

# Hviezdni dvojníci Slnka

22. celoštátny slnečný seminár  
Nižná nad Oravou, 26. - 30. jún 2014

Július Koza  
Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica



# Klasifikácia

Podľa miery podobnosti:

- hviezda slnečného typu
- slnečný analóg
- slnečné dvojča = najpodobnejšie Slnku

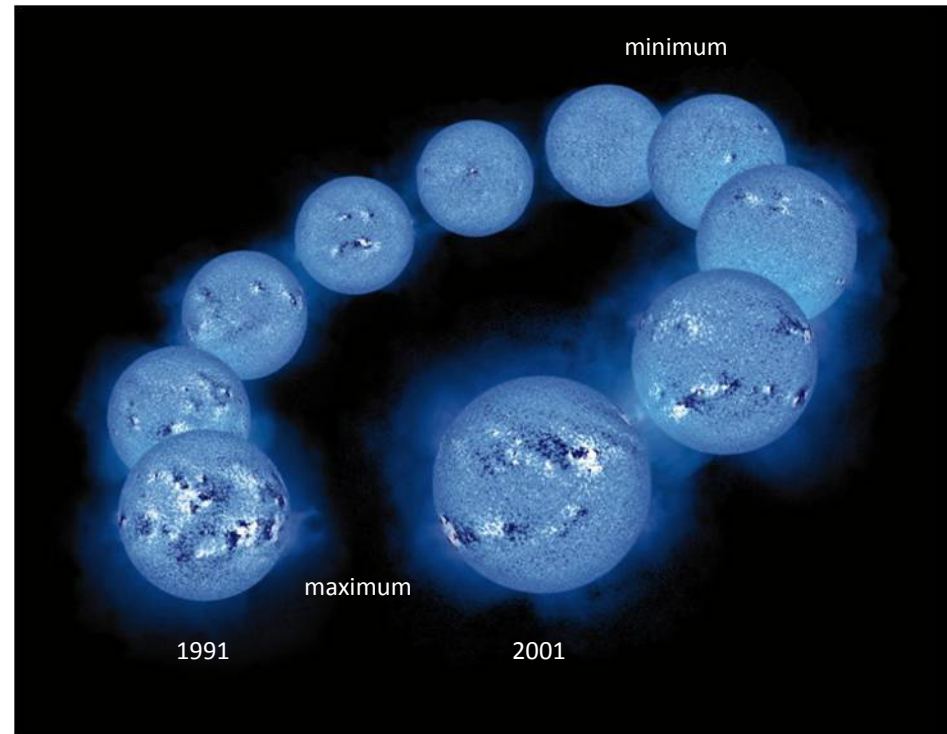
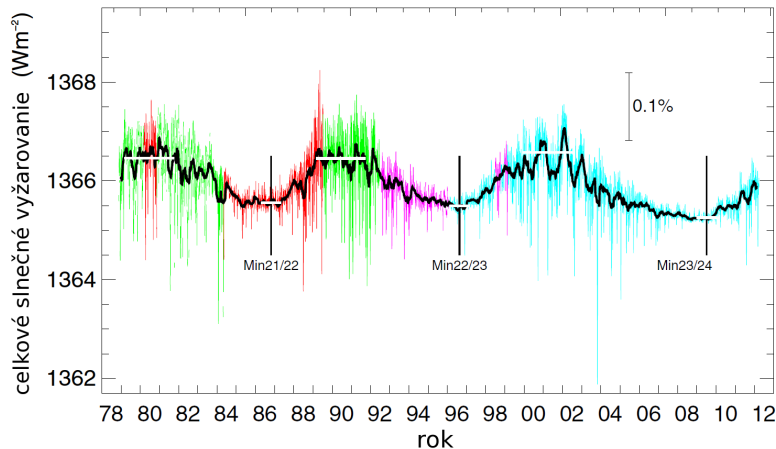
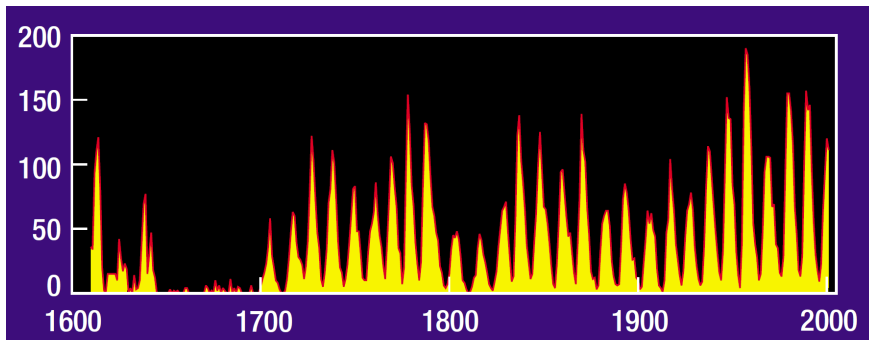
[Cayrel de Strobel, G.:](#)

[The Astronomy and Astrophysics Review, Volume 7, Issue 3, pp. 243-288 \(1996\)](#)

# Kontext

Riešenie problémov:

- slnečného magnetického dynama
- periodicity slnečnej aktivity

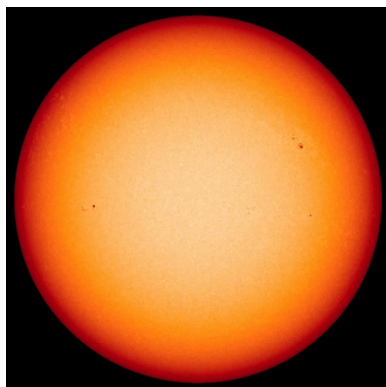


# Čím sú Slnku podobné hviezdy užitočné

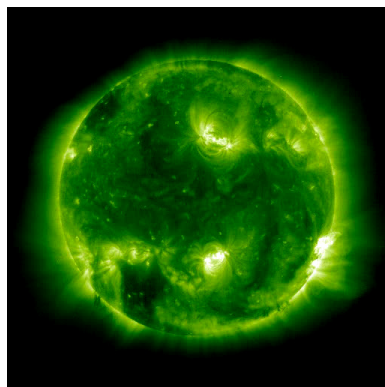
vek Slnka: 4 570 000 000 rokov

teleskopická éra: 400 rokov

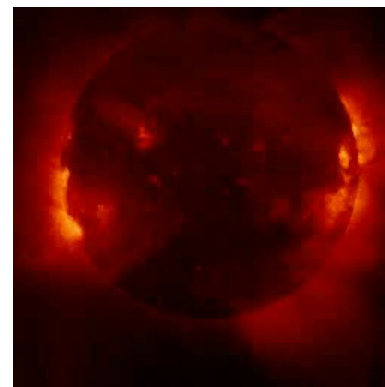
éra kozmického výskumu Slnka: 40 rokov



viditeľné svetlo  
fotosférická aktivita



EUV žiarenie  
prechodová oblasť

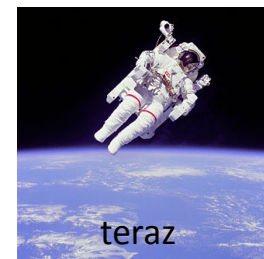


röntgenové žiarenie  
koronálna aktivita



vznik Slnka

Ak by úsečka veku Slnka mala 1 m, potom **úsečka teleskopickej éry** – by mala desatinu mikrometra a mala by byť neviditeľná.

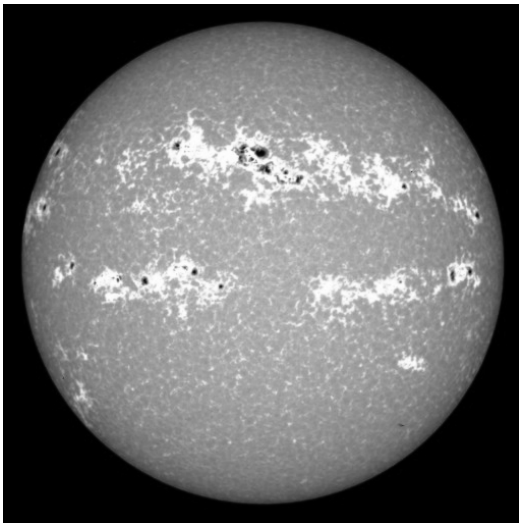


teraz

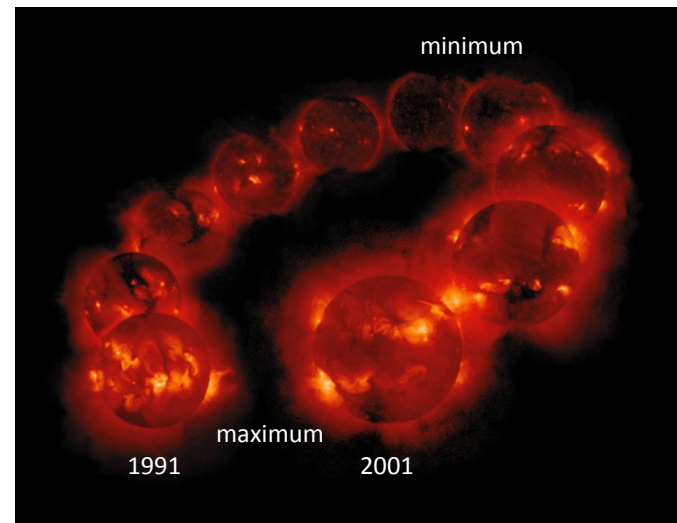
Štúdiom veľkého počtu Slnku podobných hviezd rôzneho veku poskladáme mozaiku o aktivite Slnka a činnosti jeho magnetického dynama v minulosti.

# Hviezdy slnečného typu

- podobné Slnku v najširšom zmysle
  - hviezdy hlavnej postupnosti
  - farebný index B-V 0,48 – 0,8 (Slnko: B-V 0,65)
  - alternatívna definícia: spektrálny typ F8 V až K2 V (vyhovuje 10% hviezd)
  - významná korelácia rotačnej rýchlosti, chromosférickej (Ca II K a H emisia) a koronálnej aktivity (röntgenová emisia)
- chromosférická a koronálna aktivita je prejavom činnosti hviezdneho magnetického dynama

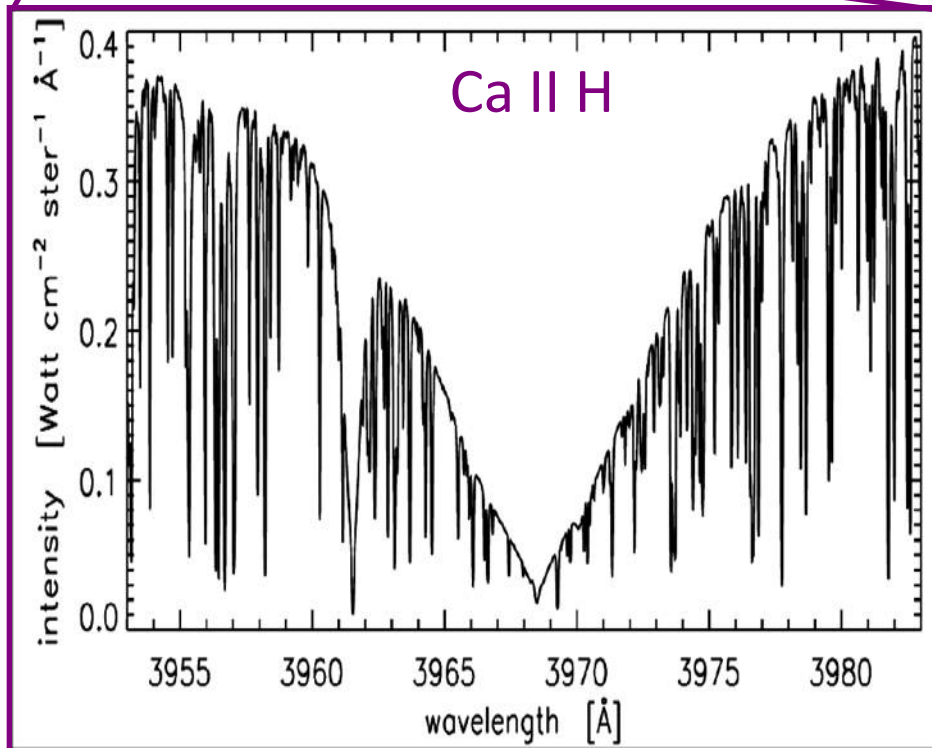
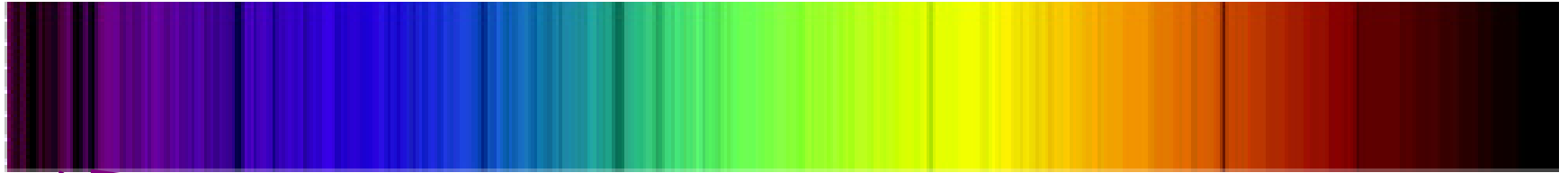


slnečná chromosféra v spektrálnej čiare Ca II K



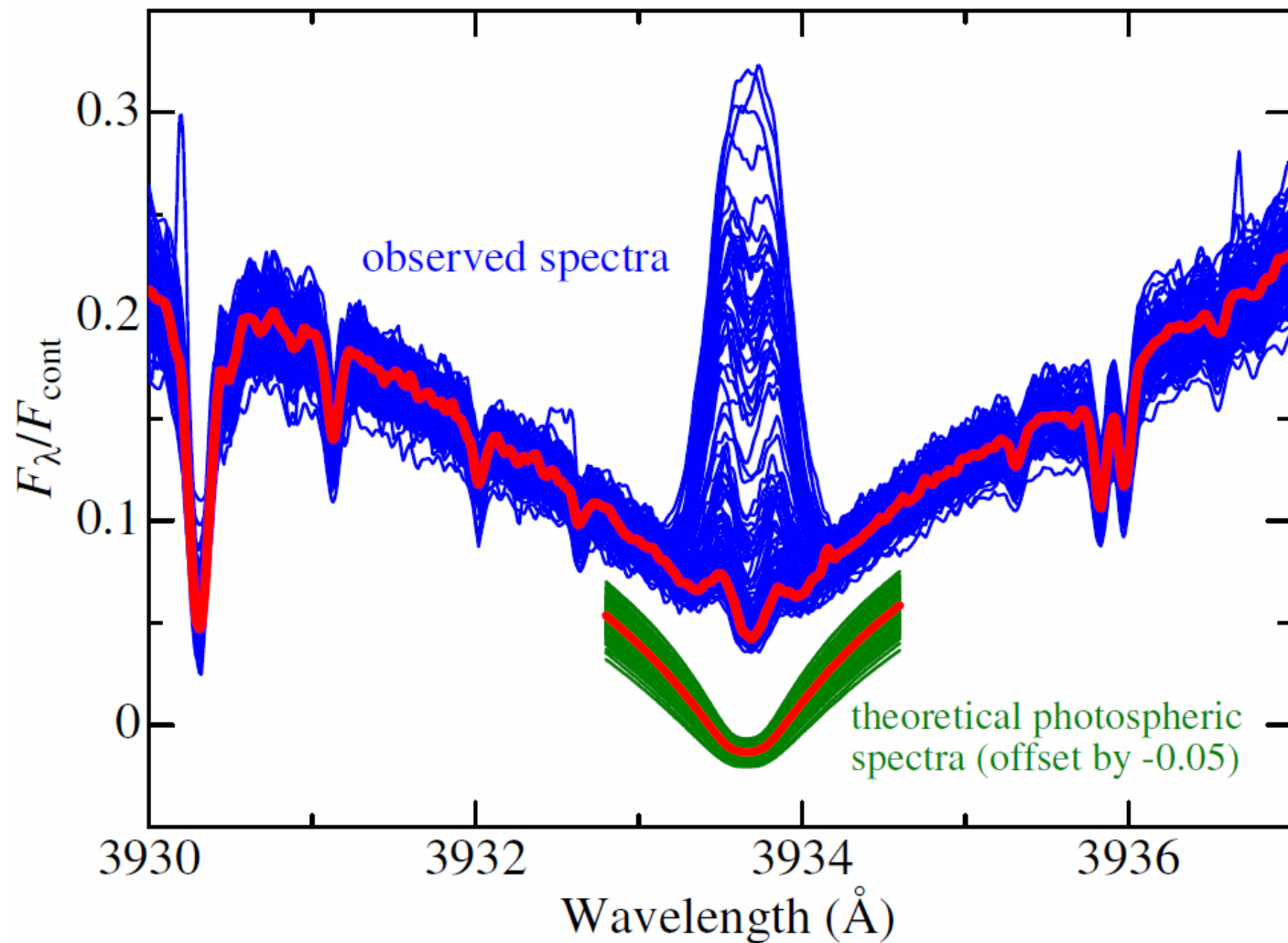
cyklus slnečnej aktivity v röntgenovom žiarení

# Chromosférické spektrálne čiary Ca II K a Ca II H

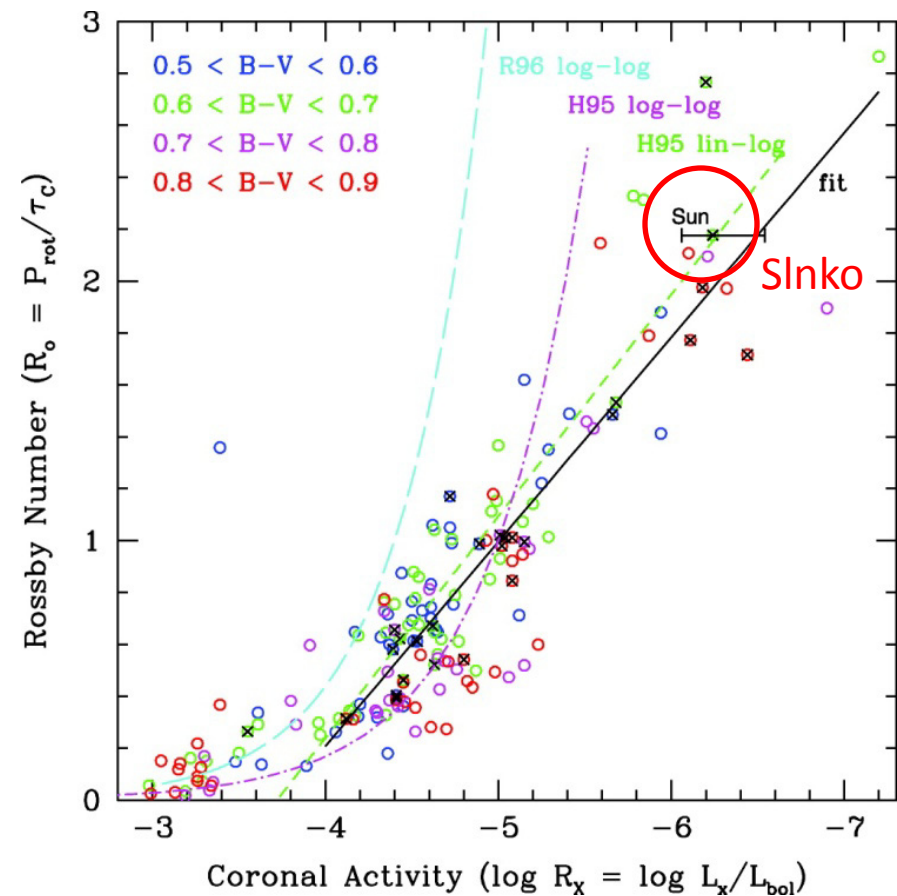
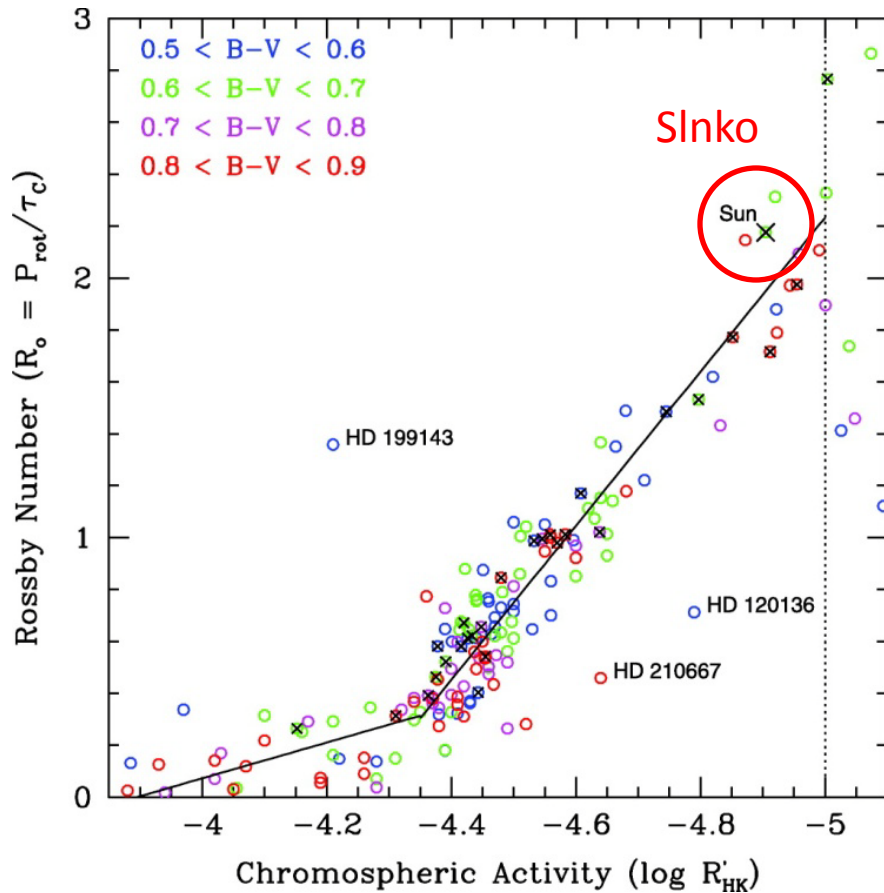


Jadrá spektrálnych čiar ionizovaného vápnika **Ca II H** a **Ca II K** sú tvorené v chromosfére.

# Chromosférická aktivita hviezd



# Chromosférická a koronálna aktivita hviezd



$R_{\text{HK}}$  je miera emisie v spektrálnych čiarach Ca II K a H

Rossbyho číslo  $R_0$  vyjadruje periódu rotácie  $P_{\text{rot}}$

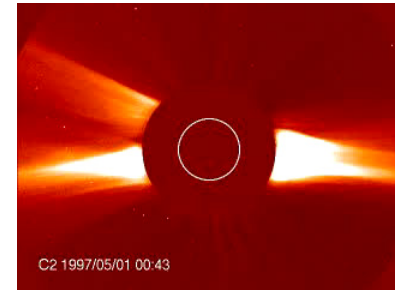
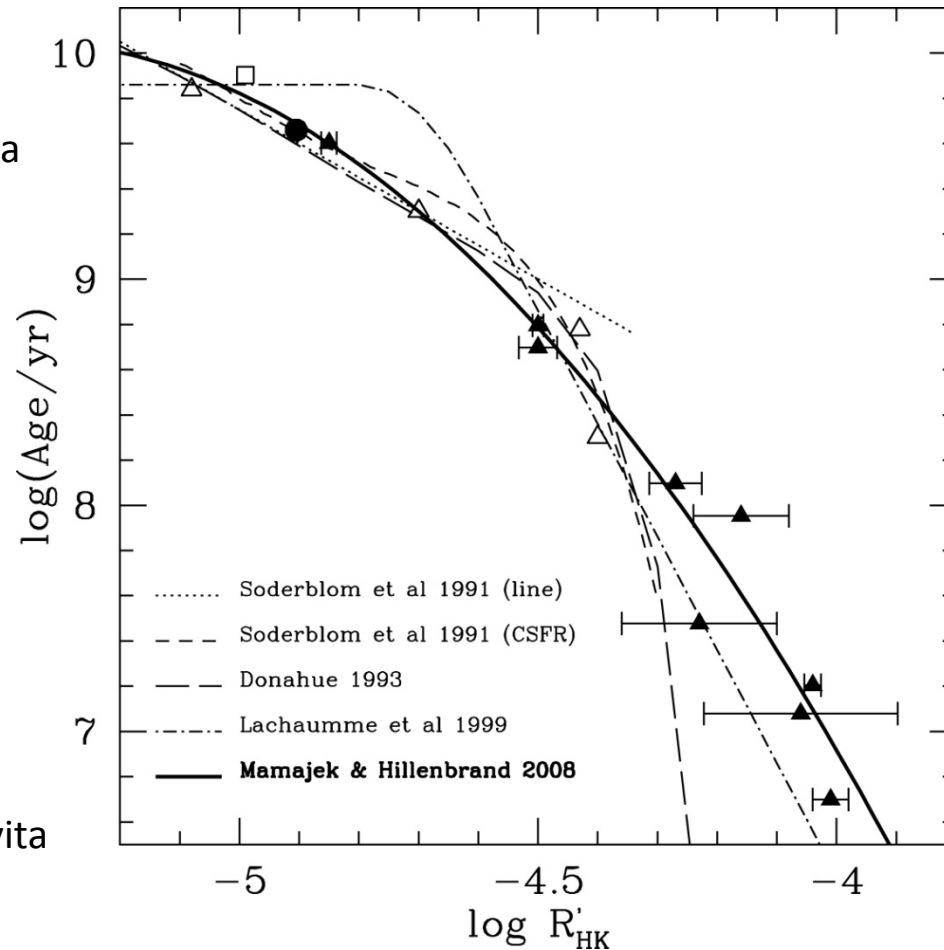
$R_x$  je miera emisie v röntgenovom žiarení



# Vzťah: vek hviezdy – chromosférická aktivita

**Staré hviezdy:**  
pomalá rotácia  
nízka chromosféricka aktivita

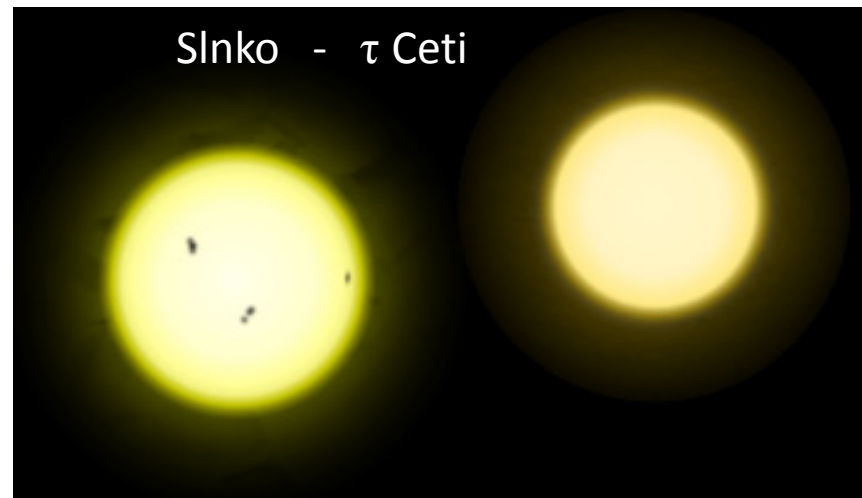
**Mladé hviezdy:**  
rýchla rotácia  
vysoká chromosféricka aktivita



$R_{HK}$  je miera emisie v spektrálnych čiarach Ca II K a H

# Príklady blízkych hviezd slnečného typu

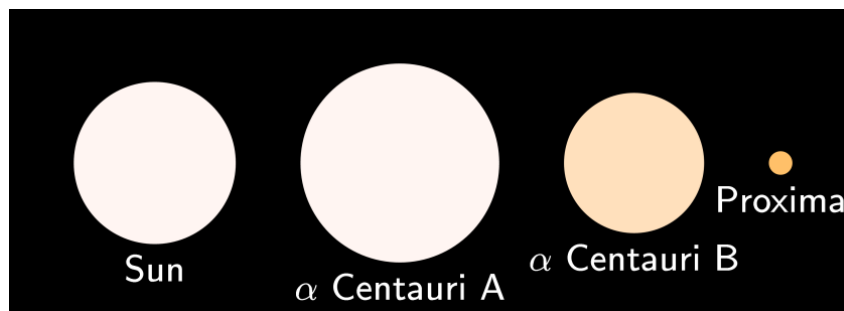
	Zdanlivá jasnosť [mag]	Vzdialenosť [ly]	Spektrálny typ	Teplota [K]	Exoplanéty
$\tau$ Ceti	3,5	12	G8 V	5 344	5
40 Eridani A ( $\sigma^2$ Eridani)	4,4	16,5	K1 V	5 126	
82 Eridani	4,3	20	G8 V	5 338	3



# Slnečný analóg

- teplota  $5778 \text{ K} \pm 500 \text{ K}$  (teda slnečná  $\pm 500 \text{ K}$ )
- metalicita 50 % – 200 % slnečnej
  - metalicita: obsah prvkov ťažších ako hélium v atmosfére hviezdy
- bez sekundárnej zložky s obežnou dobou kratšou ako 10 dní

	Zdanlivá jasnosť [mag]	Vzdialenosť [ly]	Spektrálny typ	Teplota [K]
$\alpha$ Centauri A	0,0	4,4	G2 V	5 847
$\alpha$ Centauri B	1,3	4,4	K1 V	5 316
$\sigma$ Draconis	4,7	19	K0 V	5 297
$\eta$ Cassiopeiae A	3,4	19,4	G0 V	5 941



# Slnečné dvojča

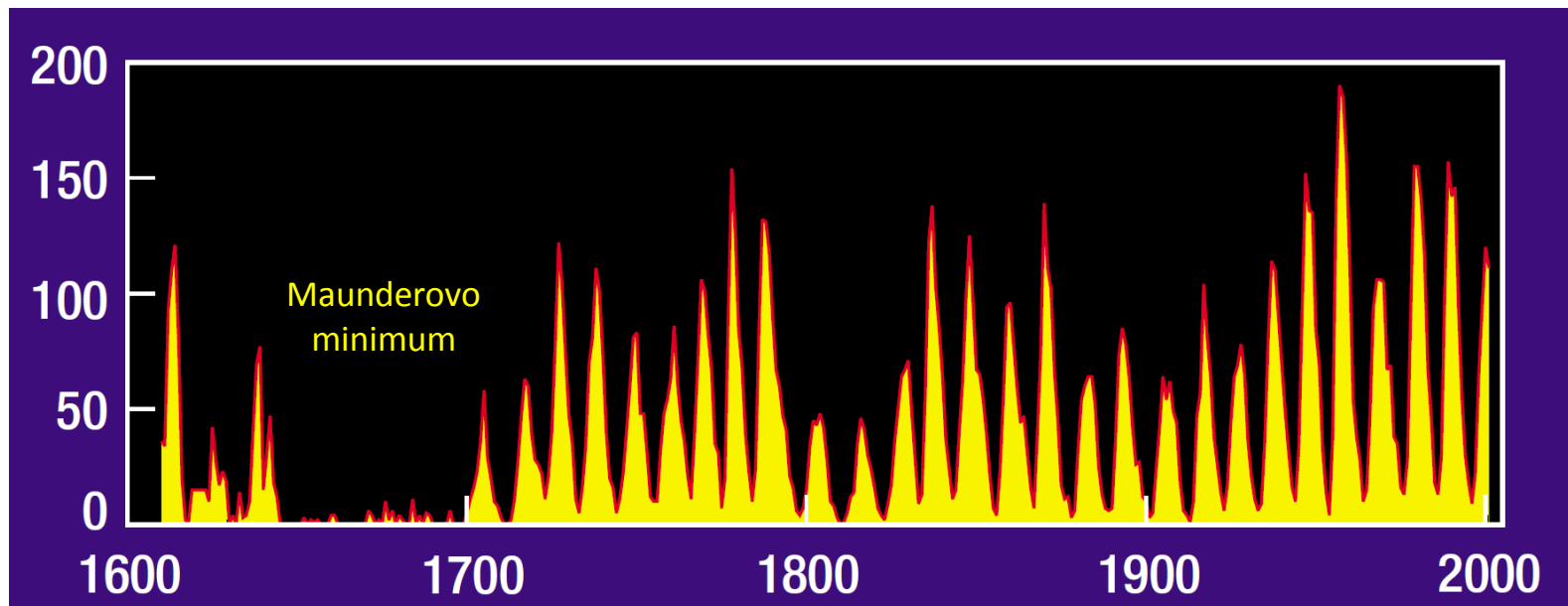
- teplota  $5778 \text{ K} \pm 50 \text{ K}$  (slnečná  $\pm 50 \text{ K}$ )
- metalicita 89 % – 112 % slnečnej
- bez sekundárnej zložky
- vek  $4,57 \pm 1$  miliarda rokov (slnečný  $\pm 1$  miliarda rokov)

	Zdanlivá jasnosť [mag]	Vzdialenosť [ly]	Spektrálny typ	Teplota [K]	Vek [Gyr]
18 Scorpii	5,5	45	G2 Va	5 835	4,2
HIP 56948 HD 101364 (Drak)	8,7	208	G5 V	5 795	3,5

- 18 Scorpii:
- má cyklus hviezdnej aktivity kratší o niekoľko rokov ako slnečný
  - amplitúda aktivity podobná slnečnej (t.j. variácie jasnosti 0,1 %)

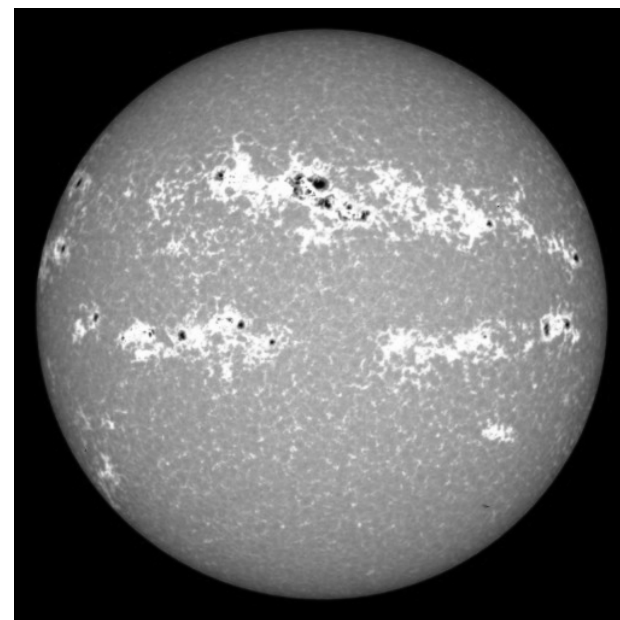
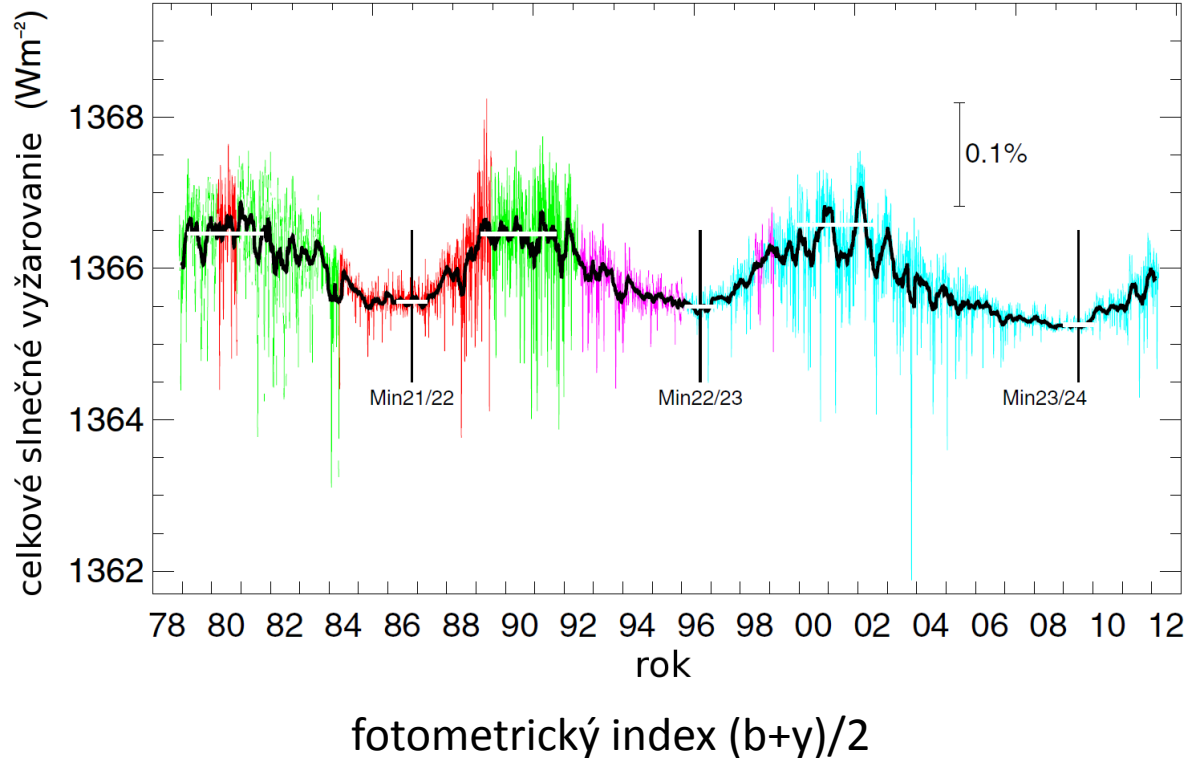
# Aktivita Slnku podobných hviezd – kľúč k pochopeniu vývoja (a) aktivity Slnka

- lepšie pochopenie slnečnej aktivity štúdiom Slnku podobných hviezd
- pozorovaním veľkého počtu Slnku podobných hviezd je možné pochopiť dlhodobú aktivitu Slnka
- Maunderovo minimum 1645 – 1715
- malá doba ľadová v Európe
- rovnaké ochladenie aj vulkanizmom



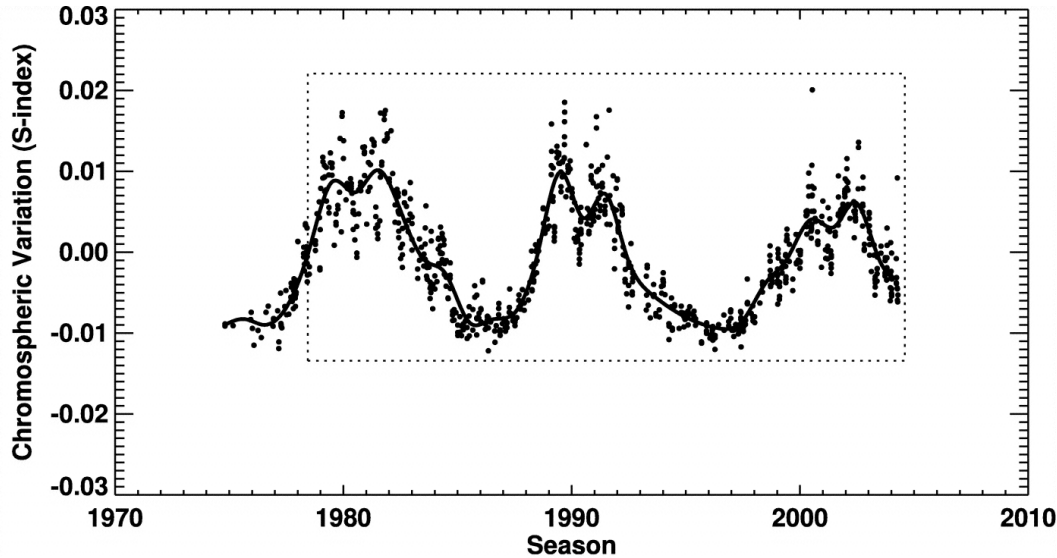
## Fotometrická variabilita jasnosti fotosféry Slnka ako hviezdy

## Spektrálna variabilita jasnosti chromosféry Slnka ako hviezdy



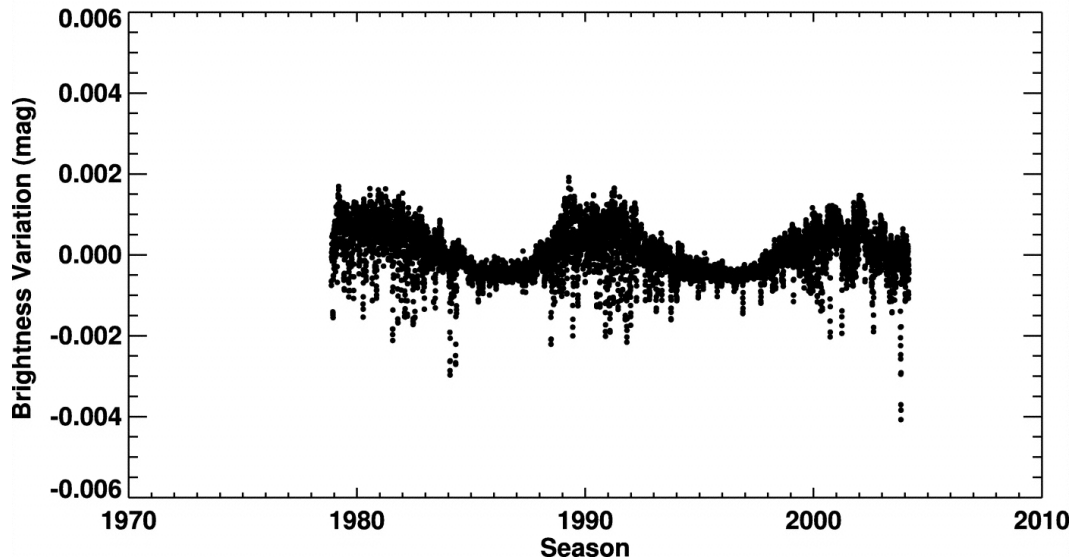
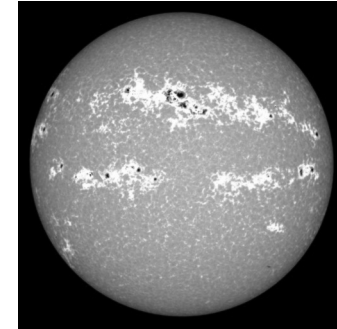
spektrálne indexy  $S$  a  $\log R_{\text{HK}}$   
vzťahujúce sa k spektrálnym  
čiarom Ca II K a H

# Aktivita a variabilita Slnka ako hviezdy



## Chromosférická Ca II K aktivita:

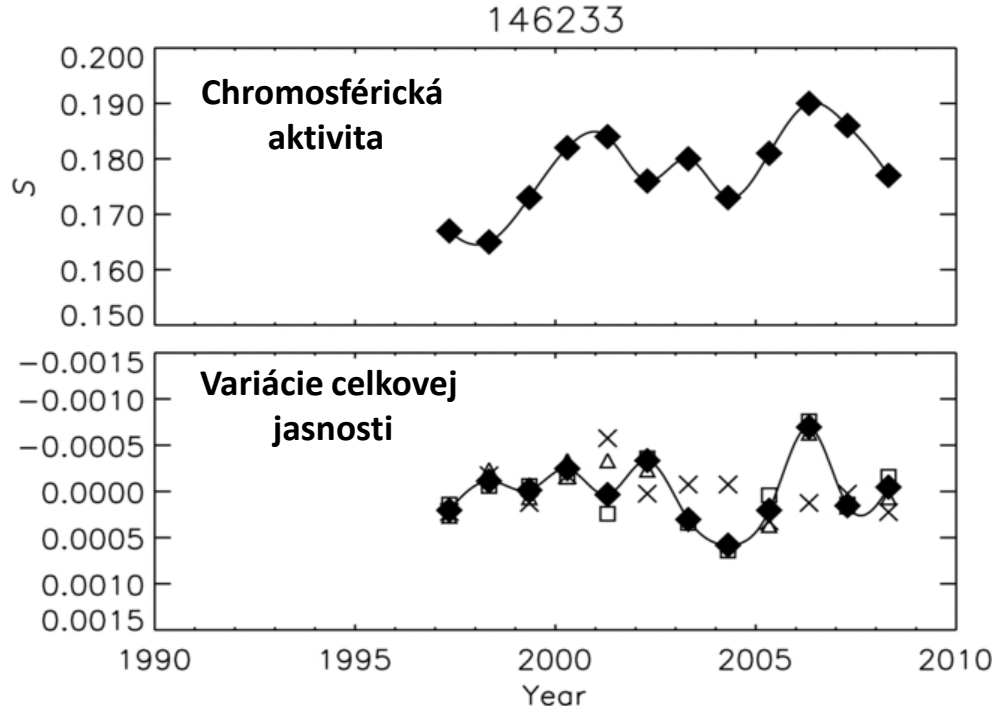
- výrazná
- vo fáze s variáciami jasnosti



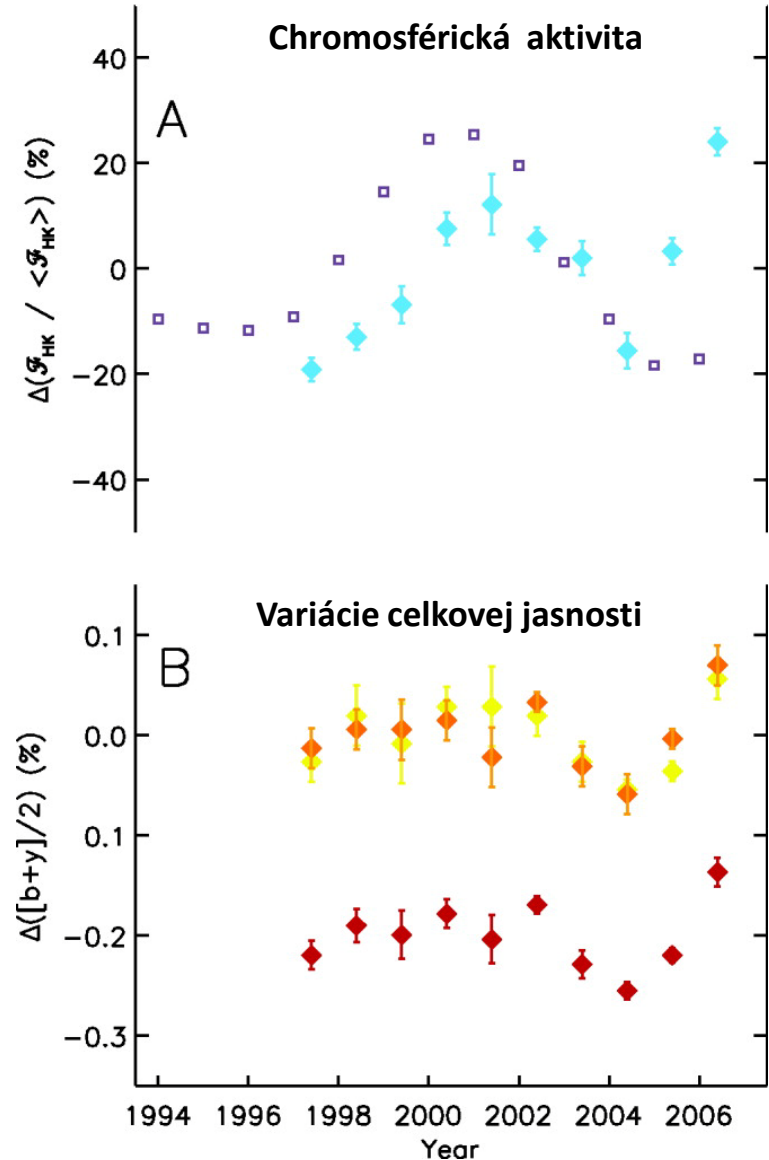
## Variácie celkovej jasnosti:

- vo fáze s magnetickým cyklom (Wolfovým číslom)
- kváziperiodické s periódou 8 – 14 rokov (typicky 11 rokov)
- na úrovni  $\pm 0,1\%$  ( $\pm 0,001$  mag)

# Aktivita a variabilita slnečného dvojčata 18 Scorpii



- periodičita aktivity  $\sim 7$  rokov
- fotometrická variabilita podobná Slnku
- zjavná pozitívna korelácia aktivita – jasnosť **spochybnená** novšími meraniami



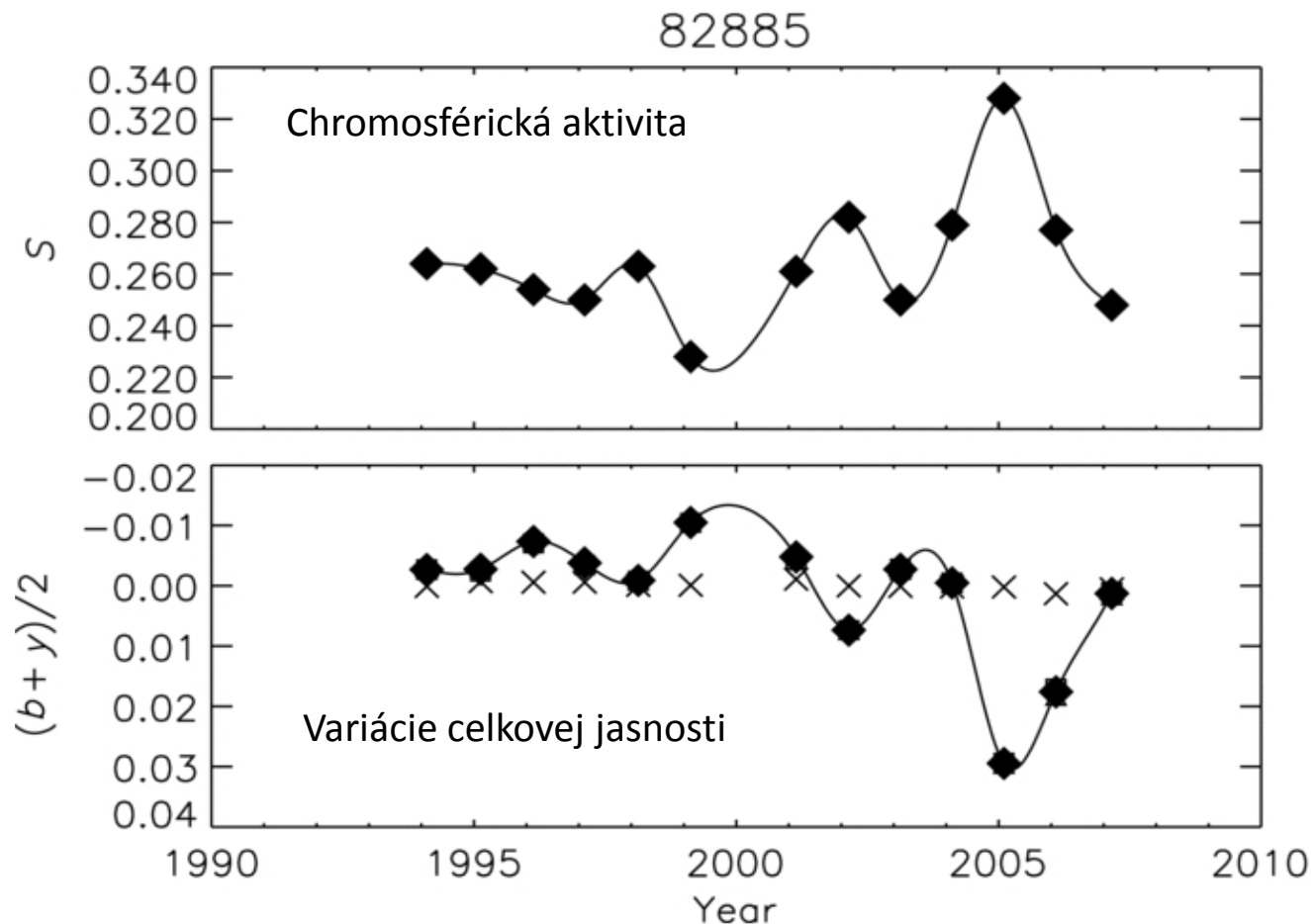
[Hall a kol.: The Astronomical Journal, Volume 133, Issue 5, pp. 2206-2208 \(2007\)](#)

[Hall a kol.: The Astronomical Journal, Volume 138, Issue 1, pp. 312-322 \(2009\)](#)



# Aktivita a variabilita Slnku podobných hviezd

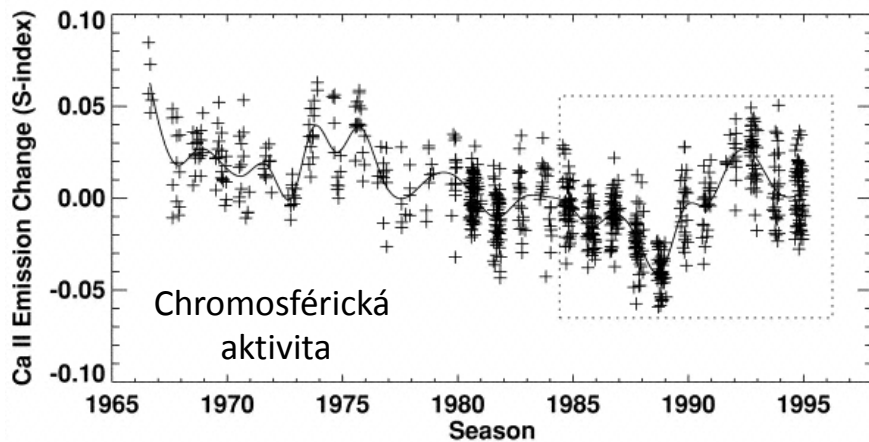
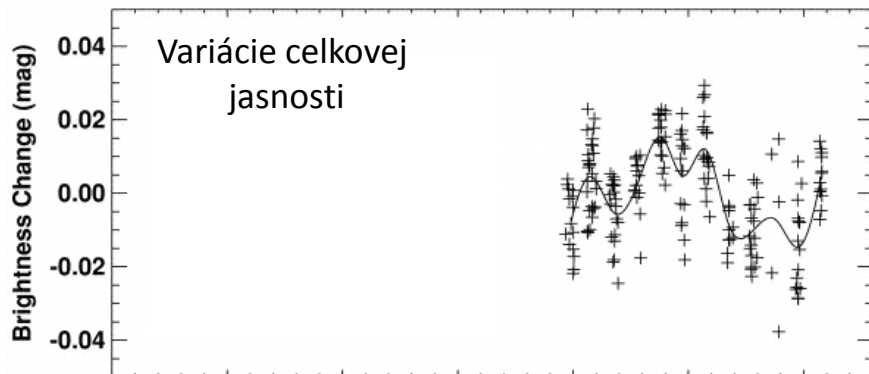
spektrálny typ: G8 IV – V



- neperiodické variácie
- takmer perfektná **antikorelácia aktivita - jasnosť!!!**

# Aktivita a variabilita Slnku podobných hviezd

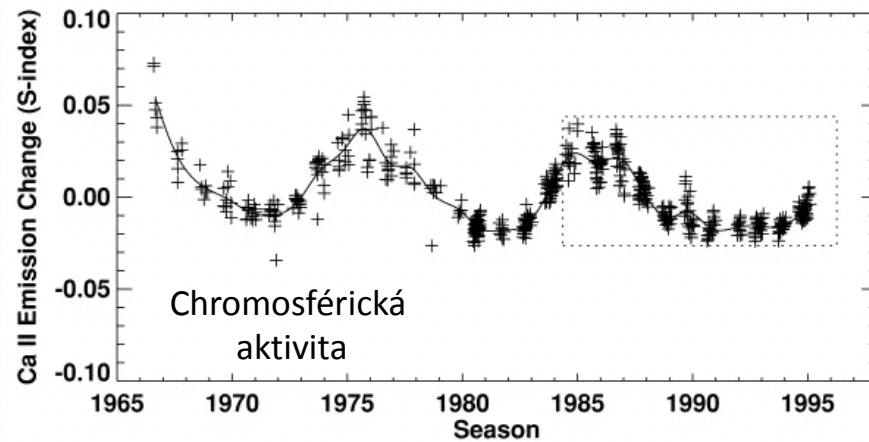
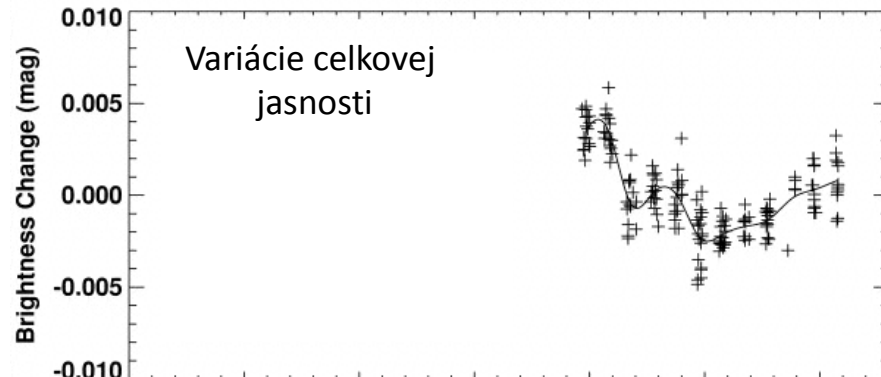
## HD 1835



**mladá hviezda, vek: stovky mil. rokov**

- spektrálny typ: G 2.5 V
- neperiodická aktivita
- antikorelácia jasnosť - aktivita

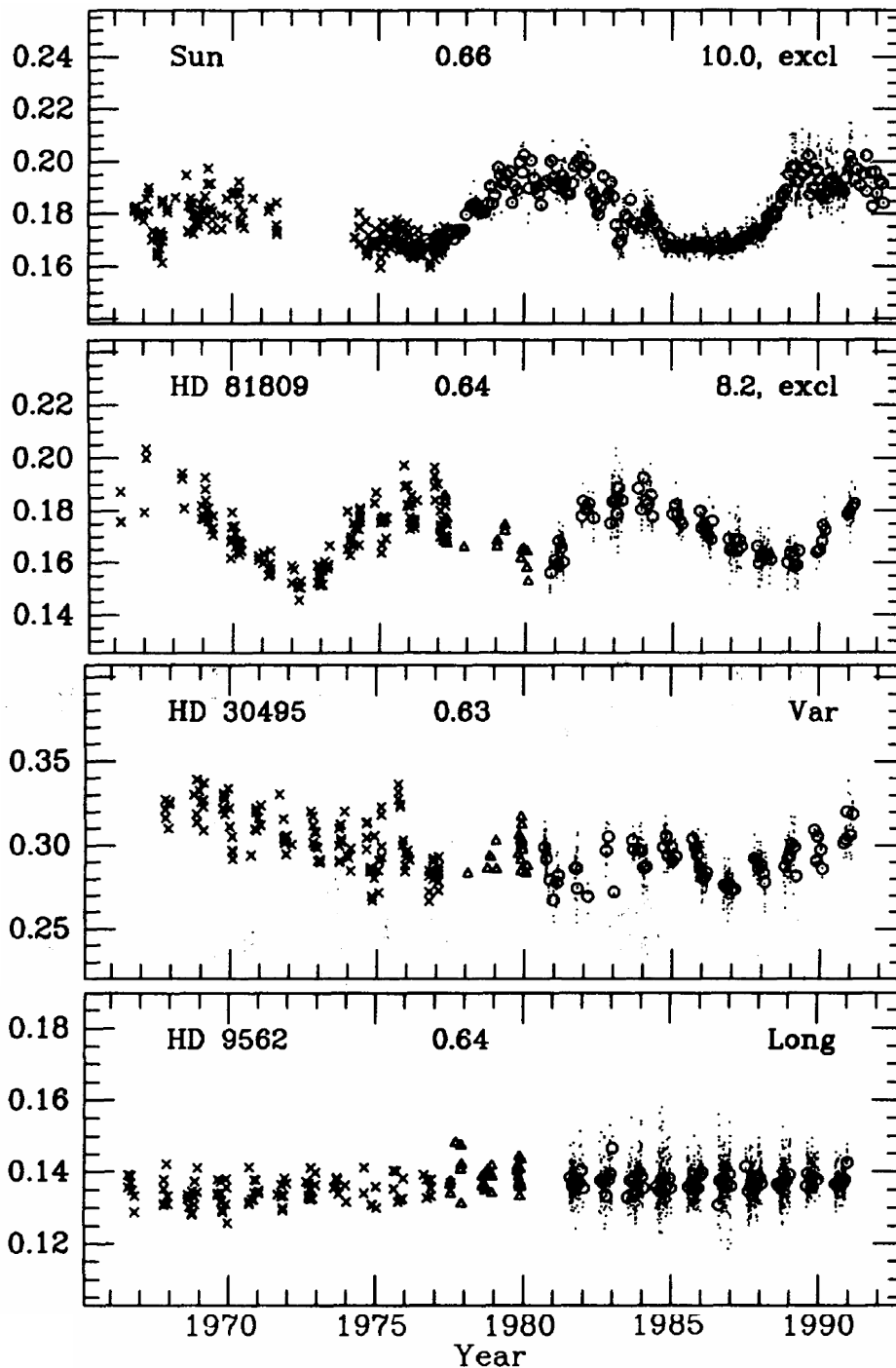
## HD 10476



**hviezda vo veku Slnka**

- spektrálny typ: K1 V
- periodická, Slnku podobná aktivita
- Slnku podobná pozitívna korelácia jasnosť - aktivita

S, relative Ca II H + K flux



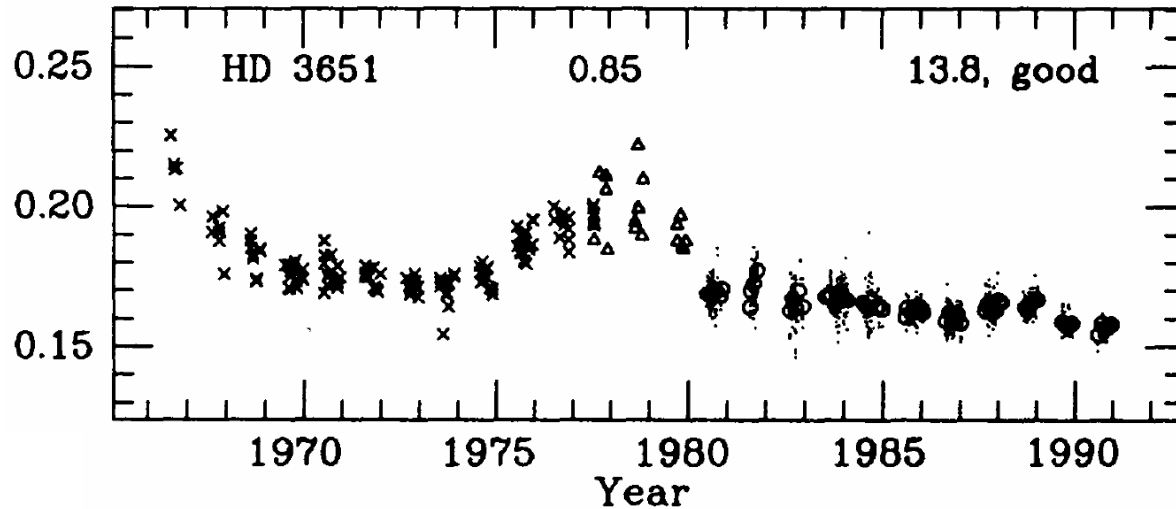
## Chromosférická aktivita Slnka a podobných hviezd

- periodická aktivita
- hviezdy vo veku Slnka

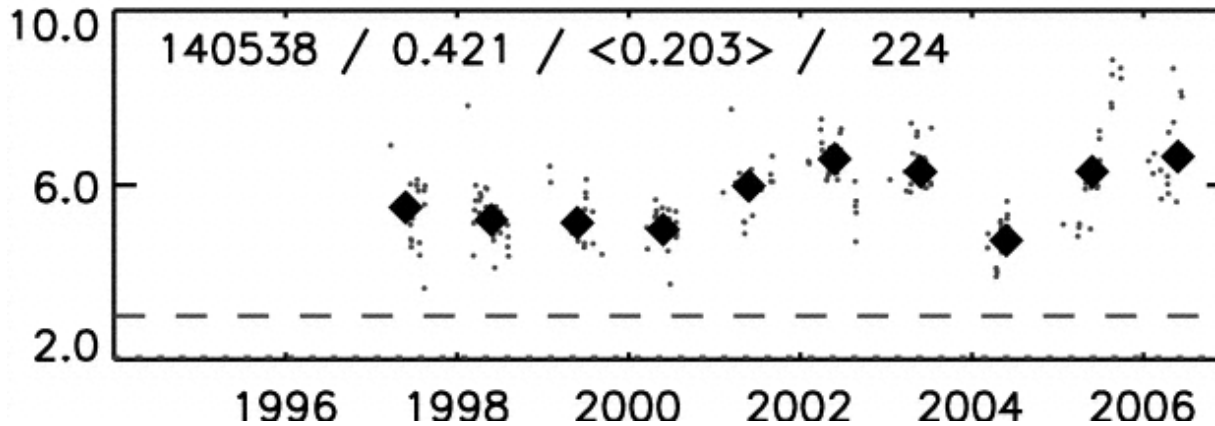
- neperiodická aktivita
- mladé hviezdy, podstatne mladšie ako Slnko

- neaktívna alebo nemerateľná aktivita
- hviezdy staršie ako Slnko alebo hviezdy v Maunderovom minime

# Maunderove minimá?



Hviezda vstupujúca do  
Maunderovho minima?



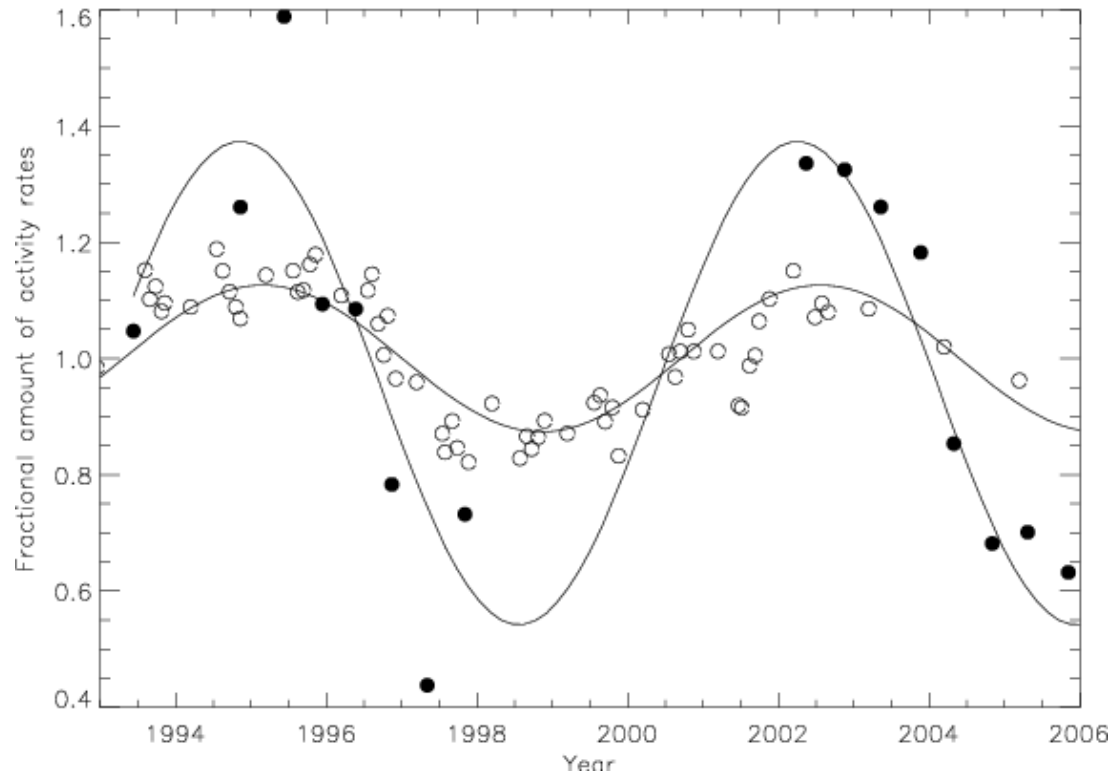
Hviezda po Maunderovom  
minime?

[Baliunas a kol. 1995: Astrophysical Journal, vol. 438, p. 269.](#)

[Hall a kol. 2007: The Astronomical Journal, Volume 133, Issue 3, pp. 862-881.](#)

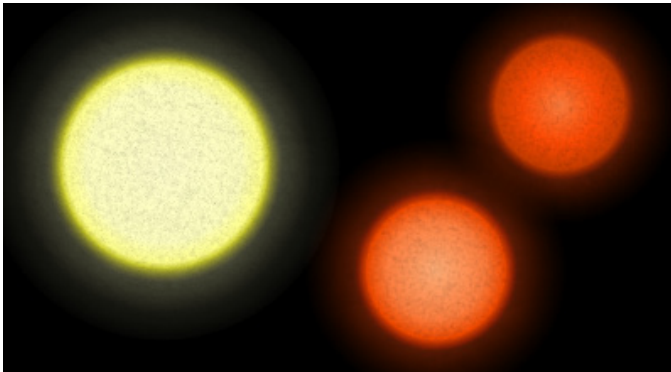
# Chromosferická a koronálna aktivita Slnku podobnej 61 Cygni A

- pozorovania z ROSAT HRI a XMM-Newton
- zistená cykličnosť koronálnej aktivity
- amplitúda koronálnej aktivity výraznejšia ako chromosférickej aktivity
- dvojznačnosť periódy koronálnej aktivity v dôsledku medzery v datach
- amplitúda kor. aktivity 61 Cyg A je trikrát menšia ako amplitúda kor. aktivity Slnka
- amplitúda chrom. aktivity 61 Cyg A porovnateľná so Slnkom

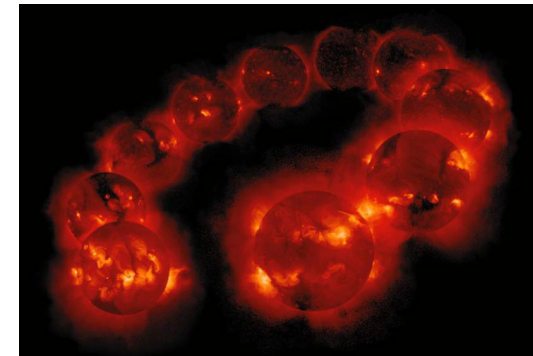
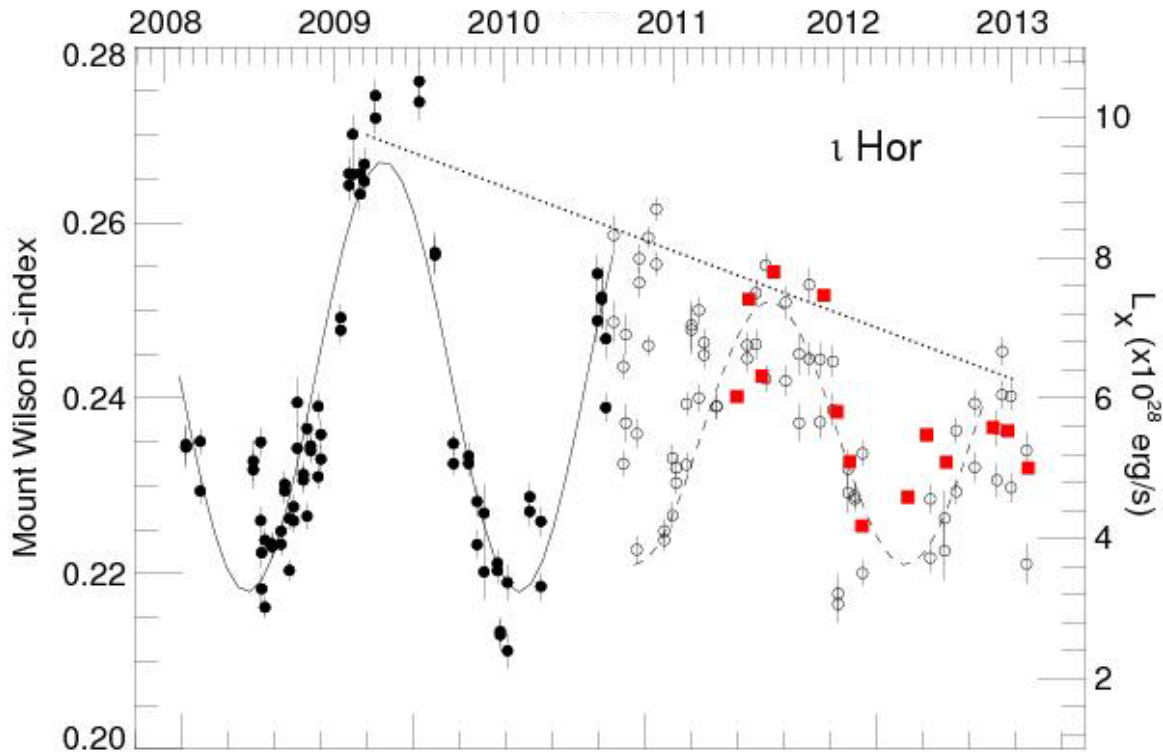


- chromosférická aktivita
- koronálna aktivita

[Hempelmann et al. 2006: A&A 460, 261](#)



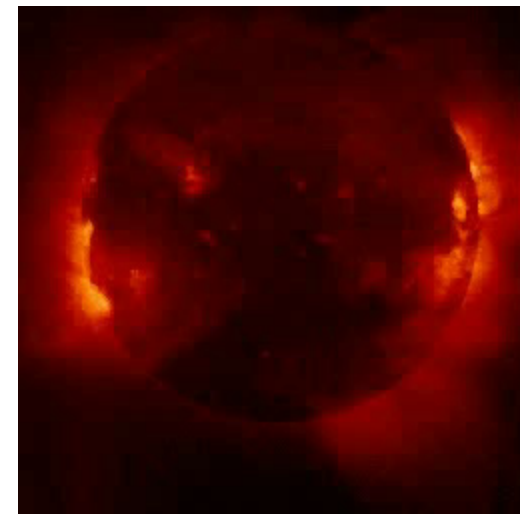
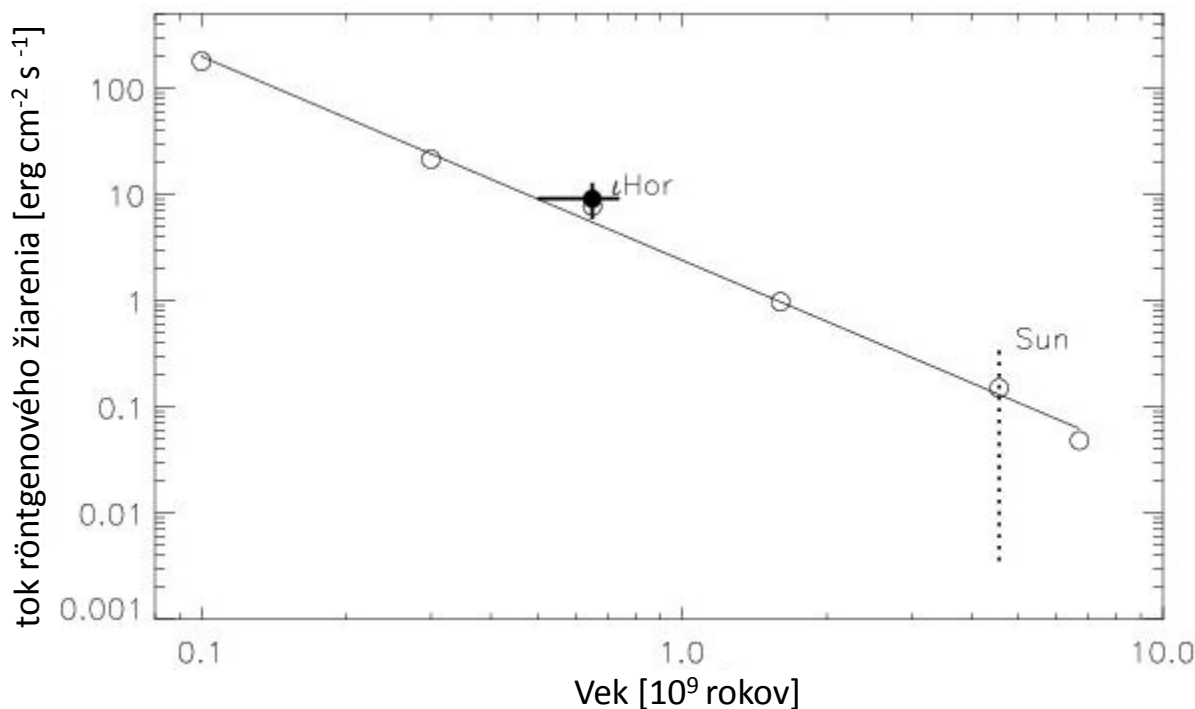
# Cyklus aktivity Slnku podobnej $\tau$ Horologi



- vek  $\tau$  Horologi:  $\sim 600$  milión rokov, preto mladá
- krátky cyklus chromosférickej aktivity: 1,6 roka —————  
- - - - -
- 2-ročný monitoring röntgenovým kozmickým observatóriom XMM-Newton
- cyklus **koronálnej aktivity** ■ s rovnakou periódou a vo fáze s chromosférickým cyklom ● ◯
- amplitúda cyklov klesá s časom .....

[Sanz-Forcada a kol. 2013: Astronomy & Astrophysics, 553, 6](#)

# Koronálna aktivita Slnka a jemu podobných hviezd

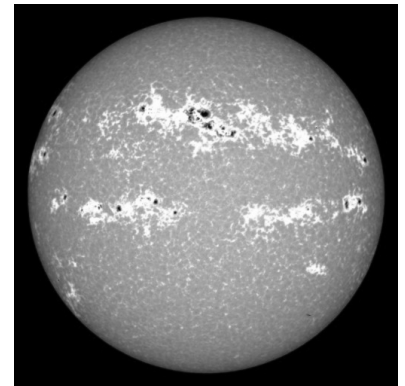
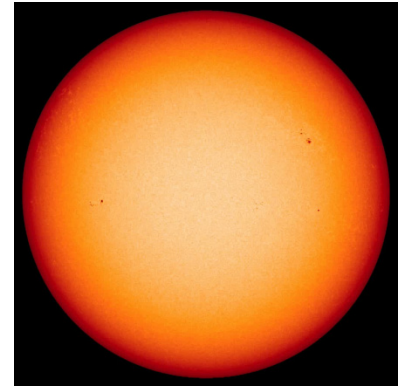
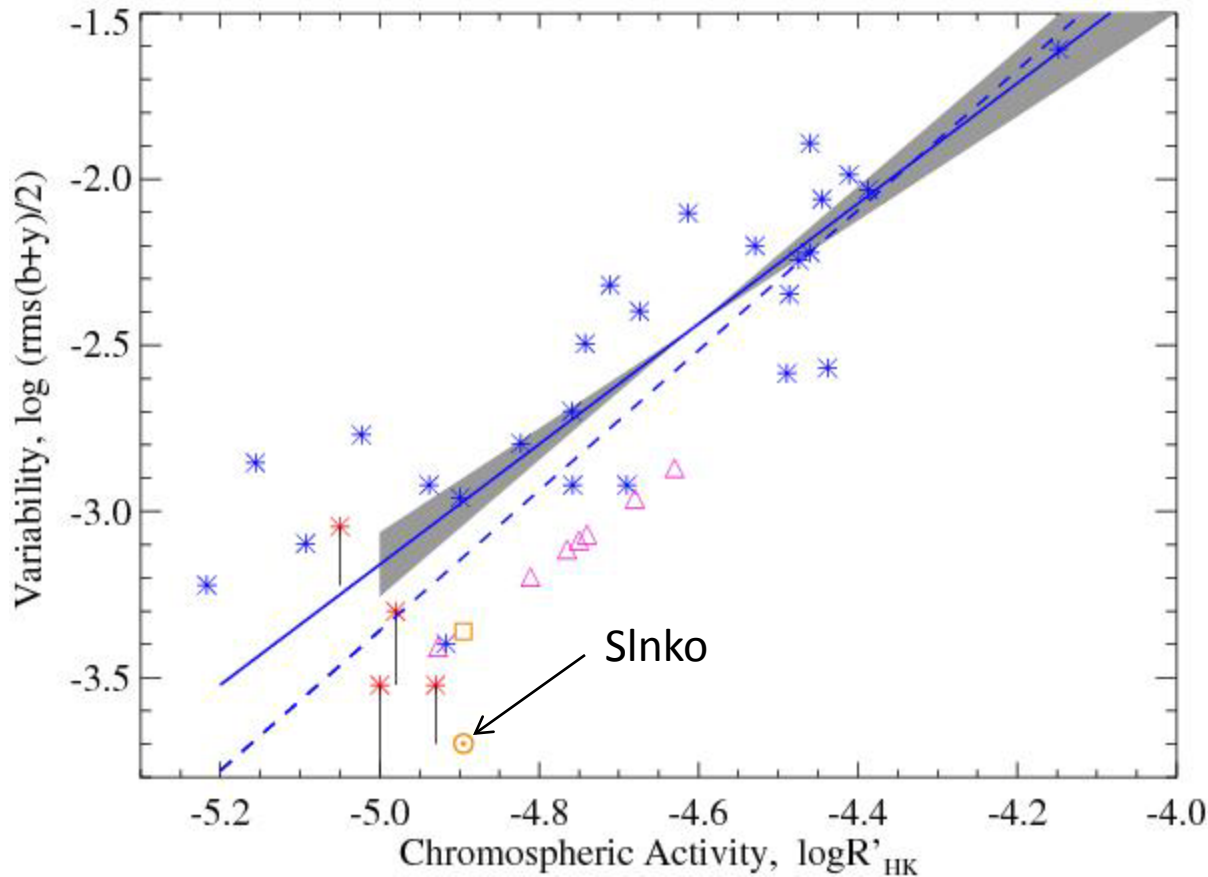


Koronálna aktivita Slnka v röntgenovom žiarení

koronálna aktivita:

- Slnku podobných hviezd s vekom klesá
- Slnka v porovnaní s jemu podobnými mladšími hviezdami je výrazne nižšia

# Aktivita Slnka a jemu podobných hviezd

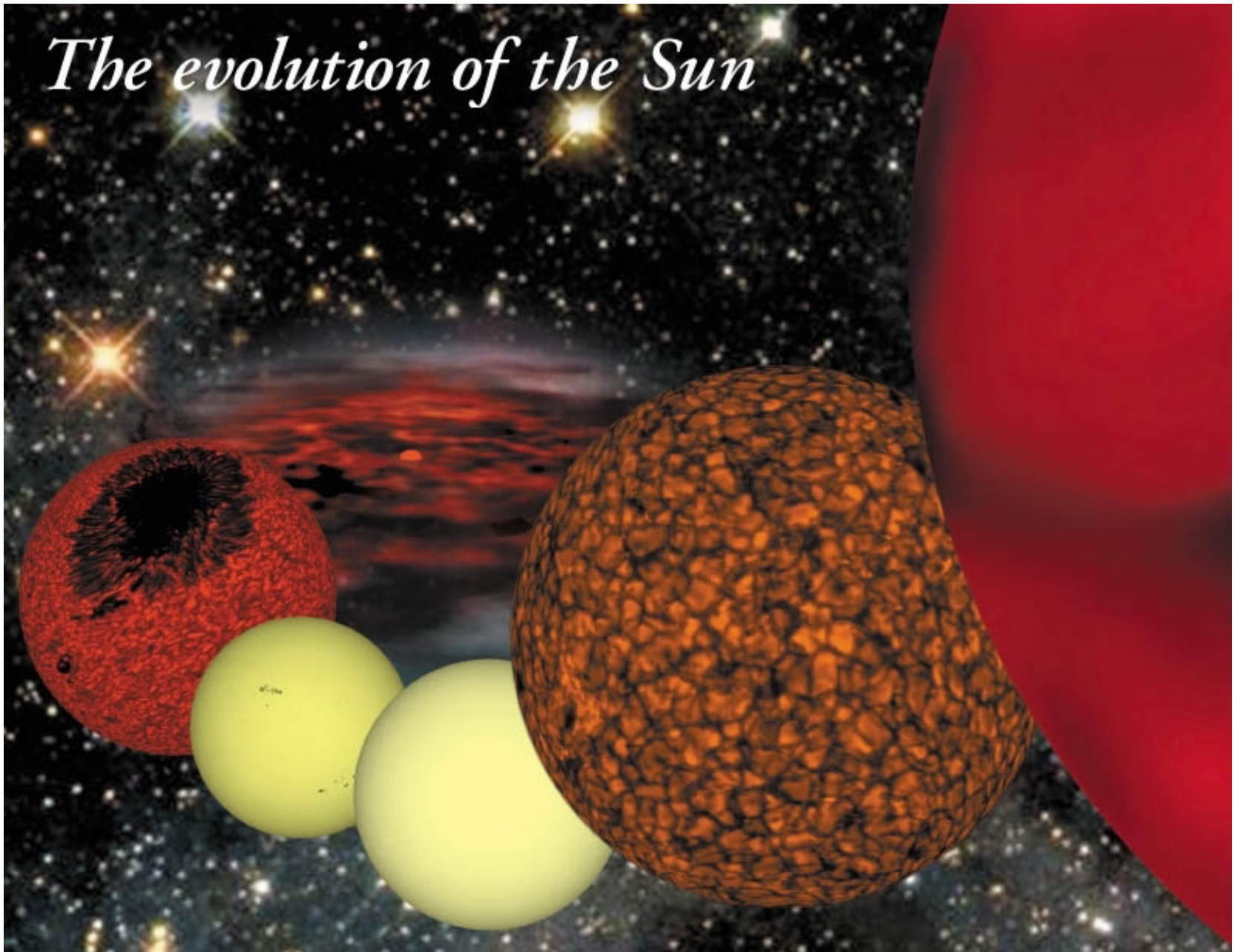


Aká je aktivita Slnka v porovnaní s jemu podobnými hviezdami?

[Shapiro a kol.: 2013, Astronomy & Astrophysics, 552, 114](#)



# *The evolution of the Sun*



# *The evolution of the Sun*

## **Zo života Slnka a jeho dvojníkov**

**vznik: pred 4,57 miliardami rokov**

**prvé desiatky miliónov rokov života:**

- rýchla rotácia a vysoká magnetická aktivita
- gigantické škvrny aj v polárnych oblastiach
- časté erupcie a výrony koronálnej hmoty
- nepravidelnosť magnetickej aktivity
- výrazné zmeny jasnosti v dôsledku veľkých škvŕn
- granulárne bunky pozdĺžne v smere rotácie
- intenzívny hviezdny vietor



# *The evolution of the Sun*

## **Zo života Slnka a jeho dvojníkov**

**vznik: pred 4,57 miliardami rokov**

**prvé desiatky miliónov rokov života:**

- rýchla rotácia a vysoká magnetická aktivita
- gigantické škvrny aj v polárnych oblastiach
- časté erupcie a výrony koronálnej hmoty
- nepravidelnosť magnetickej aktivity
- výrazné zmeny jasnosti v dôsledku veľkých škvŕn
- granulárne bunky pozdĺžne v smere rotácie
- intenzívny hviezdny vietor

**dozrievanie do súčasnej podoby:**

- spomaľovaním rotácie v dôsledku straty momentu hybnosti unášaného hviezdny vetrom
- granulárne bunky kvázipravidelného tvaru s rozmerom 1000 km
- menšia intenzita magnetickej aktivity
- kváziperiodická aktivita prerušovaná Maunderovými minimami

# *The evolution of the Sun*

## **Zo života Slnka a jeho dvojníkov**

**vznik: pred 4,57 miliardami rokov**

**prvé desiatky miliónov rokov života:**

- rýchla rotácia a vysoká magnetická aktivita
- gigantické škvrny aj v polárnych oblastiach
- časté erupcie a výrony koronálnej hmoty
- nepravidelnosť magnetickej aktivity
- výrazné zmeny jasnosti v dôsledku veľkých škvŕn
- granulárne bunky pozdĺžne v smere rotácie
- intenzívny hviezdny vietor

**dozrievanie do súčasnej podoby:**

- spomaľovaním rotácie v dôsledku straty momentu hybnosti unášaného hviezdny vetrom
- granulárne bunky kvázipravidelného tvaru s rozmerom 1000 km
- menšia intenzita magnetickej aktivity
- kváziperiodická aktivita prerušovaná Maunderovými minimami

**záver života na hlavnej postupnosti:**

- spomalenie rotácie
- postupné vymiznutie magnetickej aktivity
- žiadne škvrny a erupcie, nuda, zato na Zemi horúco až až
- expanzia na červeného obra
- enormne veľké konvektívne bunky

# *The evolution of the Sun*

