

Svět proměnných hvězd

Miloslav Zejda



Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Masarykova univerzita, Brno

Která hvězda je proměnná?

každá!

záleží jen na časové škále citlivosti detekce změn

pro nás - hvězdy se změnou alespoň 0.001 mag

na časové škále od ms po desítky let až stovky let => některé jen jedna změna, ale výrazná (supernovy), některé se mění častěji a (ne)pravidelně

Význam výzkumu proměnných hvězd

- Snazší získávání informací ze světa hvězd
- Parametry hvězd – ověřování modelů hvězdné stavby a hvězdného vývoje, parametry mateřských hvězd planetárních soustav
- Vzdálenosti ve vesmíru - kosmologie

Nejstarší pozorování proměnných hvězd

- ❖ nesystematická, vzácná
- ❖ změna hvězd v rozporu s učením Aristotela => zařazeno - meteorologické jevy
- ❖ změna tak veliká, že nešla přehlédnout => výbuchy (super)nov

Rok	Typ	Souřadnice		Dnešní označení	Maximální hv. vel. [mag]	Doba pozorování pouhýma očima	Pozorovatel(é)
		α [h m]	δ [°]				
-134	?	5 54	-13		?	?	Hiparchos, Číňané
185	SN	14 12	-60		-8	7.12.185-červenec 186	
369	?	0±	+60±		?	6 měsíců	
386	SN	18 30	-25		+1	3 měsíce	
393	SN	16 48	-38		-1	8 měsíců	
1006	SN	15 13	-45		-8 až -10	28.4.1006 -13.8.1006	arab., jap., čín., jihoevr. poz.
1054	SN	5 30	+22	CM Tau	-4 až -5	4.7.1054 -17.4.1056	Jang Wej-Te aj.
1181	SN				-1	červenec 1181 -?	
1203	N	16 48	-38		-2		
1230	N	16 20	+20			říjen 1230 - březen 1231	S. Fujivara aj.
1430	N	7 24	+7			1 měsíc	
1572	SN	0 19	+64	B Cas	-4	6.11.1572-únor 1574	Schüller, Brahe, Hájek aj.
1600	N?	20 12	+38	P Cyg	+3	8.8.1600-1626?	Blaeu, Kepler(?)
1604	SN	17 25	-21	V843 Oph	-2,5	9.10.1604-podzim 1605	Kepler, Fabricius, Brunowski
1667	N	6	+20	V529 Ori			
1670	N	19 42	+28		+2,7	20.6.1670-?	Anthelme, Picard

- ❖ 1. vědecké pozorování – Brahe, Hájek SN1572 – 1. světelná křivka a určení vzdálenosti => popření Aristotela!

Periodická prvotina

srpen 1596 – **David Fabricius** – objev proměnnosti omikron Ceti,
nové pozorování 1609



1638 – 1. případ systematického sledování hvězdy; **Jan Fokkens (Johann Phocylides) Holwarda** studoval Miru systematicky po celý rok, odhadl periodu na 11 měsíců



1639 a 1642 – **J. Hevelius** pozorování, označení Mira = podivuhodná

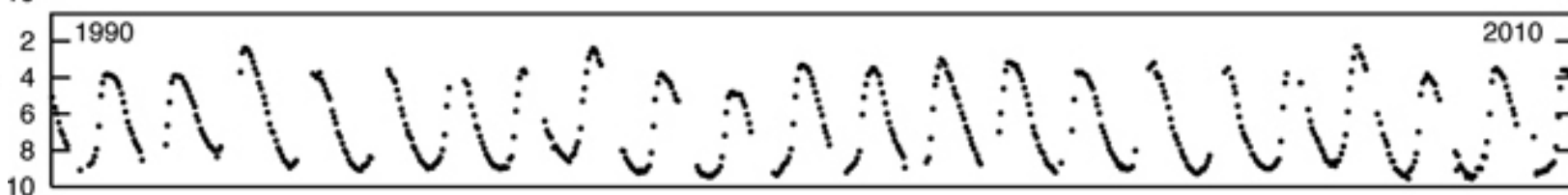


1667 – **I. Boulliau** - první určení periody světelných změn Miry 333 d
(dnes 332 d)

1667-9? – **G. Montanari** - objev proměnnosti Algolu
(Algol už v egyptském Káhirském kalendáři 1244 – 1163 př.n.l.)



1715 - **E. Halley** - SN 1572, SN 1604, o Ceti, P Cyg (N1600), Nova 1670 Vul,
 χ Cyg – jen nejnápadnější prom. hvězdy, nikoli všechny tehdy známé



Začátky systematického studia proměnných hvězd

do konce 18. st. další objevené proměnné hvězdy

o Ceti	1596	Mira	372	M5e-M9e	Fabricius
β Persei	1667	EA	2.87	B8V	Montanari
χ Cygni	1686	M	408	S6.2e-S10.4e	Kirch
R Hydrae	1704	M	384	M6e-M9e	Maraldi
R Leonis	1782	M	310	M6e-M9.5IIIe	Koch
β Lyrae	1784	EB	12.9	B8II-IIIep	Goodricke
η Aquilae	1784	δ Cep	7.18	F6Ib	Pigott
δ Cephei	1784	δ Cep	5.37	F5-G1Ib	Goodricke
R CrB	1795	RCB	—	G0Iep	Pigott
α Herculis	1795	SRc	—	M5Ib-II	W. Herschel
R Scuti	1795	RVa	147	G0Iae-K2pIbe	Pigott

až E. Pigott, J. Goodricke systematické pozorování (80. léta 18. st.)

- 1782-3 Goodricke znovuobjevil proměnnost Algolu a správně ji interpretoval jako důsledek zakrývání dvojice hvězd
- 1786 Pigott – 1. katalog prom. hvězd (tucet kousků)



Friedrich Wilhelm August Argelander (22. 3. 1799 – 17. 2. 1875)



1844 – katalog proměnných hvězd 44 položek

- výzva k pozorování proměnných hvězd
- jednoduchá metoda pro vizuální pozorování
- označování proměnných hvězd

1855 – návrh na označování proměnných hvězd - písmena+zkratka souhvězdí

1867 R,..., Z, návrh přijat Astr. Gesselschaft

RR, RS, ..., RZ, SS, ..., SZ, TT, ..., ZZ,

1907 ZZ Cyg => RRR... zamítnuto

Friedrich Wilhelm Ristenpart – AA, AB, ..., AZ, BB, ..., BZ, CC, ..., QZ,

chybí J

1925 IAU – André - V 335, V 336, ...

VY Dra, BO Tel, HO Tel, MO Tel, KO Tel, OR Tel, AN Del, PR Del, KL Ara, KO Lac,
KO Mon, S Ara, TU Cet, BE Dra, HU Mus, VY Tri, LO Tri, VY Ser, VY Per, R Men,
BL Ind, DO Nor ...



1880 - **Edward Pickering** – zhruba 100 proměnných hvězd => pokus o základní klasifikaci
- z modelu dvojhvězdy a zákrytů vypočtena světelná křivka
=> teorie dvojhvězdné povahy Algolu

1890 **Hermann Carl Vogel** – měření radiálních rychlostí Algolu, potvrzení dvojhvězdy;
- spolu s Scheinerem první určení hmotnosti a rozměru hvězdy (mimo Slunce)



1914 – **Harlow Shapley** – vysvětlení proměnnosti cefeid pulsacemi

1917, 1918 – sir **Arthur Stanley Eddington** – teorie hvězdných pulsací



Metody výzkumu proměnných hvězd v 19. a 20. století

➤ Fotometrie

- ❑ Vizuální fotometrie
- ❑ Nevizuální fotometrie
 - fotografická,
 - fotoelektrická,
 - „křemíková“



➤ Spektroskopie

➤ Interferometrie

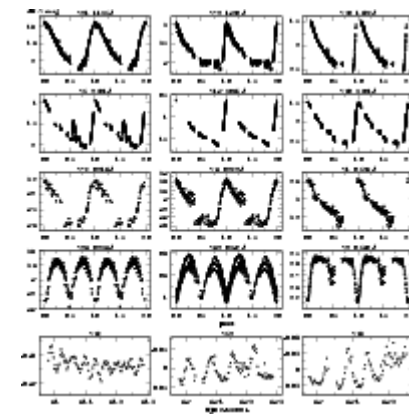
➤ Gravitační vlny

Observatoře

- ✓ pozemské - profesionální , amatérské
- ✓ družicové



Proměnné hvězdy v 21.století



Základní katalog proměnných hvězd (**GCVS** - General Catalogue of Variable Stars)

původně Německo, od r. 1948 v Moskvě – ved. N. Samus

poslední 5. vydání katalogu 53 627 objektů (stav k 5.12.2018) – nyní přidávány jen individuálně objevené proměnné hvězdy

2 katalogy hvězd podezřelých z proměnnosti – NSV (New catalogue of suspected variable stars) + suppl. - celkem 26 017 objektů (2011)

VSX (Variable Star Index) – server Americké asociace pozorovatelů proměnných hvězd AAVSO (<http://www.aavso.org/vsx>)

k 19. 9. 2017 465 093 prom. hvězd,

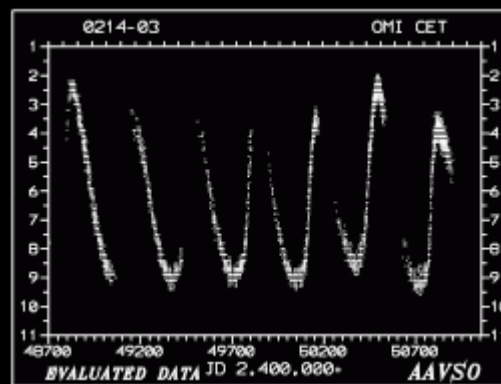
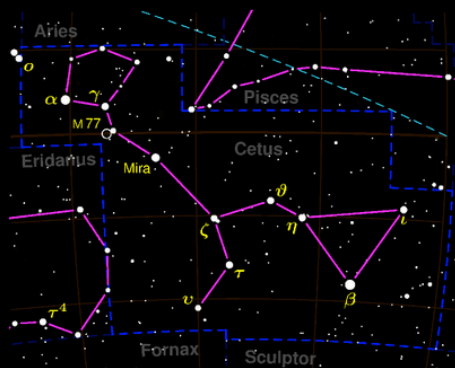
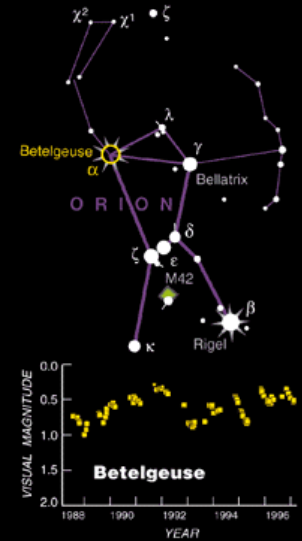
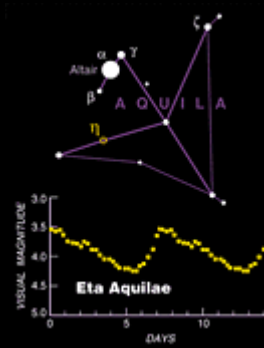
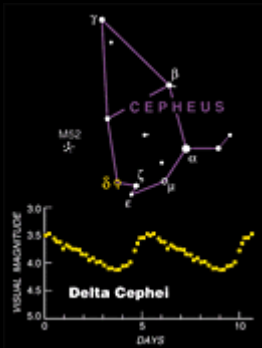
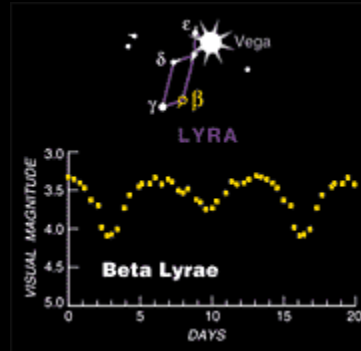
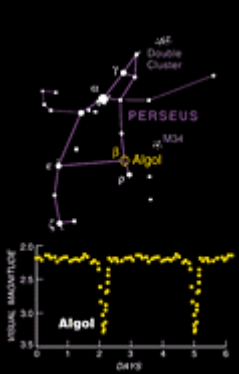
k 4. 11. 2019 1 391 838 proměnných hvězd

⇒ nejkompletnější katalog současnosti

Patrick Wils, Sebastian Otero, Klaus Bernhard



Tucet jasných proměnných hvězd



Klasifikace proměnných hvězd, příčiny a mechanismy proměnnosti

Klasifikace – zejména podle světelné křivky

Označení typu - podle charakteristického znaku nebo typického představitele

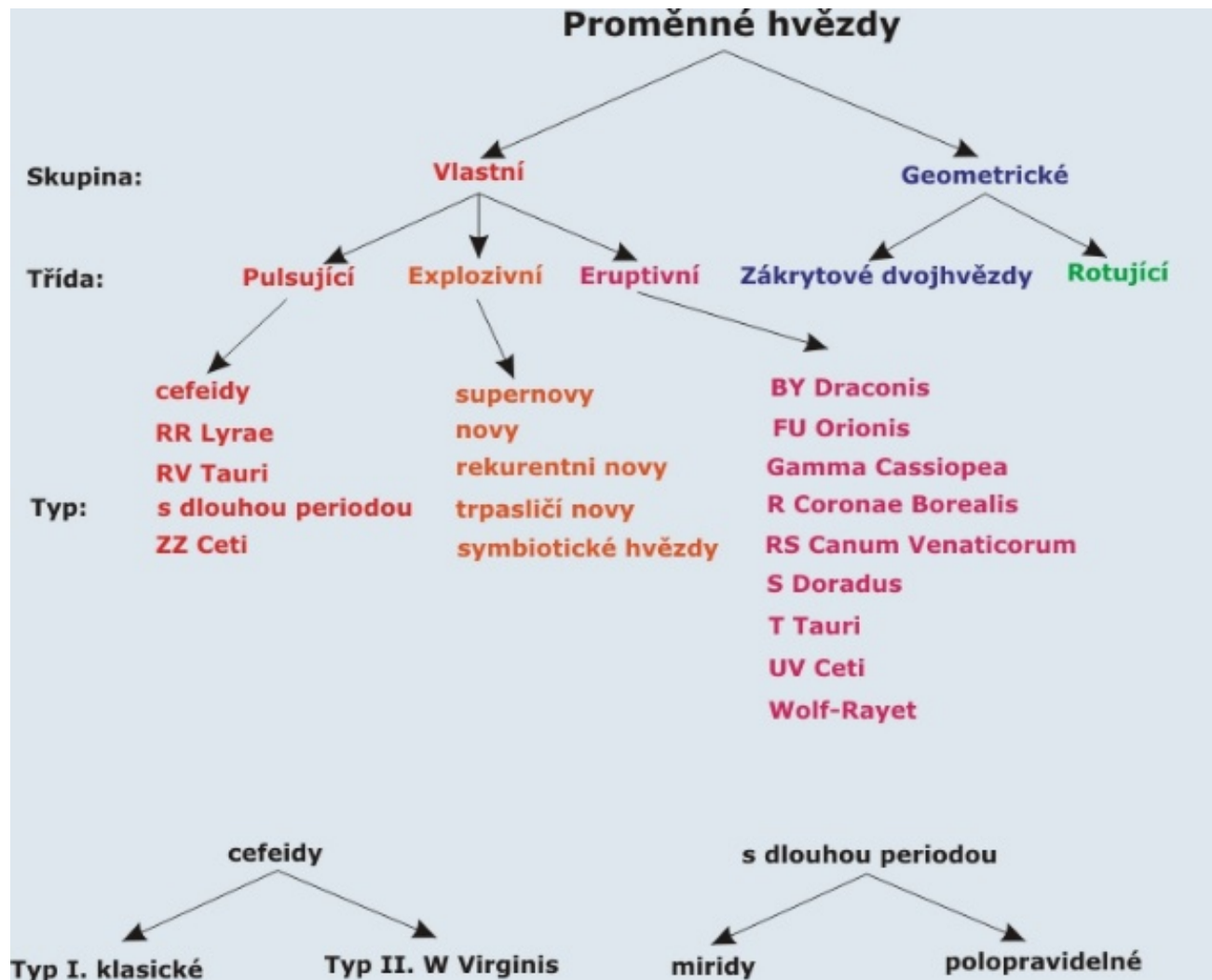
Dělení proměnných hvězd podle mechanismu proměnnosti:

- ❖ **geometrické** (anglicky *extrinsic*) - světelný tok z hvězdy nebo hvězdné soustavy se nemění, mění se však její svítivost nejčastěji v důsledku rotace hvězdy se skvrnami na povrchu nebo oběhu složek dvojhvězdy kolem společného těžiště.
- ❖ **fyzické** (anglicky *intrinsic*) - skutečné proměnné hvězdy; reálně se mění jejich zářivý výkon v daném spektrálním oboru.

lokalizace zdroje změn:

- v okolí hvězdy,
- v povrchových vrstvách hvězdy (nejčastěji - různé projevy hvězdné aktivity),
- v podpovrchových vrstvách (pulzace všeho druhu)
- v jádru hvězdy - ohnisko vzplanutí supernov

ZOO proměnných hvězd



celkem přes 100 typů proměnnosti

Type	GCVS			VSX		
eruptive	4 781	606	0	6 005	1 098	12
pulsating	23 048	5 120	0	78 970	13 254	6 784
rotating	1 434	468	0	10 521	659	148
cataclysmic	846	221	0	2 406	486	23
eclipsing	7 616	748	0	44 083	1 621	3 123
X-ray sources	157	8	0	103	8	2
unclear, others	757	280	0	54 335	3 591	4 142
suma of stars	45 835			209 285		

Stav 2012

Stav 2019

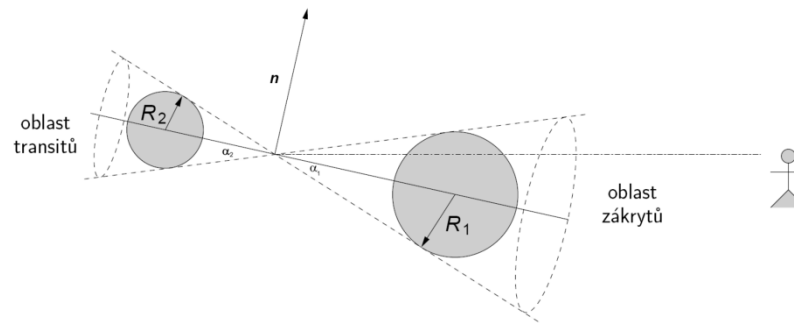
Zákrytové	589 535
Pulsující	489 360
Rotující	94 571
Kataklyzmické	9 727
Rtg. zdroje	184
Supernovy	795

GAIA – řádově miliony EBs

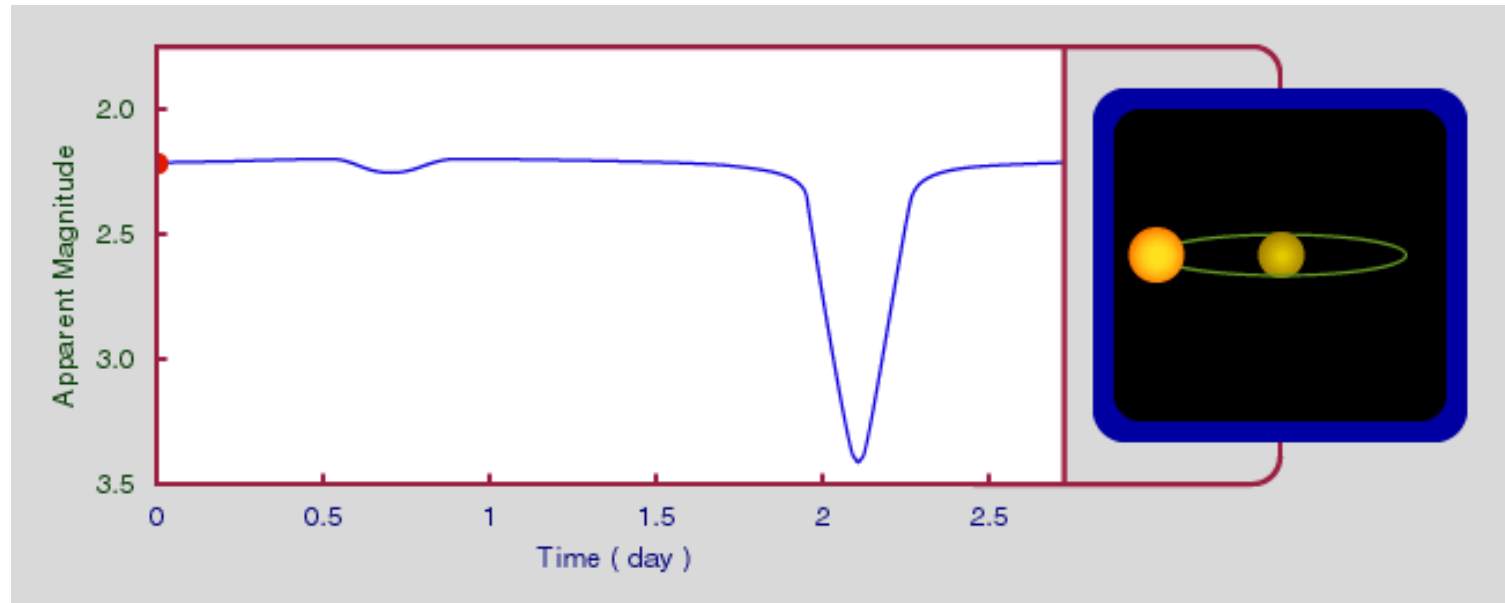
LSST statisíce SNs

Zákrytové dvojhvězdy

- Inklinací úhel i – úhel mezi normálou roviny oběžné dráhy dvojhvězdy a směrem od pozorovatele



- Zákryty nastávají pro $i > 90^\circ - \alpha$, kde $\sin \alpha = \frac{R_1 + R_2}{r}$

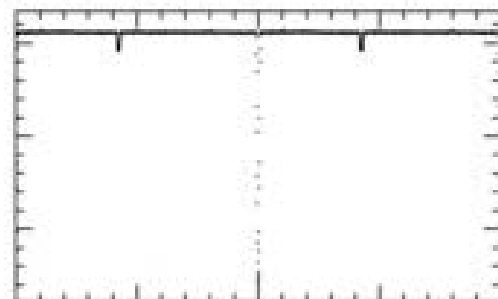
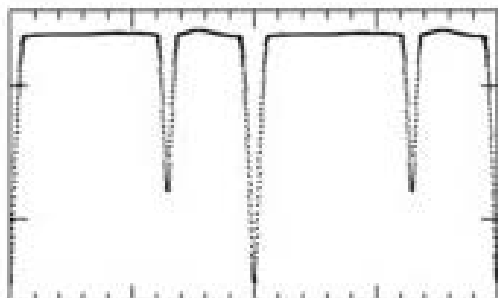
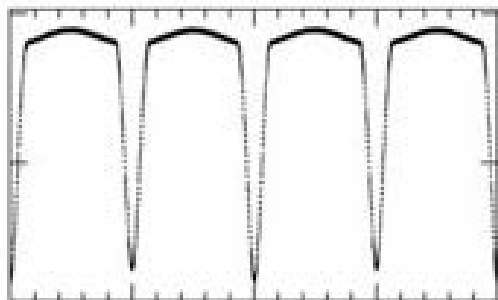


Rozdělení zákrytových dvojhvězd

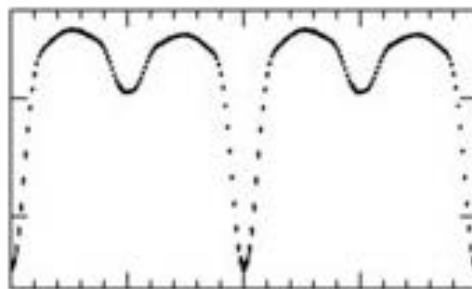
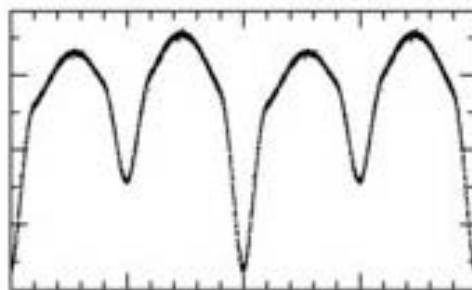
podle světelných křivek

W UMa

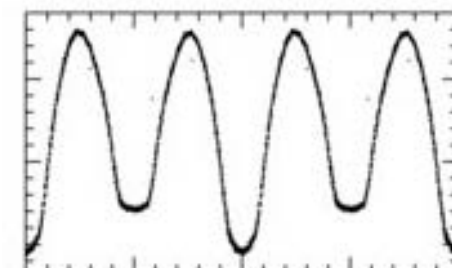
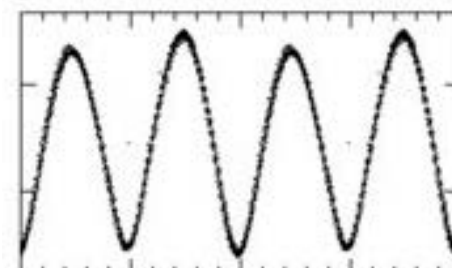
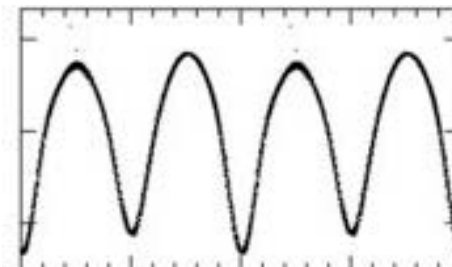
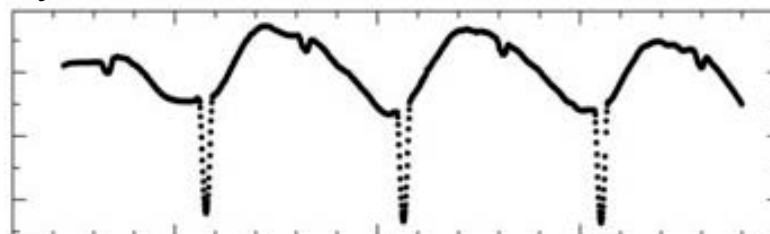
aligidy



β Lyrae



extrémy



Kombinace proměnnosti

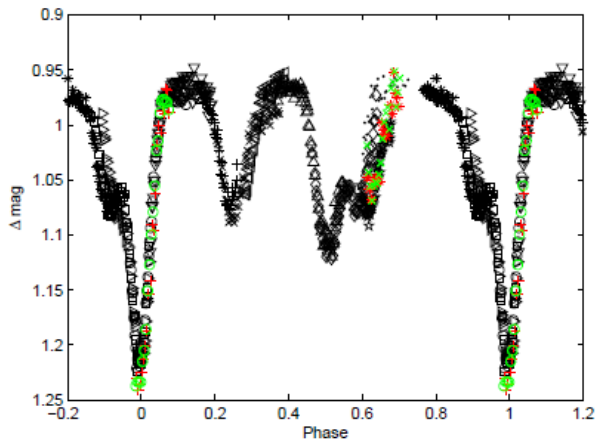
Vícenásobné zákrytové soustavy

V 994 Her ([Lee et al. 2008](#))

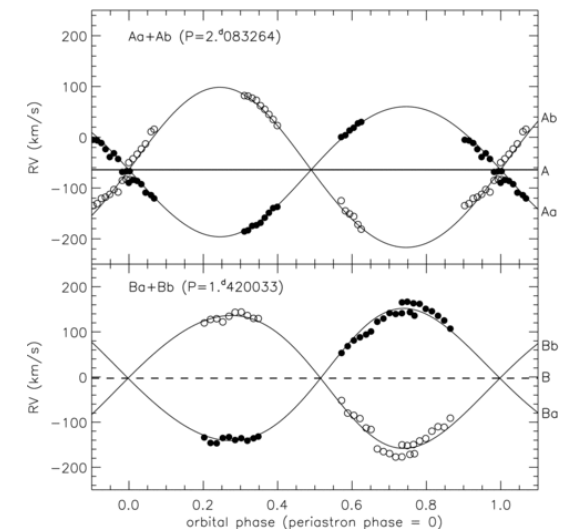
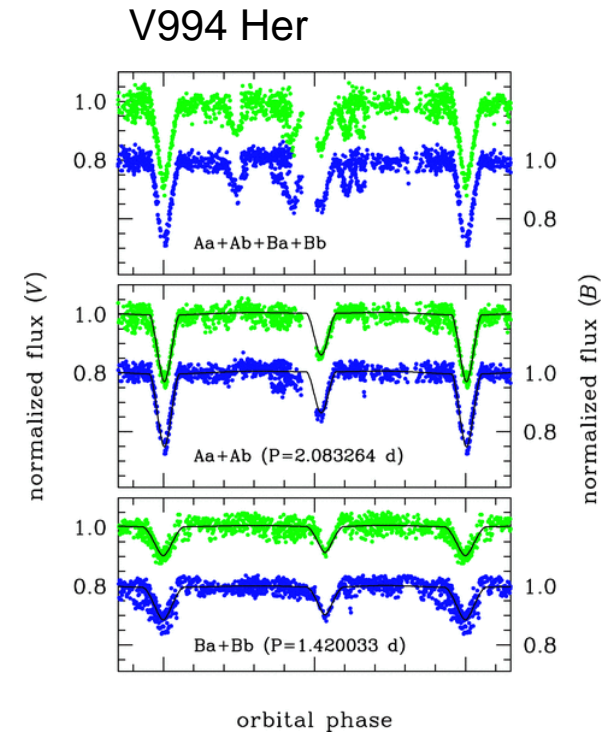
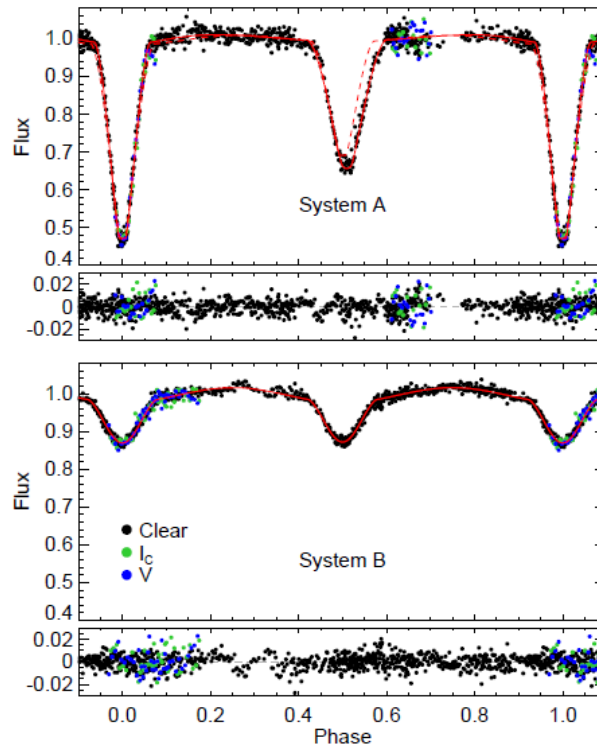
BV + BW Dra ([Batten & Hardie 1965](#); [Batten & Lu 1986](#)),

KIC 4247791 ([Lehmann et al. 2012](#))

CzeV343 ([Cagaš & Pejcha 2012](#))



CzeV343

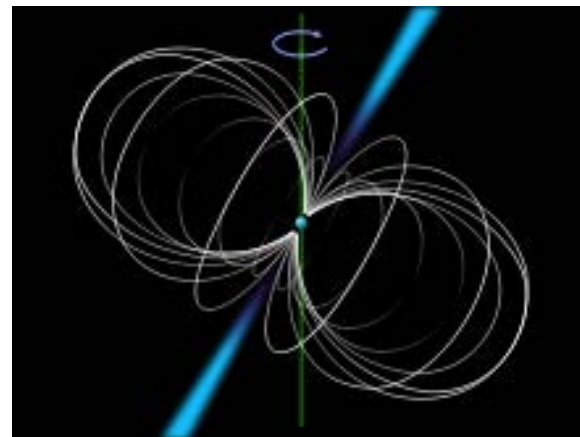
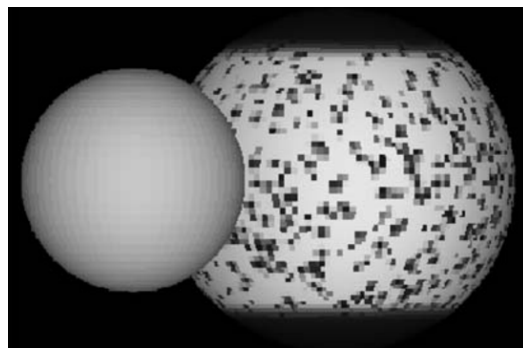
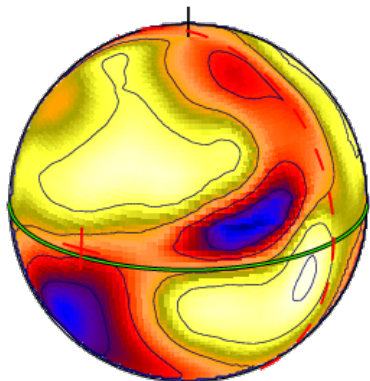
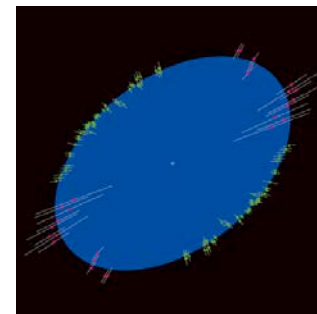
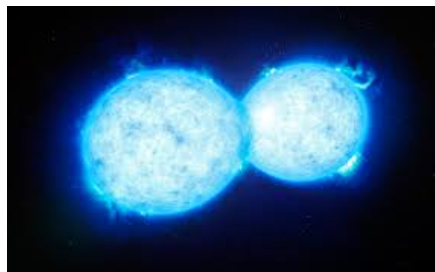


Rotující proměnné hvězdy

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

Příčiny:

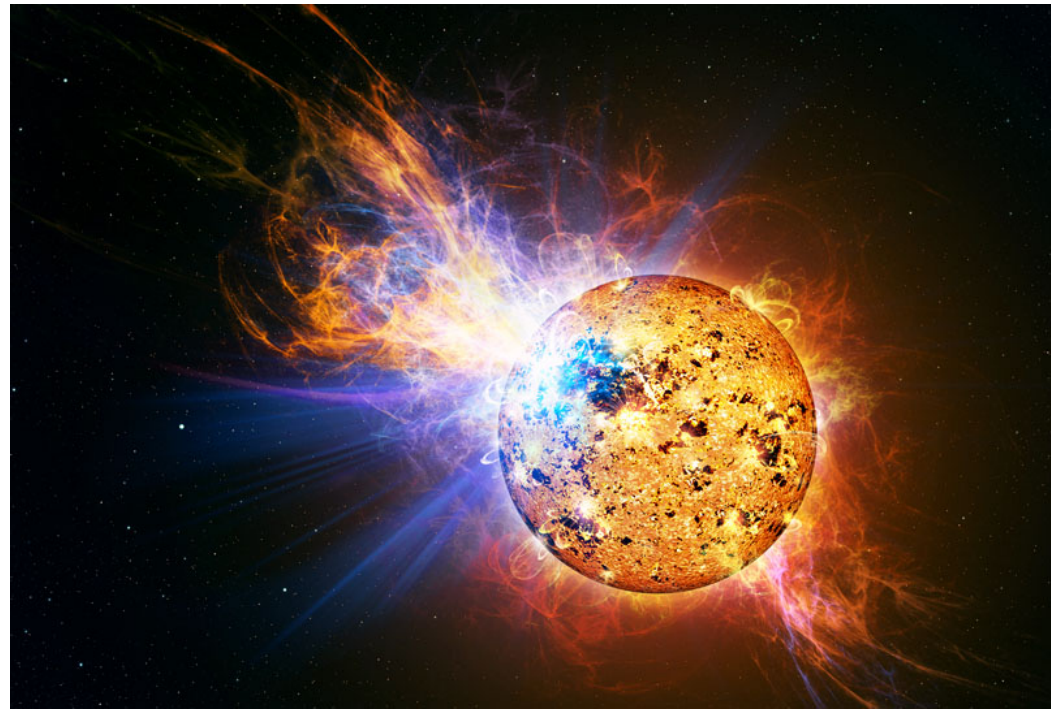
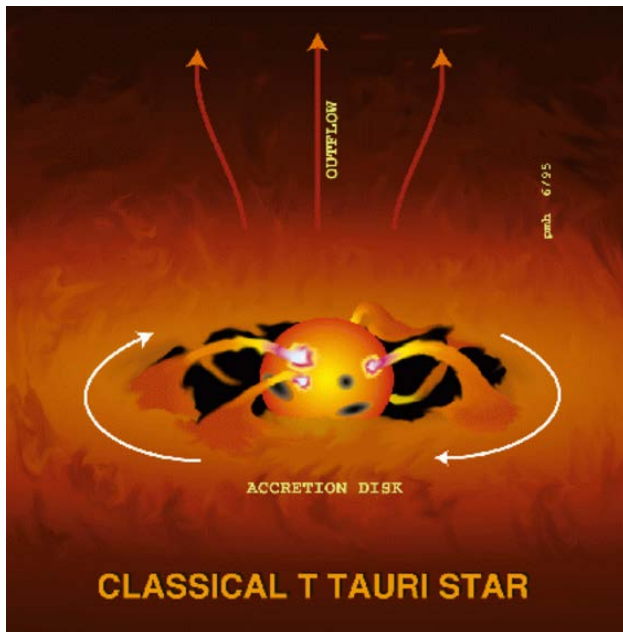
- ❖ **asférické hvězdy** – asférický tvar – přítomnost jiného tělesa nebo rychlá rotace
- ❖ **hvězdné skvrny** – jasnější a tmavší skvrny na povrchu (různá teplota, různé chemické složení, magnetické pole)
- ❖ **magnetická pole** – v oblasti pólů skvrny, směrování toku záření; mohou generovat další projevy



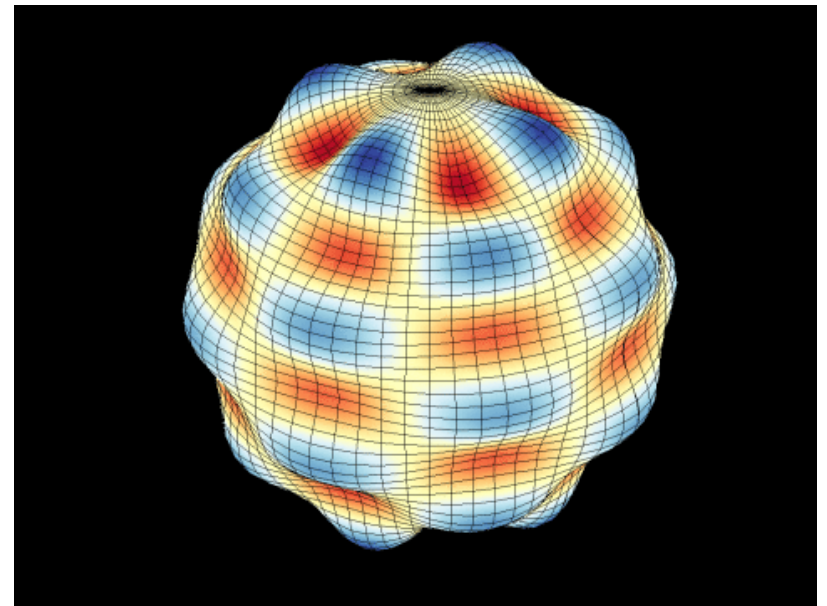
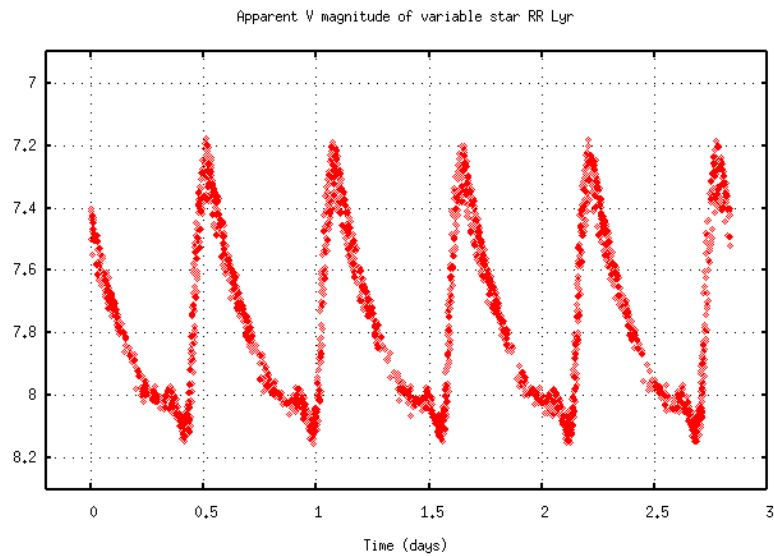
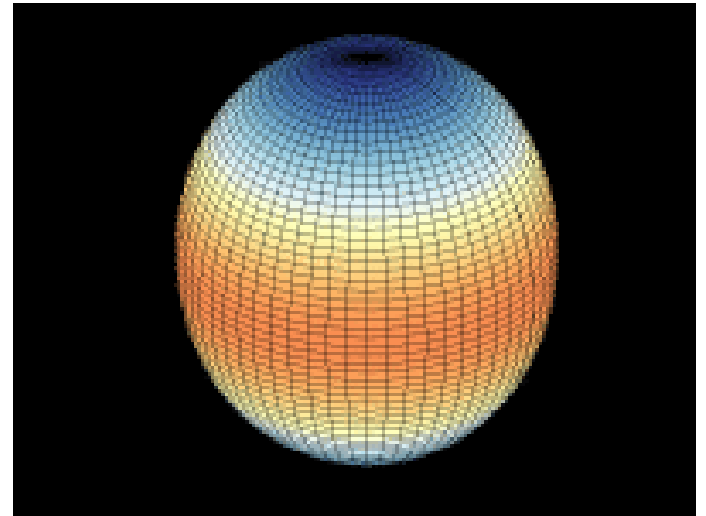
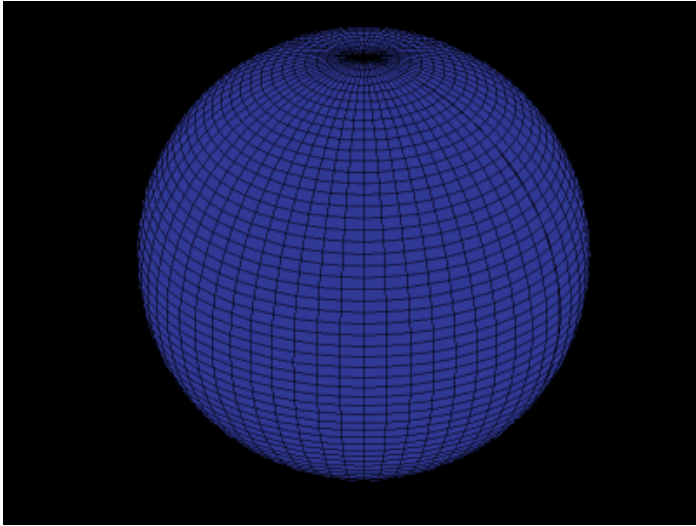
Fyzické proměnné hvězdy

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



Pulzující proměnné hvězdy



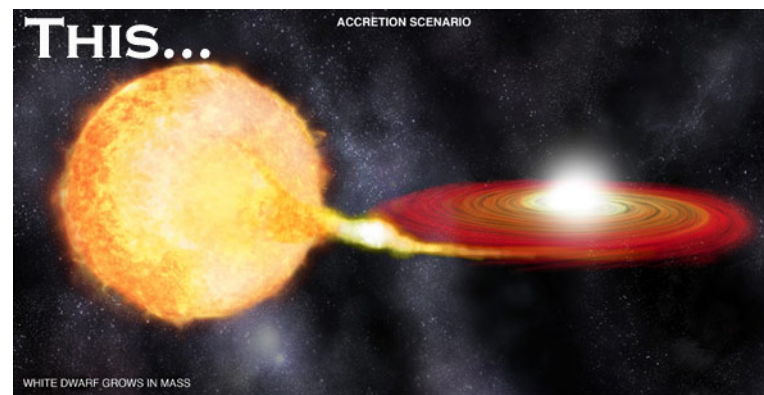
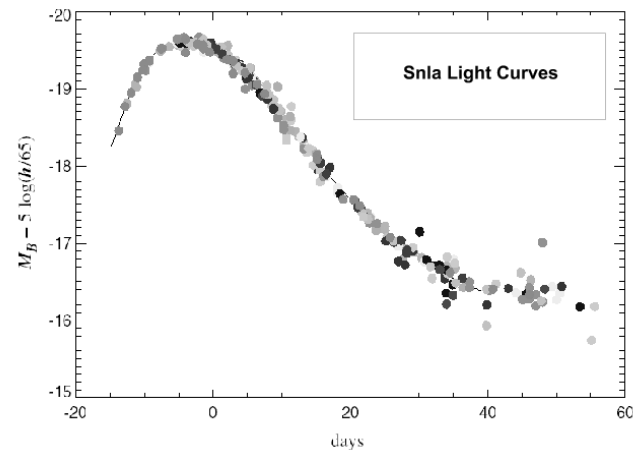
Supernova Ia

vzniká v těsné dvojhvězdě (1 složka BT, kde ustaly jaderné reakce).

standardní svíčky $M_V = -19.3$ mag, ale

dva scénáře:

- BT přijímá hmotu ze souputníka -> roste hmotnost => roste teplota => zapálení uhlíku -> sejmutí degenerace => kolaps => exploze ($1-2 \times 10^{44}$ J)
- BT splyne se souputníkem – překročení hmotnosti -> kolaps => nárůst teploty => zapálení C -> sejmutí degenerace => kolaps => exploze ($1-2 \times 10^{44}$ J)



Pár poznámek o Brnu a proměnných hvězdách

univerzitní centrum: Josef Mikuláš Mohr, Luboš Perek

60cm dalekohled 1954

Vladimír Vanýsek, Jiří Grygar, Zdeněk Kvíz nebo Luboš Kohoutek.

současnost – ÚTFA PŘF MU, Zdeněk Mikulášek

oblasti – CP hvězdy, zákrytové dvojhvězdy, pulsující RR Lyrae,
proměnné hvězdy v otevřených hvězdokupách

konference, možnosti, spolupráce

hvězdárna: Oto Obůrka – HaP MK, Sekce ČAS (Jindřich Šilhán, Zdeněk Pokorný, Zdeněk Mikulášek, Miloslav Zejda)



