

9. Sluneční dynamo

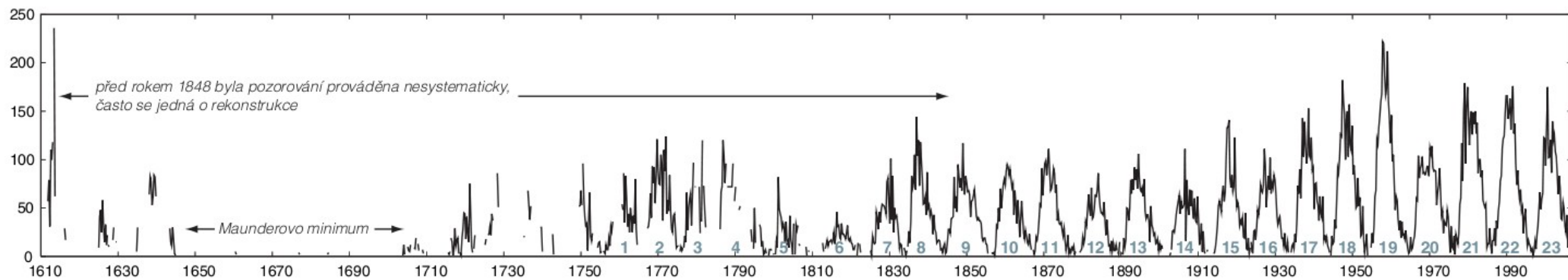
Sluneční fyzika
LS 2007/2008

Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR

Sluneční cyklus

- Hlavní cyklus – 11 let
 - Objev – Heinrich Schwabe (1834)
 - Hale – 22 let, složený ze dvou 11letých
 - 7,5 – 16 let (11,2 je střední délka trvání)
 - V počtu slunečních skvrn, jejich ploše, mohutnosti erupcí, ...
 - Od ~1760 číslovány, v současnosti nastupuje cyklus 24

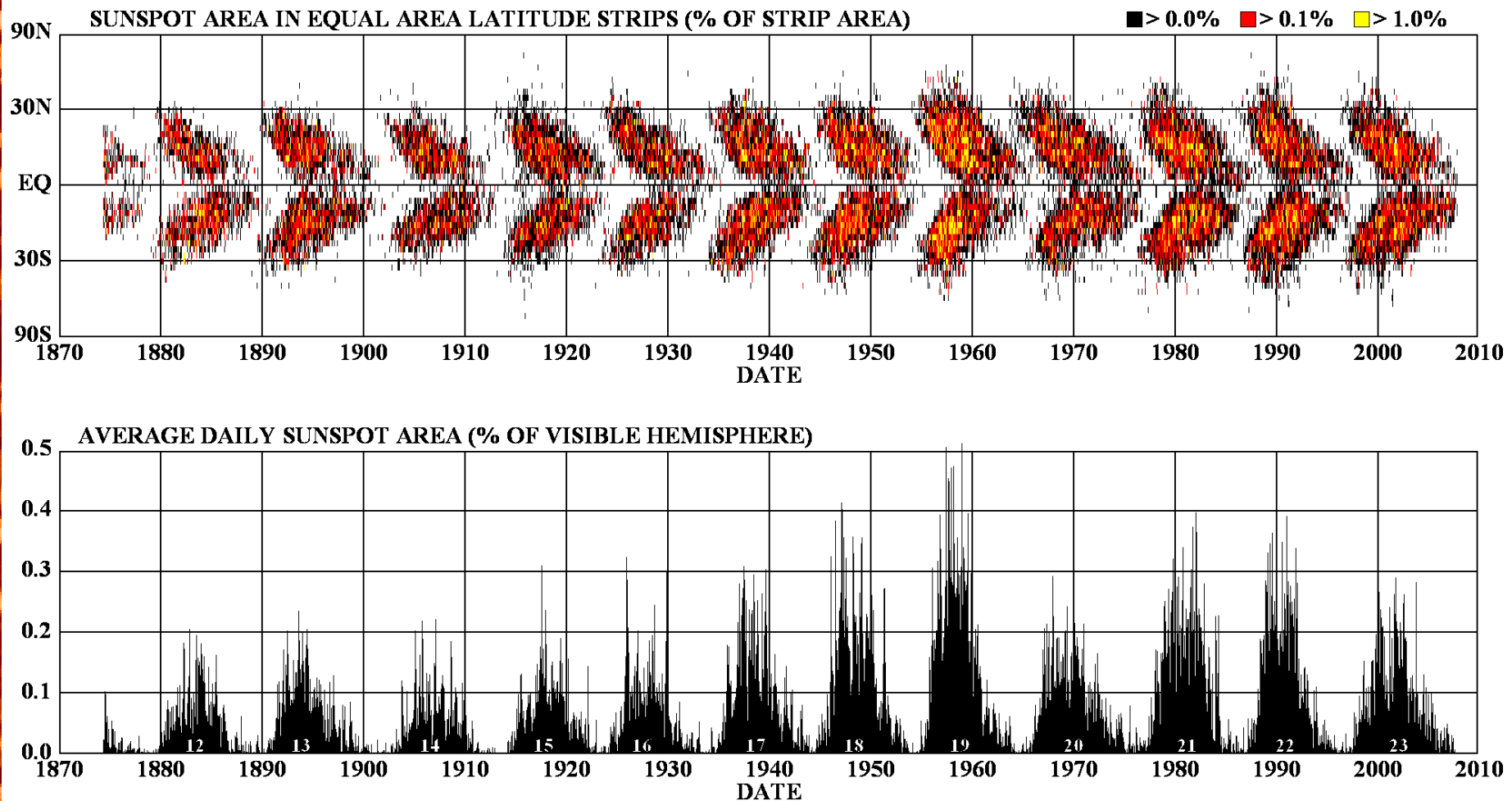


Hlavní projevy 11- (22-) letého cyklu

- Mění se počet a mohutnost aktivních jevů
- Lokalizované aktivní jevy migrují k rovníku
- Polarita vedoucích skupin skvrn a globálního magnetického pole se cyklus od cyklu mění
- Magnetické pole se zesiluje a zase „rozpouští“ periodicky
 - Operuje jakýsi typ dynamo

Sluneční dynamo: projevy (1)

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



Sluneční dynamo: projevy (2)

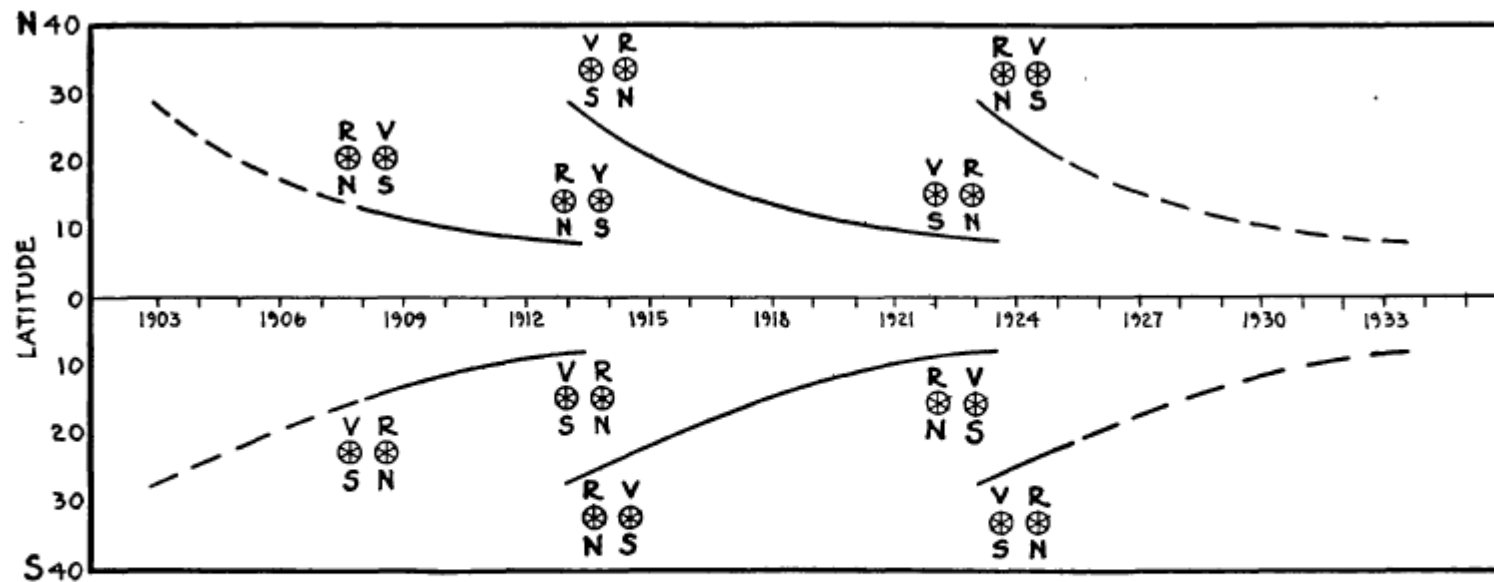
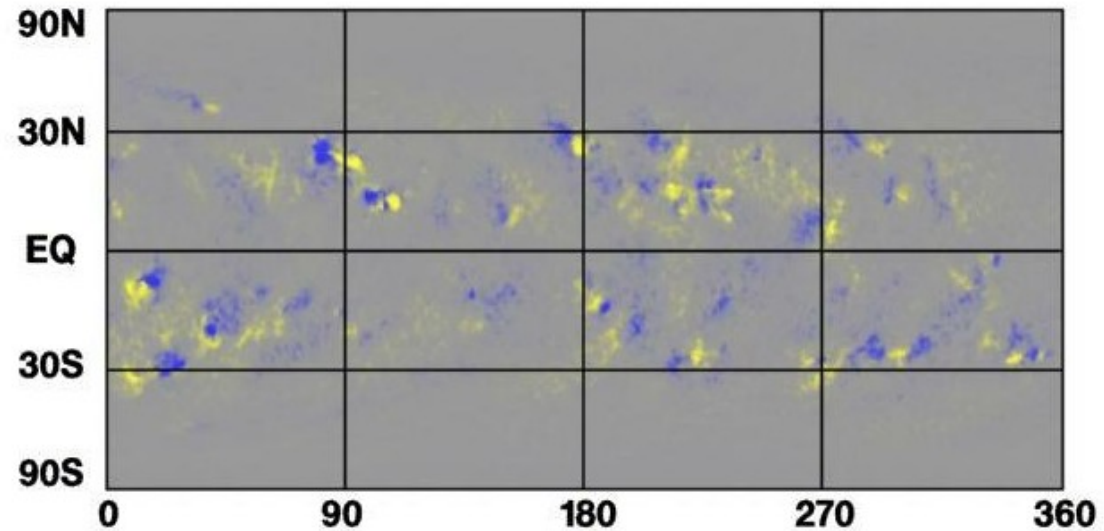


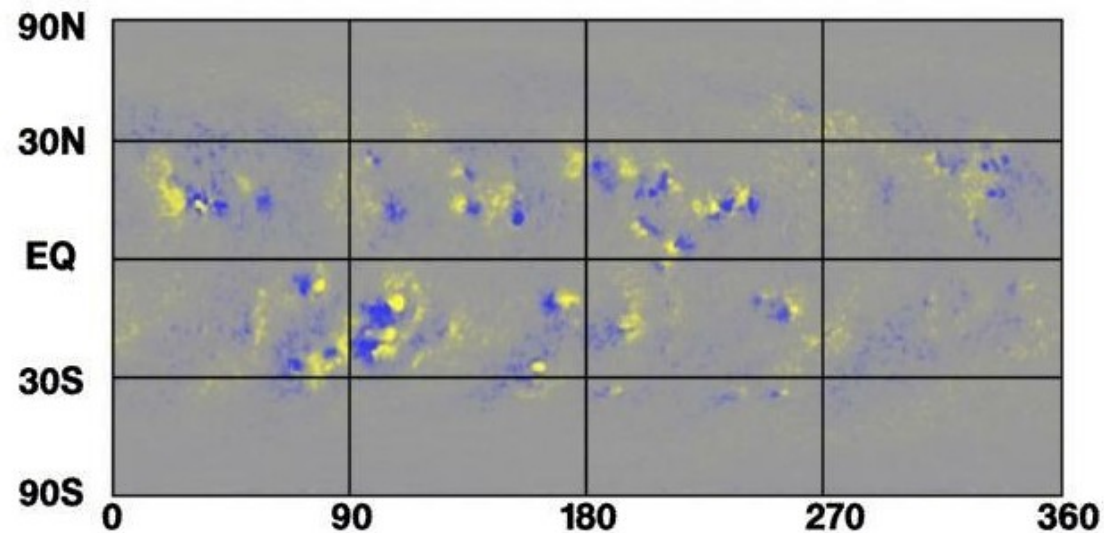
FIG. 18.—The law of sun-spot polarity. The curves represent the approximate variation in mean latitude and the corresponding magnetic polarities of spot groups observed at Mount Wilson from June 1908 to January 1925. The preceding spot is shown on the right.

Sluneční dynamo: projevy (3)

Cycle 21



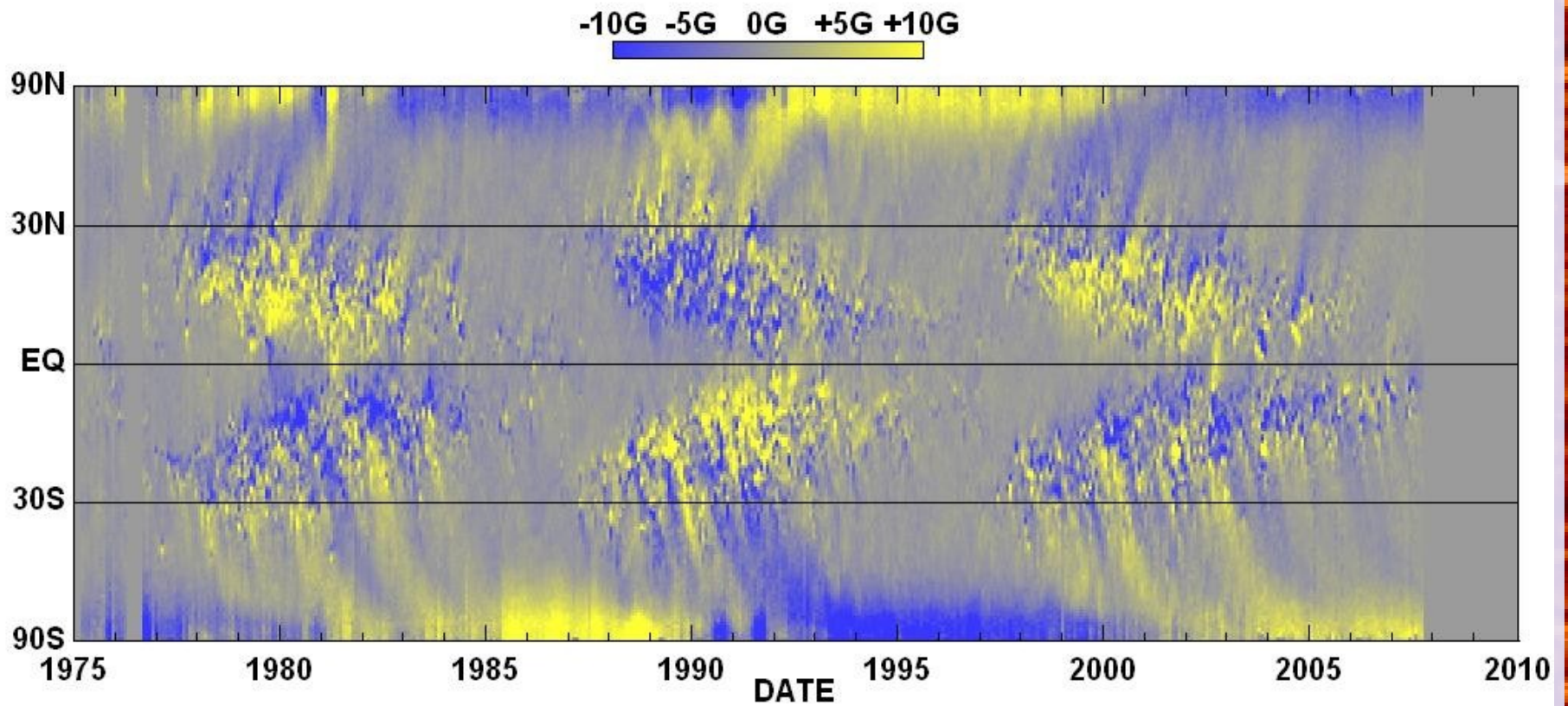
Cycle 22



Sluneční dynamo: projevy (5)

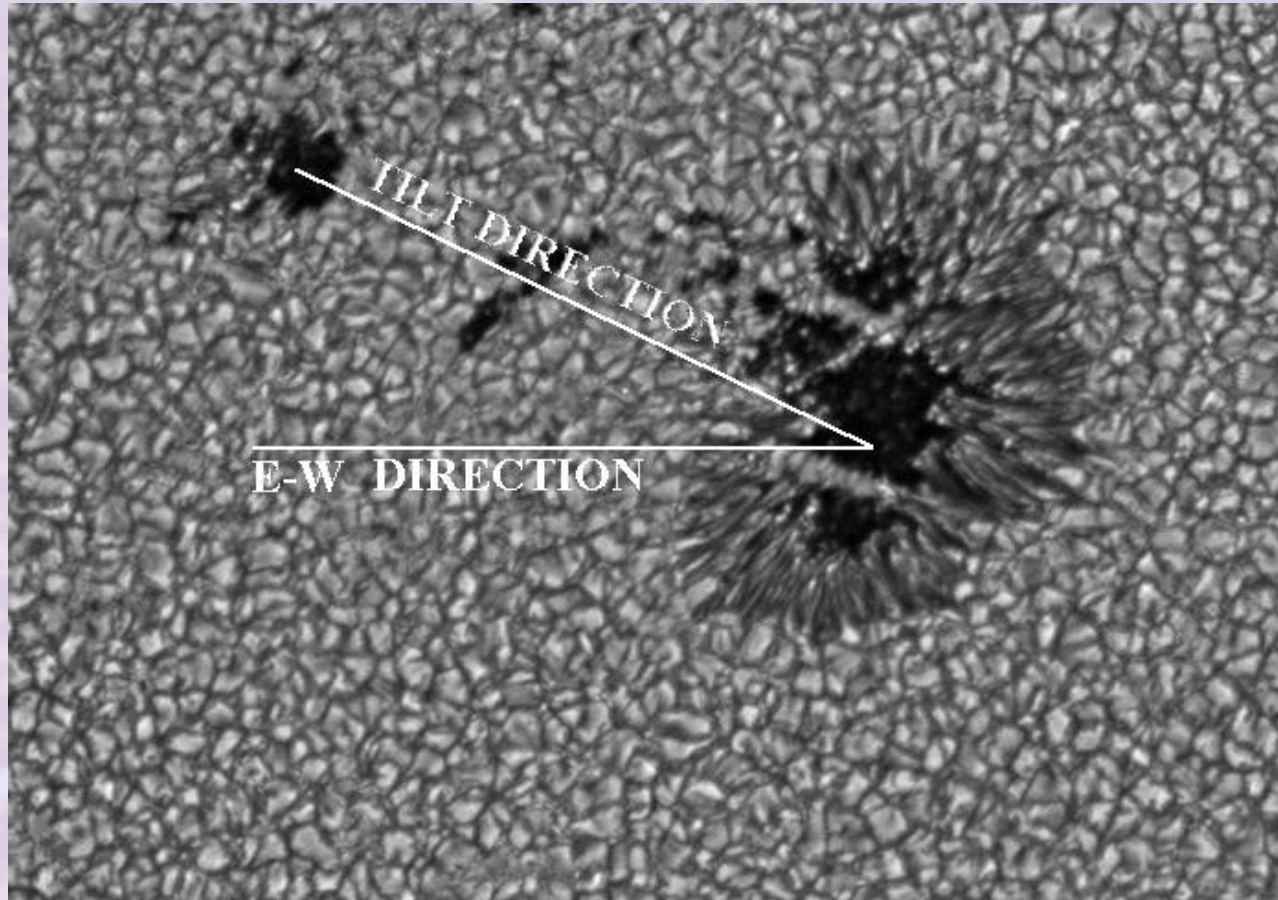


Sluneční dynamo: projevy (5)



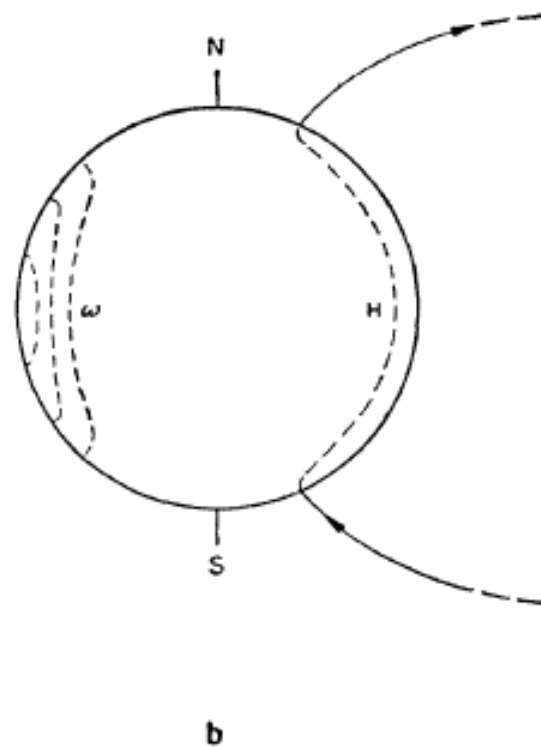
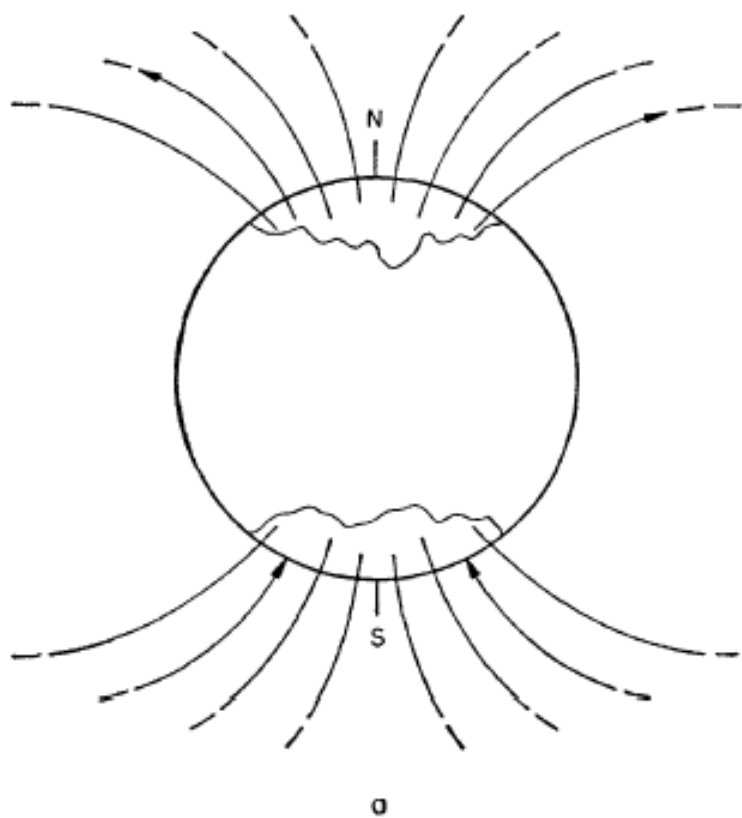
NASA/MSFC/NSSTC/Hathaway 2007/10

Joyův zákon



- Rozvinuté bipolární skupiny jsou skloněné (otočené) vůči rovnoběžkám

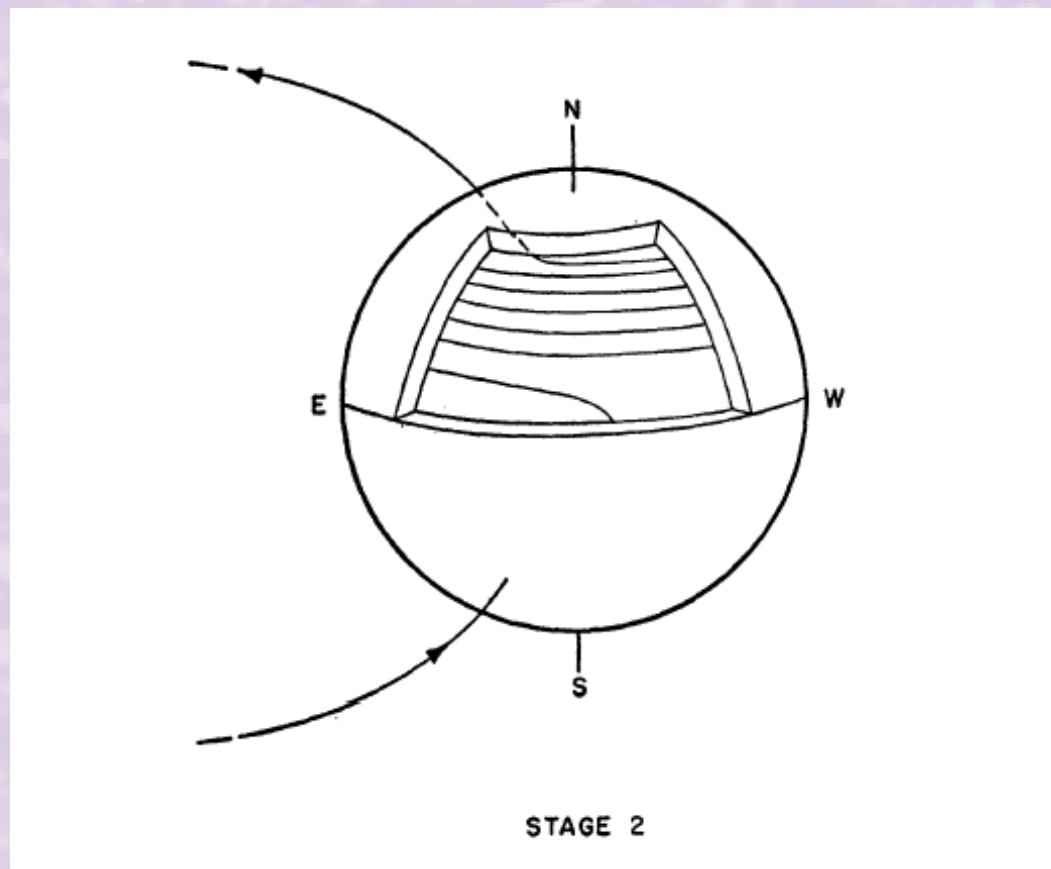
Babcockovo dynamo (1)



STAGE I

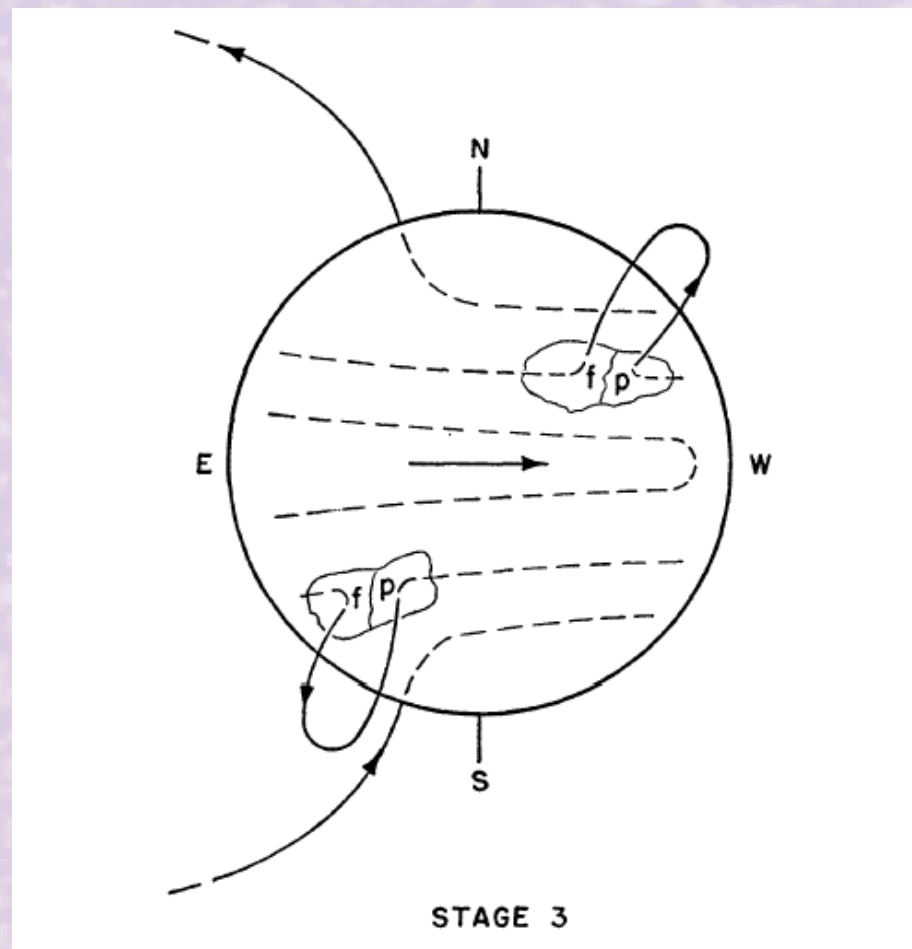
Babcockovo dynamo (2)

- Akce diferenciální rotace (Ω efekt) mění poloidální pole na toroidální – pole je v plazmatu zmrzlé



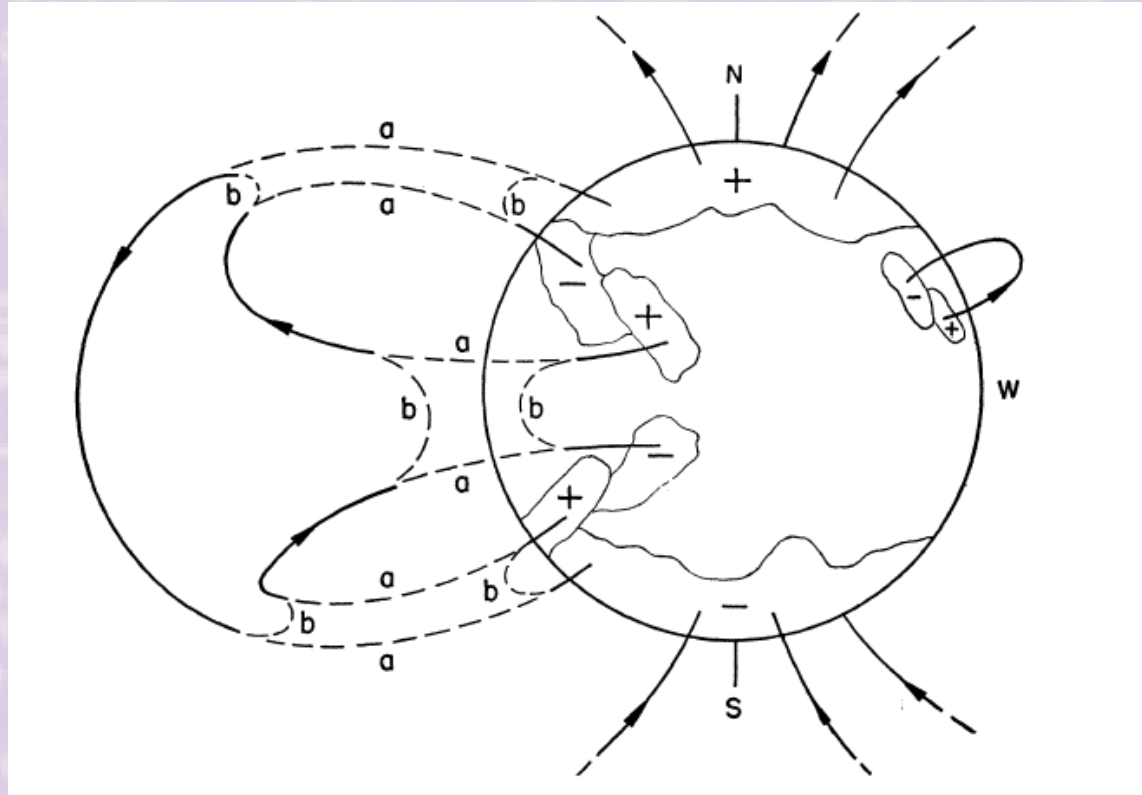
Babcockovo dynamo (3)

- Magnetické trubice vzplývají a formují aktivní oblasti
 - Joyův zákon – pole nejsou čistě toriodální, ale mají svoji poloidální složku, která je opačná proti původnímu globálnímu poloidálnímu poli

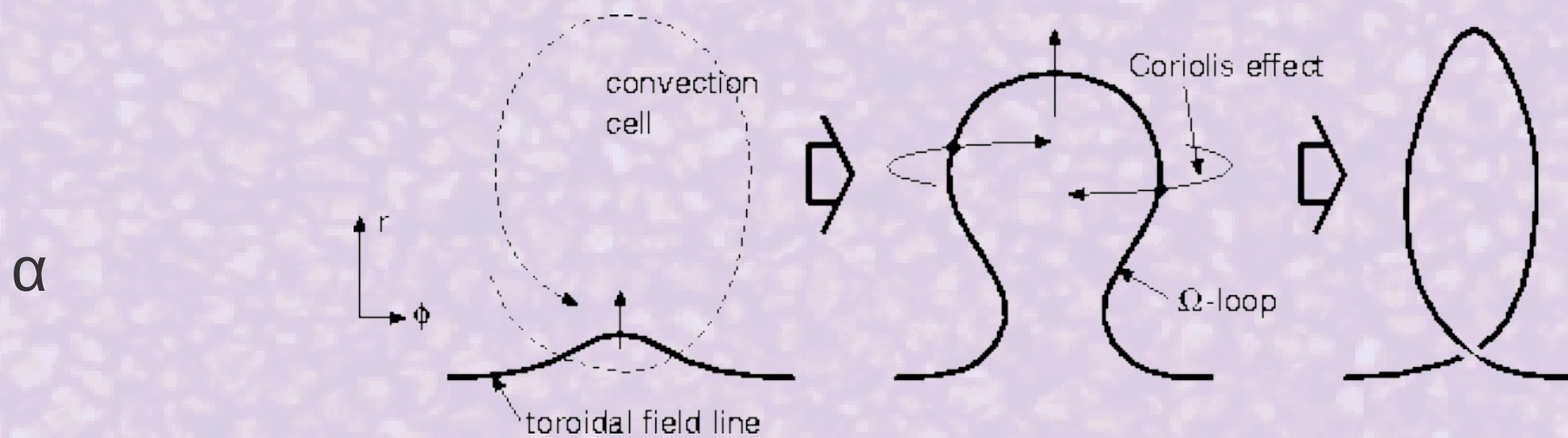
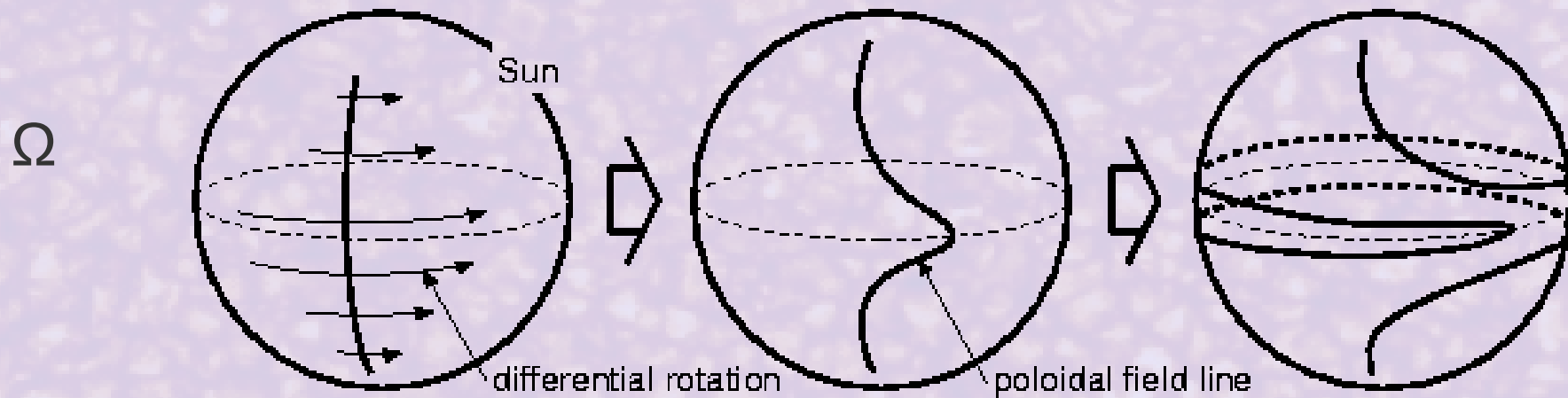


Babcockovo dynamo (4)

- Pole v aktivních oblastech interaguje s globálním polem a přepojuje se v koróně. Značná část pole anihiluje, formuje se globálně opačná polarita, která je převážně poloidální



α a Ω efekt



Parkerovo kinematické dynamo

$$B = B_0 \exp \left[\left(-\eta_t k^2 + \sqrt{\frac{k \alpha \Omega}{2}} \right) t + i \left(\sqrt{\frac{k \alpha \Omega}{2}} t + kx \right) \right]$$

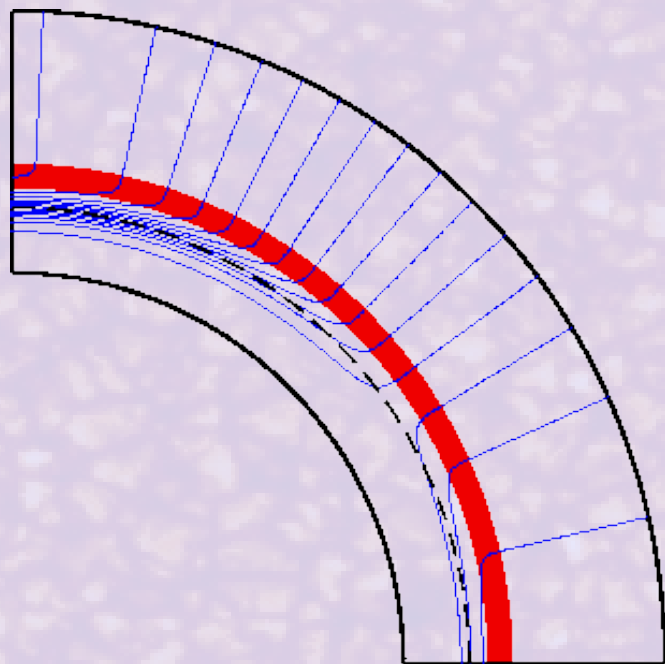
Pro $\alpha\Omega < 0$ se propaguje vlna ve směru k rovníku – odpovídá slunečnímu případu. Potřebujeme ještě způsob, jak magnetické pole “zničit” – α -quenching

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + \left(\frac{B}{B_0} \right)^2}$$

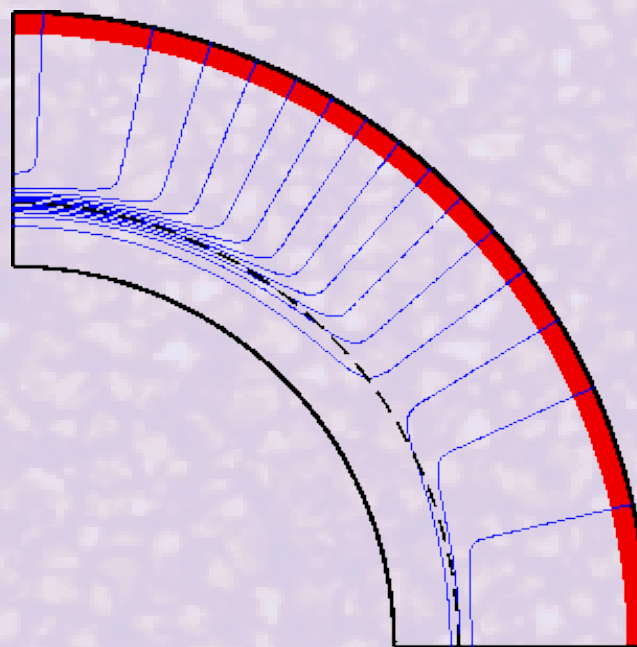
Modifikované řešení Parker-Yoshimura znaménkové pravidlo $\alpha \, d\Omega/dr < 0$, což se ovšem na Slunci nepozorovalo (60. a 70. léta), 80. léta – helioseismologie prakticky stanovuje $d\Omega/dr \sim 0$ pro konvektivní zónu. Další měření – podpovrchové oblasti (posledních $0,05 R$) ukazují nárůst rotační rychlosti s hloubkou

Babcockovo-Leightonovo dynamo

Operuje v přípovrchových vrstvách



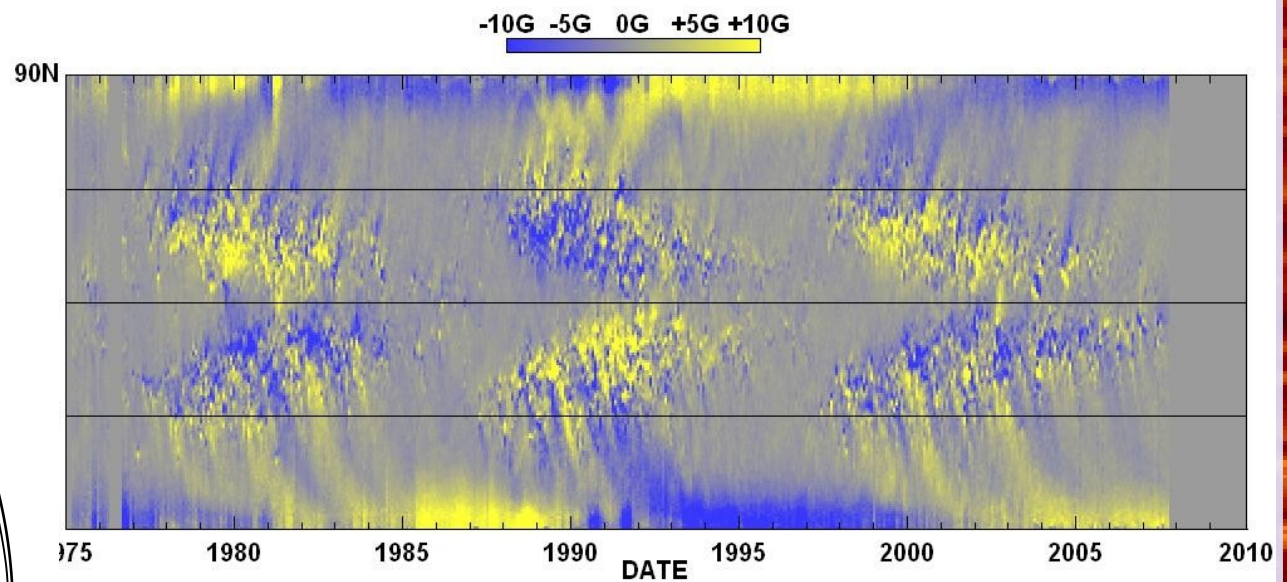
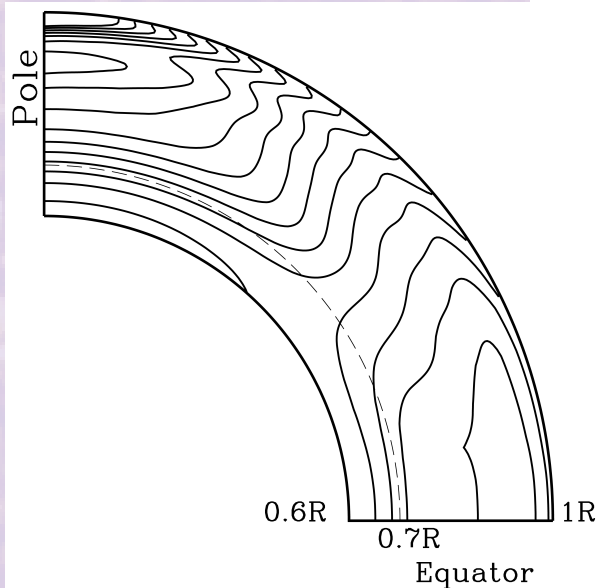
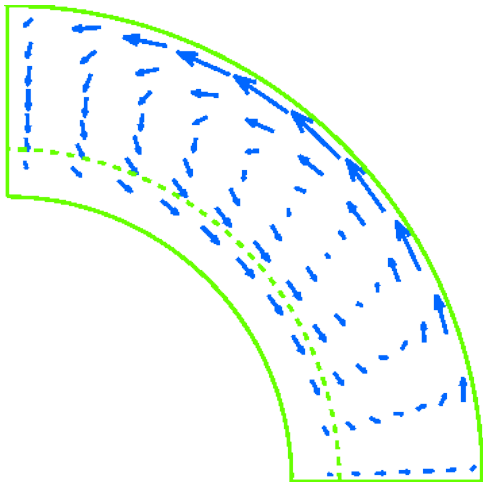
Klasické dynamo: oba efekty operují v hloubce, zřejmě na dně konvektivní zóny



B-L dynamo: α -efekt se vyskytuje v přípovrchových vrstvách, oba efekty jsou prostorově odděleny

Role meridionálního toku

- Důležitý při odnosu následné (trailing) polarity k pólu, podepisuje se na změně celkové polarity



NASA/MSFC/NSSTC/Hathaway 2007/10

Babcockovo-Leightonovo dynamo

• Produkuje:

- Délku cyklu 22 let (nastavena meridionálním prouděním)
- Fázový posun mezi k rovníku migrujícím toroidálním polem a k pólu migrujícím poloidálním polem
- 10-100 kG toroidální pole na dně konvektivní zóny (nutné pro formaci skvrn ve správných šířkách)
- Polární pole ~ 10 G
- Slabá antikorelace mezi amplitudou a délkou cyklu

• Neprodukuje:

- Asymetrie mezi severní a jižní polokoulí
- Není samovybuzené, čili po velkých minimech by se už nenastartovalo (možná existence dalších efektů), vyžaduje primordinální pole, které jen přerozděluje a zesiluje v cyklu

- Numerické simulace
- Flux-transport (meridional flow dominated) × difusion-dominated
- Předpovědi
 - Nedůležité pro fyziku
 - Důležité pro aplikace
 - NASA
 - Elektronika
 - Rozvody
 - Kosmické počasí

