

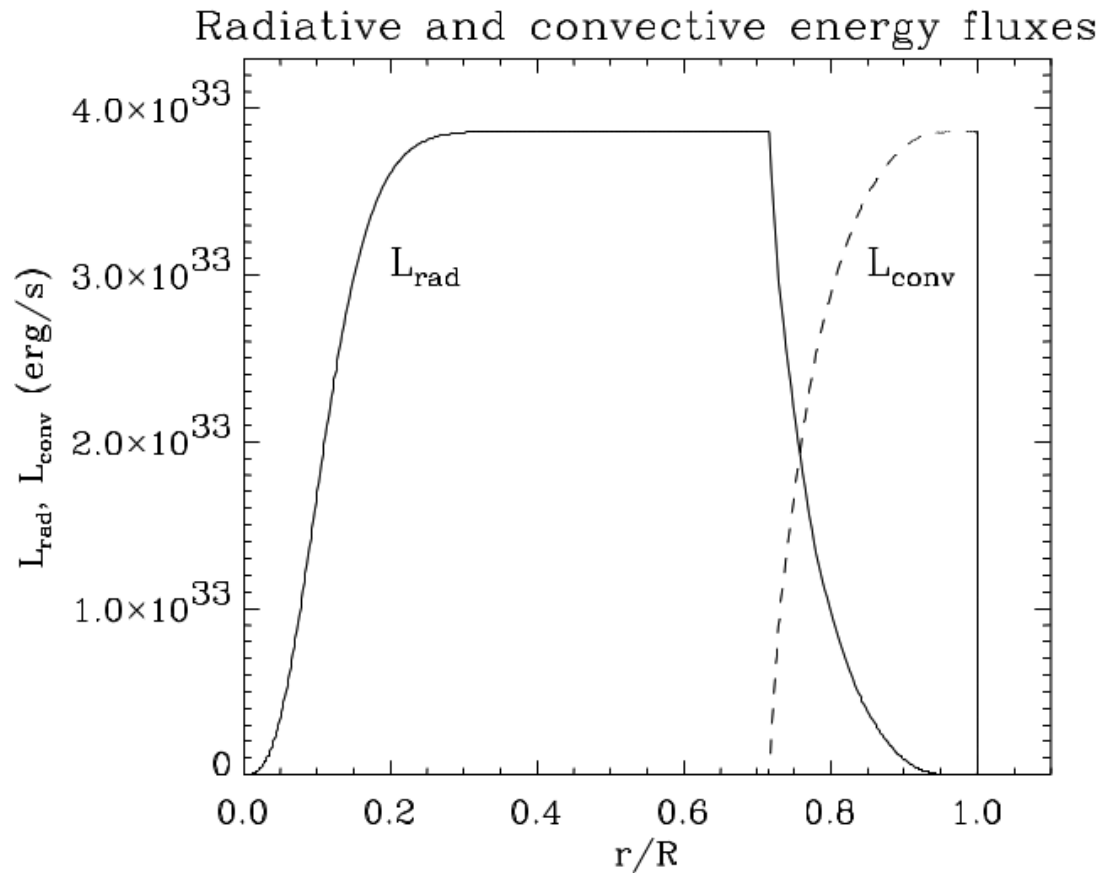
3. Konvekce ve Slunci

Michal Švanda
Sluneční fyzika LS 2013/2014

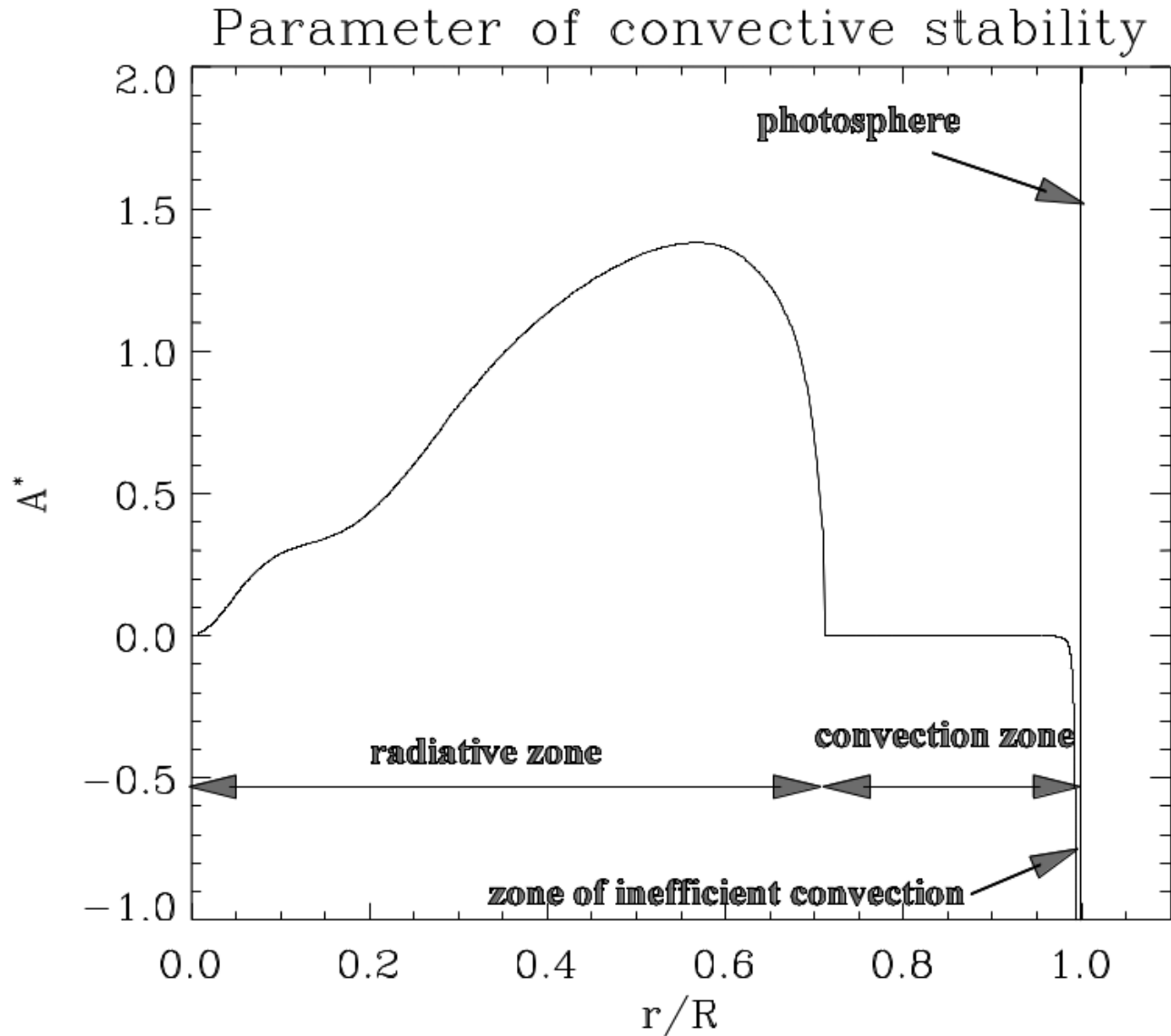
Vznik konvekce na Slunci

- 500 Mm od centra: přenos zářením, difúze fotonů volně-volnými rozptyly
- 500 Mm od centra, teplota pod 2,5 MK, objevují se vázaně-volné přechody, nárůst opacity
 - Nástup konvekce
 - Nízká viskozita, velká hustota, velký teplotní gradient – parametrický režim konvekce, jejíž fyzika není zcela zřejmá
- Většina konvektivní zóny je mírně stratifikována, nicméně těsně pod povrchem prudký pokles teploty, vodíkové a héliové ionizační zóny nastavují různé škály turbulentní konvekce

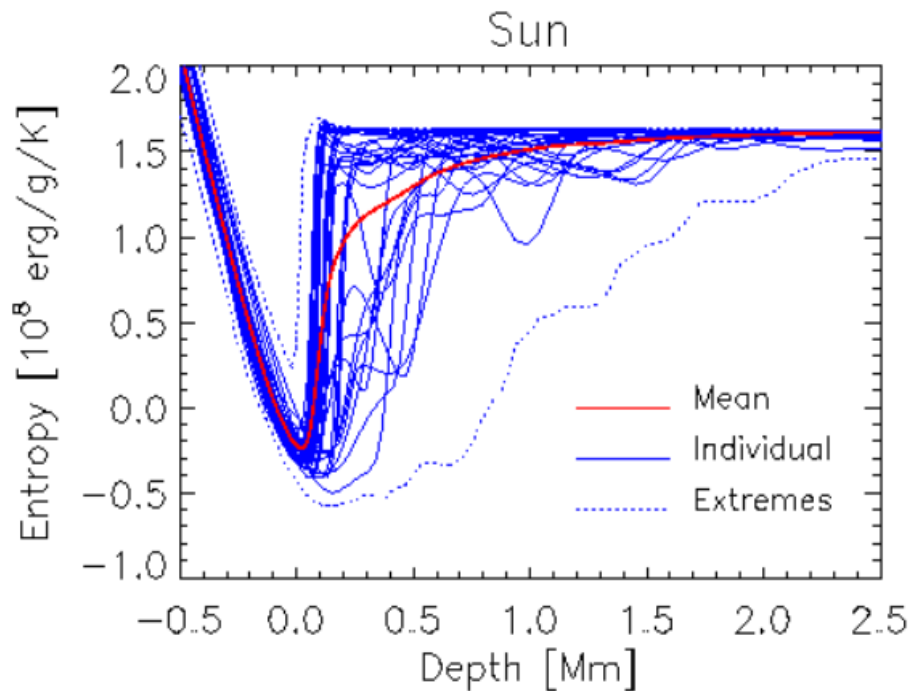
Záření nebo konvekce?



Ledouxův parametr v nitru

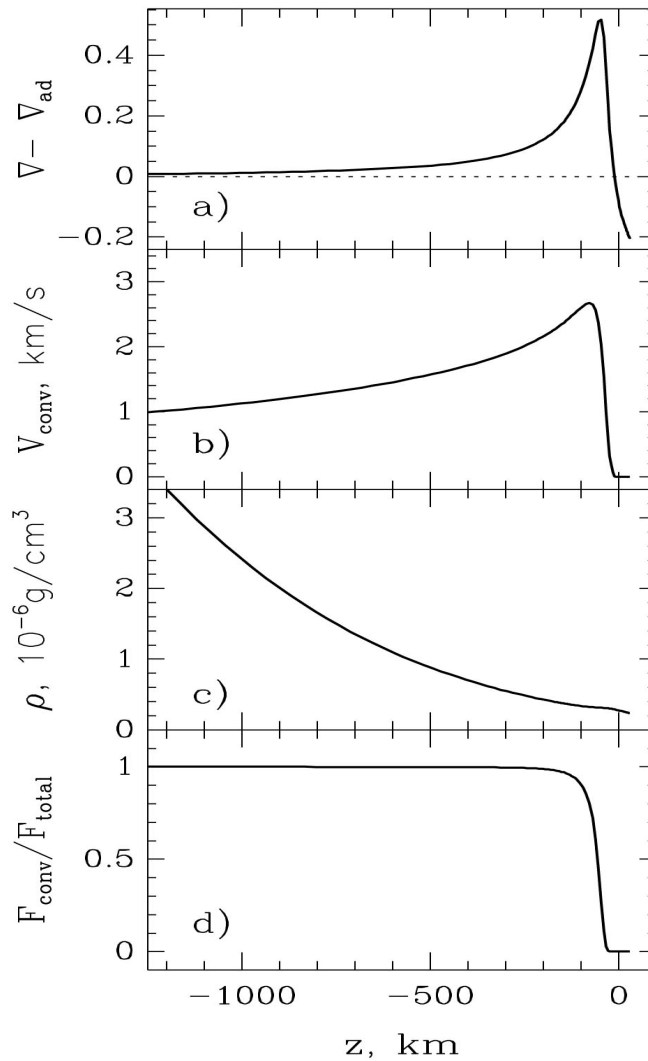


Superadiabatická zóna



- Hluboká konvekce téměř adiabatická
- Povrchové vrstvy dominovány zářivými ztrátami
- Přechodová vrstva je turbulentní, kde přenosu energie dominuje superadiabatický gradient
- Problém modelovat: zářivá (neefektivní) konvekce

Podpovrchové vrstvy



□ $\nabla - \nabla_{ad}$

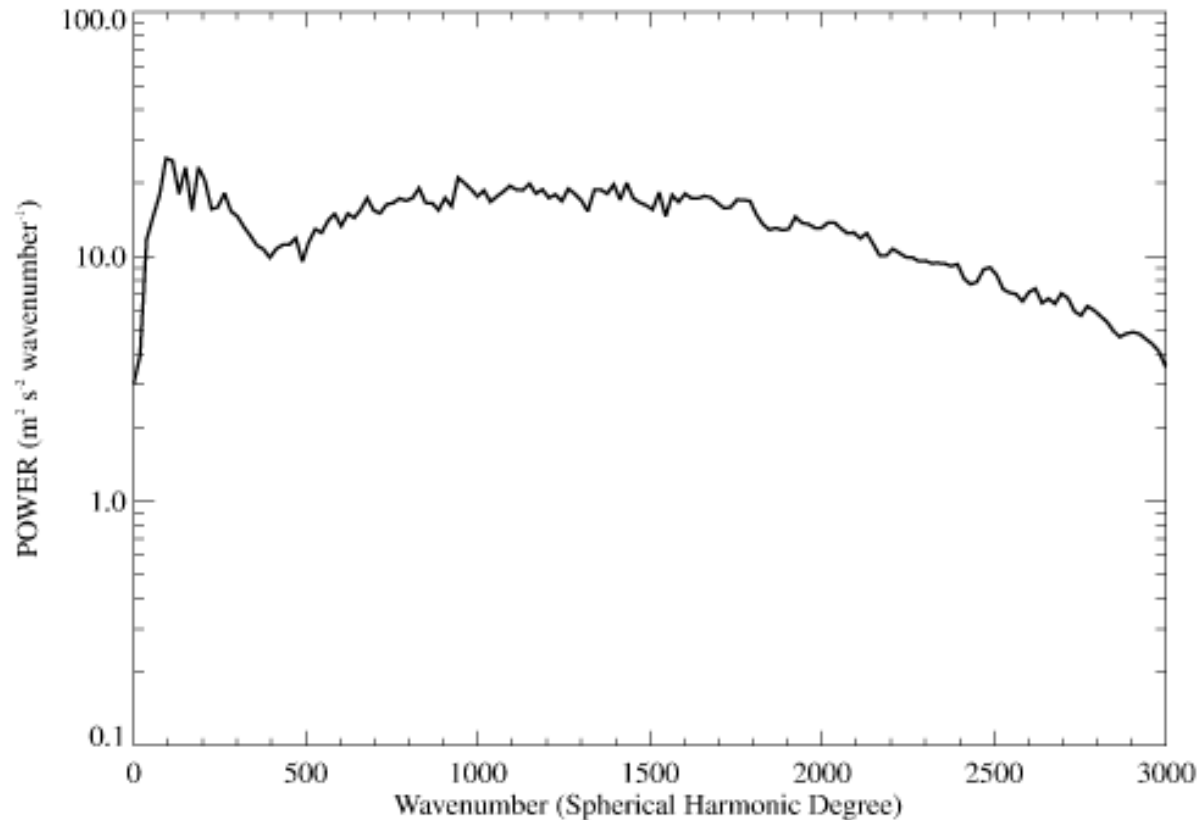
□ Konvektivní rychlost

□ Hustota

□ F_{conv}/F_{total}

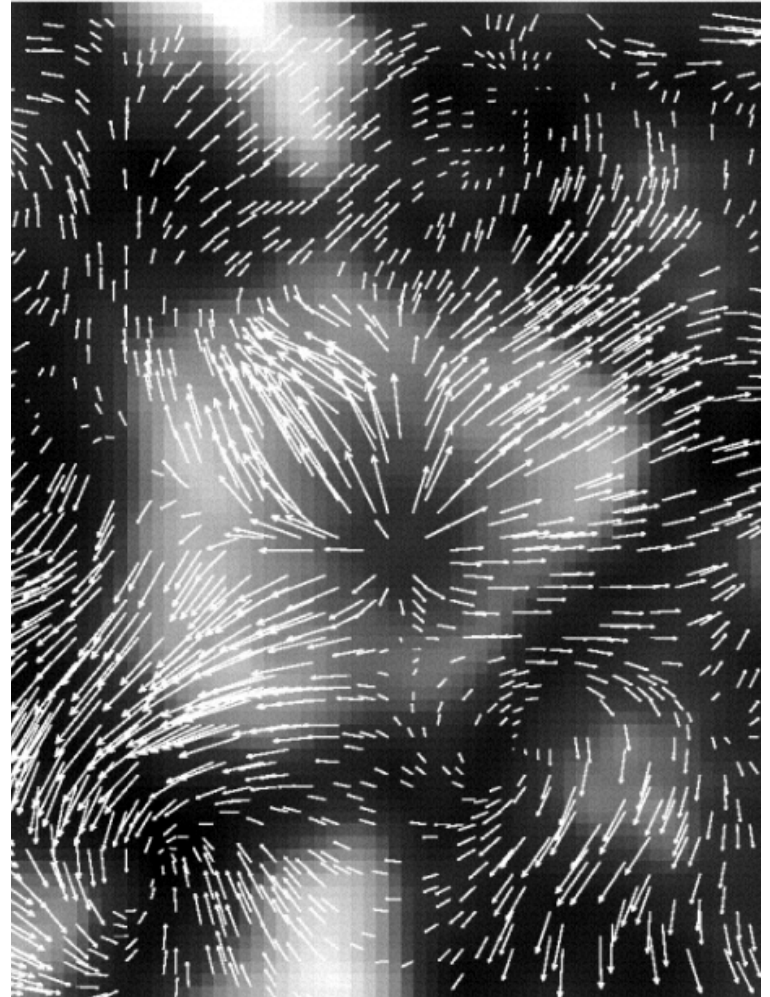
Fotosférické konvektivní spektrum

- Fotosférické konvektivní spektrum je spojité, ale obsahuje dva vrcholy kolem $l \sim 120$ a $l \sim 3000$

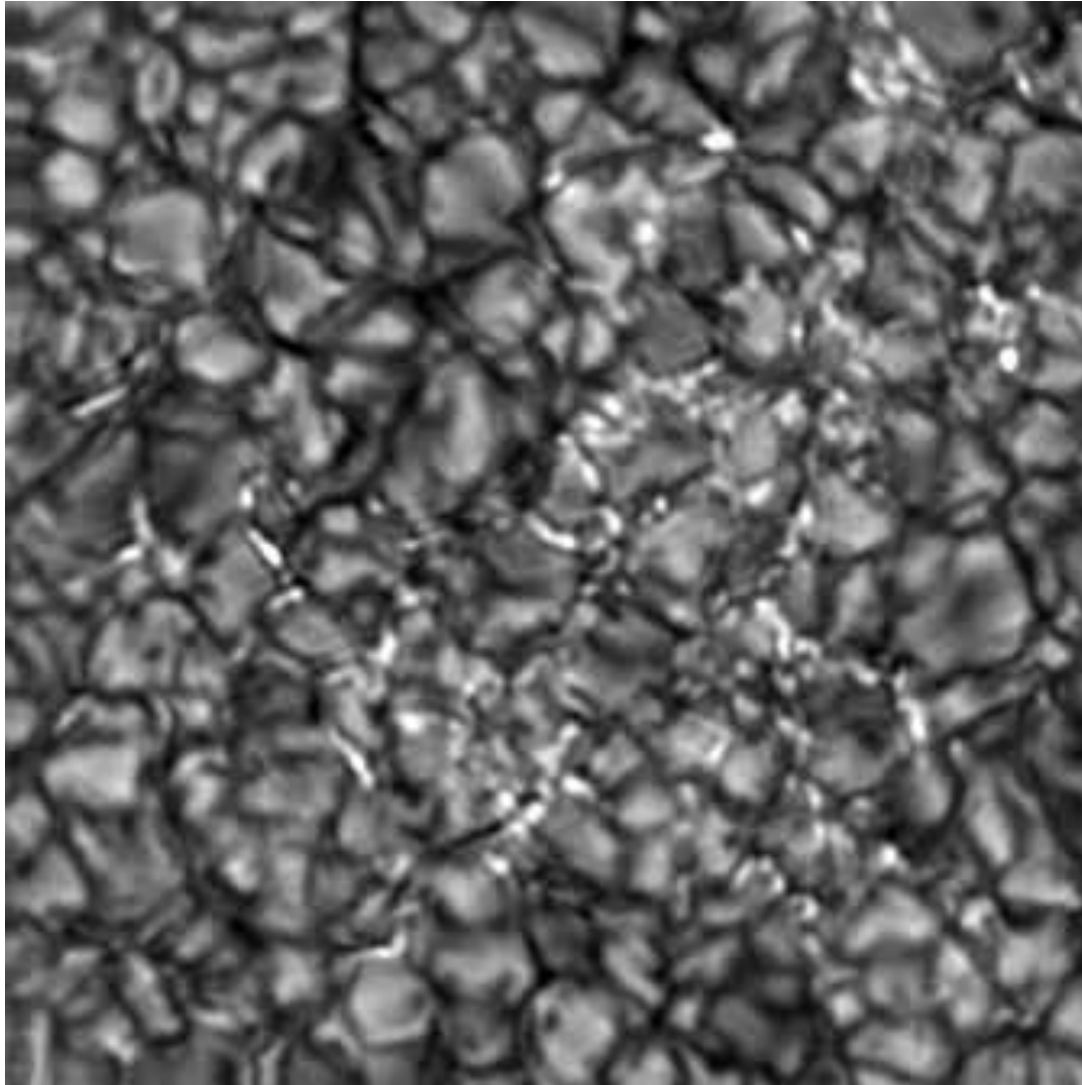


Granulace

- 1 Mm
- 3-17 minut
- Mělké
- Velké rychlosti (až km/s)
- Teplejší uprostřed, chladnější k okrajům
- „Explodující granule“
- Objevitel W. Herschel (1801 – horké mraky nad chladným povrchem), Nasmyth (1865 na správné cestě k interpretaci)



Granule

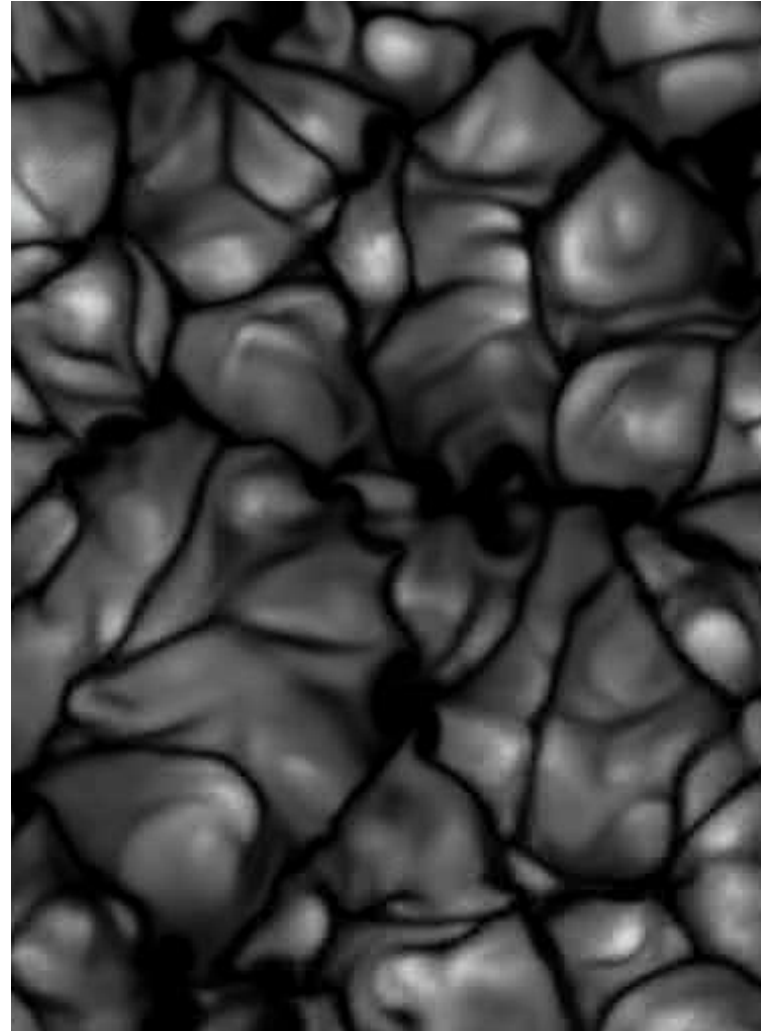


Teorie granulace

- Na tabuli

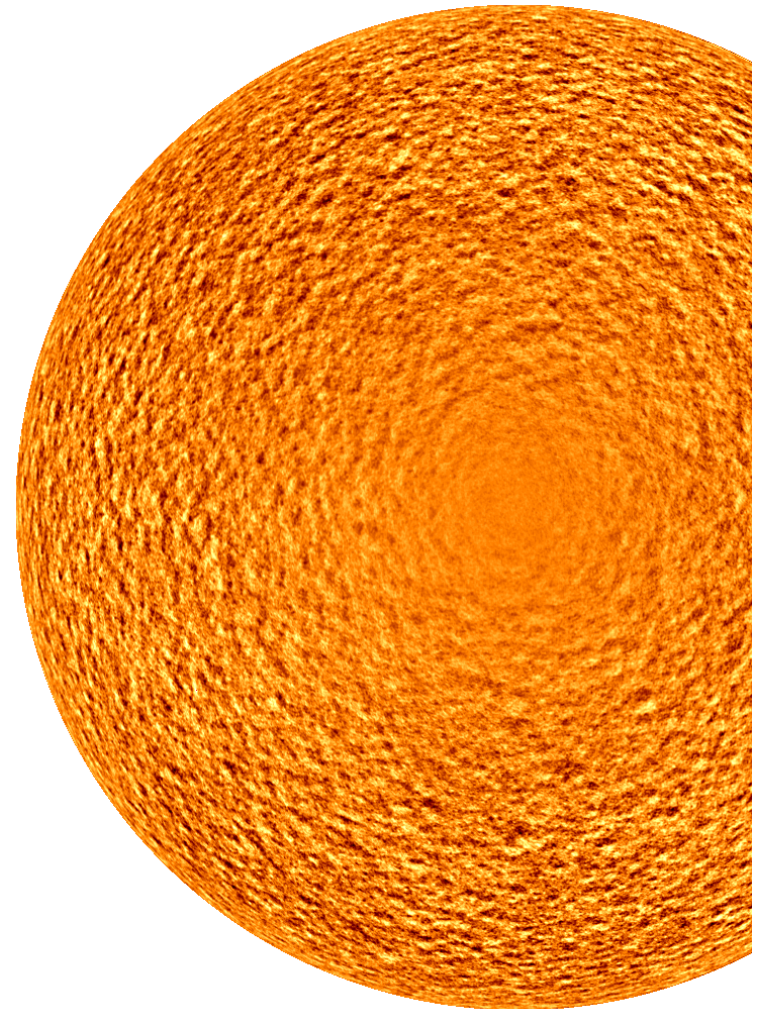
Mesogranule

- ~6 Mm
- ~1 hodina
- Formovány explodujícími granulemi
- Není jasné, zda vůbec existují



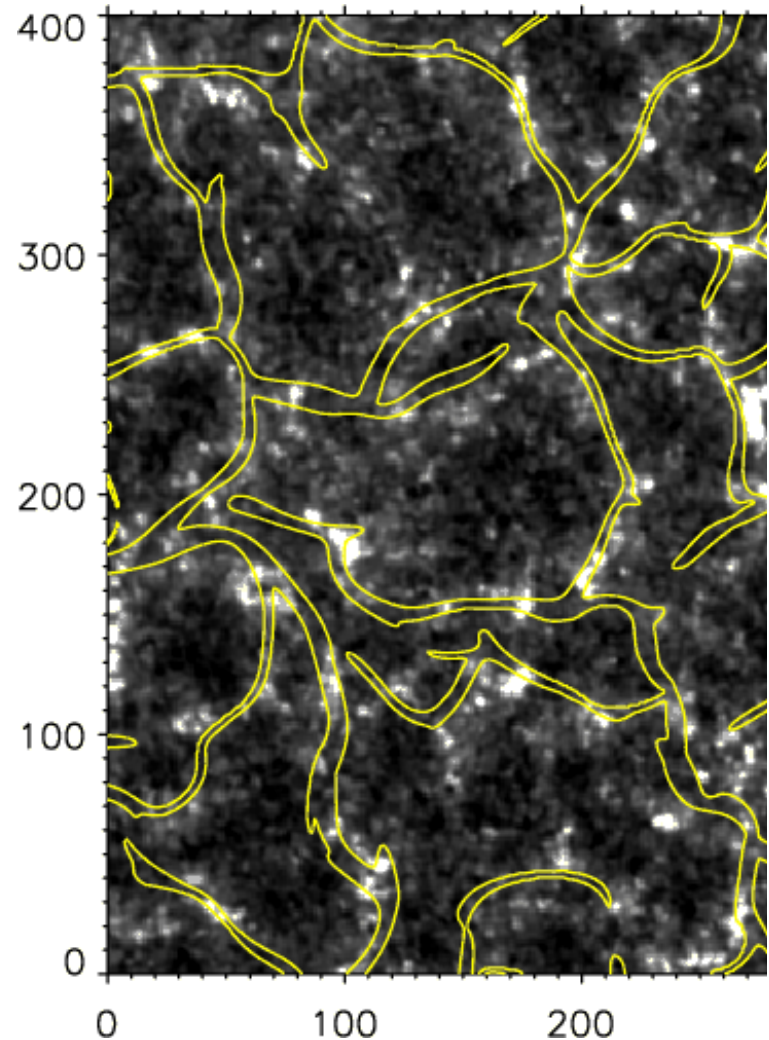
Supergranulace

- 30 Mm
- ~ 24 hodin
- Horizontální rychlostní pole (300 m/s vs. 20 m/s)
- Koncentrují magnetické pole na svých hranicích
- Mizerná tepelná fluktuace střed-okraj 5 K (se stejnou chybou)

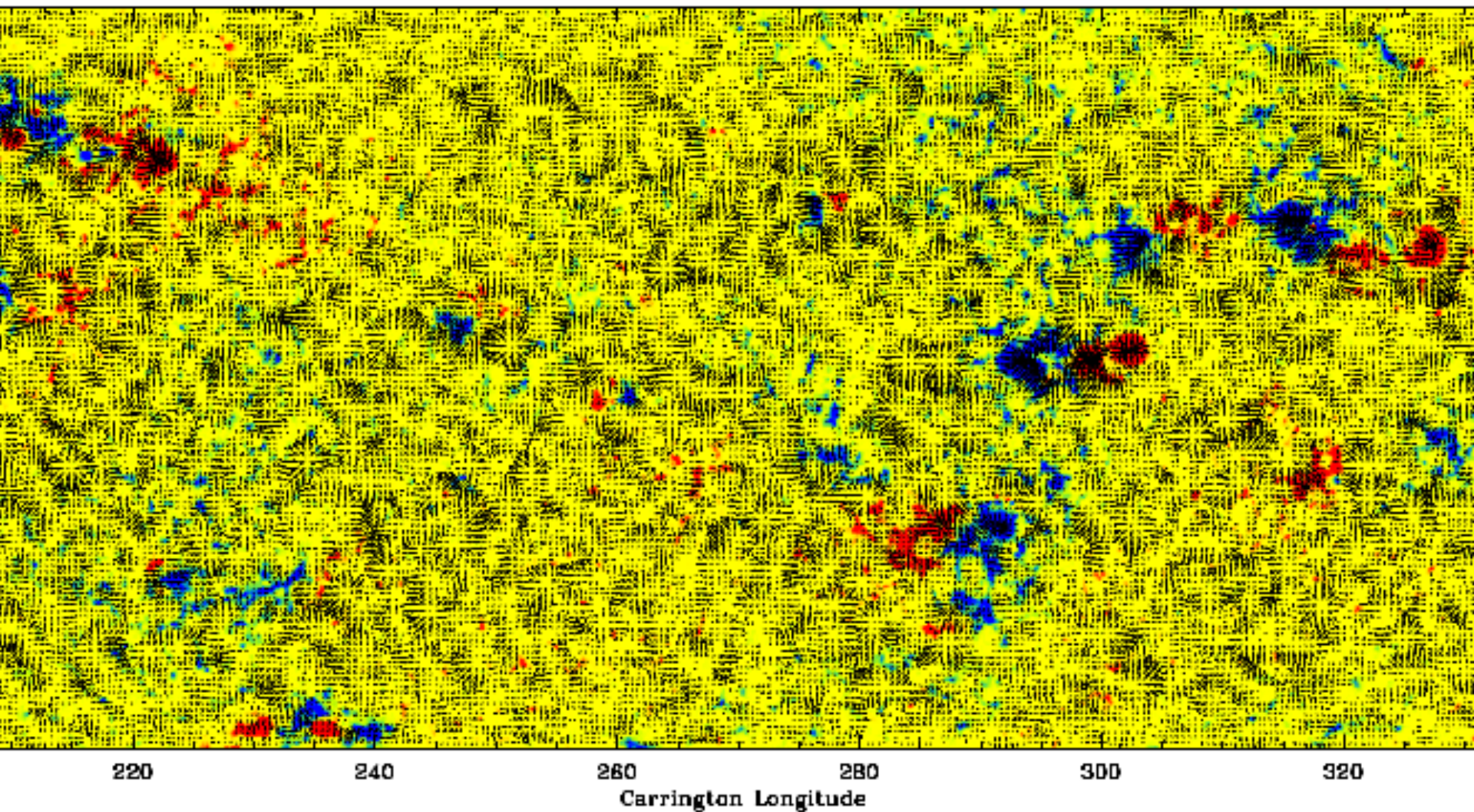


Supergranulace: Původ

- Konvekce
 - $\text{He}^{2+} \rightarrow \text{He}^+$ cca 10 Mm hloubka, uvolněné teplo způsobuje nestabilitu
- Magnetokonvekce
 - Magnetické pole reguluje podpovrchovou konvekci, tedy nastavuje prostorovou škálu
- Termální vítr
 - Samoorganizující se slabé elementy tvoří síť (“tlakové níže”), ustanovuje se rovnováha
- Hydrodynamicky řízený jev
 - Sestupné proudy granúl se v hloubce spojují, nastavují supergranulární sestupné proudy a tudíž nový mod proudění

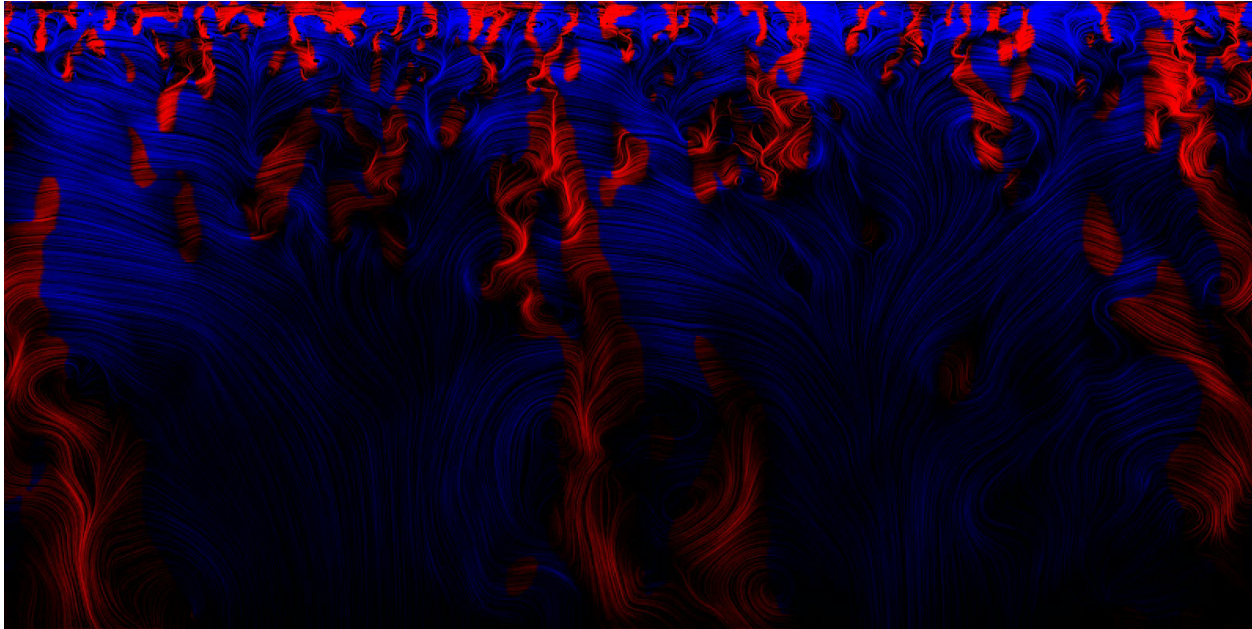


Supergranule z helioseismologie



Supergranule: deziluze

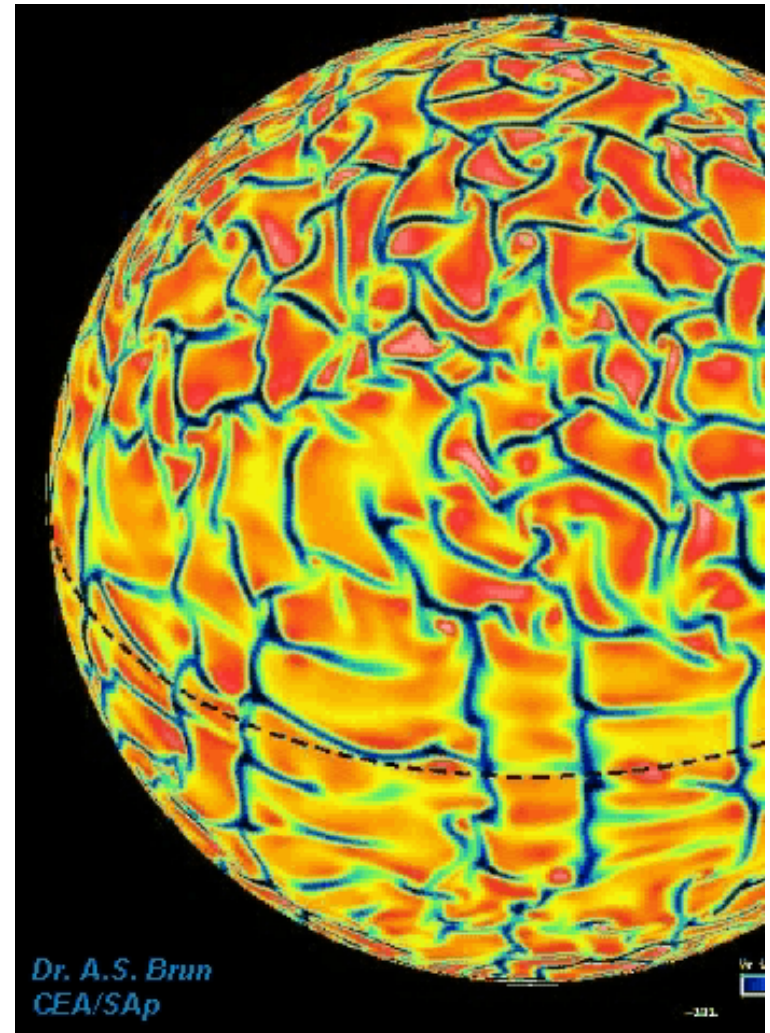
- Numerické simulace se všemi ionizačními zónami: žádné supergranule: konvektivní spektrum spojité
 - Nemohou být čistě konvektivním jevem!



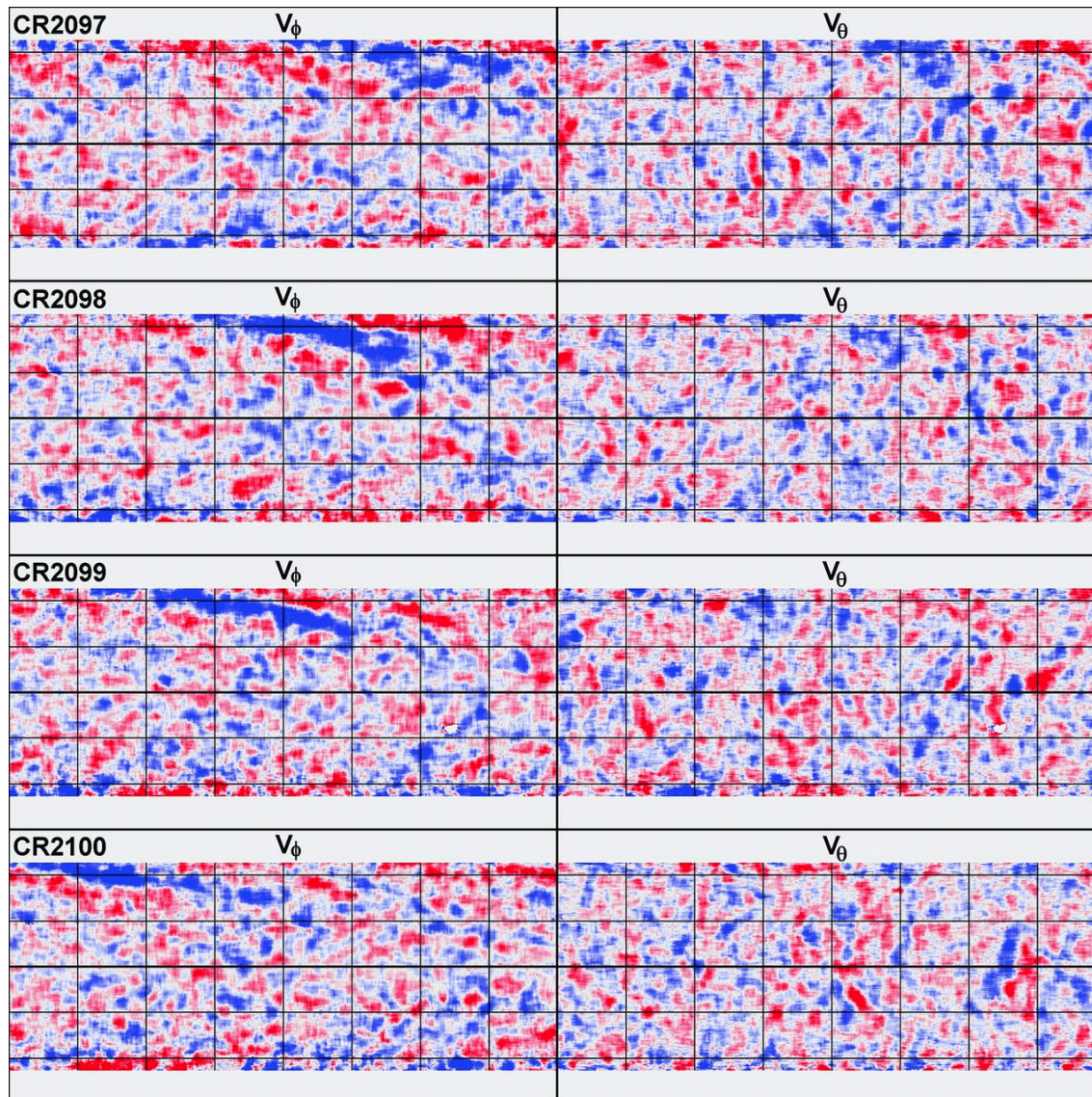
- Supergranulace se pohybují rychleji než plazma, jímž jsou tvořeny
 - Je to vlna?

Obří buňky

- Kontroverzní
- ~ 100 Mm
- ~ 7 dní
- Pomalé horizontální pohyby
~10 m/s
- Objevují se v numerických
simulacích
- Pozorování obtížná



Hathawayovy buňky?



Alternativní konvekce?

- Spruit (2003) – ochlazování na povrchu je driverem