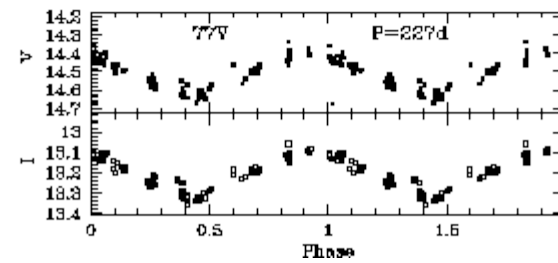
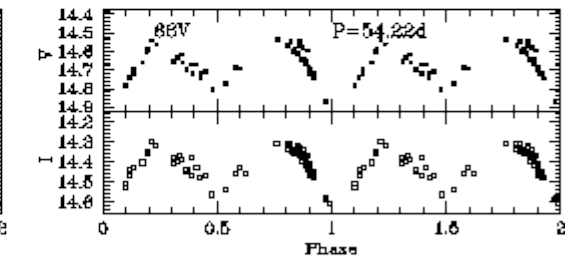
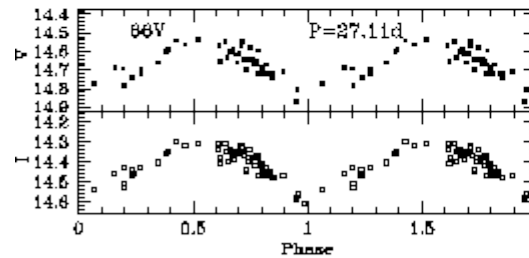
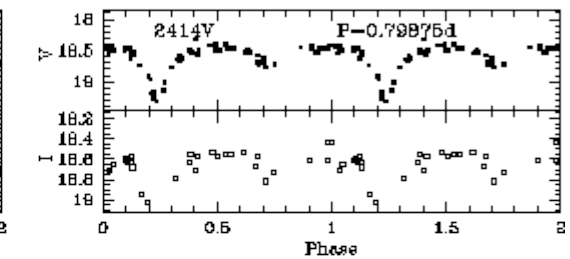
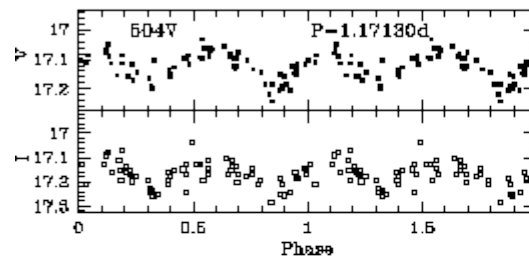
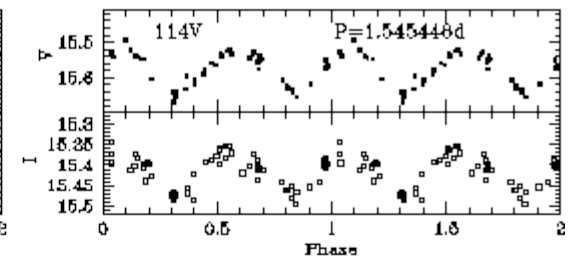
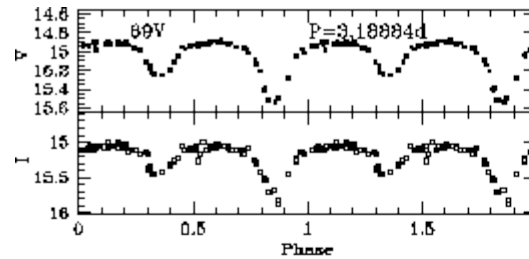


# Geometrické proměnné hvězdy (Extrinsic variable stars)

Zákrytové proměnné hvězdy

Rotující proměnné hvězdy



# Rotující proměnné hvězdy

pozorované změny jasnosti důsledkem rotace hvězdy nerovnoměrného jasů na povrchu nebo nekulového tvaru

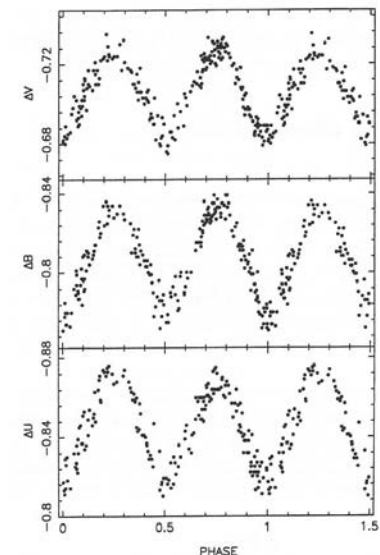
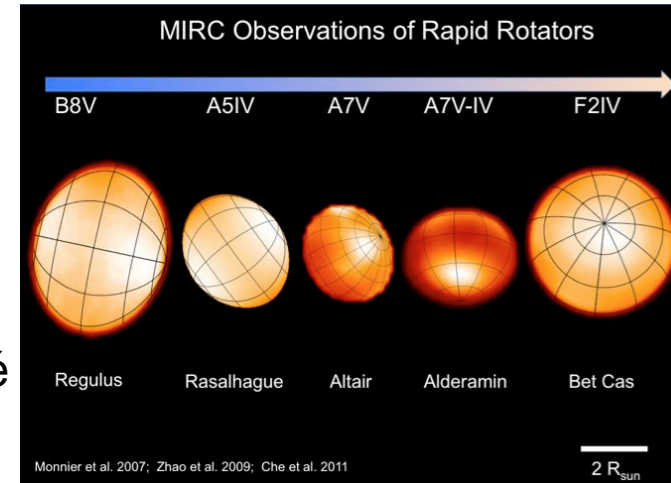
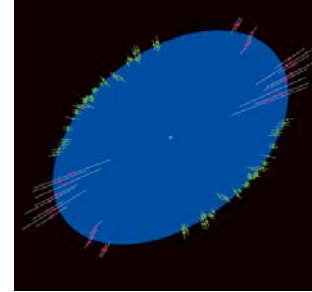
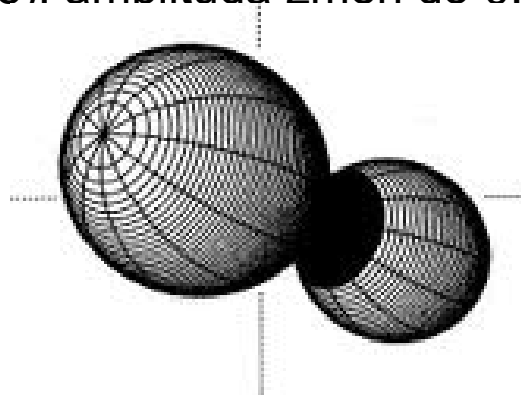
## Příčiny:

- ❖ **asférické hvězdy** – asférický tvar – přítomnost jiného tělesa nebo rychlá rotace
- ❖ **hvězdné skvrny** – jasnější a tmavší skvrny na povrchu (různá teplota, různé chemické složení, magnetické pole)
- ❖ **magnetická pole** – v oblasti pólů skvrny, směrování toku záření; mohou generovat další projevy

# Asférické hvězdy

## Elipsoidální proměnné

- silně deformované individuální hvězdy (Achernar), ale rotačně proměnné jen při změně sklonu osy rotace nebo při proměnném jasu povrchu
- složky těsných dvojhvězd (b Per,  $\alpha$  Vir) deformované gravitačním působením souputníka;
- rotací se mění průřez ve směru k Zemi (nejsou tam zákryty);
- perioda změn odpovídá orbitální periodě (synchronní rotace): amplituda změn do 0.1 mag (V)



# Hvězdné skvrny

na povrchu hvězd – jasné a tmavé oblasti (skvrny), rotace způsobuje změny hv. velikosti až desetiny mag

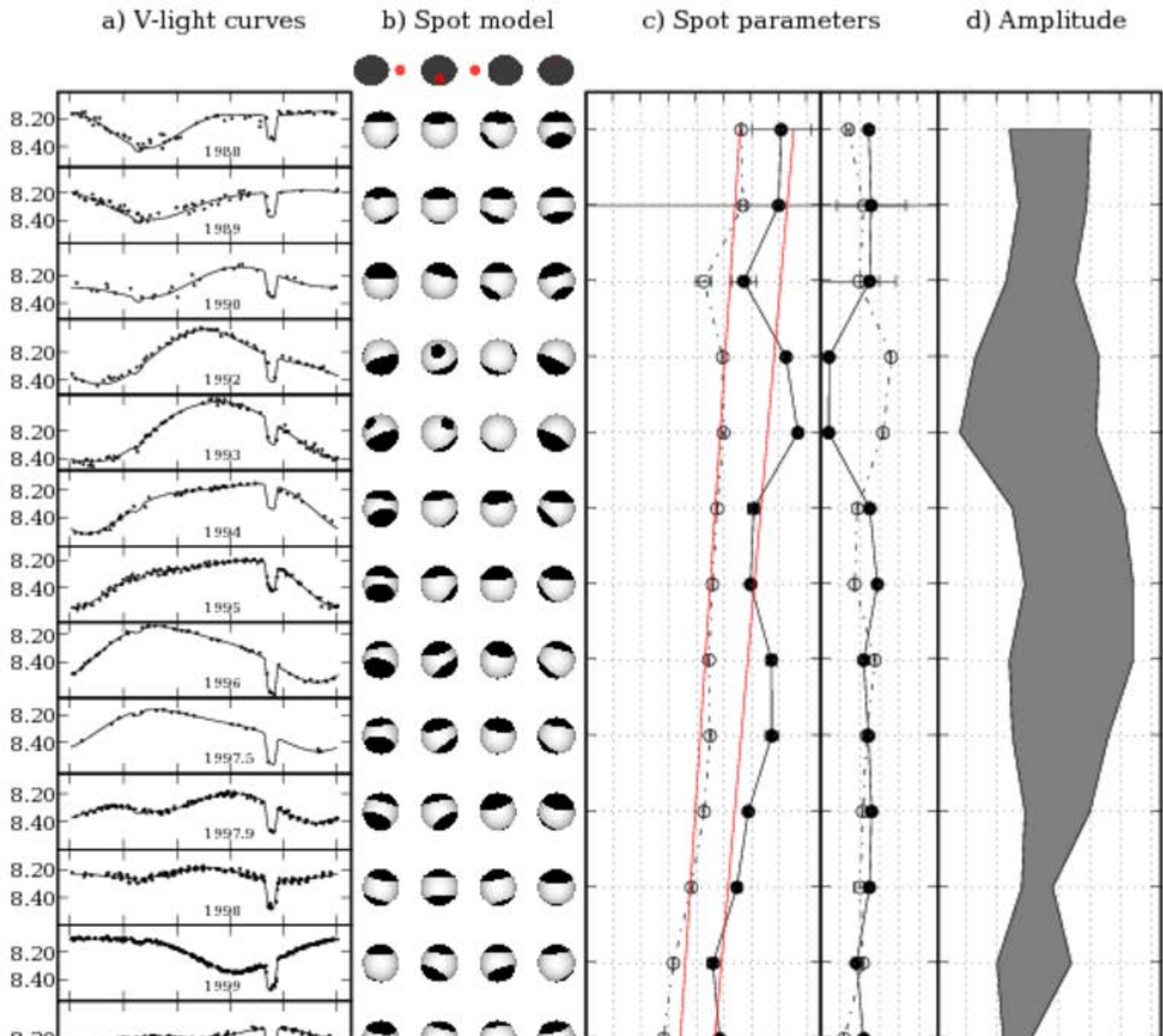
skvrny různého druhu:

- teplotní - jsou projevem hvězdné aktivity
- barevné – mají odlišné chemické složení v důsledku rozdílného vztlínání a klesání různých prvků ve hvězdy (chemická pekuliarita)

mohou být samy zdrojem proměnnosti nebo přispívat k proměnnosti jiného druhu

- Slunce a hvězdy slunečního typu
- Hvězdy typu FK Com
- Hvězdy typu BY Dra
- Hvězdy typu RS CVn – skvrnití psi
- Pekuliární hvězdy A (Ap)

# BE Psc - chromsférický aktivní, trojitý, elipsoidální a zákrytový systém



# Slunce a hvězdy slunečního typu

**hvězdy slunečního typu:**  $5100 \text{ K} < T_{\text{eff}} < 6000 \text{ K}$ ,  $\log g > 4.0$

**hvězdy jako Slunce:**  $5600 \text{ K} < T_{\text{eff}} < 6000 \text{ K}$ ,  $\log g > 4.0$ ,  $P_{\text{rot}} > 10 \text{ d}$

skvrny důsledkem aktivity

sluneční skvrny – zblízka (ze Země) pozorovatelné, ale jak se projeví pro vzdáleného pozorovatele?

změny pozorovatelné

- v jasnosti ( $\sim 0.01 \text{ mag}$  ve  $V$ ,  $P \sim 30 \text{ d}$ ),
- v barvě,
- ve spektru – emise v čarách sodíku, ioniz. vápníku (důsledek chromosférických jevů nad skvrnami)

dlouhodobý monitoring hvězd slunečního typu

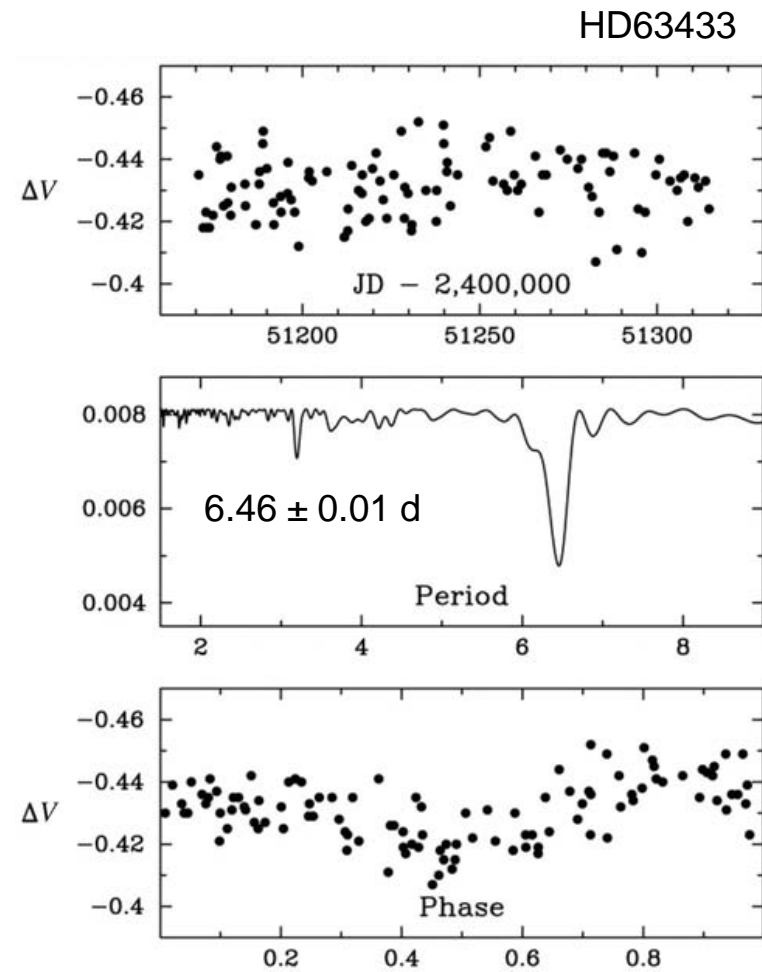
(např. Preston, Vaughan, O. Wilson, 1978)

1500 mladých hvězd slunečního typu

v asociacích a hvězdokupách.

Zjištění: Ca II emise proměnné ve 2 škálách:

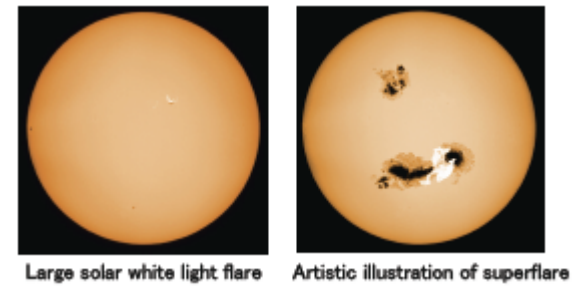
- dny až týdny – souvisí s rotací;
- roky - souvisí s cykly aktivity podobně jako sluneční 11letý cyklus



# Slunce a hvězdy slunečního typu

od 1990 - Guinan et al. projekt *The Sun in Time*

nové výsledky Kepler, COROT, TESS



Large solar white light flare

Artistic illustration of superflare

Kepler: 1547 superflare (velké vzplanutí) na 279 hvězdách slunečního typu

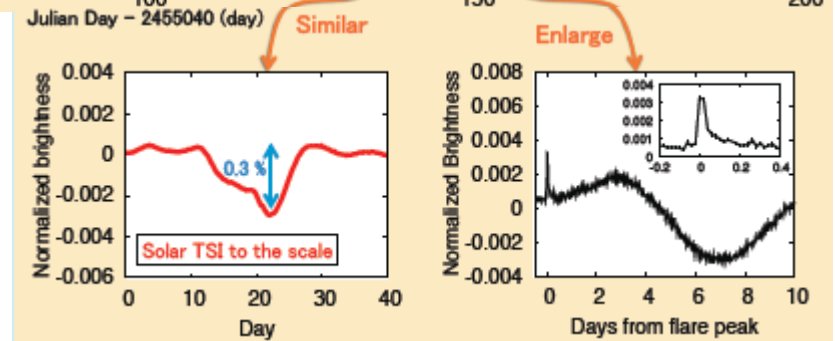
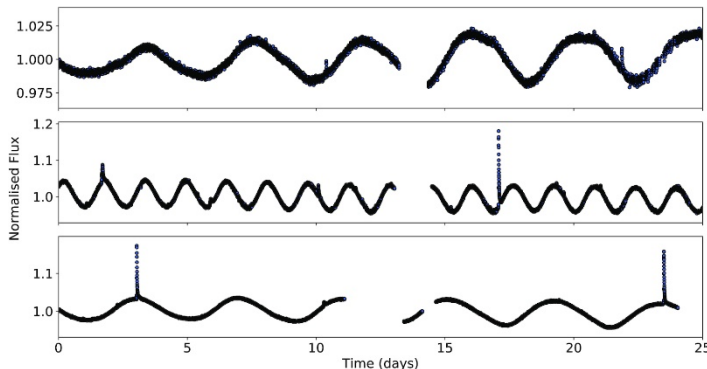
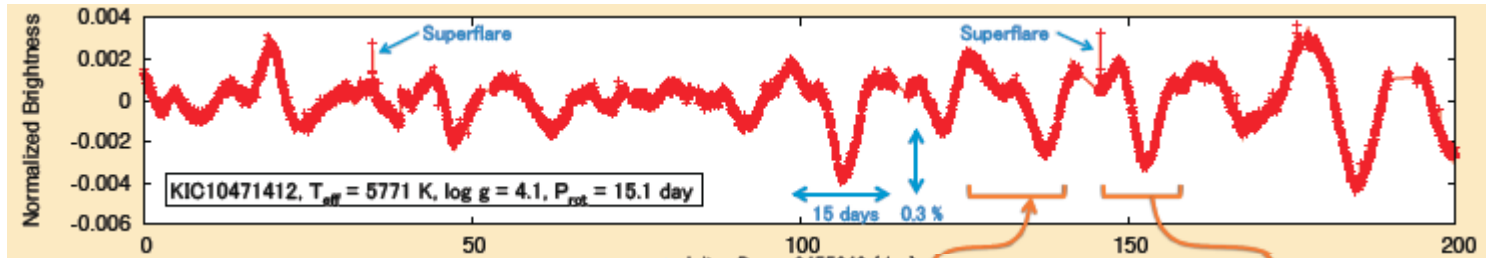
44 superflare na 19 hvězdách jako Slunce

typická frekvence superflare: 800 let u hvězd sl. typu, 2000 let u hvězd jako Slunce

energie superflare:  $10^{27}$  J

**Astroseismologie!**

teoreticky může Slunce nastrádat každý cyklus dostatek mg. energie na 1 superflare





# Typ FK Comae Berenices

Velmi rychle rotující hvězdy (~100 km/s na rovníku); mají elipsoidální tvar.

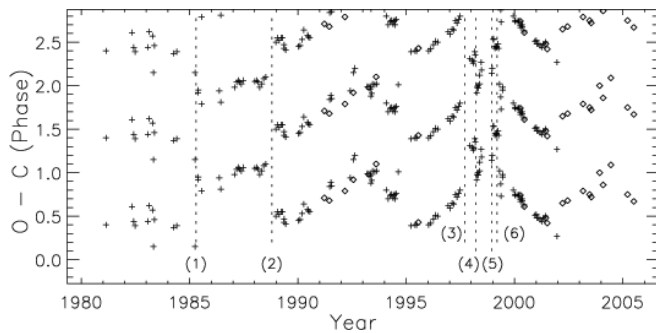
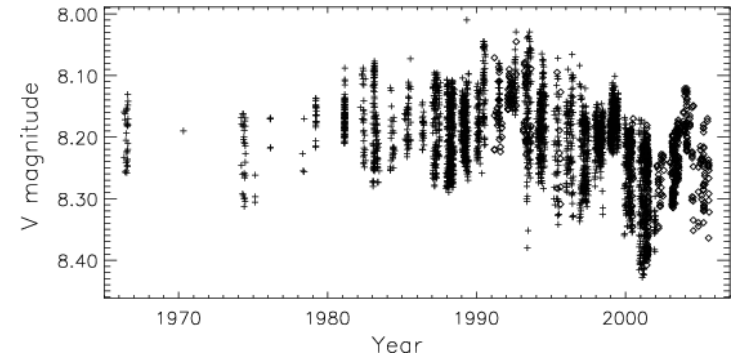
Zpravidla samostatné obří hvězdy spektr. typu G a K se silnou chromosférickou aktivitou

Vysvětlení, evoluční status - nejasné

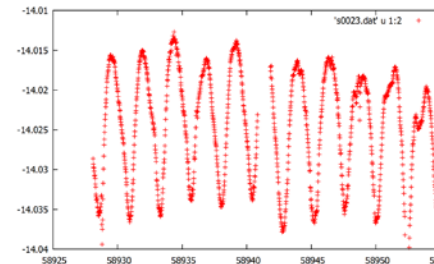
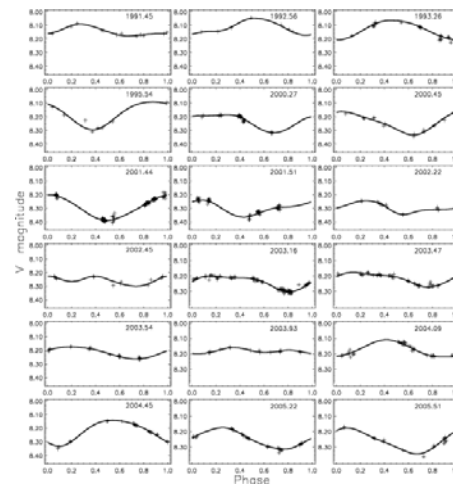
- objekt po splynutí dvou složek těsné dvojhvězdy (EW) ?
- hvězda roztáčená přetokem hmoty z neviditelného průvodce?
- aktivita – důsledkem rychlé rotace ?

Periody svět. změn = rotační periodě – řádově dny

Amplitudy – řádově desetiny mag



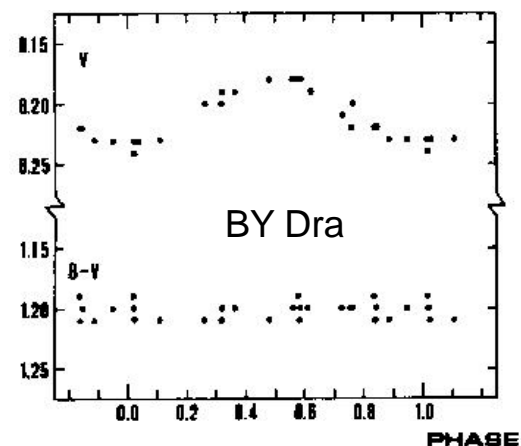
$$HJD_{\phi_{min}} = 2\,439\,252.895 + 2^d 4002466 E.$$





## Typ BY Draconis

- hvězdy typu BY Draconis – spektrální třídy K nebo M; samostatné nebo dvojhvězdy
- rotace rychlejší než jiné hvězdy typu K a M; M hvězdy – plně konvektivní => jejich dynamo jako zdroj aktivity a proměnnosti musí být jiného než slunečního typu.
- hvězdy mají magnetické pole a jsou aktivní a proměnné
- periody změn – zlomky dnů až několik dní
- amplitudy do 0.5 mag, ale typicky 0,1 mag
- občas záblesky jako u UV Ceti

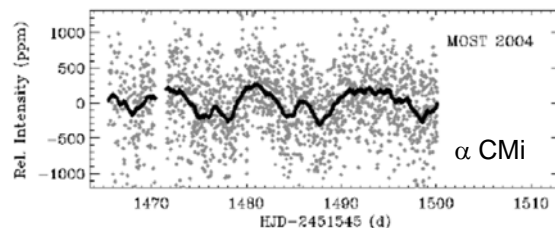


příklady:

BY Dra – těsná dvojhvězda K4V + K7.5;  $P = 5.975$  d, ale i další složka!

YY Gem – zákrytová dvojhvězda (Castor C) - M1Ve + M2Ve, orbitální perioda 0.814 d

Prokyon - dvojhvězda



## Skvrnití psi

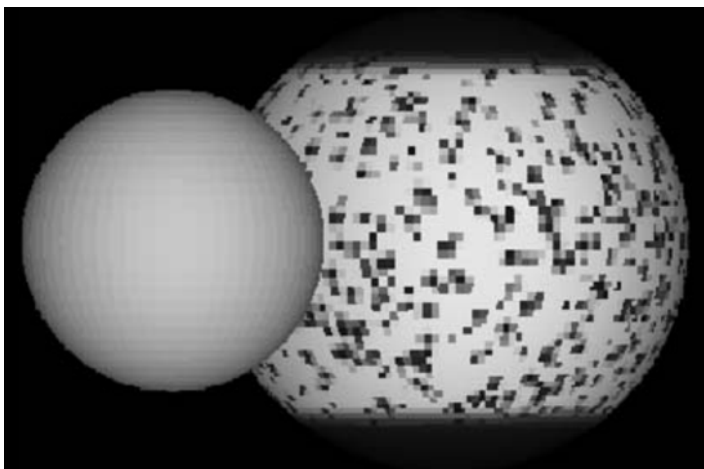


**Hvězdy typu RS Canum Venaticorum** – dvojhvězdy s orbitální periodou 1-14 d, teplejší složka F-G IV-V a silná emise v čarách H a K mimo zákryt (Hall, 1976)

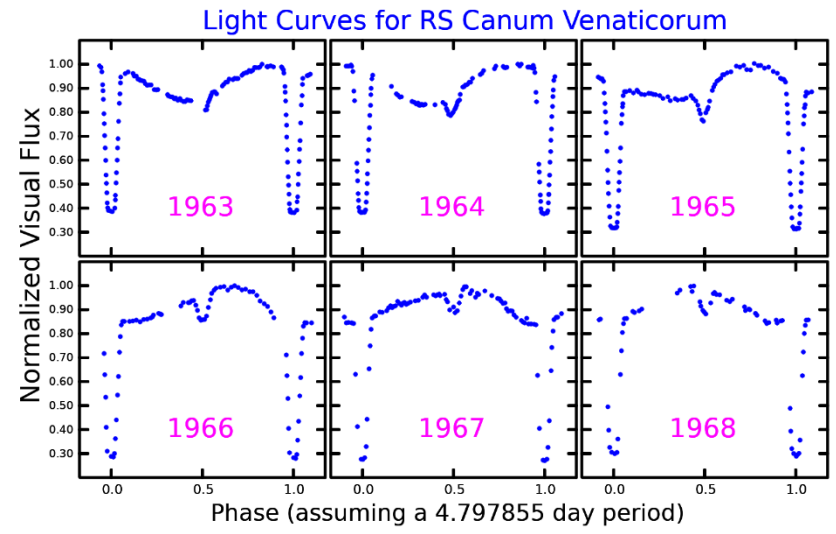
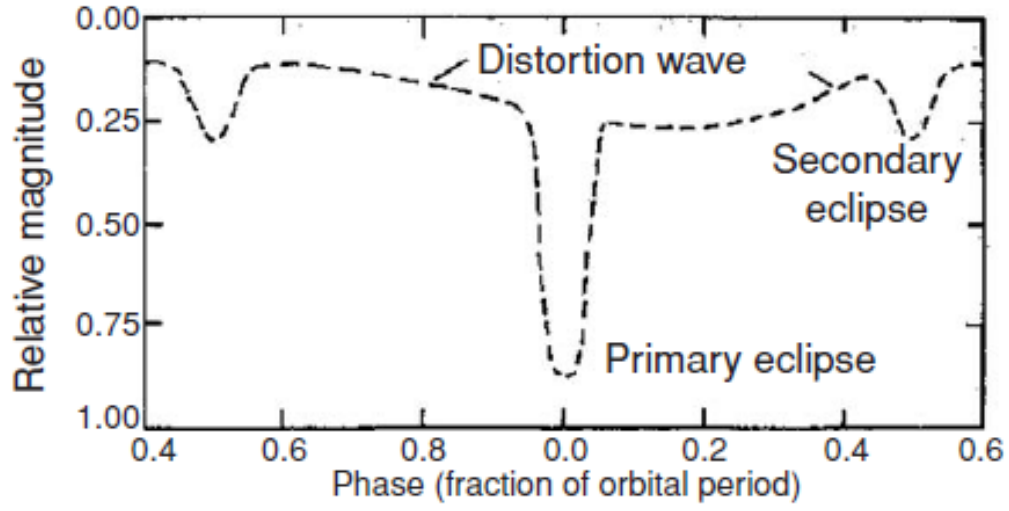
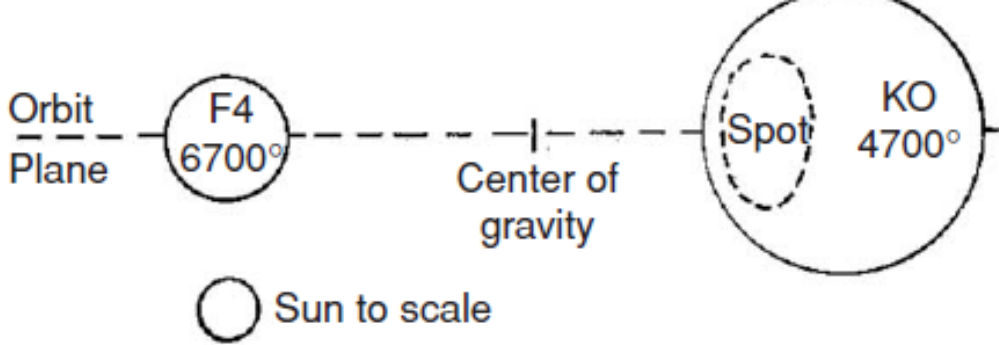
ale

jsou podobné hvězdy s kratší i delší periodou => prostě skupina hvězd s jevem RS Canum Venaticorum

1. studie – polovina 60. let 20. st. – objevy emise v rádiové oblasti a záblesků teplotní emise v rtg. oblasti (=> teploty  $10^7$  K), silné a proměnné emise čar Ca II H a K, vodíku, hořčíku II vše důsledkem hvězdné aktivity – skupin skvrn, silné chromosféry a koronálních magnetických smyček



podobné jako aktivita Slunce, ale mnohem intenzivnější!



Světelná křivka a schematický model RS CVn v porovnání se Sluncem.

Na světelné křivce: primární a sekundární zákryty spolu s 'deformační vlnou'

deformační vlna – překládá se přes celou křivku; důsledek skvrn

pohyb skvrn v délce => deformační vlna putuje vzhledem k orbitální fázi, vzhledem k zákrytům

# Chemicky pekuliární (CP) hvězdy

většina hvězd na HP zhruba sluneční složení x malá skupina hvězd B8-F2, abundance určitých prvků o několik řádů větší než u Slunce

Typy (Preston, 1974) :

- CP1 - non-magnetic metallic-lined (Am)
- CP2 - magnetic (Ap)
- CP3 - nemagnetic mercury-manganese (HgMn)
- CP4 - helium-weak (He-weak).

skupina s excesem prvků vzácných zemin (atom. čísla 58-71), příp. dalších prvků = *pekuliární hvězdy A*, resp. *Ap*

teplejší helium-strong a helium-weak hvězdy, s podobnými vlastnostmi např. hvězdy typu SX Arietis (SXARI) – hvězdy hl. posloupnosti B0p-B9p s proměnnými čarami He I a Si III a magnetickým polem; např.  $\sigma$  Orionis E (V1030 Orionis).

*hvězdy A(Am) - metallic-line A (Am) stars* - def. spektroskopicky – hvězdy bez mg. pole, CP, populace I, na HP spektr. třída A - časně F, s nedostatkem vápníku a skandia a přebytkem prvků skupiny železa (Kaye *et al.* 2004)  
slabší verze Am hvězd – hvězdy typu lambda Bootis

spektra těchto hvězd se mění v čase s periodou od cca 1 d do dnů až týdnů  
fotometrická proměnnost – v počátcích fotoel. fotometrie u  $\alpha^2$  CVn => prototyp;  
změny hvězdné velikosti řádově 0.01 – 0.1 mag (V)

## Chemicky pekuliární (CP) hvězdy

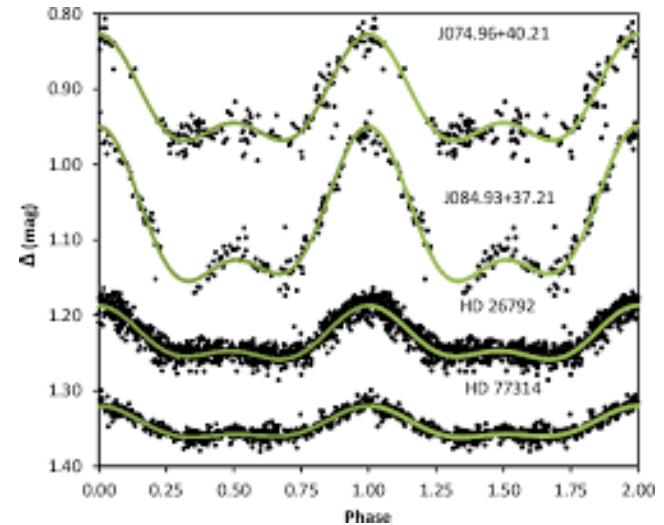
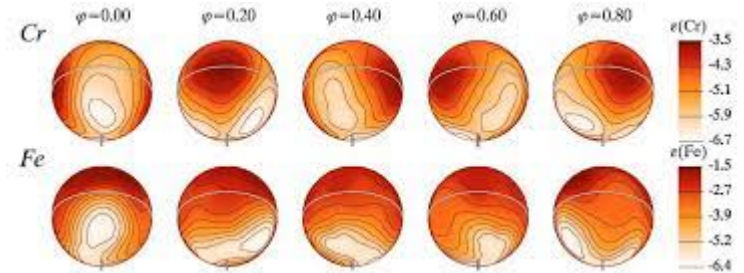
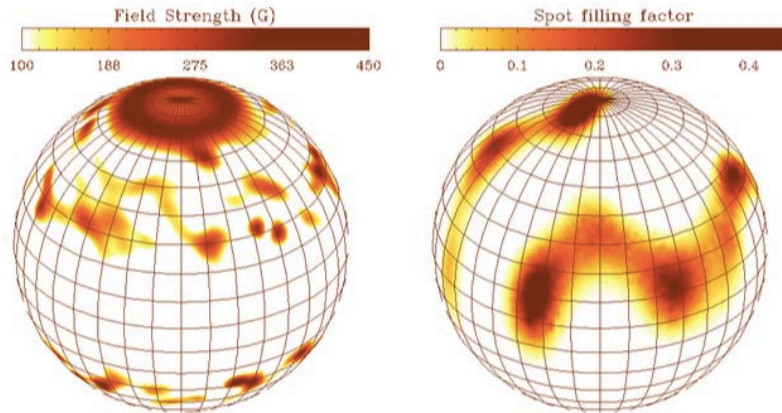
1946 Babcock – objev silného mg. pole u Ap hvězdy 78 Virginis

mg. pole – detekce a měření díky Zeemanovu jevu – absorpční čáry se štěpí na dvě nebo více složek, které jsou polarizovány => měření polarimetrem

Ap hvězdy s globálním mg. polem typicky 1000 G, ale někdy až 10 000 G  
(Slunce – takové mg. pole jen ve skvrnách, globální jen 1 G)

pozorované mg. pole Ap hvězd se mění se stejnou periodou jako spektrum a jasnost => 50. léta 20. st. Stibbs a Deutsch – model skloněného rotátoru - mg. pole dipólové jako u Země, osa mg. pole skloněná k ose rotace

# Chemicky pekuliární (CP) hvězdy



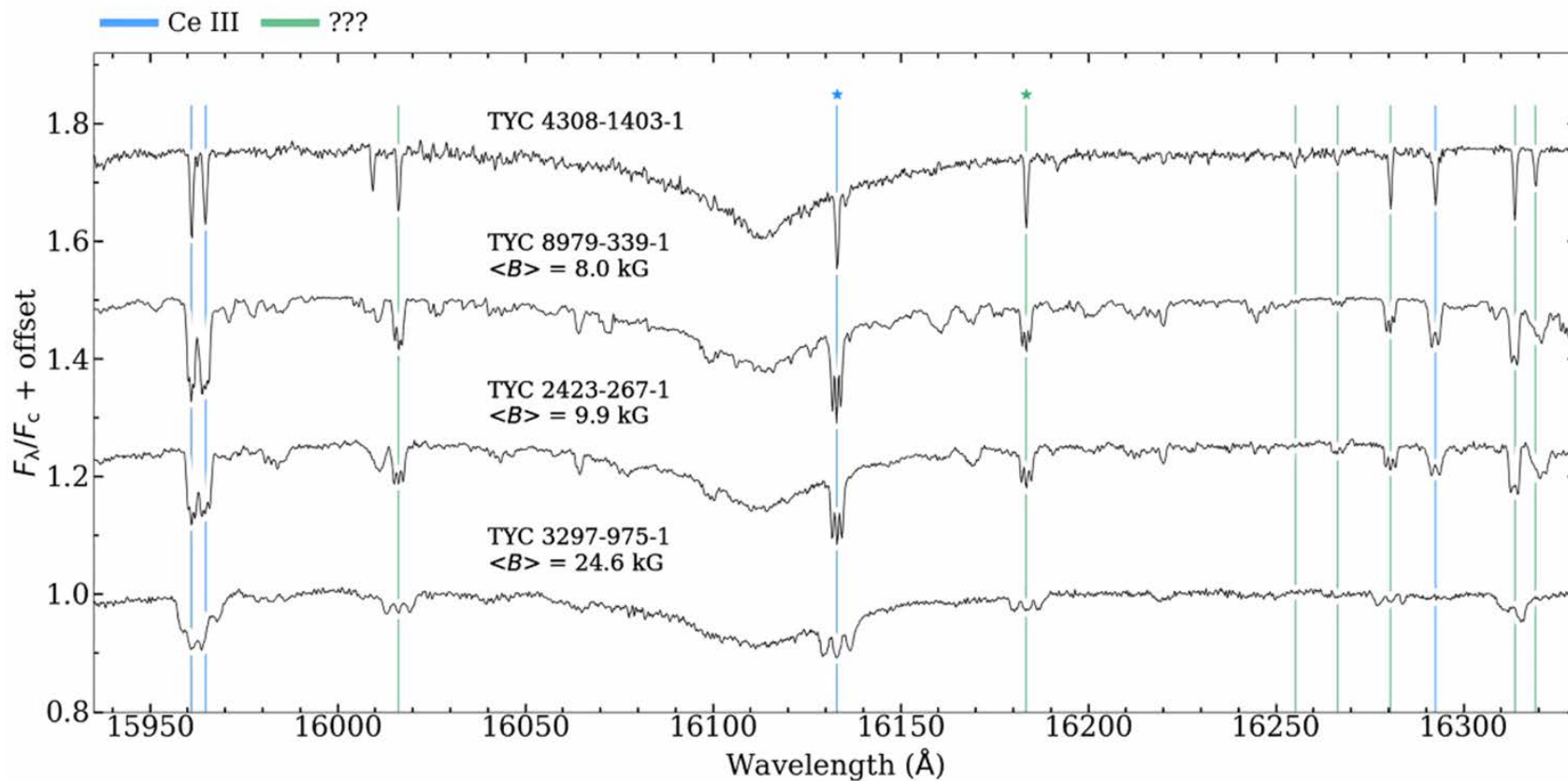
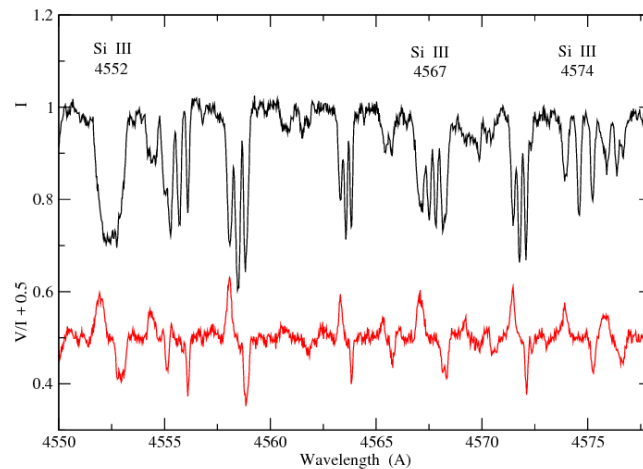
## důvod pekularity?

70. léta 20. st. – Michaud et al. – jsou-li vnější vrstvy hvězd spektr. typu A dlouhodobě stabilní (bez konvekce, rychlé rotace, ztráty hmoty, apod.), pak některé prvky pomalu vzlínají na povrch a jiné klesají do hlubin hvězdy; mg. pole pomáhá stabilizovat vnější vrstvy hvězdy



# Magnetické pole

magnetické chemicky pekuliární hvězdy  
hvězdy typu Alpha-2 Canum Venaticorum  
pulsary

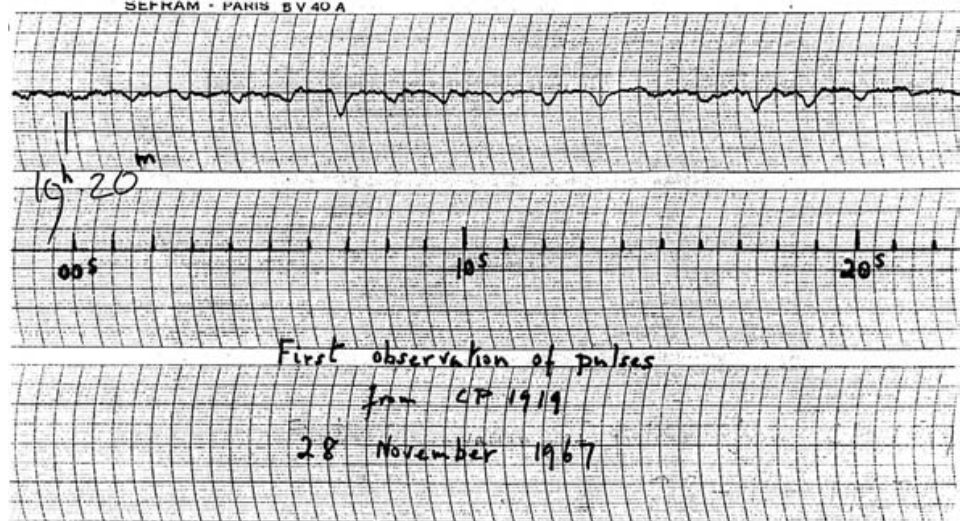




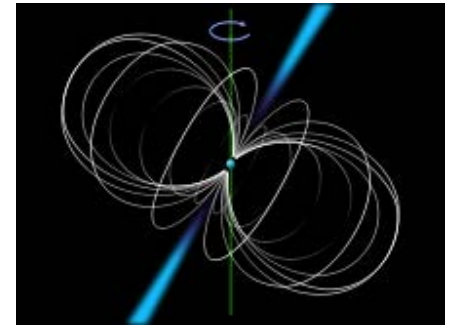
# Pulsary

1967 – objev

Jocellyn Bellová(-Burnellová) a A. Hewish



značení – původně observatoř + RA (CP1919), později PSR (Pulsating Source of Radio) PSR 0531+21, dnes PSR B1919+21, resp. PSR J1921+2153



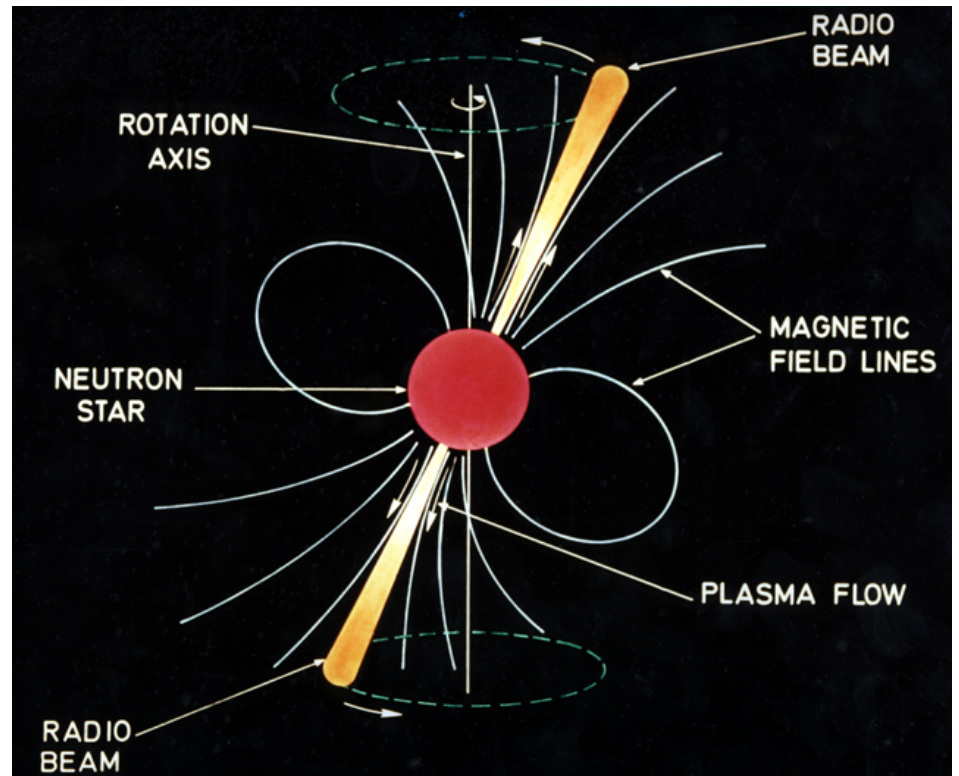
Typy:

- Pulsary dotované z rotační energie – vyzařuje v důsledku ztráty rotační energie hvězdy
- Pulsary poháněné přírůstkem hmoty (to platí pro většinu, ale ne všechny, rentgenové pulsary) – zdrojem energie akrece
- Magnetary – zdrojem energie rozklad extrémně silného magnetického pole.

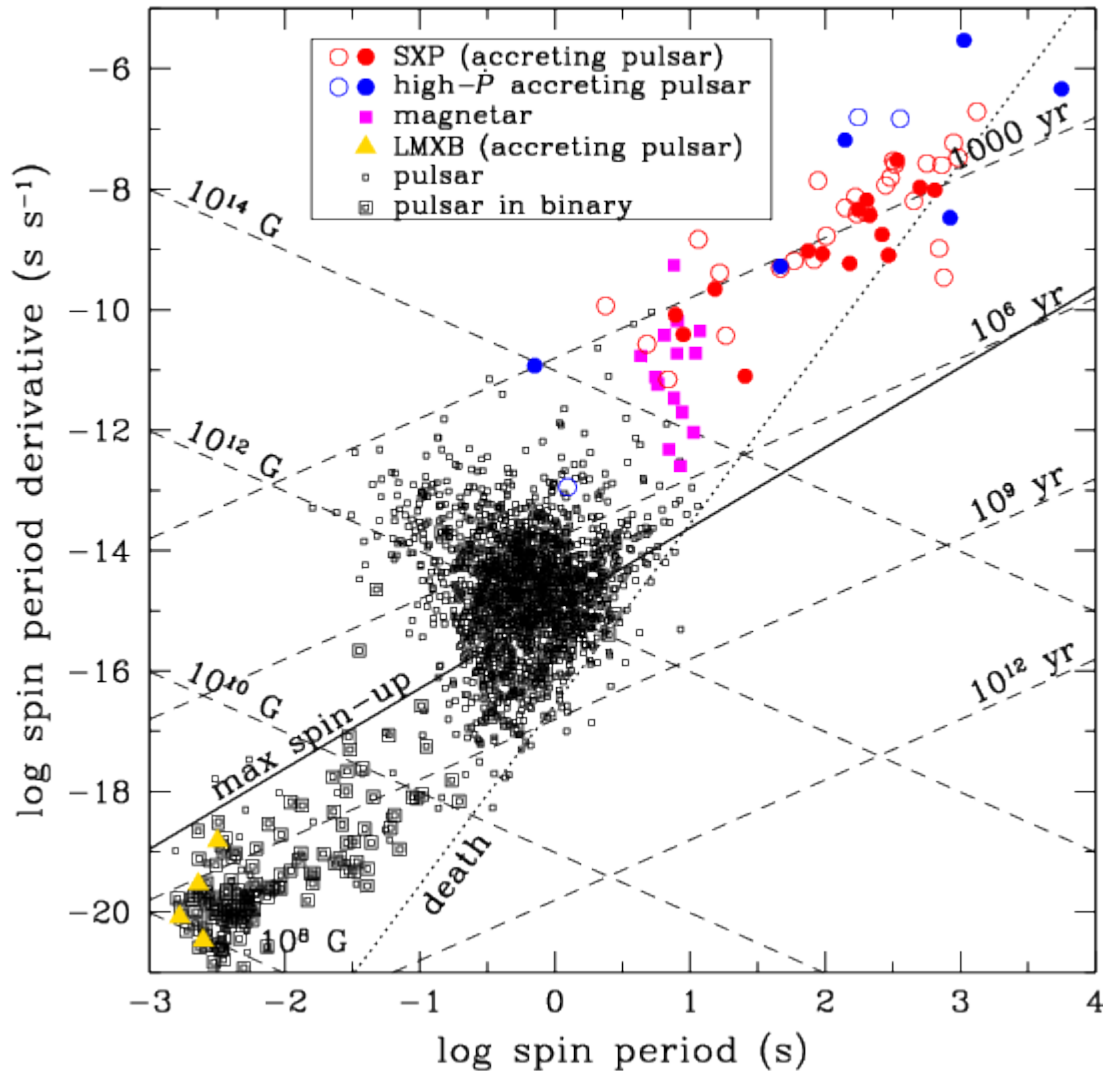
několik pulsarů – změny v optické oblasti spektra, periodičita ms až s;  
velmi silné mg. pole

nejznámější – pulsar v Krabí mlhovině

majákový model => rotační proměnné hvězdy ne pulsující!



# ekvivalent HRD pro pulsary



body – pulsary

hvězdy – pulsary spojené s pozůstatkem supernovy

kroužky – pulsary ve dvojhvězdách

elipsy – pulsary ve dvojhvězdách s excentrickou trajektorií

