

# **Základní astronomický kurz (XIII). – Slunce**

Jakub Rozehnal,  
Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy

[www.observatory.cz/studijnimaterialy1](http://www.observatory.cz/studijnimaterialy1)  
heslo: 2018kurs2019

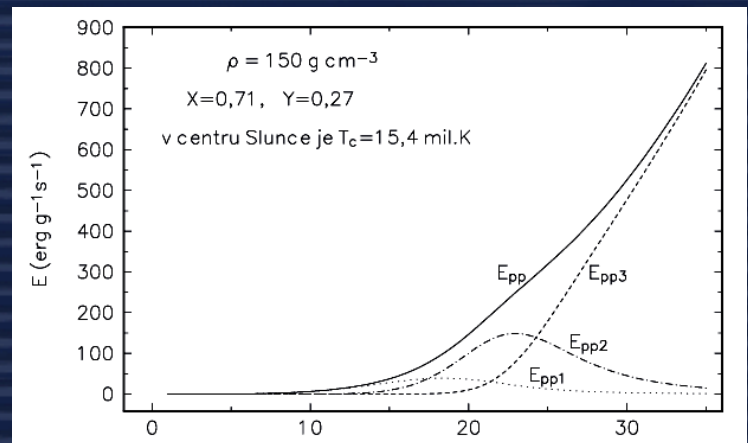
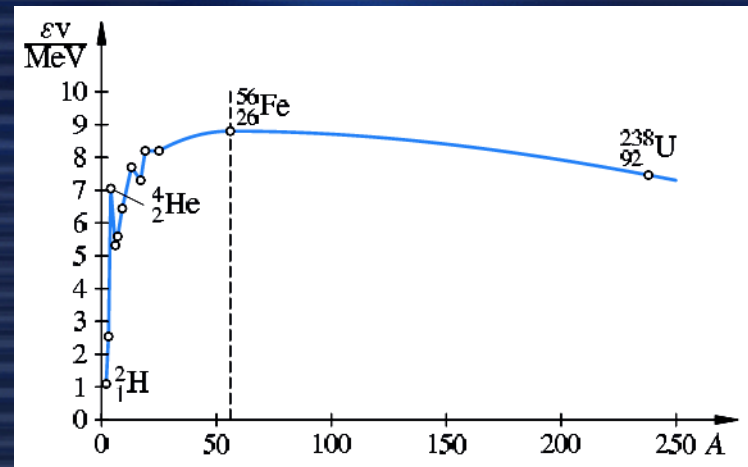


# Slunce - základní parametry

hmotnost	$1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
průměr	1 392 684 km
rotace na rovníku	25,2 dne
efektivní teplota	5 780 K
spektrální typ	G2
gravitační zrychlení na povrchu	$274 \text{ m/s}^2$
zářivý výkon	$3,84 \times 10^{26} \text{ W}$

# Stavba Slunce

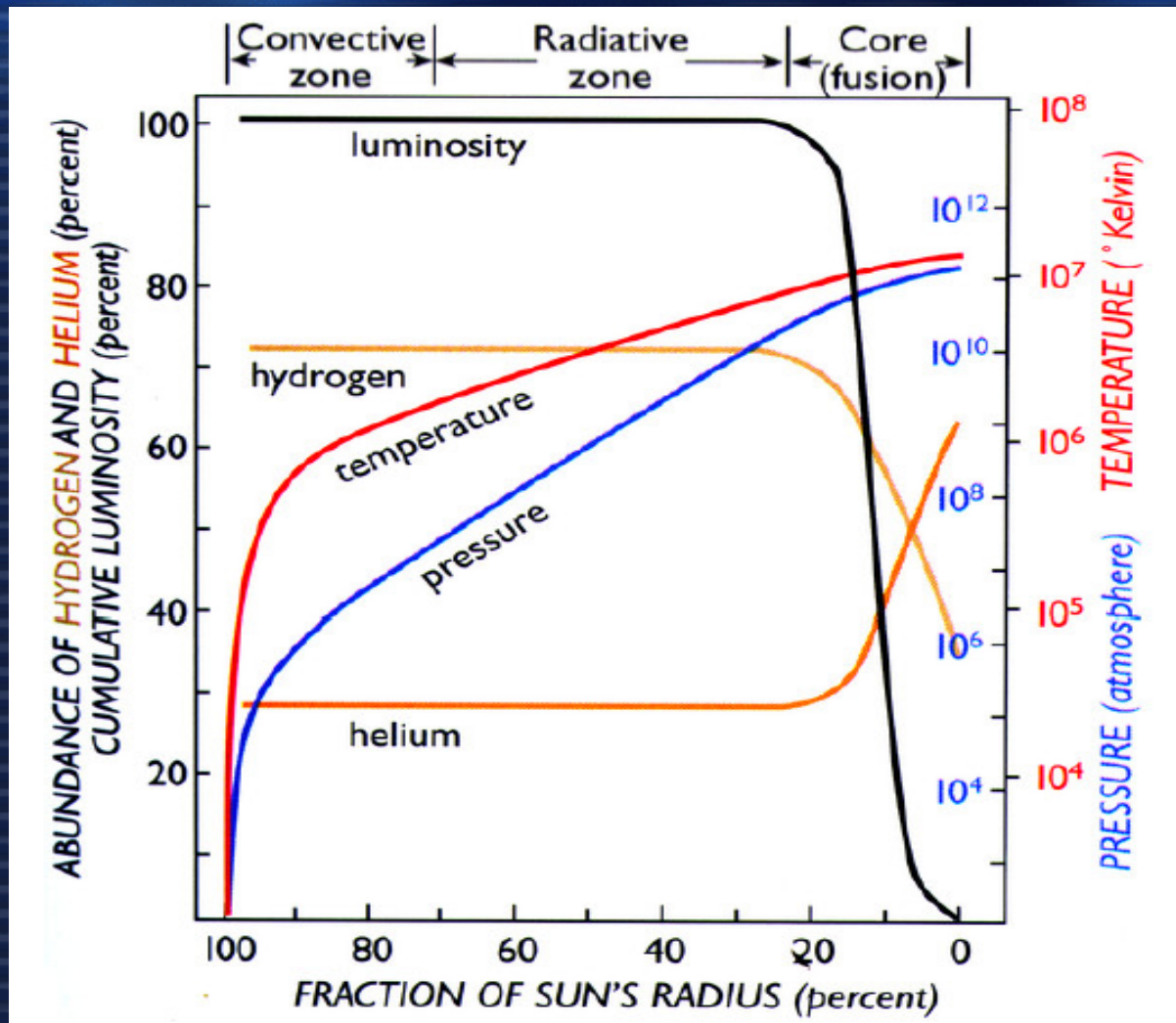
- jádro — jaderné reakce
- $p + p \rightarrow D + e^+ + \nu$  (1,18 MeV)
- $D + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$  (5,49 MeV)
- ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow p + p + \alpha$  (12,86 MeV)
- celková bilance +26,74 MeV,  
využitelných jen 26,20 MeV
- + další dvě varianty
- Coulombická bariéra 1 MeV,  
typická energie při teplotě  $15 \times 10^6$  K je  
 $E \sim kT \sim 1$  keV  $\rightarrow$  tunelový jev





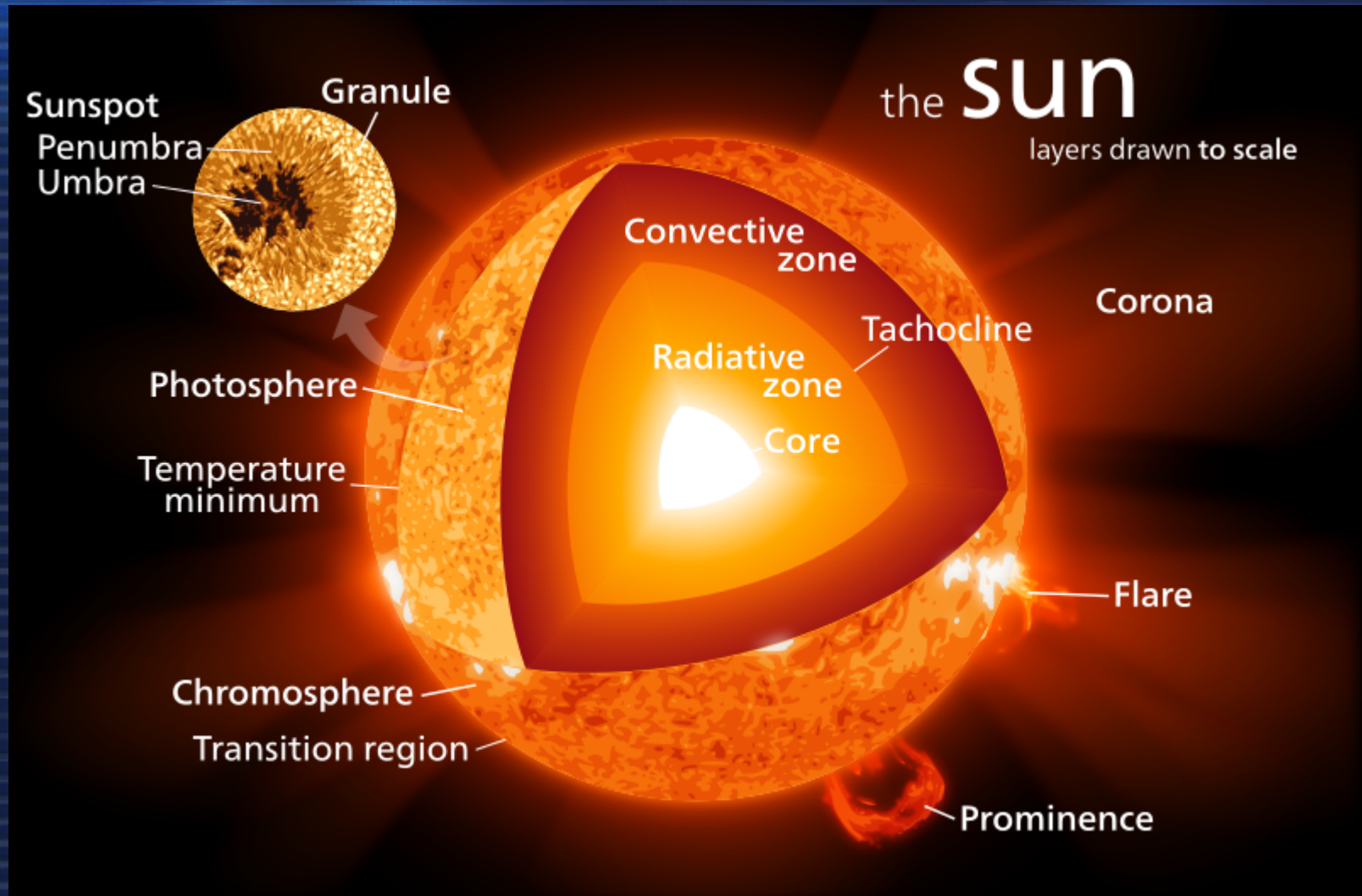
# Stavba Slunce

- průběh stavových veličin





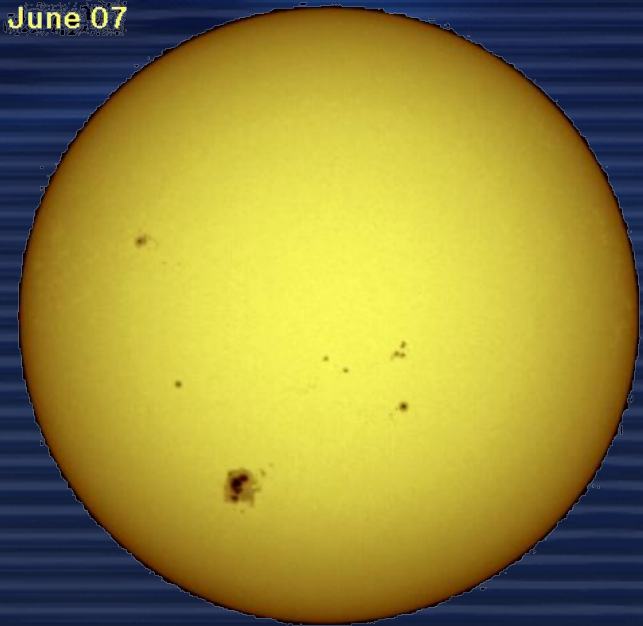
# Stavba Slunce



# Fotosféra

1992 June 07

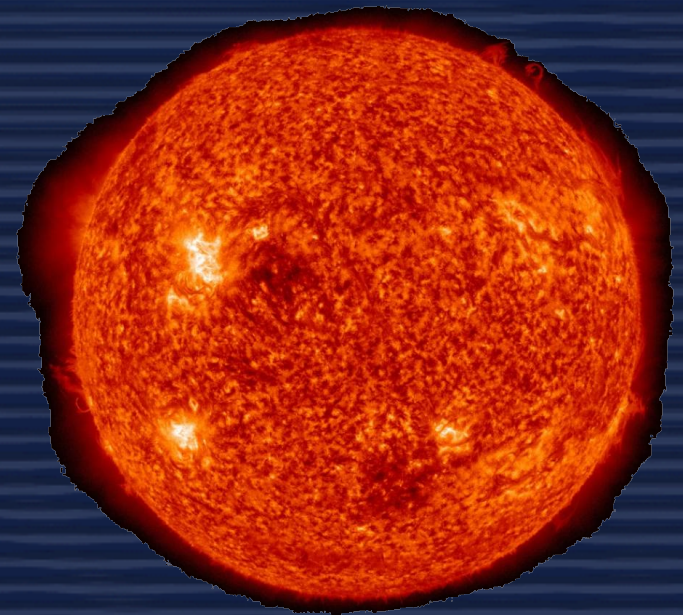
- nejnižší vrstva atmosféry, tloušťka cca 300 km
- většina viditelného záření
- iont  $H^-$  (malá ionizační energie (1 640 nm):
  - $H + e^- \leftrightarrow H^- + \gamma$
  - hlavní zdroj opacity, rekombinace produkuje většinu fotonů
  - hustota  $2 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$





# Chromosféra

- 2 000 km tlustá, opticky tenká
- minimum teploty (4 500 K), poté teplota stoupá ke 20 000 K
- ohřev disipací magnetozvukových vln
- dobře pozorovatelná v  $H\alpha$





# Koróna

Nejrozlehlejší, řídká a horká vrstva  
sluneční atmosféry

Teploty přesahují  $10^6$  K

Rozlišujeme 3 překrývající se složky:

K: kontinuum záření, vzniká rozptylem  
záření fotosféry na elektronech

F: rozptyl na prachových částicích

E: emise v čarách vysoce ionizovaných  
kovů („koronium“, FeXIV)





# Jevy v atmosféře

## **sluneční skvrny:**

tmavá místa, s intenzitou cca 15 % proti fotosféře, teplota cca 3 700 K

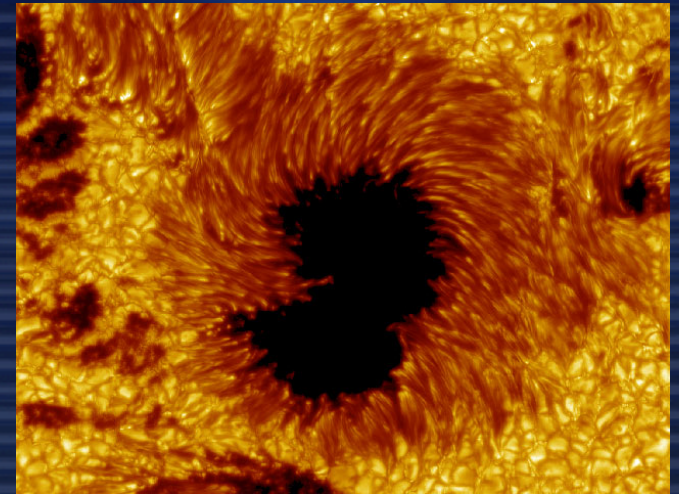
tmavý střed – umbra

světlejší okolí – penumbra

Vznik **potlačením konvekce**  
**magnetickým polem** (0.15 až 0.6 T)

Většinou v bipolárních skupinách,  
unipolární skvrny obklopeny rozptýleným  
magnetickým polem opačné polarity

skvrny obklopeny jasnými fakulemi →  
mezi počtem skvrn a celkovou luminozitou  
Slunce je pozitivní korelace





# Jevy v atmosféře

## **granulace**

vrcholky vzestupných proudů, teplota vyšší o několik desítek K

Typický rozměr 1 000 km, životnost řádově 10 minut

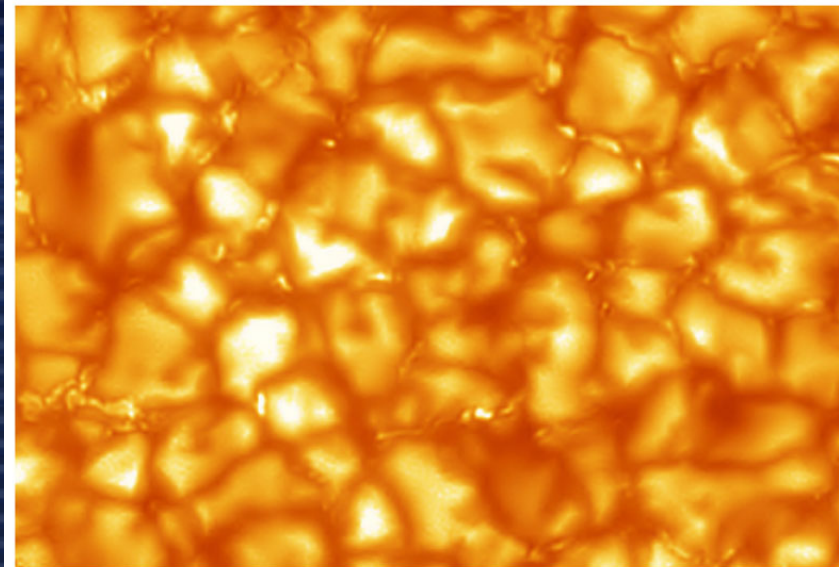
Formovány turbulencemi souvisejícími s oscilacemi Slunce (p-mody)

## **supergranule**

charakteristická velikost 30 000 km, pozorovány dopplerovsky

## **fakulová pole**

Jasně oblasti mezi granulemi, kde se koncentrují magnetické siločáry, celkem asi 4x větší plocha než slunečních skvrn → rozhodující vliv na luminozitu Slunce

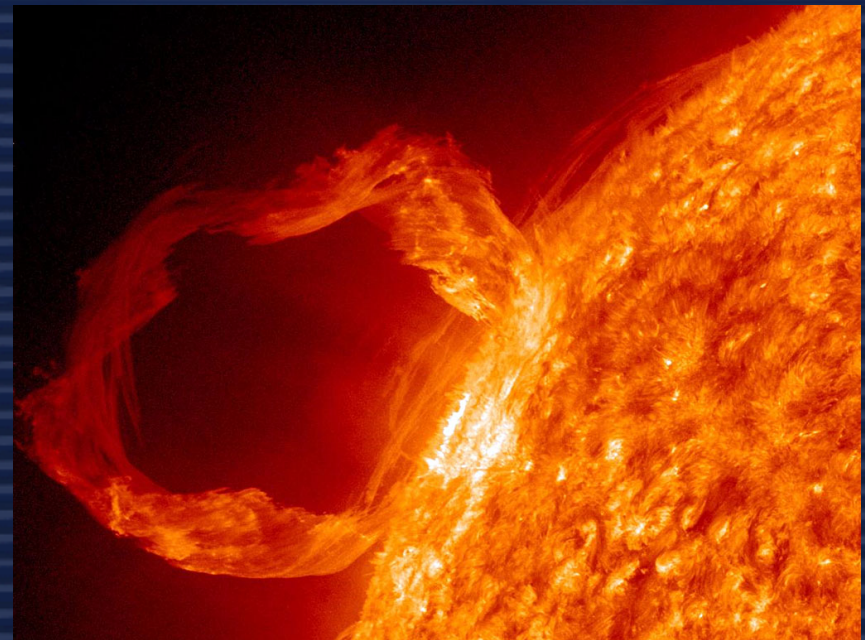
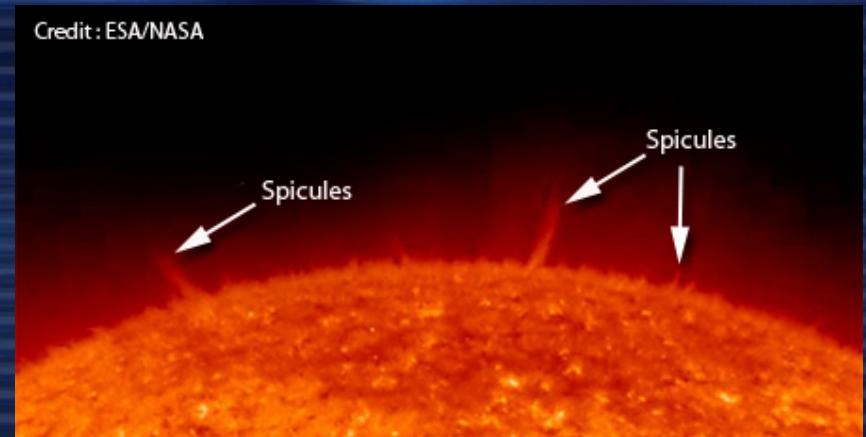


Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.



# Jevy v atmosféře

- **Spikule**
- 500 km úzké výtrysky plazmatu, sahají až 10 000 km nad fotosféru
- Soustřeďují se v oblastech silnějších magnetických polí
- **Protuberance/filamenty**
- kondenzující chladnější plazma, sahající od fotosféry až do koróny
- ve výšce je plyn udržován Lorentzovou silou





# Jevy v atmosféře

- **Erupce**

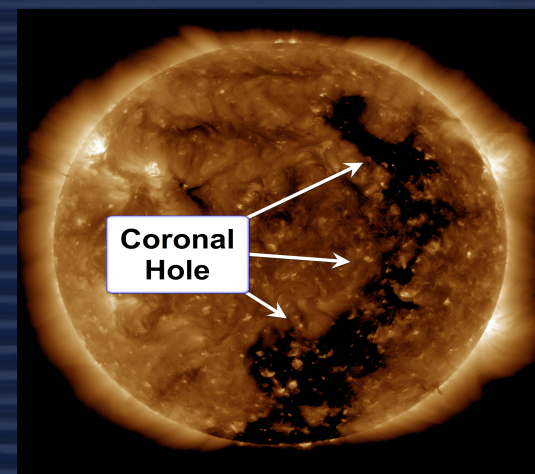
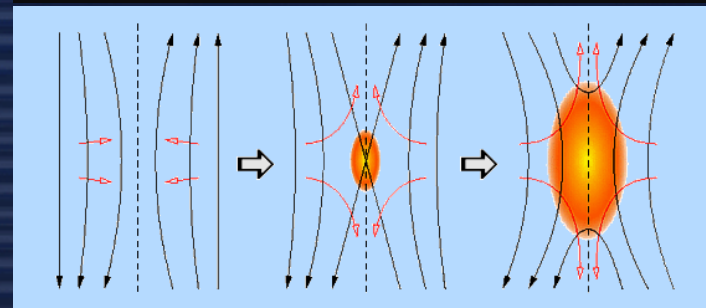
Exploze provázející náhlou přeměnu konfigurace magnetického pole (rekonexe)  
Energie přeměněna na kinetickou nebo vnitřní energii plazmatu

- **Koronální díry**

Tmavší, chladnější a méně husté části koróny, procházejí zde „otevřené“ magnetické siločáry napojené na meziplanetární magnetické pole

- **CME**

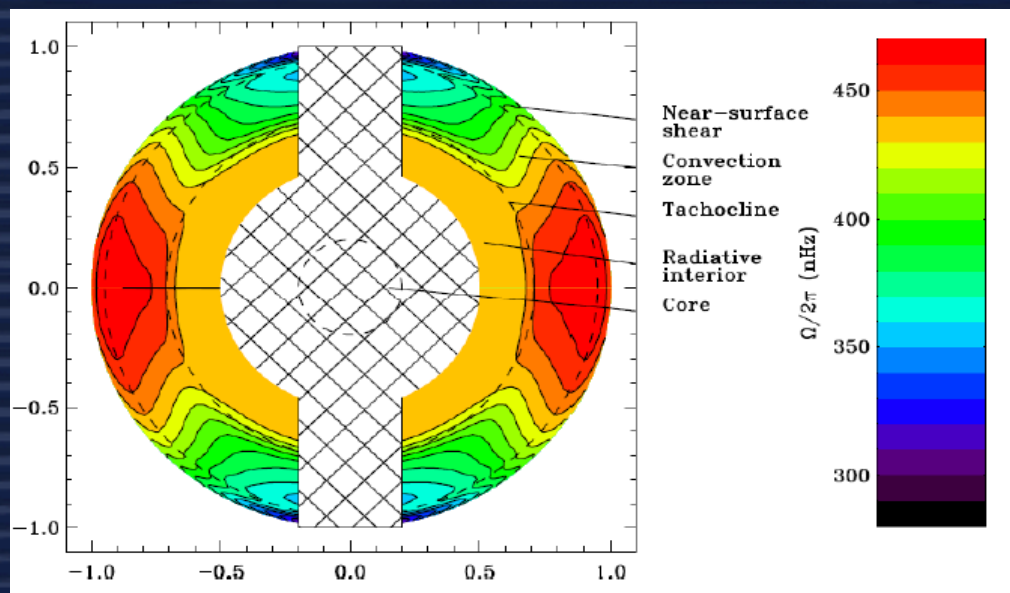
Vyvržení plazmatu a magnetického pole do koróny, většinou souvisejí s erupcemi, mohou způsobovat polární záře





# Rotace Slunce

- střední frekvence 430 nHz ( $P = 26,9$  dne)
- diferenciální rotace:
  - vnitřní jádro: nelze měřit, stejně jako polární oblasti
  - mezi 0,2 – 0,7  $R_s$  rotace jako tuhé těleso
  - *tachoklina*, 0,71  $R_s$ , radiálního stříh, zřejmě generuje mag. pole
  - 0,7 – 0,95  $R_s$  diferenciální rotace
  - podpovrchová zóna stříhu:  $\Omega/2\pi = 462 - 74 \sin^2\vartheta - 53 \sin^4\vartheta$  nHz
- torzní oscilace – závislé na čase – sledují sluneční cyklus





# Oscilace Slunce

- Stojaté podélné vlnění, vymezené povrchem a určitou hranicí v hloubce, kde nastává totální odraz
- p-mody (tlak/zvuk)
- g-mody (gravitační/vztlak)
- f-mody (na diskont. hustoty – jako na moři)

