

*Slnko by bolo nudnou hviezdou,
ak by nemalo magnetické pole.*

CYKLY SLNEČNEJ AKTIVITY – SÚČASNÉ POZNATKY

Vojtech Rušin

Astronomický ústav SAV

059 60 Tatranská Lomnica, Slovensko

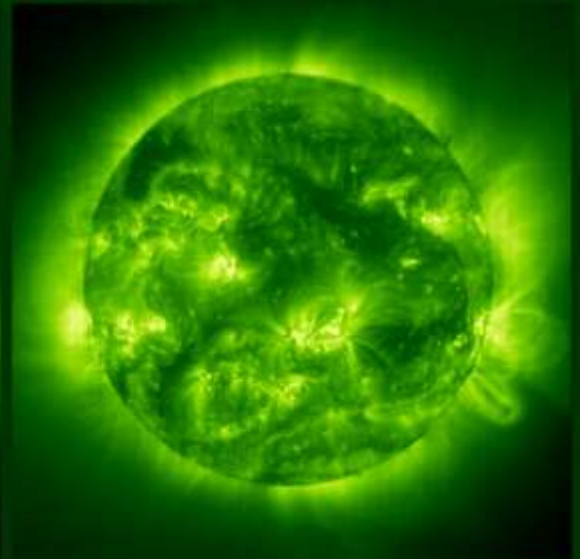
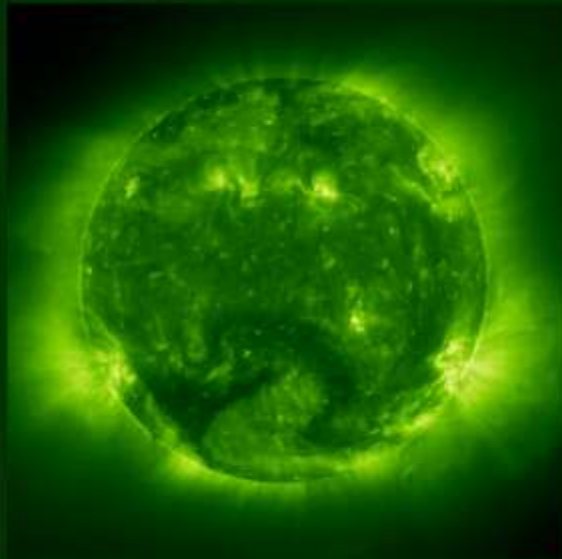
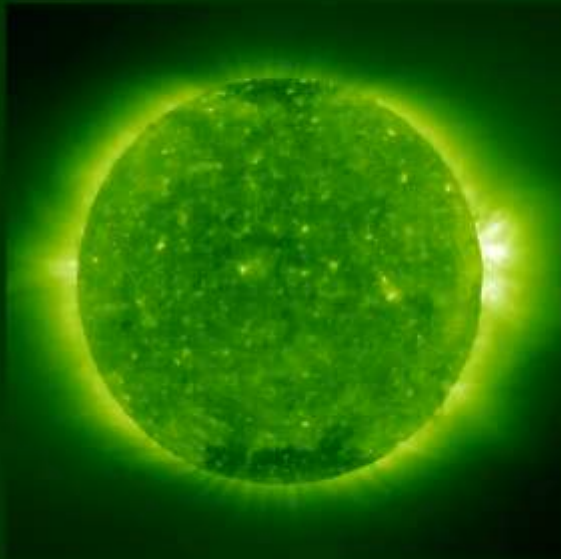
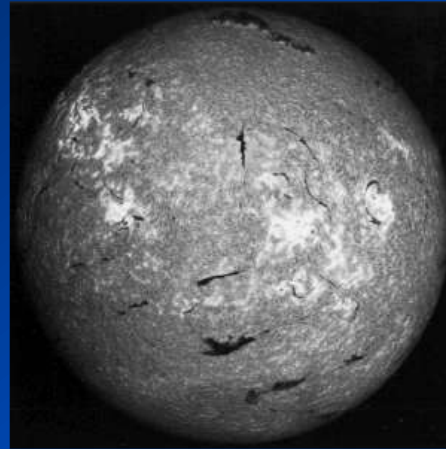
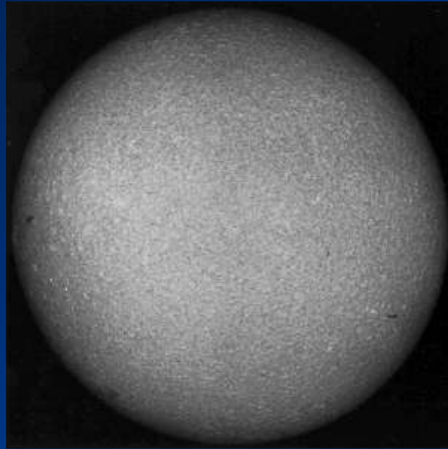
**2. Druhá česko-slovenská konferencia o vzdelávaní
a astronómii**

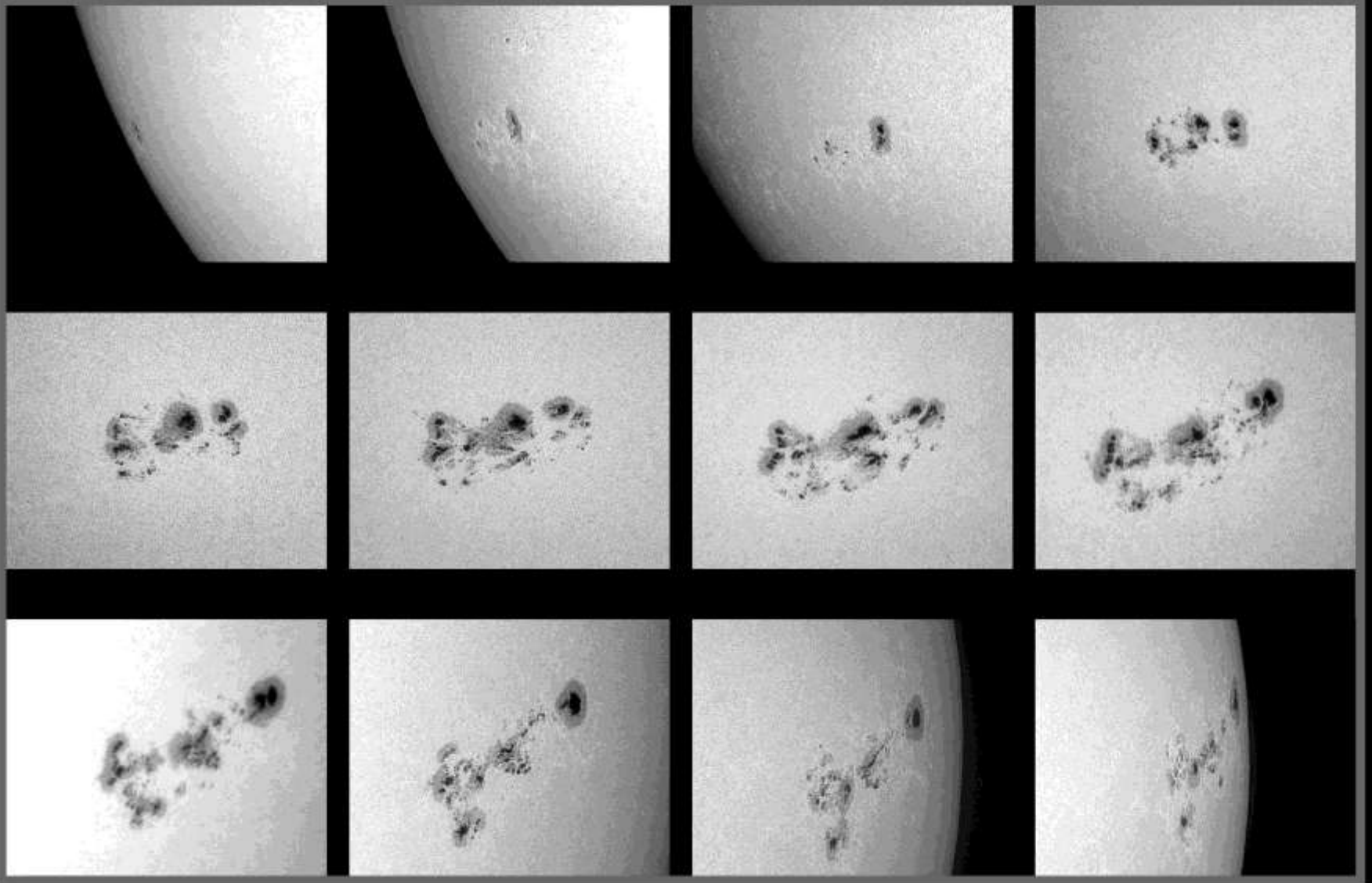
2010 Október 1-3

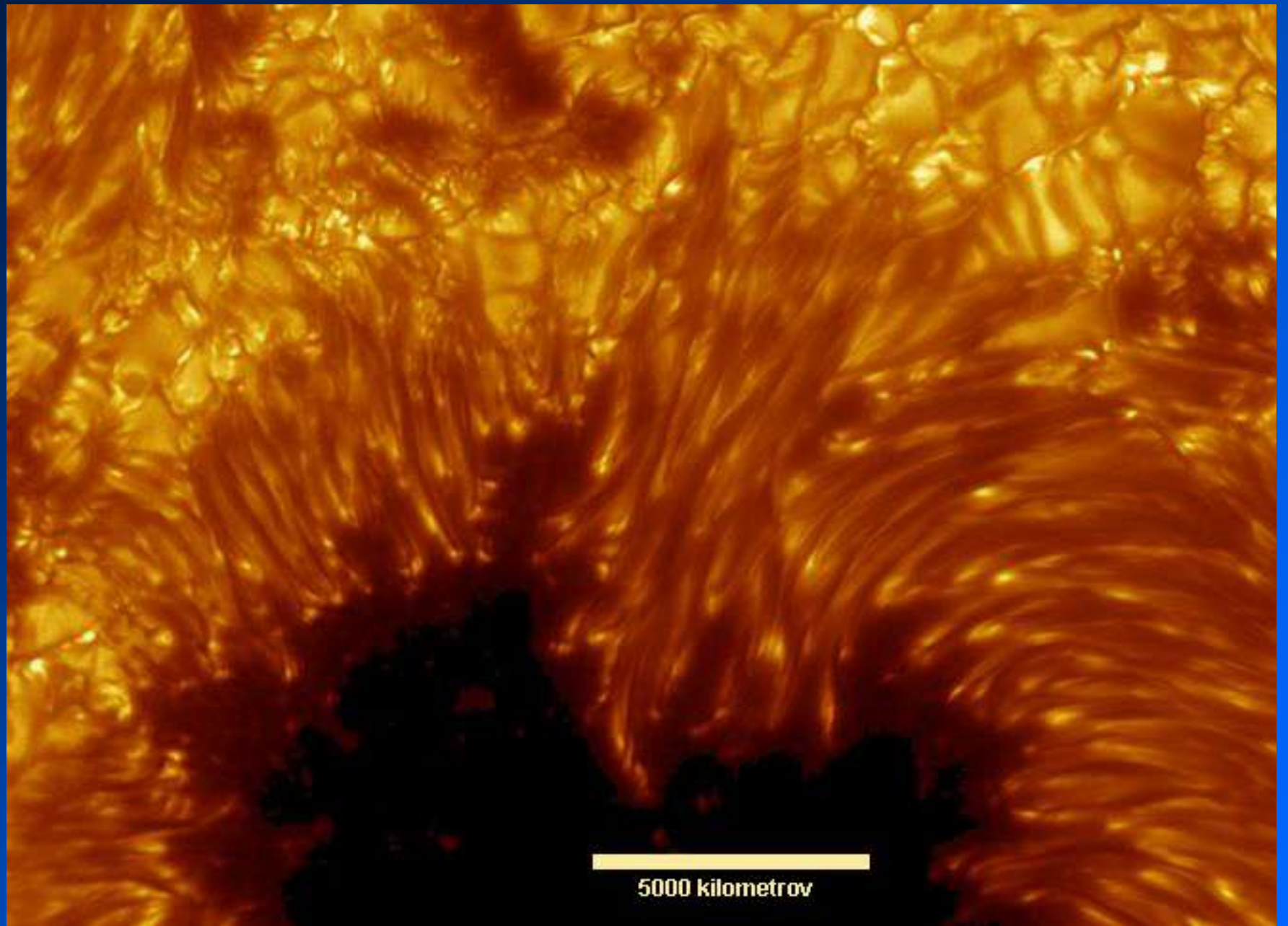
Valašské Meziříčí, Česká republika

Obsah

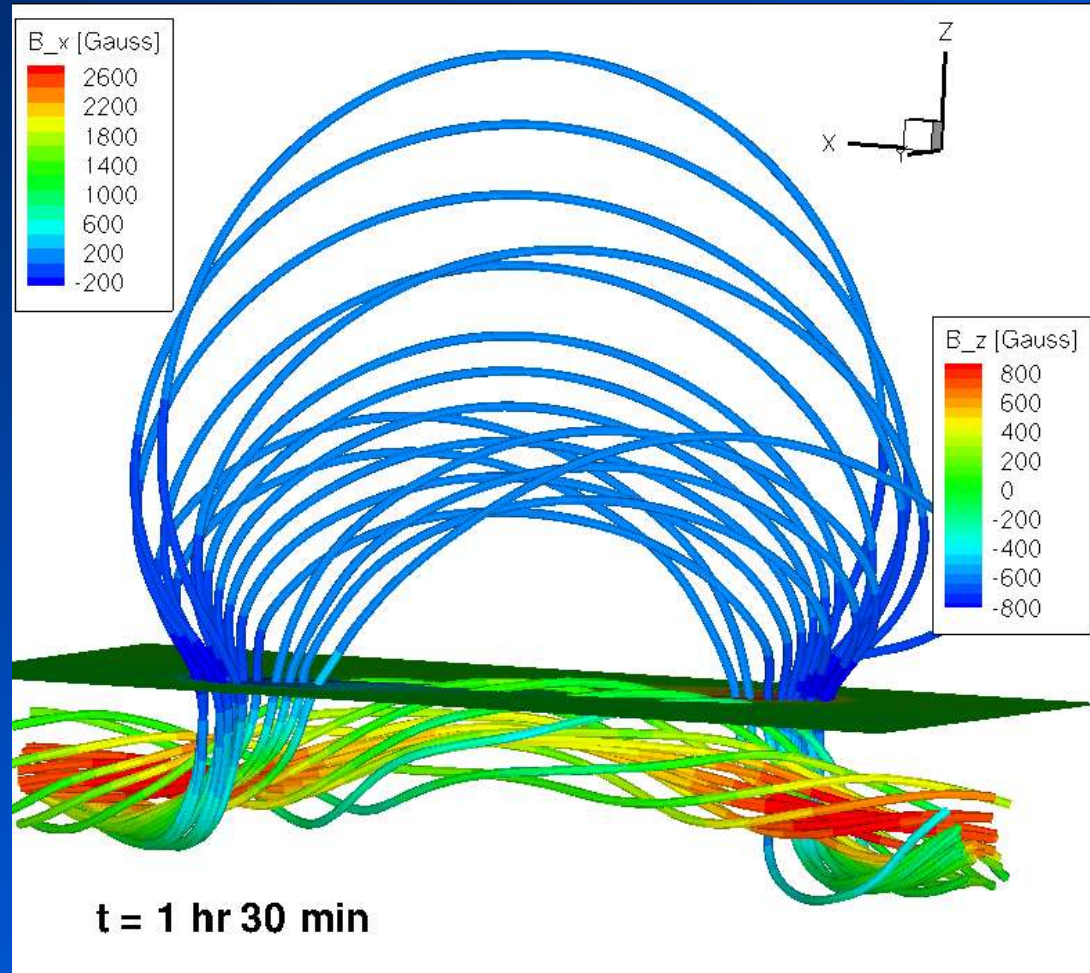
- Cyklus (cykly) slnečnej aktivity
- Vlastností cyklu
- Zákonitosti vývoja cyklu (cyklov)
- 22-ročný cyklus aktivity
- Dlhšie cykly slnečnej aktivity
- Vznik cyklu slnečnej aktivity
- Dôsledky cyklov pre Zem
- Záver





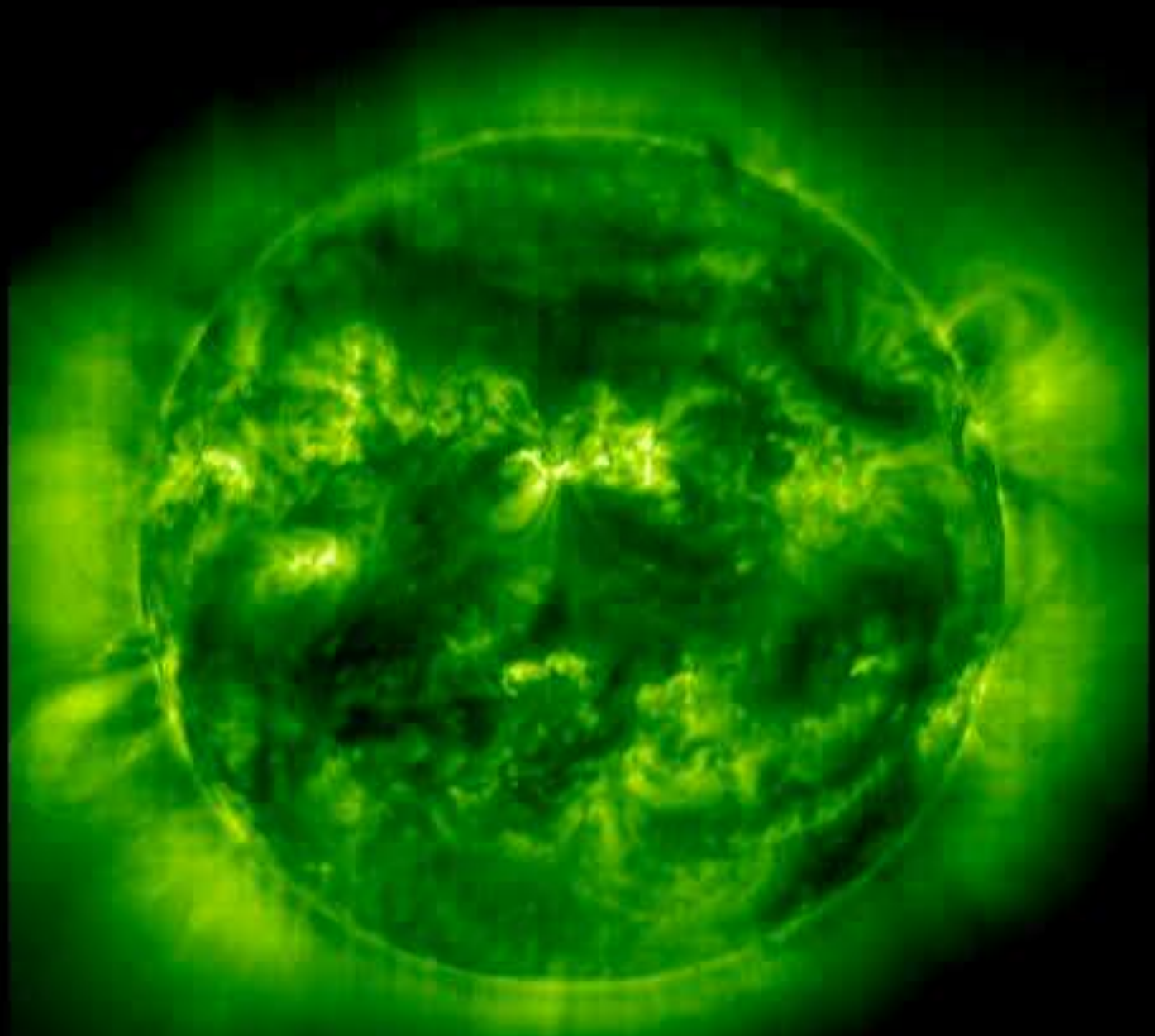


Model magneticke silotrubice na Slnku



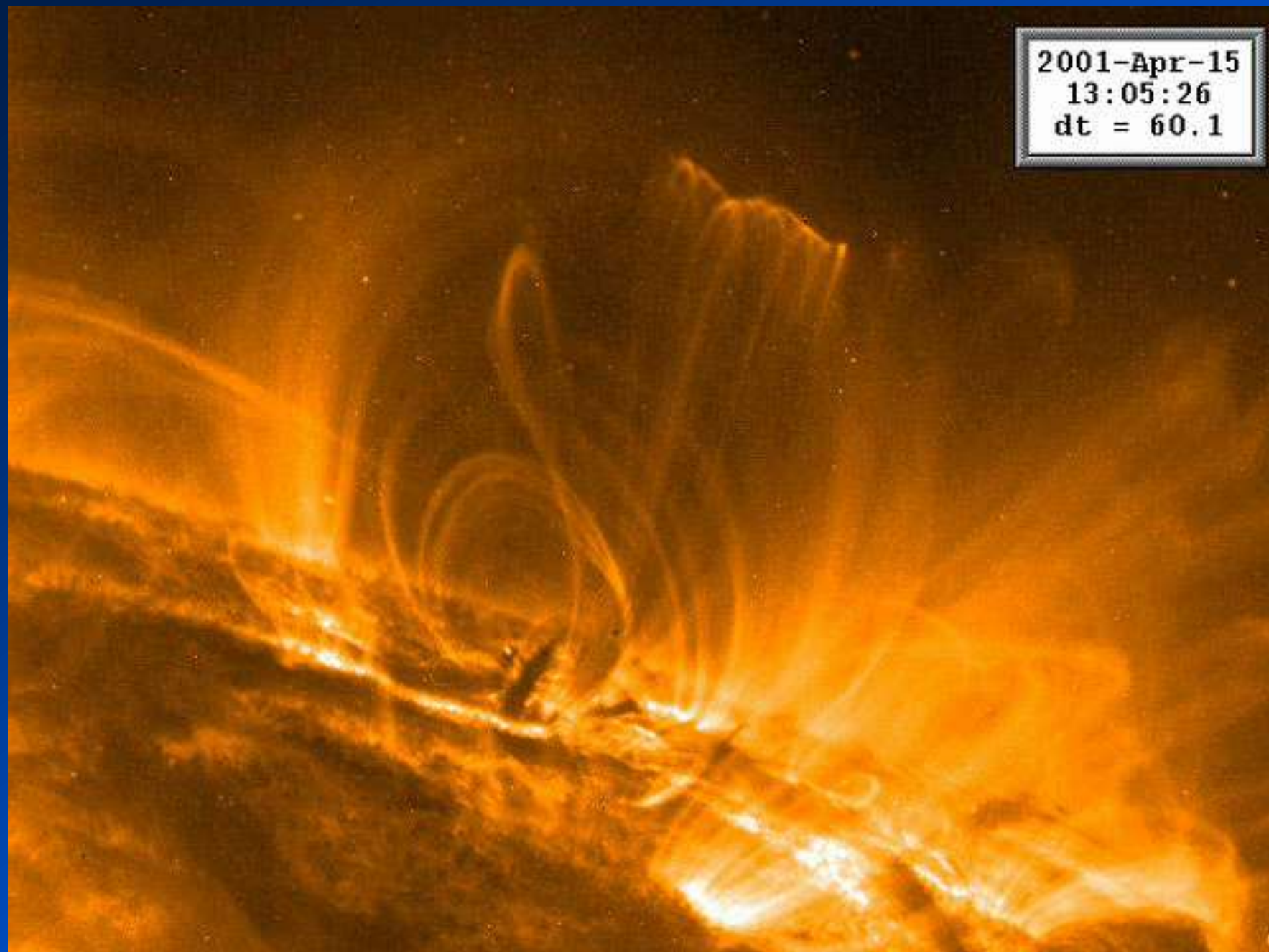
Čo rozumieme pod slnečnou aktivitou ?

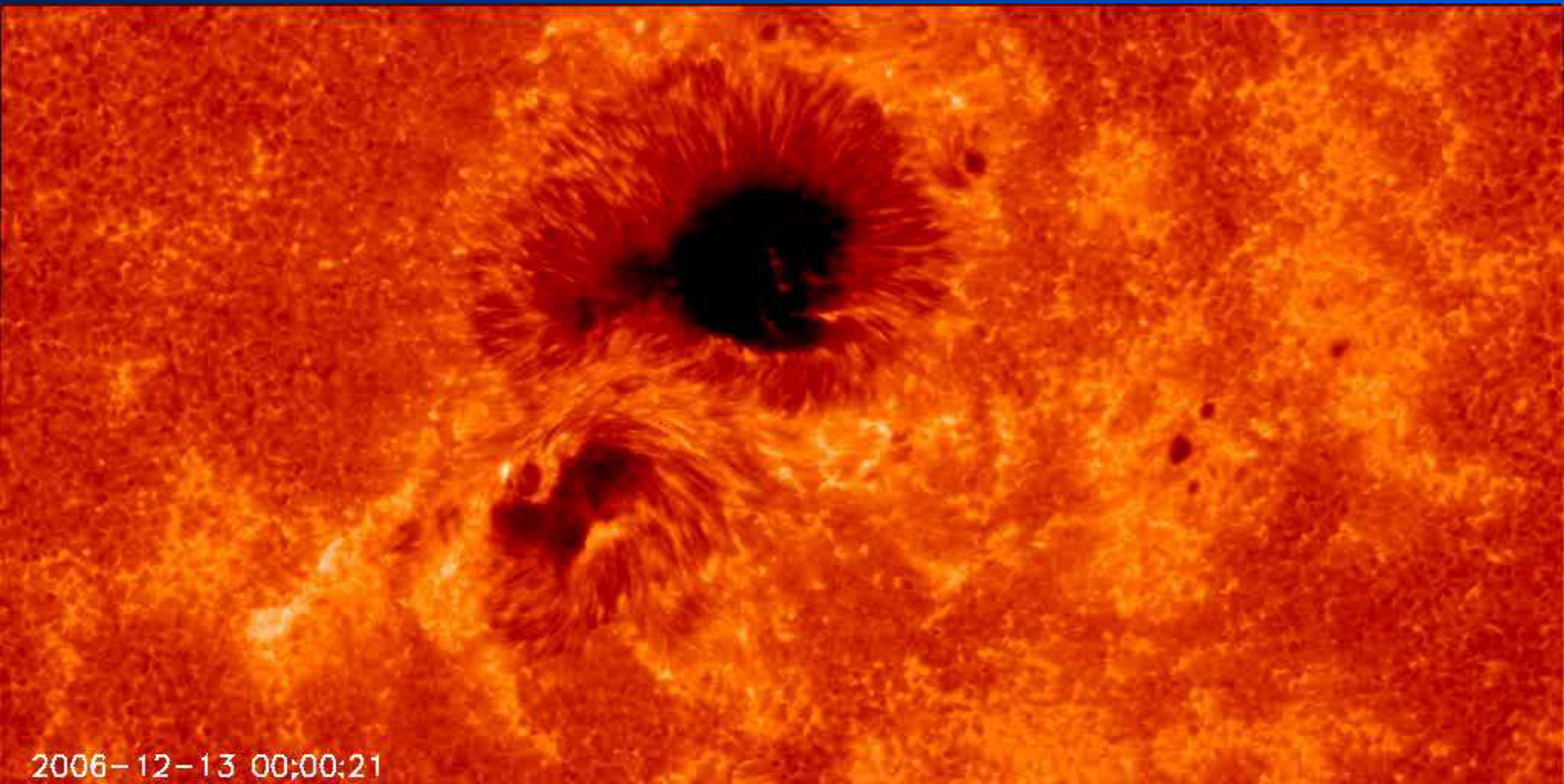
- **Miera odchýlky od rovnovážneho stavu (rovnovážny stav je podľa istých kritérií vopred definovaný)**
- **Výskyt aktívnych oblasti na Slnku, približne v jedenásťročnom základnom cykle; pričom aktívne oblasti na Slnku ovplyvňujú mnohé procesy nielen zemskej atmosfére, na Zemi, ale heliosfére vôbec**
- **Dynamické procesy (náhle aj pomalé), pozorované na Slnku, napr. slnečné škvrny, erupcie, protuberancie, ejakcie koronálnej hmoty, majúce svoju odozvu v celej škále elektromagnetického žiarenia, vrátane bieleho svetla**



2000/07/14 08:12:10

2001-Apr-15
13:05:26
dt = 60.1





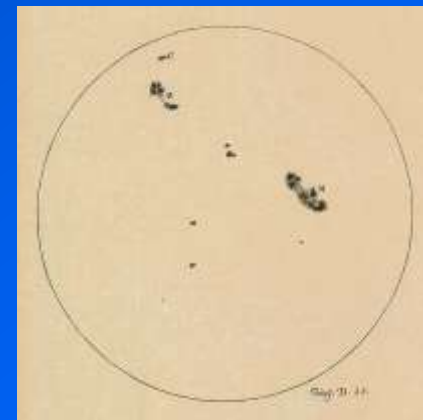
2006-12-13 00:00:21

The first mention of possible periodic behavior in sunspots came from Christian Horrebow who wrote in his 1776 diary:

- **“Even though our observations conclude that changes of sunspots must be periodic, a precise order of regulation and appearance cannot be found in the years in which it was observed. That is because astronomers have not been making the effort to make observations of the subject of sunspots on a regular basis. Without a doubt, they believed that these observations were not of interest for either astronomy or physics. One can only hope that, with frequent observations of periodic motion of space objects, that time will show how to examine in which way astronomical bodies that are driven and lit up by the Sun are influenced by sunspots.” ([Wolf, 1877](#), translation by Elke Willenberg)**

První výskumníci tmavých škvřín na Slnku pomocou ďalekohľadu (po 1609)

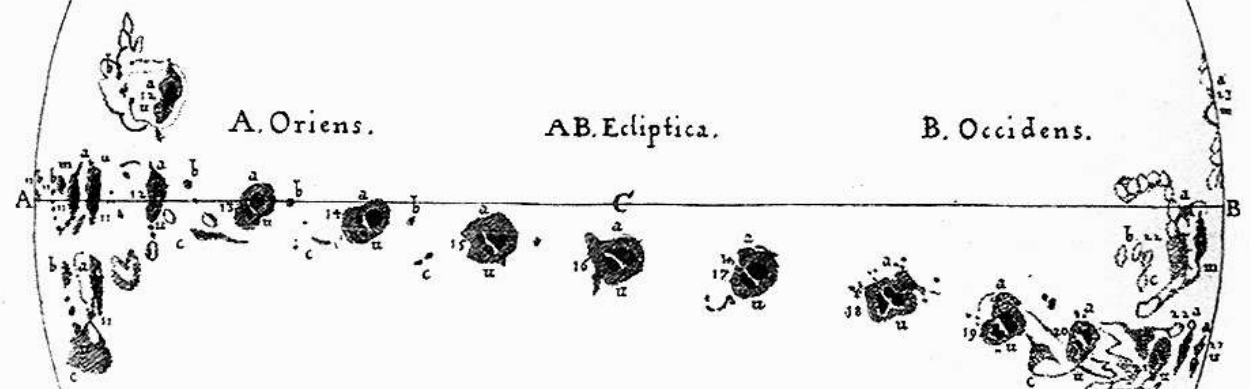
- Galileo, Fabricius, Harriot, Scheiner (jezuita)
- Sporadické pozorovania slnečných škvřín voľným okom siahajú asi do roku 83 p.n.l. (čínski astronómovia)
- Kresba slnečných škvřín od mnícha J. Worcestera (1129) v kronike *Chronicon ex chronicis*



☉
 ANNO IUBILÆO M.DC.XXXV.
 In Domo Professæ Romana Societatis



Cursus Macularum ab 11. Maij, ad 23. eiusdem
 similis Cursib, aliis aliorum annorum tempore eodg.



MAY.

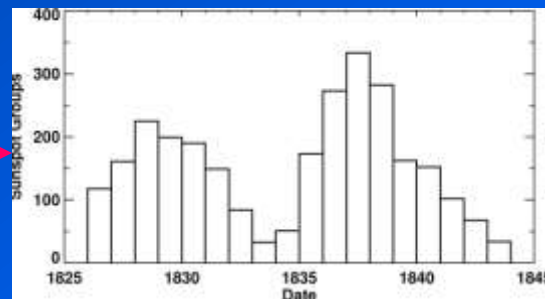
D_H_☉.El.	☉	D_H_☉.El.
11. m. 8 $\frac{1}{2}$ 34. 0.		18. u. 5 $\frac{1}{2}$ 16. 0.
11. u. 6 $\frac{1}{2}$ 14. 0.		19. u. 6 $\frac{1}{2}$ 13. 0.
12. u. 4 $\frac{1}{2}$ 32. 0.		20. u. 4 $\frac{1}{2}$ 33. 0.
13. u. 4 $\frac{1}{2}$ 21. 30.		21. u. 5 $\frac{1}{2}$ 20. 10.
14. u. 5 $\frac{1}{2}$ 16. 0.		22. m. 8 $\frac{1}{2}$ 40. 0.
15. u. 5 $\frac{1}{2}$ 18. 0.		22. u. 3 $\frac{1}{2}$ 44. 0.
16. u. 4. 33. 0.		23. m. — 19. 15.
17. u. 4 $\frac{1}{2}$ 25. 30.		

N

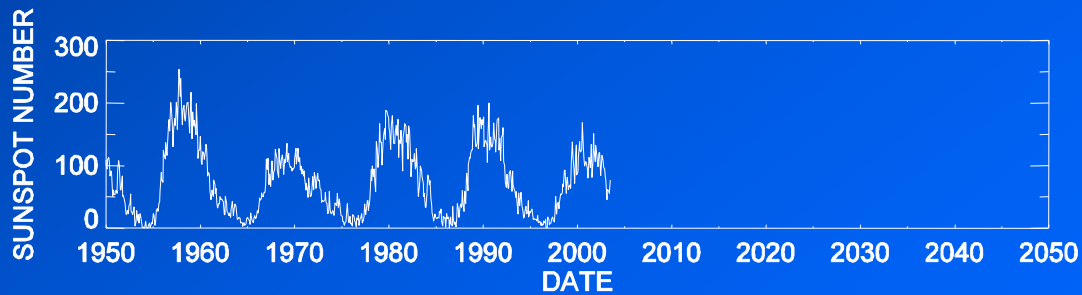
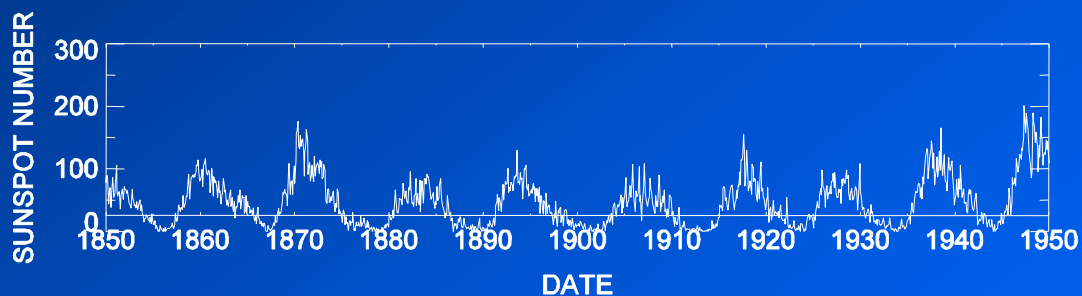
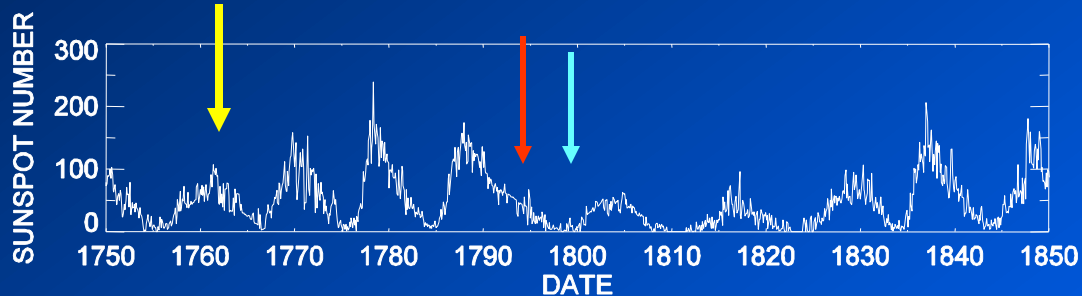
Lauf der Sonnenflecken vom 11. bis 23. Mai 1625.
 »Rosa Ursina« Seite 211.

Stanovenie cyklu slnečnej aktivity

- **1843 – H. Schwabe (na základe vlastných 17 ročných pozorovaní objavuje cyklus vo výskyte škvŕn)**
- **Wolf R. (1816-1893) – rekonštrukcia pozorovaní do roku 1749. Definícia tzv. relatívneho čísla, $R = k \times (10g + f)$ vo výskyte škvŕn; cyklus č. 1 stanovil pre roky 1755-1766 – odvtedy sa počítajú cykly; súčasný má číslo 24.**
- **Hodnoty R: denné, mesačné, ročné, za cyklus. Vyhladené: najčastejšie pre mesačné hodnoty nasledovne: definovaný mesiac ± 5 mesiacov, polovičné hodnoty zo 6. mesiaca pred a po (celkom 13 mesiacov)**



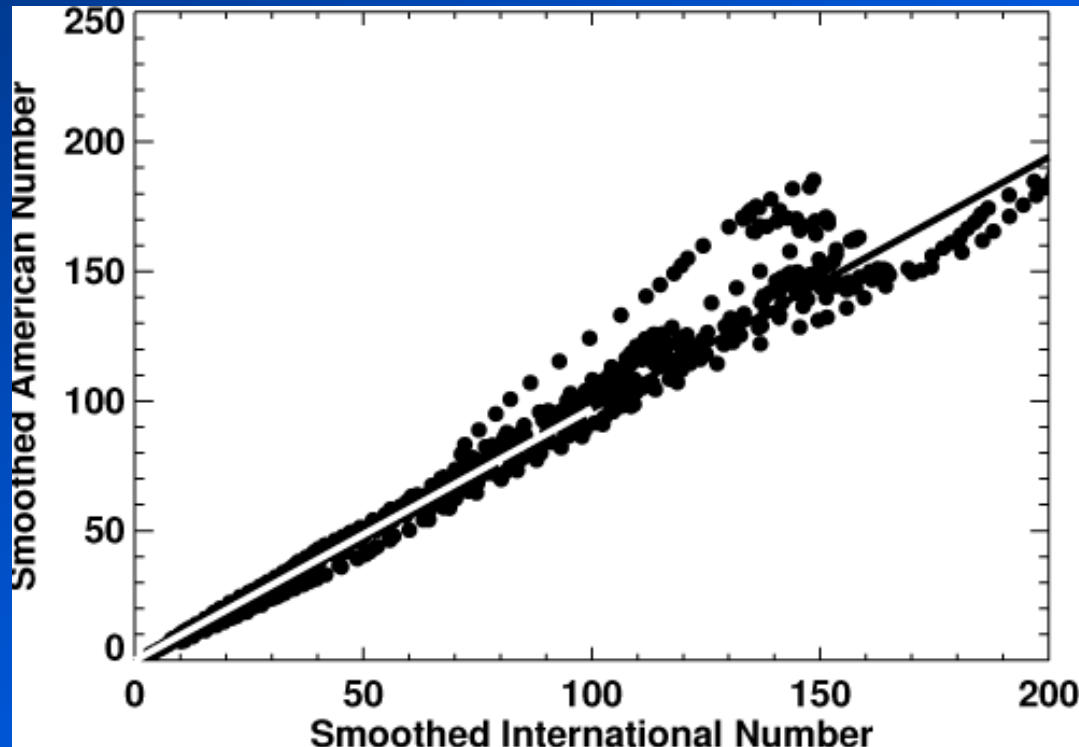
c1



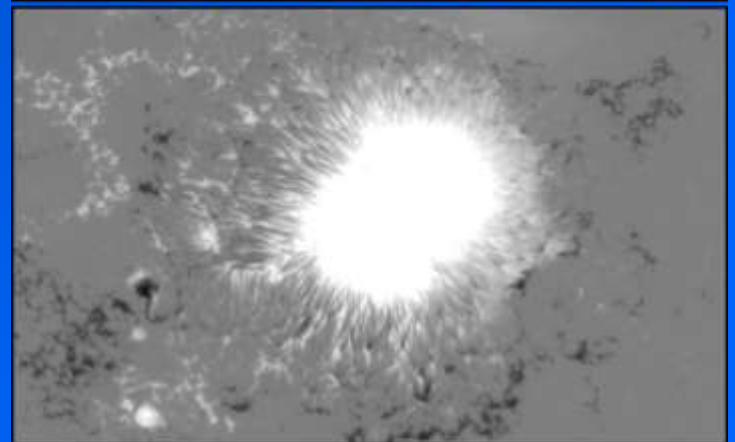
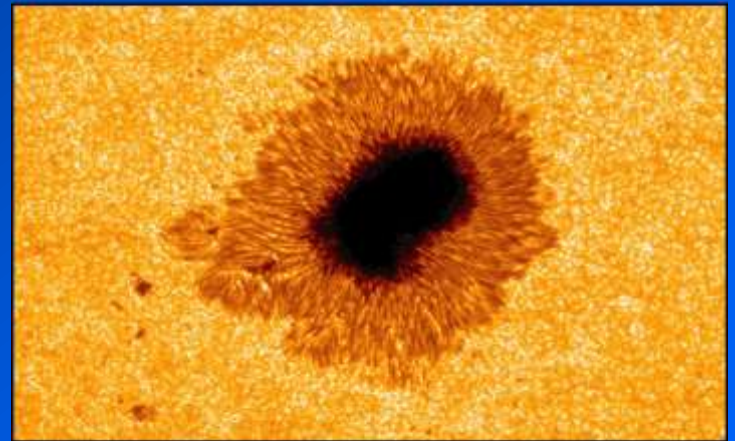
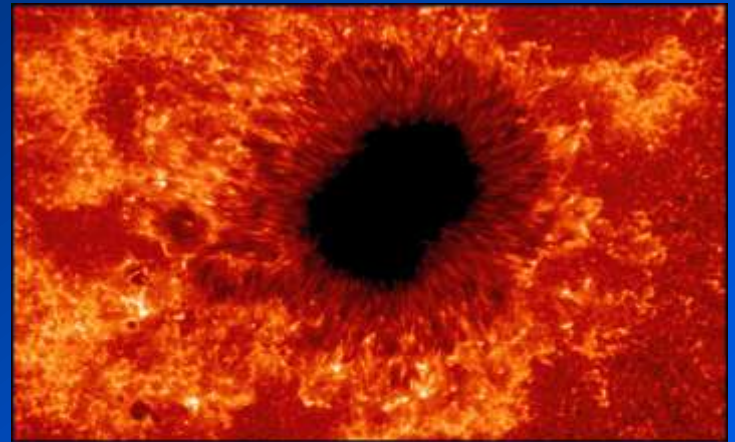
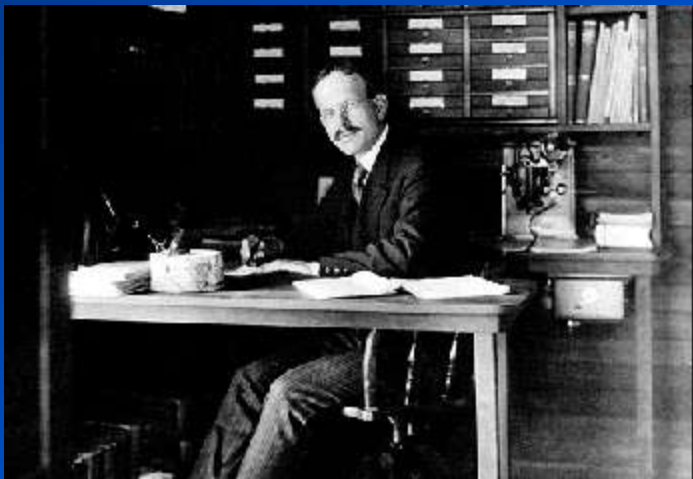
1793 – 1800 = stratený cyklus (Usoskin a iní, 2009)

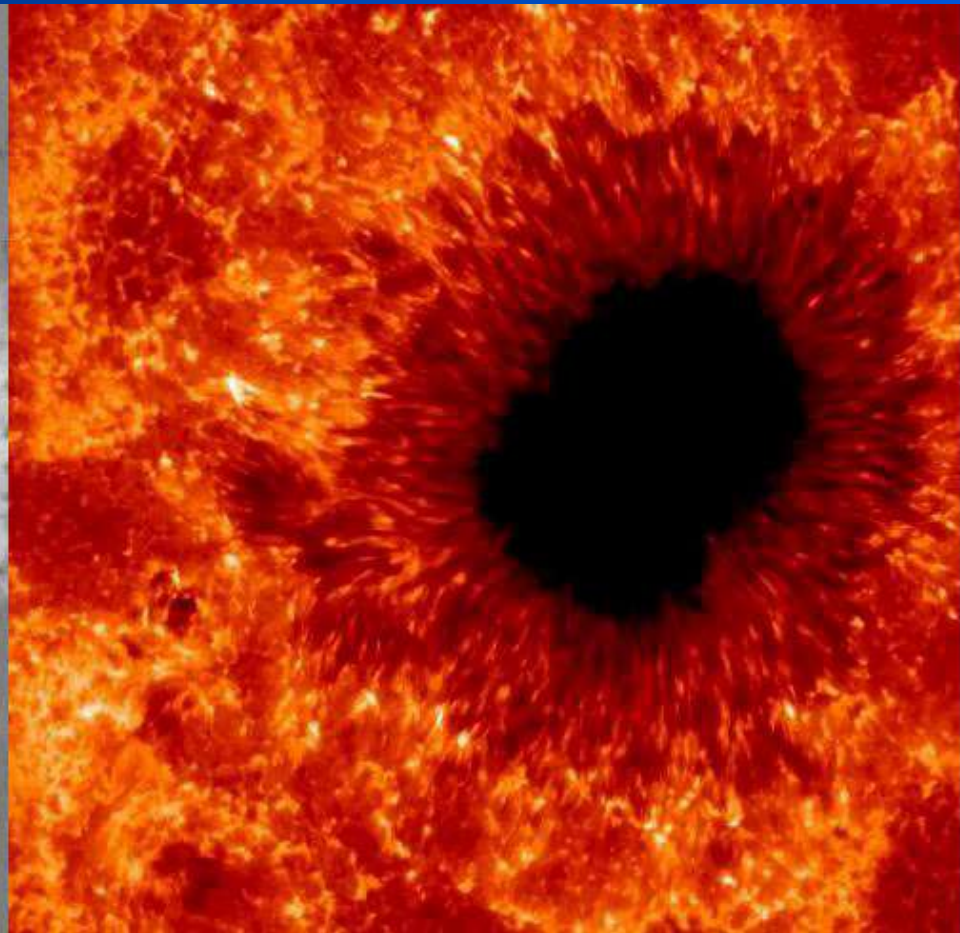
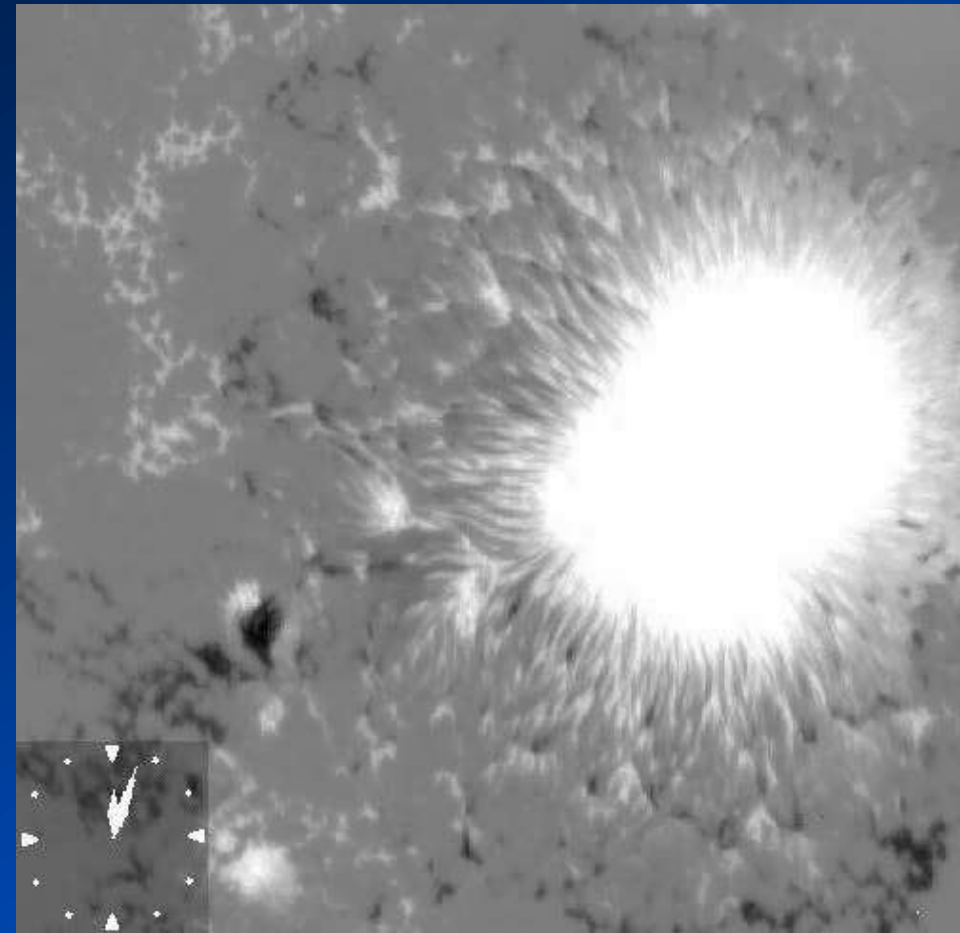
Dva zdroje dát W

- the International Sunspot Number has been provided by the Royal Observatory of Belgium (od roku 1981)
- US Air Force od 1977



- G. Hale (1868-1938)
- – 1908 –
- objav magnetického poľa
- vo škvrnách

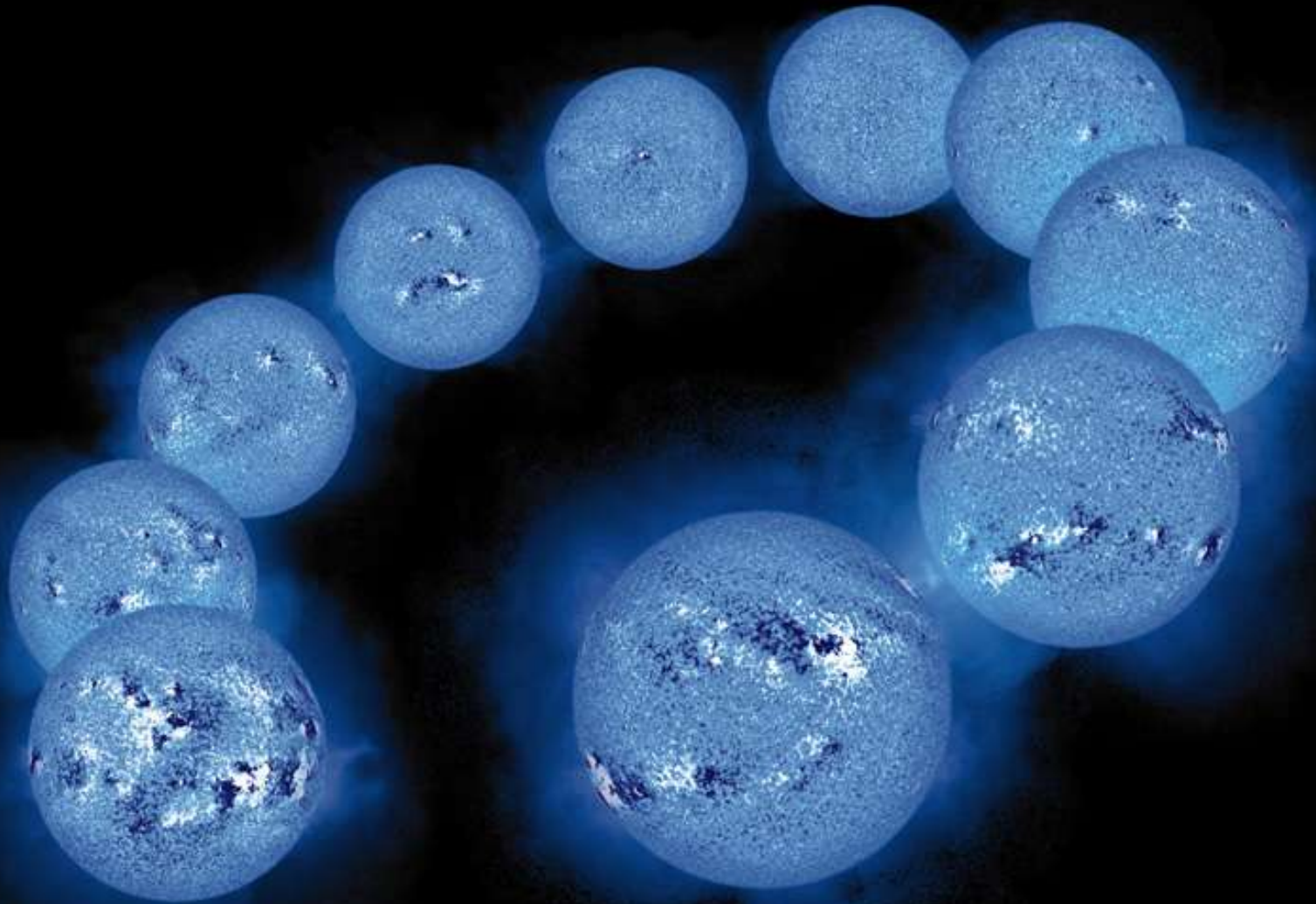




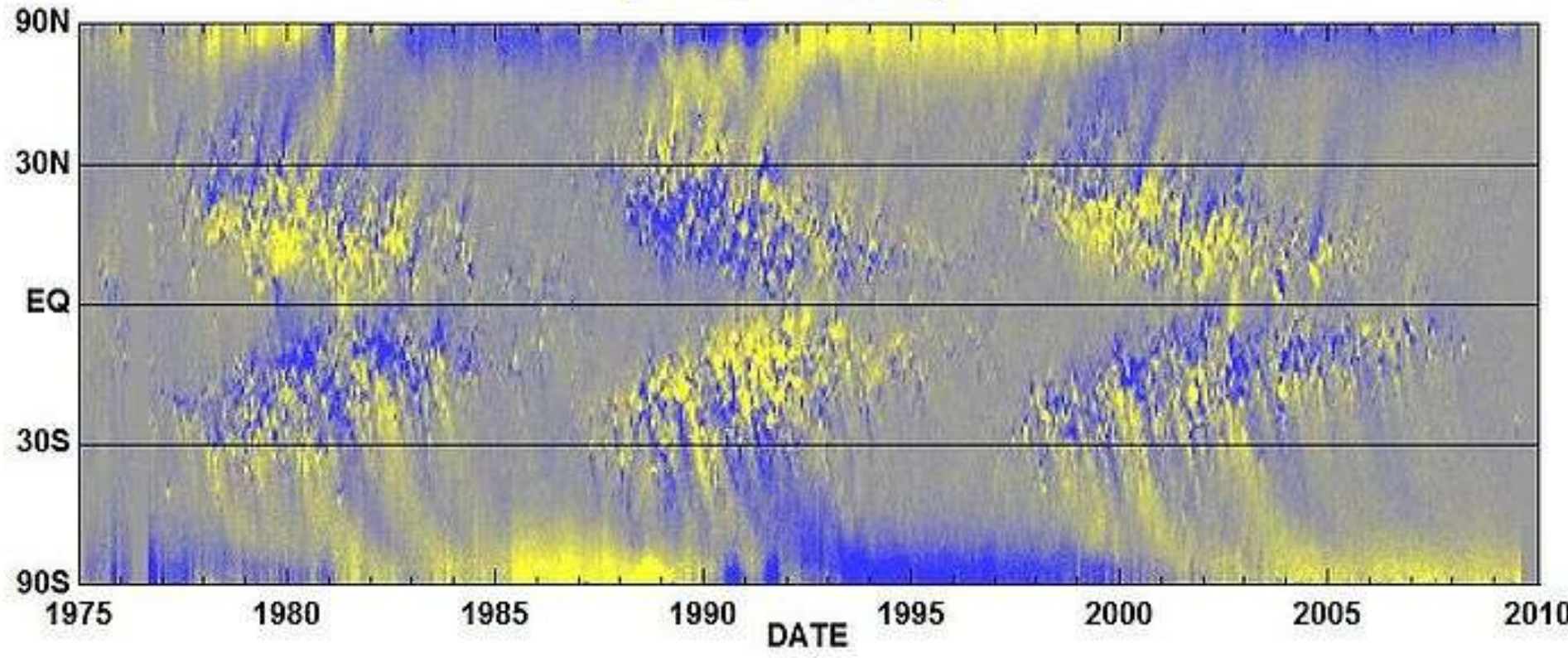
Zákonitosti rozloženia magnetického poľa v cykle aktivity

- Ak má vedúca škvrna v danom cykle na severnej pologuli kladnú polaritu, potom chvostová škvrna rovnakej aktívnej oblasti má zápornú polaritu
- Pre daný cyklus je situácia na južnej pologuli opačná – vedúca škvrna má zápornú polaritu, chvostová škvrna kladnú
- V nasledujúcom cykle sa polarita vymenia
- K zámene polarít na póloch Slnka dochádza v okolí maxima cyklu slnečnej aktivity, to znamená, že rovnaká polarita na rovnakom póle nastane po 22 rokoch – preto 22 ročný cyklus slnečnej aktivity alebo Haleho cyklus (pomenovaný na počesť objaviteľa magnetického poľa na Slnku)
- Vedúca škvrna aktívnej oblasti má tendenciu byť k rovníku Slnka bližšie ako chvostá časť





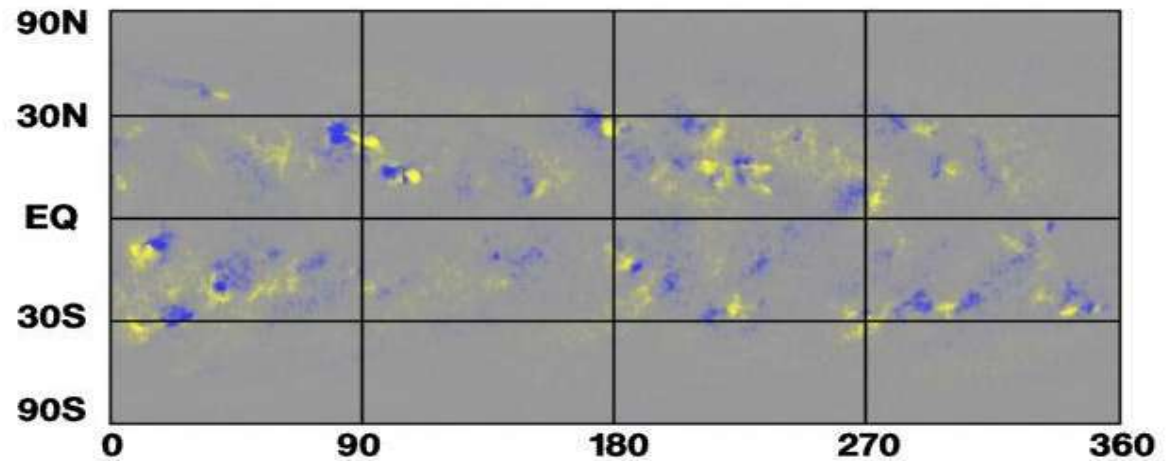
-10G -5G 0G +5G +10G



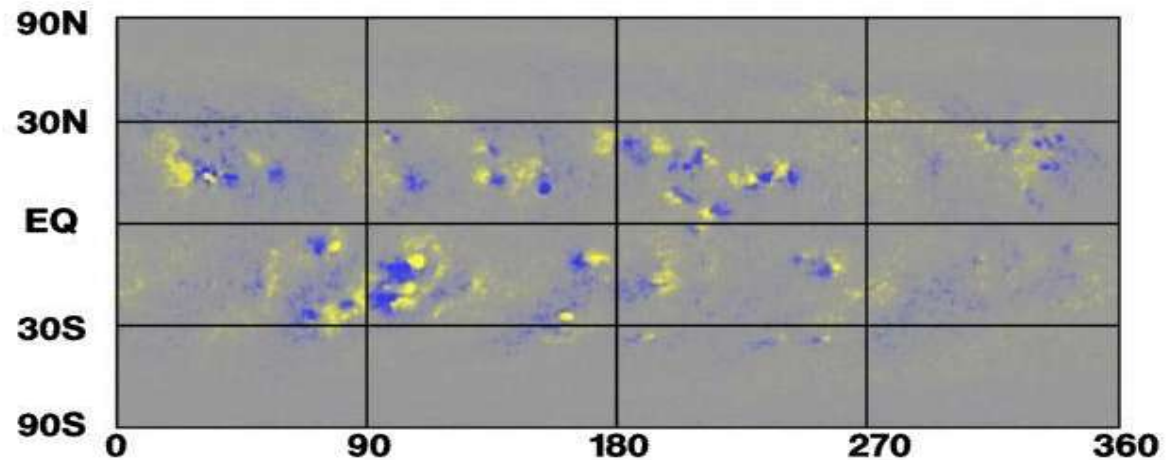
Hathaway/NASA/MSFC 2009/09

Haleho zákon

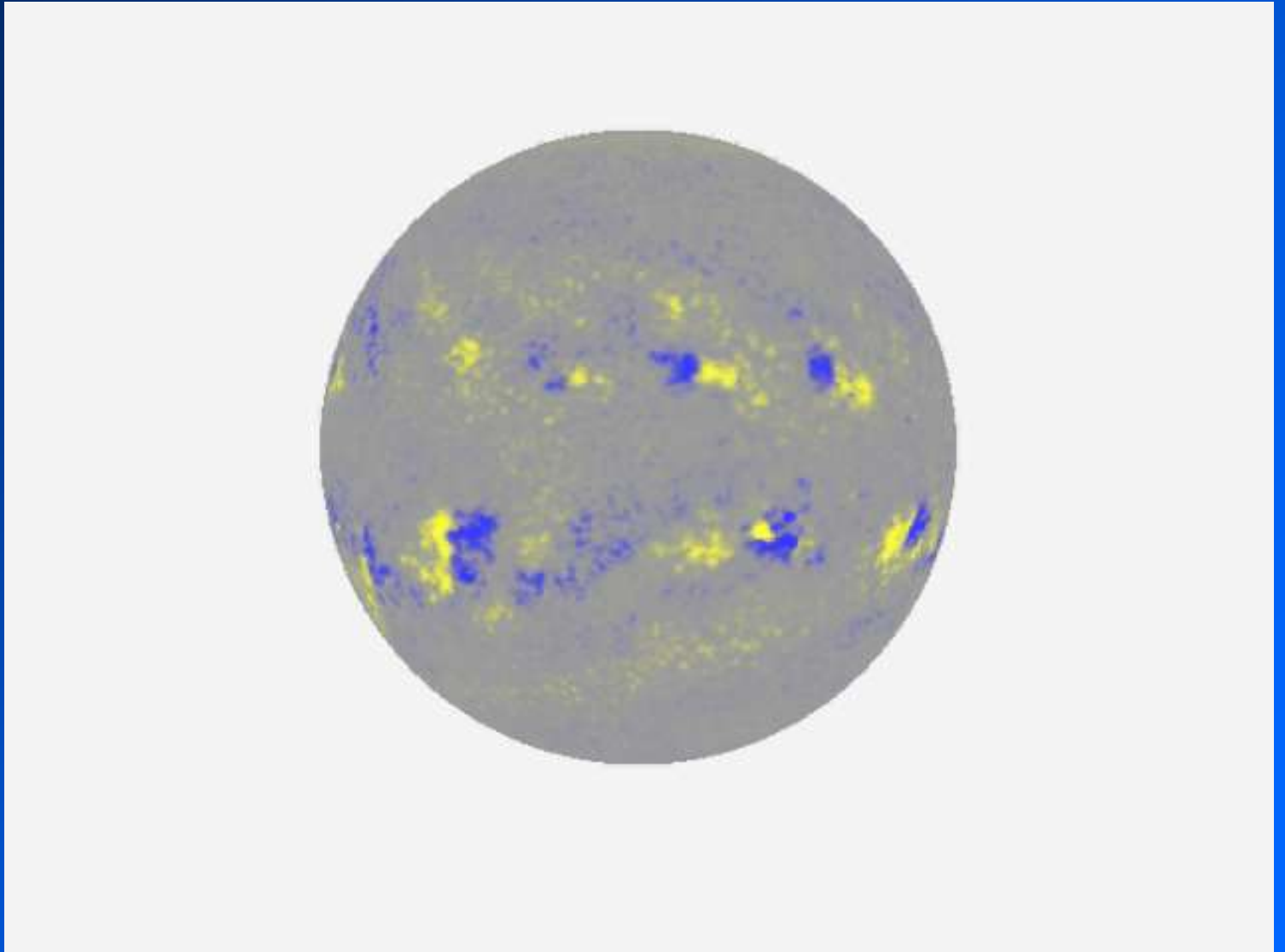
Cycle 21



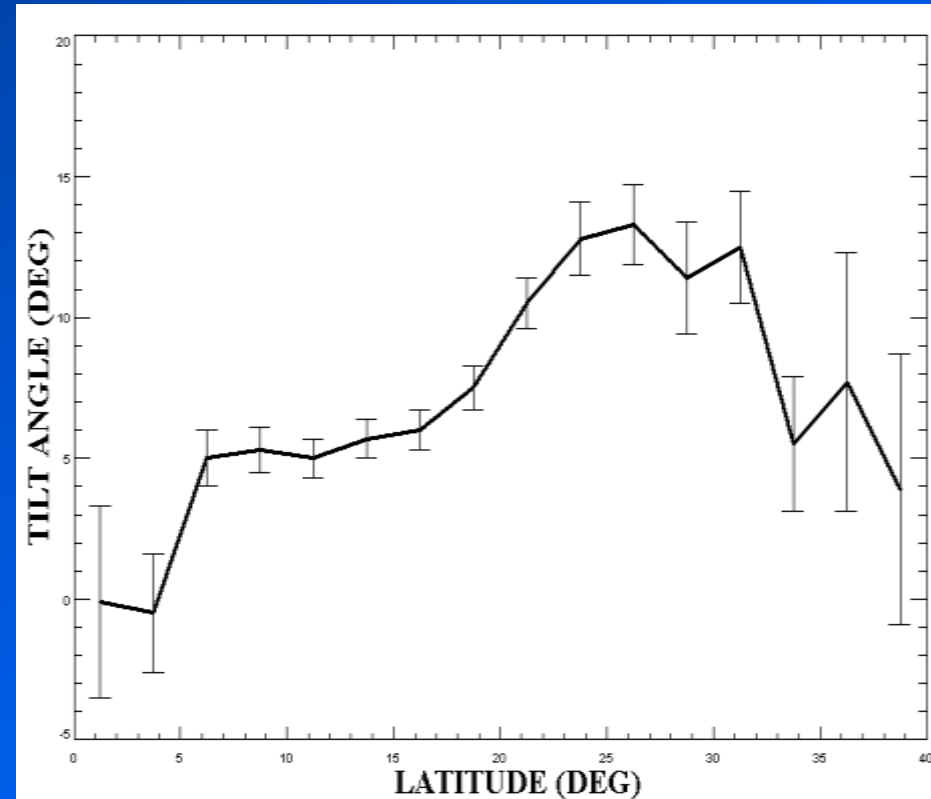
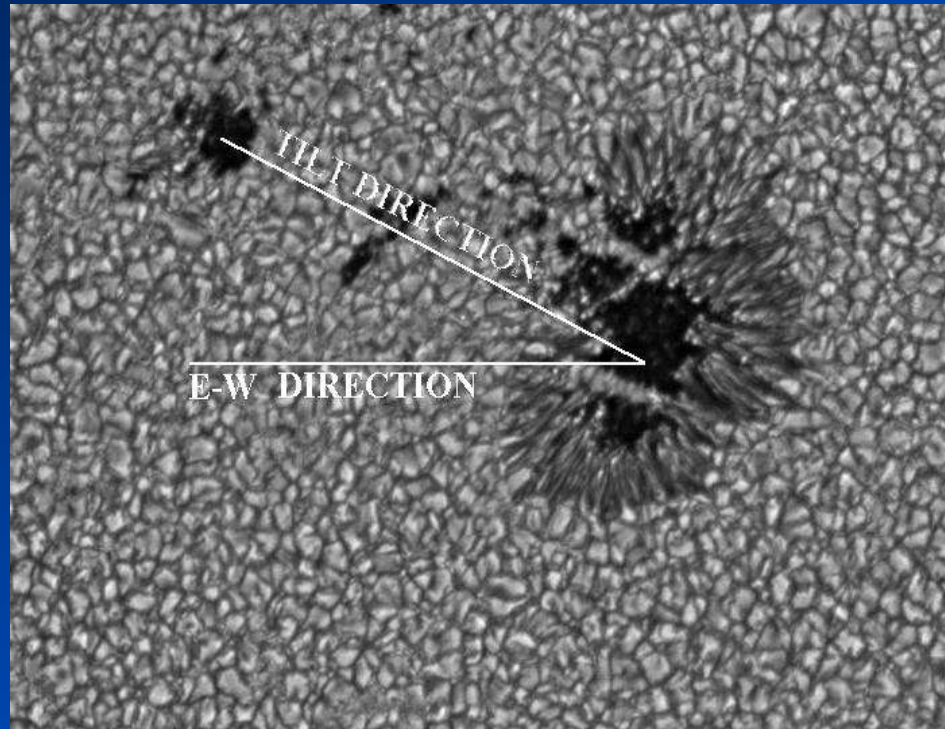
Cycle 22



Dynamika magnetických polí na Slnku



Sklon aktivných oblastí: Joyov zákon



Pravidlo Gnevyshev-Ohl

- Súčet hodnôt Wolfovho čísla v nepárnom cykle je vyšší ako v predchádzajúcom párnom cykle

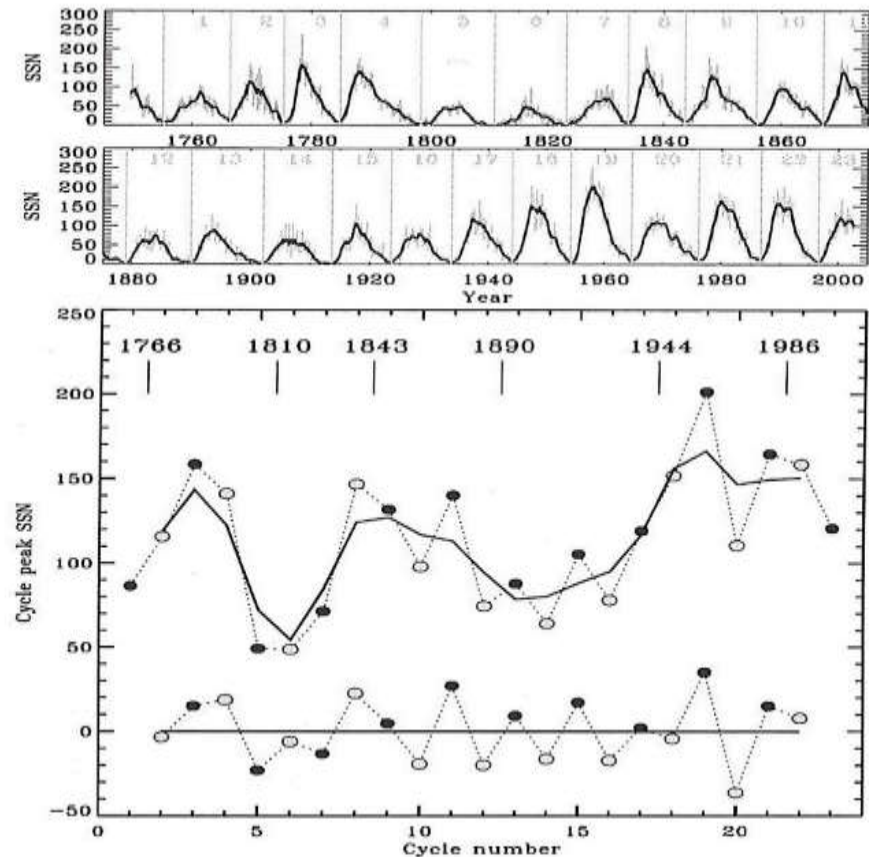
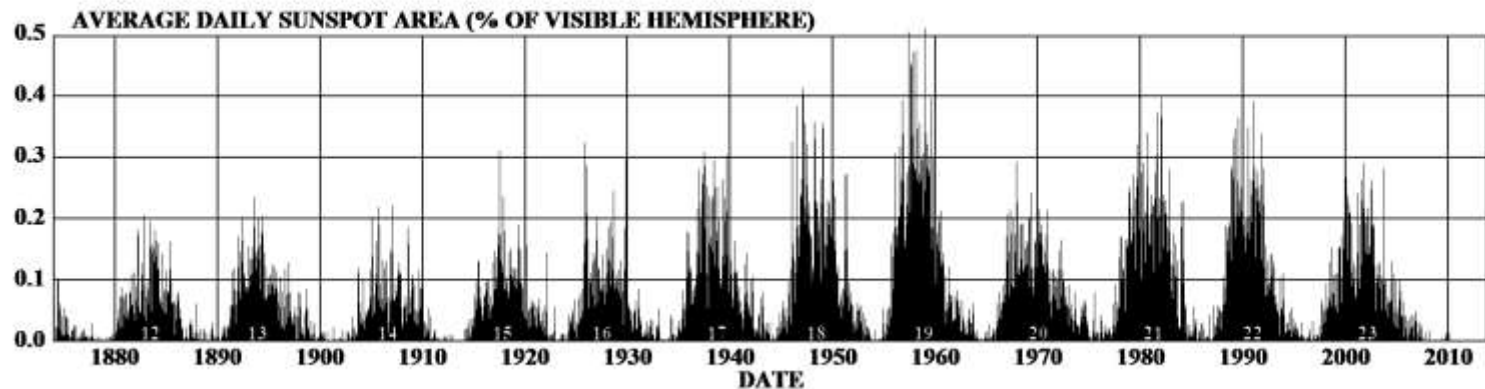
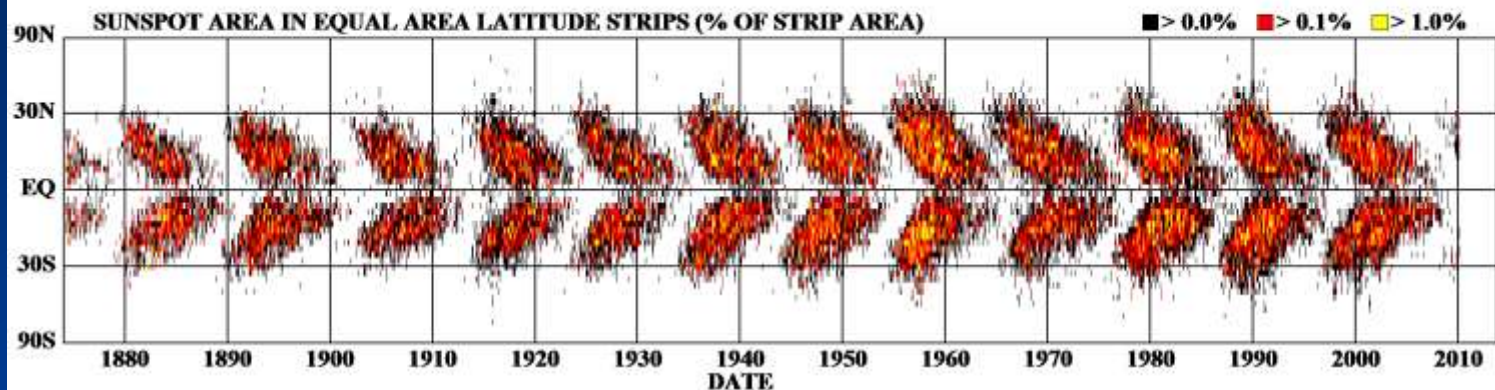


FIG. 1.—Gnevyshev-Ohl rule. The peak sunspot number for each cycle in the 1745–present time interval is extracted from the 13 month–smoothed sunspot number time series provided by SIDC (*heavy line, top two panels*; the thin gray line is the unsmoothed monthly sunspot number). The resulting sequence of peak sunspot number values is plotted as filled circles in the bottom panel. A 1-2-1 running mean is then computed (*heavy line*), and subtracted from the cycle data, to yield the detrended sequence shown at the bottom, where the Gnevyshev-Ohl rule shows up as epochs of regular alternance between positive and negative detrended cycle amplitudes (such as between cycles 9 and 21). This analysis procedure will be used repeatedly in analyzing the simulation results reported in this paper.

Časovošírkový vývoj škvárn

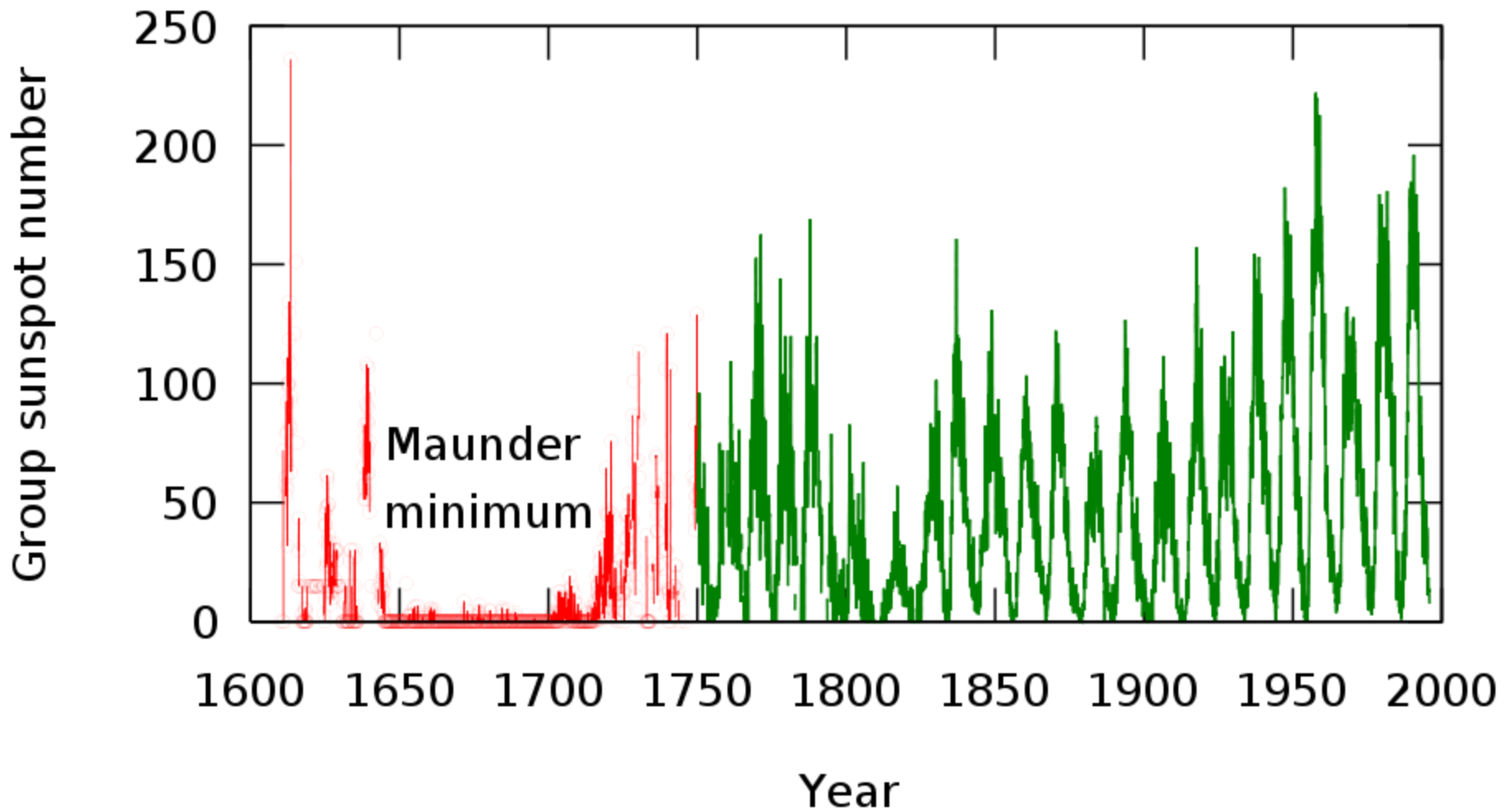
DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



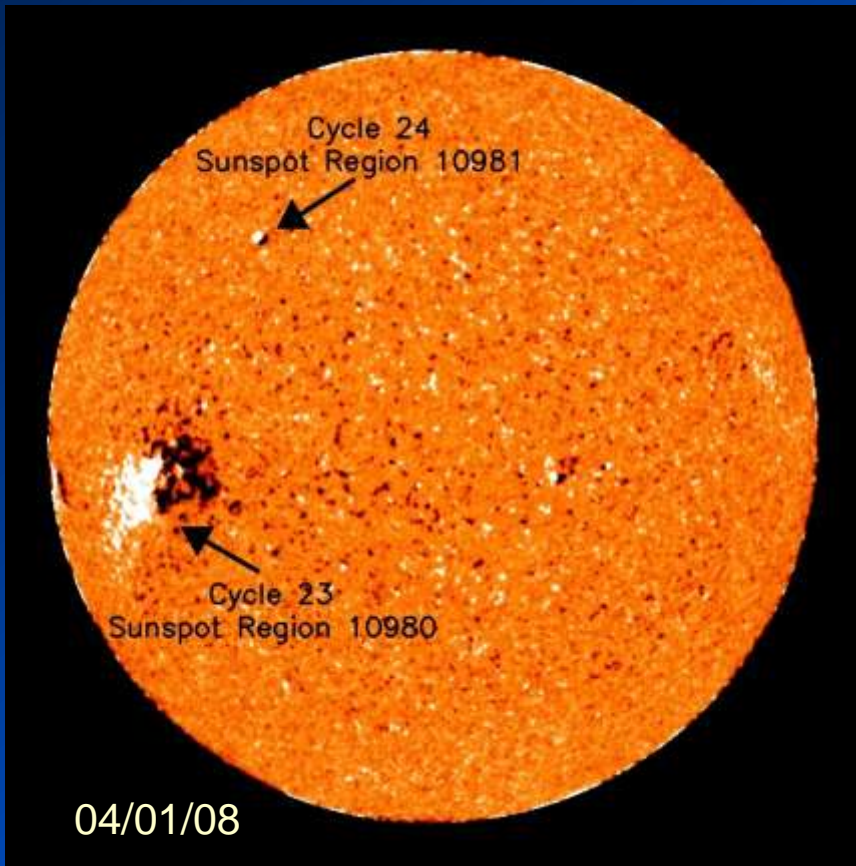
Zákonitosti vývoja

- V okolí minima cyklu slnečnej aktivity sa začínú prvé škvrny objavovať v heliografických šírkach $\pm 35^\circ$
- Postupne sa pohybujú smerom k rovníku, kde v okolí heliografických širok ± 5 stupňov zaniknú pred nasledujúcim minimom
- Maximum výskytu slnečných škvŕn sa pozoruje asi 3-4 roky po začiatok cyklu
- Minimum cyklu sa definuje najnižšou hodnotou Wolfovho čísla na základe klzavého priemeru za 13 mesiacov
- Dĺžka cyklu je v priemere 11 rokov (132 mesiacov), ale boli už cykly s trvaním od 8 do 16 rokov; v minime sa cykly prekrývajú
- Amplitúda cyklov je premenlivá – od 50 do 220 W

Periodic variation in sunspot number

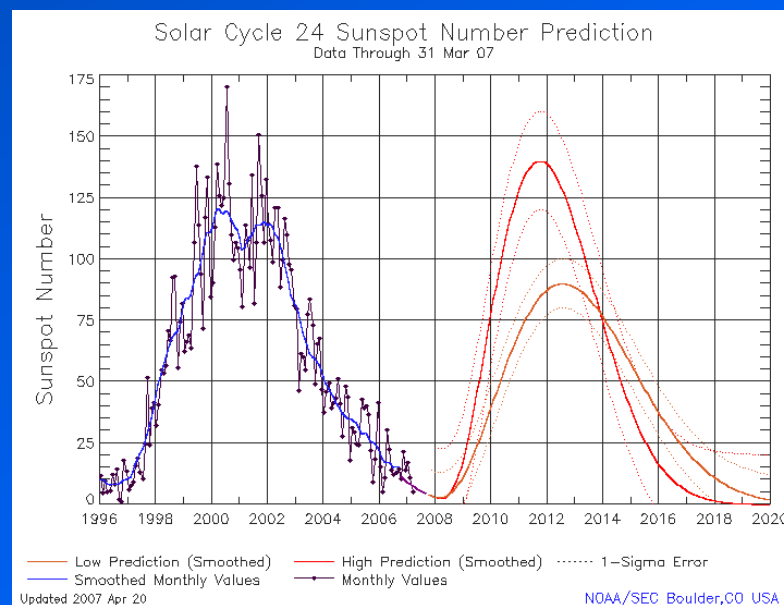


Prekryv cyklov

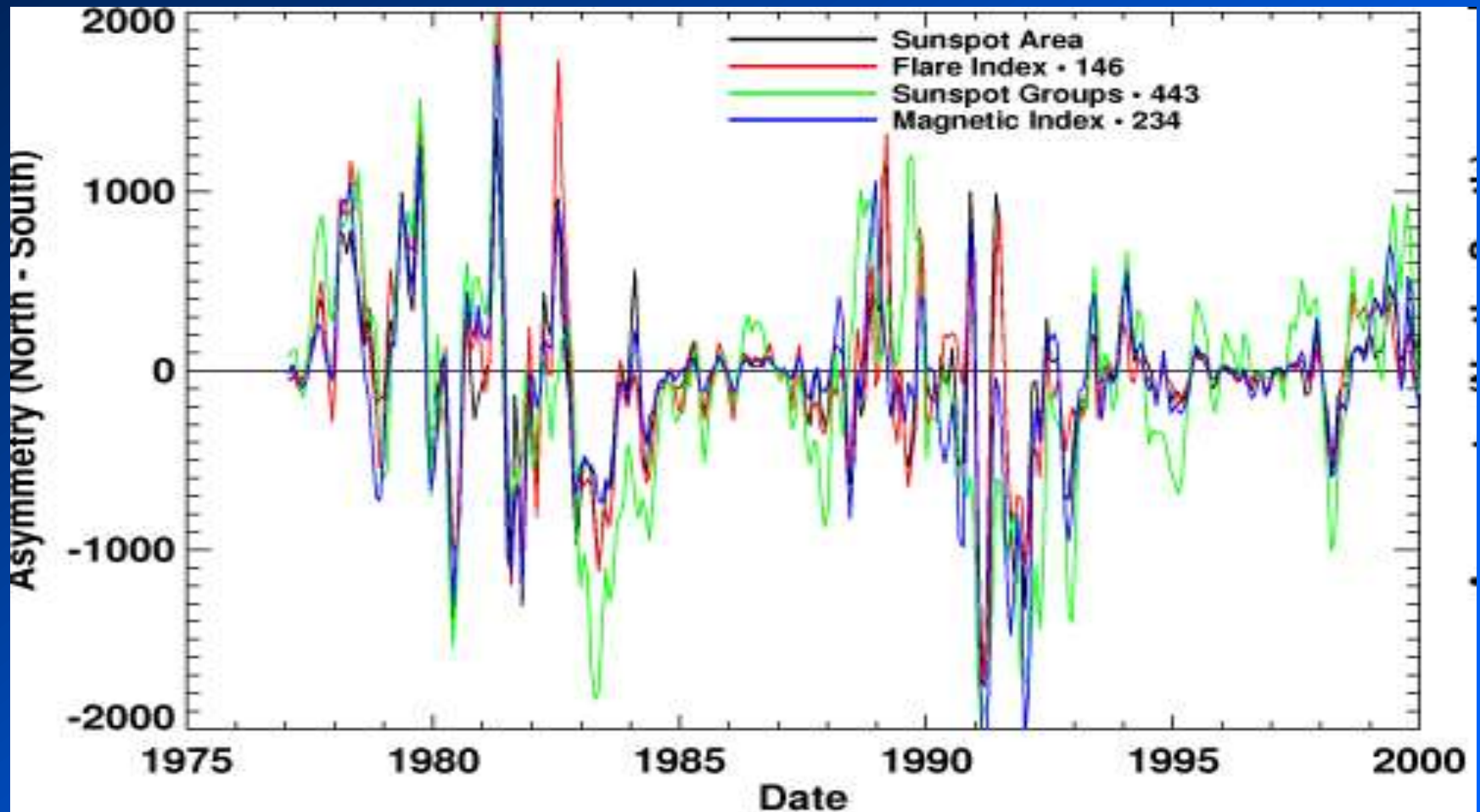


Priebeh cyklu

- **Nárast od minima do maxima trvá 3-4 roky; čím je prudší, tým má väčšiu amplitúdu**
- **Pokles od maxima do minima je 6-8 rokov; oba intervaly sa menia od cykla k cyklu**
- **Maximum nemusí byť jedno**
- **Životnosť aktívnych oblastí je rôzna – od niekoľko dní po mesiace**

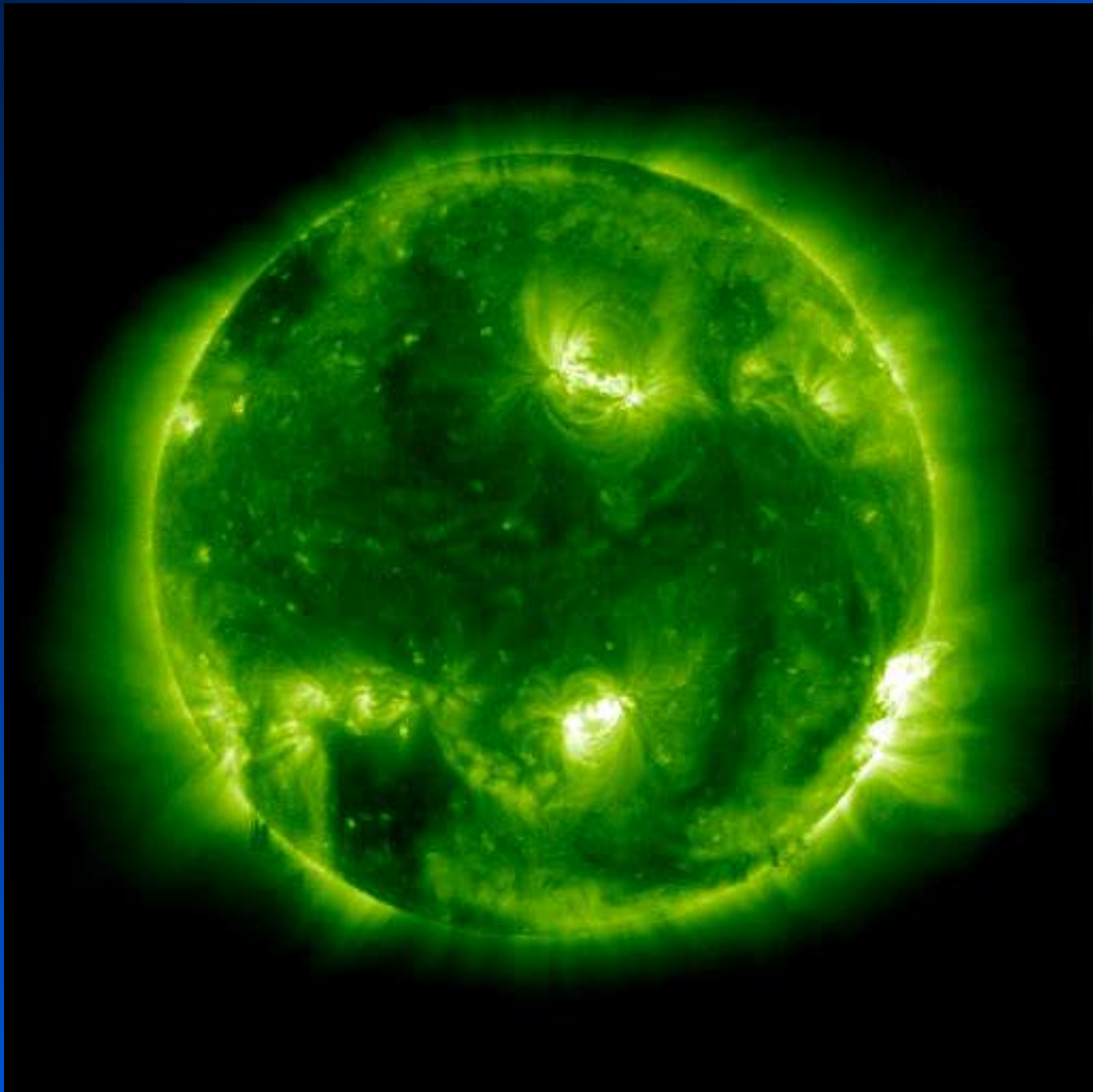


Severojužná asymetria

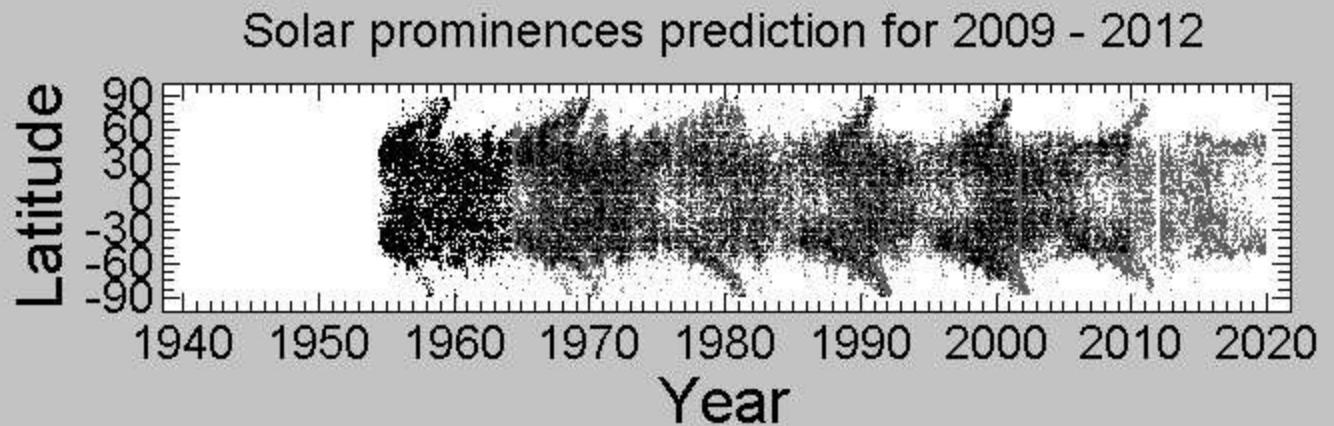
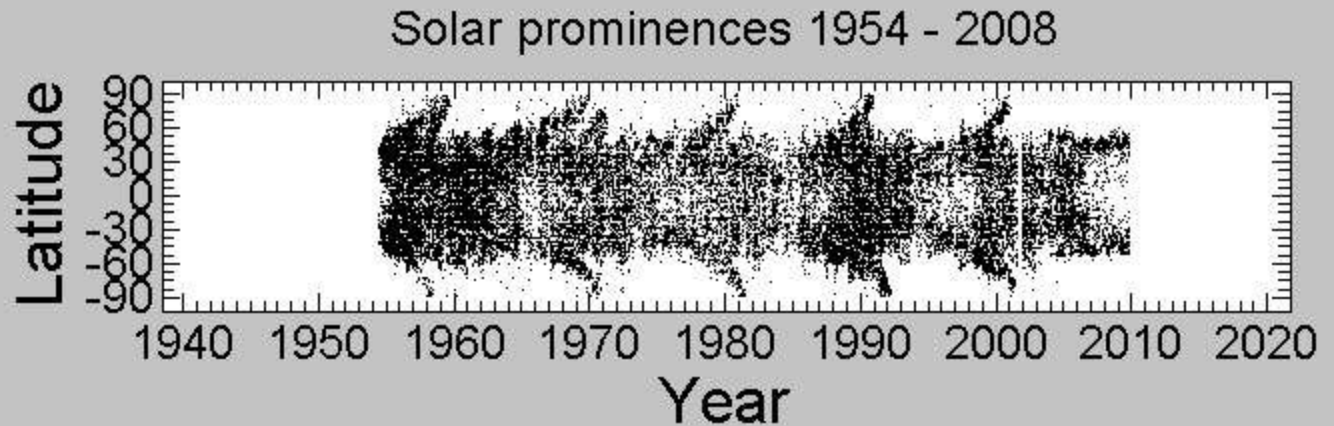
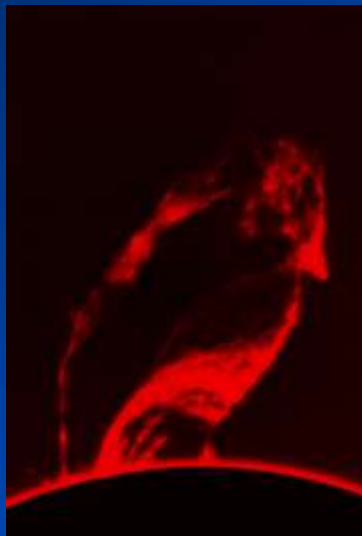


Iné zvláštností cyklov

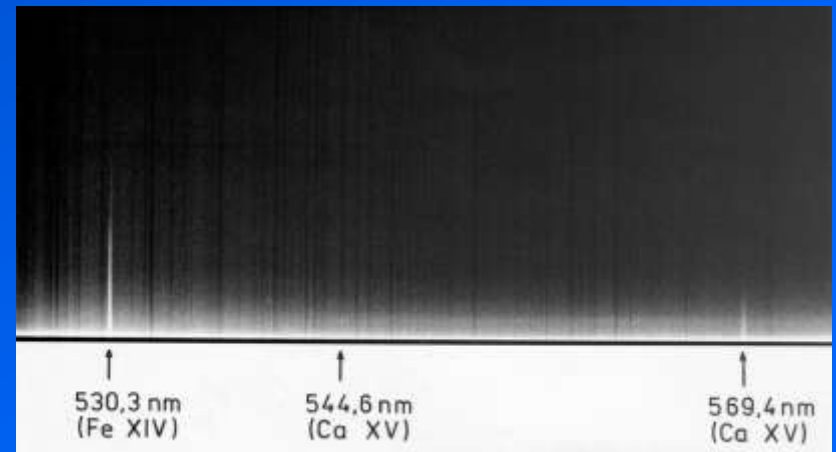
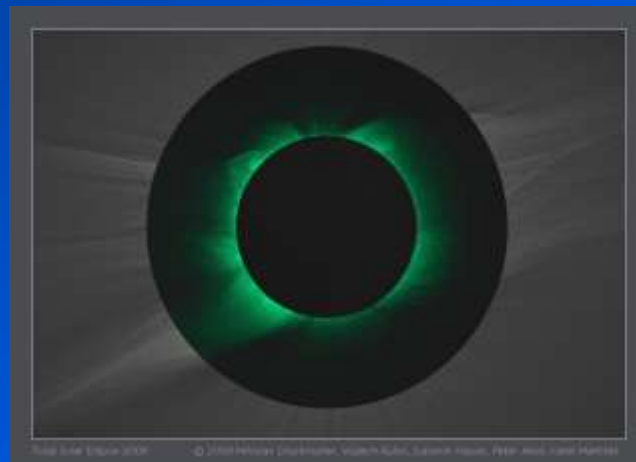
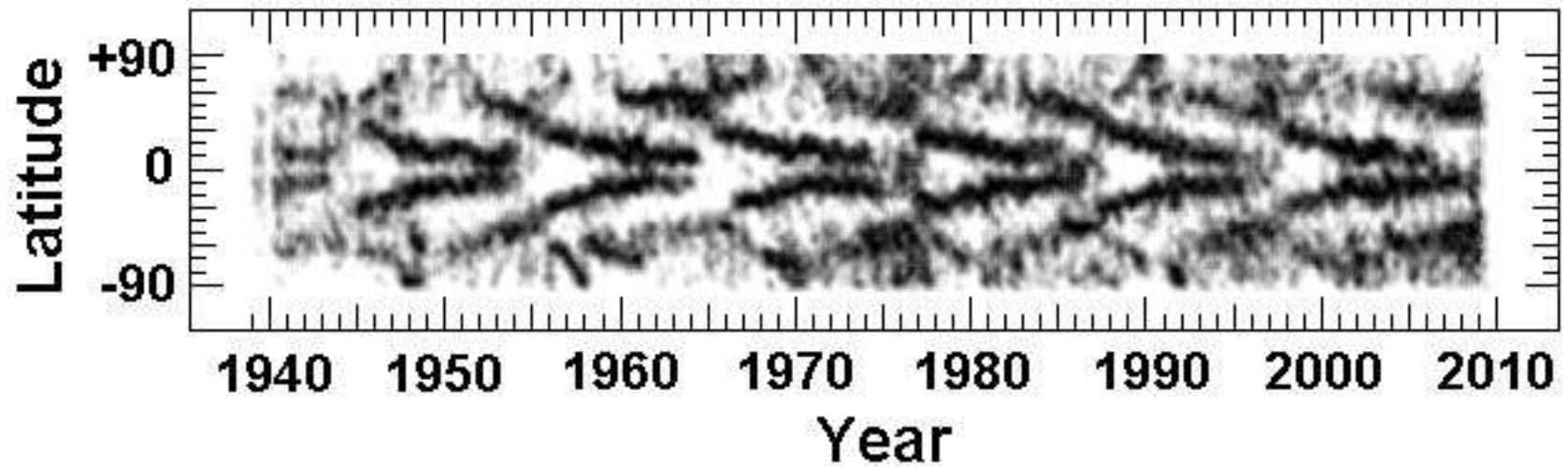
- Výskyt slnečných sa pozoruje v tzv. aktívnych dĺžkách (sú od seba vzdialené cca 180 stupňov), niekedy presahujú rámec jedného cyklu
- V priebehu cyklov existujú kratšie periodicity, napr. kvazi dvojročné, 154 dní, okolo 88 dní a pod.



Polárne vetvy (protuberancie)

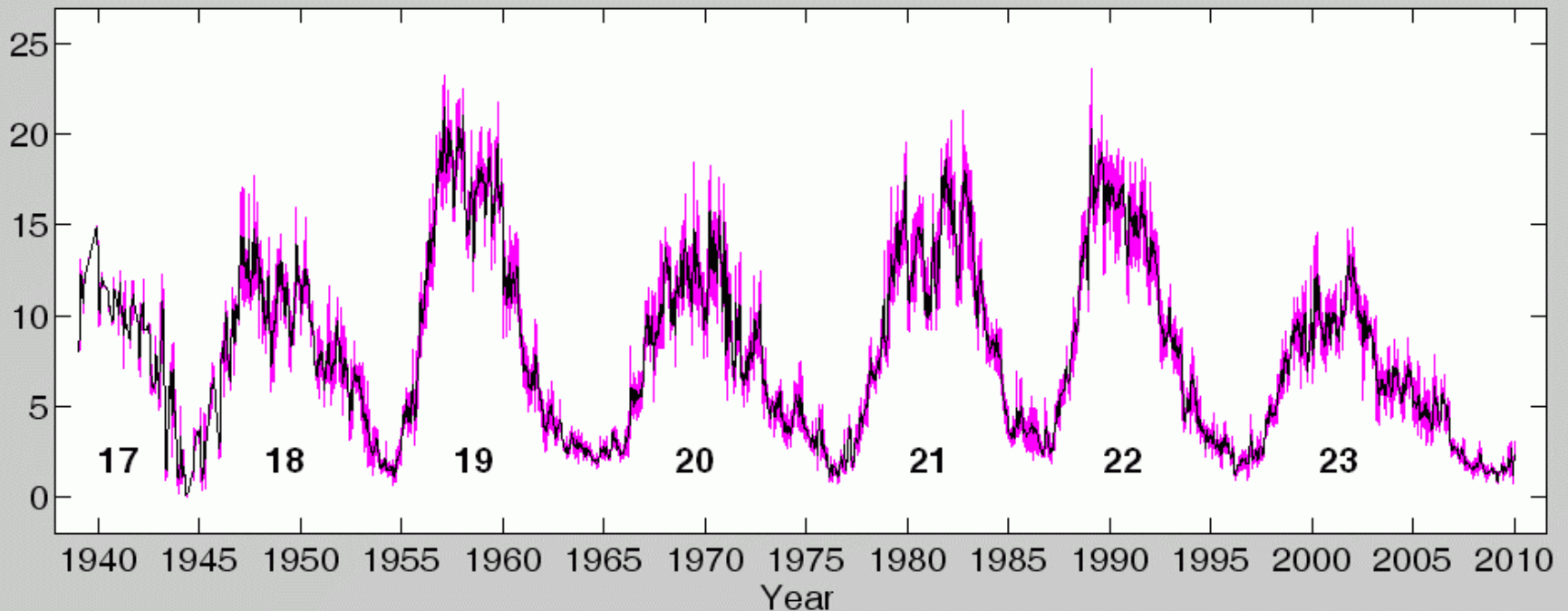


Polárne vetvy (zelená koróna)

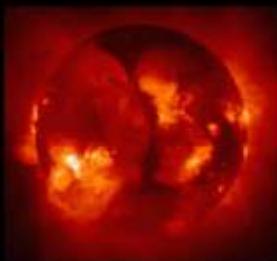


Koronálny index slnečnej aktivity – 530,3 nm

Coronal index ($\times 10^{16} \text{ W sr}^{-1}$)



28.9.1991



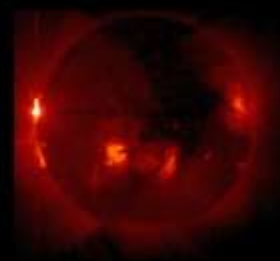
27.3.1992



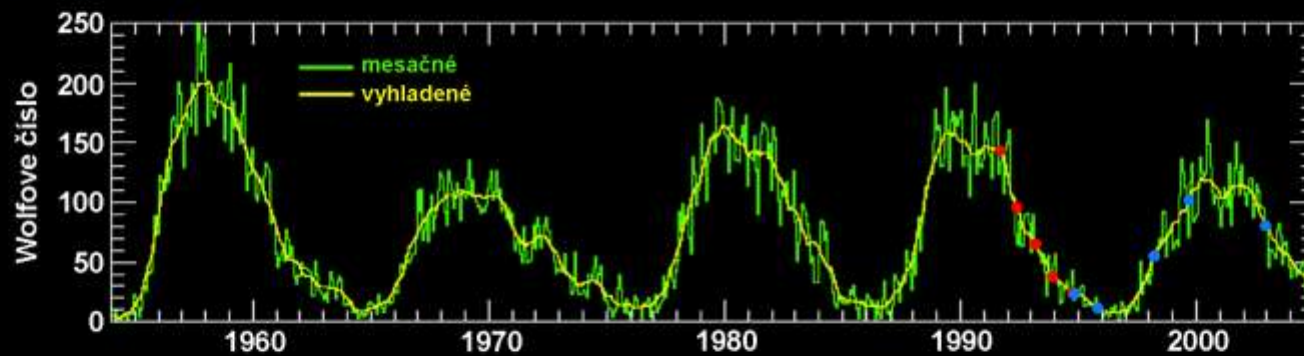
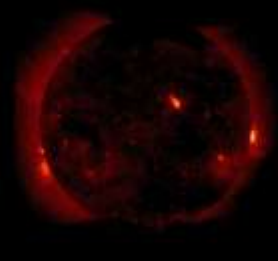
26.1.1993



4.11.1993



20.9.1994



3.11.1994



24.10.1995



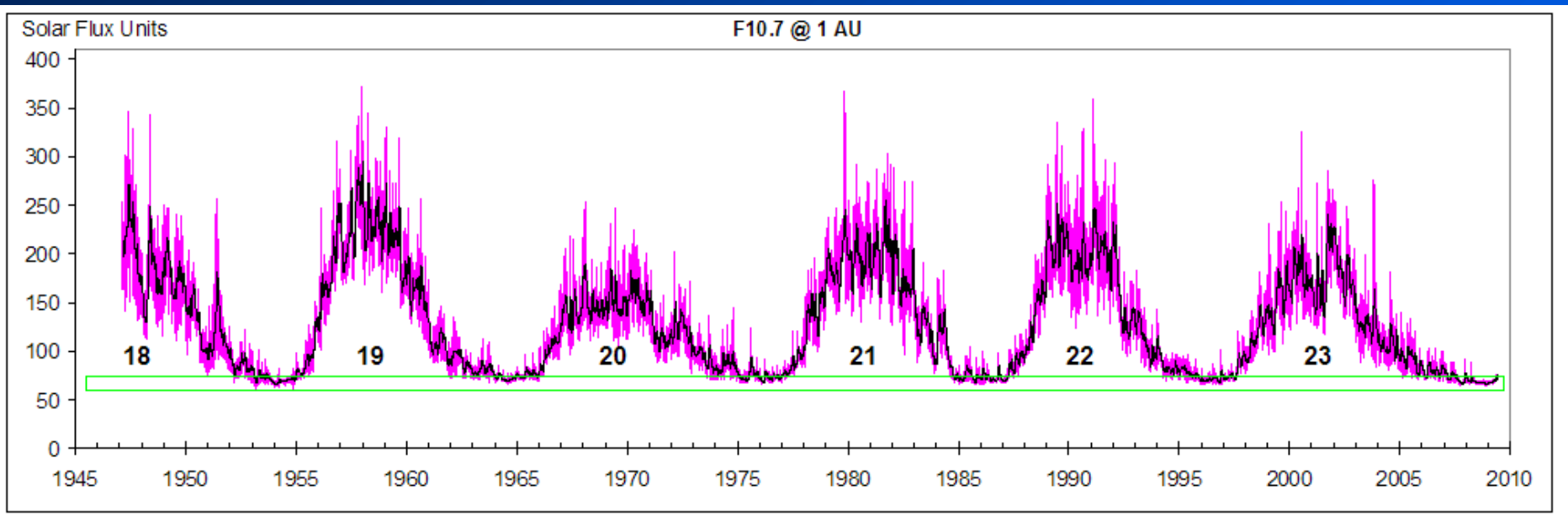
26.2.1998



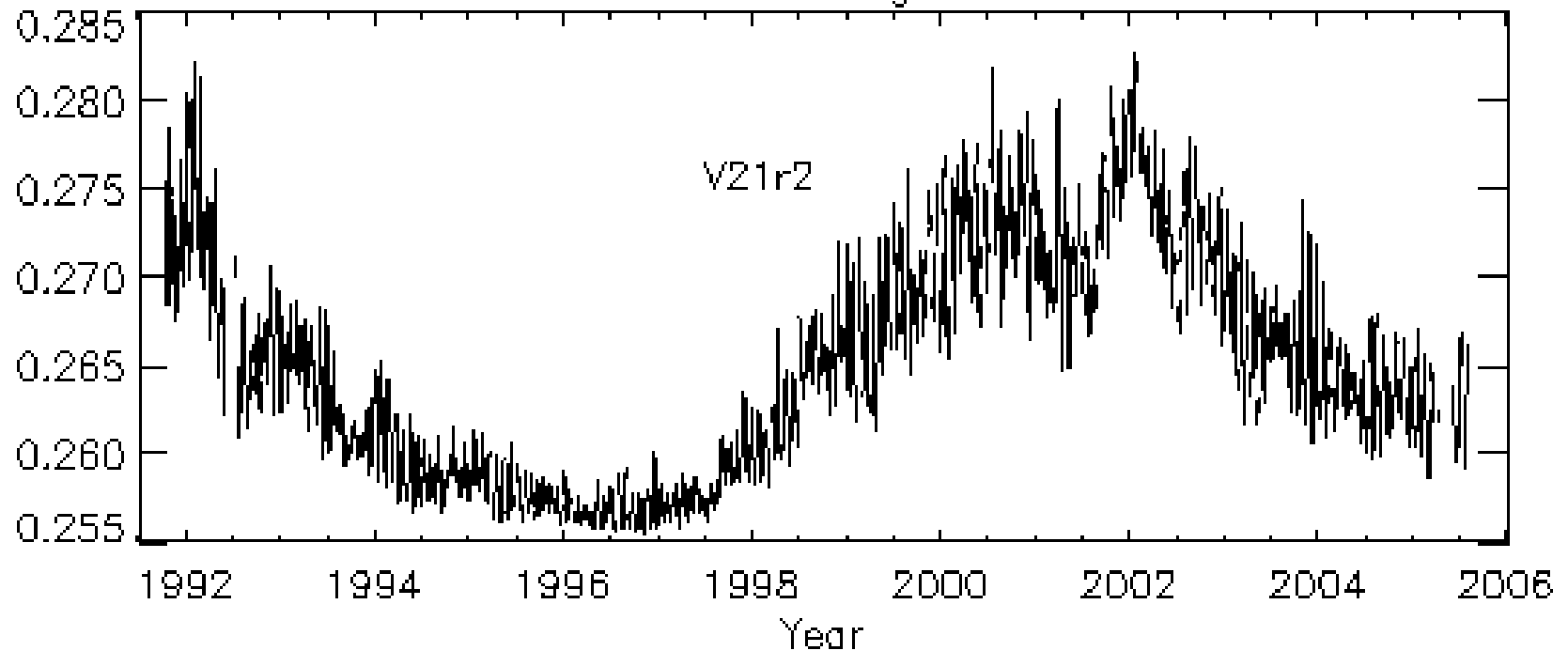
11.8.1999



4.12.2002

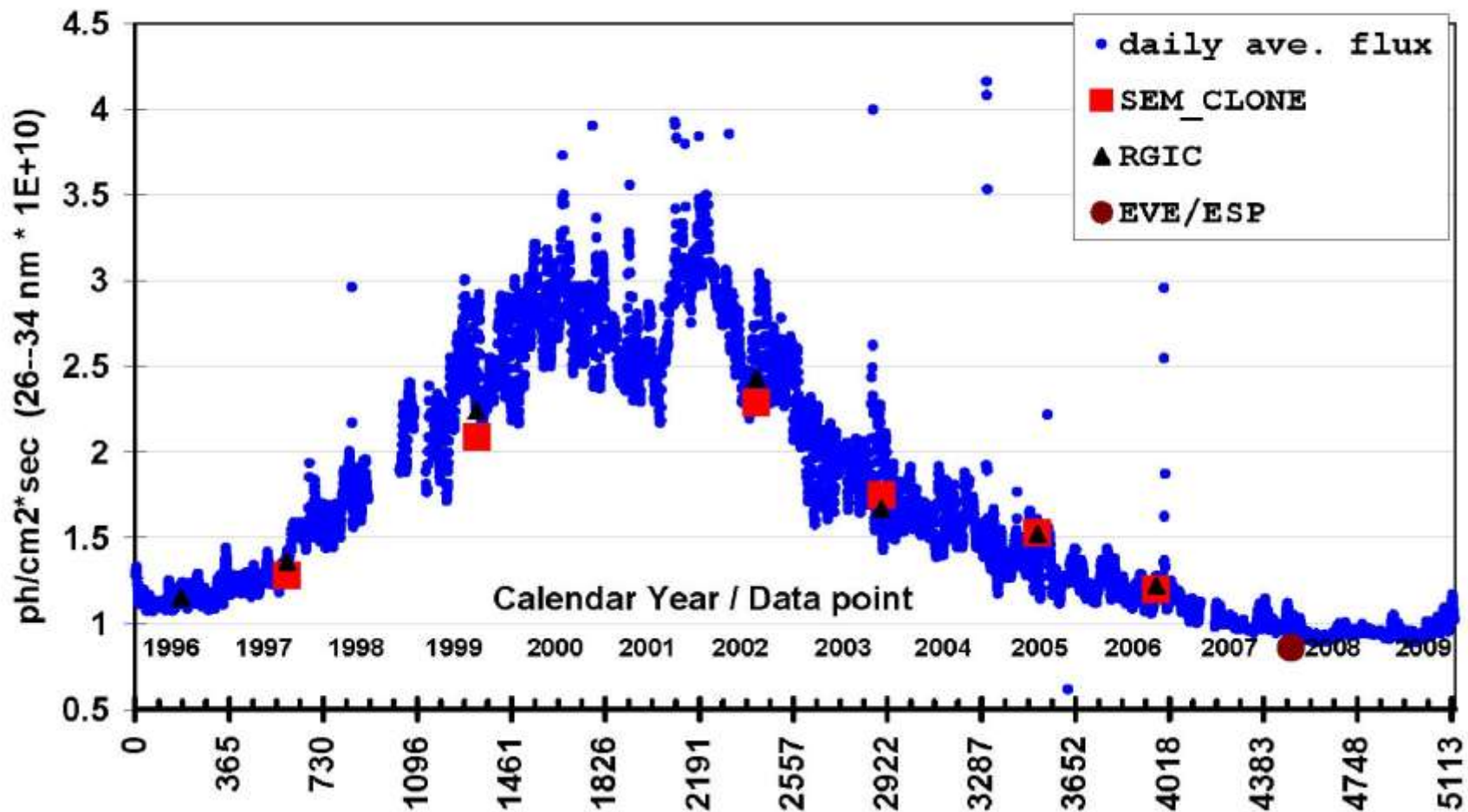


SUSIM UARS Mg II Index

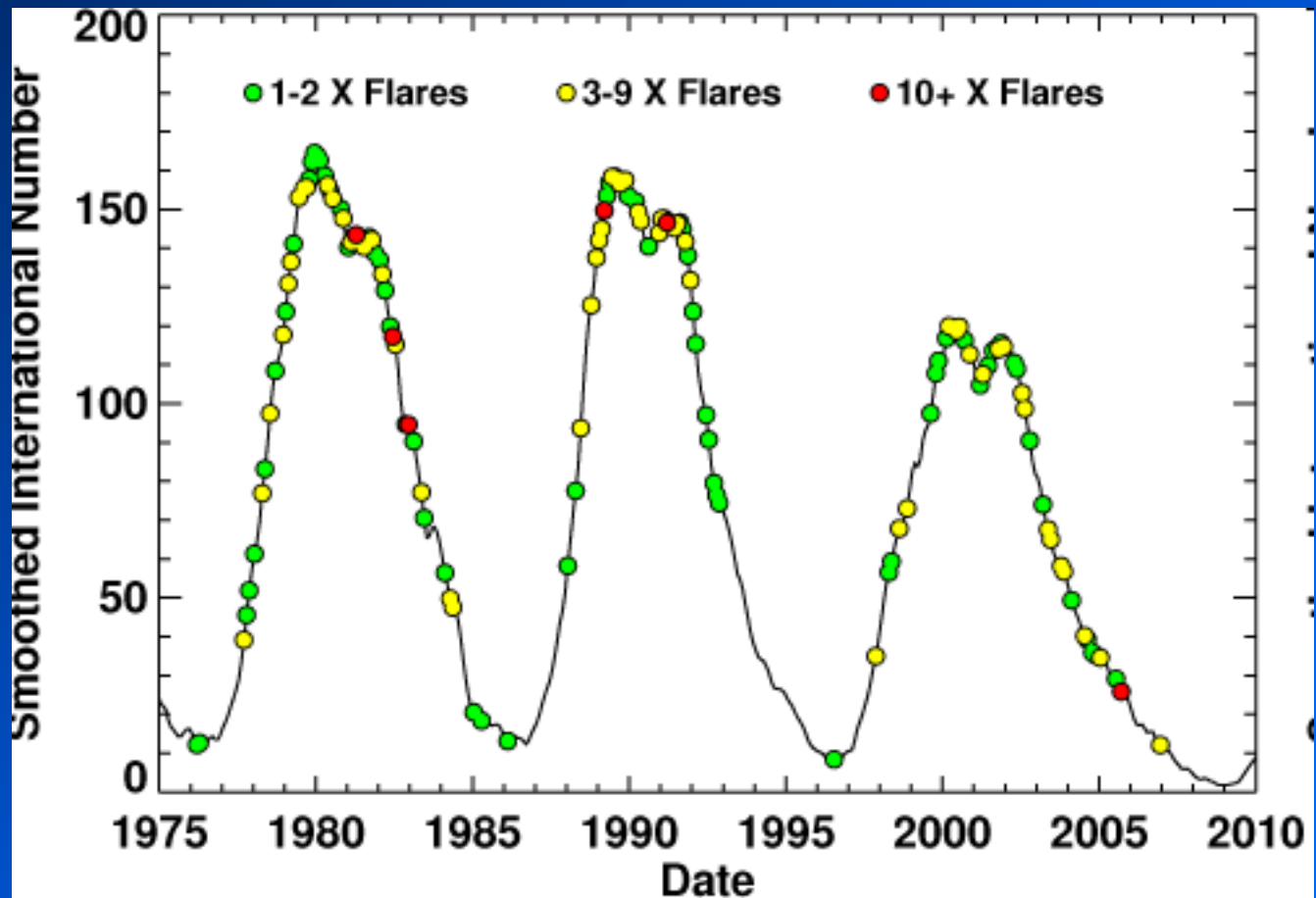


MgII index je pomer žiarenia medzi stredom a krídlami spektrálnej čiary 279,9 nm. Emisia prichádza z chromosféry, absorpcia z fotoféry.

SEM First Order Daily Average EUV flux, 1996/1/1 - 2009/12/31



Výskyt erupcí v cykle aktivity





Total Solar Irradiance

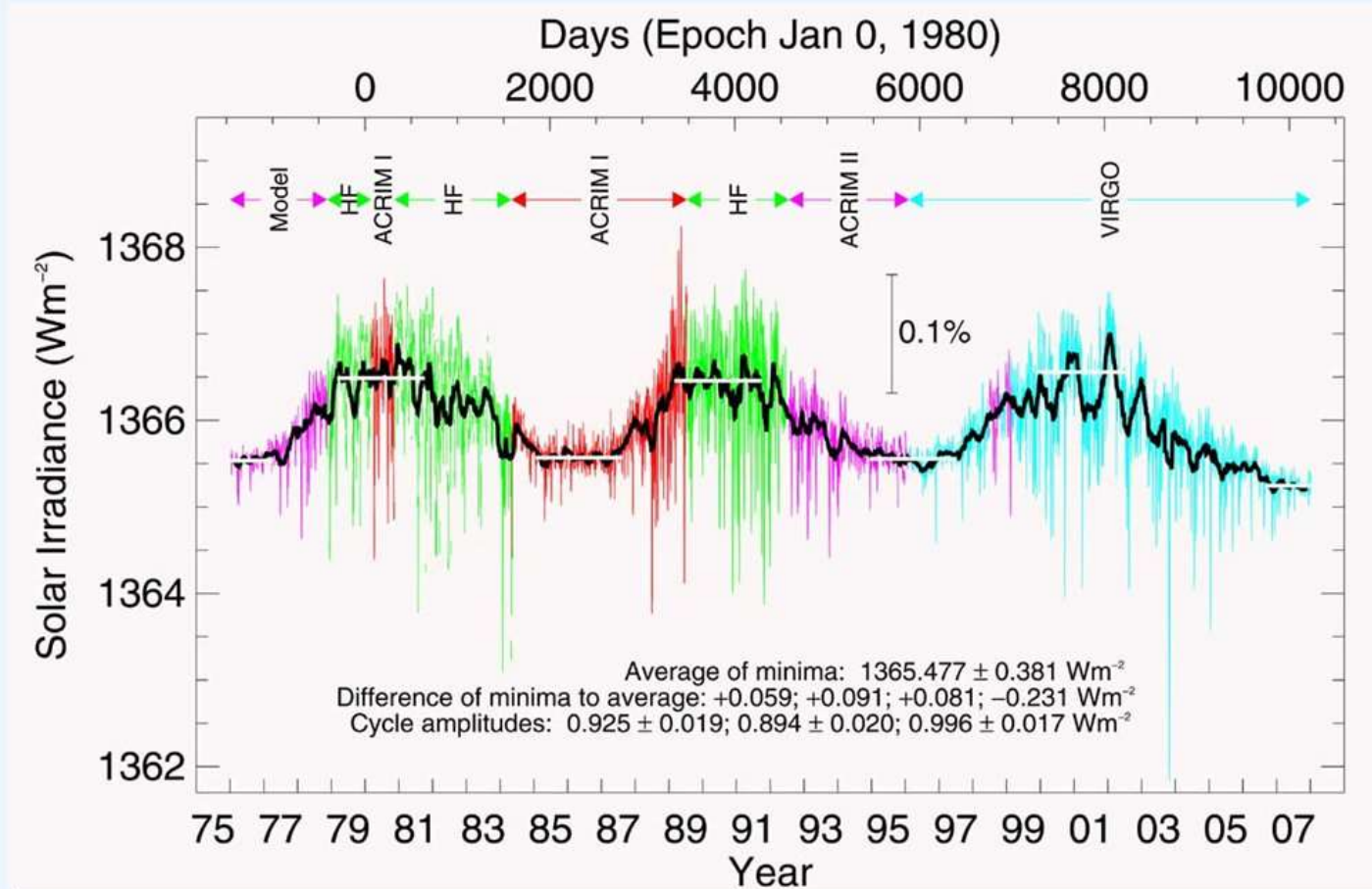
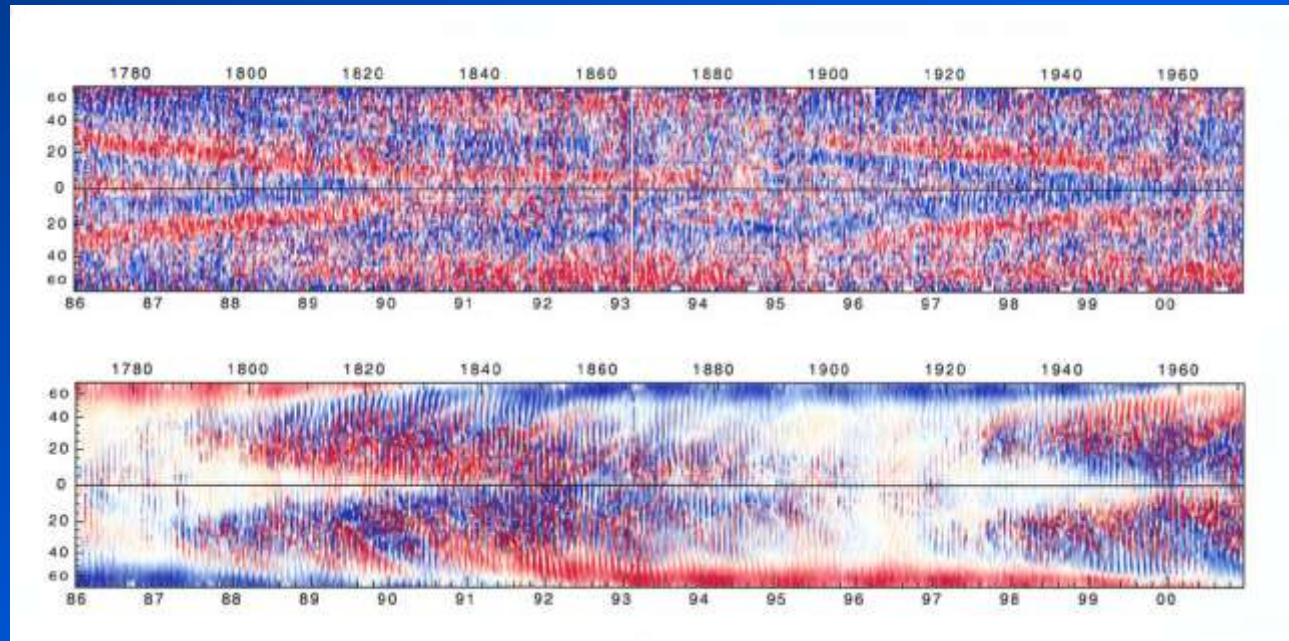


Figure from C. Fröhlich

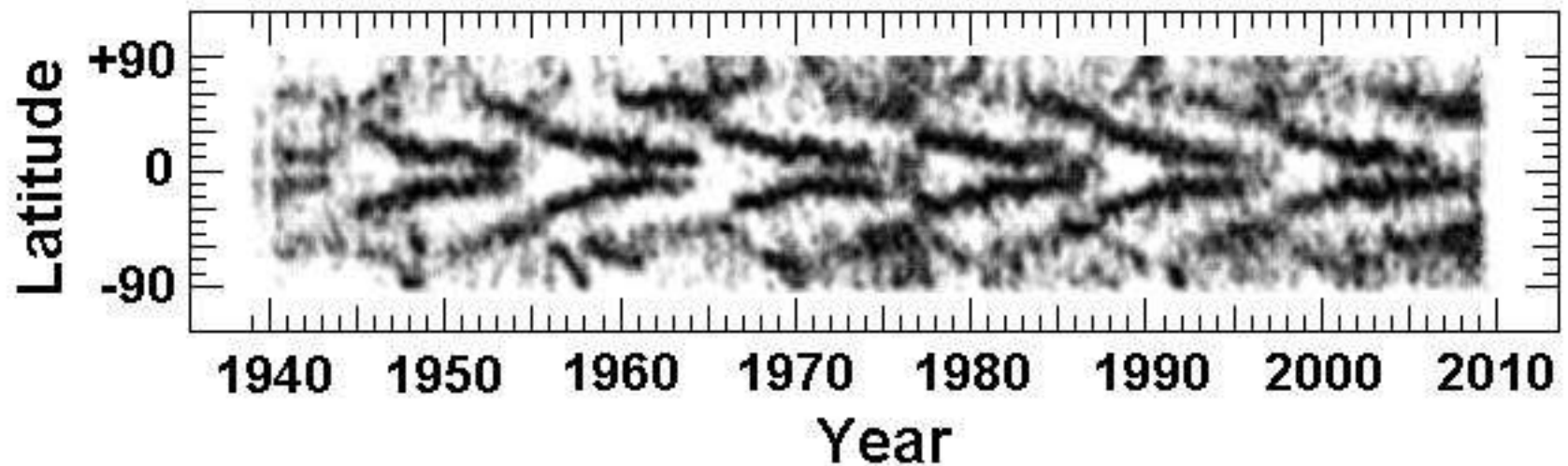
- TSI is lower this minimum than the previous two
- Unexpected change after a greatly disputed increase in the previous minimum
- Few mechanisms exist for magnetic changes in the basal solar luminosity

Predĺžený cyklus slnečnej aktivity

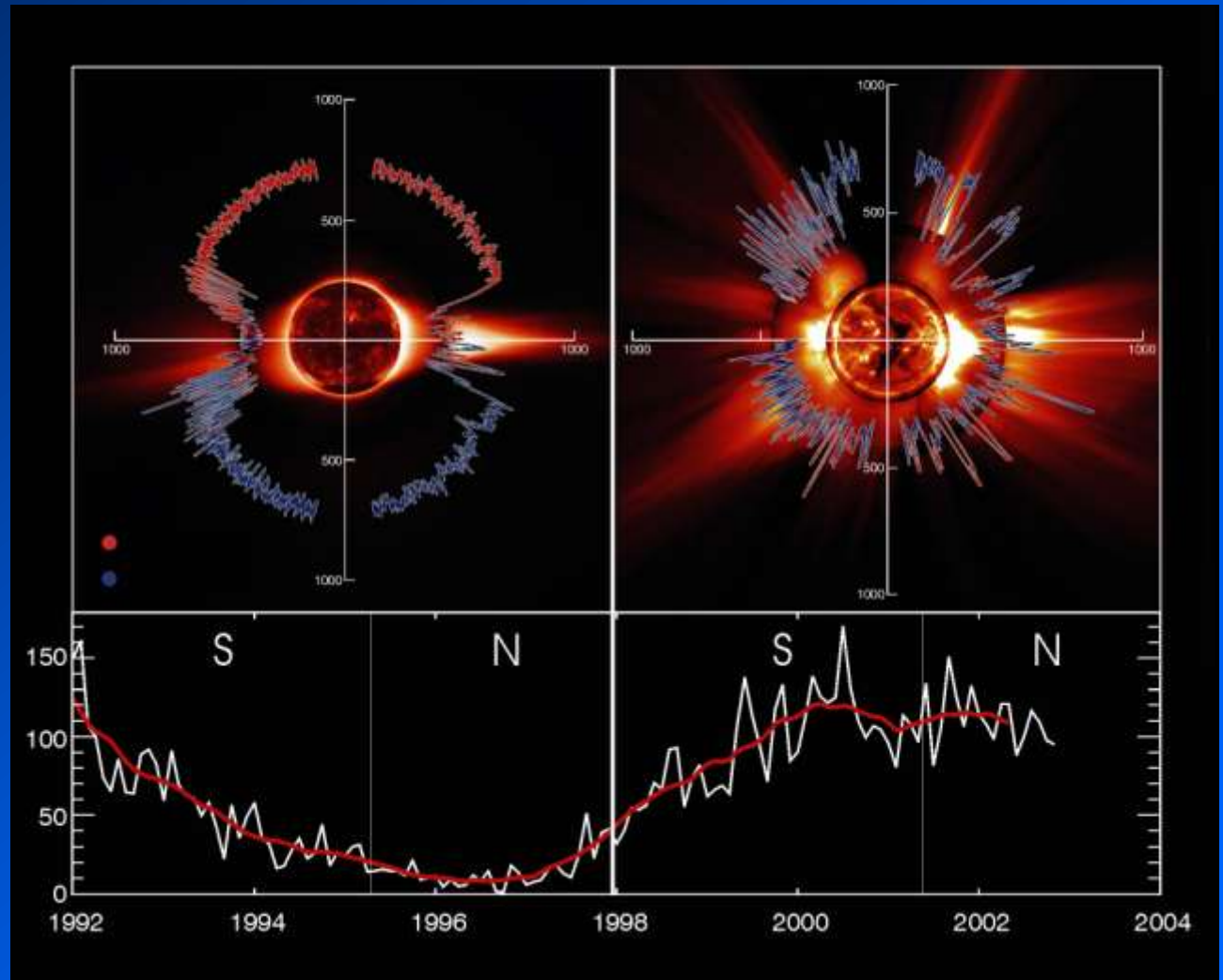
- **Torzné oscilácie (odchýlka rýchlosti rotácie Slnka)**
- Trvanie 17-18 rokov; pozorujú sa aj v intenzitách zelenej koróny, ba na SOHO aj pod fotosférou



Časovoširokové rozdelenie intenzít zelenej koróny (530,3 nm, FeXIV)



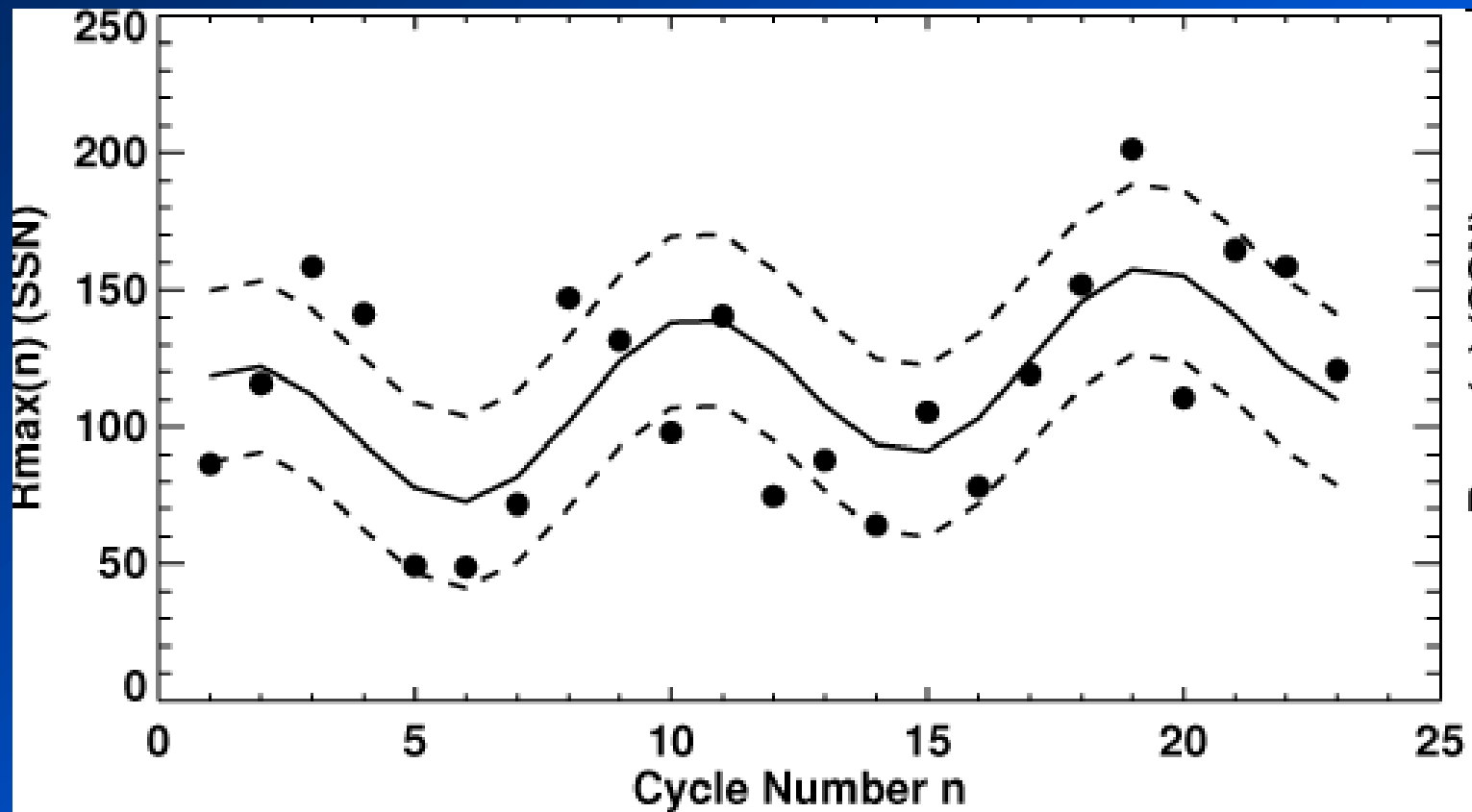
Variabilita v slnečnom vetre



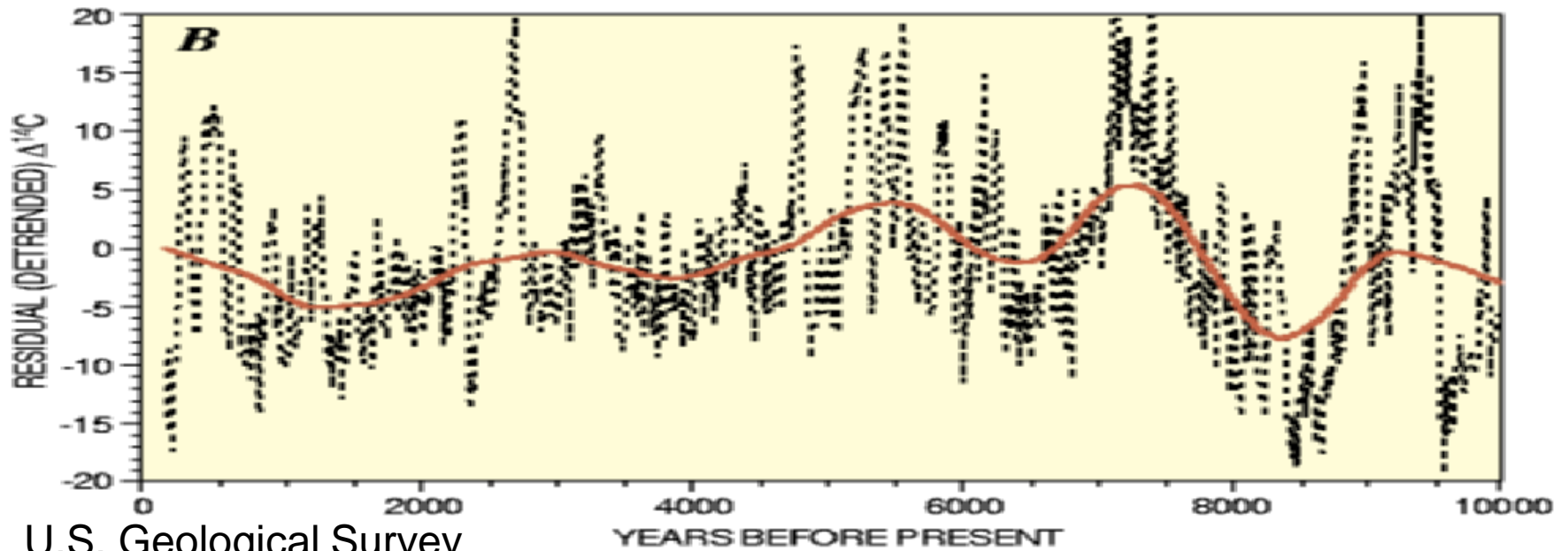
Iné dĺžky cyklov

- **22 rokov: Haleho cyklus**, pomenovaný po **George Ellery Hale**. Magnetické pole sa mení v každom 11 ročnom cykle (Schwabeho cyklus), takže rovnaká polarita na tom istom póle Slnka nastáva po 22 rokoch.
- **87 rokov (70–100 rokov): Gleissberg cyklus**, pomenovaný na počesť Wolfganga Gleisberga; vzniká moduláciou 11 ročných cyklov, (Sonnett and Finney, 1990), (Braun, et al., 2005)
- **210 rokov: Suess cyklus (de Vries cyklus)** Braun, et al., (2005)
- **2300 rokov: Hallstattský cyklus**
- **6000 rokov: (Xapsos and Burke, 2009).**
- Podľa izotopu C14 sa ukazujú cykly s trvaním 105, 131, 232, 385, 504, 805, a 2241 rokov.
- Vrstvy minerálov v skalách pred 240 miliónov rokmi (mladšia perioda Permu) ukazujú, že mohol existovať cyklus s periódou okolo 2500 rokov.

Gleissbergov cyklus cca 80-90 rokov

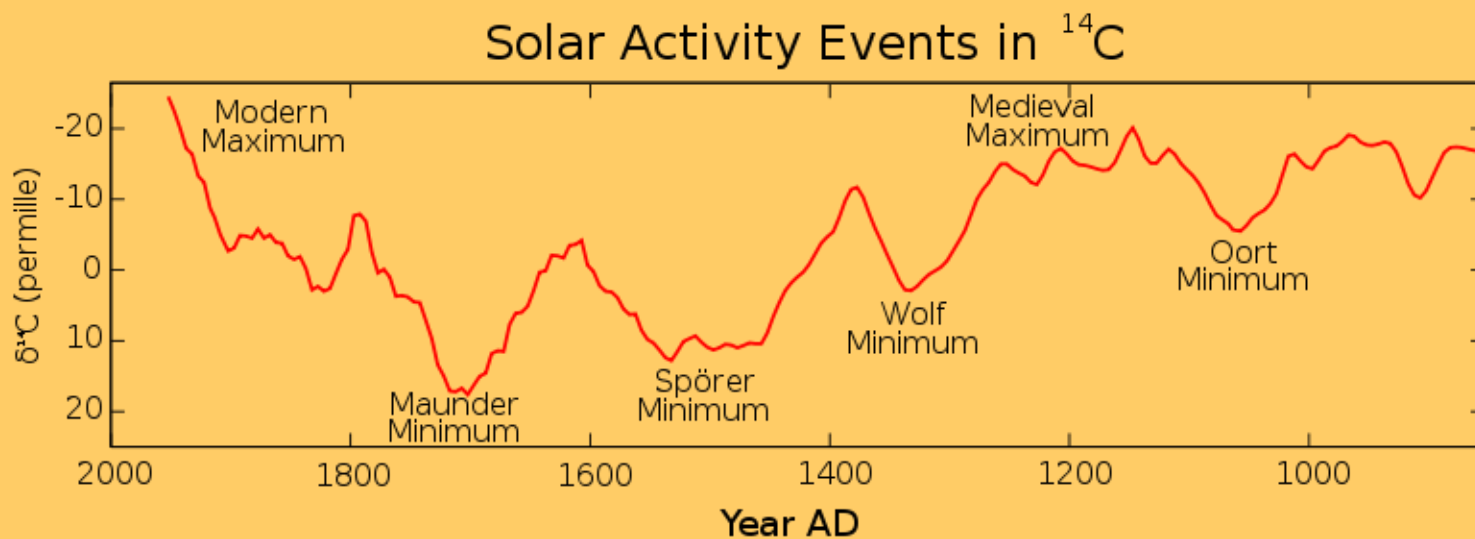


Periódá 2300 rokov

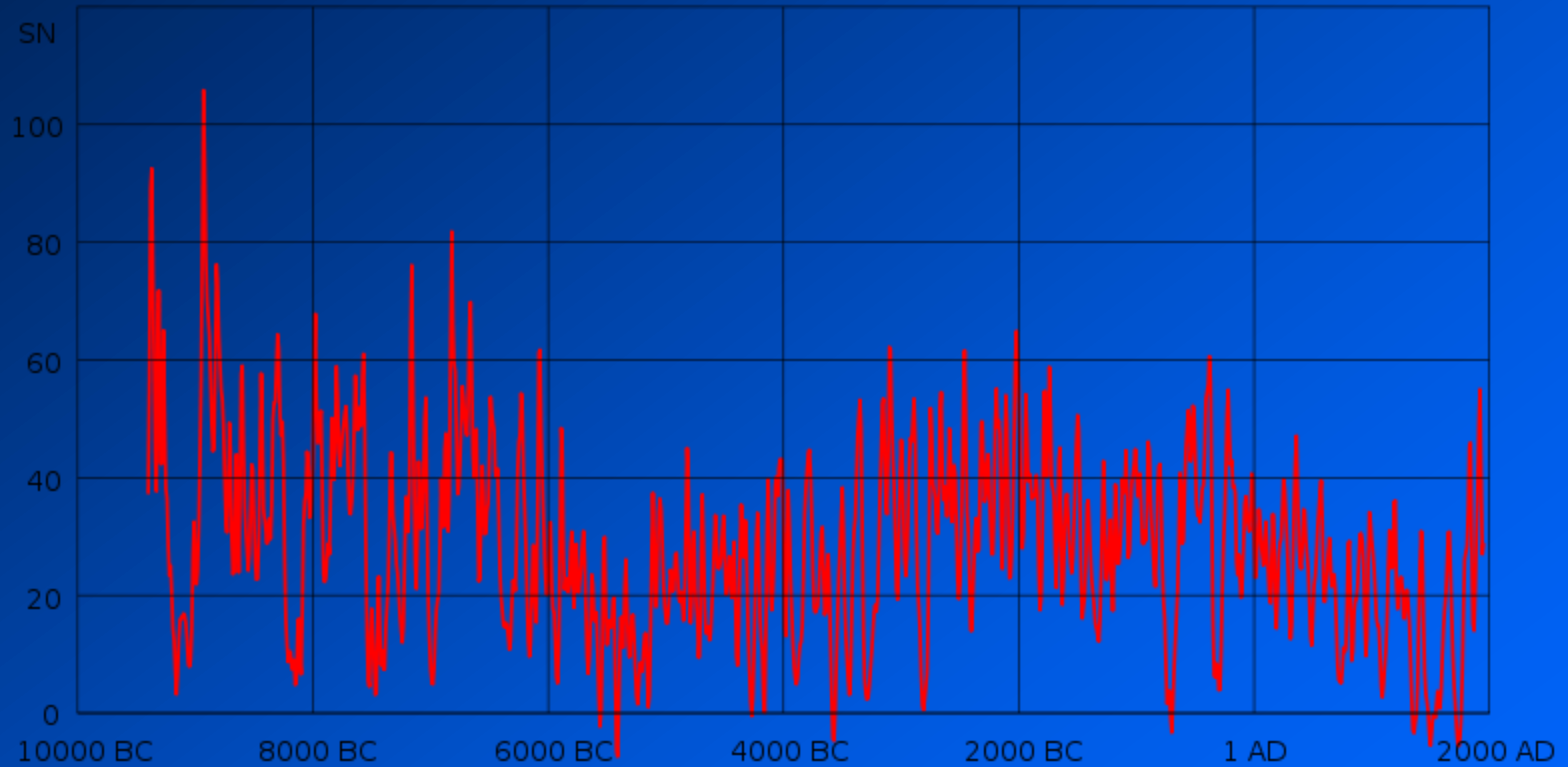


U.S. Geological Survey

Nepravidelnosti vo výskyte 11-ročných cyklov



Cykly slnečnej aktivity v minulosti podľa C14



Amplitúda bola vyššia, cykly kratšie

Solanki, S et. Al. 2004

Prečo nás cyklus slnečnej aktivity zaujíma

Variácie vo vyžiarovaní slnečnej energie (TSI)

- Variácia TSI sa pomaly mení v časovej škále od dní, rotácie Slnka po cykly alebo aj dlhšie,
- Variácie TSI medzi maximom a minimom slnečnej aktivity od roku 1980 sa mení asi o 0.1%,
- Variácie, ako odozva na zmeny v žiarení Slnka s periódami 9–13, 18–25, a viac ako 100 rokov boli detegované v teplotách na pobreží morí,
- Medzi Maunderovým minimom a súčasnosťou podľa najnovších rekonštrukcií vzrast v TSI bol len medzi 0.05 % - 0.1 %. Staršie rekonštrukcie uvádzali vyššiu hodnotu,
- Trendy v TSI od roku 1980 podľa rôznych družíc sa líšia.

Zmeny v ultrafialovom žiarení Slnka

- V spektrálnej oblasti 200 - 300 nm (EUV) sa žiarenie medzi minimom a maximom cyklu mení o 1.5 percenta
- Energetické zmeny UV žiarenia spôsobujú zmeny v produkcii ozónovej vrstvy a následne ďalších atmosferických efektov
- V dôsledku slnečnej aktivity za posledné 4 cykly sa s fázou cyklu menila výška hladiny atmosferického tlaku pri hodnote 30 hPa
- UV žiarenie spôsobuje väčšiu produkciu ozónu, čo následne vedie k ohrevu stratosféry a k zmene rozdelenia veľkoškálovej cirkulácie v zemskej atmosfére
- Zvýšená teplota a hustota v atmosfére vedie k skráteniu životnosti umelých družíc Zeme v malých výškach nad Zemou
- Porovnávacie štúdie ukazujú, že od Maunderovho minima po súčasnosť UV žiarenie Slnka vzrástlo asi o 3%.

Zmeny v slnečnom vetre a toku magnetického poľa Slnka

- Rýchlosť a hustota častíc slnečného vetra a magnetické pole Slnka redukuje častice kozmického žiarenia, vstupujúceho do zemskej atmosféry; majú opačný priebeh,
- Variácie v slnečnom vetre ovplyvňujú veľkosť heliosféry a počet častíc zo Slnka, ktoré sa v nej nachádzajú,
- Produkcia izotópov ^{14}C , ^{10}Be a ^{36}Cl vykazuje zmeny so slnečnou aktivitou,
- Kozmické žiarenie mení ionizáciu hornej atmosféry, ale významné efekty zatiaľ neboli pozorované,
- V poslednom storočí sa magnetický tok zo Slnka zvýšil asi na dvonásobok, následkom čoho tok častíc kozmického žiarenia klesol asi o 15%,
- Globálny magnetický tok Slnka v rokoch 1964-1996 rastol faktorom asi 1,41 a od roku 1901 vzrastol asi 2,3 krát

Vplyv na mraky

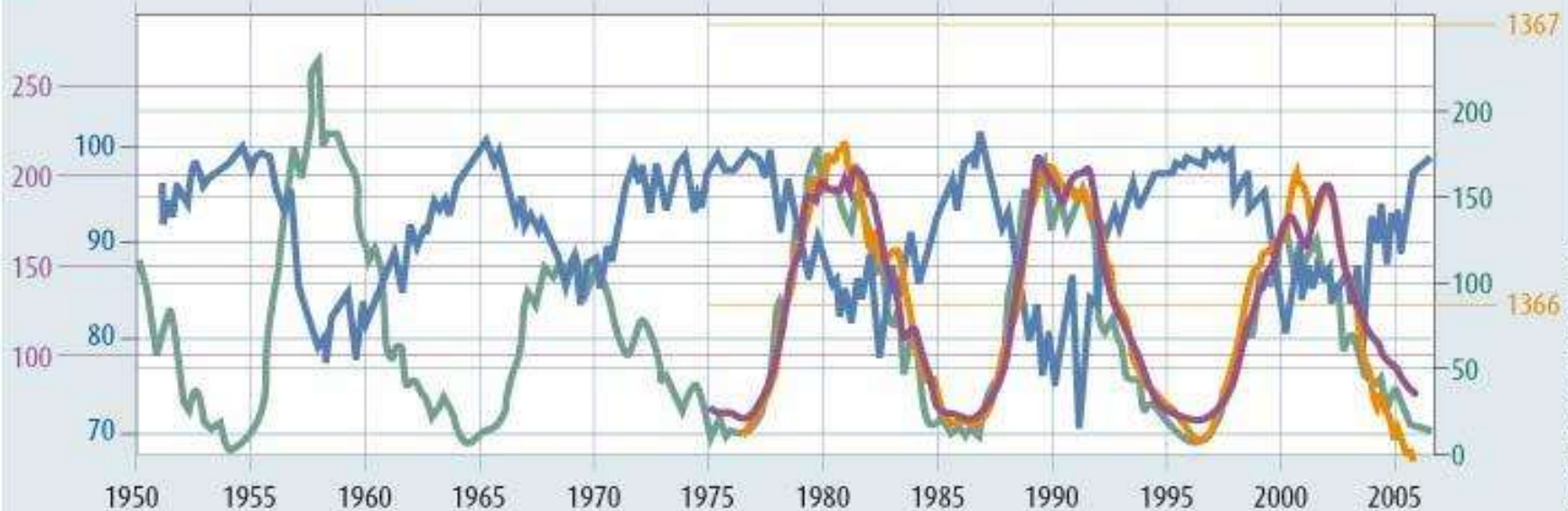
- Vyslovila sa hypotéza, že častice kozmického žiarenia cez tvorbu jadier niektorých prvkov by mohli spôsobovať zvýšenú tvorbu mrakov. Pozorovacie dôkazy sú protirečivé
- Údaje v rokoch 1983–1994 z projektu International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) ukázali, že celková tvorba nízkych mrakov mala vysokú koreláciu s tokom častíc kozmického žiarenia
- Mimochodom, existujú štúdie o prietoku vody v indických riekach v závislosti od fázy cyklu slnečnej aktivity (z konca 19. storočia)

Kozmické žiarenie, W, TSI a 2800 MHz

RECENT CHANGES IN SOLAR ACTIVITY AND COSMIC RAYS

Direct, accurate measurements of cosmic ray intensity and various forms of solar activity began only in the late 20th century. None of these measures shows any long-term trends that can explain the recent warming

- Total solar irradiance as measured by spacecraft (W/m^2)
- 10.7 cm radio waves, an indicator of ultraviolet intensity (solar flux units)
- Smoothed sunspot number
- Cosmic ray intensity as measured by the Climax monitor in Colorado (% relative to 1954)

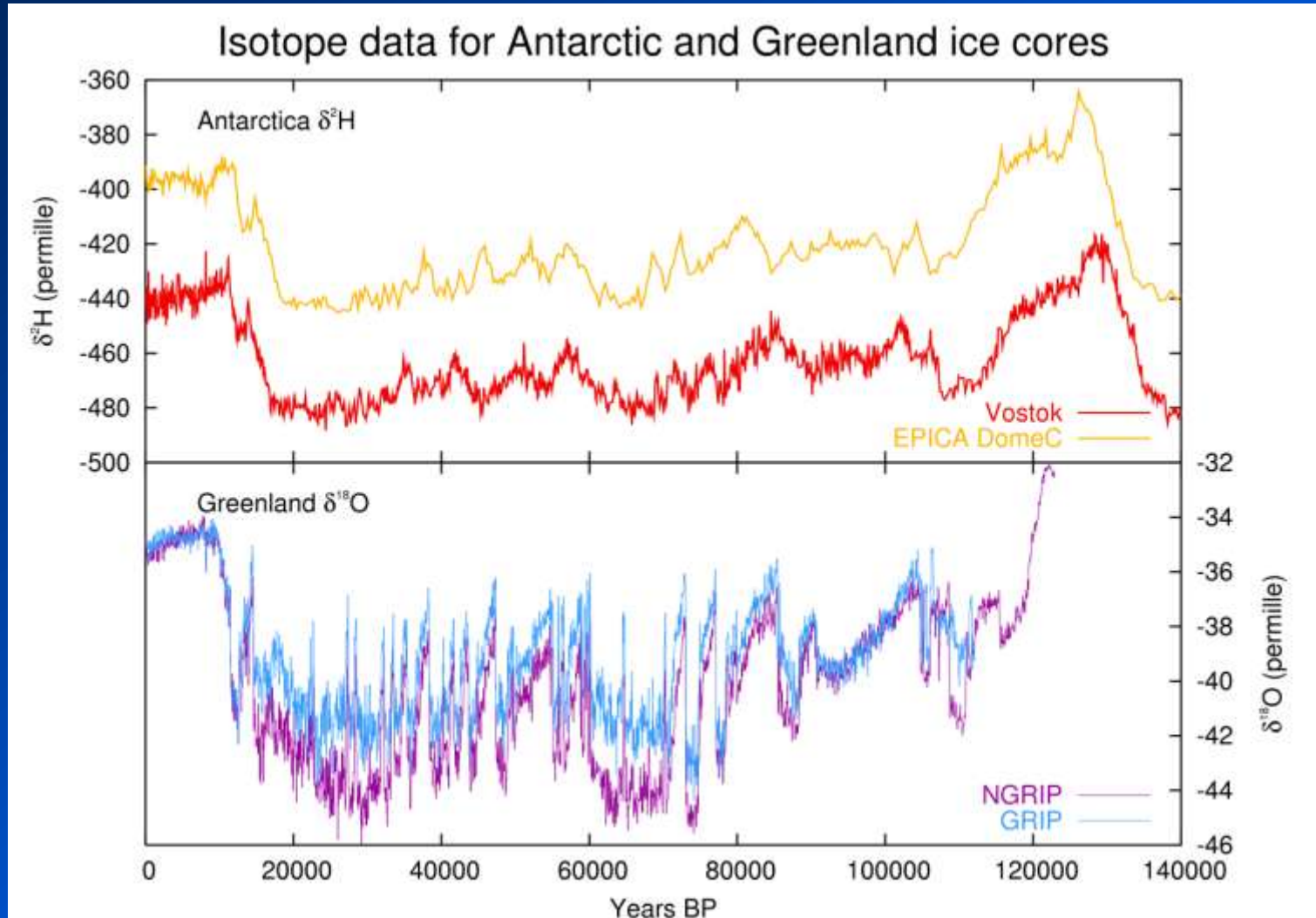


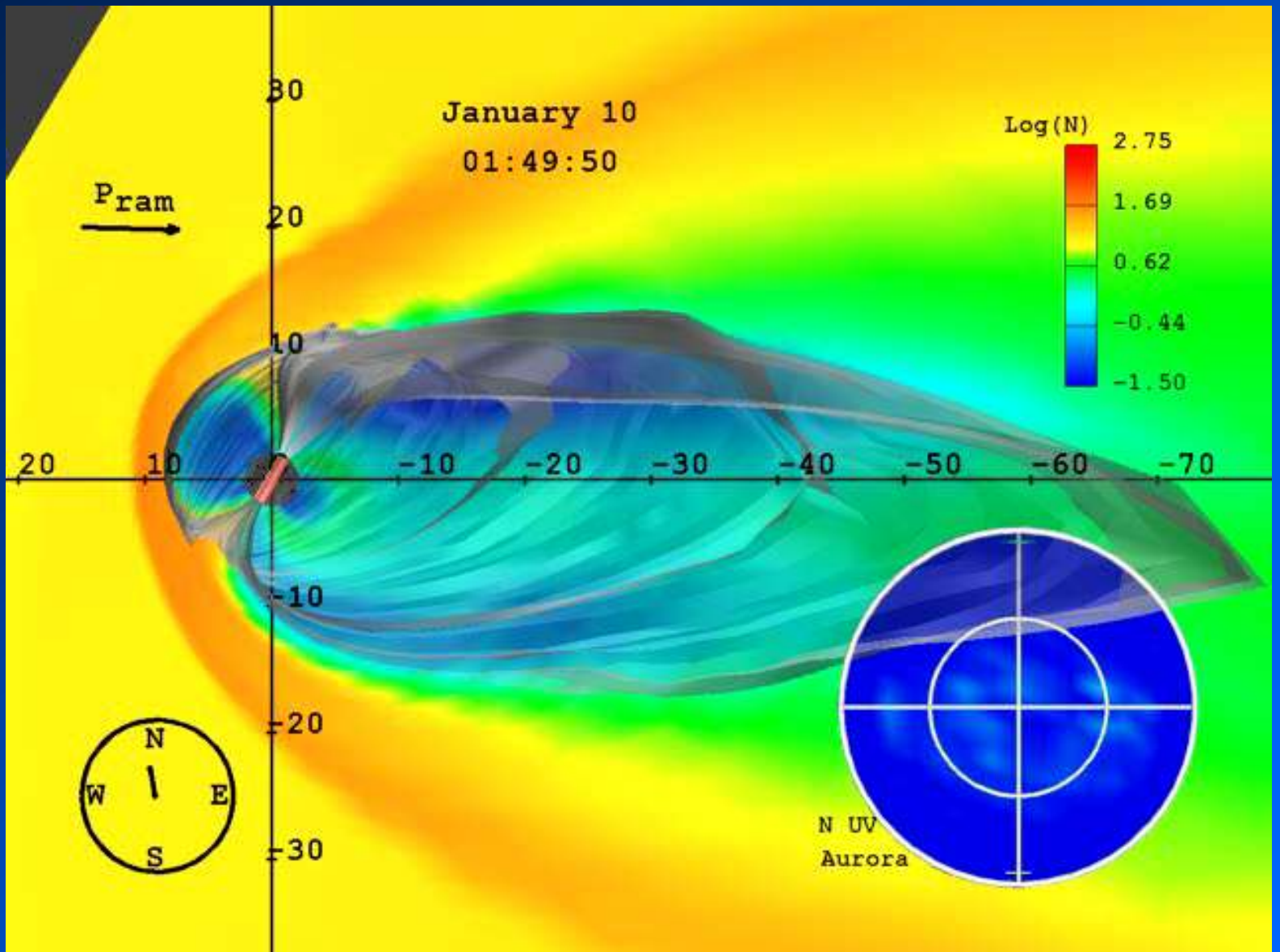
Note: vertical scales have been adjusted to show the correlations

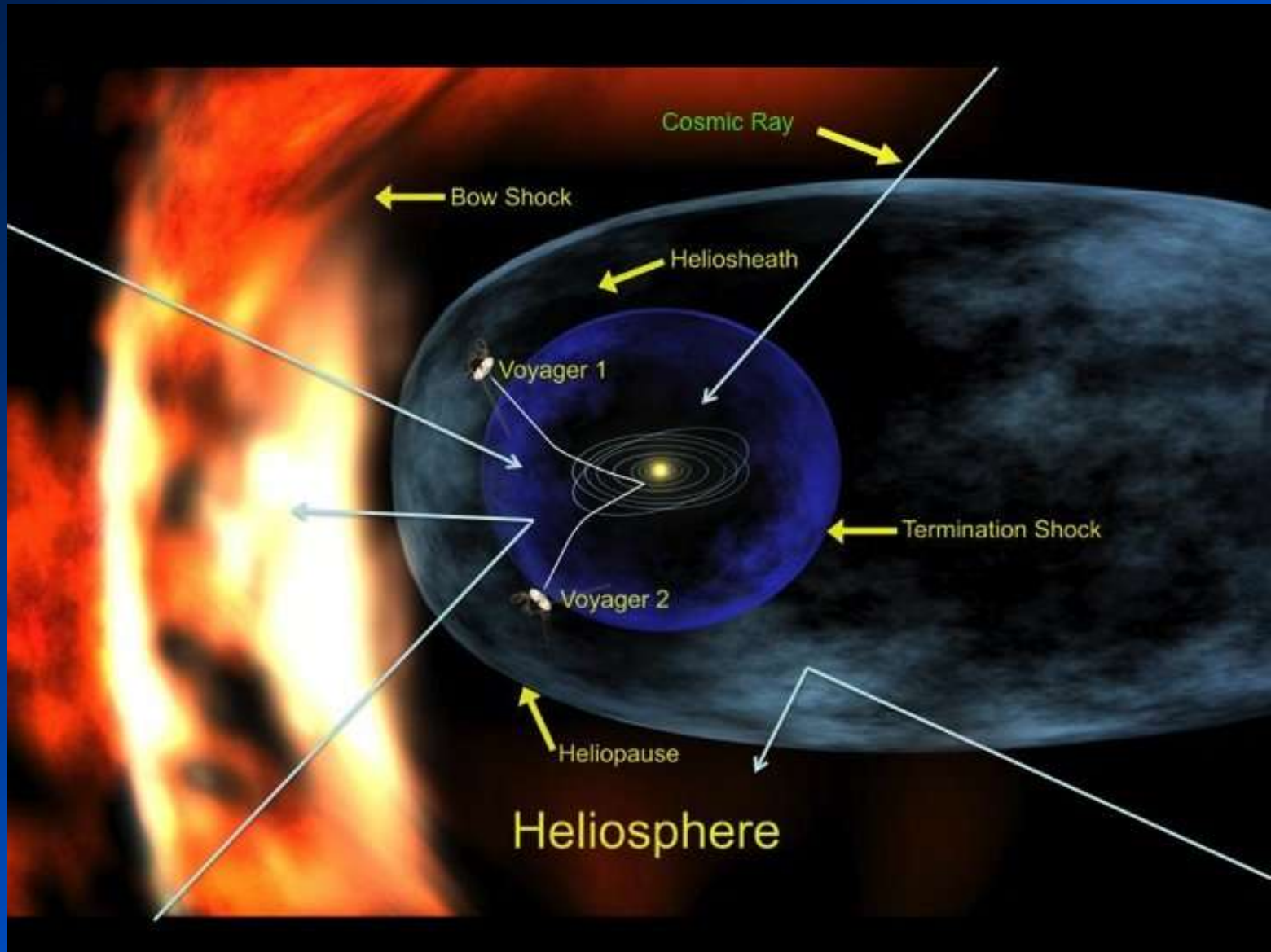
Ďalšie vplyvy

- **Geomagnetické efekty (po erupciách a CME)**
- **Vysokoenergetické protóny a elektróny poškodzujú prístroje na družiciach a lietadlách, spôsobujú výpadky energetických sústav, škodia kozmonautom, pasažierom v lietadlách, a pod.**
- **Variabilita kozmického žiarenia („zried'ovanie“ už na hranici heliosféry)**
- **Produkcia izotópov C14, Be10, O18**
- **Globálne otepľovanie (asi nehrá hlavnú úlohu); ak, tak cez Milankovičovú teóriu**

Dlhodobé zmeny v klíme Zeme

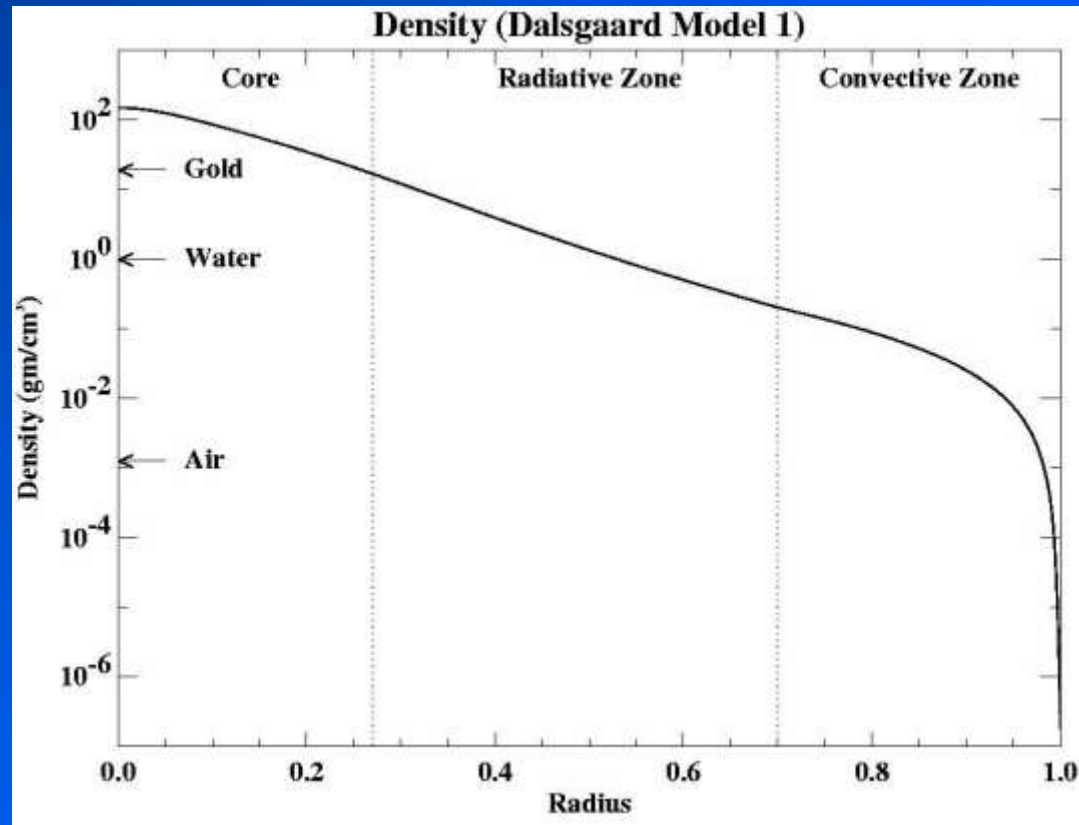
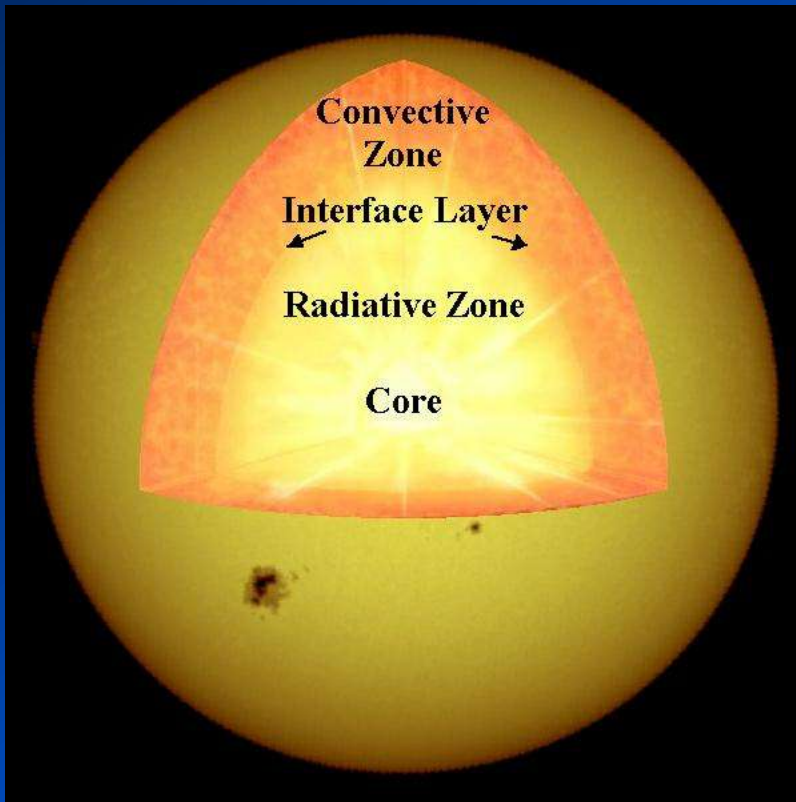






Vnútro Slnka

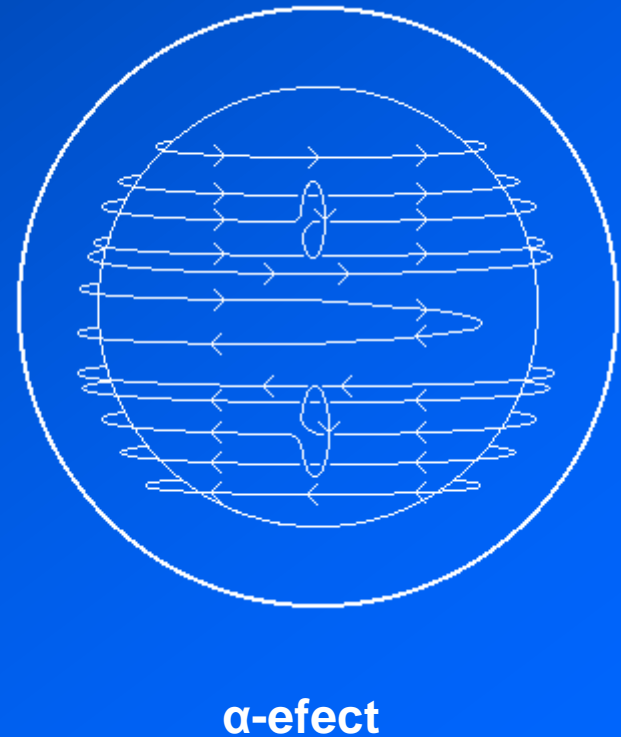
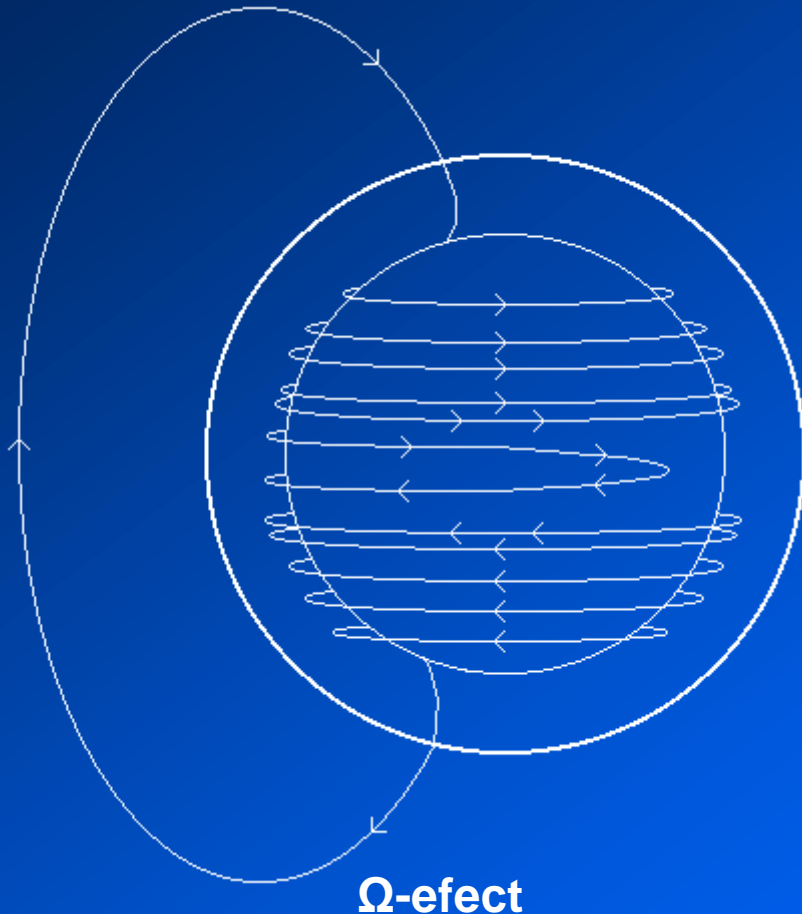
Toky v konvektívnej zóne sa predpokladali byť zdrojom magnetických polí. Zdroj energie je v jádre Slnka (premena ľahkých prvkov na ťažšie, p-p reakcia). Pri 0,7 R teplota klesá z 15MK na 2MK, začína rekombinácia kovových prvkov, vzrastá opacita – a tak nastupuje konvekcia, ktorá nesie energiu ďalej na povrch. Na povrchu výstupné prúdy sa pozorujú vo forme svetlých granúl (na celom povrchu Slnka ich je viac ako 2,5 miliónov)



Základné procesy dynama

Diferenciálna rotácia s hĺbkou a šírkou zosilňuje poloidálne pole a natáča ho okolo Slnka, výsledkom čoho je silné toroidálne pole.

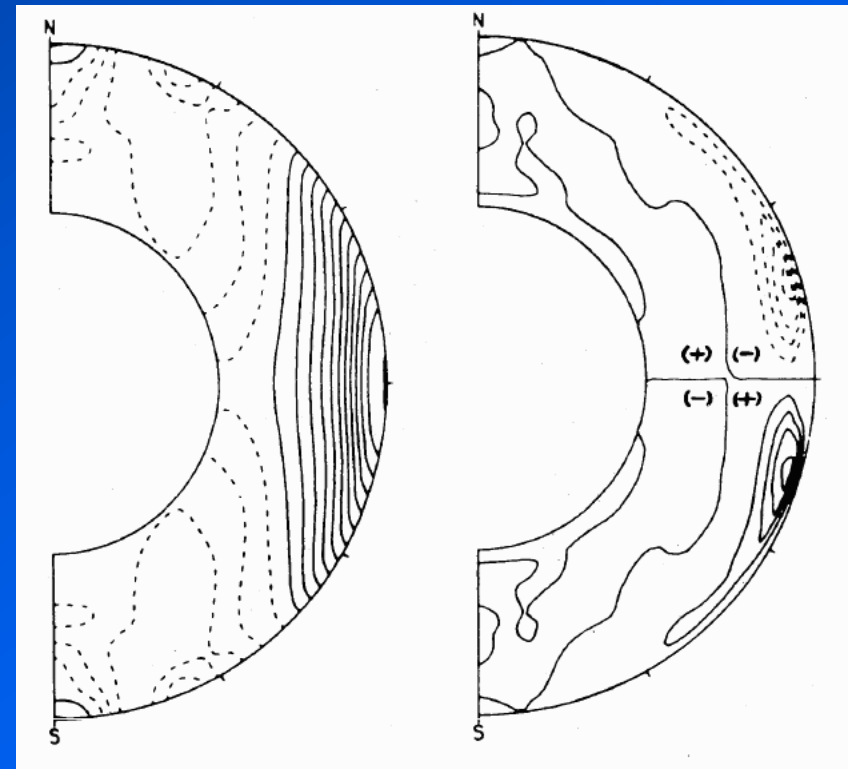
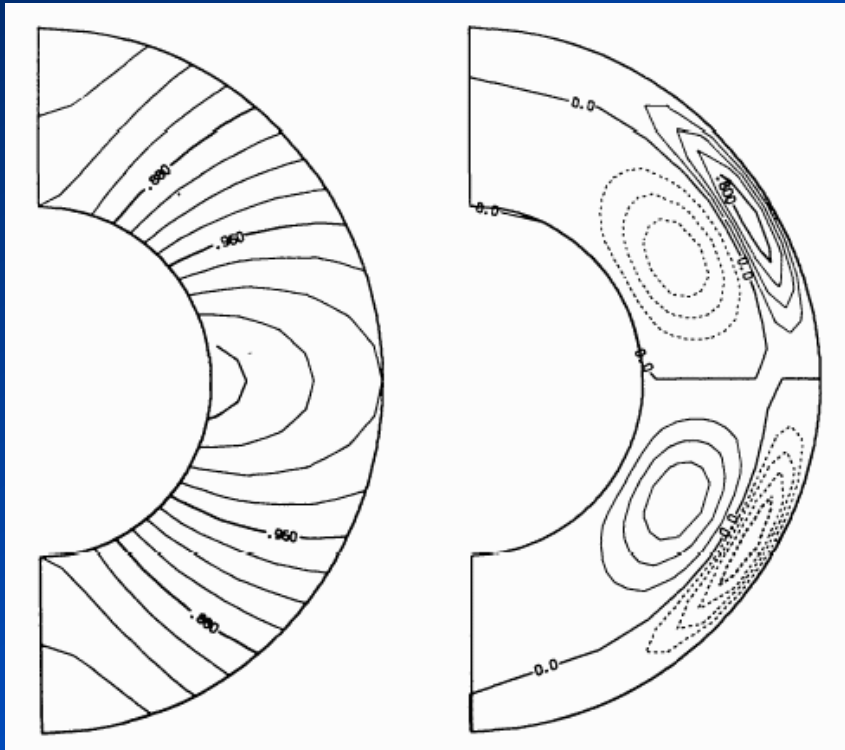
Vynášanie a skrúcanie toroidálneho poľa môže produkovať poloidálne pole s opačnou orientáciou.



Early Dynamo Models

Kinematic dynamo models assumed internal profiles for both rotation (Ω) and helicity (α) but could produce 11-year cycles with equatorward propagation of activity (Yoshimura, 1975).

MHD dynamo models produce internal profiles for both rotation (Ω) and helicity (α) but produce short cycles with poleward propagation of activity (Glatzmaier, 1985).

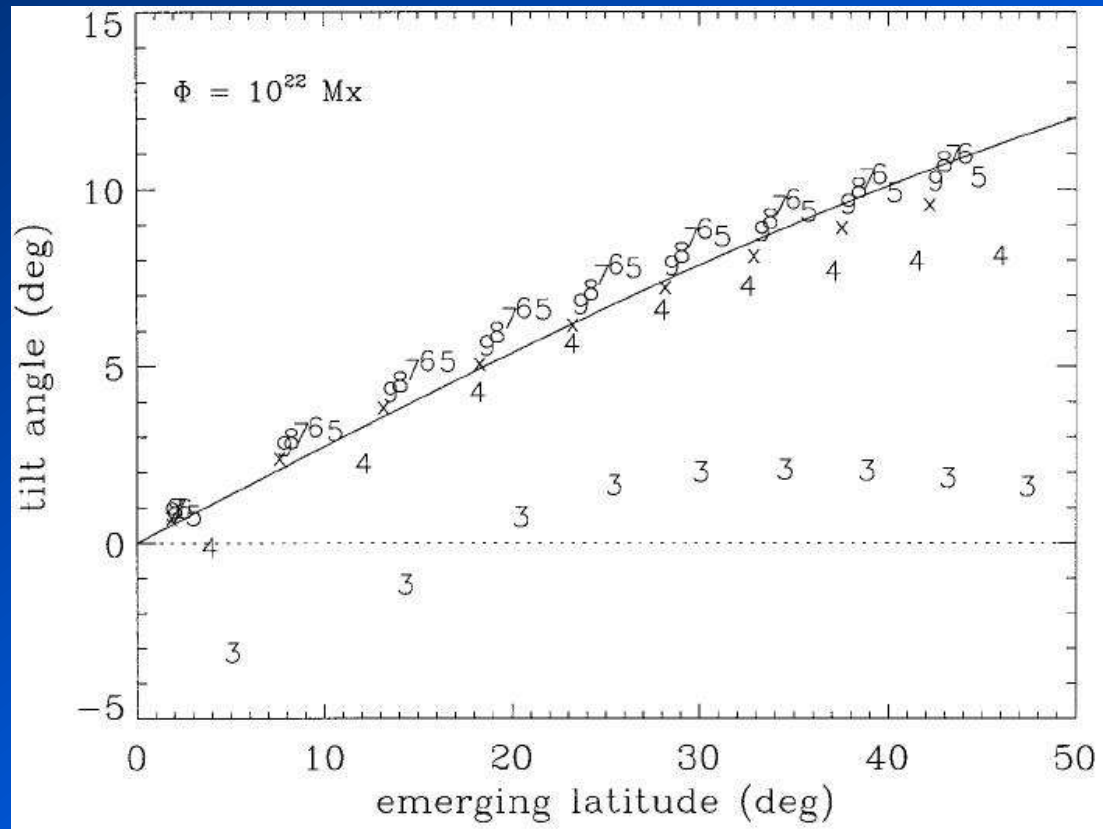


„Trhliny“ teórie dynama

Pôvodne sa predpokladalo, že toky v konvektívnej zóne sú zdrojom slnečného cyklu a dokázali vysvetliť alfa a omega procesy. Problémom oboch modelov (kinematický a magnetohydrodynamický) je vysvetlenie veľkého počtu alfa efektov v konvektívnej zóne. Teraz, diferenciálna rotácia v konvektívnej zóne a dynamika tokových trubíc pod fotosférou indikujú, že zdrojom cyklu slnečnej aktivity je styčná vrstva (tachoklína), ležiaca na rozhraní oblastí žiarovej rovnováhy a konvektívnej zóny.

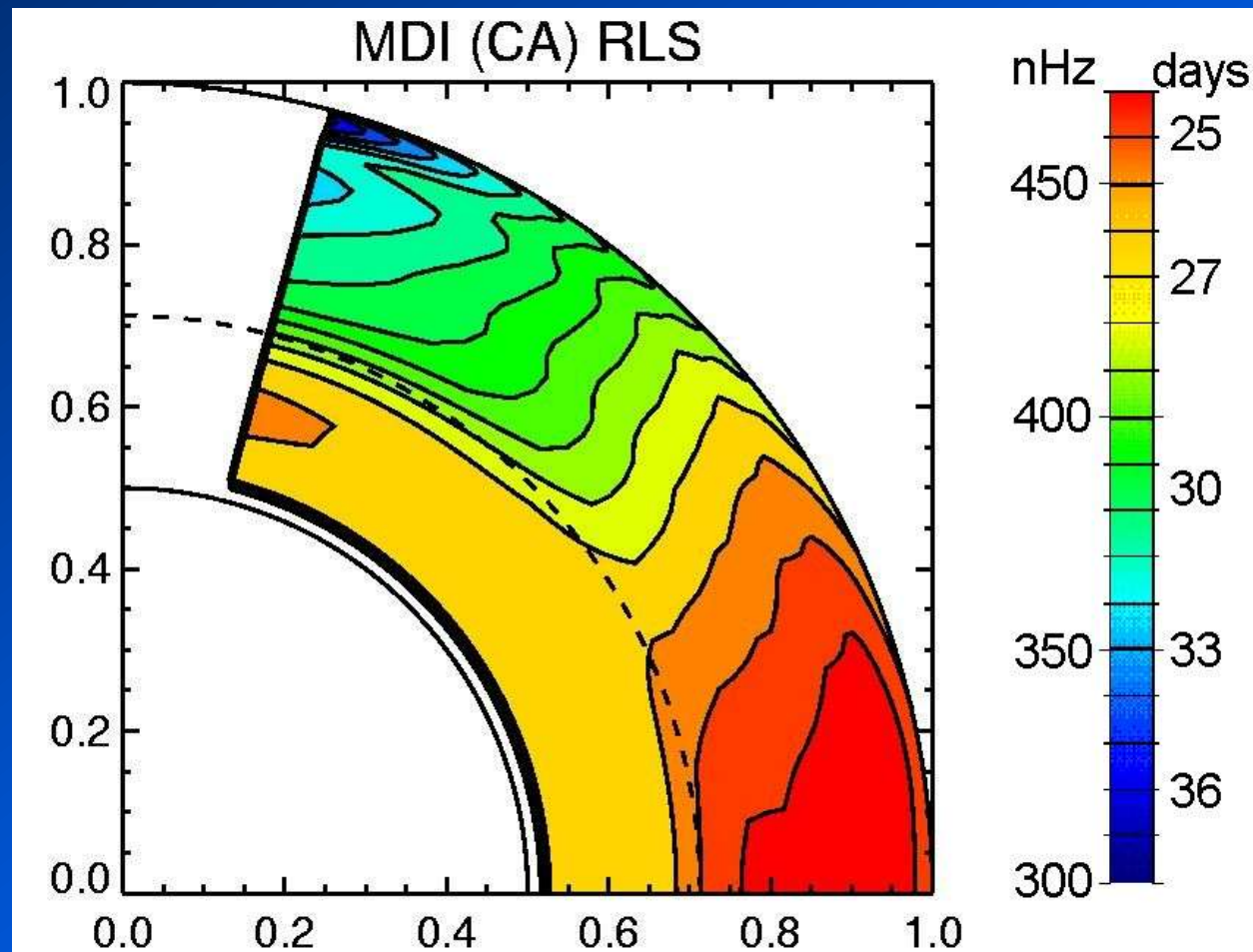
Dynamika vztláčaných tokových trubíc

Tokové trubice od styčnej vrstvy stúpajú veľmi rýchle (Parker 1975), pohybujú sa pomaly k vyšším šírkam, Coriolisovou silou sa stáčajú (Joy zákon), čím sa vytvára asymetria medzi prednou a zadnou časťou slučky, keď sa vynoria na povrch Slnka – fotosféru (Fan and Fisher 1996).



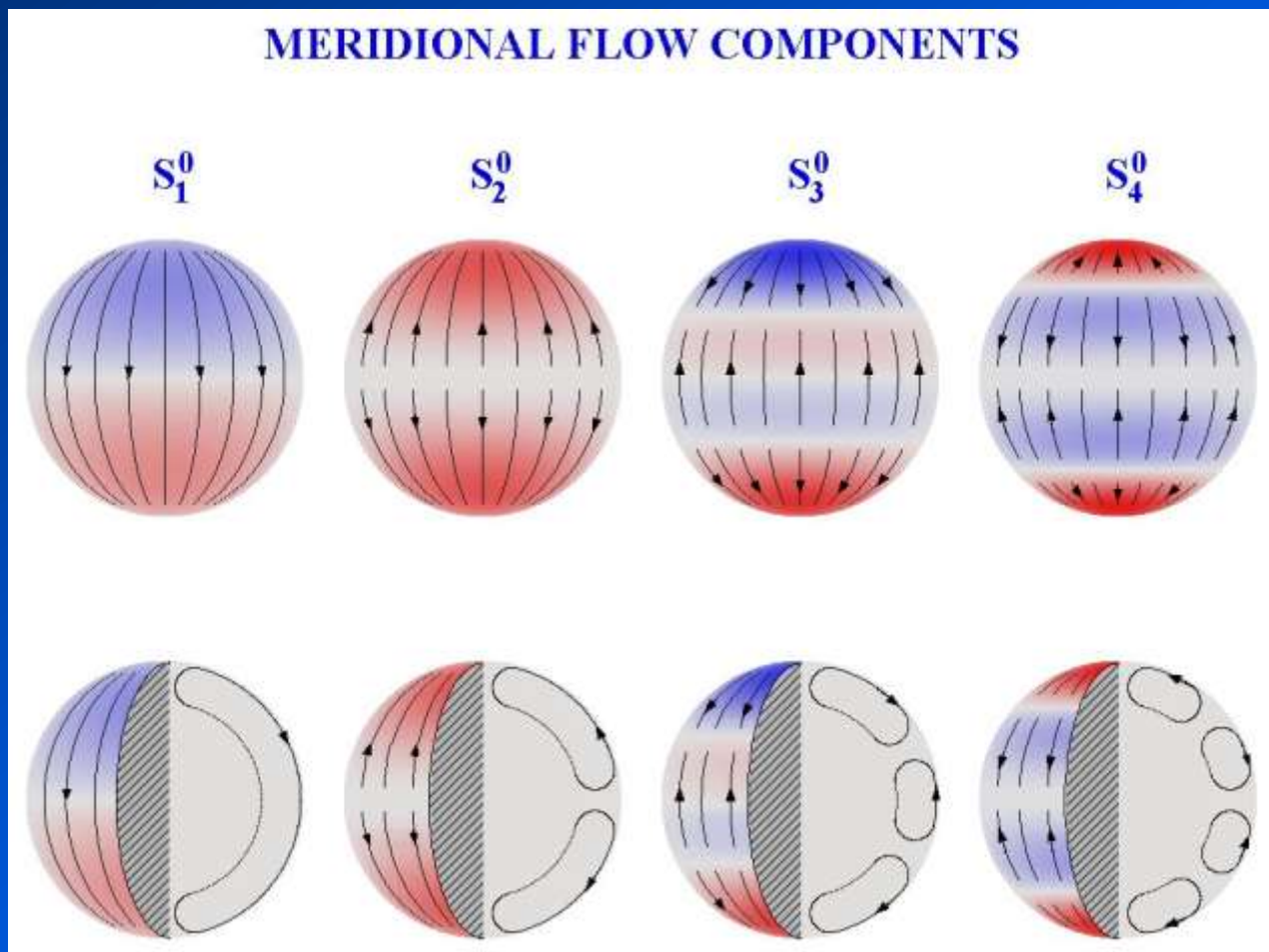
Internal Rotation Rate

Helioseismic determinations of the internal rotation rate show that the latitudinal differential rotation seen at the surface extends through the convection zone (Brown, 1985). Layers of strong radial shear are found near the surface and at the base of the convection zone (the tachocline). *This is different than what was assumed and produced in the earlier dynamos.*

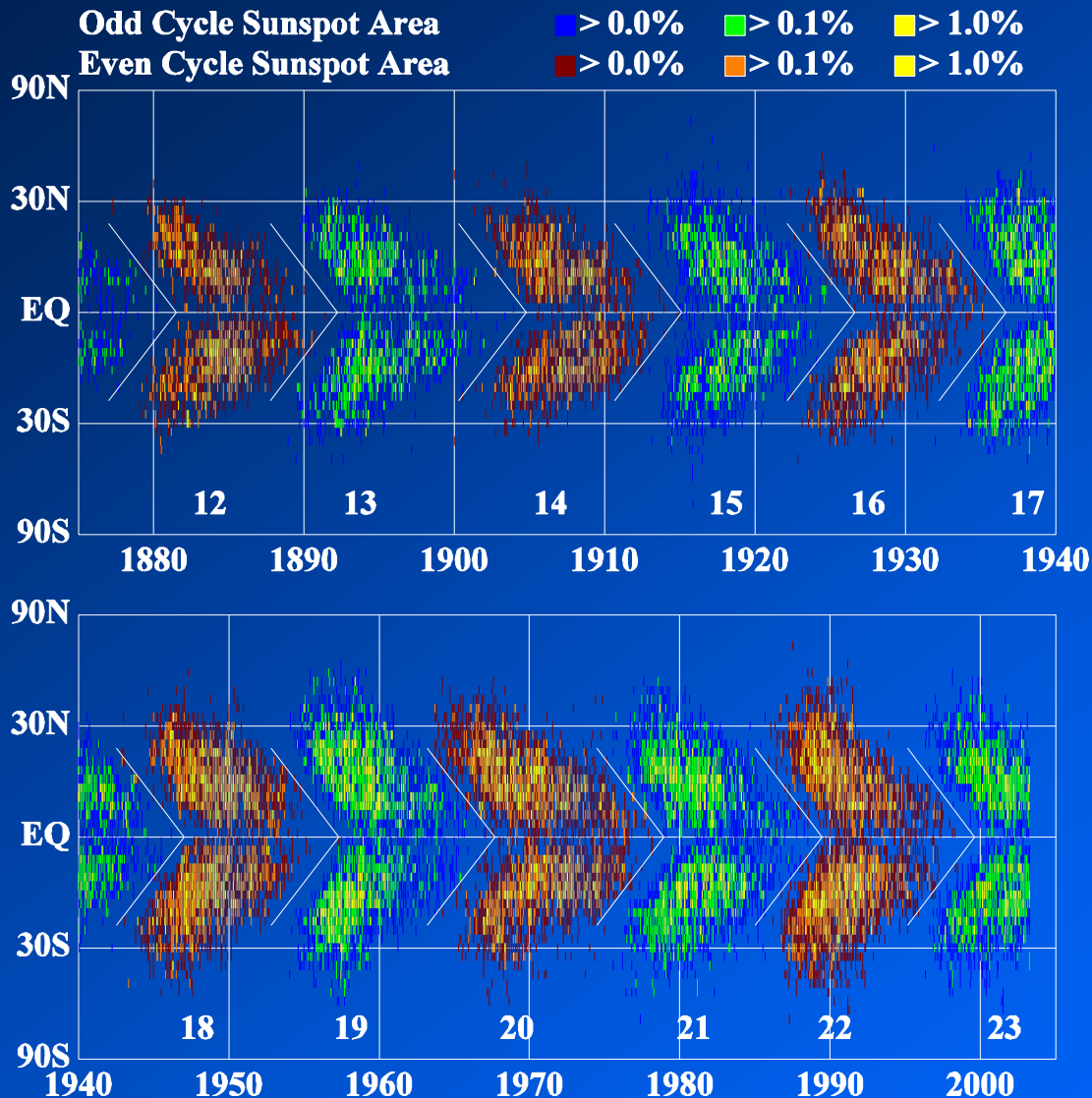


Meridionálna cirkulácia – dodatčná zložka dynamiky

Hathaway (ApJ 1996) developed an image analysis technique for extracting the signal due to the meridional flow from Doppler velocity images. The meridional flow is largely poleward at ~ 20 m/s but variable.



Pohyb zón slnečných škvŕn

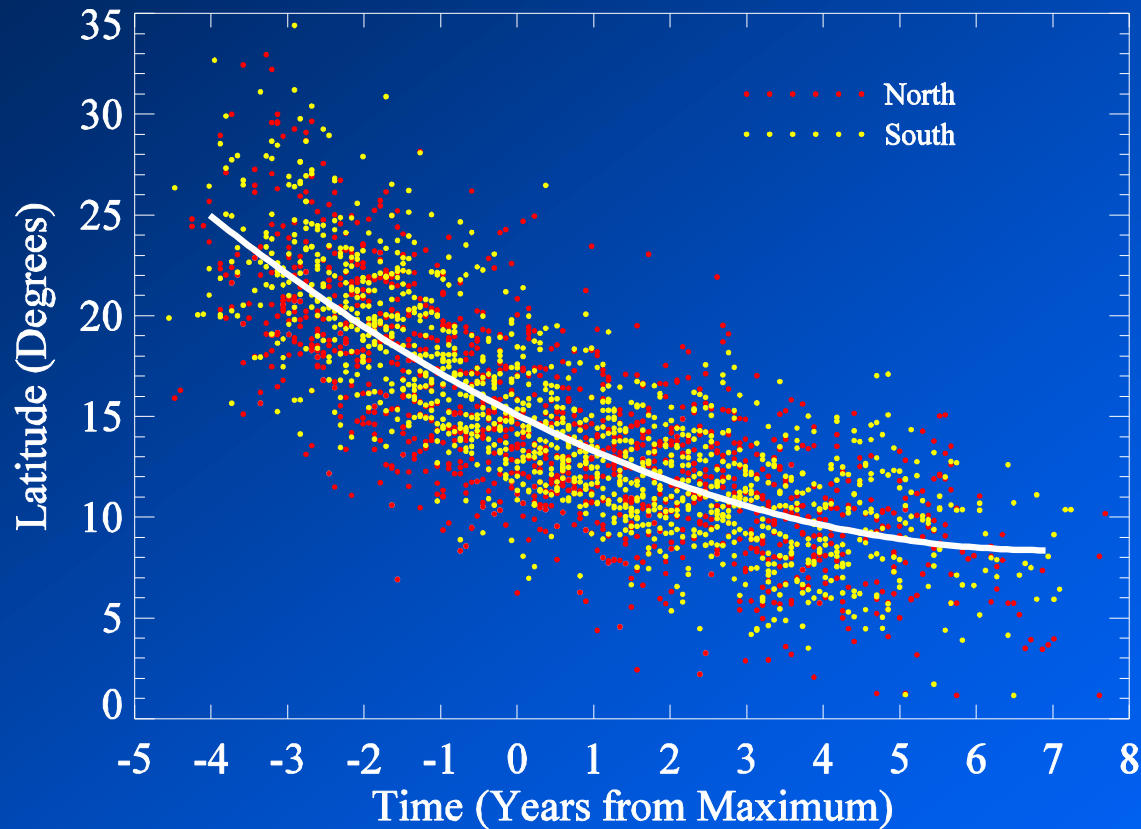


We examined the latitude drift of the sunspot zones by first separating the cycles where they overlap at minimum.

We then calculated the centroid position of the daily sunspot area averaged over solar rotations for each hemisphere.

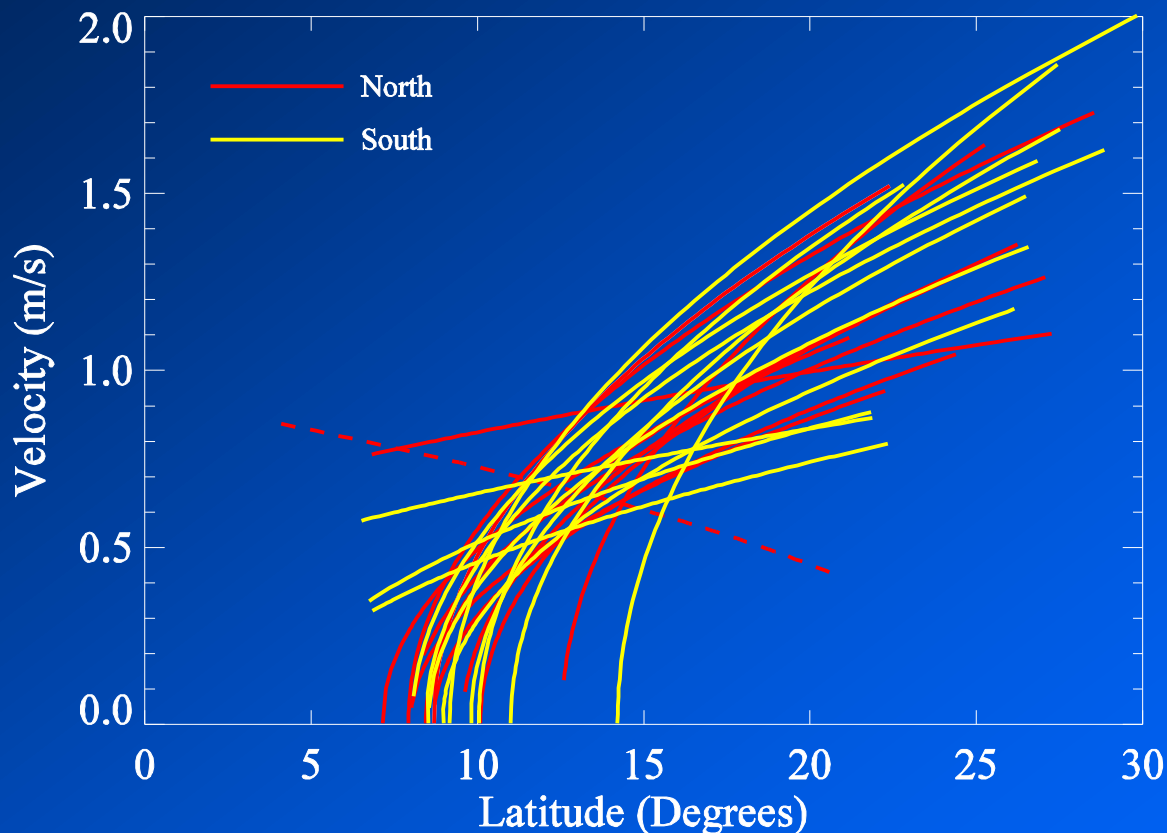
[Hathaway, Nandy, Wilson, & Reichmann, ApJ 2003]

Zmena polohy s časom



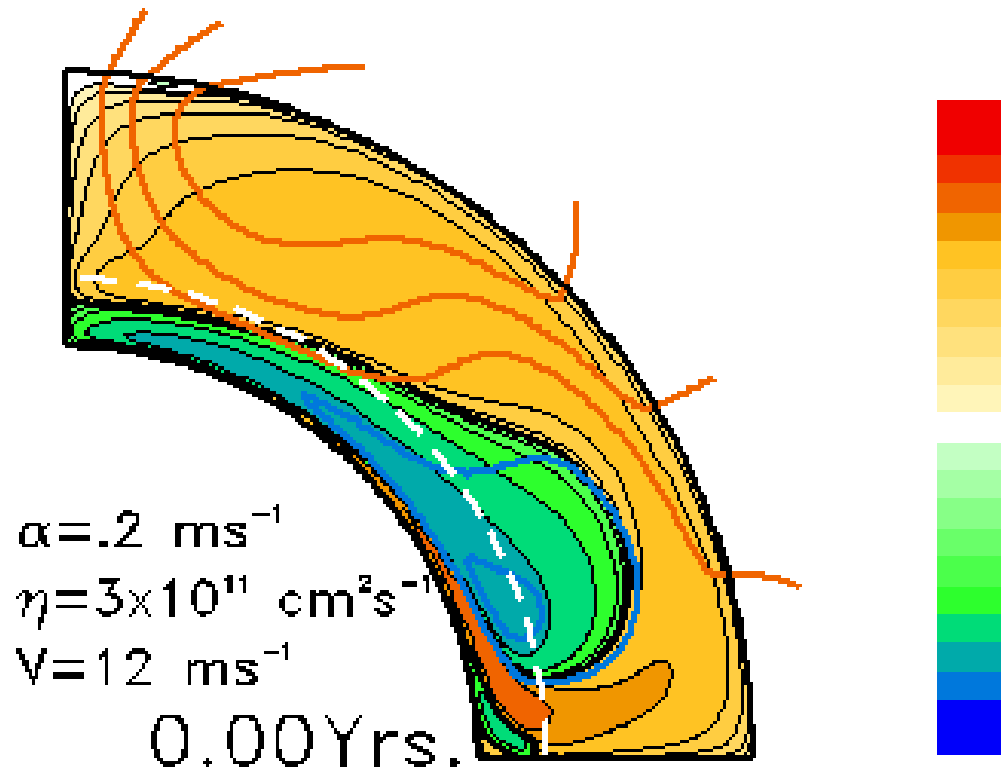
Slné škvry sa nepohybujú smerom k pólom vo vyšších šírkach ako by sa očakávalo vln tvorených dynamom.

Závislosť rýchlosti pohybu škvŕn od šírky

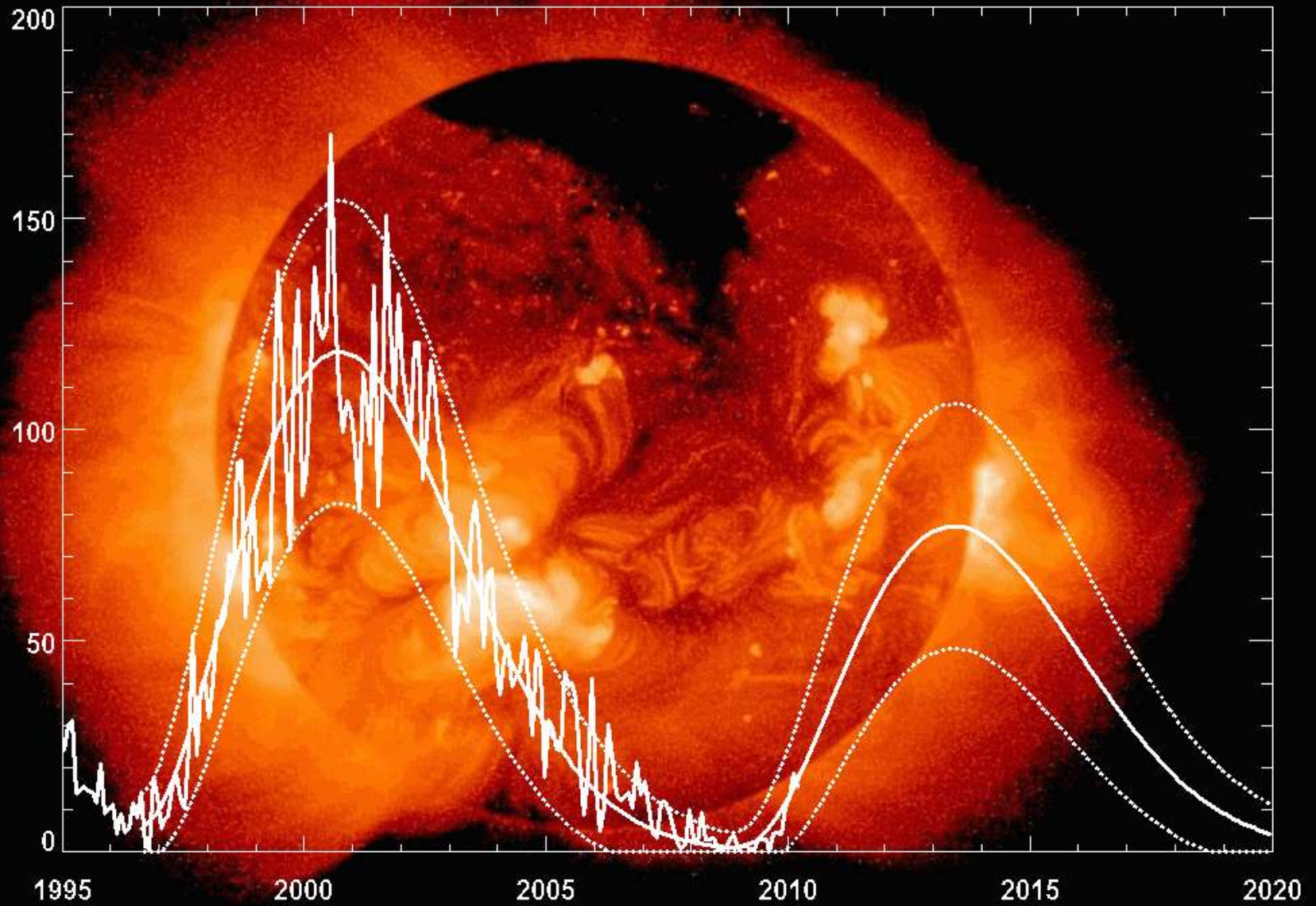


Táto vlastnosť vyplýva z charakteristík podpovrchového meridionálneho toku. Rýchlosť 1-2 m/s súhlasí s pozorovaniami zvukových vln na Slnku (helioseizmológia) (Giles, 2000).

Dikpati & Charbonneau Dynamo



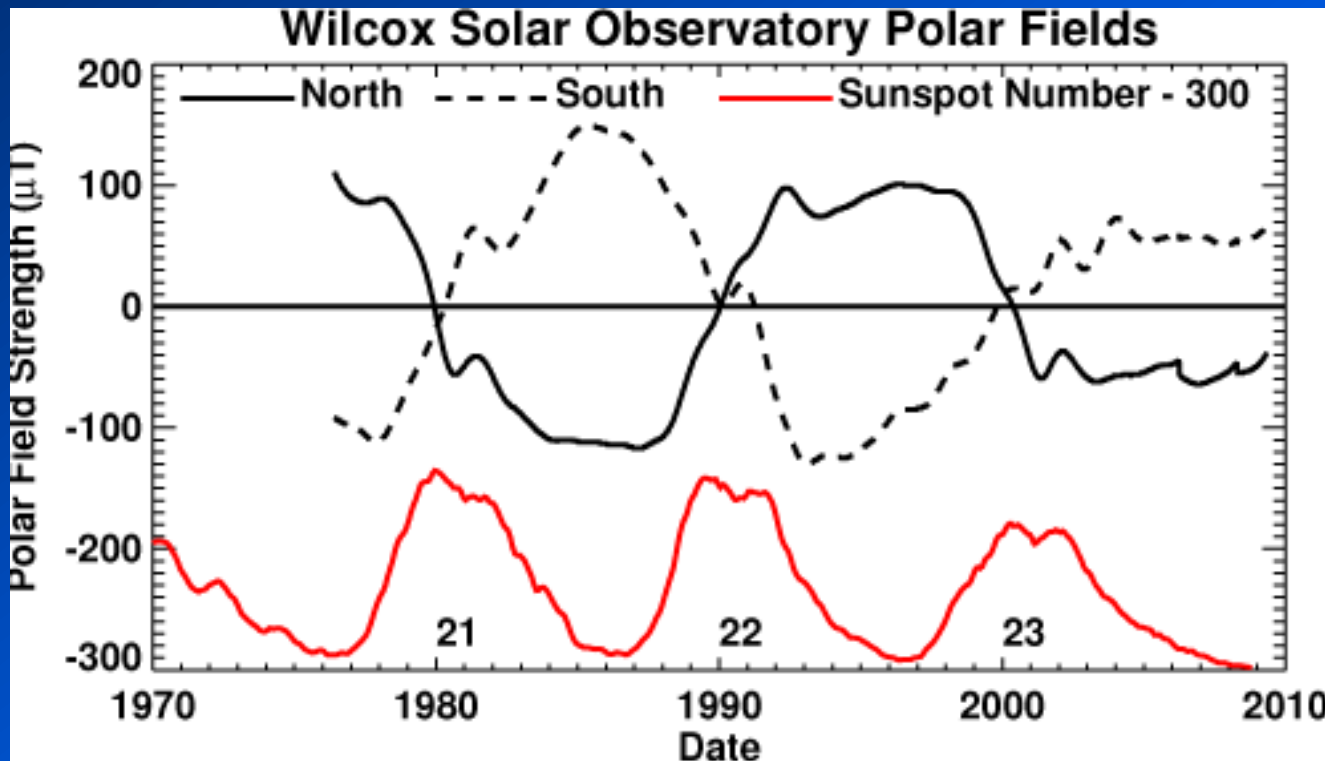
Cycle 24 Sunspot Number Prediction (April 2010)



Hathaway/NASA/MSFC

Niekoľko po známok k predpovediam cyklov slnečnej aktivity

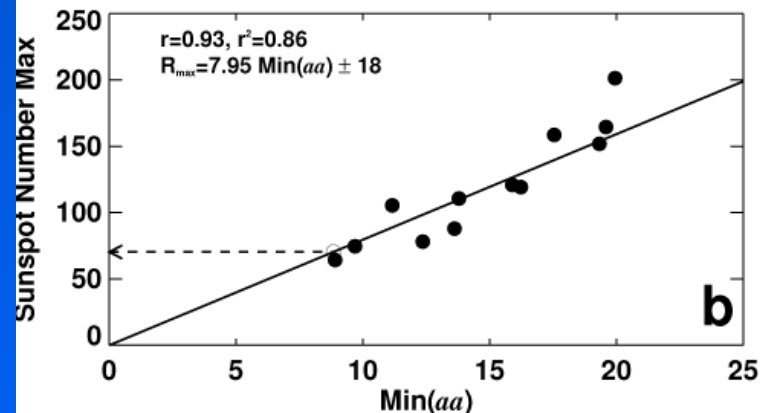
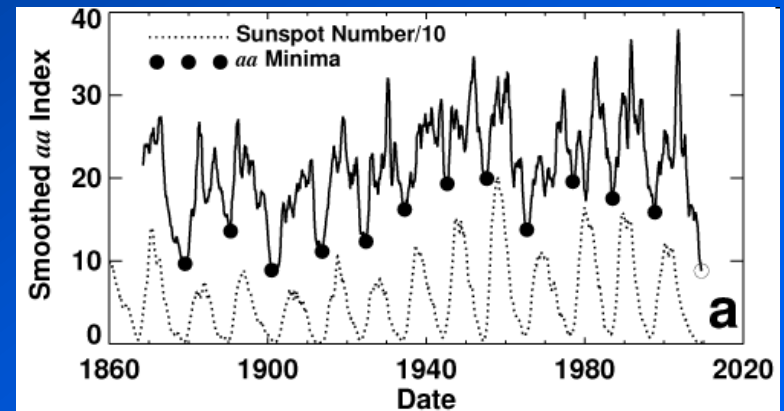
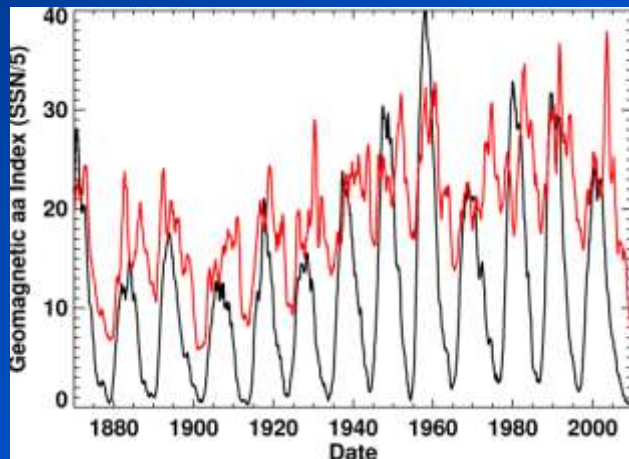
- Intenzita polárneho magnetického poľa Slnka



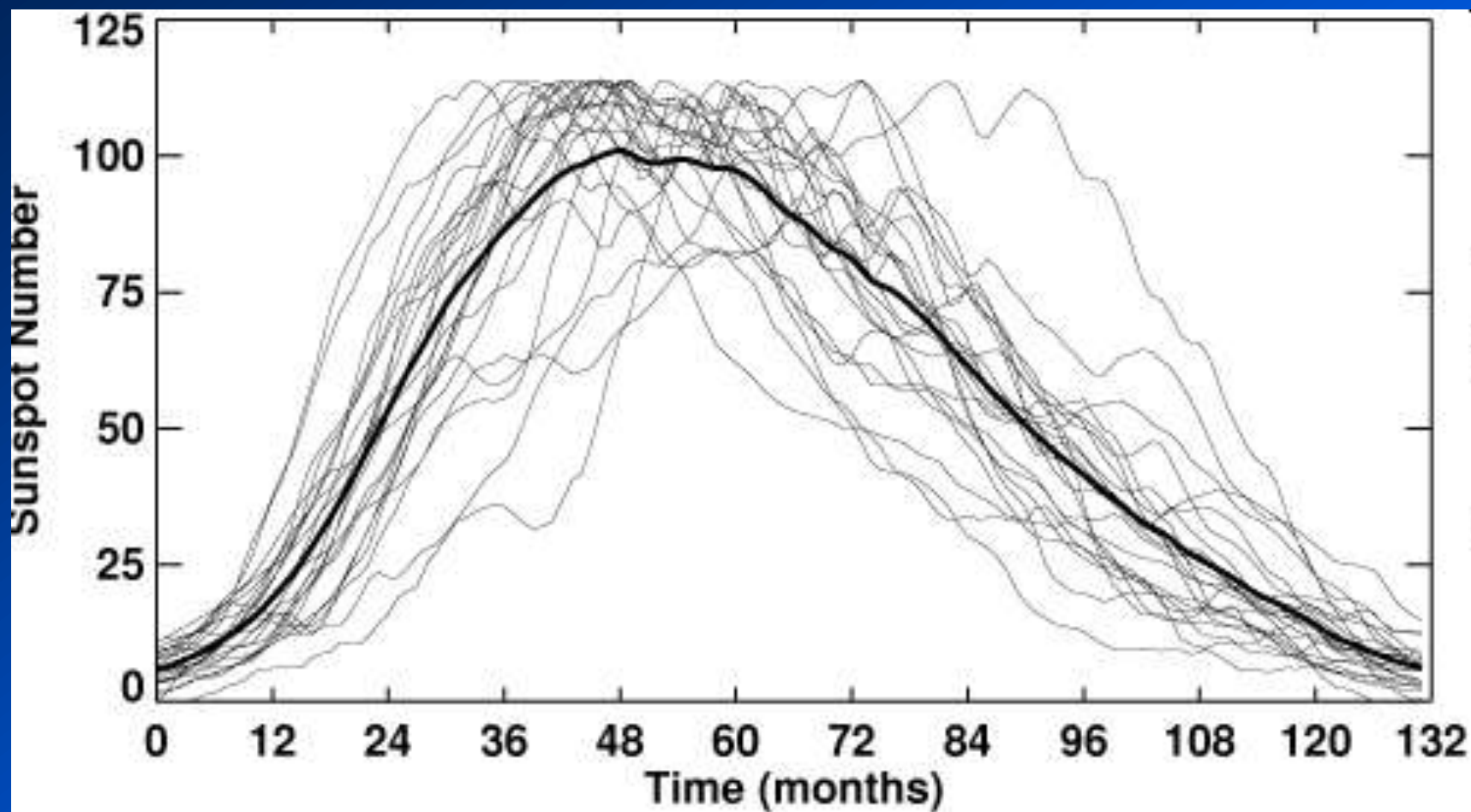
Index aa

- Založený na minimách aa indexu

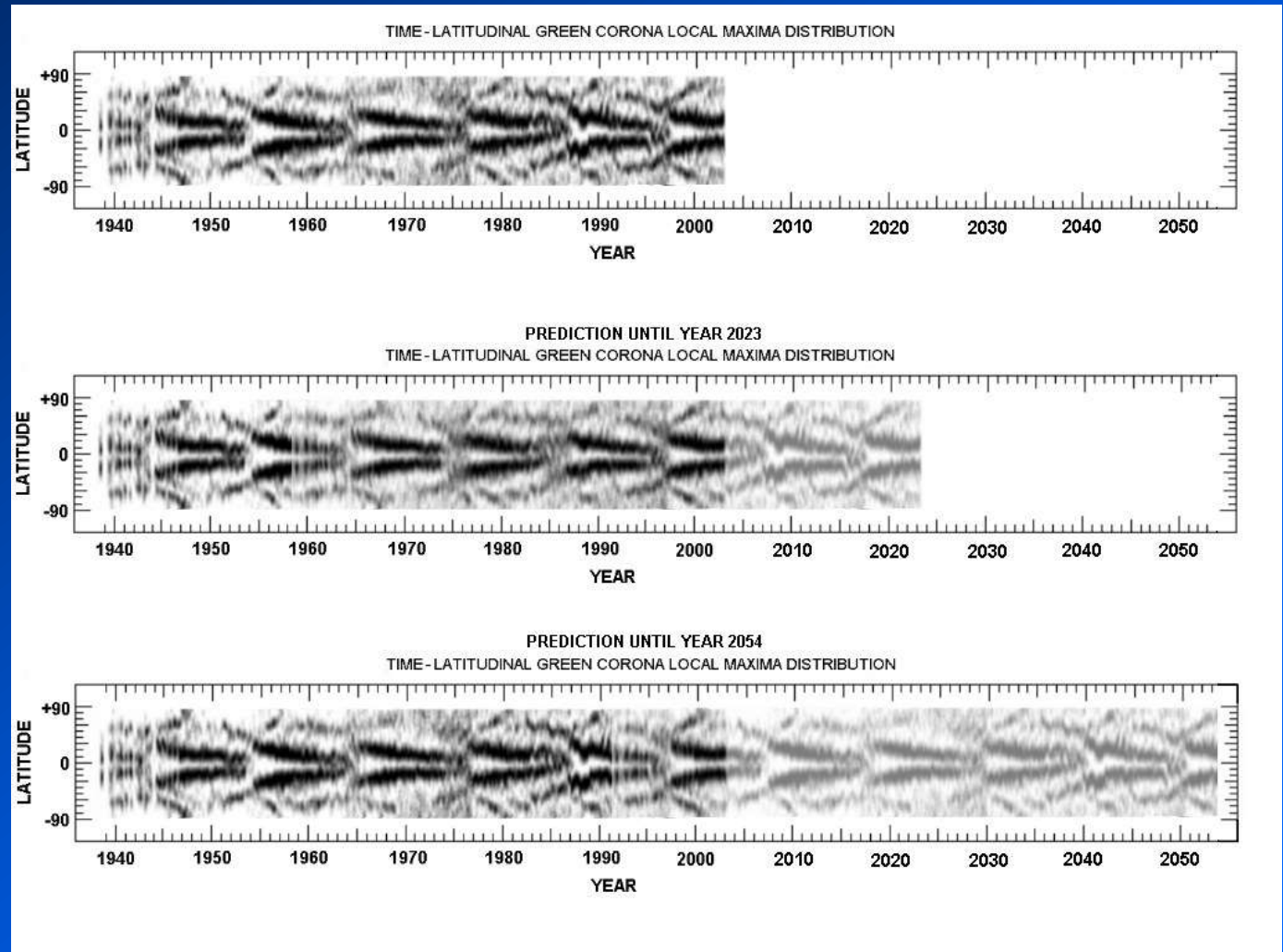
aa index predstavuje zmenu magnetického poľa Zeme na staniciách, ktoré sa nachádzajú oproti sebe v zemepisnej šírke 50 stupňov. Meranie sa robí každé tri hodiny.



„Normalizované“ cykly na dĺžku 132 mesiacov

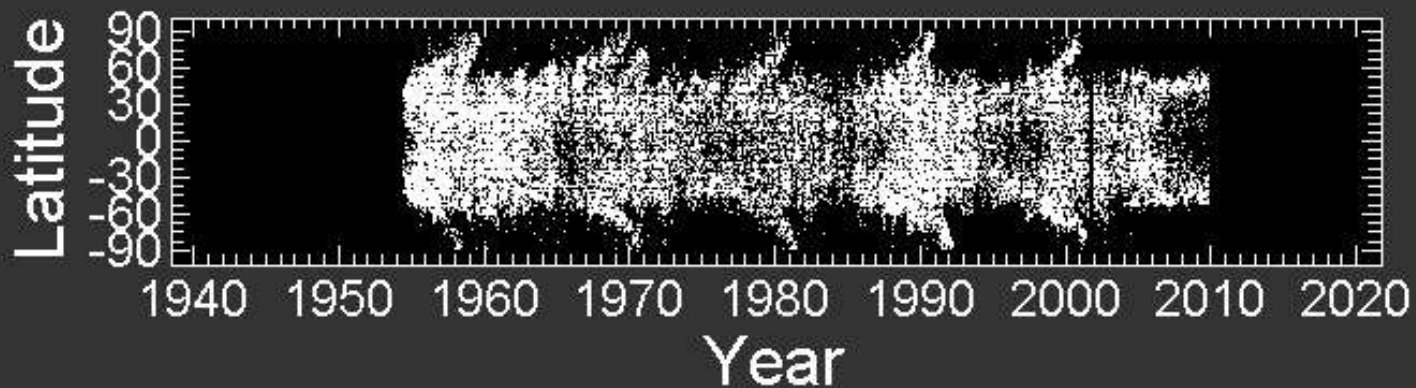


Predpovede miním a maxím cyklov podľa intenzít zelenej koróny

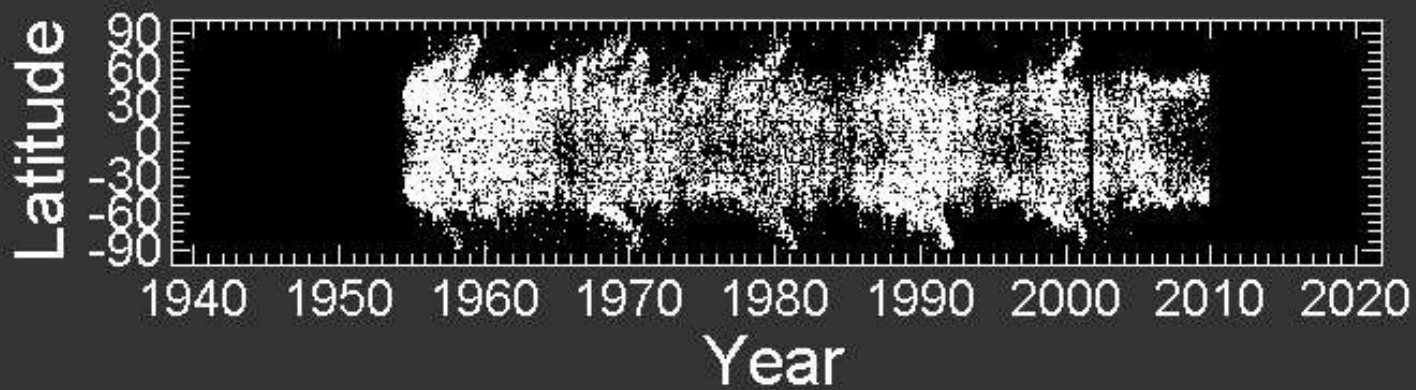


Predpoved' podľa polárnych vetiev protuberancií pre cyklus 24

Solar prominences 1954 - 2008



Solar prominences prediction for 2009 - 2012



Závery

- Zdrojom energie na Zemi je Slnko (95 percent)
- Zdrojom (takmer) všetkých porúch na Zemi je Slnko a jeho aktivita
- Slnčná aktivita je výsledkom existencie magnetických polí na Slnku
- Magnetické polia sú výsledkom dynama (rozdielna rotácia na rozhraní oblasti žiarivej rovnováhy a konvekcie – oddelené tenkou styčnou vrstvou) za účinnej pomoci konvekcie, diferenciálnej rotácie a meridionálnej cirkulácie
- Amplitúda cyklov je variabilná, podobne ako aj ich dĺžka
- Základný cyklus slnečnej aktivity má trvanie 11 rokov; Haleho mag. cyklus 22 rokov; ostatné periodicity sú produktom dynamických procesov v podpovrchových vrstvách Slnka
- Výskyt severojužnej asymetrie, aktívnych oblastí a kratších periodicít v cykle
- Existencia cyklov na hviezdach Slnku podobných pomáha riešiť problém slnečnej aktivity

Pripravené pre účastníkov 2. Česko-slovenskej konferencie o vzdelávaní a astronómii, Valašské Meziříčí (Česká republika), 1.-2.10.2010



የግልጽ ግንኙነት ማረጋገጫ ስርዓት



Dnešným oslávencom!