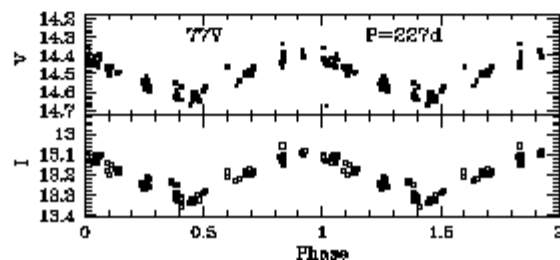
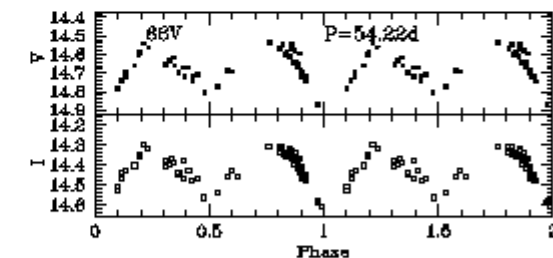
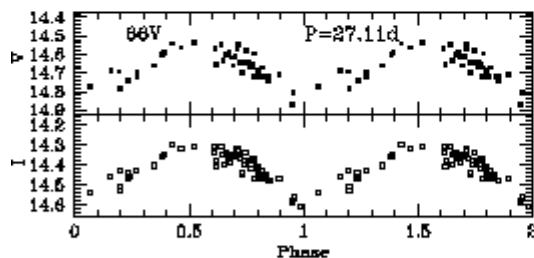
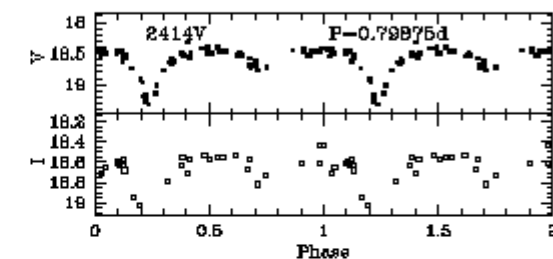
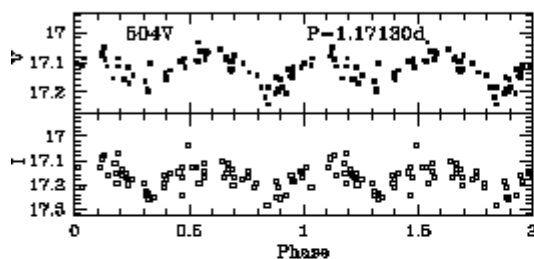
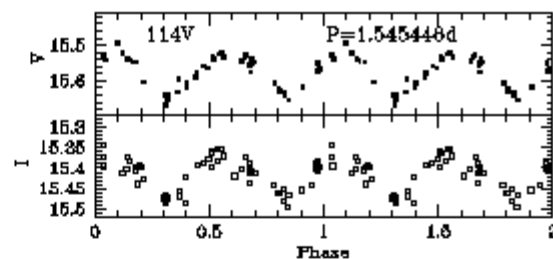
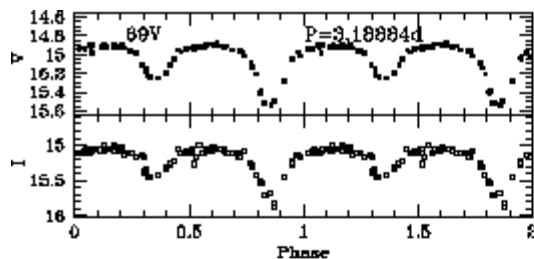


Geometrické proměnné hvězdy (Extrinsic variable stars)

Zákrytové proměnné hvězdy

Rotující proměnné hvězdy



Rotující proměnné hvězdy

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

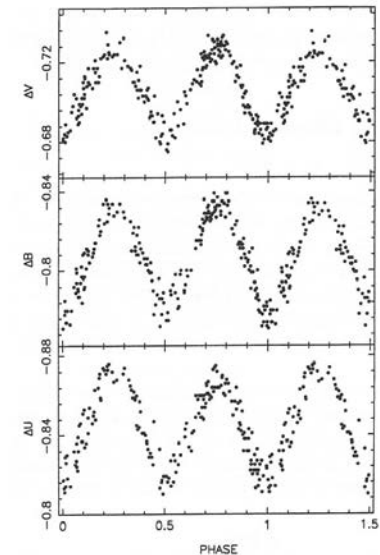
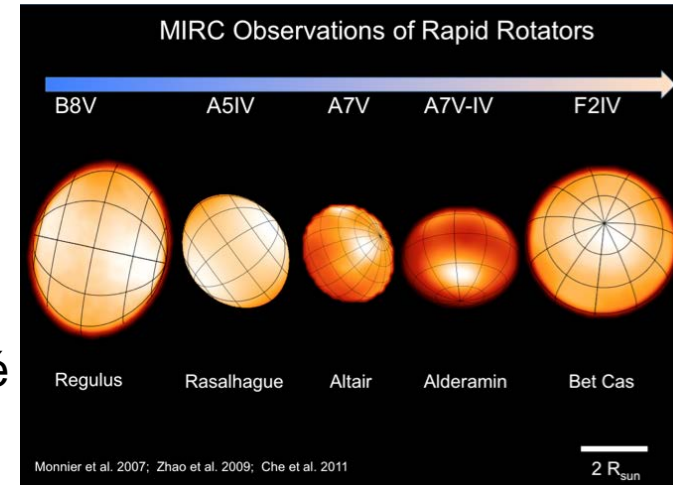
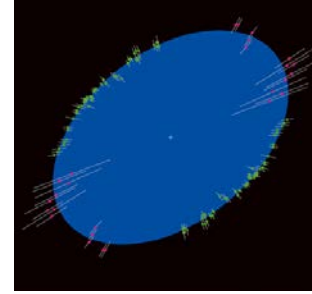
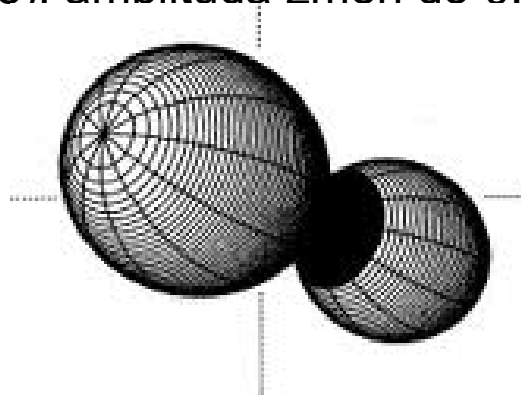
Příčiny:

- ❖ **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, α 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

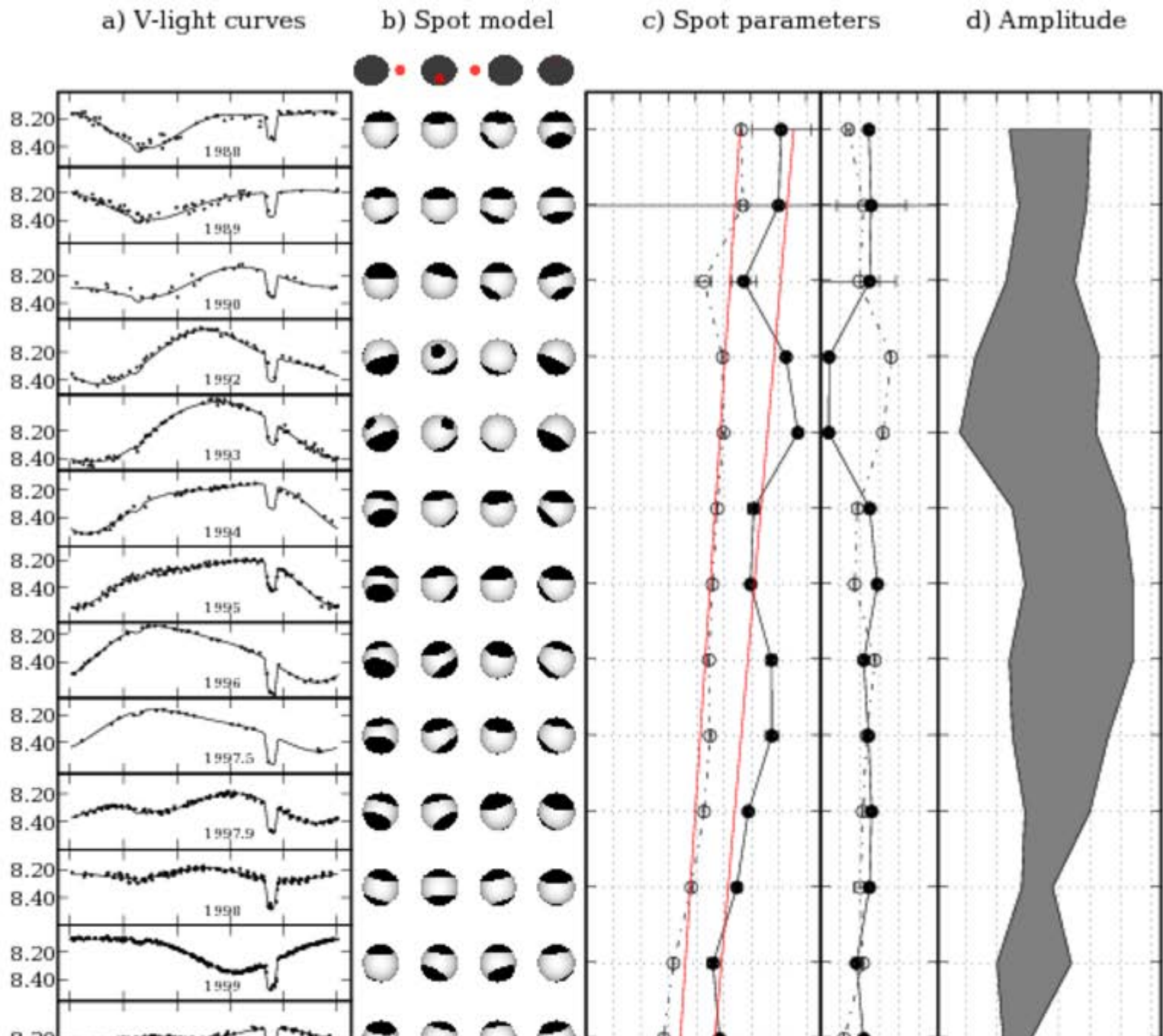
skvrny různého druhu:

- 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

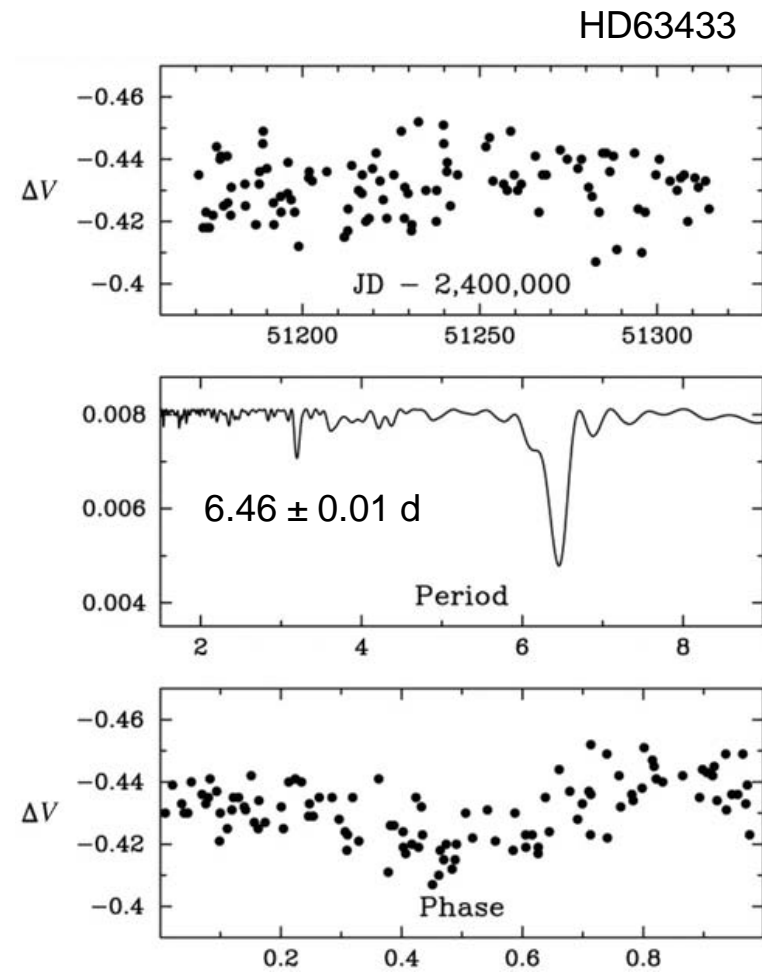
(např. Preston, Vaughan, O. Wilson, 1978)

1500 mladých hvězd slunečního typu

v asociacích a hvězdokupách.

Zjištění: Ca II emise proměnné ve 2 škálách:

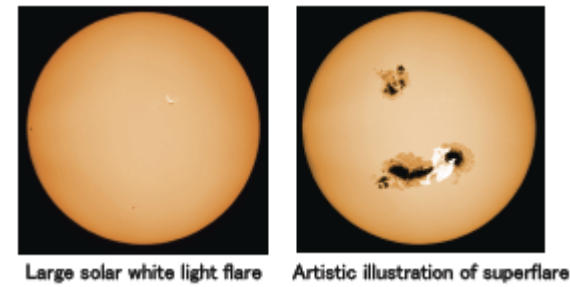
- dny až týdny – souvisí s rotací;
- roky - souvisí s cykly aktivity podobně jako sluneční 11letý cyklus



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

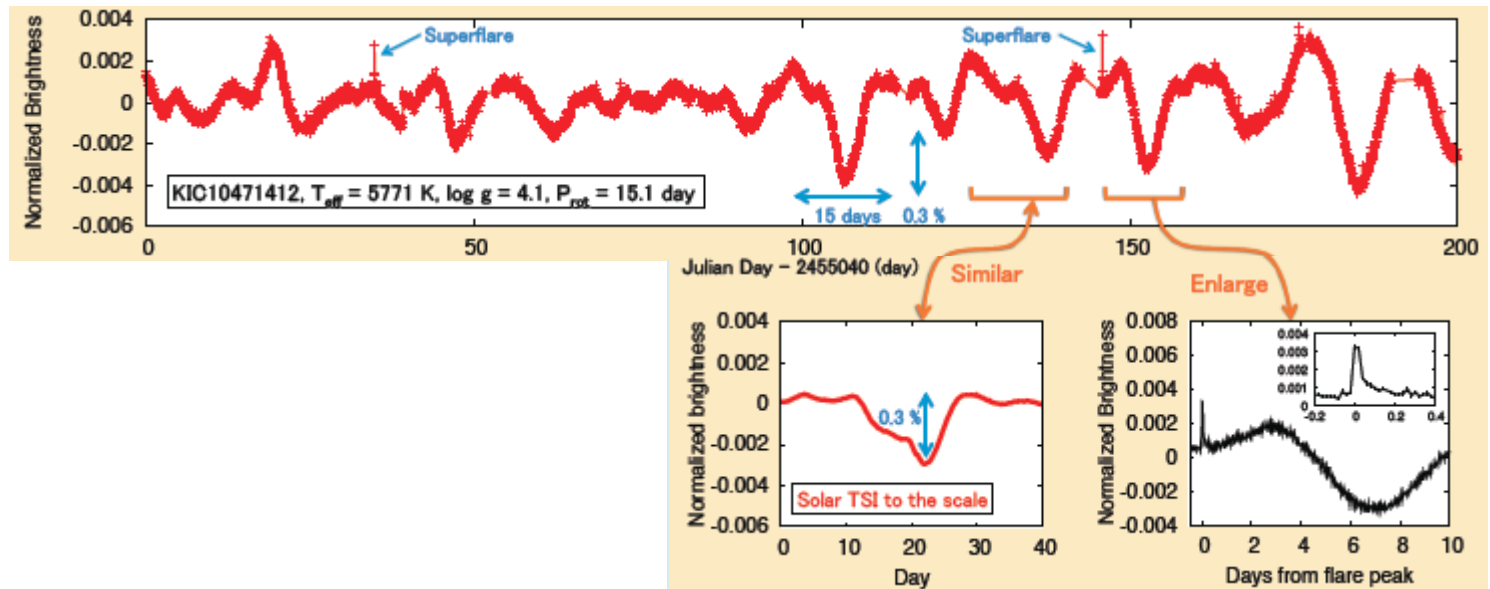
Kepler: 1547 superflare (velké vzplanutí) na 279 hvězdách slunečního typu

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

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.

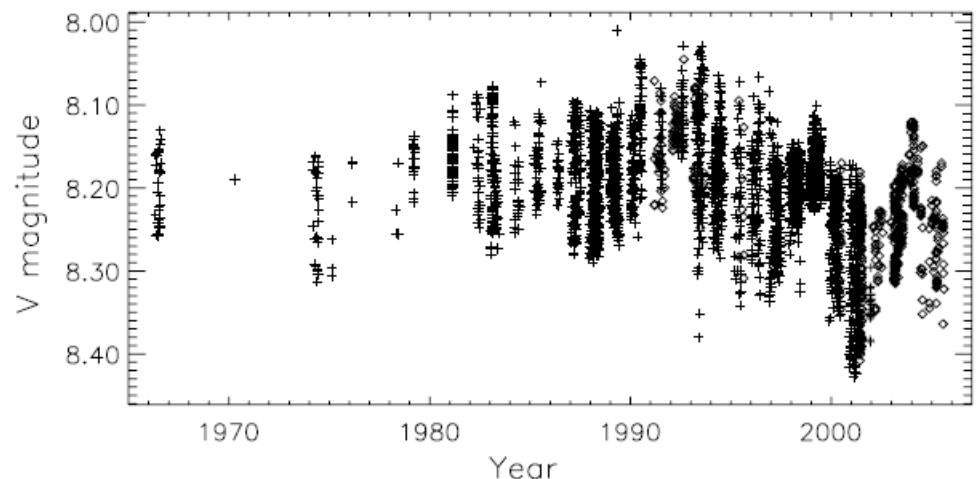
Zpravidla samostatné obří hvězdy spektr. typu G a K se silnou chromosférickou aktivitou

Vysvětlení, evoluční status - nejasné

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

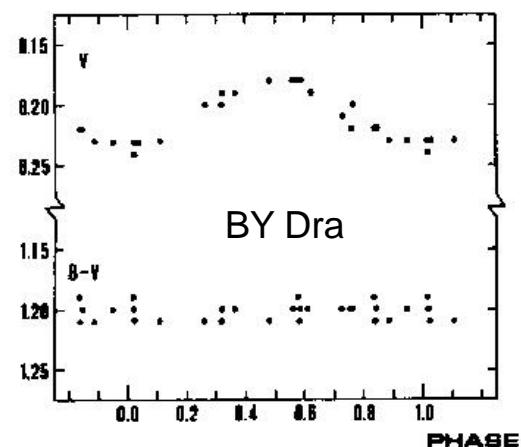
Periody světelných změn = rotační periodě – řádově dny

Amplitudy – řádově desetiny mag



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

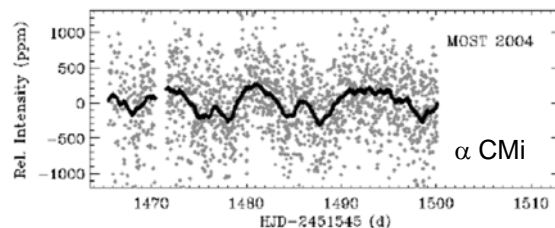


příklady:

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

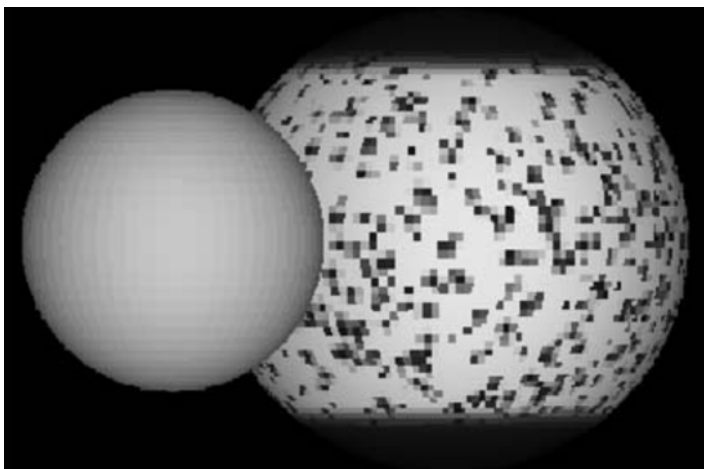


Hvězdy typu RS Canum Venaticorum – dvojhvězdy s orbitální periodou 1-14 d, teplejší složka F-G IV-V a silná emise v čarách H a K mimo zákryt (Hall, 1976)

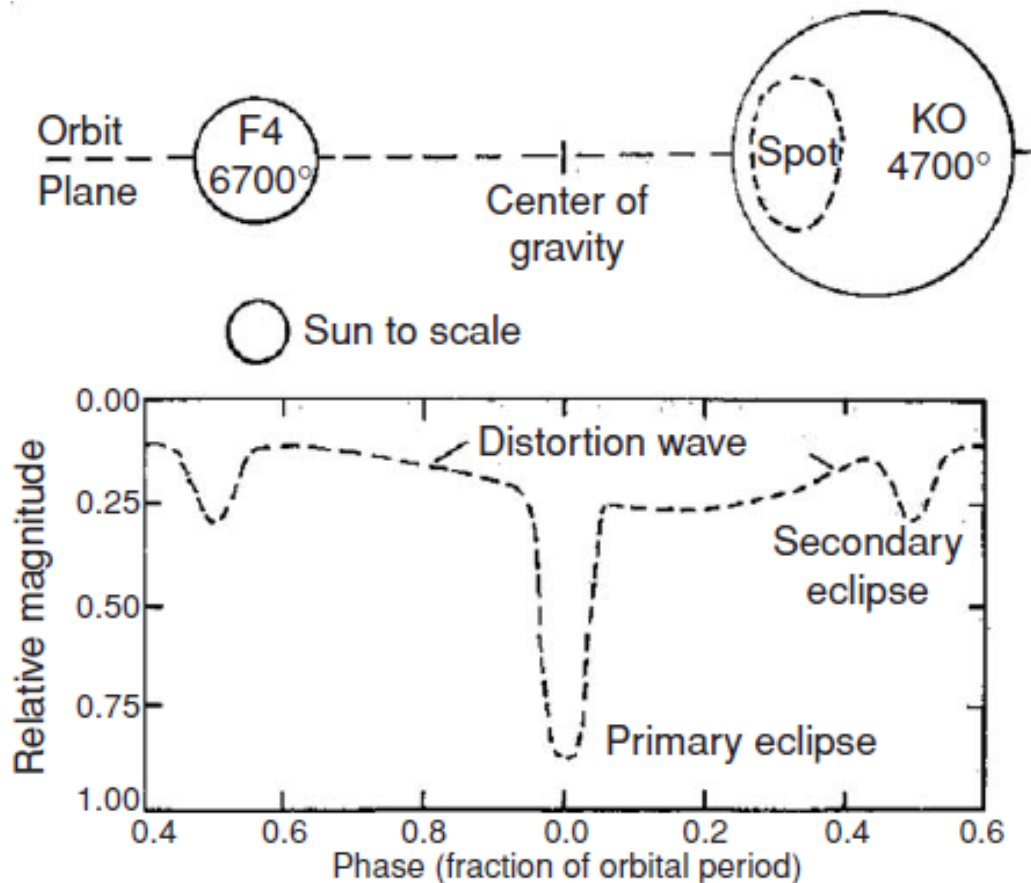
ale

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!

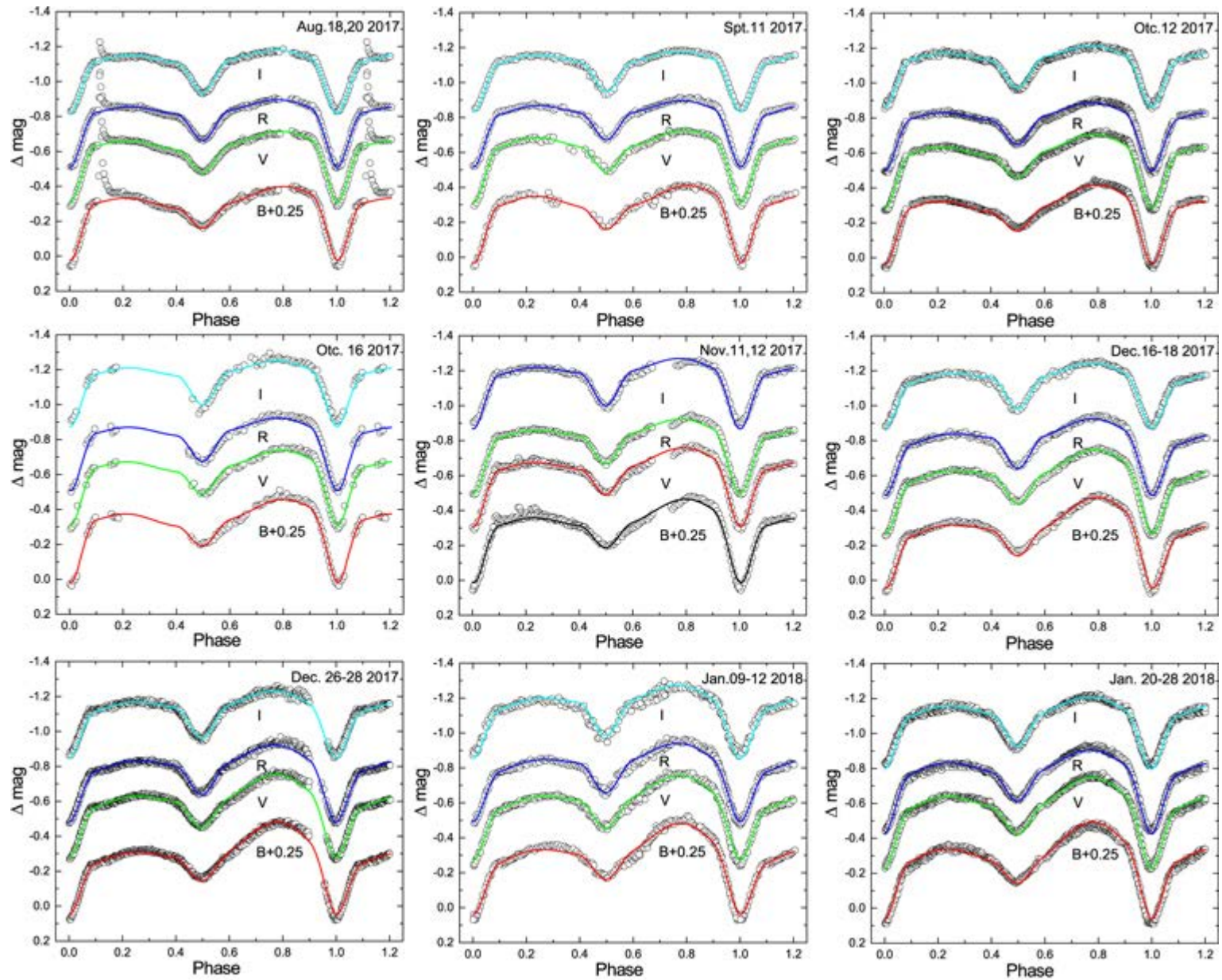


Světelná křivka a schematický model RS CVn v porovnání se Sluncem.

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

DV Psc



(c)

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

důvod pekuliarit?

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

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

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. σ 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 λ 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 α^2 CVn => prototyp;
změny hvězdné velikosti řádově 0.01 – 0.1 mag (V)

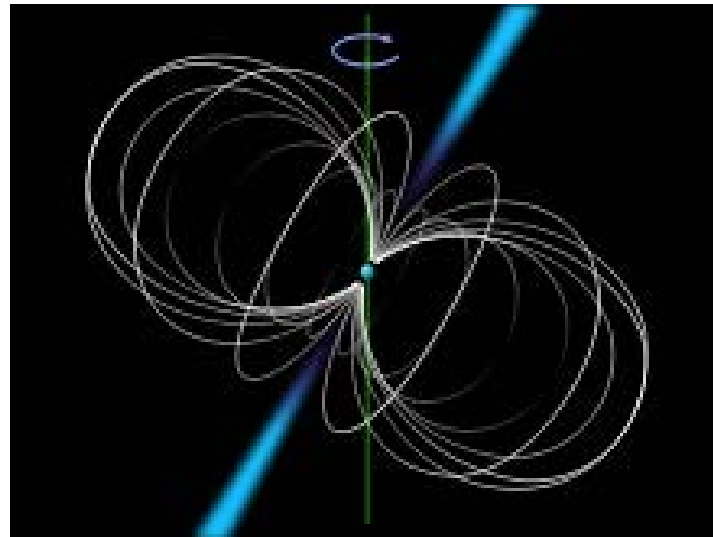
Magnetické pole

magnetické chemicky pekuliární hvězdy

hvězdy typu Alpha-2 Canum Venaticorum

pulsary

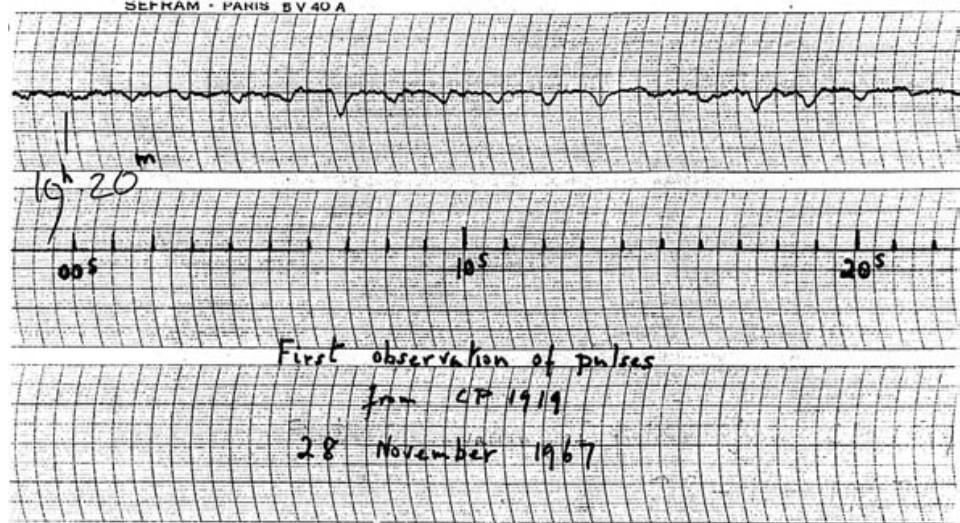
těsné dvojhvězdy (Applegatův mechanismus)



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

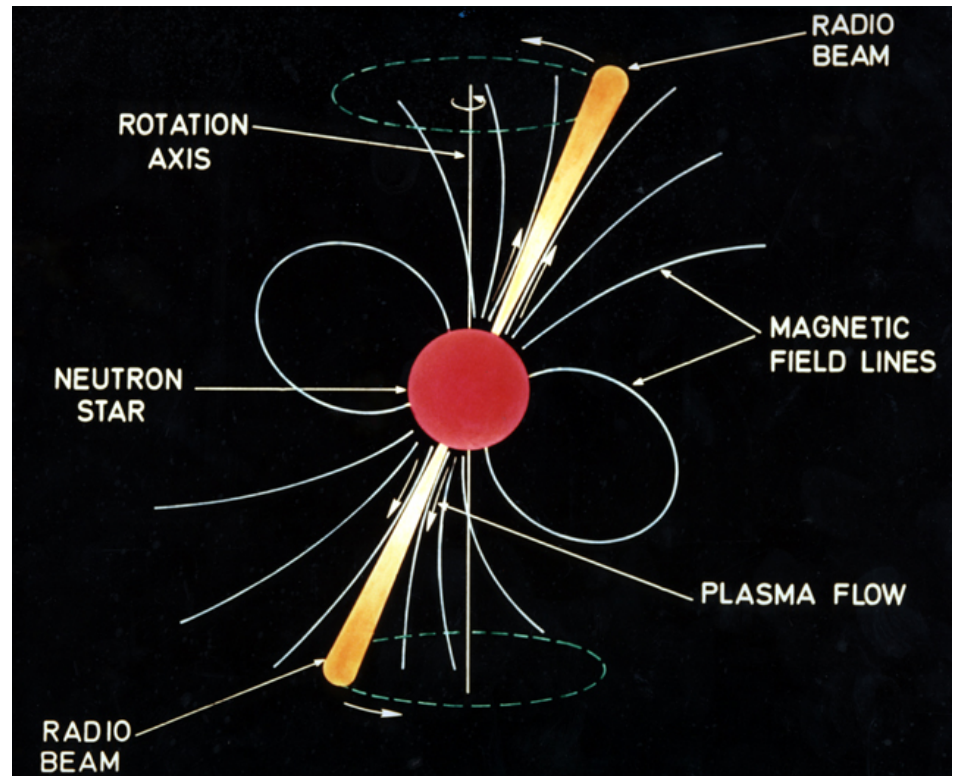
Typy:

- 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.

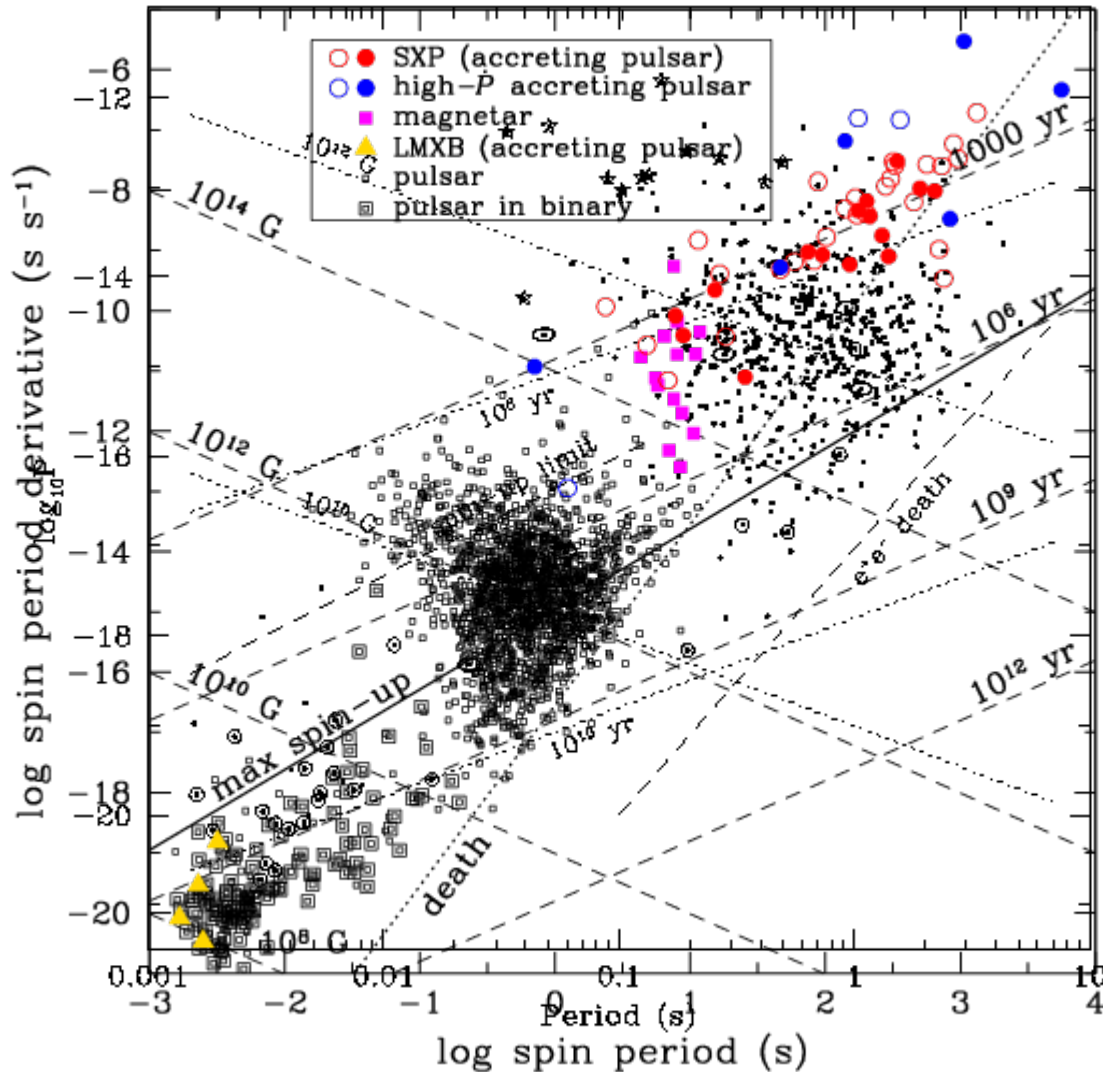
několik pulsarů – změny v optické oblasti spektra, periodičita ms až s;
velmi silné mg. pole

nejznámější – pulsar v Krabí mlhovině

majákový model => rotační proměnné hvězdy ne pulsující!



ekvivalent HRD pro pulsary



body – pulsary

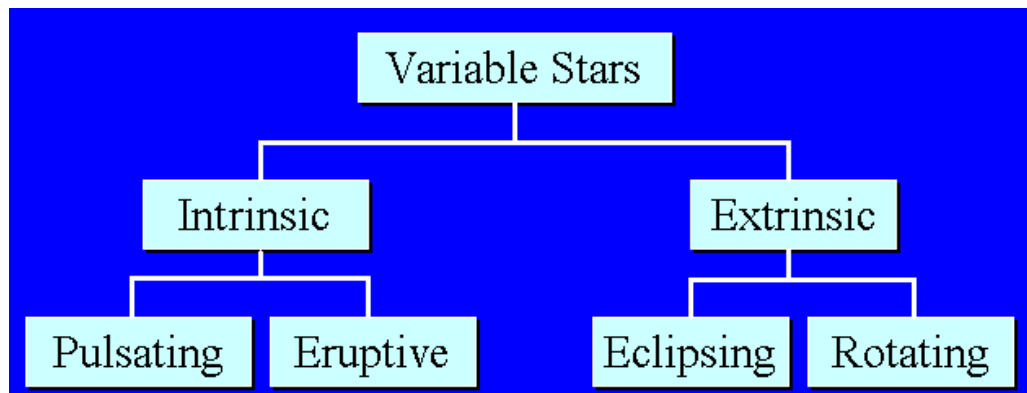
hvězdy – pulsary spojené s pozůstatkem supernovy

kroužky – pulsary ve dvojhvězdách

elipsy – pulsary ve dvojhvězdách s excentrickou trajektorií

Fyzické proměnné hvězdy

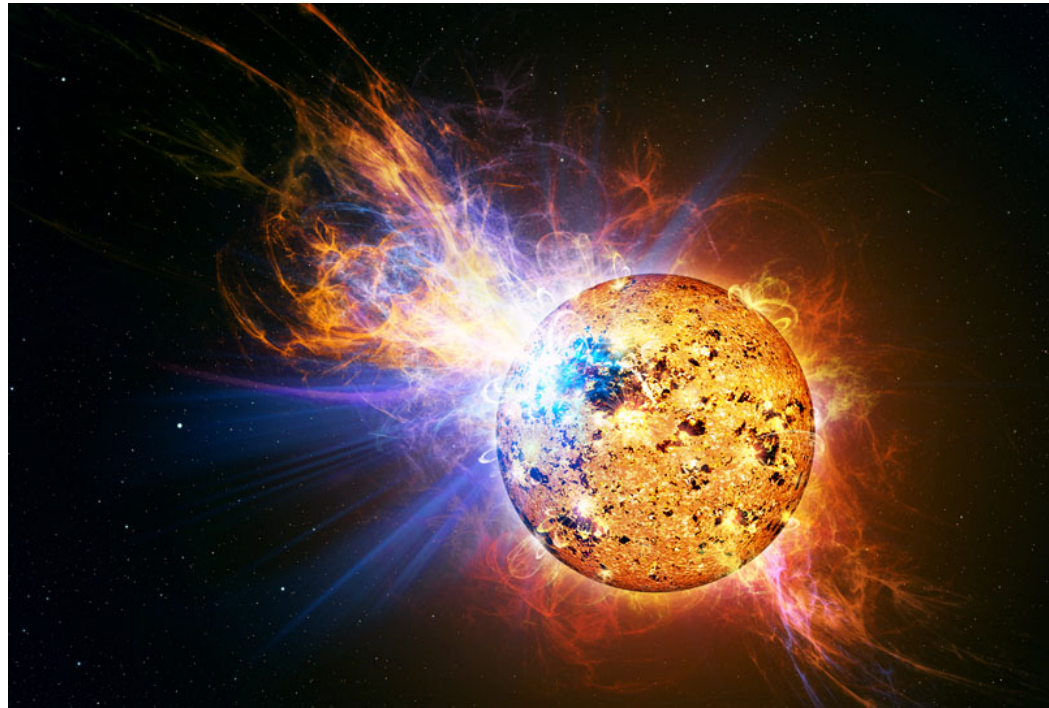
(Intrinsic variable star)



Fyzické proměnné hvězdy

reálné změny charakteristik v čase:

- v okolí hvězdy
- v povrchových vrstvách, většinou projevy hvězdné aktivity
- v podpovrchových vrstvách, nejčastěji pulzace
- v jádru – rychlé fáze hvězdného vývoje, supernovy

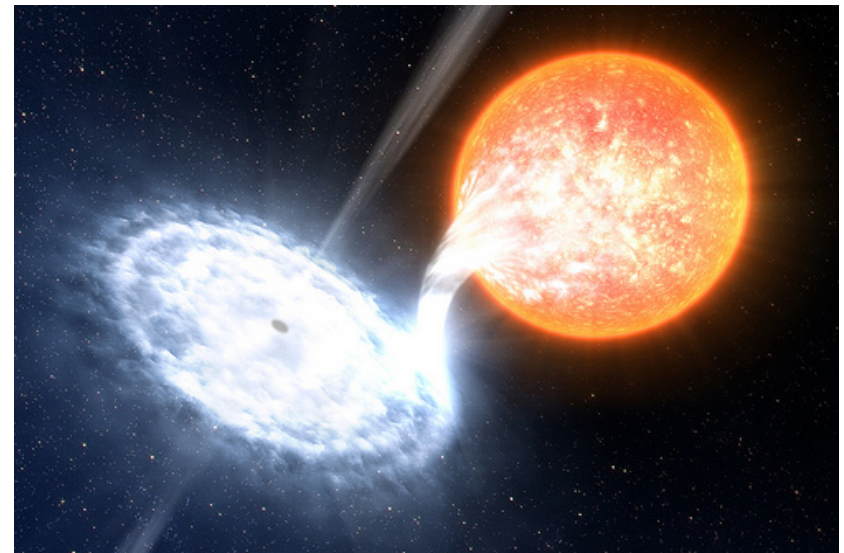
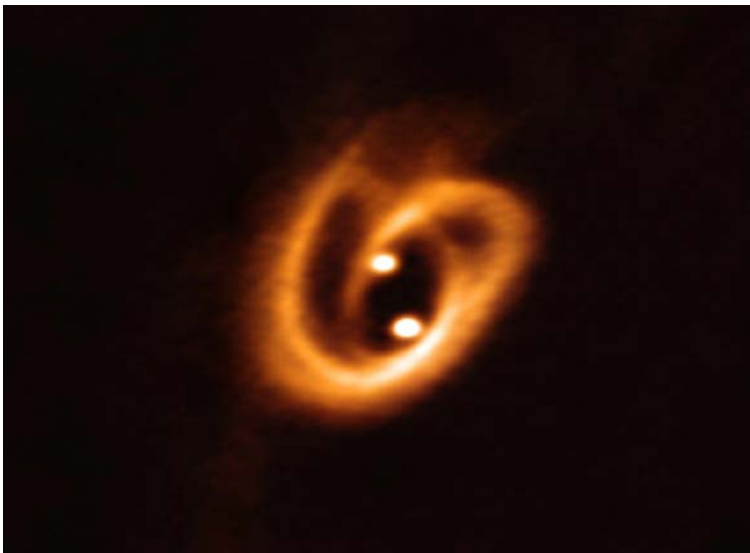


Nestacionární děje v okolí hvězdy

Počáteční fáze vývoje – T Tau, FU Ori, HH objekty,
protoplanetární disky

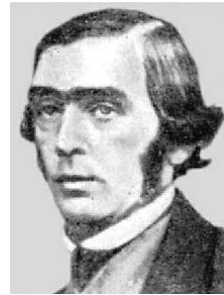
Závěrečné fáze vývoje – hvězdný vítr, pulsace,
novy, supernovy

Dvojhvězdy – těsné, interagující; trpasličí novy



Hvězdy typu T Tauri

objev J. R. Hind (1852)

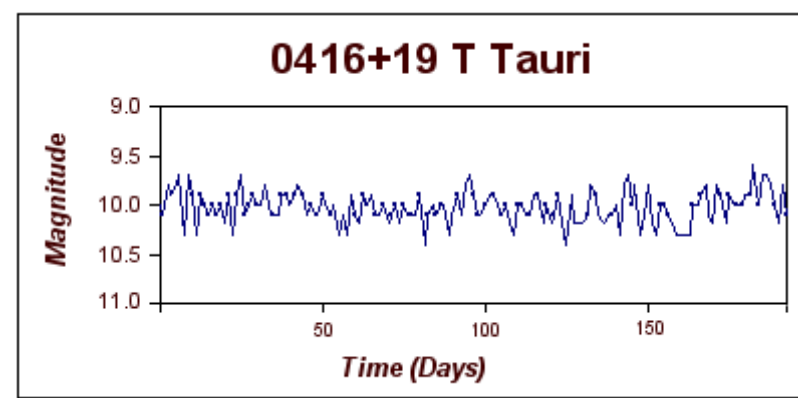
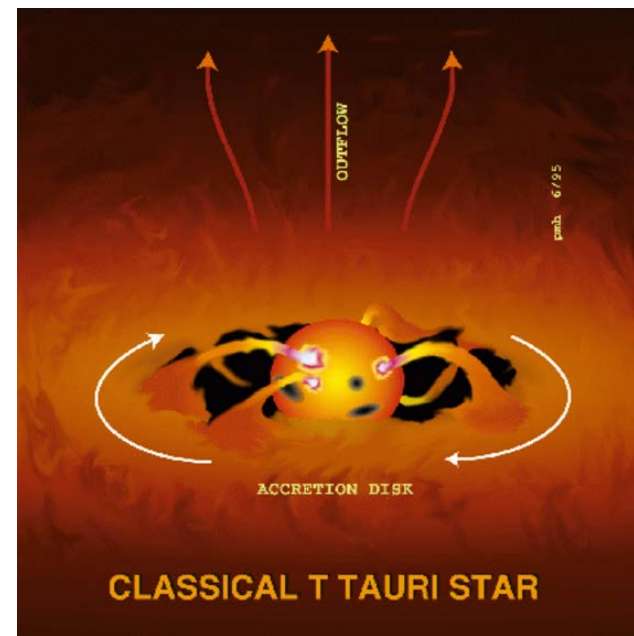
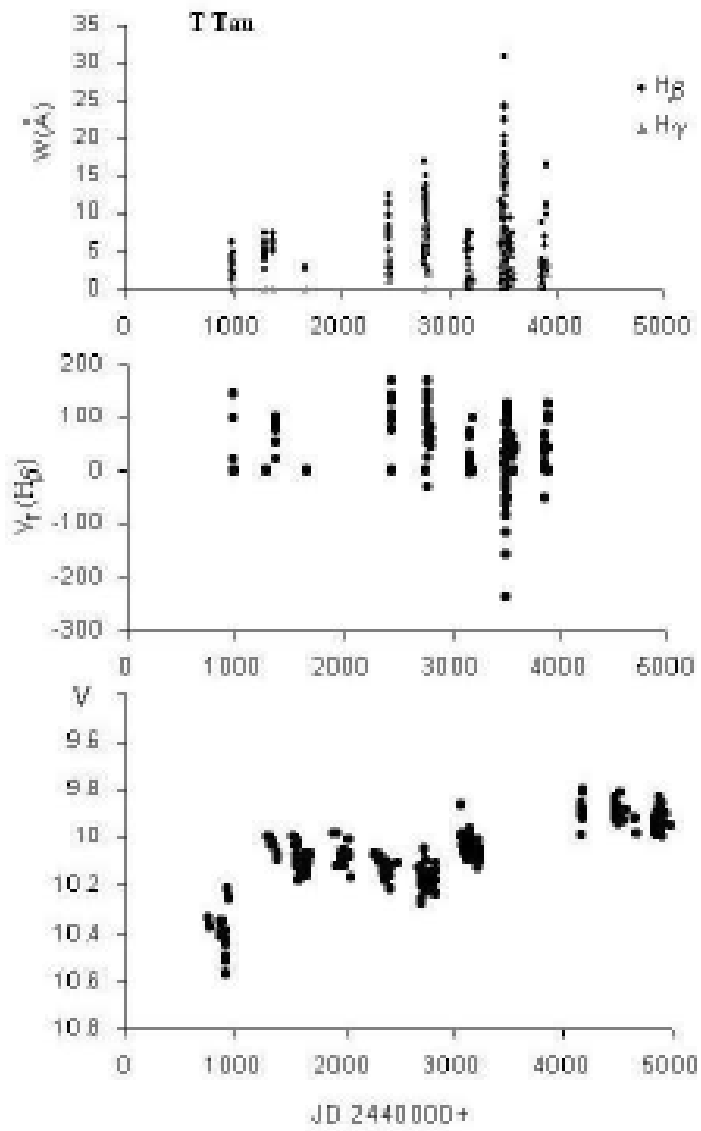


Վիկտոր Համբարձումյան

V. A. Ambarcumjan – 60. léta 20. st. – výskyt v T a O asociacích, mladých otevřených hvězdokupách, poblíž oblastí vzniku hvězd např. mračna Taurus-Auriga ($r = 140$ pc), Lupus ($r = 190$ pc), Chameleon ($r = 160$ pc)

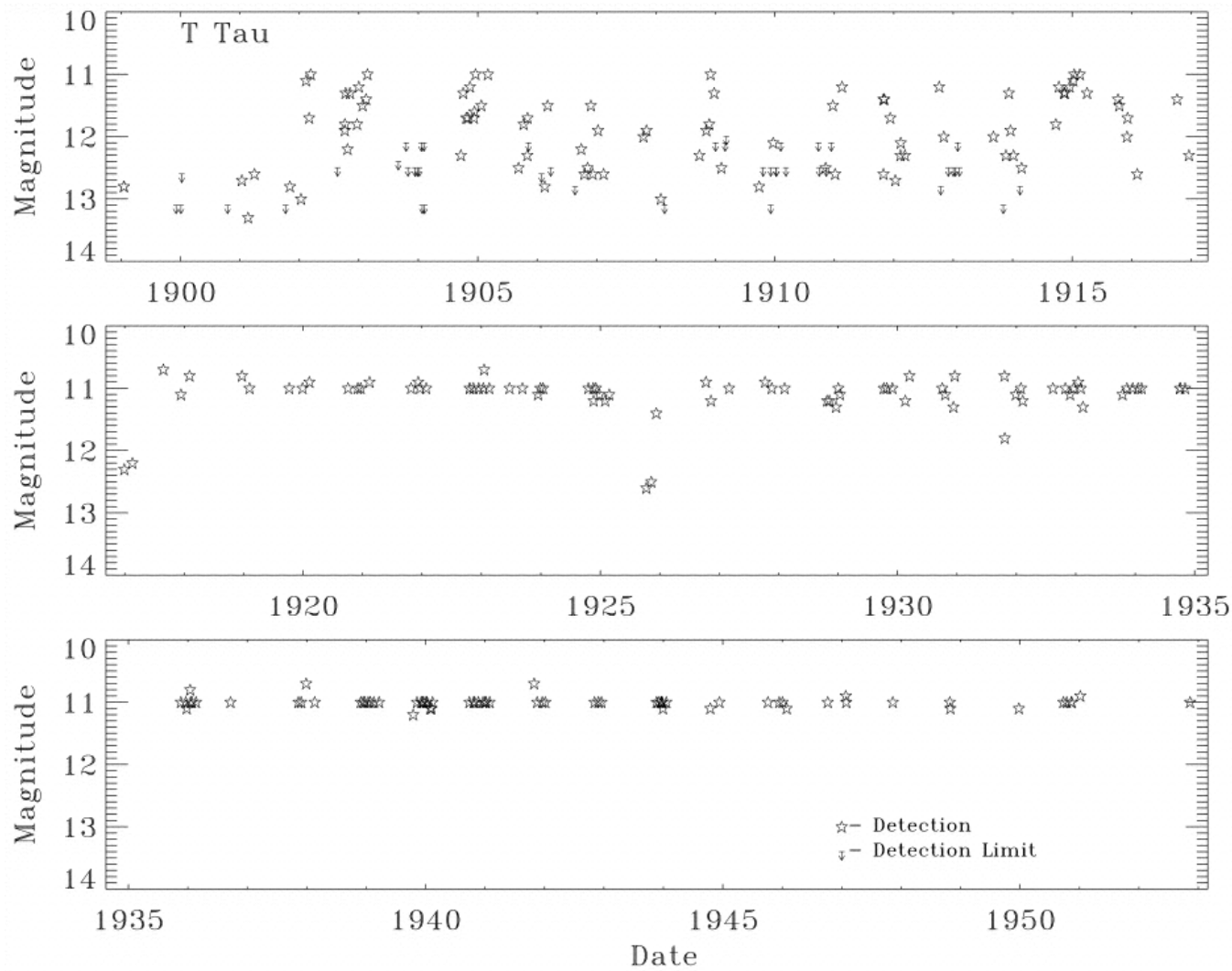
Vlastnosti:

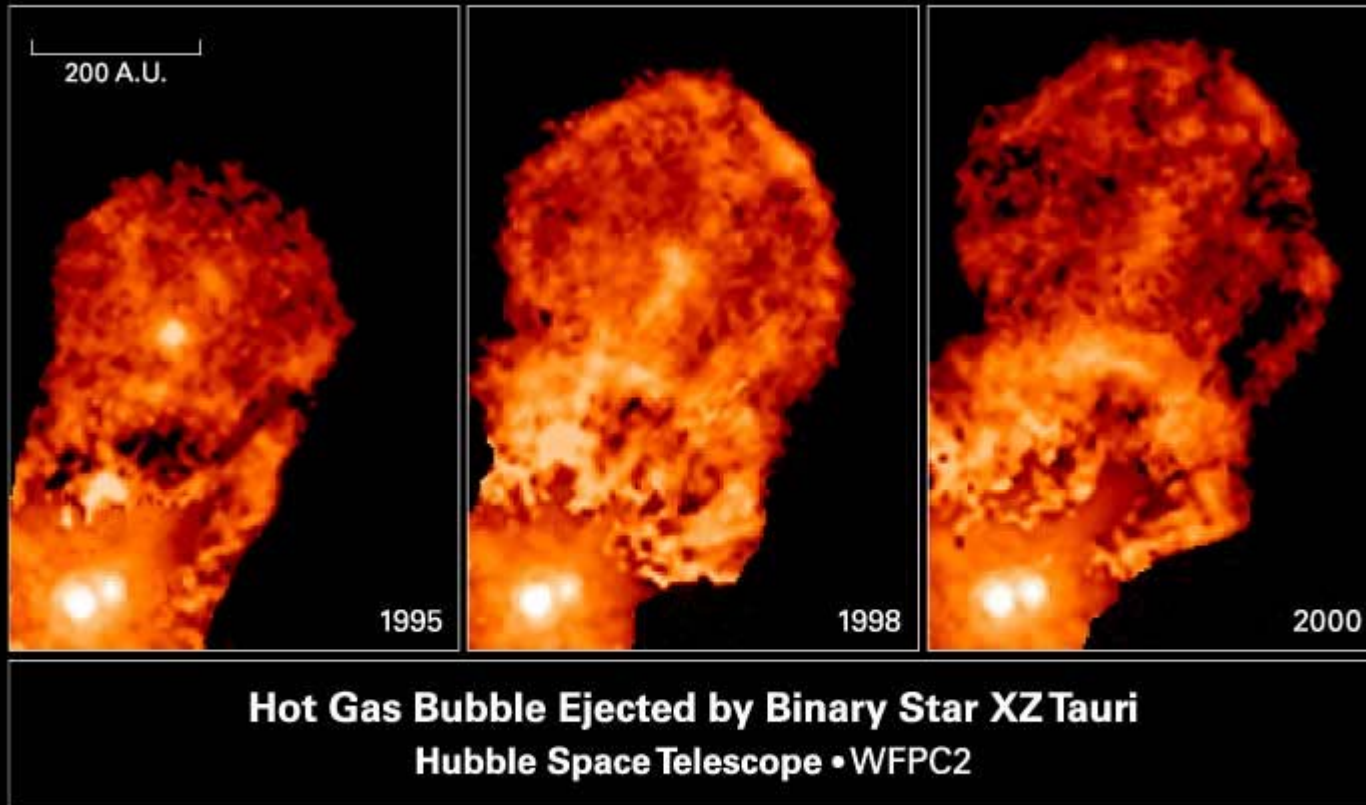
- hmotnosti $0,3-3 M_{\odot}$ (většina $0,5-1,5 M_{\odot}$)
- spektr. čáry (i emisní), P Cyg profil => chromosférická aktivita, rychlé pohyby v atmosféře
- emise H, CaII (H a K čáry), [OI], [SII]
- ztráta hmoty – $10^{-7} M_{\odot}/\text{rok}$
- změny jasnosti chaotické, 1-4 mag
- známo 750 představitelů



AAVSO pozorování

Změny spektrálních parametrů ve srovnání se změnami jasnosti



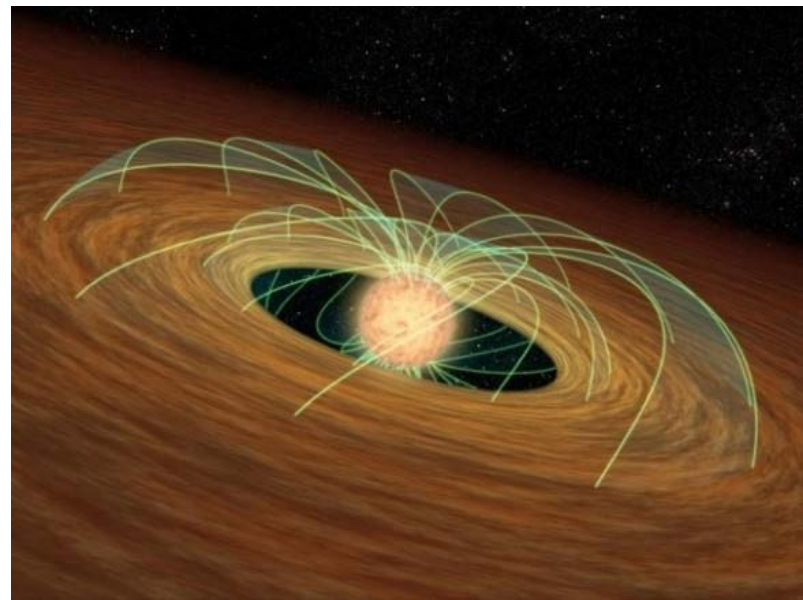
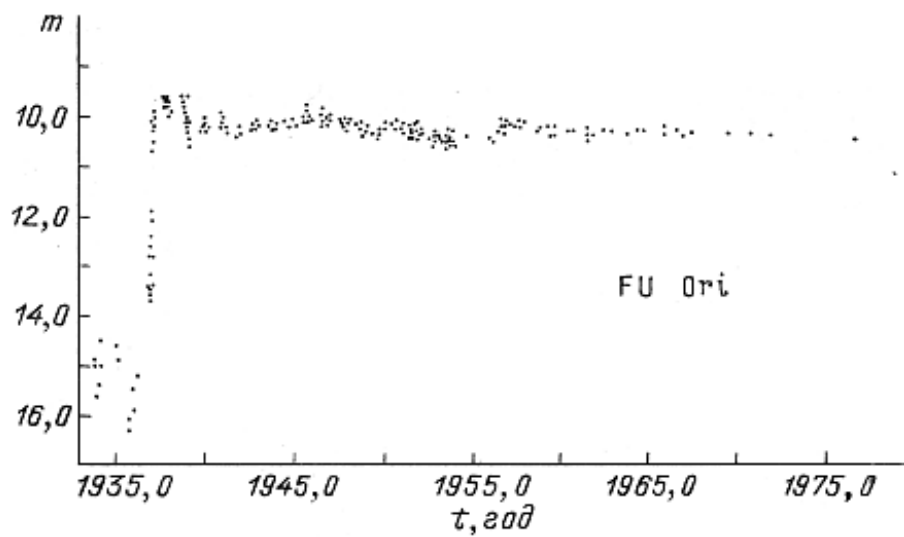


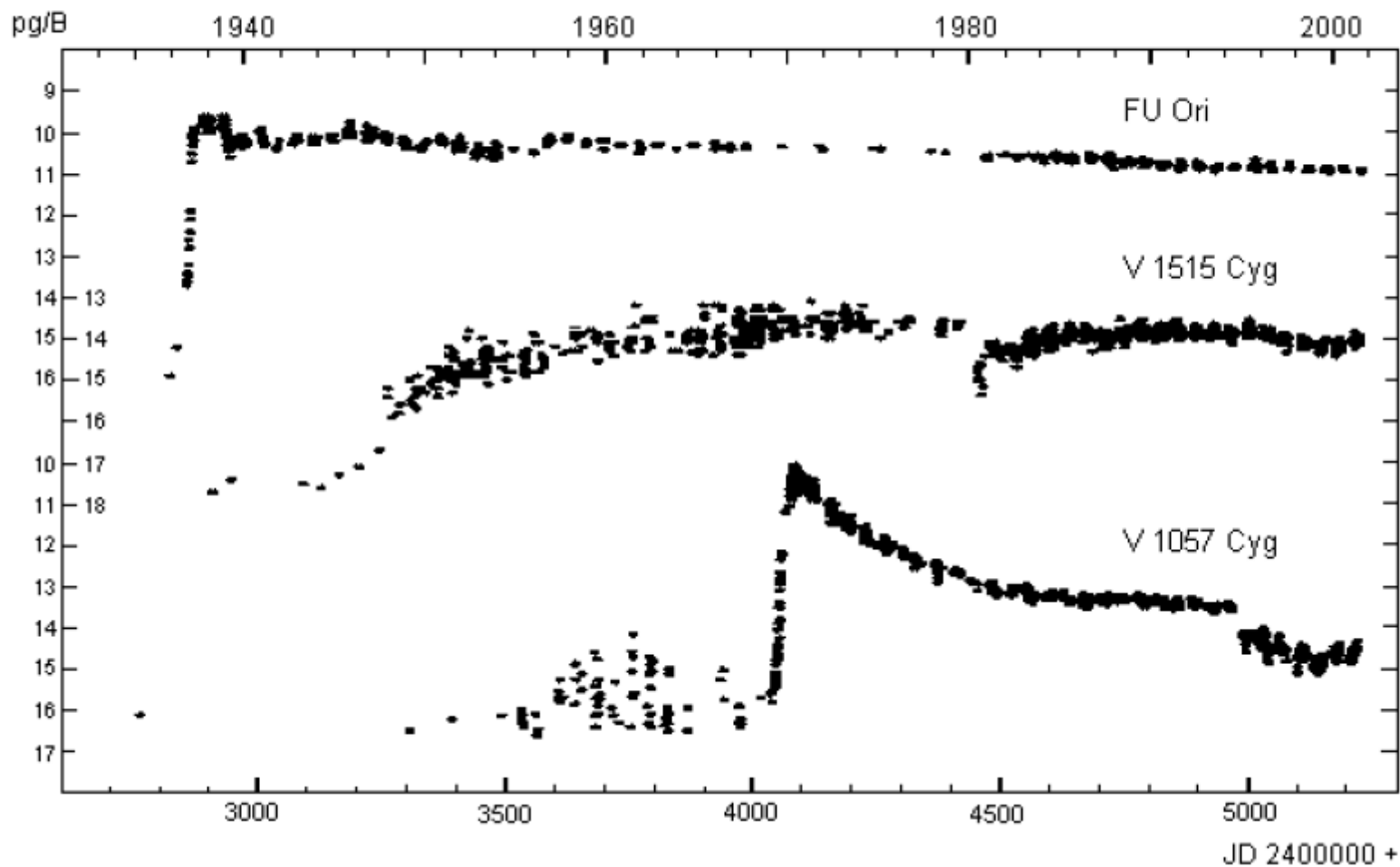
NASA and J. Krist (STScI) • STScI-PRC00-32

XZ Tau – dvojhvězda 0,3", XZ Tau S (T Tau typ)+XZ Tau N (protohv. souputník)

Hvězdy typu FU Orionis (fuory)

- nejmladší pozorované hvězdy – 10^6 let,
- FU Ori – v r. 1937 zjasnění, další až v r. 1970 (V1057 Cyg) => známo jen cca tucet případů, jeden z posledních V1647 Ori (leden 2004)
- všechny známé obklopeny reflexní mlhovinou
- nečekaná zjasnění až o 6 mag (nárůst řád. roky)
- zdroj rtg. záření (nové studie XMM Newton, ALMA)
- mechanismus proměnnosti – dosud nejasný
 - důsledek změny rychlosti kontrakce ($10^{-4} M_{\odot}$ /rok)
 - náhlý přenos hmoty z akrečního disku na mladou, málo hmotnou hvězdu typu T Tauri





Světelné křivky tří nejlépe studovaných fuorid

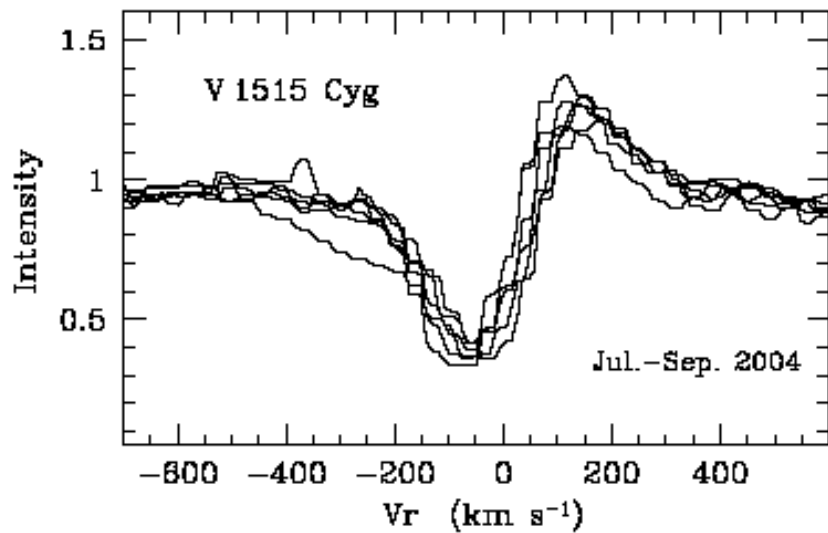
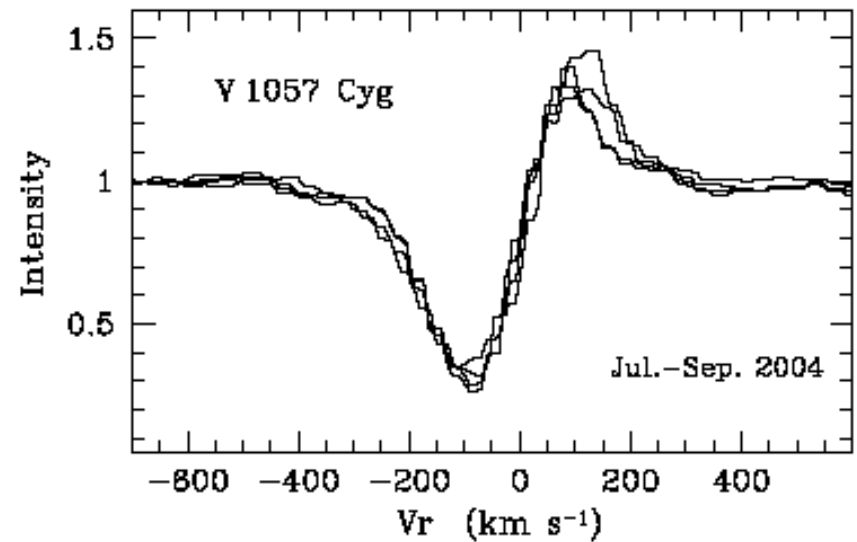
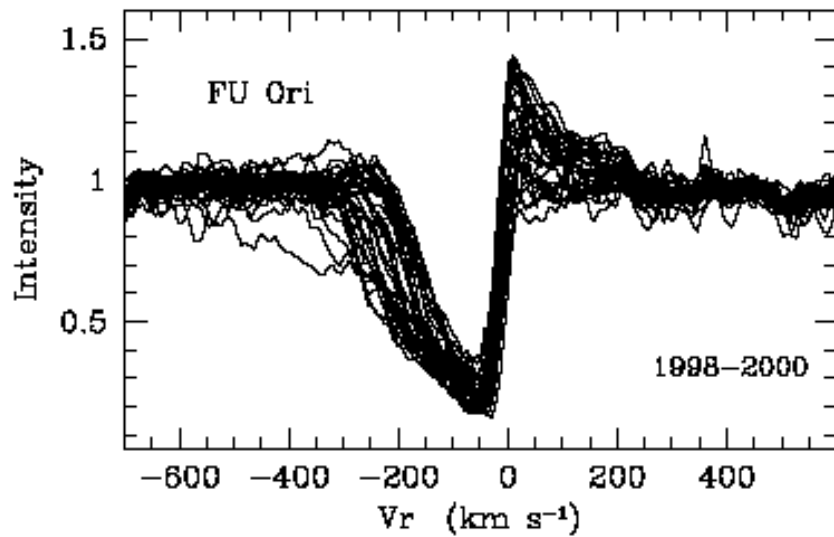
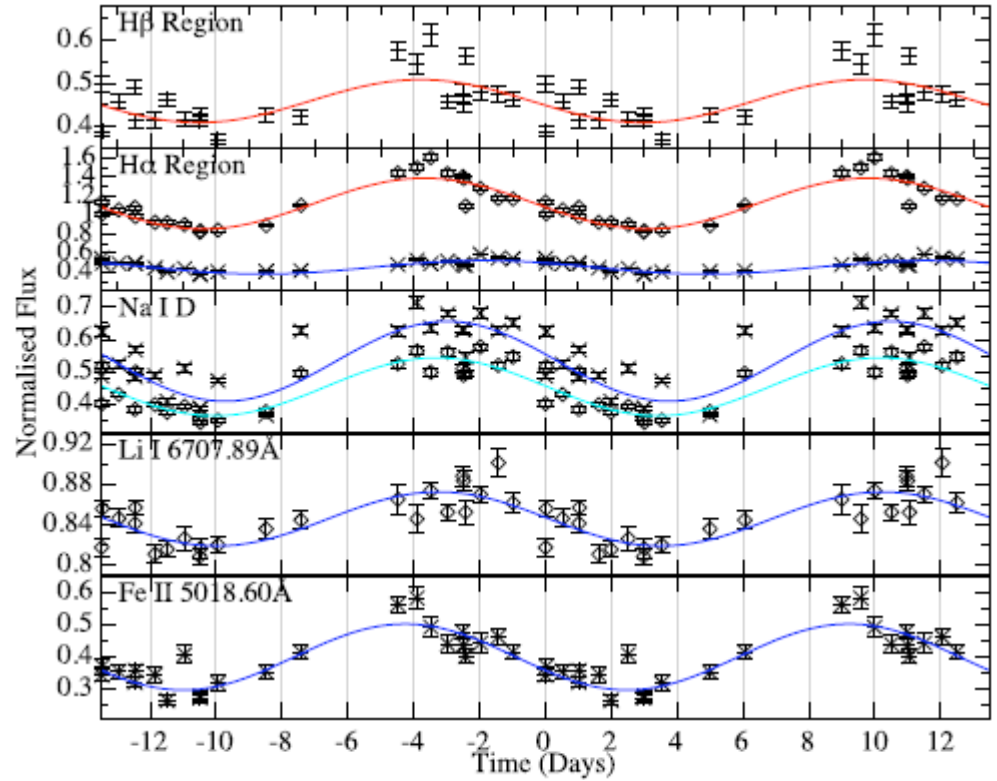
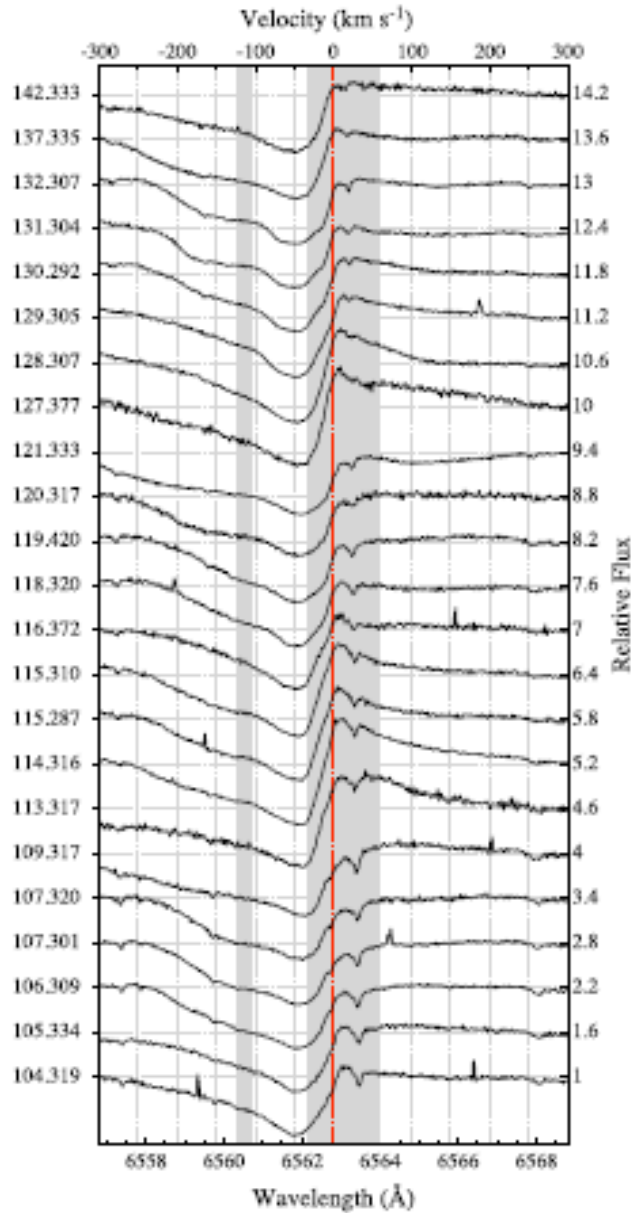
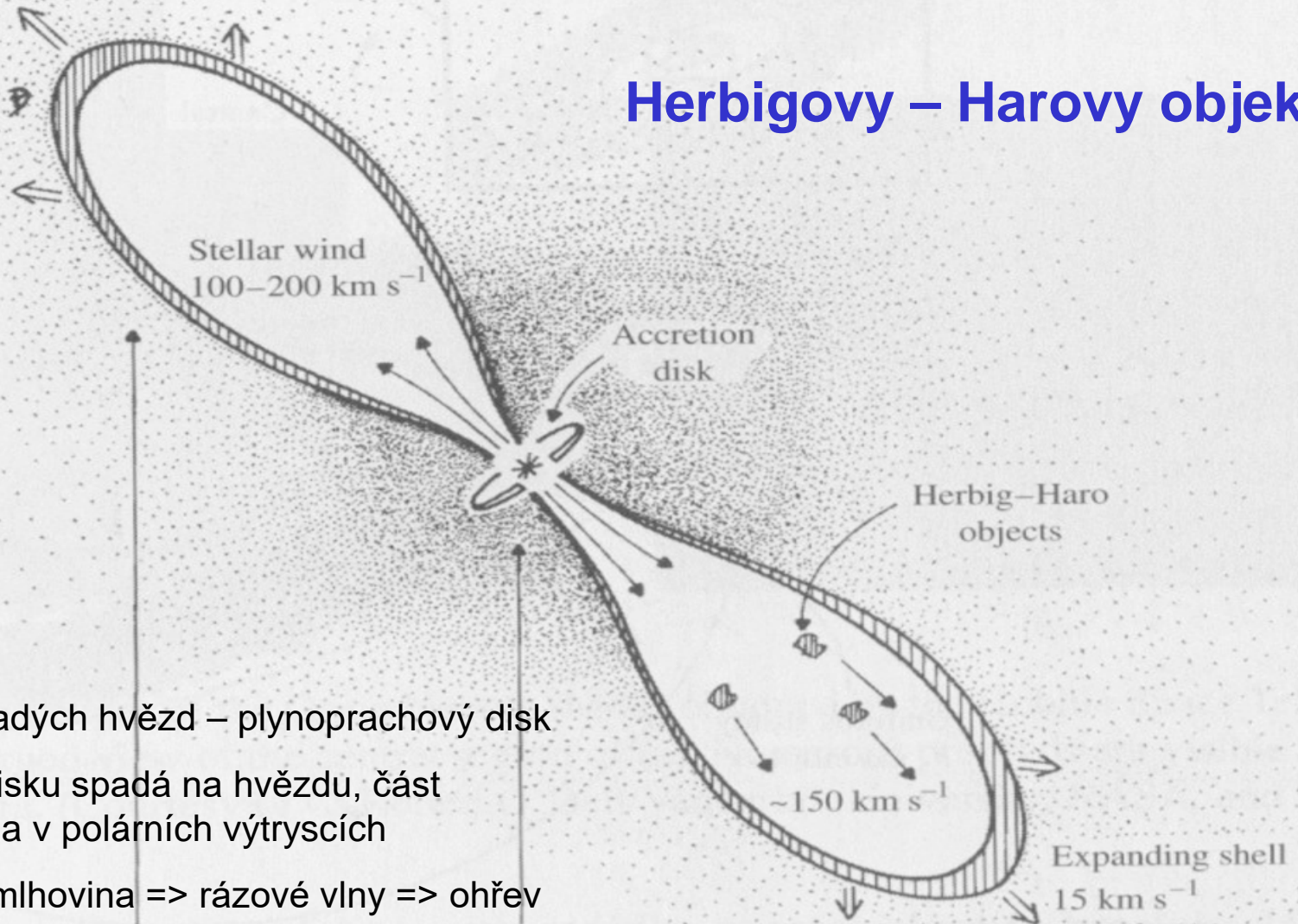


Fig. 2. Variations of the H α profile of FU Ori in 1998–2000 (upper pannel), V 1057 Cyg in 2004 (middle pannel) and V 1515 Cyg in 2004 (lower pannel).

FU Ori – proměnnost ve spektru (Powell et al., 2012)



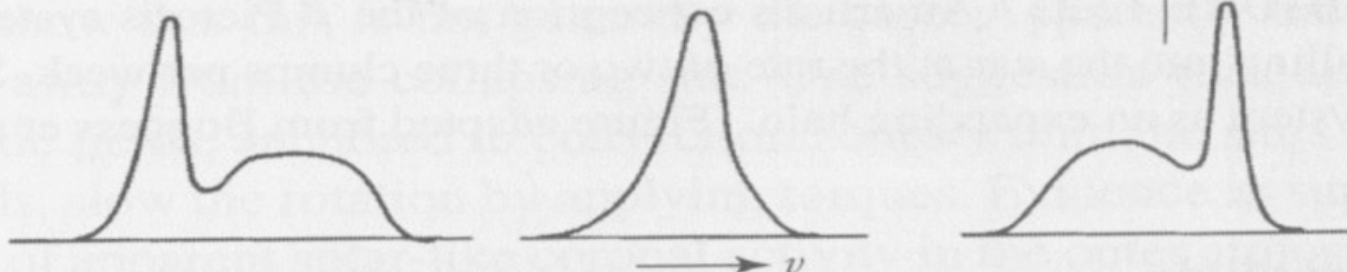
Herbigovy – Harovy objekty



v okolí mladých hvězd – plynoprachový disk

materiál disku spadá na hvězdu, část
vyvrhována v polárních výtryscích

výtrysk x mlhovina => rázové vlny => ohřev
=> zářivé oblasti => HH objekty



první studie HH objektů – 50. léta 20. století

George Howard Herbig

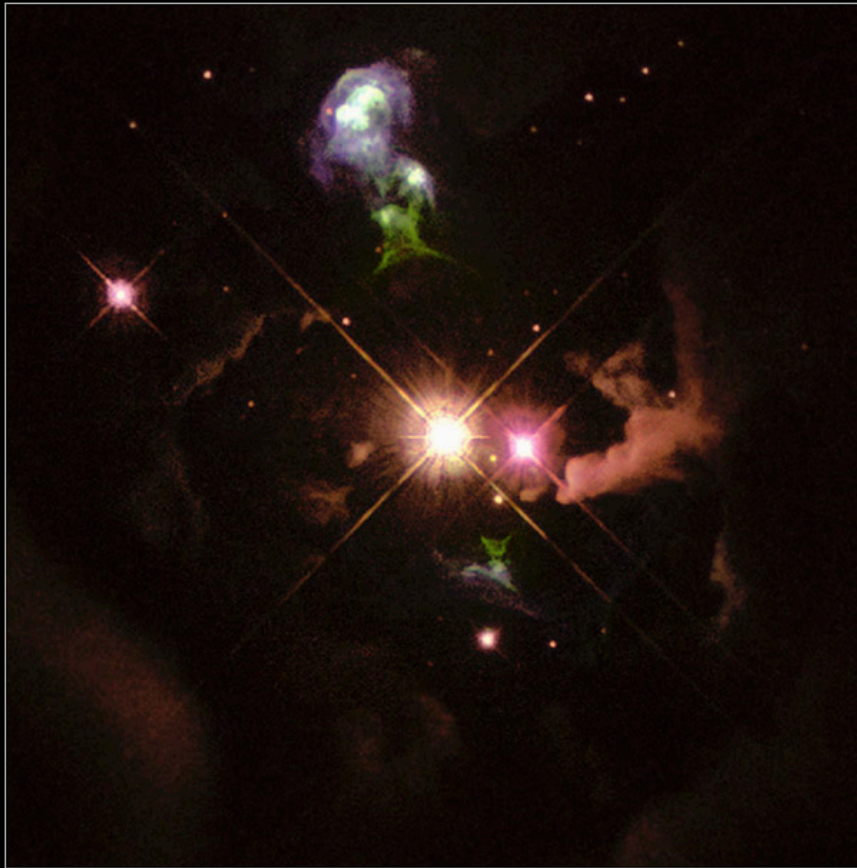
2.1.1920 – 12.10.2013



Giullermo Haro Barraza

21. 3.1913 - 26. 4. 1988

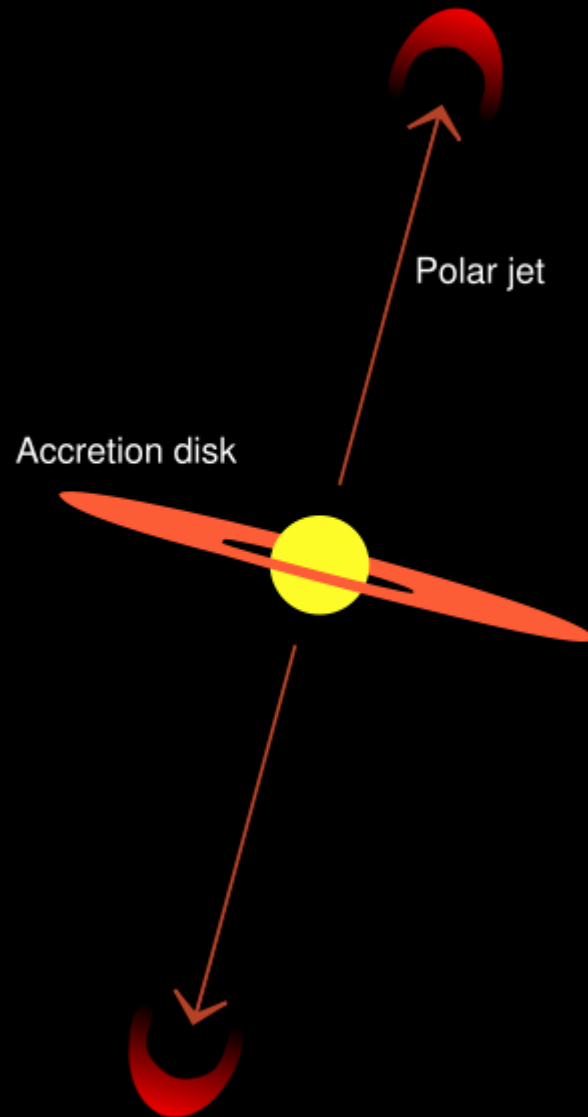
Herbig-Haro 32

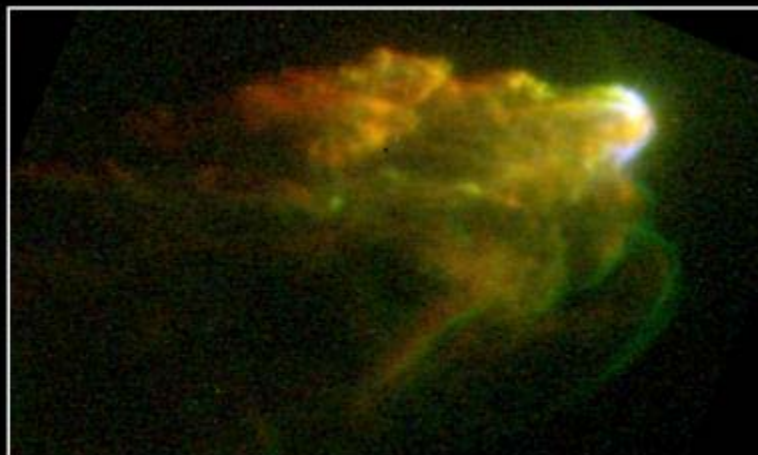


Hubble
Heritage

PRC99-35 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)

Herbig-Haro object

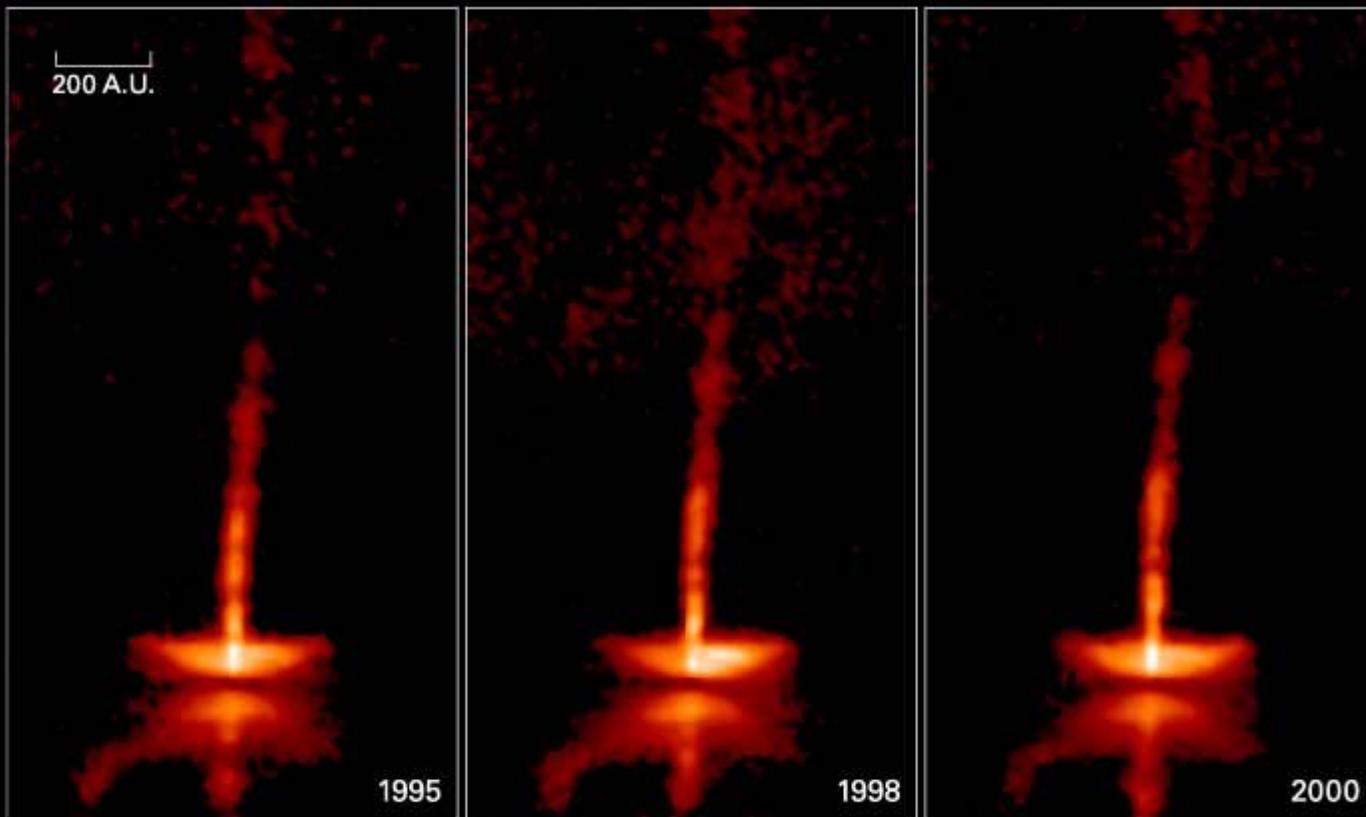




Jets from Young Stars · HH1/HH2

HST · WFPC2

PRC95-24c · ST ScI OPO · June 6, 1995 · J. Hester (AZ State U.), NASA



The Dynamic HH 30 Disk and Jet
Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA and A. Watson (Instituto de Astronomía, UNAM, Mexico) • STScI-PRC00-32b

Látka ve dvojhvězdách

těsné, interagující dvojhvězdy => výměna hmoty mezi složkami => akreční disk, plynný proud (horká skvrna) => *flickering*

akreční disk – i vyšší teplota, vlastní zdroj energie (turbulentní tření)

materiál z disku:

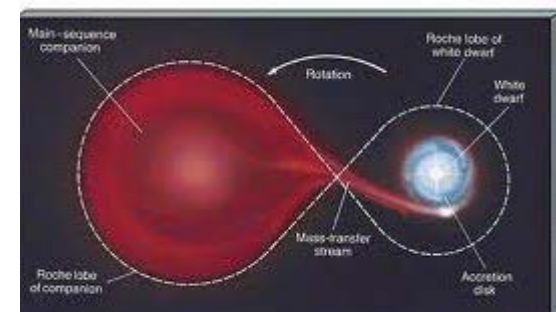
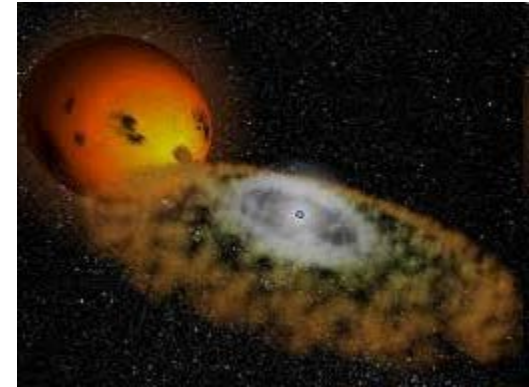
- únik látky do prostoru
- vypadáva na hvězdu => uvolněná energie -> zvýšení energie částic disku

dvojhvězda – BT+normální hvězda vyplňující RL

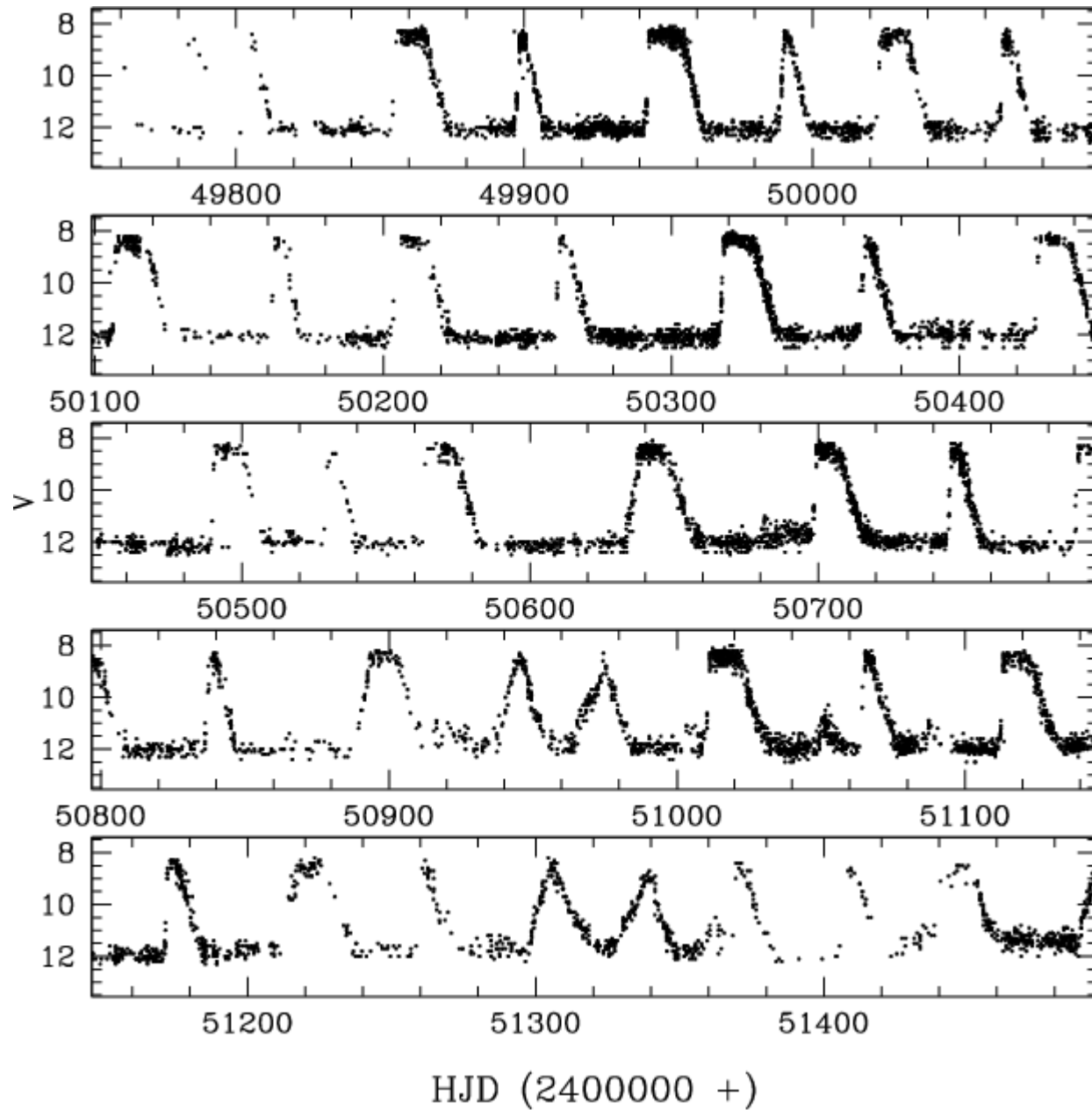
v okolí BT akreční disk krmený souputníkem => překročení kritické hustoty -> sepne turbulenci => náhlý masivní spad na hvězdu => náhlé uvolnění energie => výrazné zjasnění – o několik mag během desítek hodin, opakování během měsíců

trpasličí nova

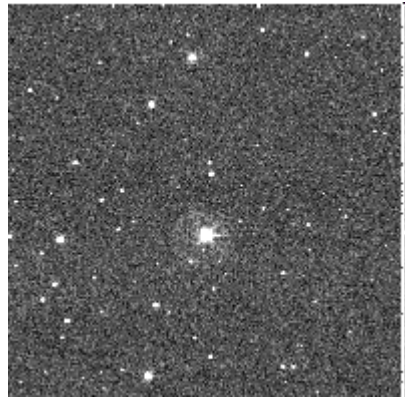
okolní materiál – W UMa, skvrny – RS CVn



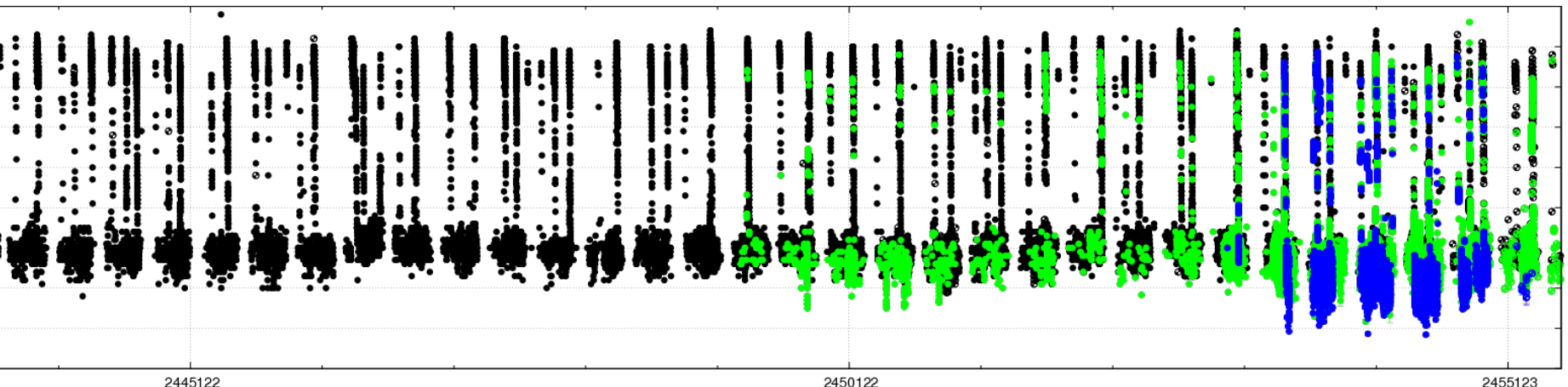
Světelná křivky nejjasnější trpasličí novy SS Cyg



U Gem



AAVSO DATA FOR U GEM - WWW.AAVSO.ORG



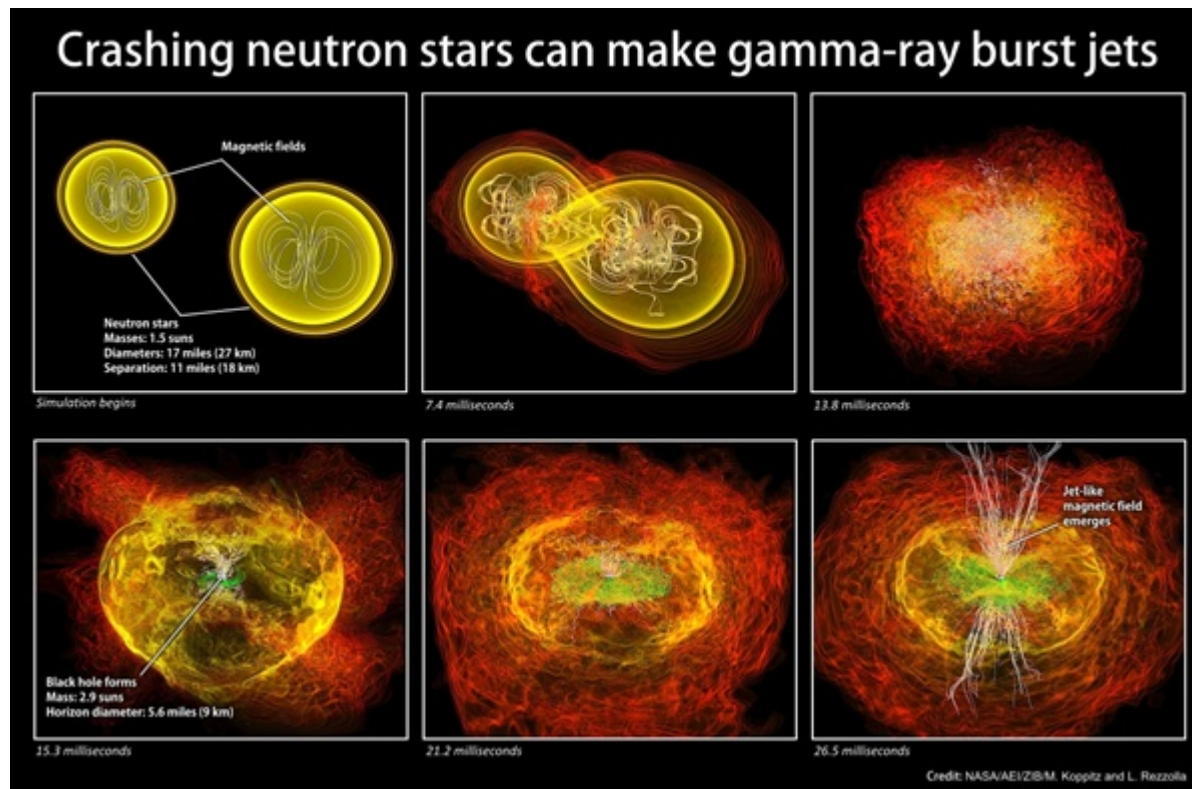
V Validated ● V Prevalidated ● B Validated ● B Prevalidated ●

Splynutí dvou objektů - mergers

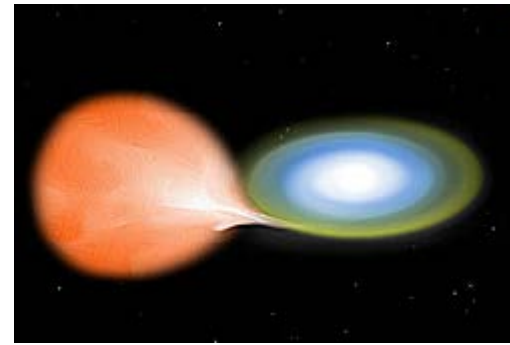
ČD+ČD

NH+NH

hvězdy v těsných dvojhvězdách



Nestacionární děje na povrchu hvězdy



nejčastěji – důsledek dopadu látky zvenčí do fotosféry

příklad – **klasické novy** – těsná dvojhvězda (BT+hvězda vyplňující RL) =>

látko (hlavně vodík) -> na BT => BT se stlačuje, ohřívá se – i vrstva s vodíkem -> zažehnutí překotných termojaderných reakcí (CNO cyklus) => výbuch vnějšku hvězdy – vzplanutí novy – během dní o 7 až 19 mag, v max. až $10^5 L_{\odot}$

může se opakovat – mezidobí 10^5 let, ale mimořádně i mnohem kratší (*rekurentní novy*) – např. U Sco (2010, 1999, 1987, 1979)

