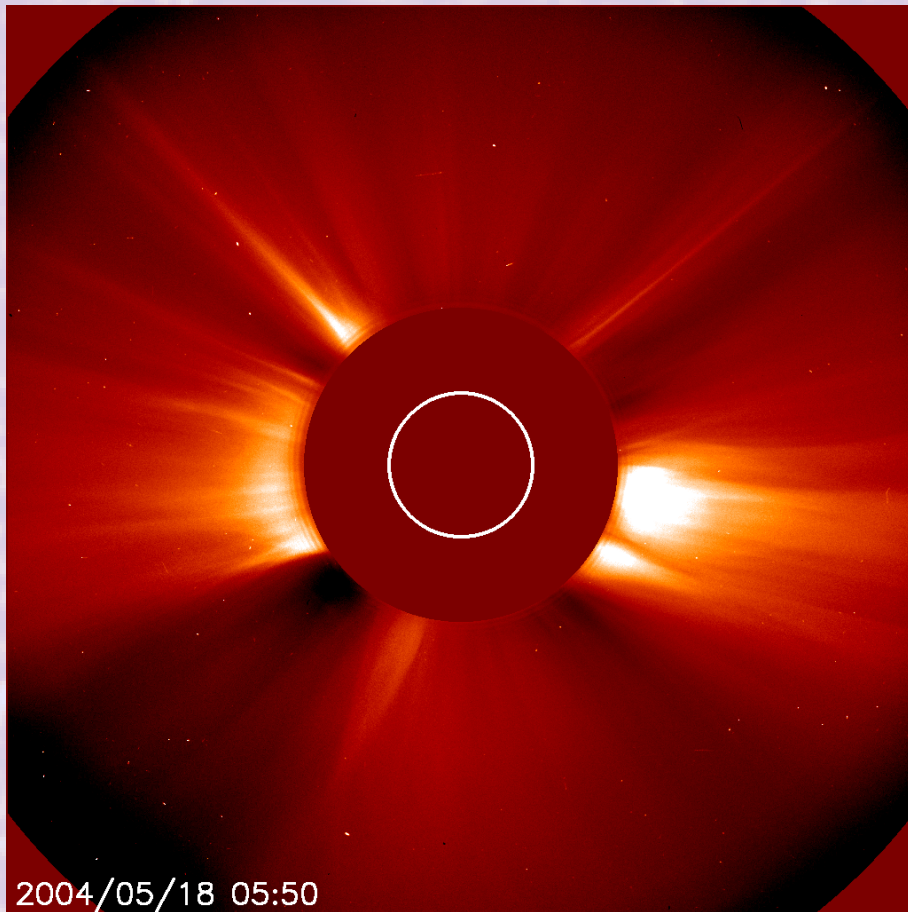


Zelená koróna

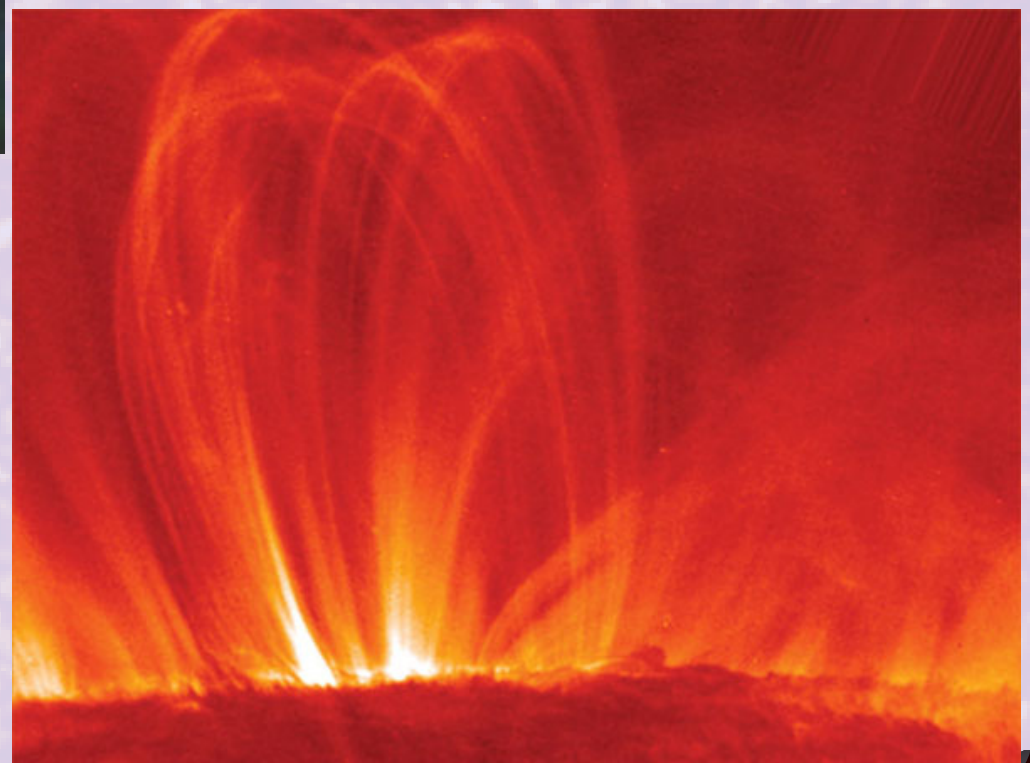


Zelená koronální čára respektuje 11letý cyklus



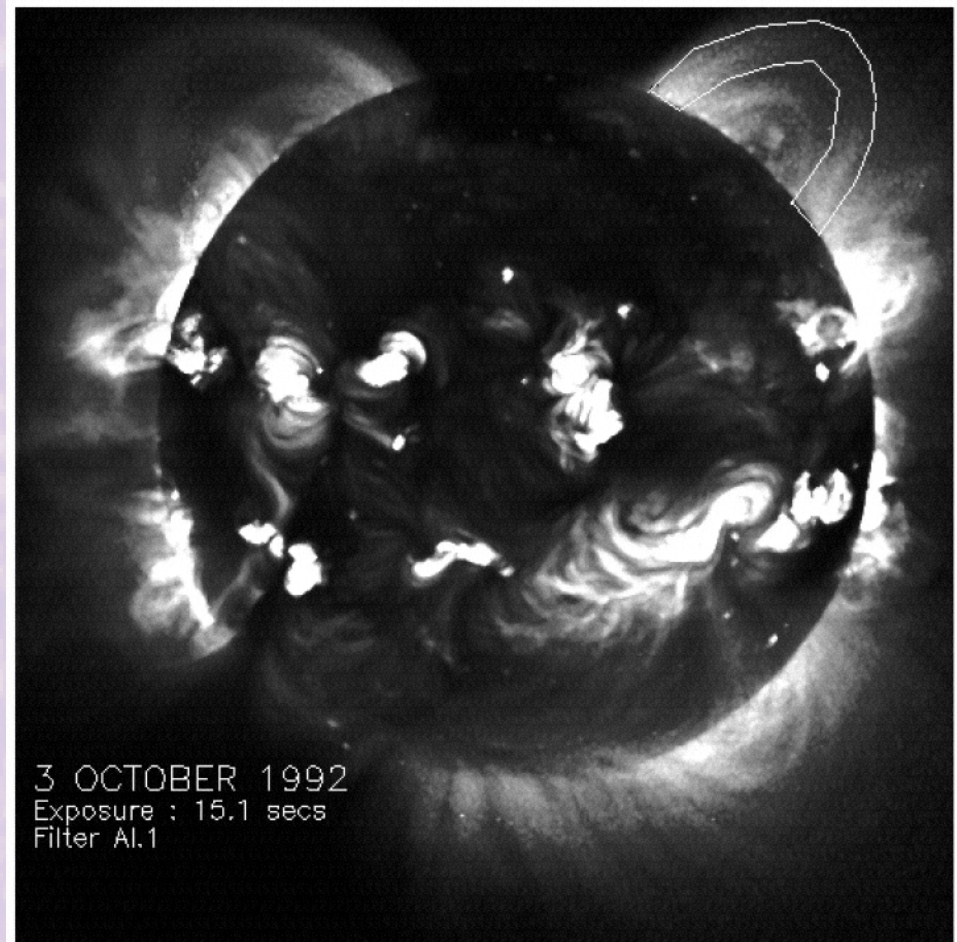


TRACE



Ohřev koróny proudy podél smyček

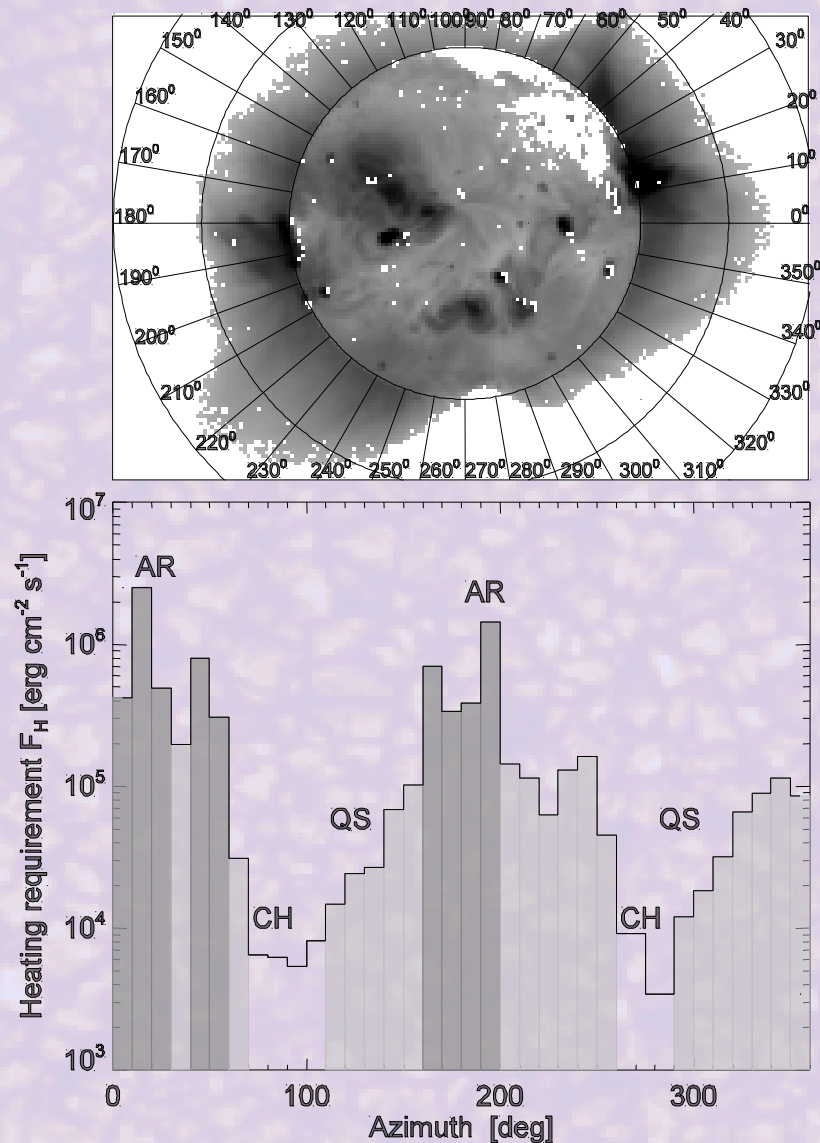
- Priest et al. (2000)
- Ohřev je balancován teplem vedeným podél smyček, diskutovány různé zdroje energie



Kolik energie je potřeba

● Kolik energie je potřeba dodat v jednotlivých sektorech pozorování koróny z 26. 8. 1992

- AR = aktivní oblast
- QS = klidné Slunce
- CH = koronální díra



Uvažované mechanismy koronálního ohřevu

Coronal Heating Models (adapted from Mandrini et al. 2000)

Physical process

DC Stressing and Reconnection Models:

- Stress-induced reconnection
- Stress-induced current cascade
- Stress-induced turbulence

. AC Wave Heating Models:

- Alfvénic resonance
- Resonant absorption
 - Phase mixing
 - Current layers
- MHD Turbulence
- Cyclotron resonance

. Acoustic Heating:

- Acoustic waves

. Chromospheric Reconnection:

. Velocity Filtration:

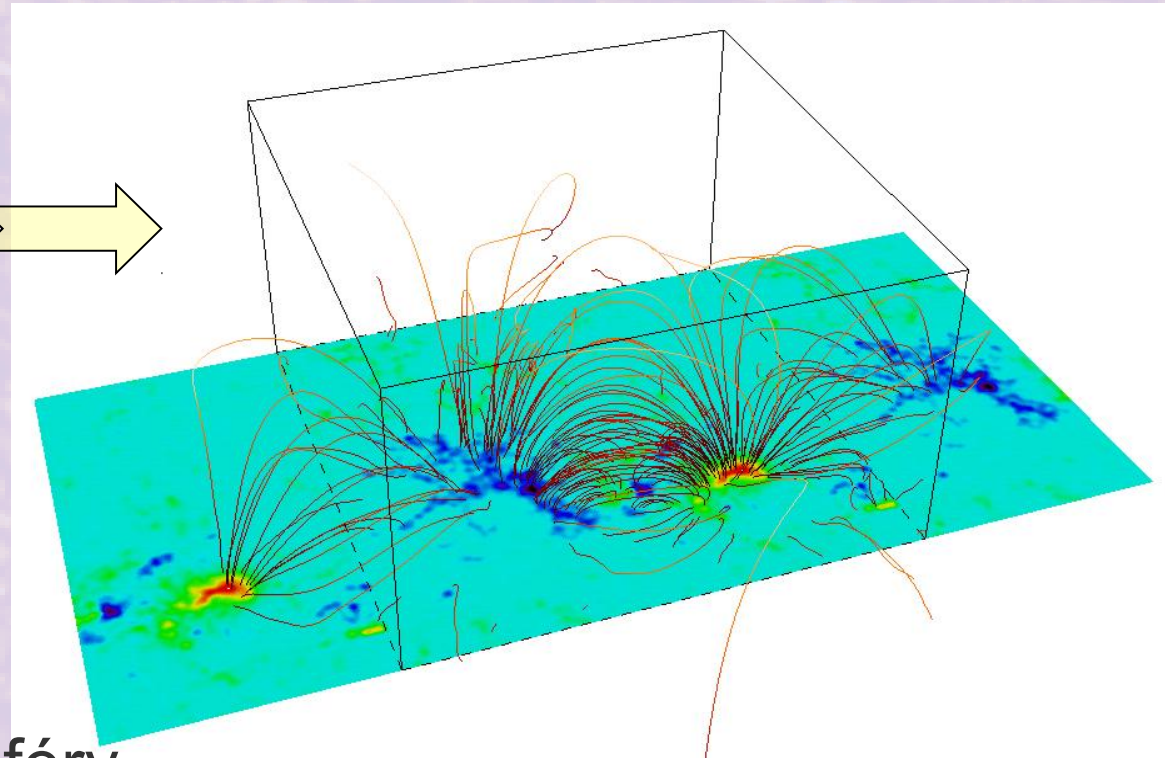
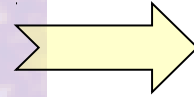
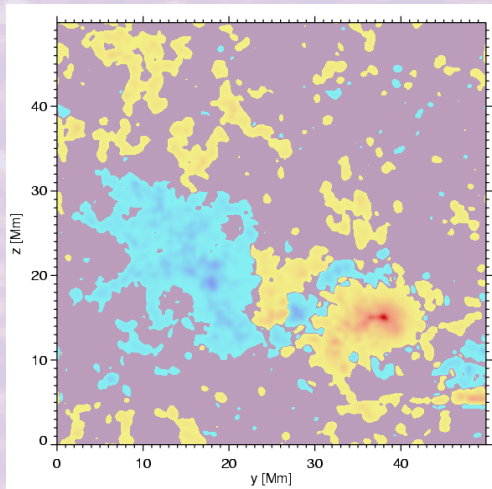
References

Sturrock & Uchida (1981)
Parker (1983, 1988)
Van Ballegooijen (1986)
Heyvaerts & Priest (1992)

Hollweg (1985, 1991)
Ionson (1978, 1982, 1983), Mok (1987))
Heyvaerts & Priest (1983)
Galsgaard & Nordlund (1996)
Inverarity & Priest (1995b)
Hollweg (1986), Hollweg & Johnson (1988)
Schatzman (1949)
Kuperus, Ionson, & Spicer (1981)
Litvinenko (1999)
Scudder (1992a,b; 1994)

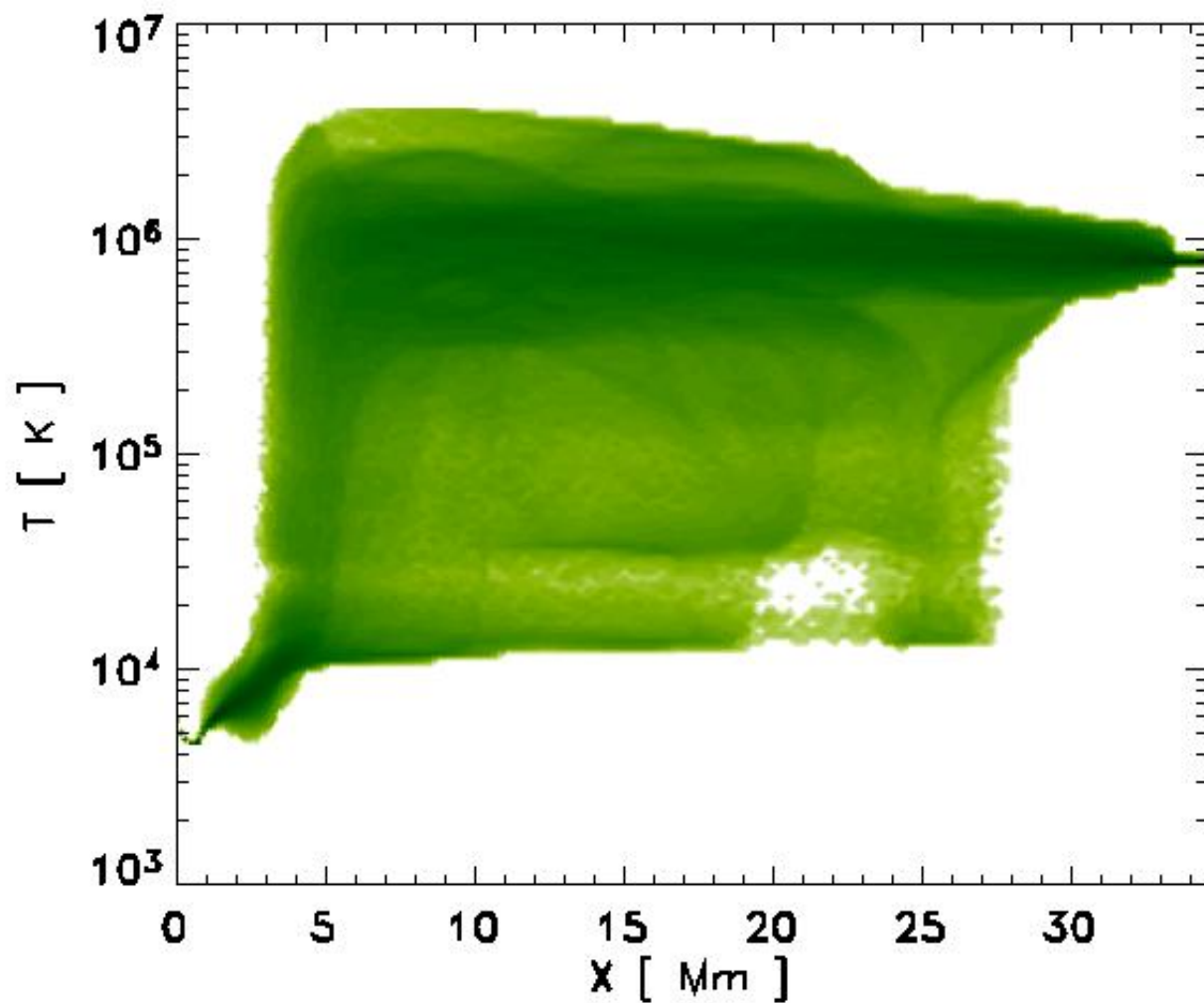
3-D simulace (Gudiksen, Nordlund)

- Magnetické pole AR 9114 – potenciální extrapolované, měřené rychlostní pole – ze sledování granulí

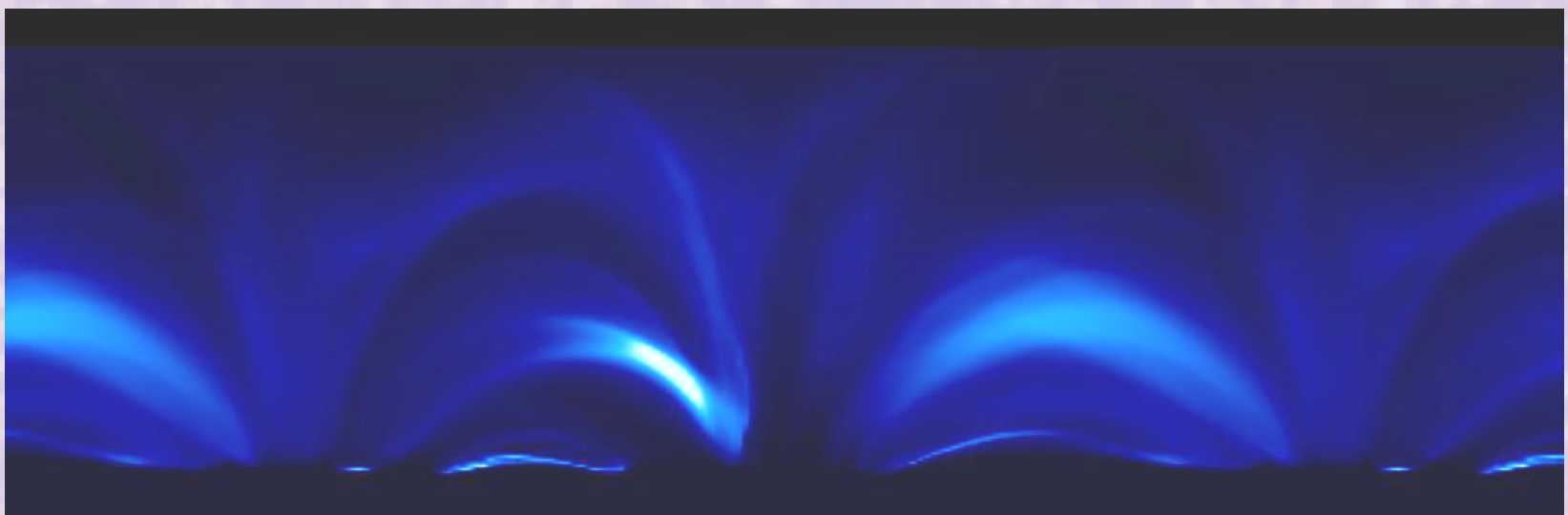
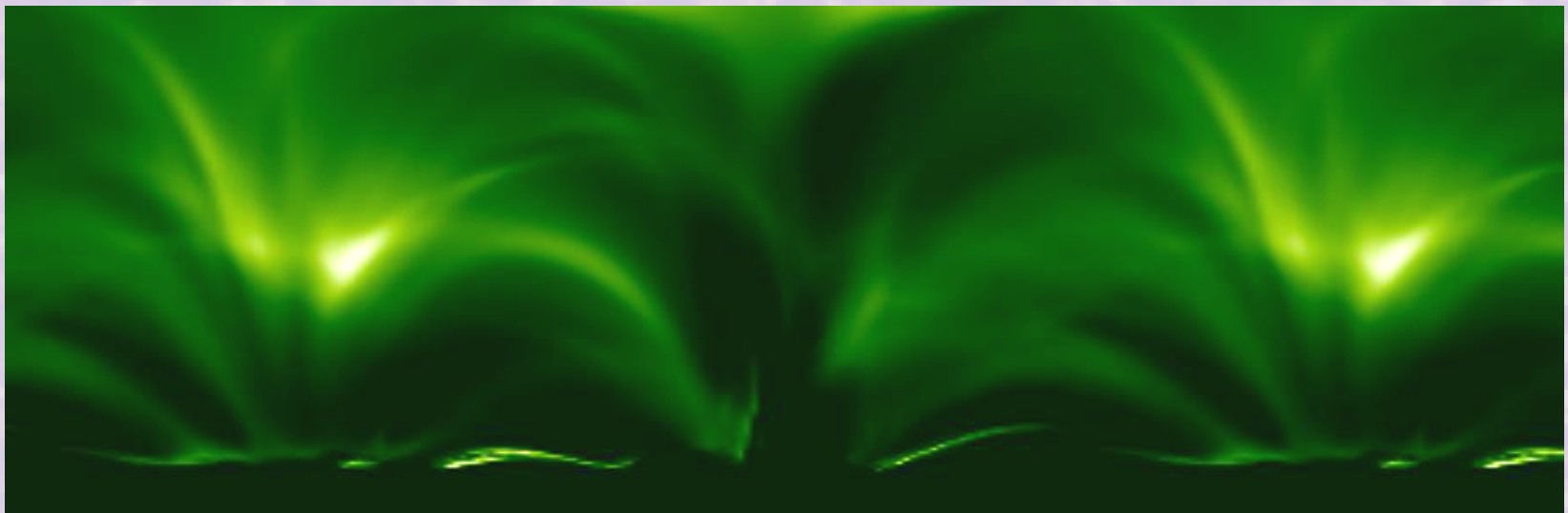


- VAL model atmosféry
- Realistická fyzika (vodivost plazmatu, zářivé ochlazování)
- Plně 3-D kompresibilní MHD simulace

Výsledné rozdělení teplot



Syntetické „snímky“ TRACE

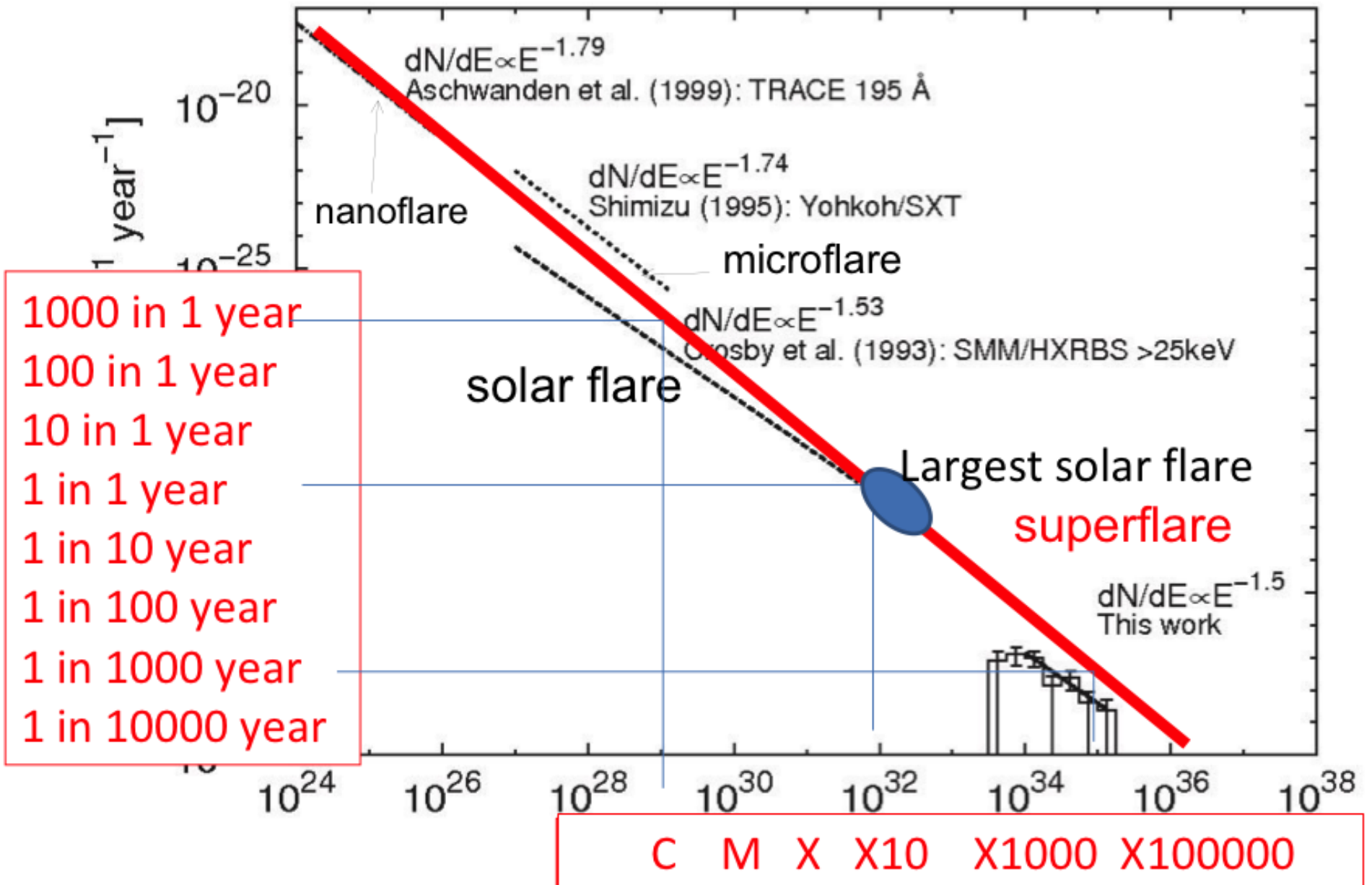


- 3-D MHD, with observed photospheric velocities and an actual AR magnetic field unavoidably produces a loop-structured, million degree corona
- Additional improvements can only increase the heating
 - Increased numerical resolution
 - Emerging flux
 - Systematic AR velocity fields

Mini, mikro, nano

	Energie [J]	Teplota [MK]	Hustota elektronů [m⁻³]
<i>Velké erupce</i>	$10^{23}-10^{26}$	8–40	$0,2-2 \times 10^{17}$
<i>Mikro-erupce</i>	$10^{20}-10^{23}$	1–8	$0,2-2 \times 10^{16}$
<i>Nano-erupce</i>	$10^{17}-10^{20}$	1–2	$0,2-2 \times 10^{15}$

Četnost erupcí podle energie (Nogami 2012)

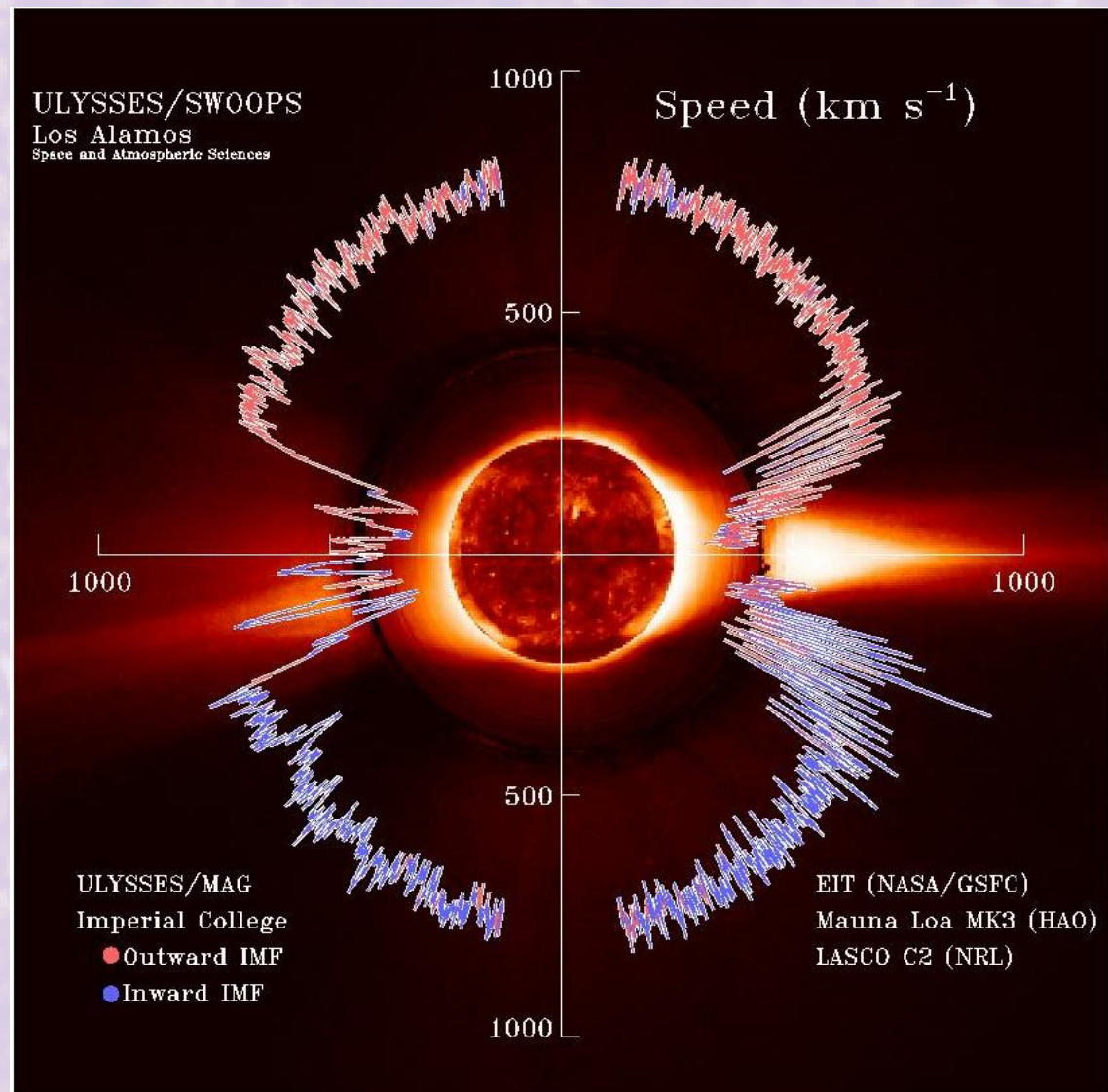


Sluneční vítr – počátky

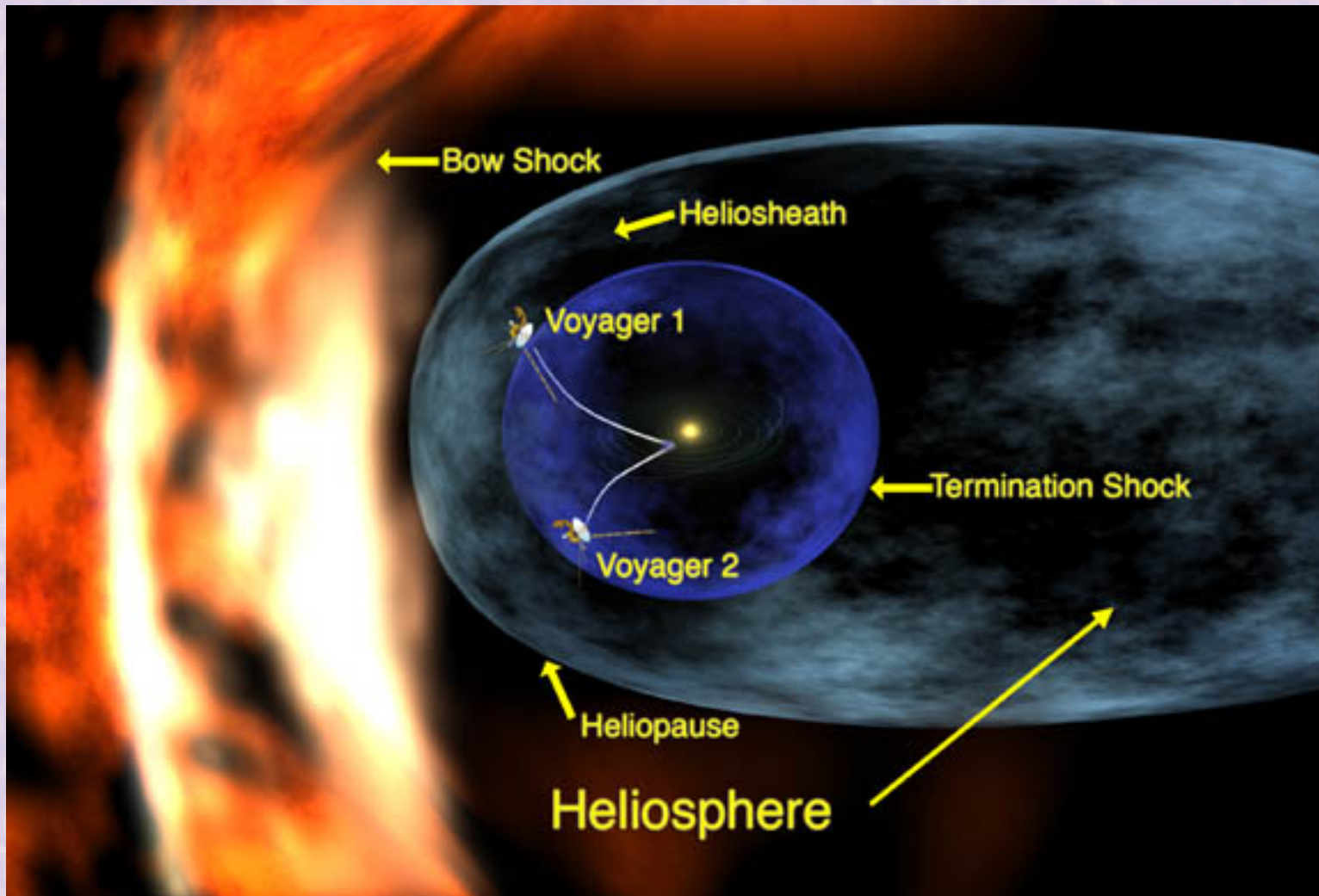
- Polovina 20. století -- „sluneční částicové záření“ jako prostředek k vysvětlení geomagnetických bouří
- Geomagnetické bouře – nárůst meziplanetárního magnetického pole obvykle dva dny po erupci
 - Musí existovat jakési elektrické spojení mezi Zemí a Sluncem
- 1950 – Biermann – iontové stopy komet míří vždy od Slunce
 - Existence stálého toku částic, které to umožní, energie fotonů nestačí
 - Potřeba velkých rychlostí a velkých hustot (nefyzikální)
- Chapman (1957) – statická koróna
- Parker (1958) – dynamická koróna

Pomalý/rychlý

- Pomalý – uzavřené pole, cca 400 km/s
- Rychlý – otevřené pole (koronální díry), cca 700 km/s
- Explosivní události – rychlost až 1200 km/s
- Ulysses – sonda na heliopolární dráze



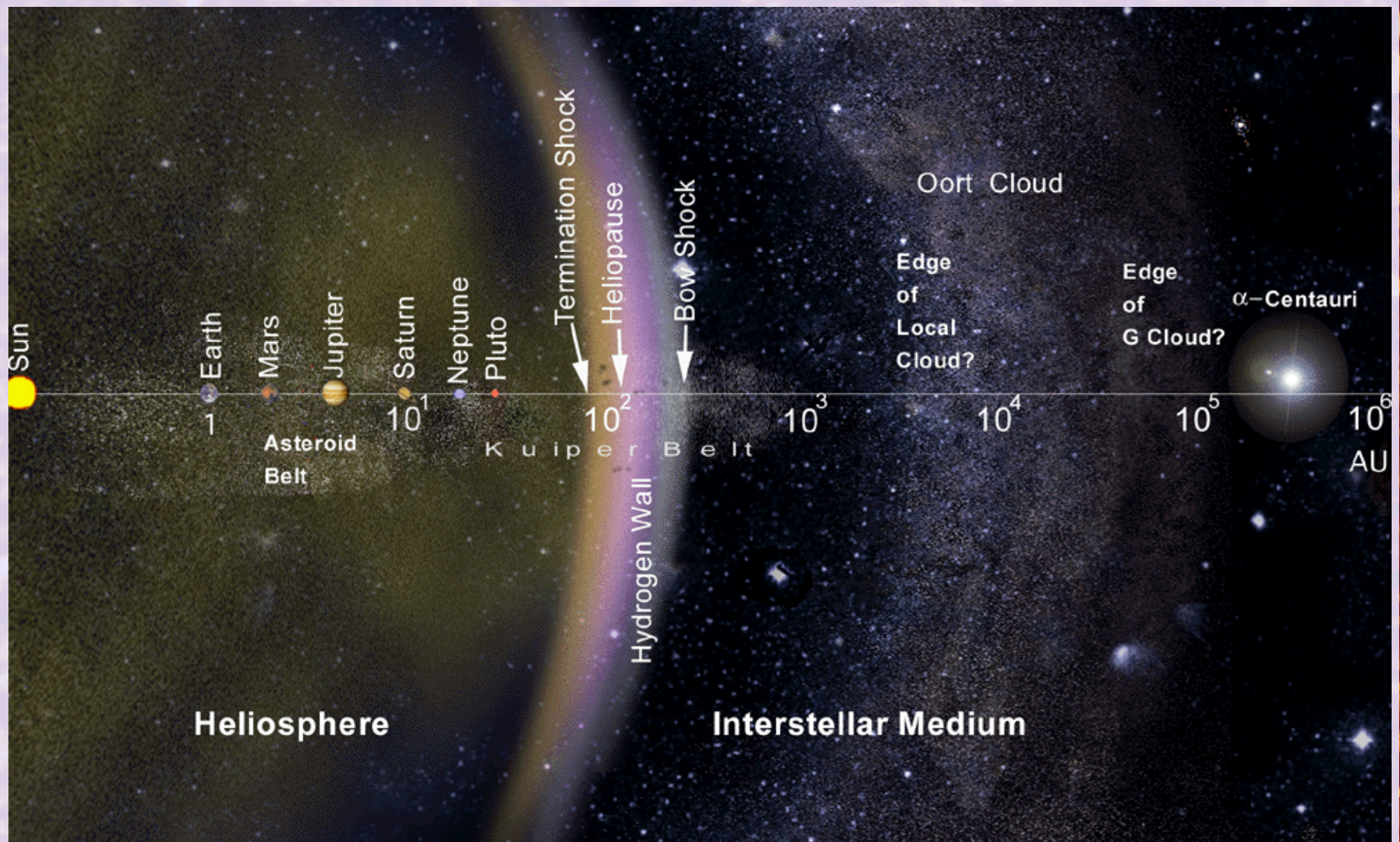
Heliosféra



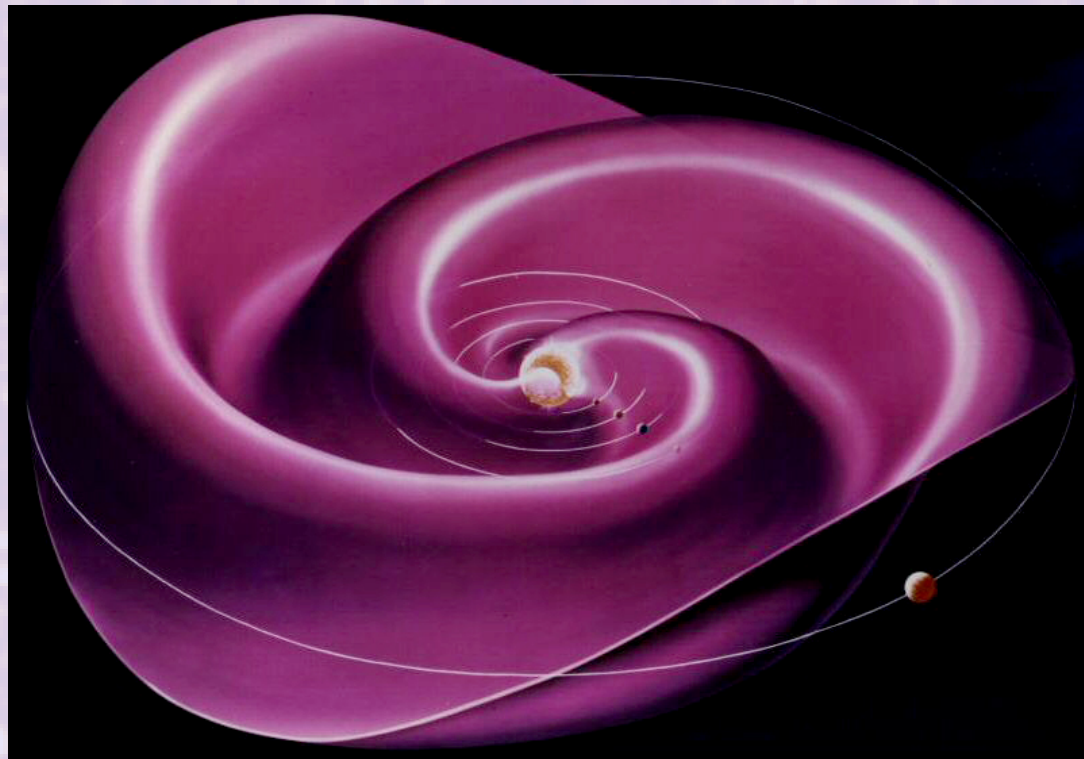
Struktura heliosféry

- **Termination shock** (terminační vlna) – nadzvukový sluneční vítr je zpomalován pod rychlost zvuku působením mezihvězdného prostředí
- **Heliosheath** (heliosférický plazmový chvost, heliosférická obálka) – oblast podzvukového slunečního větru, vliv okolí způsobuje tvar „kometry“
- **Heliopauza** – přímé setkání obou médií, hranice heliosféry
- **Bow shock** (čelní rázová vlna) – heliosféra se pohybuje mezihvězdným prostředím, na jejím čele vzniká turbulentní oblast, v níž je zvýšený tlak způsobený pohybem heliosféry – rázová vlna

Blízký prostor z hlediska vlivu Slunce



- Rozhraní polarit meziplanetárního magnetického pole (IMF)
- Pole má tvar spirál (důsledek rotace Slunce)
 - Parkerovy spirály
- Proud celkově ~3 GA
- Vede k **sektorové struktuře IMF**



- Perspektivní obor
 - Hodně peněz
 - „Aplikovaná sluneční fyzika“
- Sledování stavu IMF v okolí Země
- Geomagnetické bouře
- Polární záře
- Ionosférické poruchy
- Poruchy elektroniky
- Poruchy dálkových vedení

