

# Sluneční atmosféra

NAST001 Sluneční fyzika

*LS 2014/2015*

# Tři vrstvy

## □ Fotosféra

- Cca 300 km tlustá
- Změna hustoty o řád
- Změna opacity
- Teplotní minimum

## □ Chromosféra

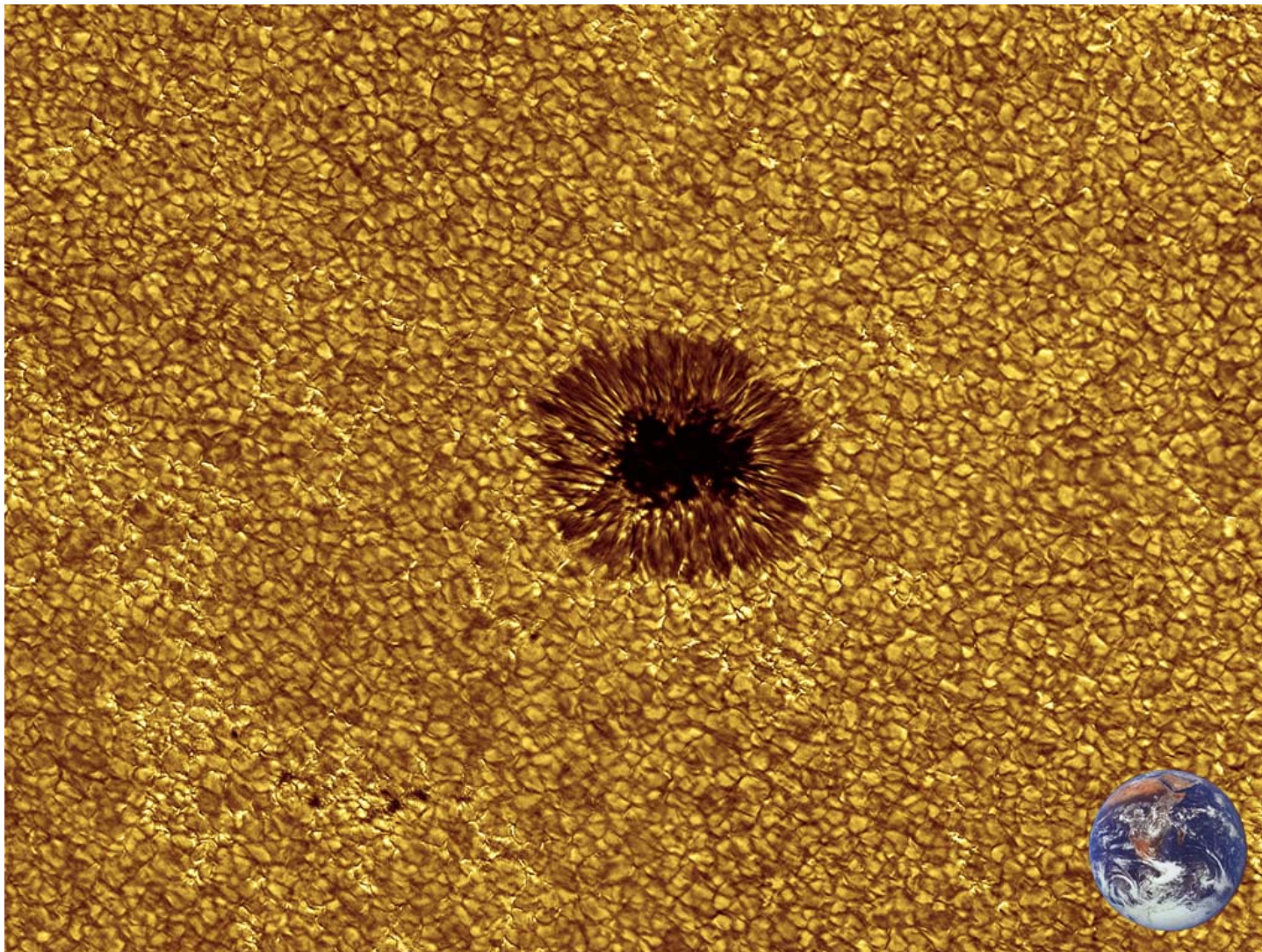
- Není v LTE
- Cca 2500 km tlustá
- $T \sim 10\,000\text{ K}$  (do cca  $25\,000\text{ K}$ )

## □ (Přechodová vrstva)

## □ Koróna

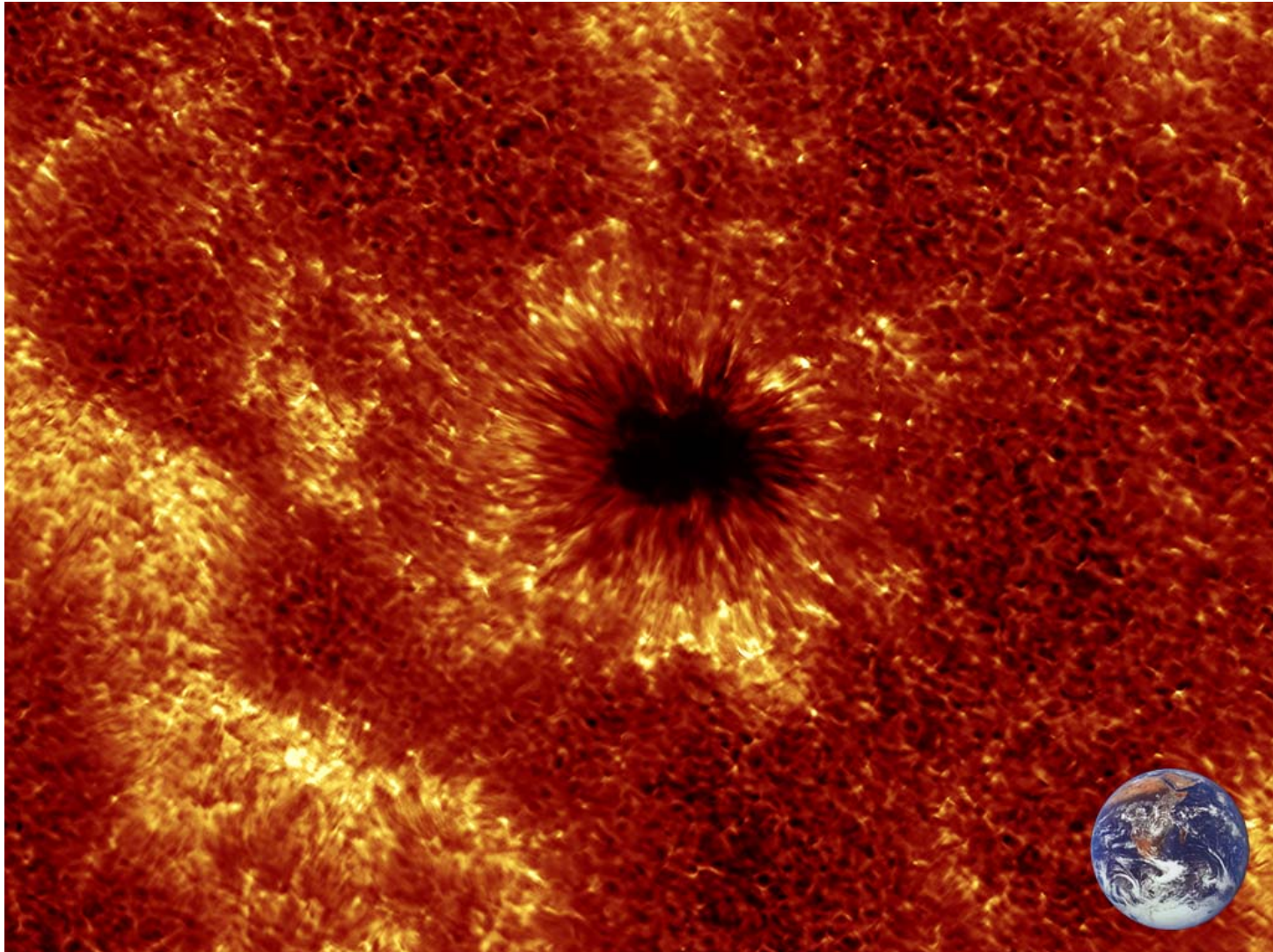
- Řídká, rozpíná se do meziplanetárního prostoru
- $T \sim 2\text{ MK}$

# Pod povrch však nevidíme...

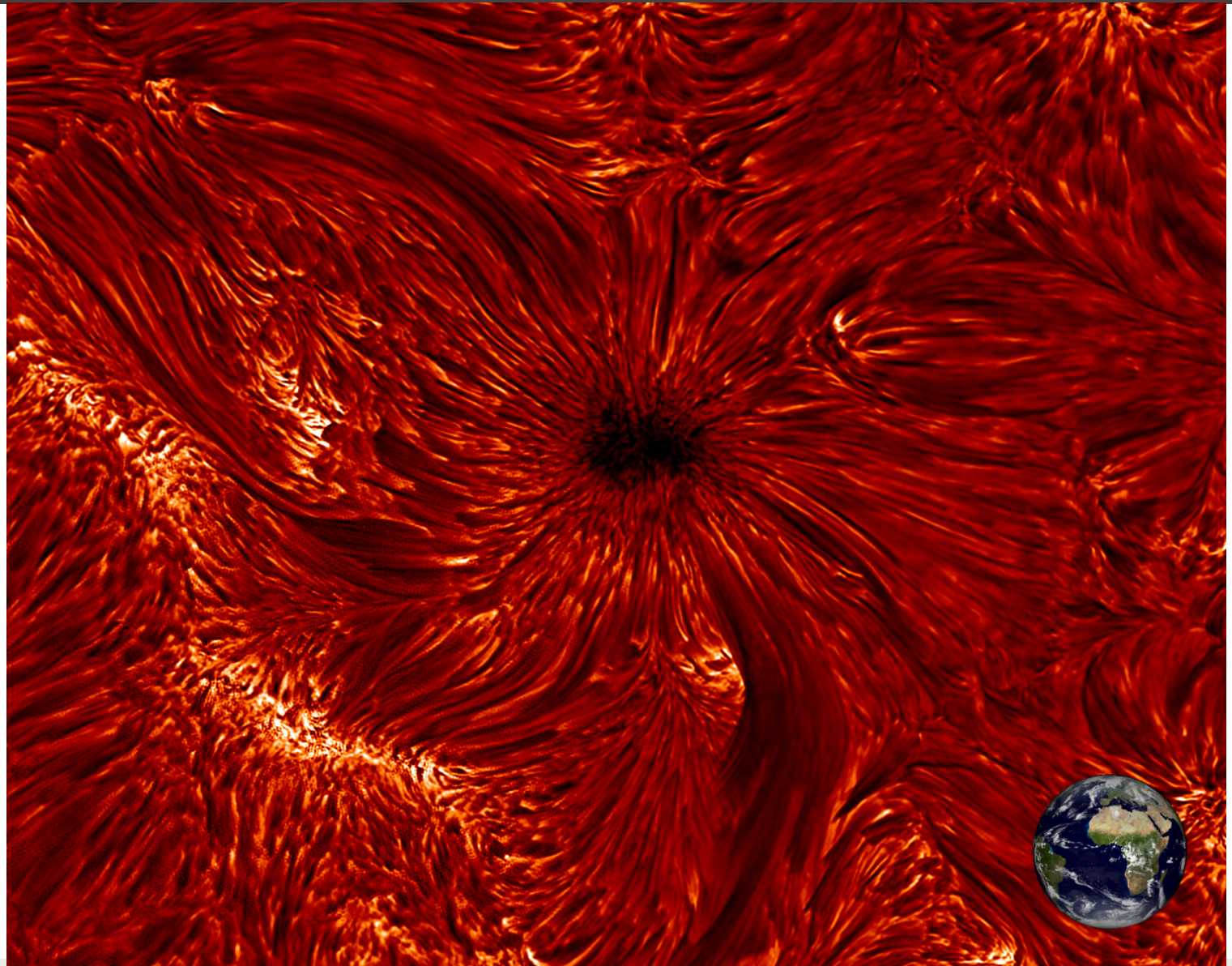




# Atmosféra je pozorovatelná





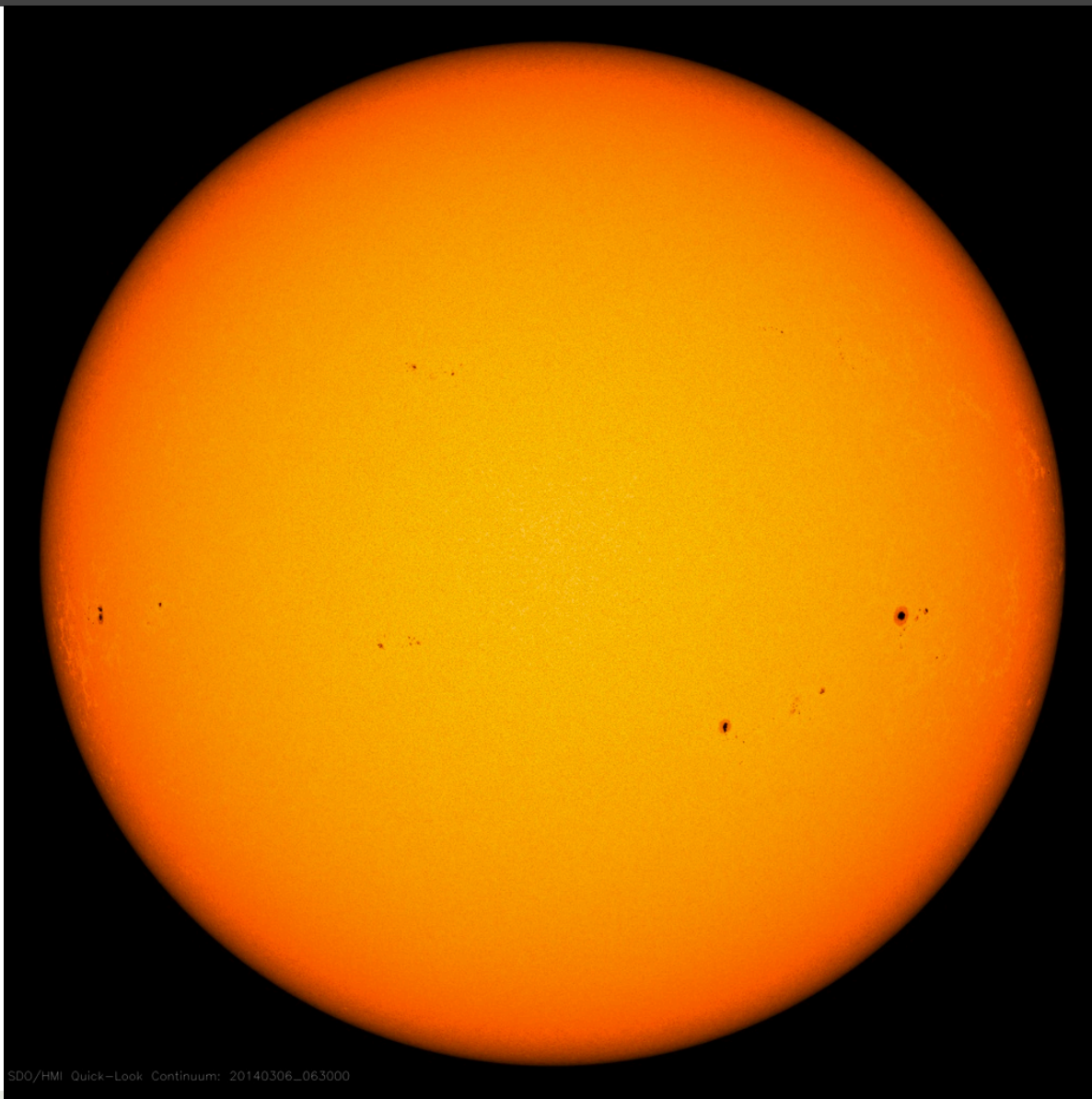


# Fotosféra

## Solar Photosphere as a Function of Depth

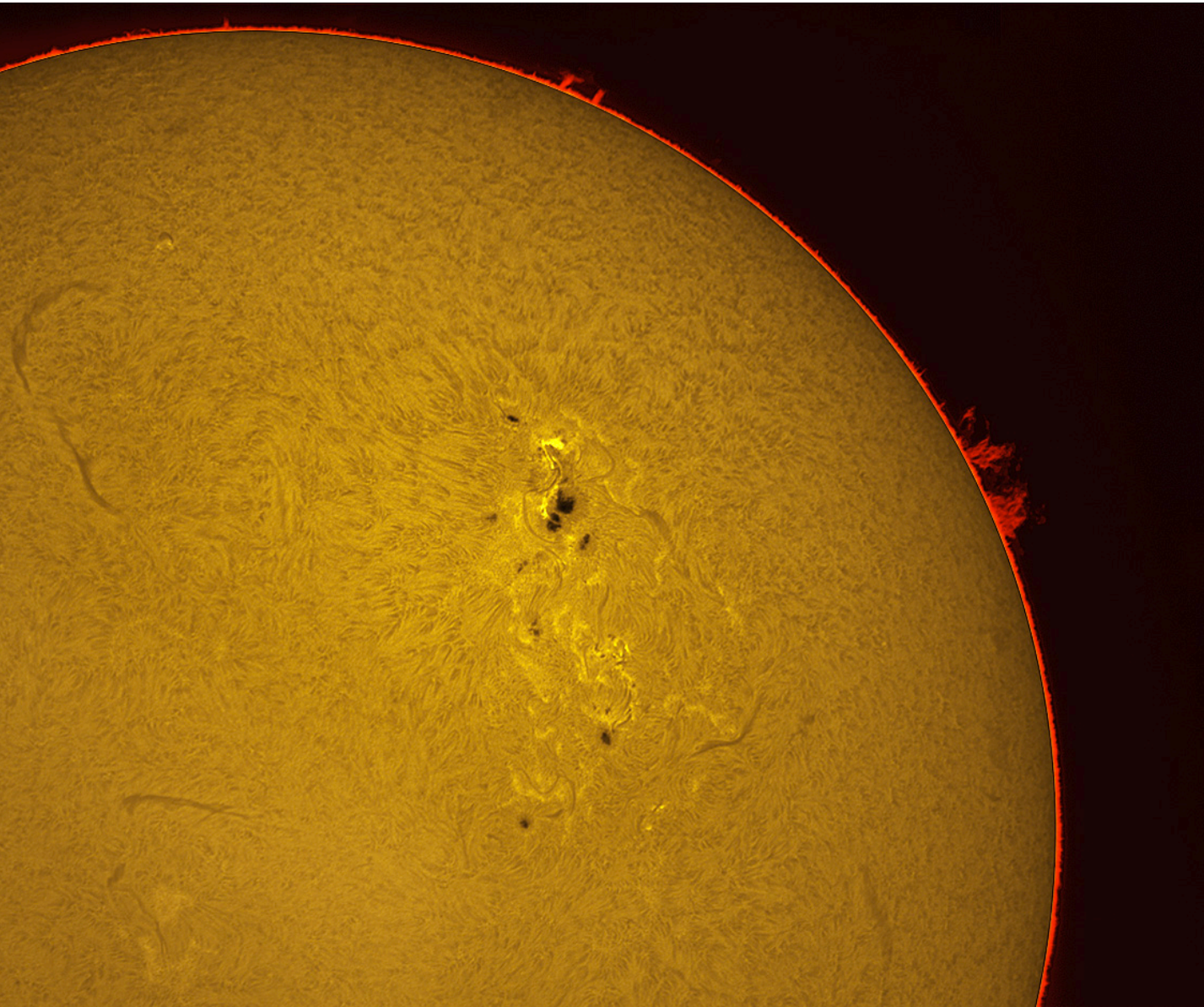
Depth (km)	% Light from this Depth	Temperature (K)	Pressure (bars)
0	99.5	4465	$6.8 \times 10^{-3}$
100	97	4780	$1.7 \times 10^{-2}$
200	89	5180	$3.9 \times 10^{-2}$
250	80	5455	$5.8 \times 10^{-2}$
300	64	5840	$8.3 \times 10^{-2}$
350	37	6420	$1.2 \times 10^{-1}$
375	18	6910	$1.4 \times 10^{-1}$
400	4	7610	$1.6 \times 10^{-1}$

# Fotosféra



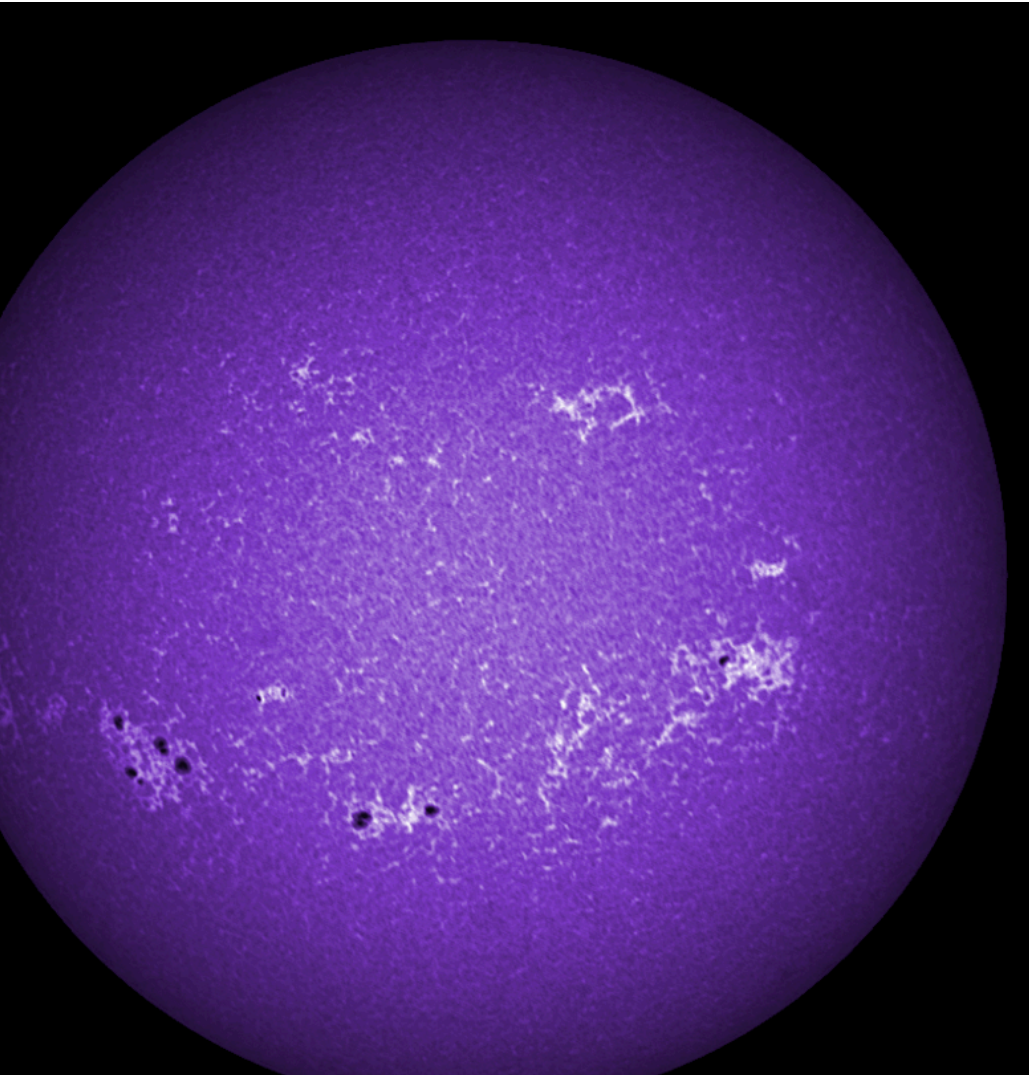


# Chromosféra



- Emisní čáry Balmerovy série vodíku – růžová při zatmění
- Dobře viditelná v H-alfa čáře

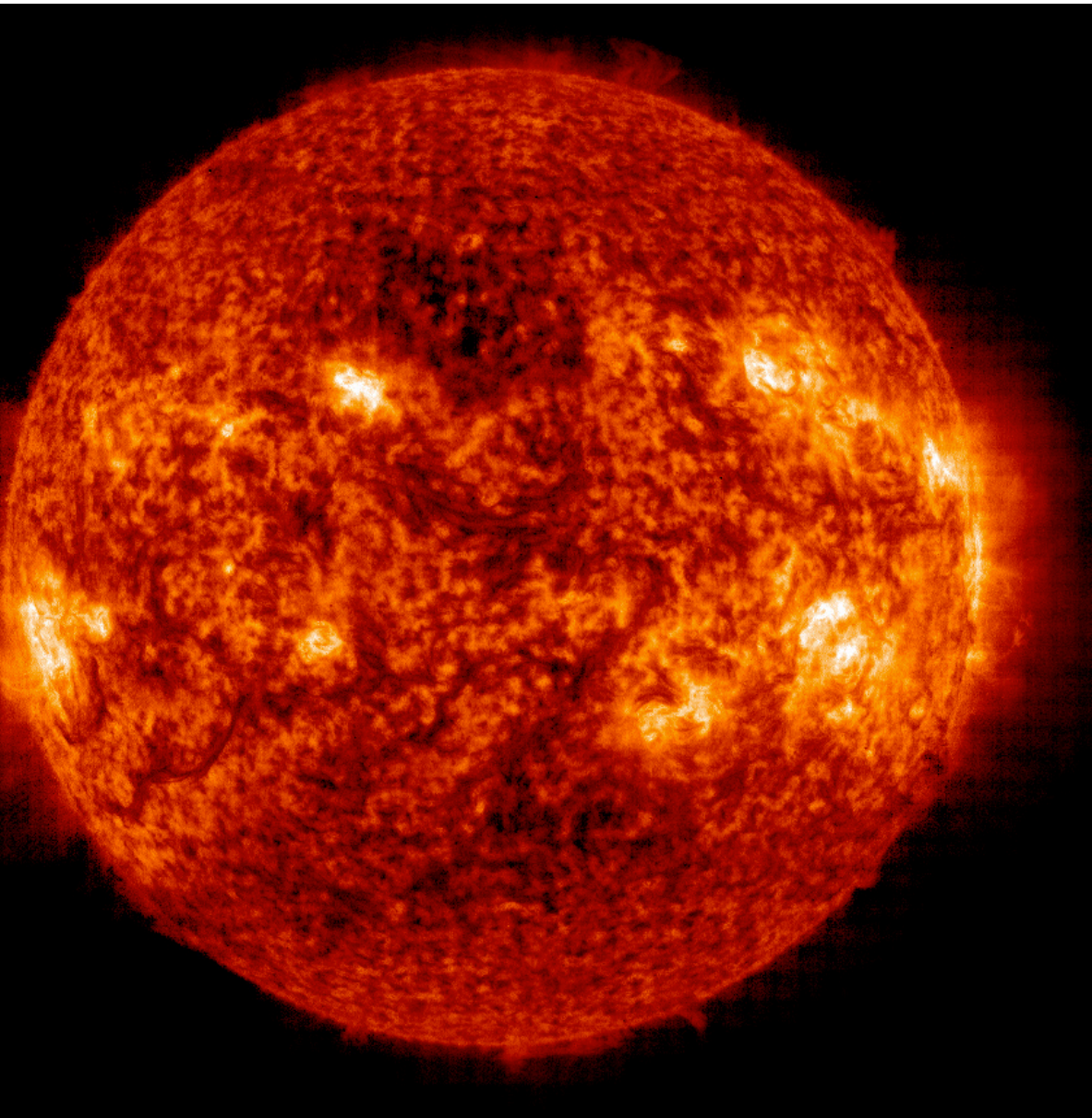
# Chromosféra



- Emisní čáry CaII
  - Vápníková mřížka
  - Označení koncentrovaných magnetických polí



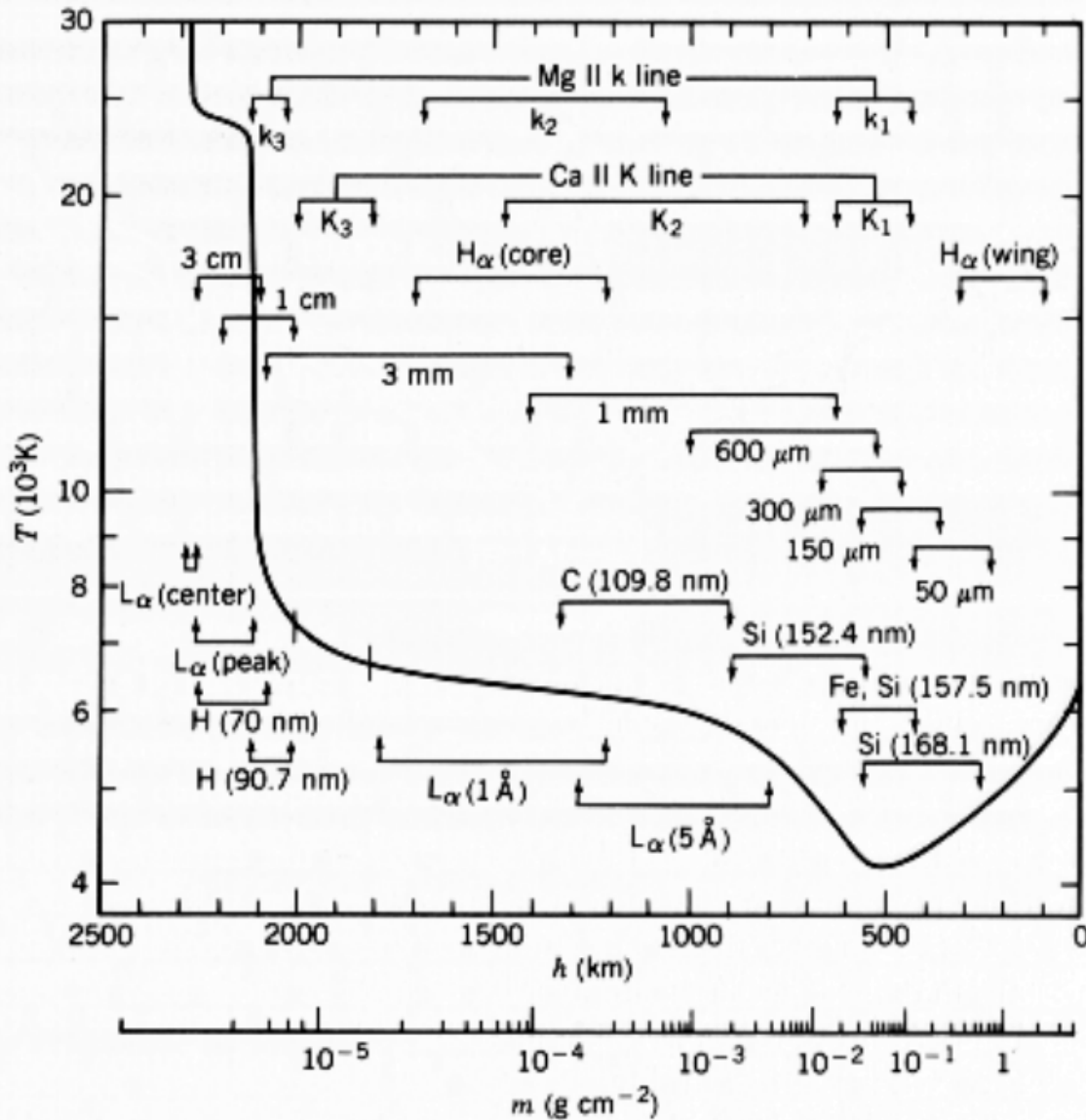
# Přechodová vrstva



- Emisní čáry Hell (30,4 nm)
- $T \sim 30\,000\text{ K}$
- Diskontinuita v teplotě a hustotě
  - $P \sim \rho T$

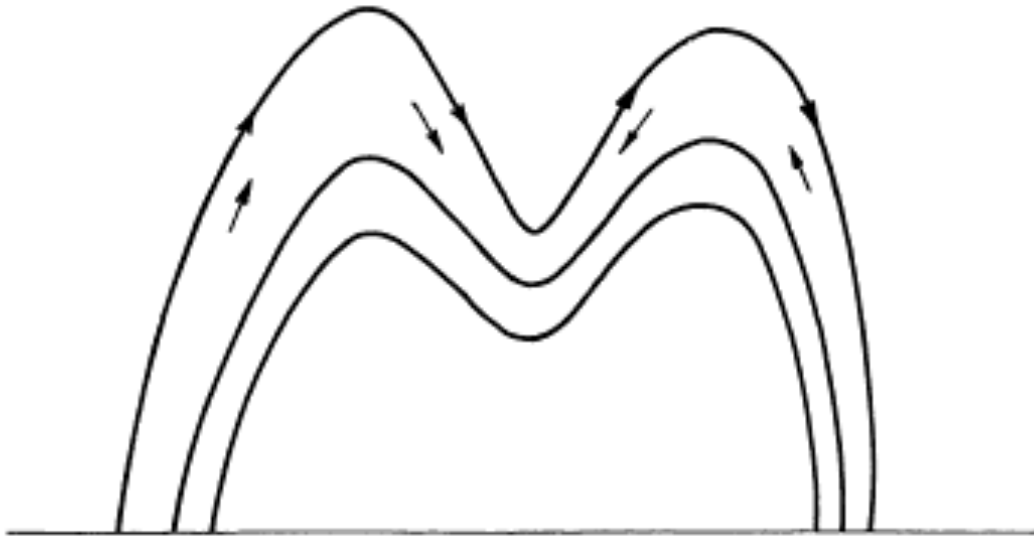


# Standardní model atmosféry



■ VAL (1981)

# Protuberance



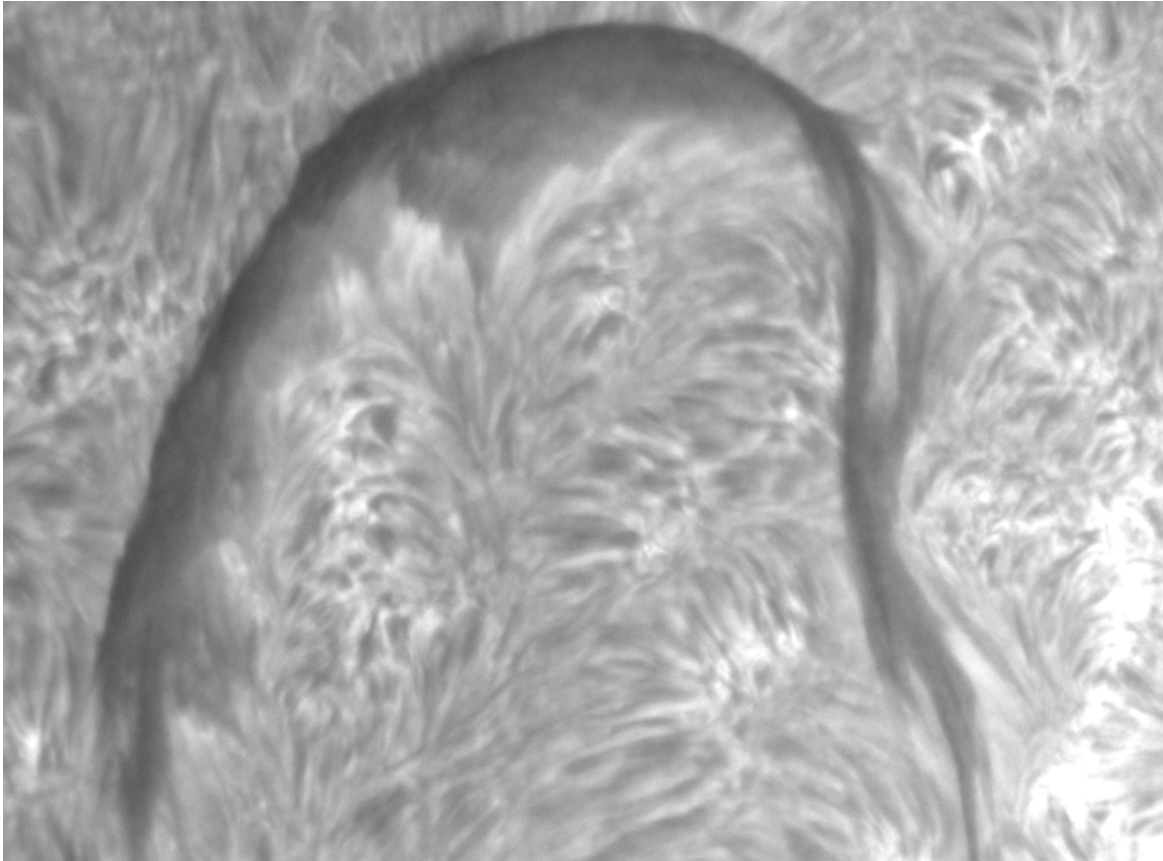
- Magnetic dip – drží vlastní vahou
- Chladnější kvůli narušení tepelné rovnováhy (ztráty s kvadrátem hustoty)
- Standardní model protuberance
  - „Vypařování“ plazmatu v nižší atmosféře, tok nahoru gradientem tlaku uvnitř magnetické smyčky (materiál teče do chladnějších částí)

# Protuberance

- Chromosférický materiál v koróně
- Klidné
  - $B_{\parallel} \sim 10\text{-}100\text{ G}$
  - Kruhově polarizované světlo
- Aktivní
  - $B_{\parallel} > 100\text{ G}$
- Typicky
  - Tloušťka 5000 km
  - Výška 50 000 km
  - Délka 200 000 km
- Rovnováha na tabuli

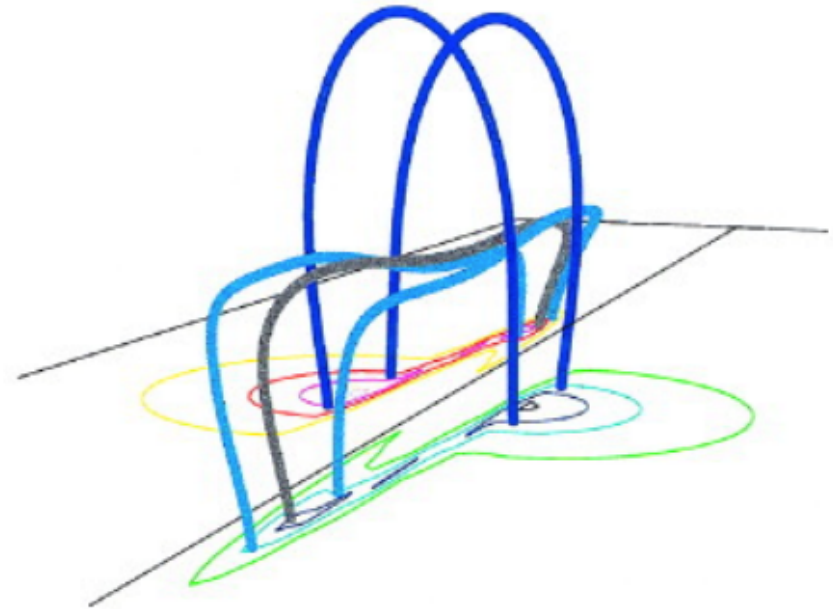
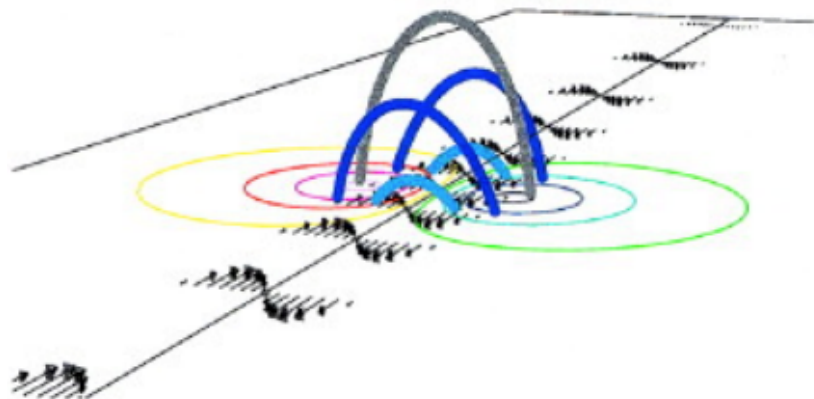
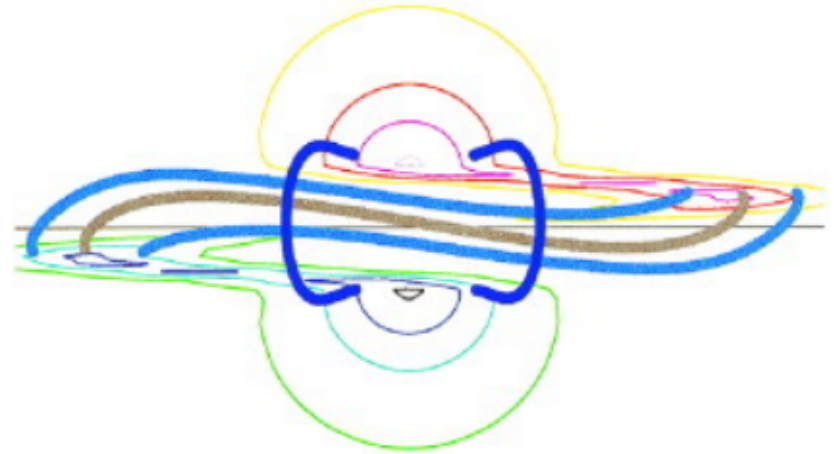
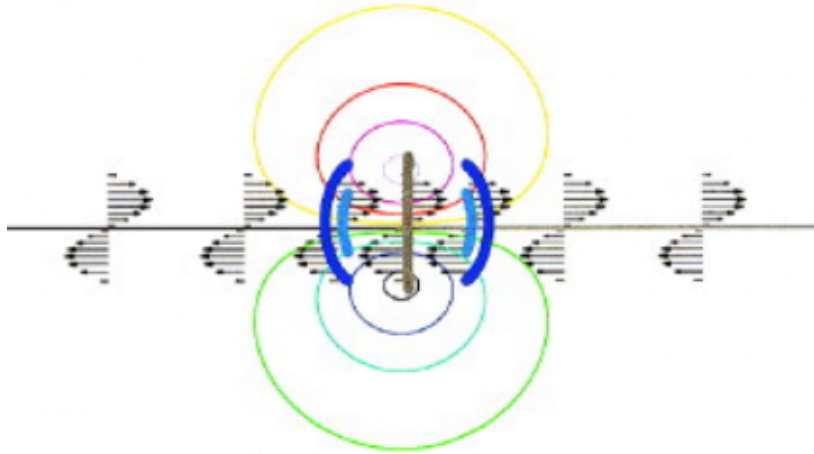


# Filamenty



- Formují se nad PIL (polarity inversion line)
- Mg. pole v nich má helikální strukturu
- Filament = protuberance promítnutá na disk

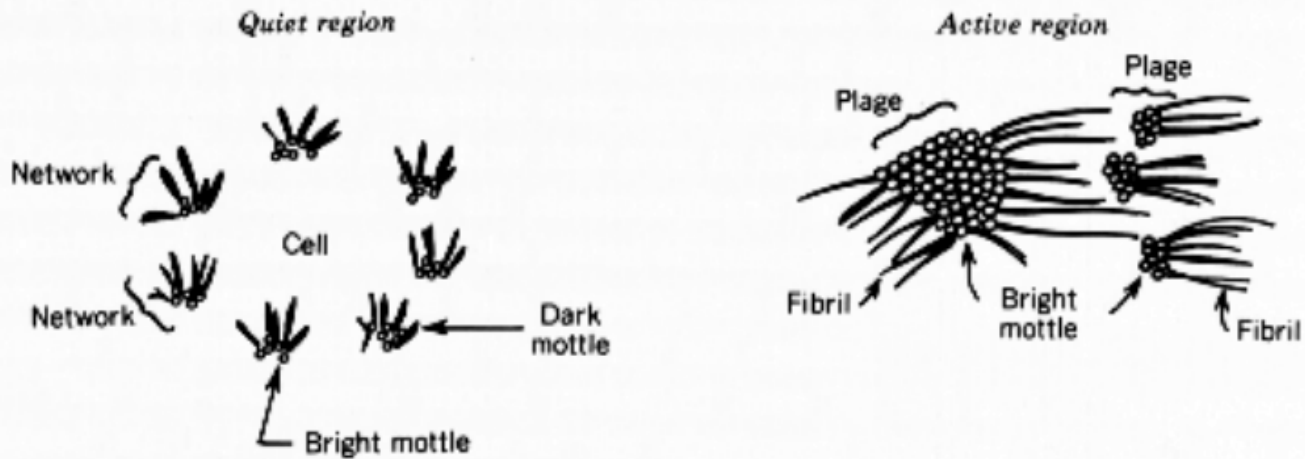
# Model filamentu



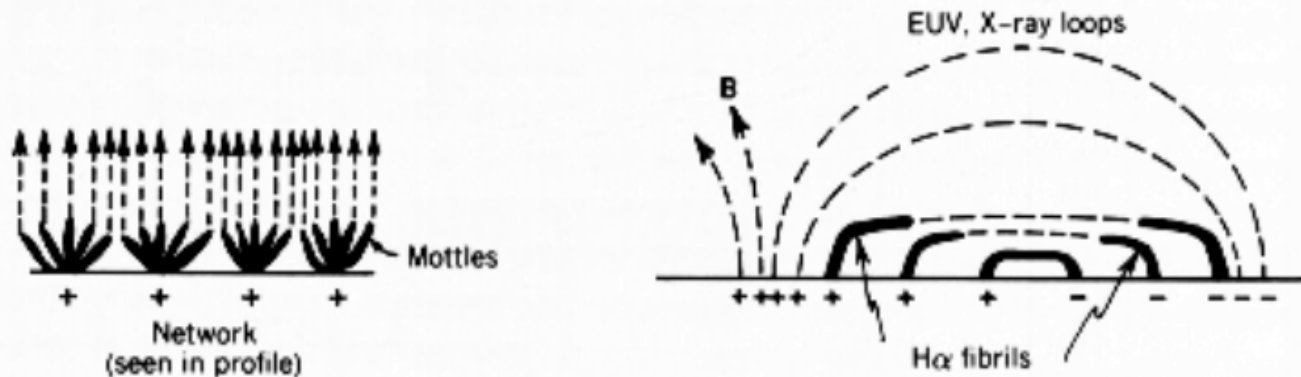
# Chromosférické struktury

## Chromospheric structures

### (a) Morphology

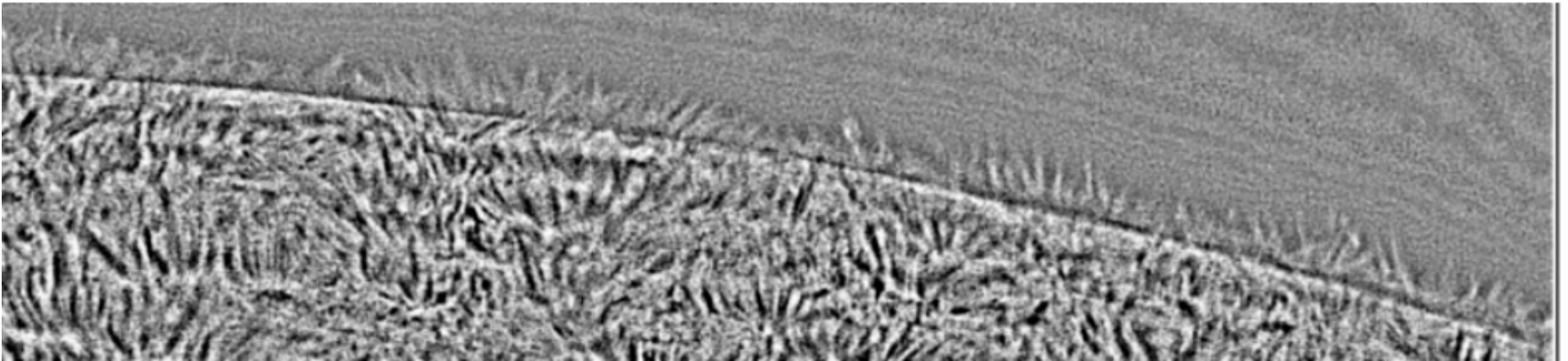
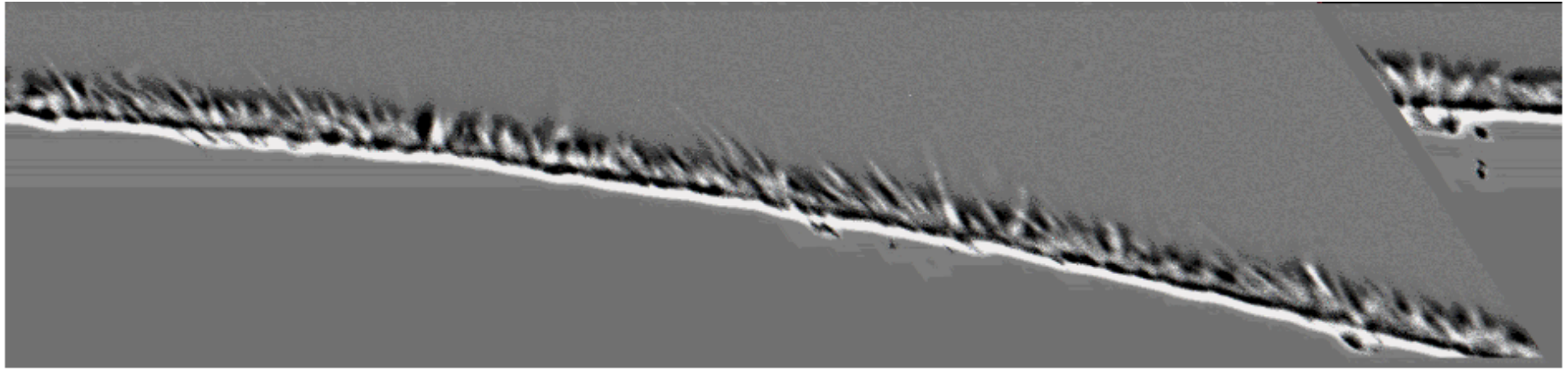


### (b) Magnetic structure



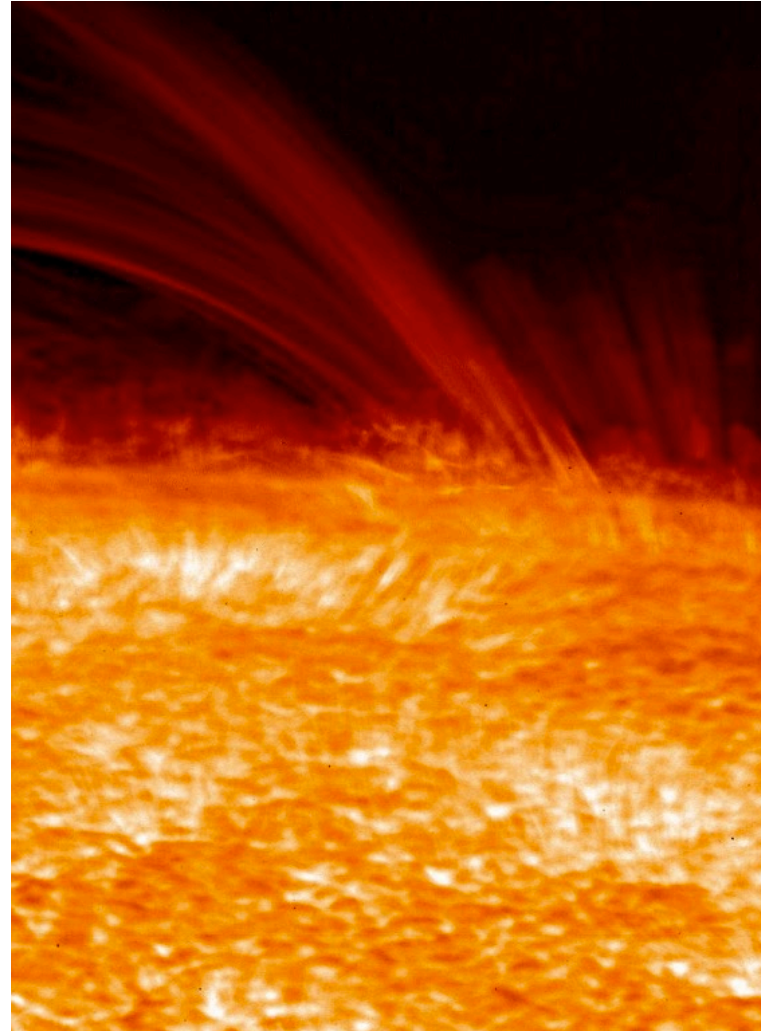


# Spikule

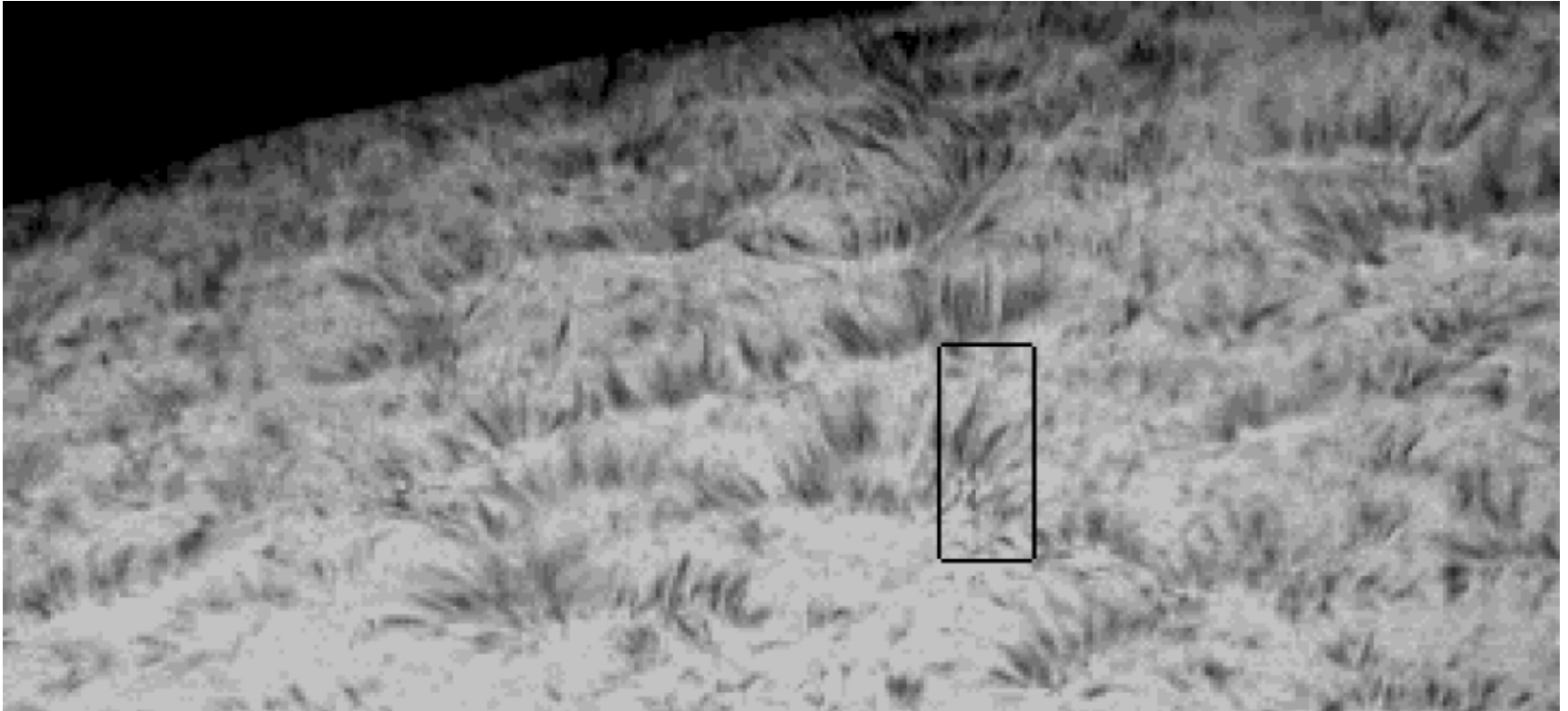


# Spikule

- Výška cca 5000 km, tloušťka méně než 500 km
- Teplota  $10^4$  K, hustota  $3 \times 10^{-10}$  kg/m<sup>3</sup>
- Vertikální rychlosti až 25 km/s
- Totální tok hmoty 100krát více než tok slunečním větrem – zpětný tok, vlastnosti neznámé
- Životnost 5-10 minut
- Makrospikule
  - V polárních oblastech
  - Délka až 20 000 km



# Spikule



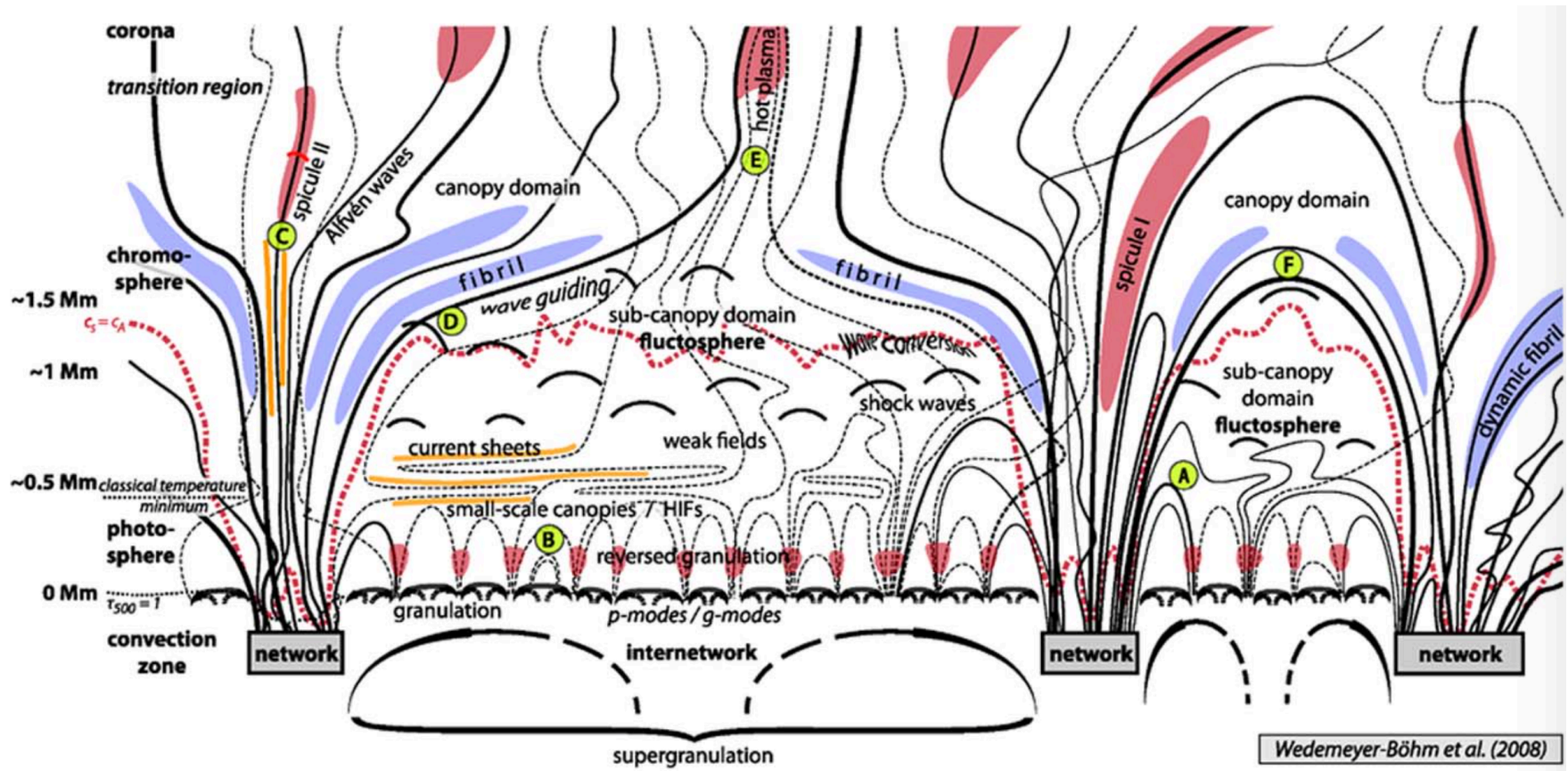


# Dvouvláknové spikule

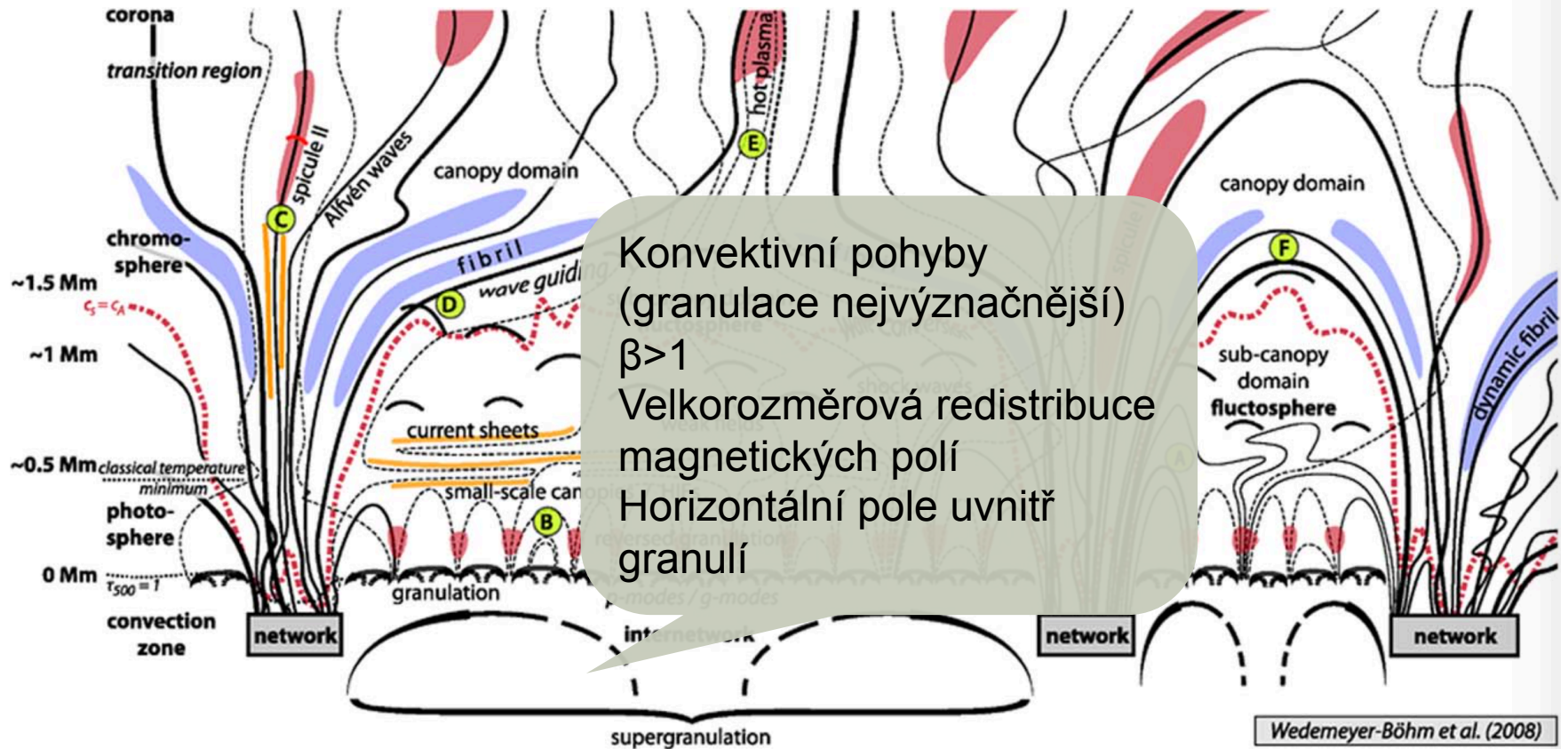


It was found that most spicules show up double thread structure during their evolution. This feature was already mentioned by Tanaka for disk mottles in high resolution H-alpha wing observation (1974) . Therefore it is likely that the spicule and disk mottles in quiet Sun have the same origin. New findings for the spicules are that the separation of the double threads change with time by the spinning as a whole body; repeating phases single and double threads.

# Provázaná atmosféra

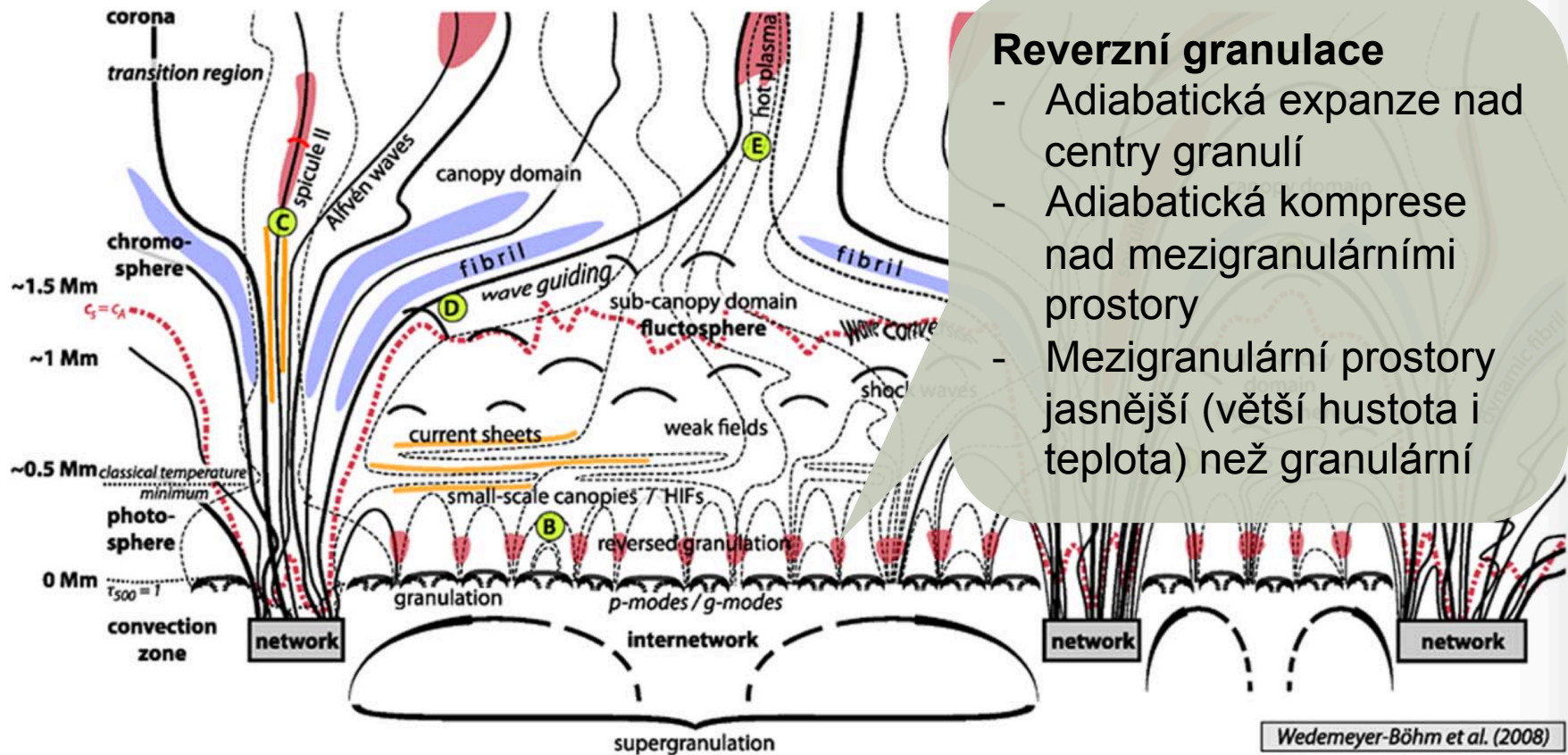


# Provázaná atmosféra





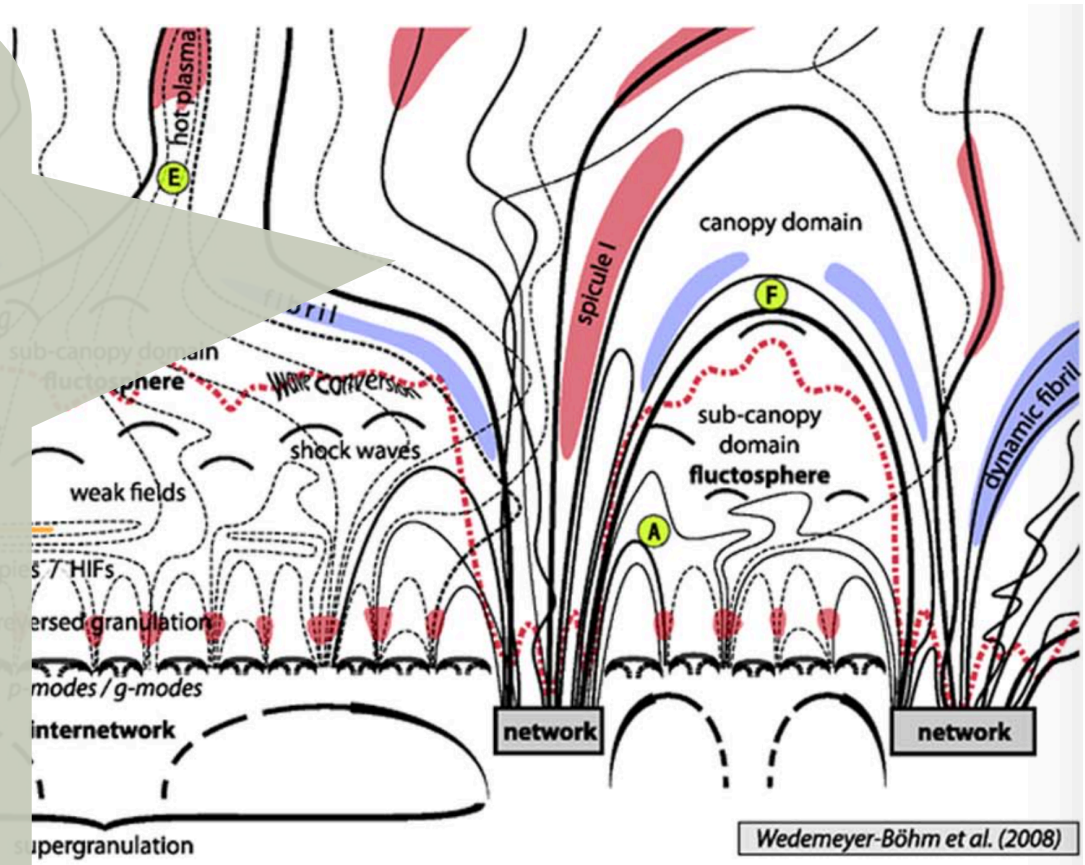
# Provázaná atmosféra



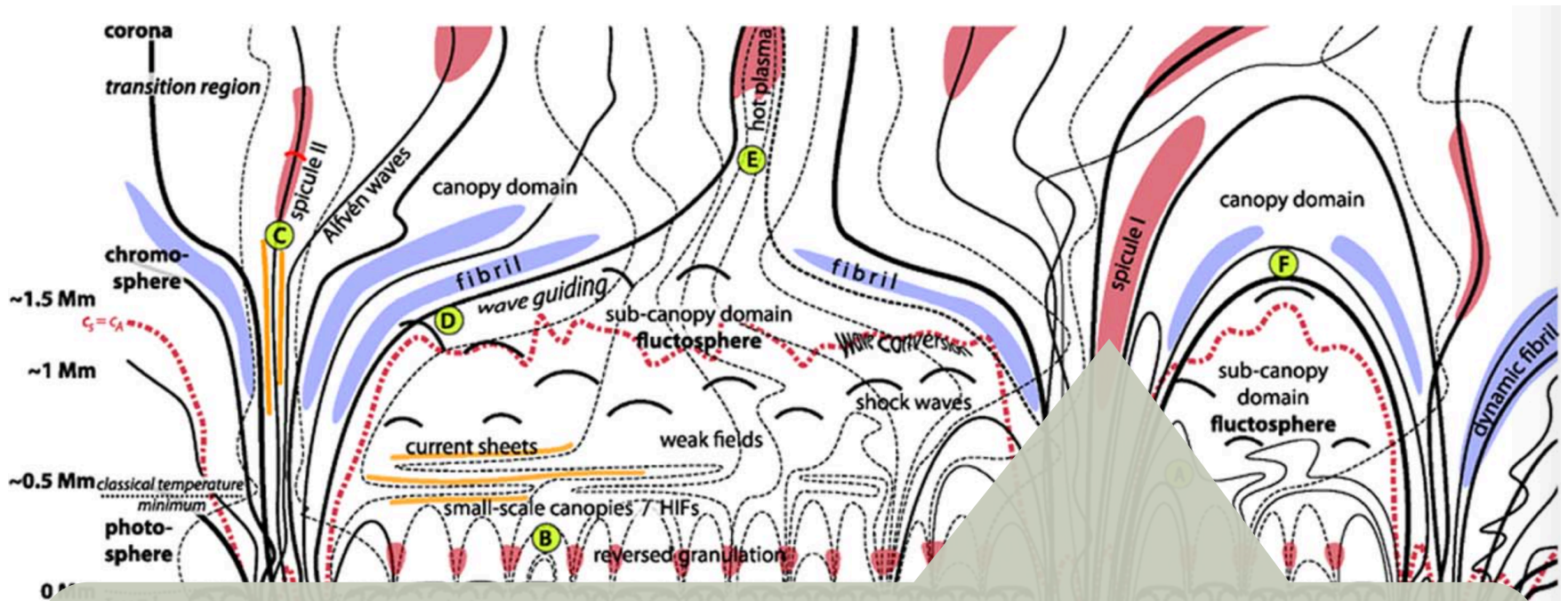
# Provázaná atmosféra

## Canopy domain

- Tvořena velkorozměrovými magnetickými poli
- “Pravá chromosféra”
- MHD vlny (excitované níže)
- Fibrily – chladné plazma v rozpínajícím se magnetickém poli, možná důsledek rázových vln z interakce unikajících oscilací a konvekce z fotosféry
- Ekvipartiční vrstva ( $c_S = c_A$ ) – konverze vln



# Provázaná atmosféra



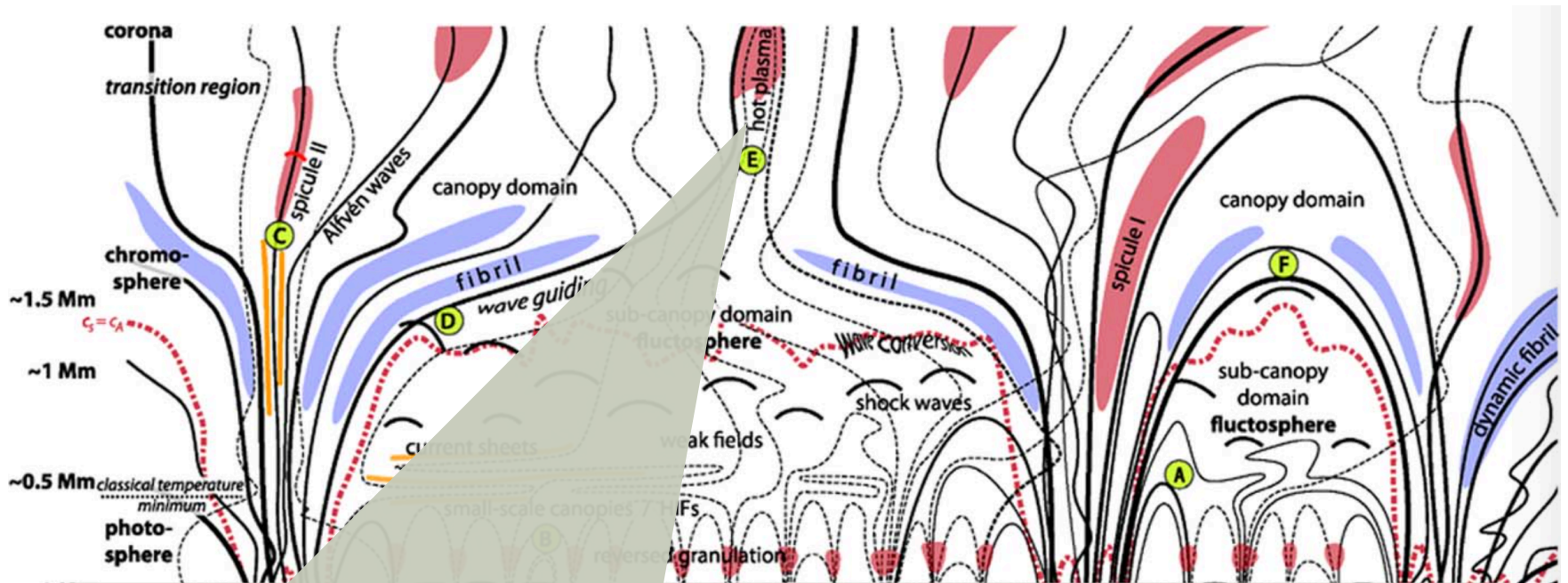
## Spikule

- Typ I: výsledek rázových vln poruchami ve fotosféře (např. zvukovými vlnami) – propagace podél pole z fotosféry do horní vrstev
- Typ II: tenčí, dynamičtější, proměnnější, rychlejší, pravděpodobně důsledky rekonexních procesů. Souvislost s Alfvénovými vlnami

Wedemeyer-Böhm: 2009, Space Sci. Rev. 144, 317



# Provázaná atmosféra



## Koronální mech

- Výtrysky horkého plazmatu, ne nutně nad nejsilnějším polem ve fotosféře
- Obvykle ve spojení s aktivní oblastí

Wedemeyer-Böhm et al. (2009)

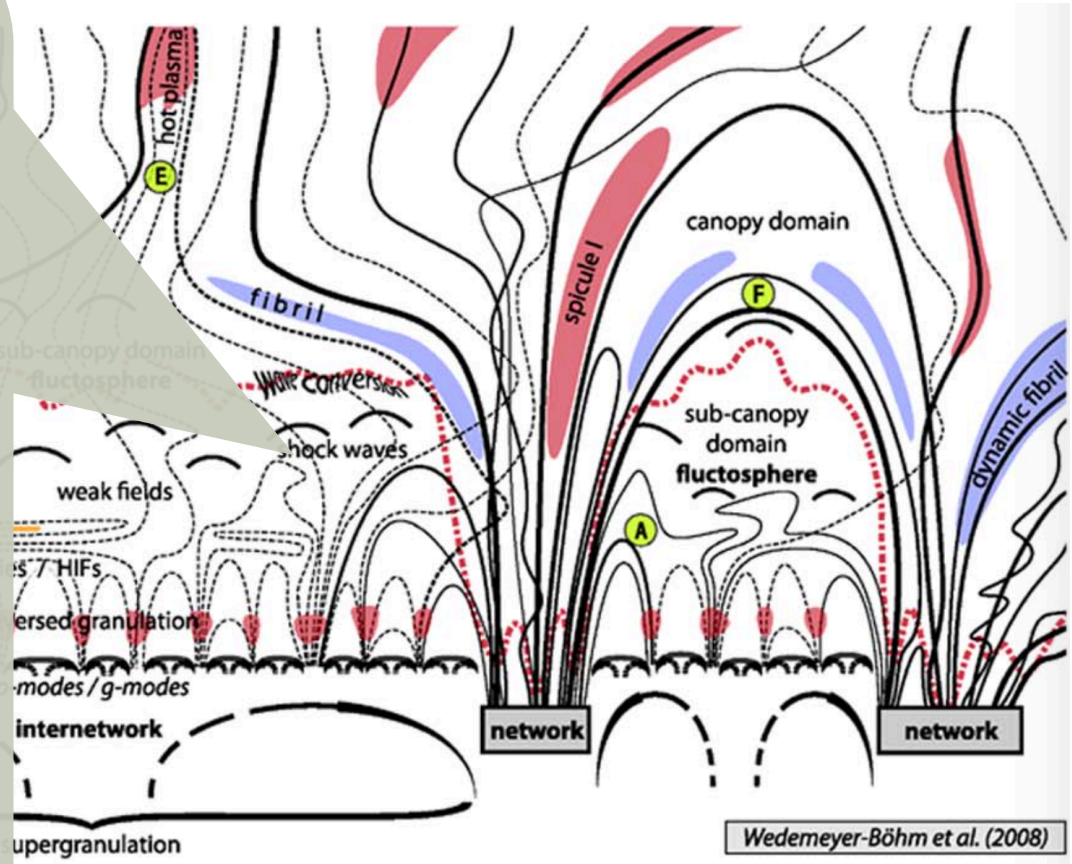
# Provázaná atmosféra

## Subcanopy domain

- Slabé magnetické pole,  $\beta > 1$
- Granulace dominantní jev odpovědný za strukturu, intragranule – silná horizontální pole, formují vrchlíky
- Dynamická
- Reverzní granulace
- Přechod z konvekční dominantované vrstvy do vrstvy dominantované vlnami

## Fluktosféra (=klapotisféra)

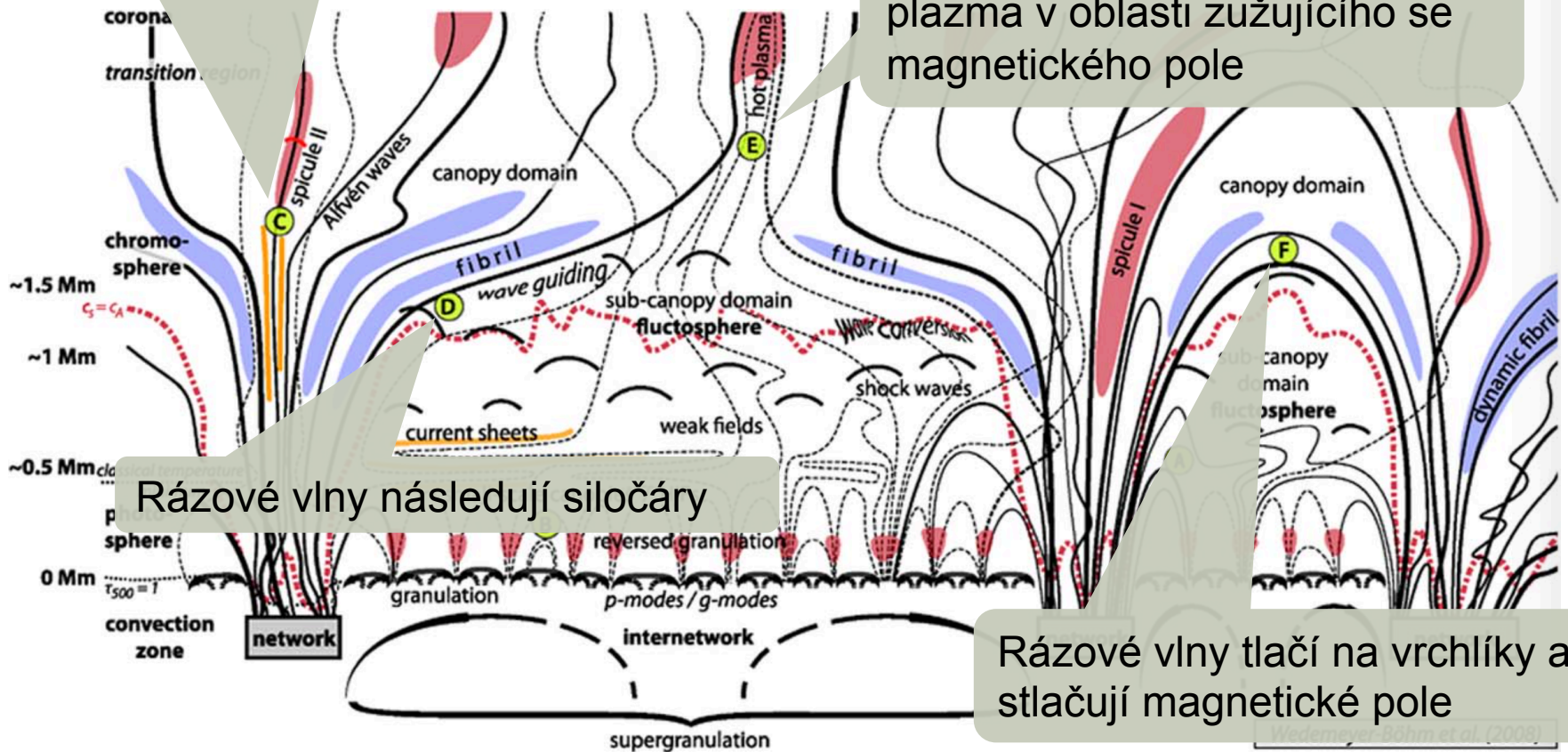
- Dominovaná rázovými vlnami
- Refrakce a konverze vln na ekvipartiční vrstvě



# Provázaná atmosféra

Proudová vrstva: rekonexe

Rázové vlny stlačují a ohřívají plazma v oblasti zužujícího se magnetického pole



Rázové vlny následují siločáry

Rázové vlny tlačí na vrchlíky a stlačují magnetické pole



# Ponaučení

- Atmosféru lze vnímat jedině jako celek, nikoli po vrstvách
  - S fotosférou se takto často zachází, avšak jeden z modelů supergranulace předpokládá, že tato konvektivní škála je kvůli selforganizaci mg. pole ve vyšší atmosféře
- Statické modely atmosféry budou vždy nepřesné
- Náročné na výpočetní techniku – krátkých časový krok (protože rázové vlny), velké rozlišení (protože malé magnetické elementy), velké boxy (protože různé škály konvekce)