

Rotace Slunce, souřadnice

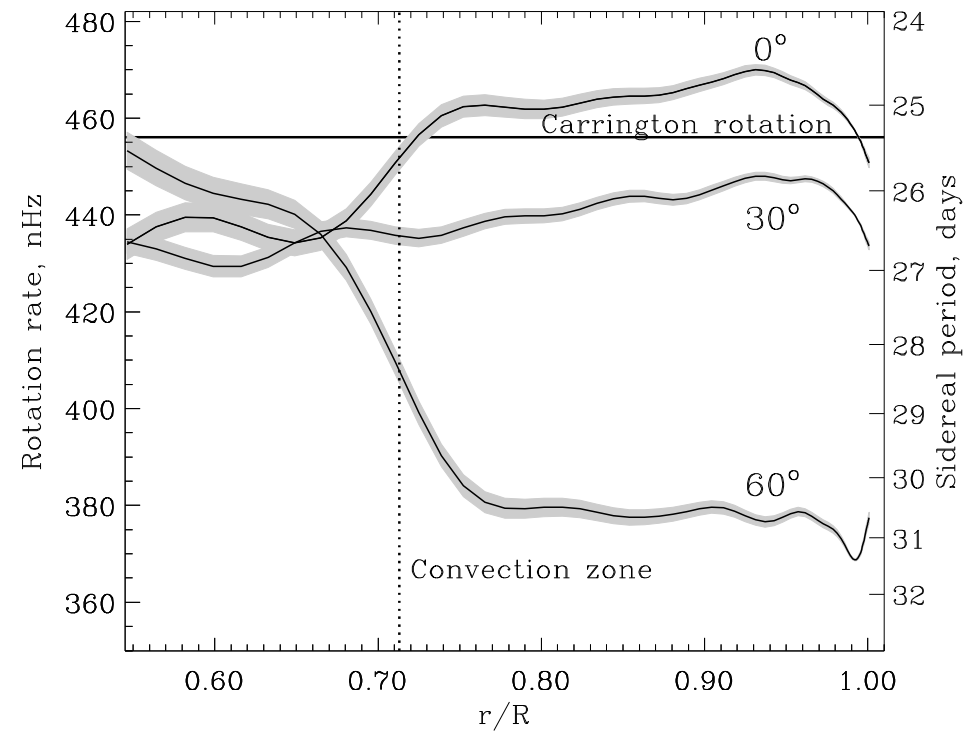
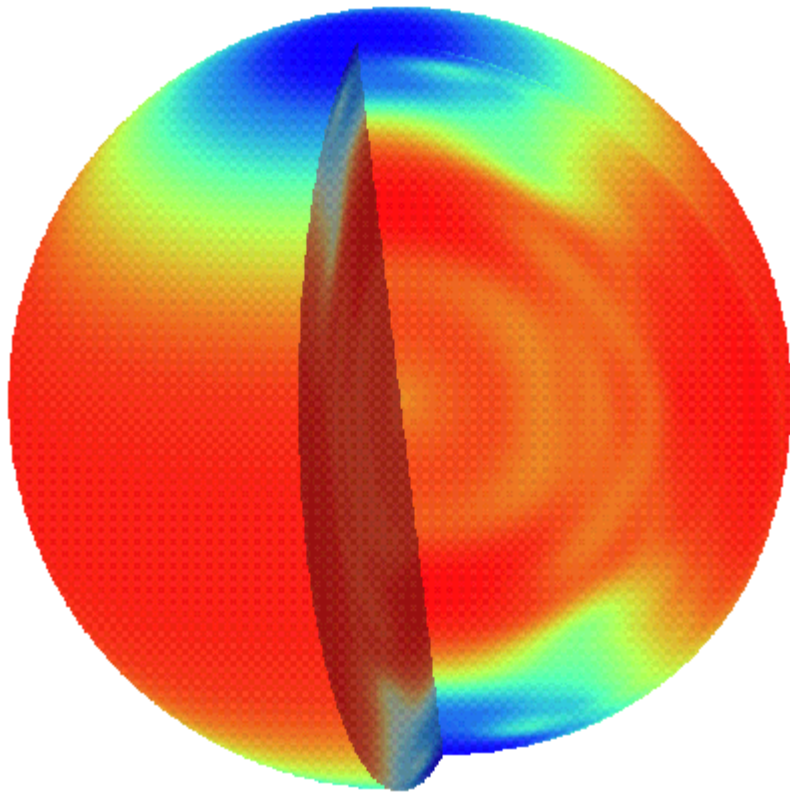
NAST001 Sluneční fyzika

LS 2014/2015

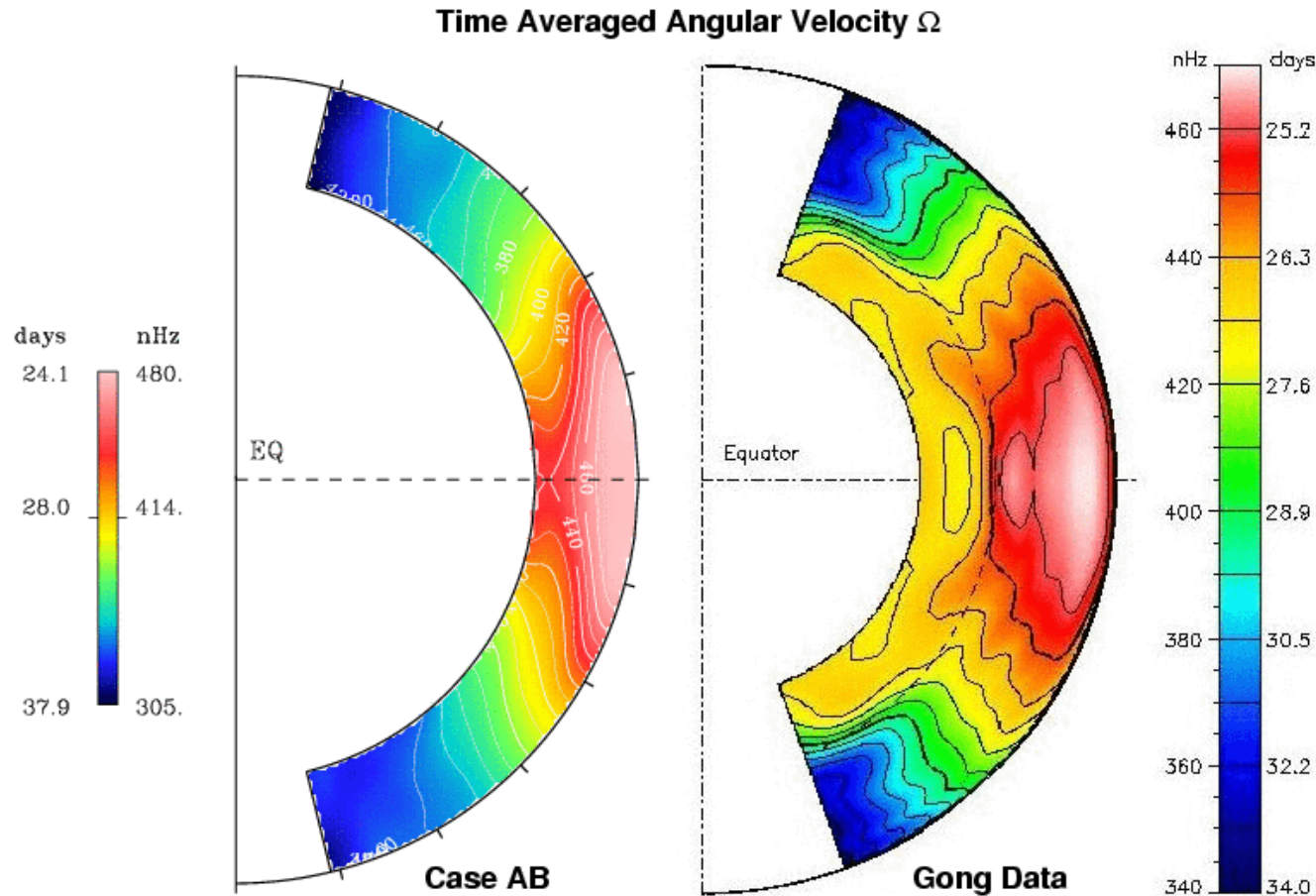
Sluneční rotace

- Pomalá ~měsíc, ~1610 podle pohybů skvrn, Galileo
 - 1858, Carrington, střední rotační perioda skvrn je $13^{\circ}12'$ za den, čili $T=27,2753$ dne
- Diferenciální
 - 1863, Carrington, $\omega = A + B \sin^{7/4} b$
 - Dnes se používá $\omega = A + B \sin^2 b + C \sin^4 b$
 - Lepší popis expanzí na Legendreovy nebo Gegenbauerovy polynomy, či jiné ortogonální báze
- Nesymetrická vůči rovníku
- Ovlivněná magnetickými poli
- Způsoby měření
 - Spektroskopicky
 - Trasování objektů
 - Helioseismicky

Helioseismický profil rotace



Pozorování vs. simulace

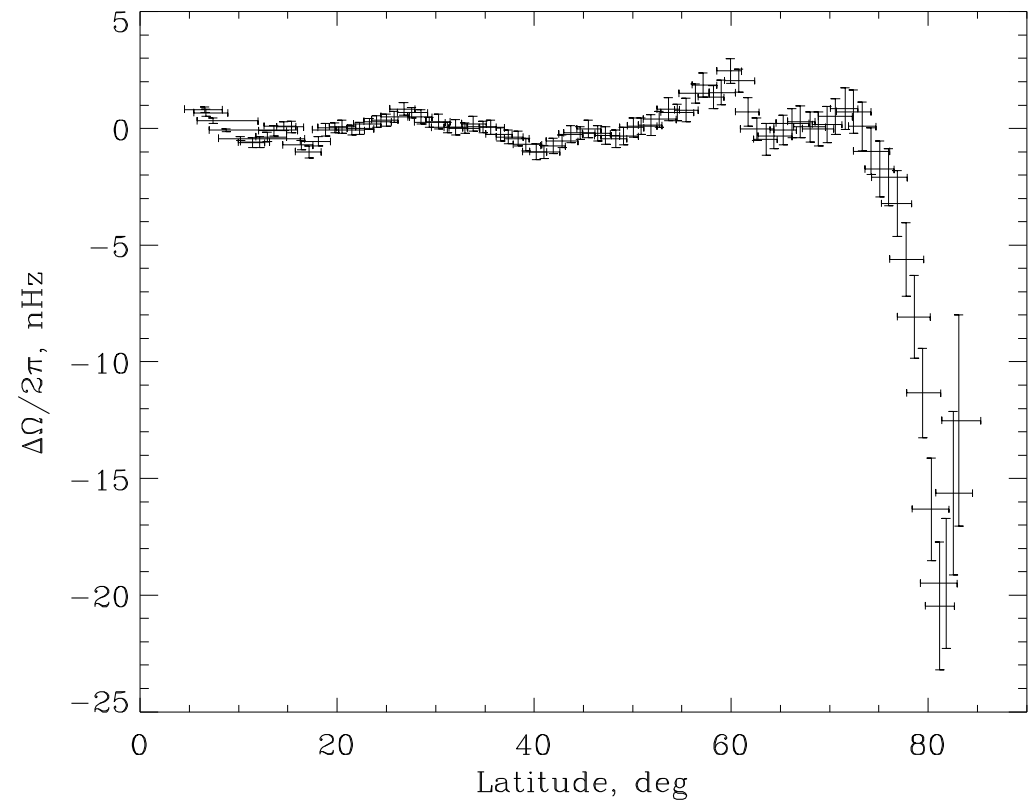


A.S. Brun, JILA, University of Colorado

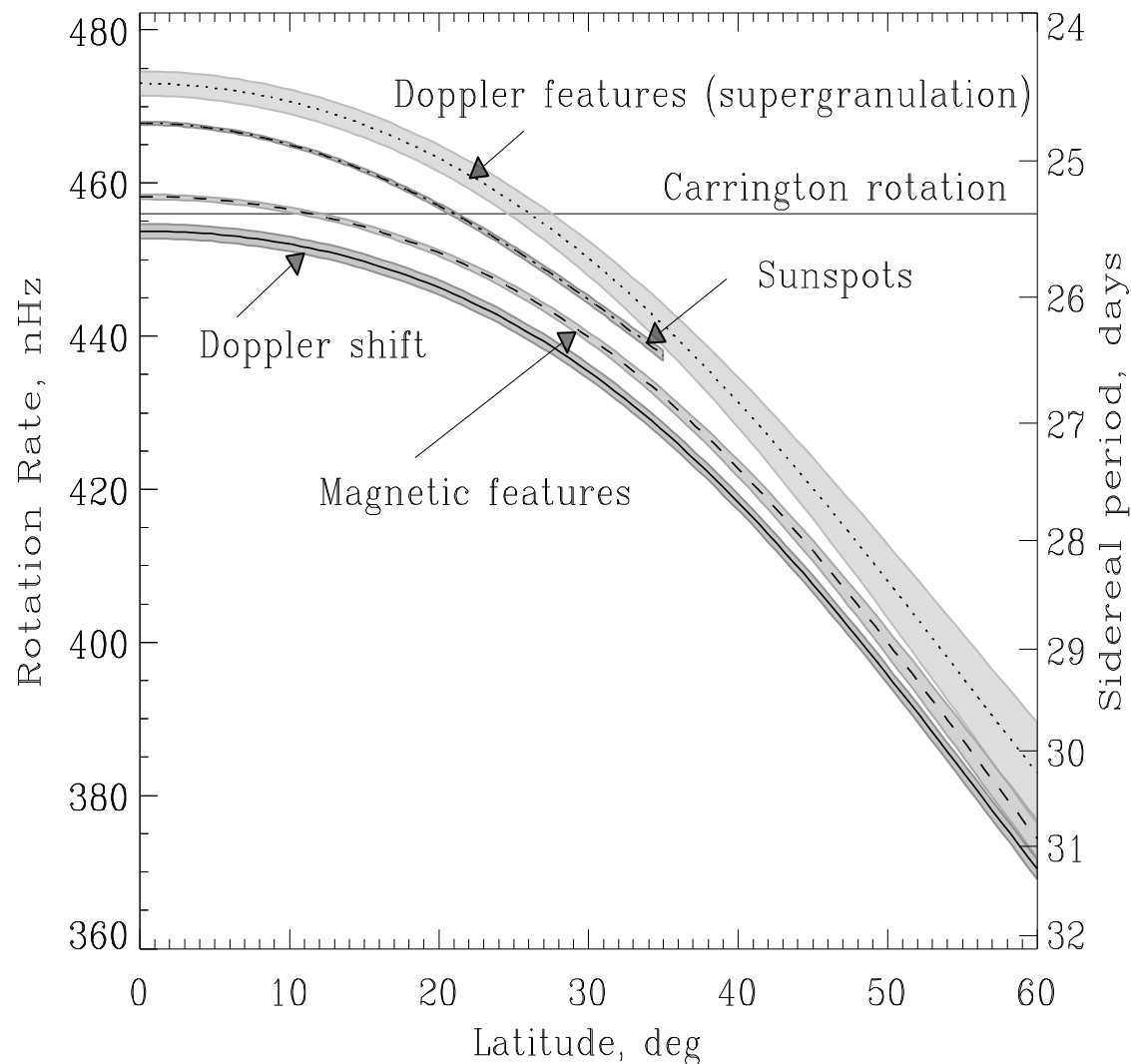
- Simulace cylindrická tendence rotace, pozorování spíše konický profil ($\sim 25^\circ$) – Taylor-Proudmannův stav

Odchyly od parabolického fitu

- Jak dobrý je parabolický tříčlenný fit na helioseismická data?
- Polární oblasti – co se tam děje je velkou záhadou
 - MDI: Sektorová struktura (?), přetoky přes pól ~ 100 m/s
 - Kampaně HINODE



Různé metody = různé výsledky



- Větší rozměr -> rigidnější rotace
- Magnetické elementy -> rychlejší rotace

Vývoj

● Sekulární změny

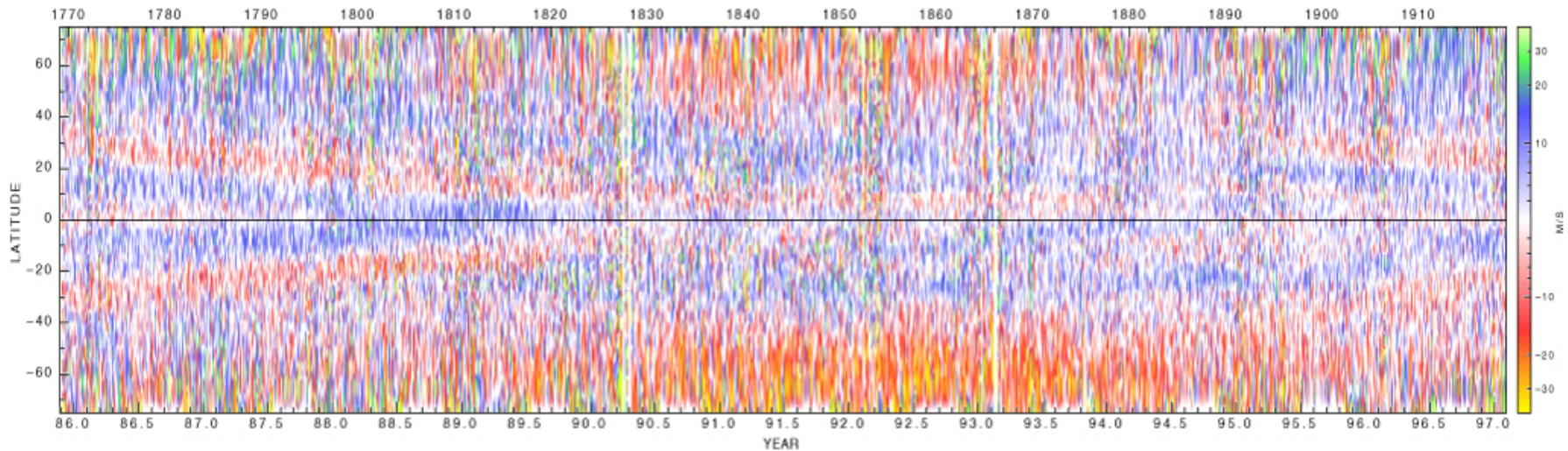
- Hvězdy na MS obvykle rotují rychleji – Slunce v minulosti zřejmě podobné
- Magnetické brždění („magnetic arms“) -- efektivní poloměr Slunce magnetizovaným větrem větší – efektivnější ztráty momentu hybnosti
 - Rotace jádra by se zpomalovat tímto mechanismem neměla
 - Jak rotuje jádro?

■ S cyklem aktivity

- Severo-jížní asymetrie – polokoule s míň aktivitou rotuje rychleji (Maxwellův tensor)
- Změna profilu na více rigidní v době maxima
- Lokální urychlování lokálními povrchovými magnetickými oblastmi

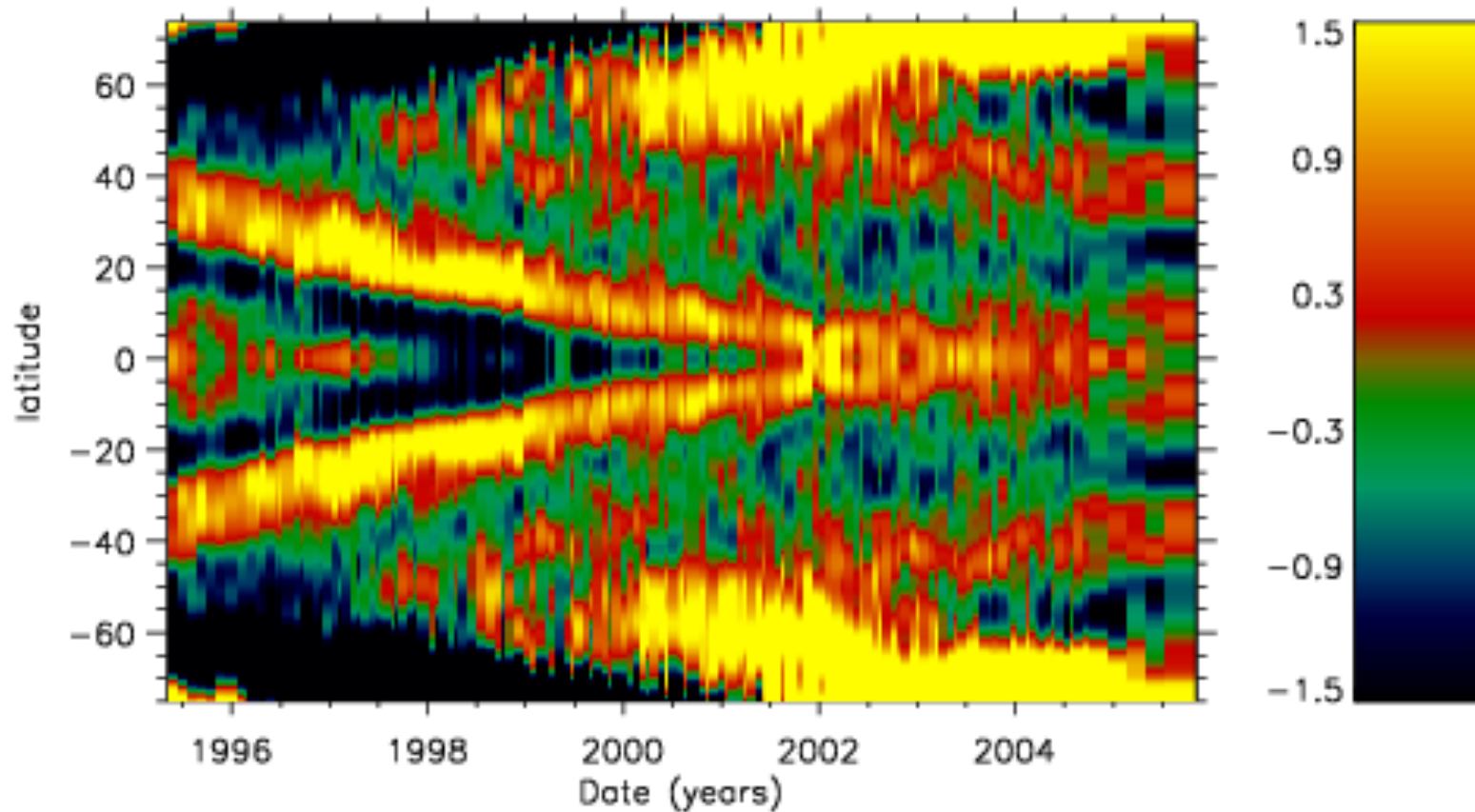
- Torzní oscilace

Torzní oscilace

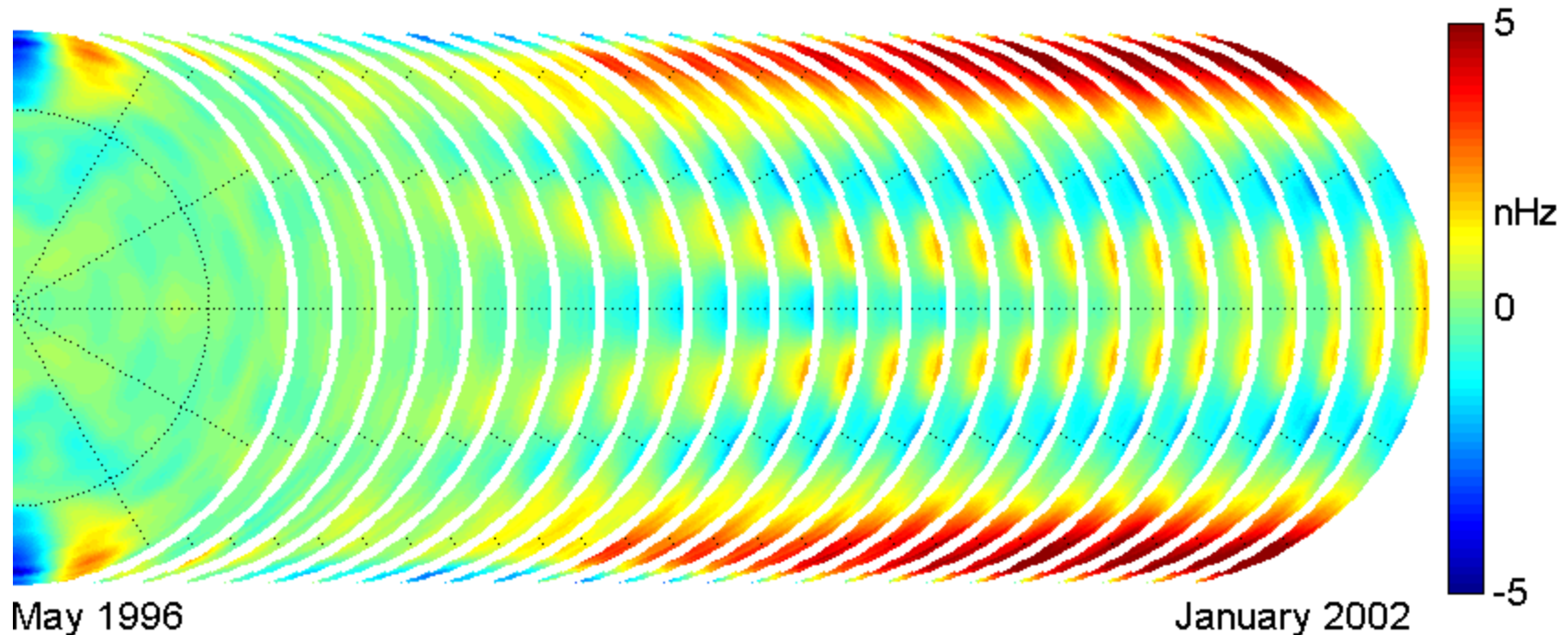


- Pásky rychlejší (pomalejší) rotace (o cca 10 m/s), migrující k rovníku s cyklem aktivity
- Aktivní oblasti na rozhraní pomalého a rychlého pásu
- Druhá větev – migrace k pólu s cyklem aktivity
- Původ
 - Nejasný
 - (Spruit 2003, Rempel 2006) Pás aktivity je o cca 5 K chladnější – vtok hmoty do pásu – vznik torzních oscilací

Torzní oscilace na povrchu – lokální helioseismologie

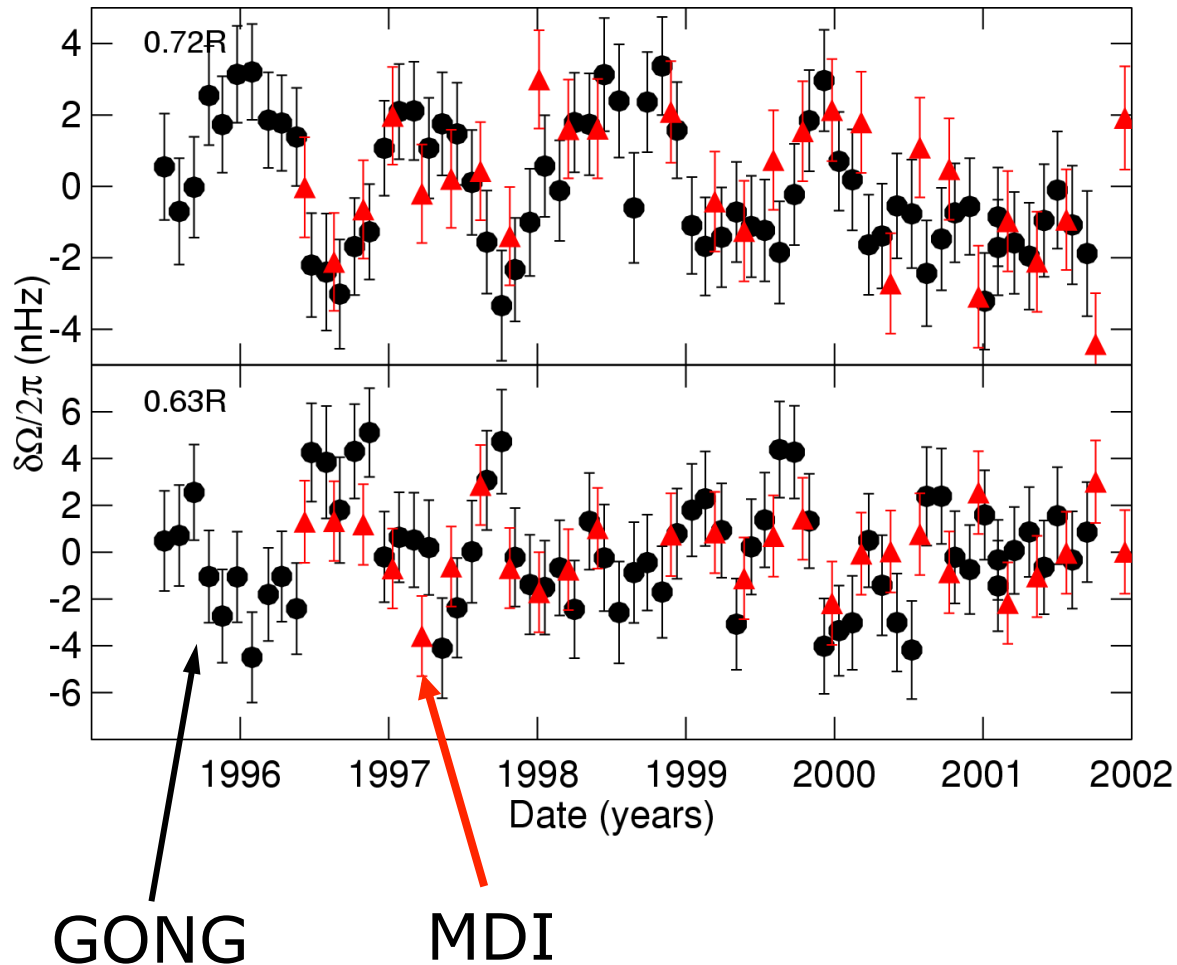


Torzní oscilace helioseismicky



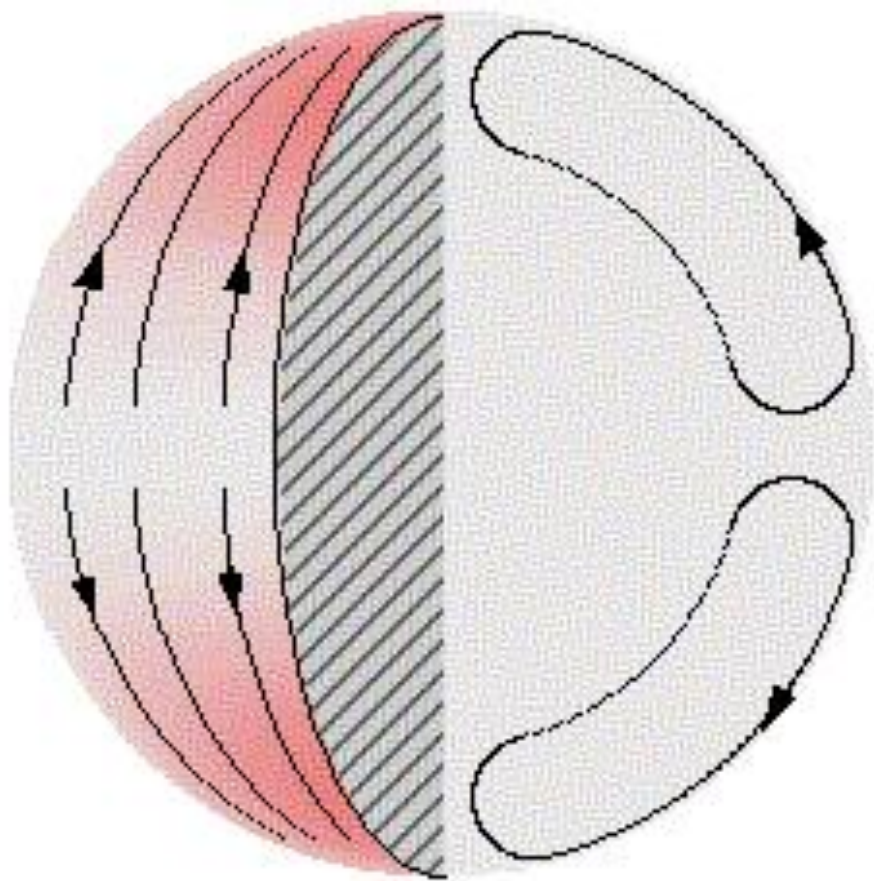
- Low-latitude větev – spíše povrchová, nejspíš efekt termální (Taylor-Proudman state) spojený s povrchovou magnetickou aktivitou – geostrofické proudění
- High-latitude větev – hluboká, nejspíše efekt Reynoldsova tensoru (mechanical forcing)

Oscilace v tachoklině



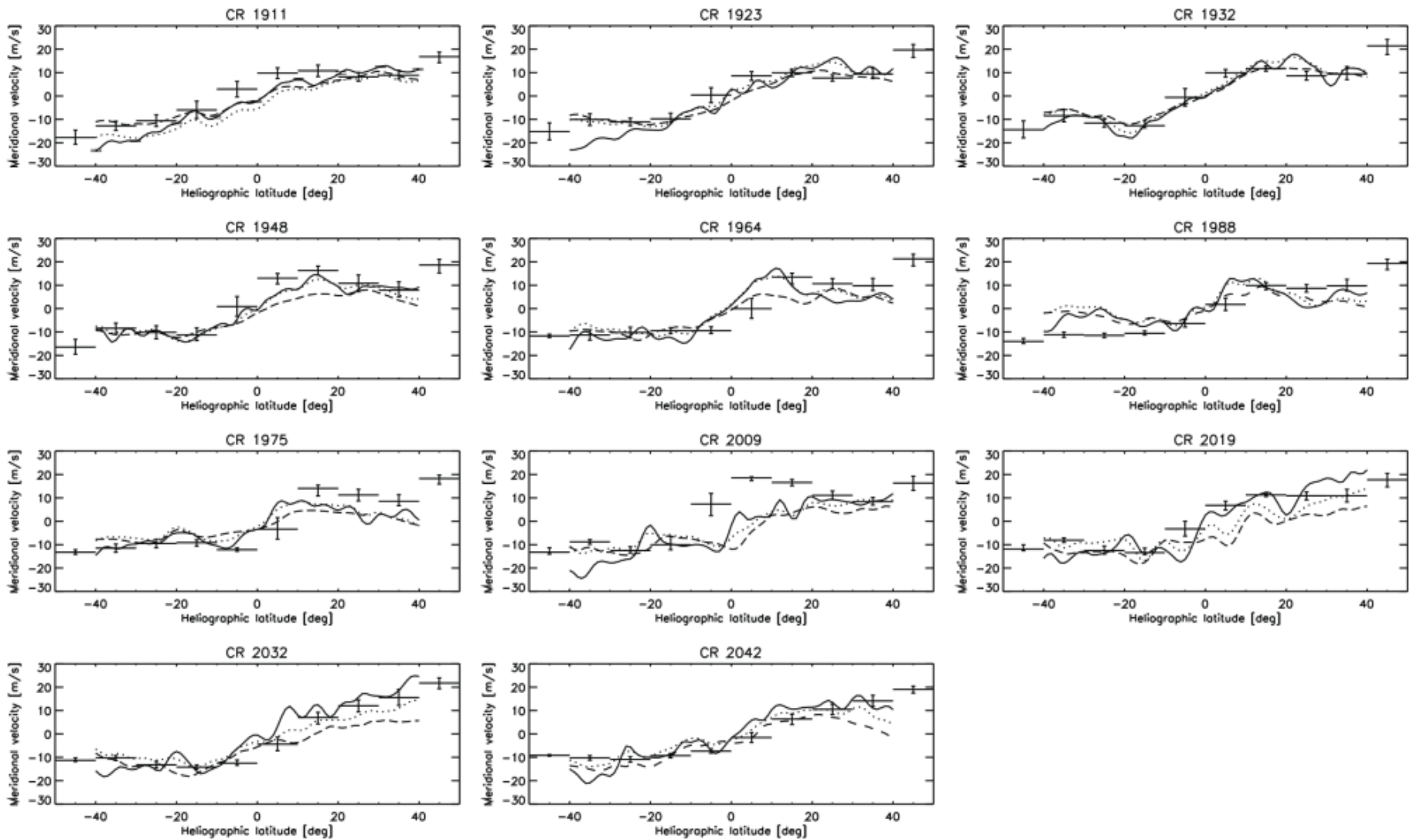
- 1,3 roku perioda
- V minimu klidnější
- ?mechanismus
- ?od roku 2002 již zřejmě neosciluje

Meridionální cirkulace

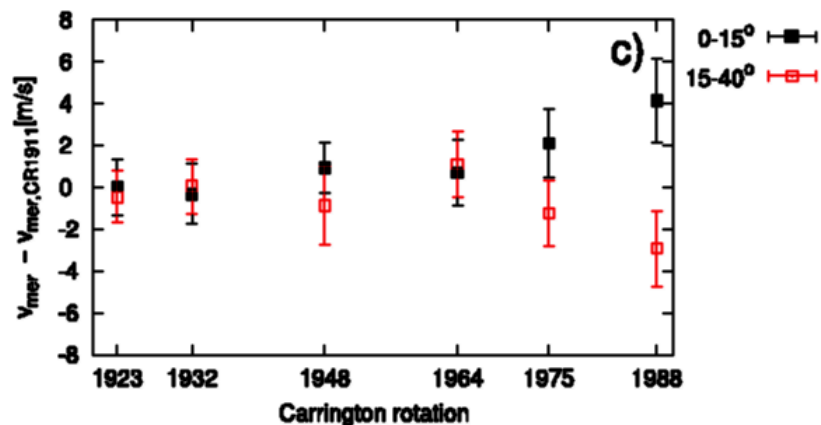
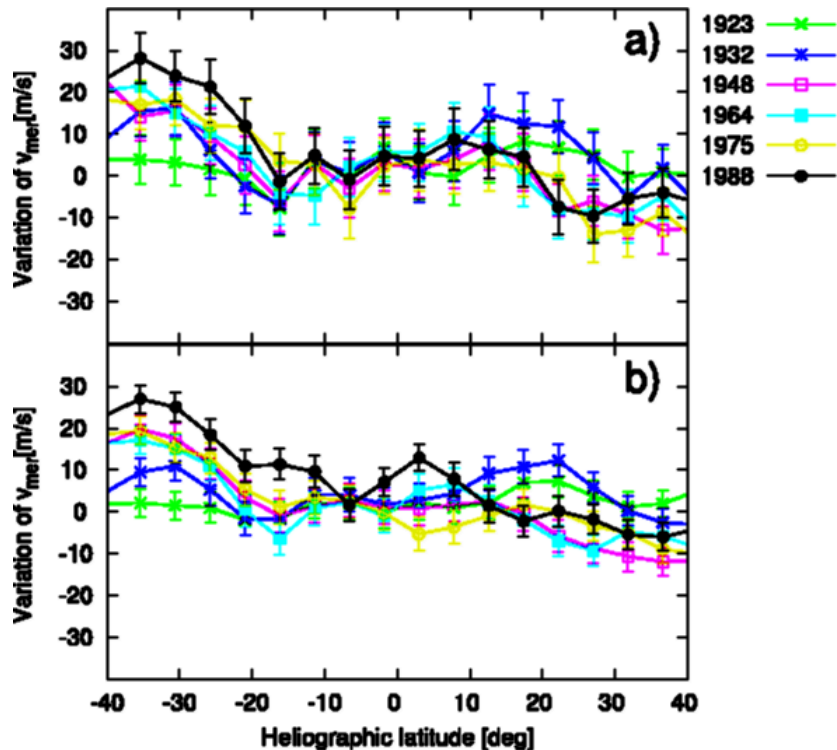


- Pomalý (~ 10 m/s) tok od rovníku k pólům
- (Zřejmě) odpovědný za odnos magnetického pole k pólu, přepólování globálního pole a jeho recyklaci
- Projeví se pouze statisticky – lokální rychlosti jsou až o dva řády větší
- Jeden z faktorů způsobující diferenciální rotaci

Meridionální tok v průběhu cyklu



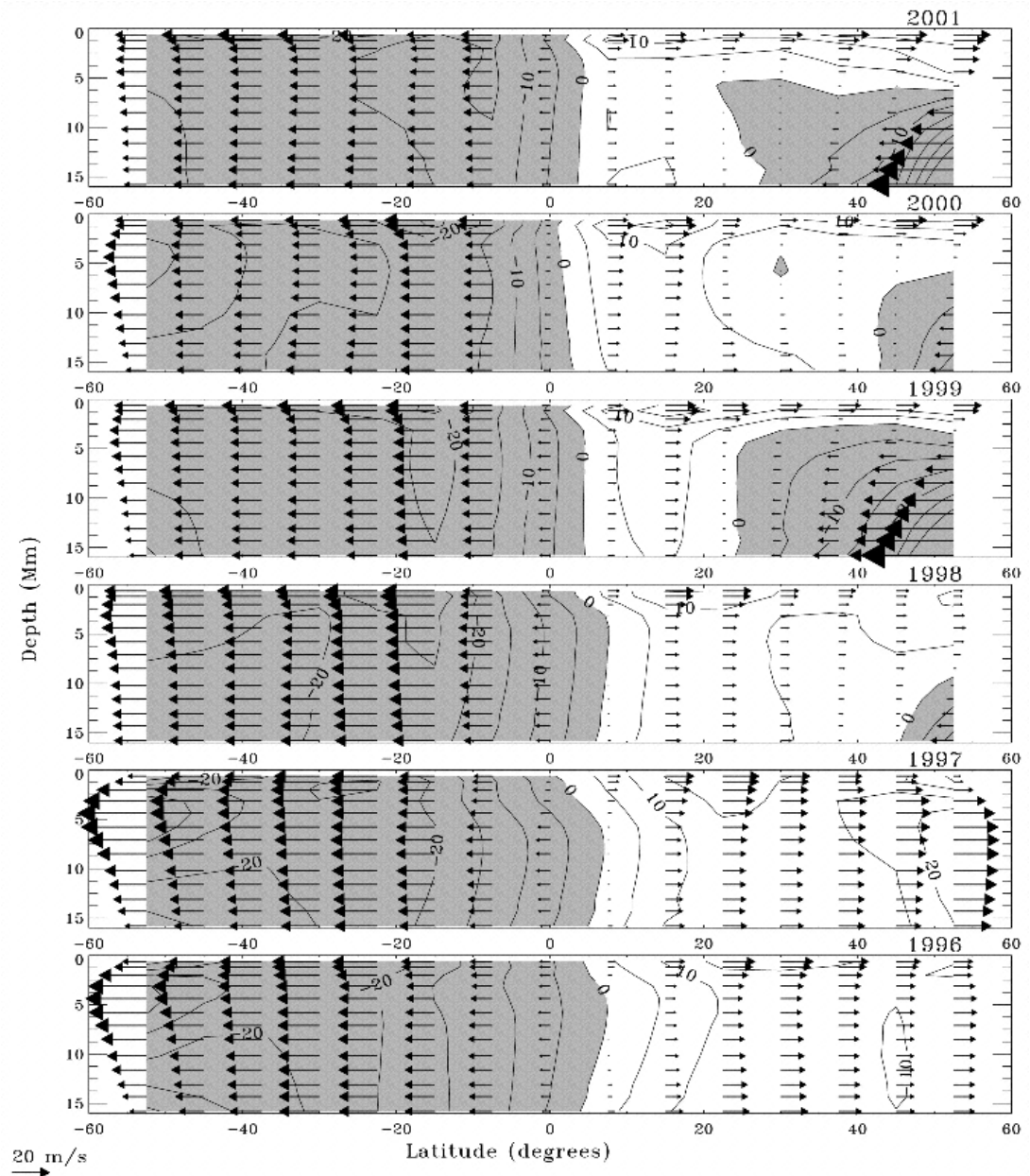
Meridionální tok – cyklické změny



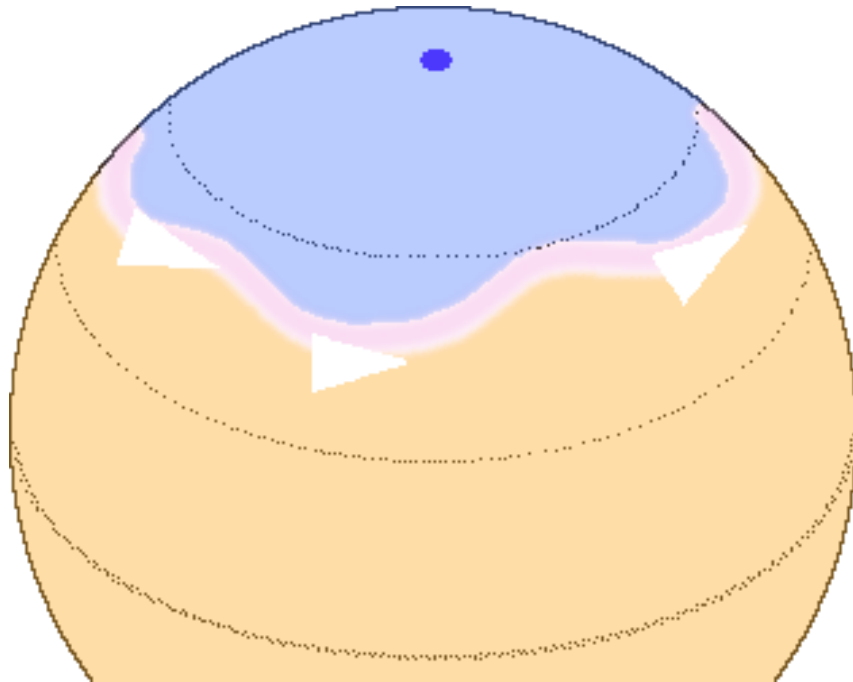
- Variace značící vtok hmoty do pásu aktivity
 - Část z nich lze vysvětlit prouděním kolem aktivních oblastí, ale ne vše
 - Odpovídá Spruitovu (Rempelovu) modelu torzních oscilací, kde jsou vtoky jako vedlejší produkt

Meridionální tok v prostoru a čase

- Formace protibuněk?
- Numerické simulace – meridionální tok pouze statisticky, protibuňky žijící ~8 hodin se vytvářejí zcela běžně



Rossbyho vlny



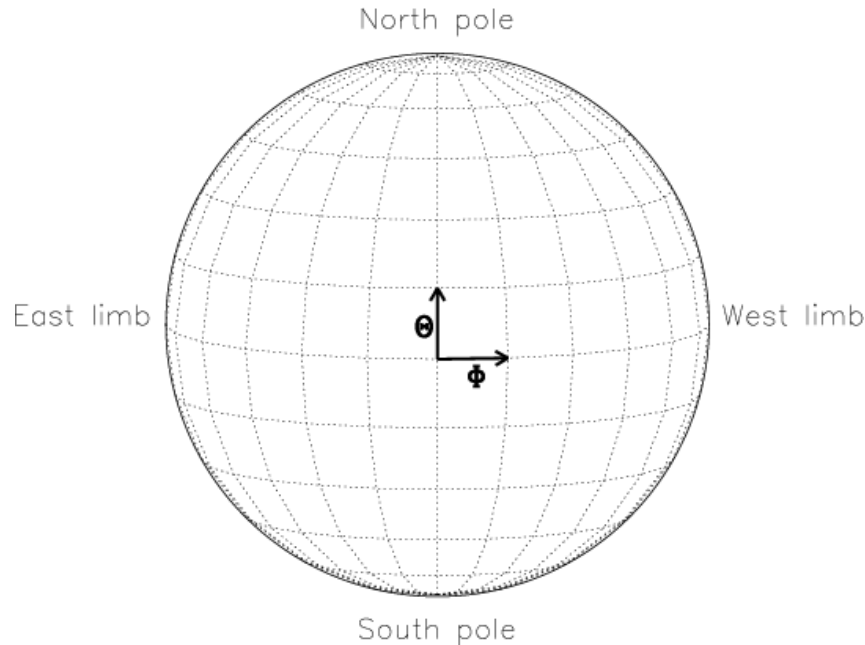
- Velkorozměrové vlny
- Mají vždy komponentu, která se šíří proti směru rotace
- Na Zemi odpovědné za střídání počasí

- Objeví se vždy s diferenciální rotací
- Těžko detekovatelné ve sluneční atmosféře
- Označovány jako r -mody „oscilací“

Numerická simulace



Souřadnice



- Carringtonův systém

- $\omega_{\text{syn}} = 13,2 \text{ }^\circ/\text{den}$
- $T_0 = 9. 11. 1853$
- Pozice osy
 - $\alpha_0 = 286,13^\circ$
 - $\delta_0 = 63,87^\circ$

- Heliocentrický systém
- Lokální kartézský
 - Hlavně pro pozorování s vysokým rozlišením
- Různé projektivní systémy
 - V helioseismologii
Postelova projekce
(zachovává kružnice)
- Přehled: Thompson, W. T.:
2006, A&A 449, p. 791