

Vzdělávací soustředění studentů projekt KOSOAP Proměnné hvězdy a možnosti jejich pozorování a výzkumu

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKOU UNIÍ, Z PROSTŘEDKŮ FONDU MIKROPROJEKTŮ
SPRAVOVANÉHO REGIONEM BÍLÉ KARPATY



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



TRENČIANSKY
SAMOSPRAVNÝ
K • R • A • J

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVANÝ EURÓPSKOU ÚNIOU, Z PROSTRIEDKOV FONDU MIKROPROJEKTOV
SPRAVOVANÉHO TRENČIANSKYM SAMOSPRAVNÝM KRAJOM

Mechanizmy hvězdné proměnnosti



Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.
Kysucká hvězdáreň v Kysuckom Novom Meste



Luboš Brát, Sekce proměnných hvězd a exoplanet ČAS

Mechanismy hvězdné proměnnosti

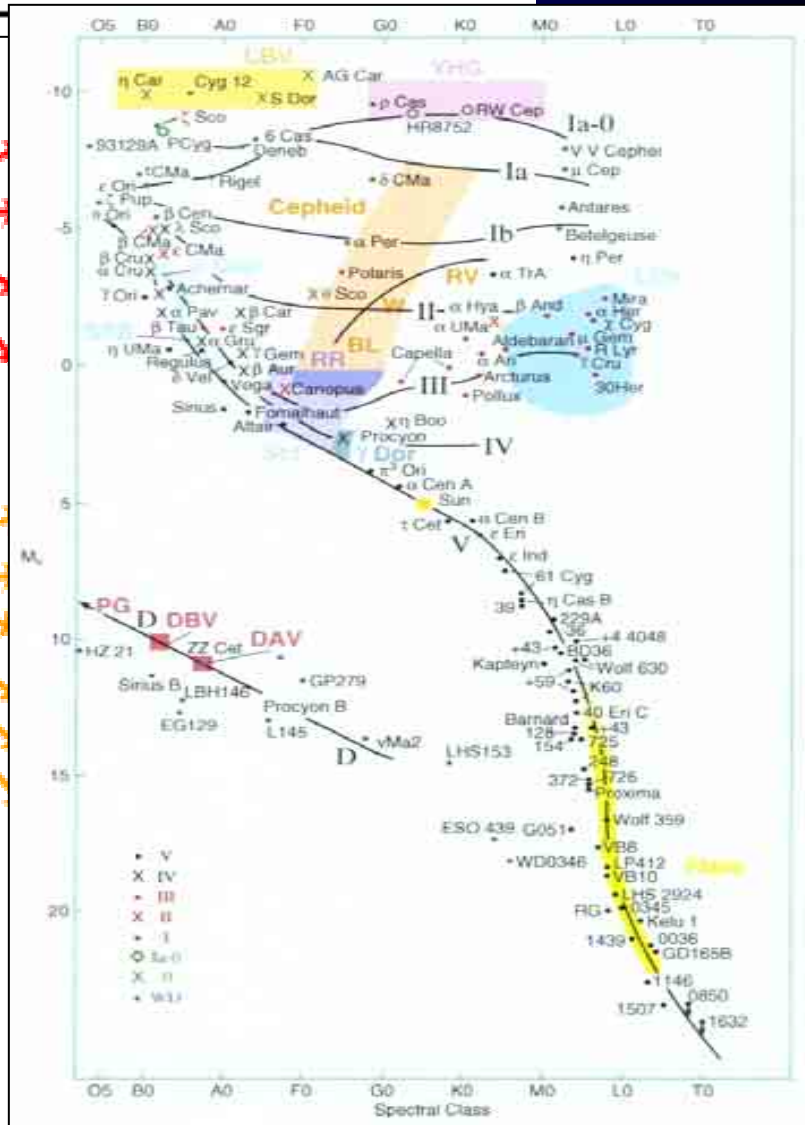
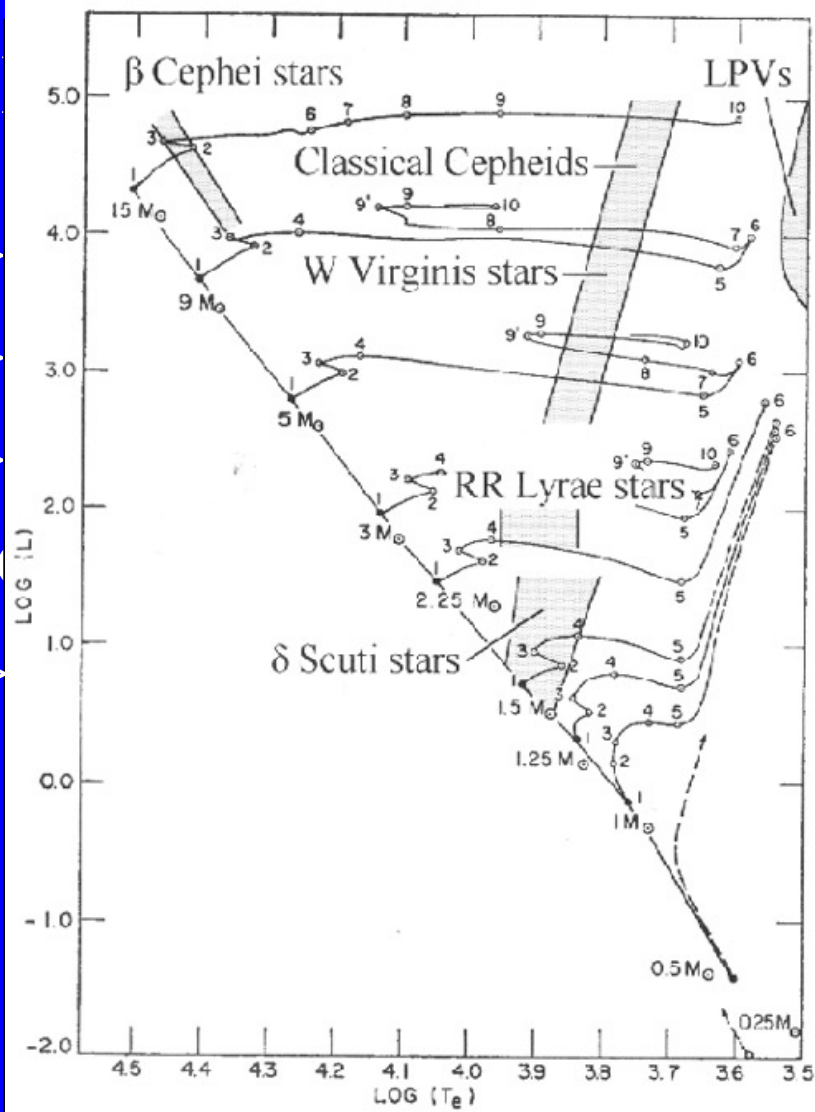
Bc. Luboš Brát

**PROMĚNNÉ HVĚZDY A MOŽNOSTI JEJICH POZOROVÁNÍ A VÝZKUMU,
Listopad 2011**

⇒
⇒
⇒
⇒

hν

⇒



- dva základní mechanismy proměnnosti
 - A. **GEOMETRICKÉ proměnné** (*nemění se světelný tok z hvězdy či hvězdné soustavy, ale mění se pozorovaná svítivost*)
 - B. **FYZICKÉ proměnné** (skutečně proměnné hvězdy, u nichž se mění jejich zářivý výkon v daném spektrálním oboru)

GEOMETRICKÉ proměnné hvězdy

- proměnnost kvůli rotaci hvězdy
- proměnnost kvůli oběhu těles

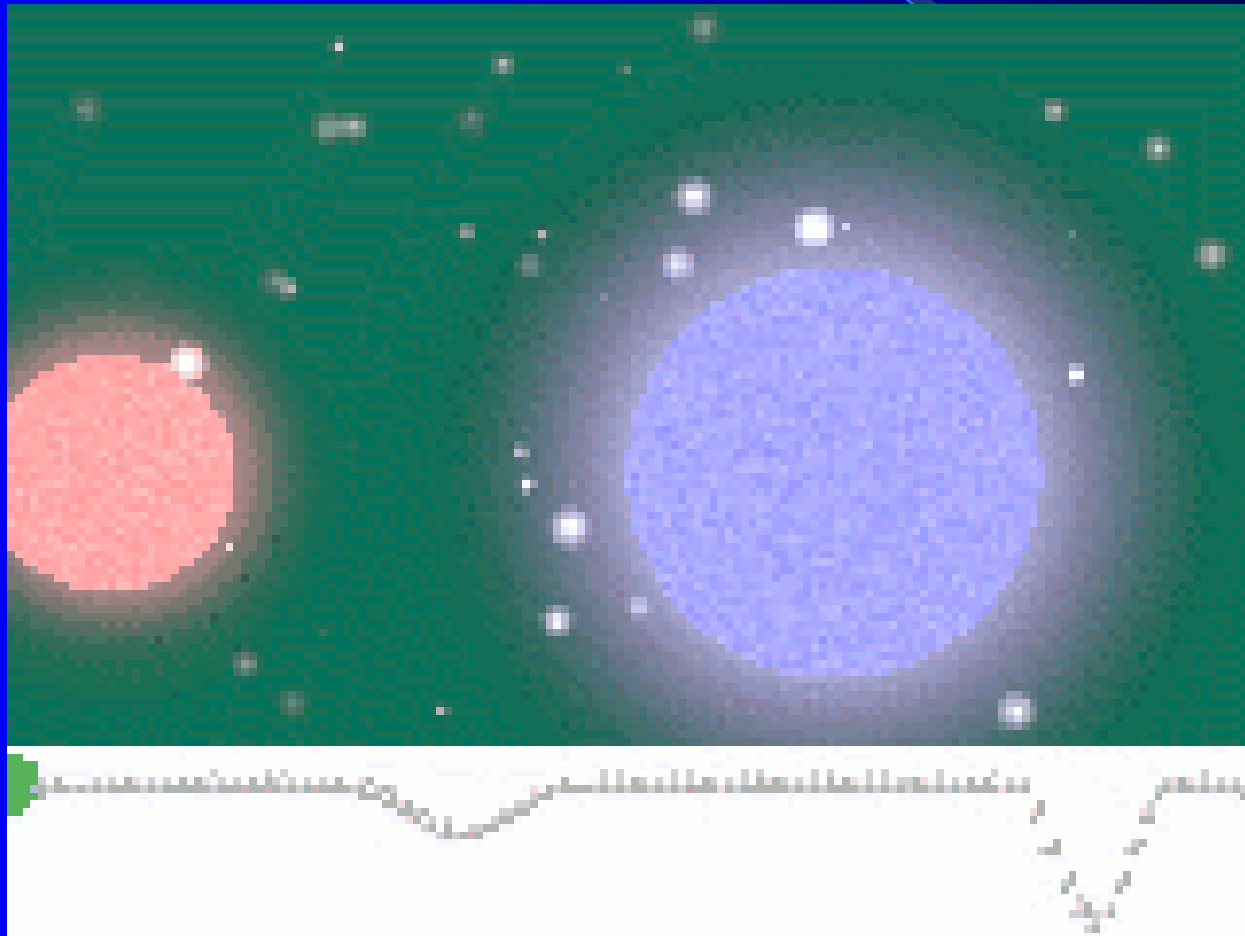
A 1. Rotující proměnné

- záření objektu není izotropní a osa rotace neprochází směrem k pozorovateli
- téměř vždy souvislost s přítomností magnetického pole, přičemž osa magnetického pole je odlišná od osy rotační
- Pulzary, Ap hvězdy, RS CVn,

A 2. Dvojhvězdy

- složky dvojhvězdy se při svém oběhu *vzájemně zastiňují* (vůči pozorovateli)
- složky těsné dvojhvězdy jsou *slapově deformovány* a mají rotaci vázanou na dobu oběhu. Pozorujeme různě velký průřez kolmý na směr k pozorovateli a zároveň platí, že menší povrchový jas je v místech s menším gravitačním zrychlením a naopak
- v těsných dvojhvězdách se uplatňuje i *efekt odrazu* – složky se vzájemně osvětlují. Světlo složky se ve fotosféře druhé složky rozptýlí a vyzáří do prostoru a zároveň absorbuje a nahřeje fotosféru. Oba projevy vedou ke zvýšení jasu přivrácených stran dvojhvězdy.
- efekt odrazu je nejvýraznější při konfiguraci normální hvězda + zhroucená složka s akrecí hmoty. Zhroucená složka vyzařuje rentgenové záření, které nahřívá druhou složku soustavy až o 1000 K.
- *zákryty akrečním diskem* či *plynnými proudy* při přetoku hmoty

A 2. Zákrytové dvojhvězdy

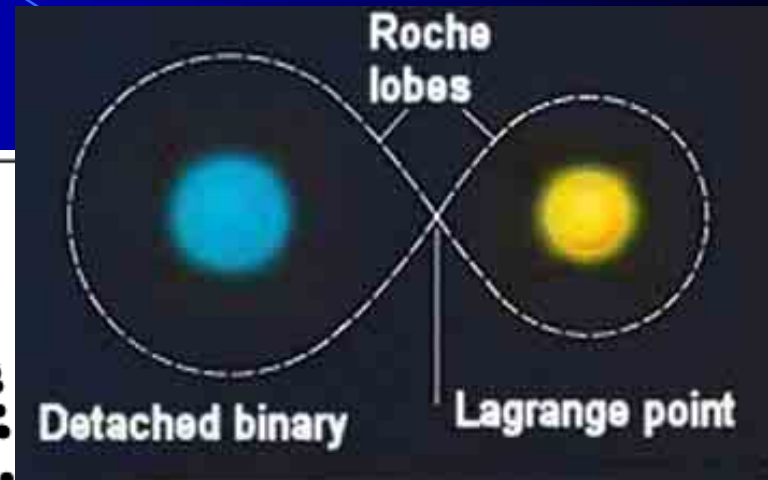
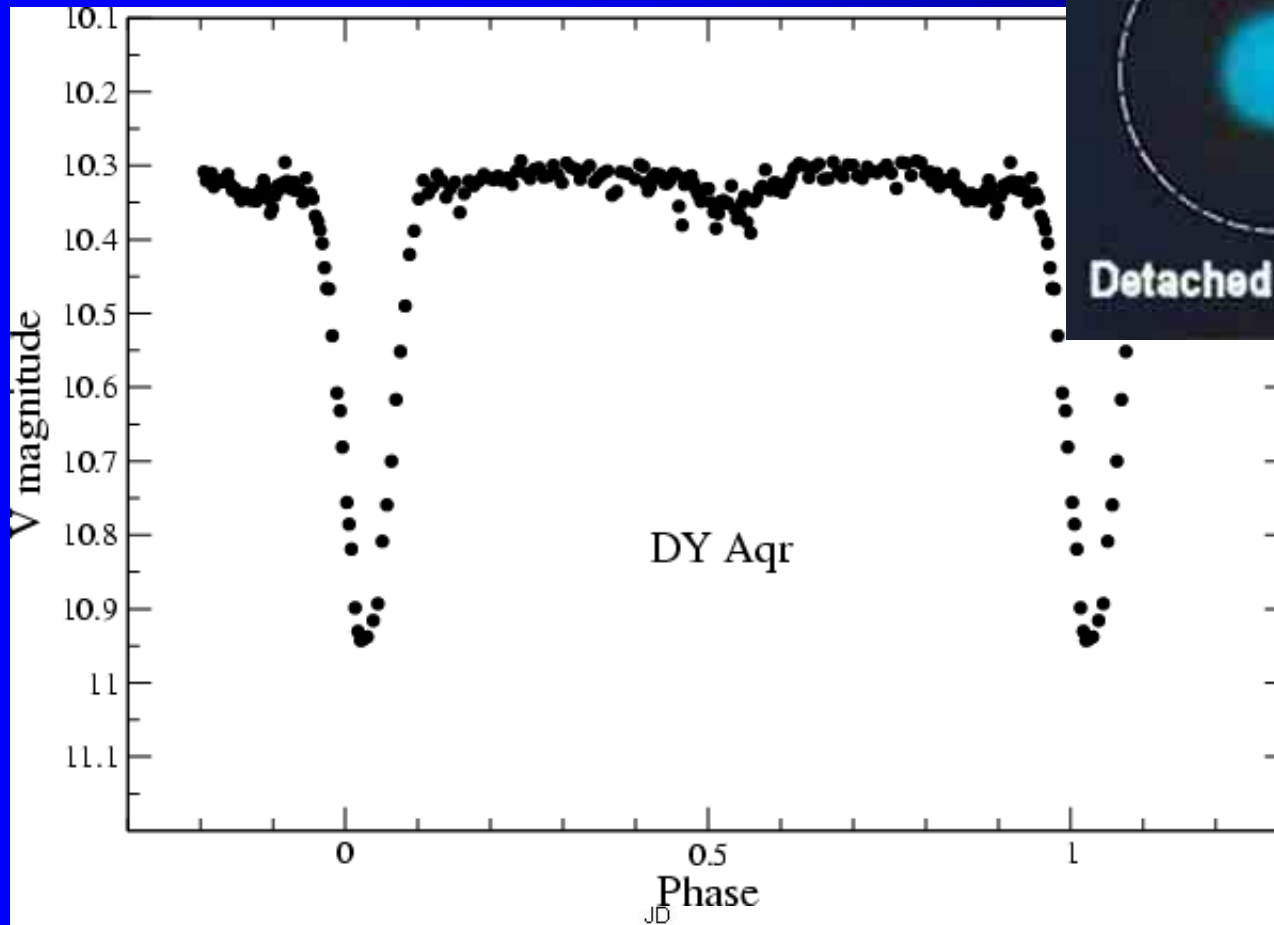


A 2. Zákrytové dvojhvězdy

- Astrofyzikální laboratoře, které nám umožňují zjistit:
 - hmotnost systému i jednotlivých složek M_1 a M_2
 - zářivé výkony složek L_1 a L_2
 - rozměry obou hvězd R_1 a R_2
 - vzájemnou vzdálenost složek
 - povrchovou teplotu složek T_1 a T_2
 - tvary obou hvězd
 - skvrny na povrchu složek
 - případnou přítomnost 3. tělesa (trojhvězda)
 - excentricitu systému
 - stáčení přímky apsid
 - únik hmoty ze systému

A 2. Zákrytové dvojhvězdy ukázkový rozbor

1. Pořízení světelné křivky



- => dotyk. / polodotyk. / oddělený systém
- => poměr R_1/R_2 , vzdálenost složek versus $\sin i$
- => L_1/L_2 versus R_1/R_2

A 2. Zákrytové dvojhvězdy

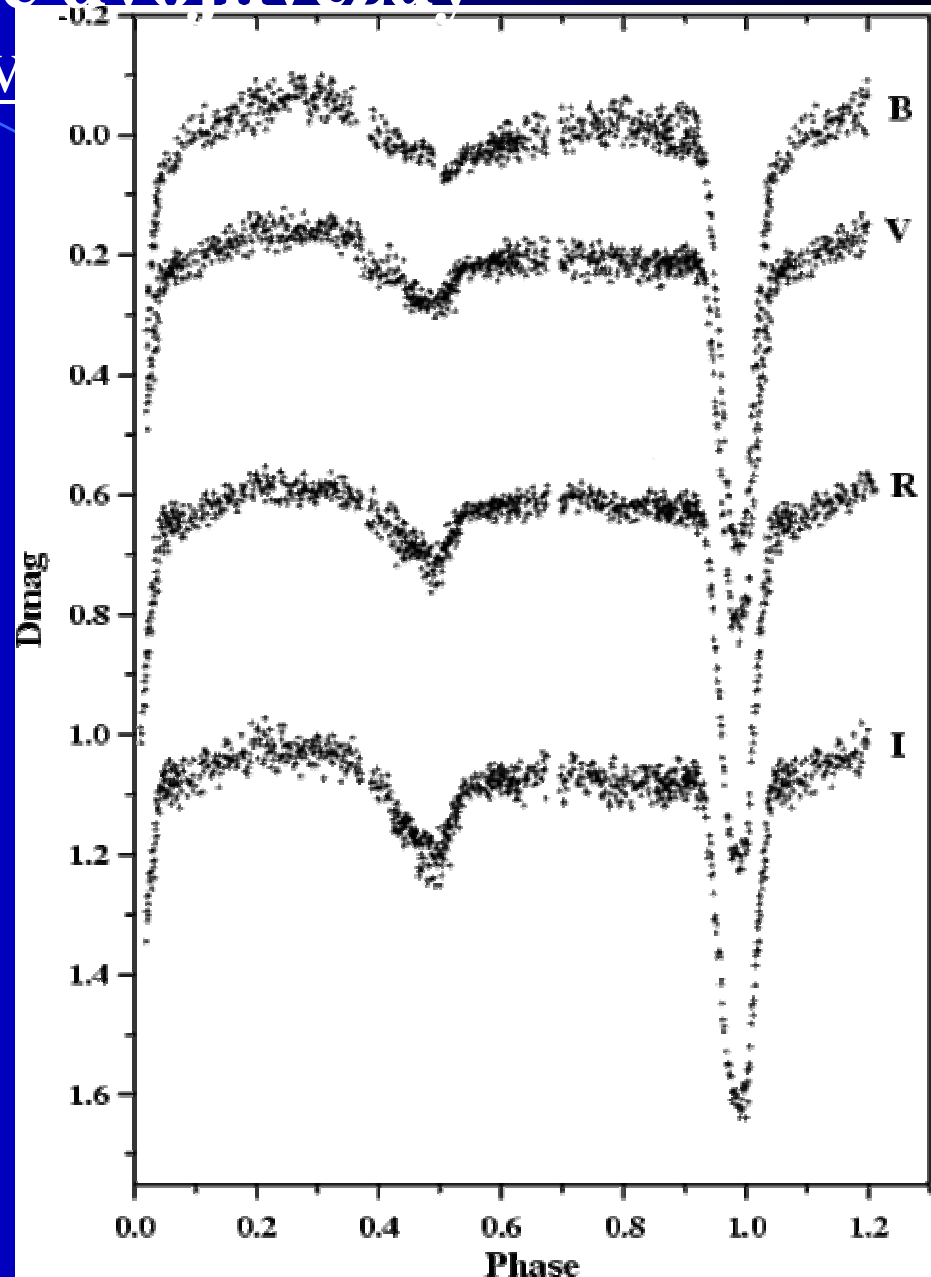
ukázkov

2. Změny barevných indexů

=> lze určit T_1, T_2

=> L_1, L_2

=> $R_1, R_2 / \sin i$



A 2. Zákrytové dvojhvězdy

ukázkový rozbor

3. Pořízení křivky radiálních rychlostí

=> M_1, M_2

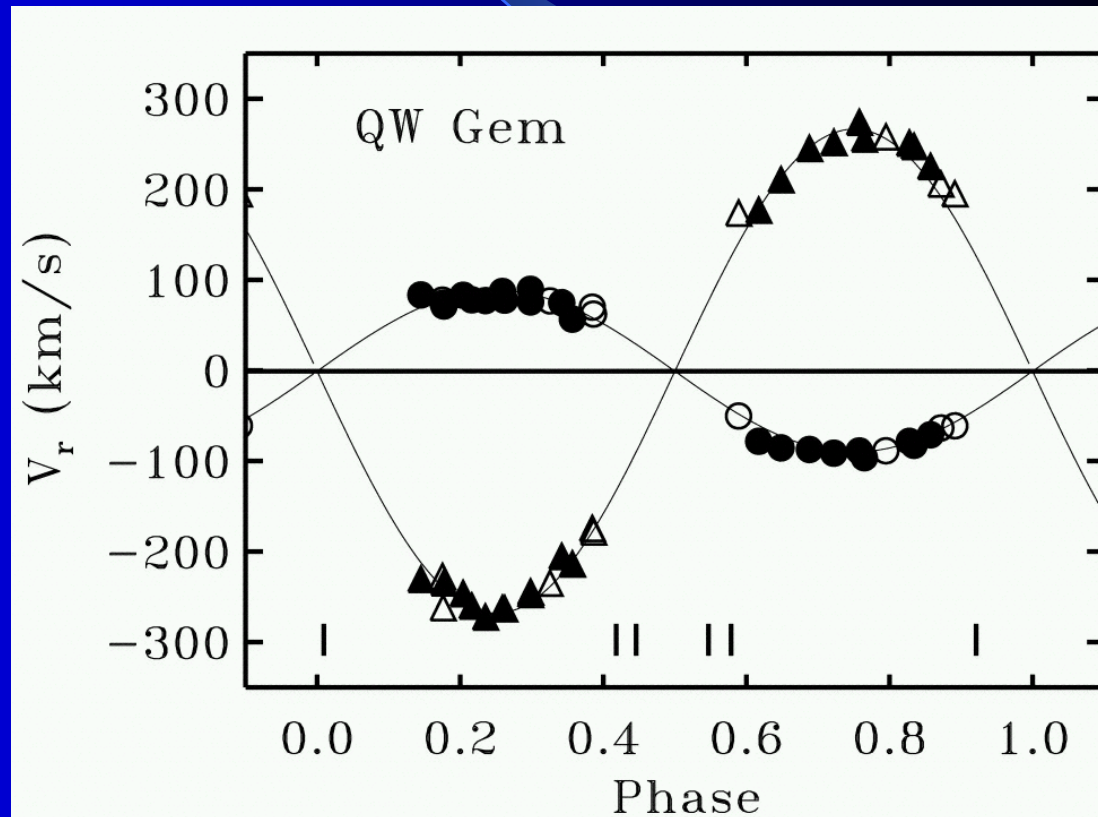
=> R_1, R_2 , vzdálenosti

=> excentricita

=> L_1, L_2

=> T_1, T_2

=> $\sin i$

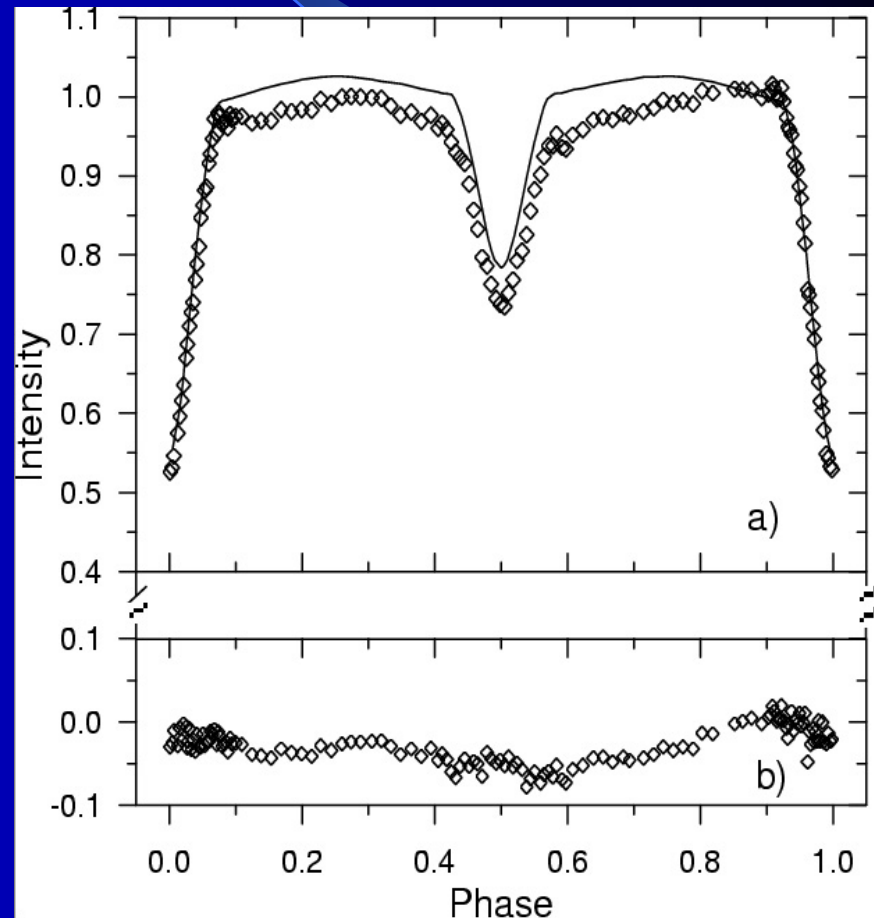
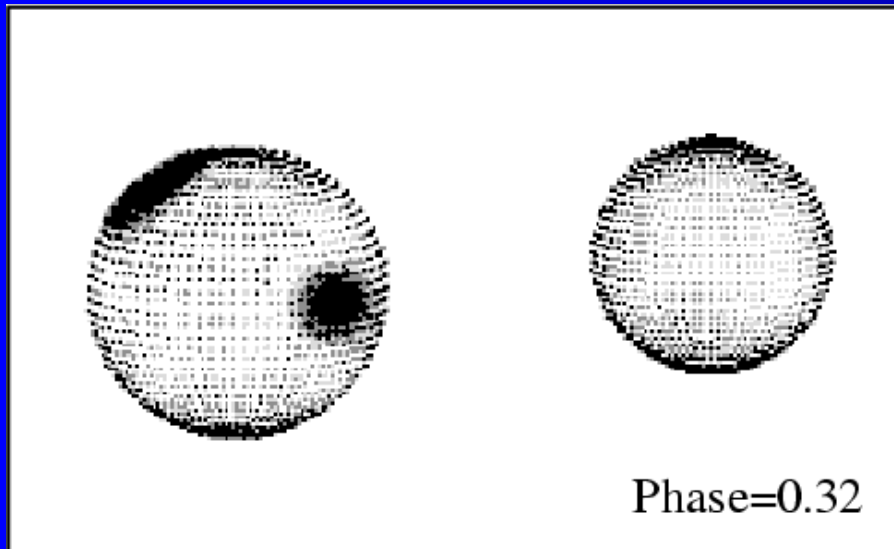


... úplná informace o systému!

A 2. Zákrytové dvojhvězdy

ukázkový rozbor

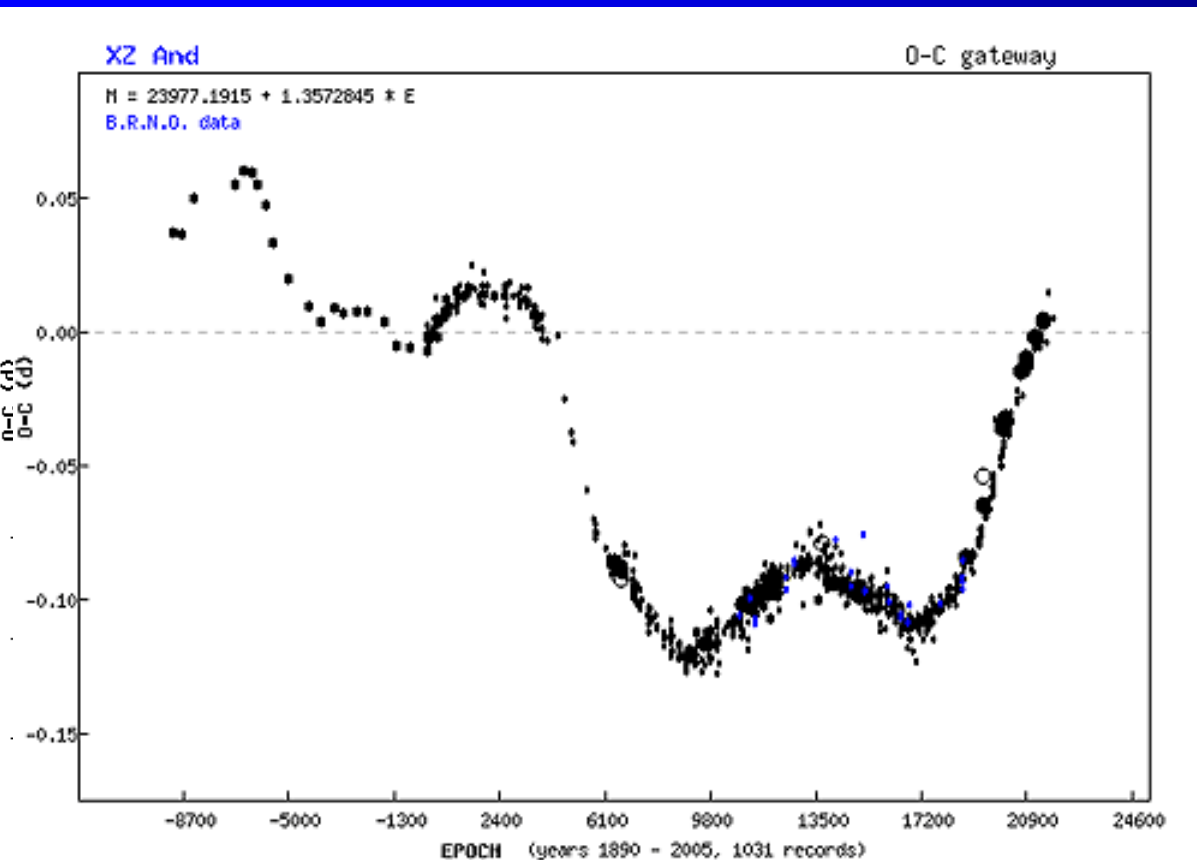
4. Změny druhého řádu – projevy fotosférické aktivity



A 2. Zákrytové dvojhvězdy

ukázkový rozbor

5. Dlouhodobý monitoring systému – měření středu zákrytů => O-C diagram



- P správná, E správná
- P správná, E špatně
- P špatně, E špatně
- P se skokově prodloužila
- P se neustále zkracuje
- P se neustále prodlužuje
- Light Time Effect
- Stáčení přímky apsid
- Kombinace více faktorů

A 2. Zákrytové dvojhvězdy ukázkový rozbor

5. Dlouhodobý monitoring systému
 - měření středu zákrytů \Rightarrow O-C diagram
 - \Rightarrow únik hmoty ze systému přes Lagrangeovy body L2 a L3
 - \Rightarrow přítomnost a vliv cirkumstelární obálky
 - \Rightarrow přítomnost a parametry třetího tělesa
 - \Rightarrow hodnota stáčení přímky apsid u excentrických dvojhvězd

B FYZICKÉ proměnné hvězdy

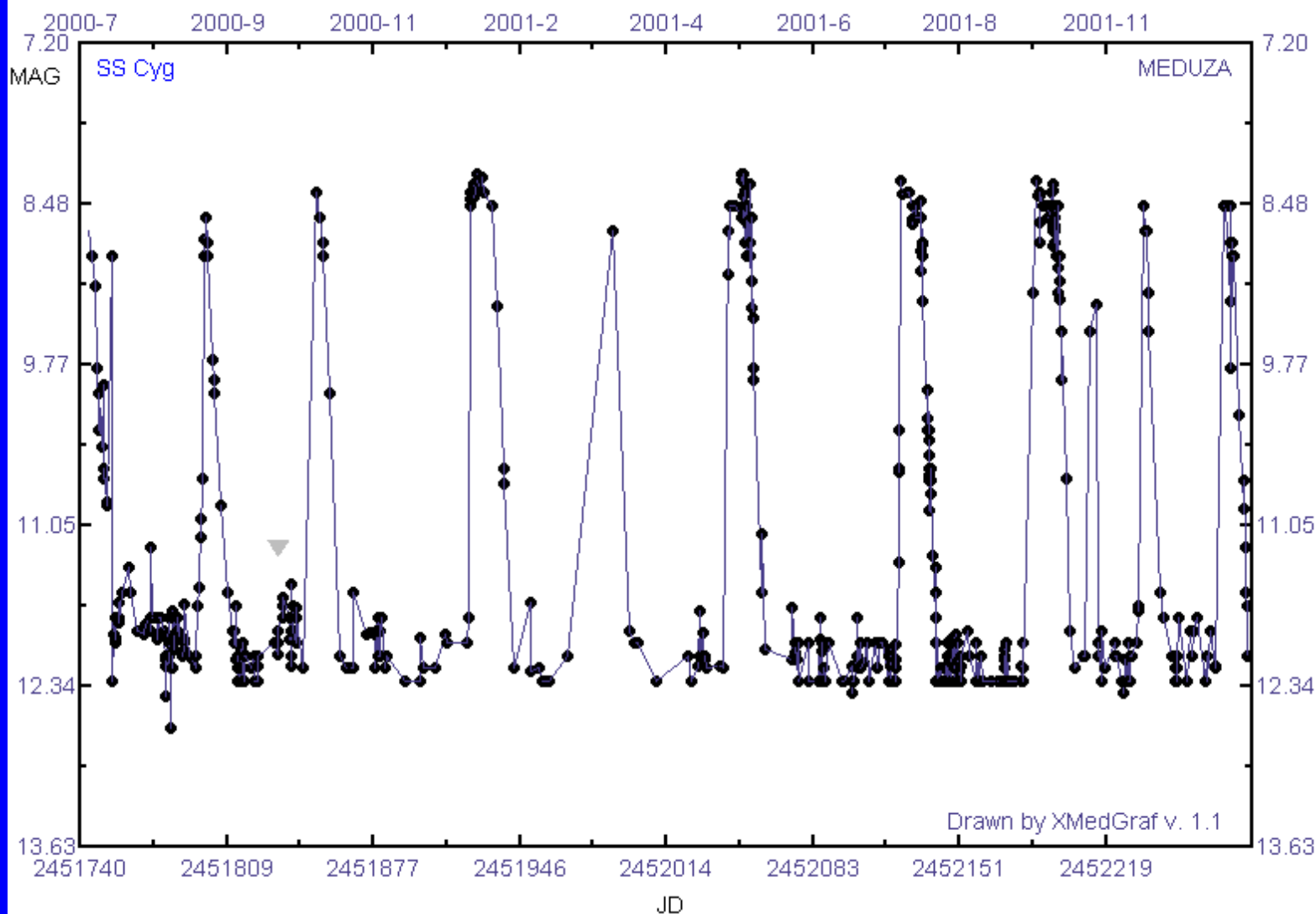
- reálné změny charakteristik (L, R, M) v čase
- týká se to různých oblastí hvězdy
 - těsného okolí hvězdy
 - v povrchových vrstvách, většinou projevy hvězdné aktivity
 - v podpovrchových vrstvách, nejčastěji pulsace
 - v jádru – rychlé fáze hvězdného vývoje, supernovy

B 1. Nestacionární děje v okolí hvězdy

- okolohvězdný materiál / zárodečná mlhovina u T Tauri, FU Ori (dopady na hvězdu) či odvržená obálka po výbuchu novy či supernovy (interakce s mezihvězdnou látkou, rázové vlny)
- materiál v interagujících dvojhvězdách – *akreční disk* (materiál ze složky – dárkyně – si s sebou nese moment hybnosti => nedopadá přímo na BT, ale vytváří akreční disk. Při turbulentním pohybu dochází k přeměně E_p na vnitř. energii částic => pokles látky v disku směrem k BT = zjasnění (*trpasličí novy*)). Kolísání jasnosti horké skvrny v akr. Disku = *flickering*

HH 30

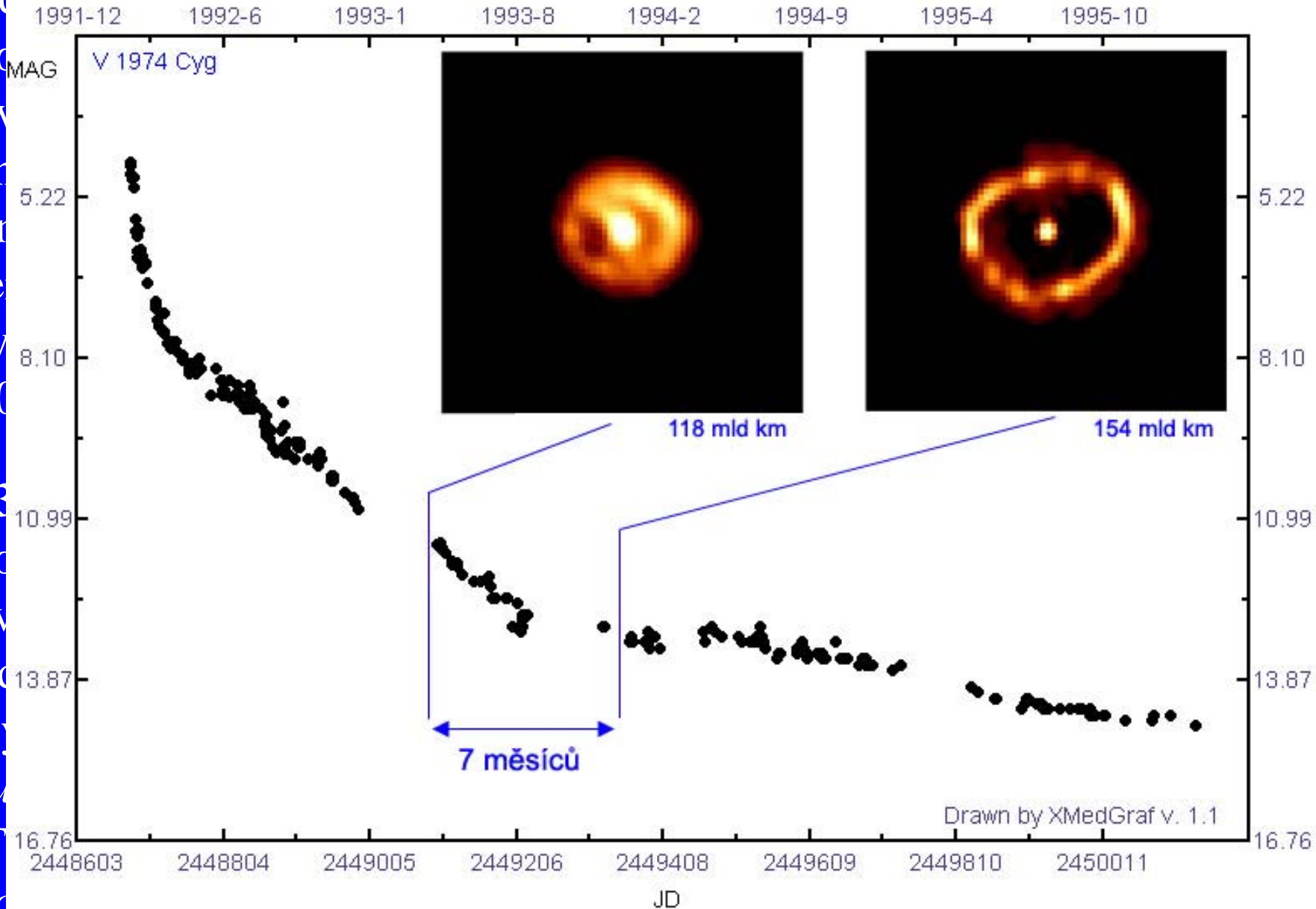
DG Tau B



PRC99-05b • STScI OPO

C. Burrows and J. Krist (STScI), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

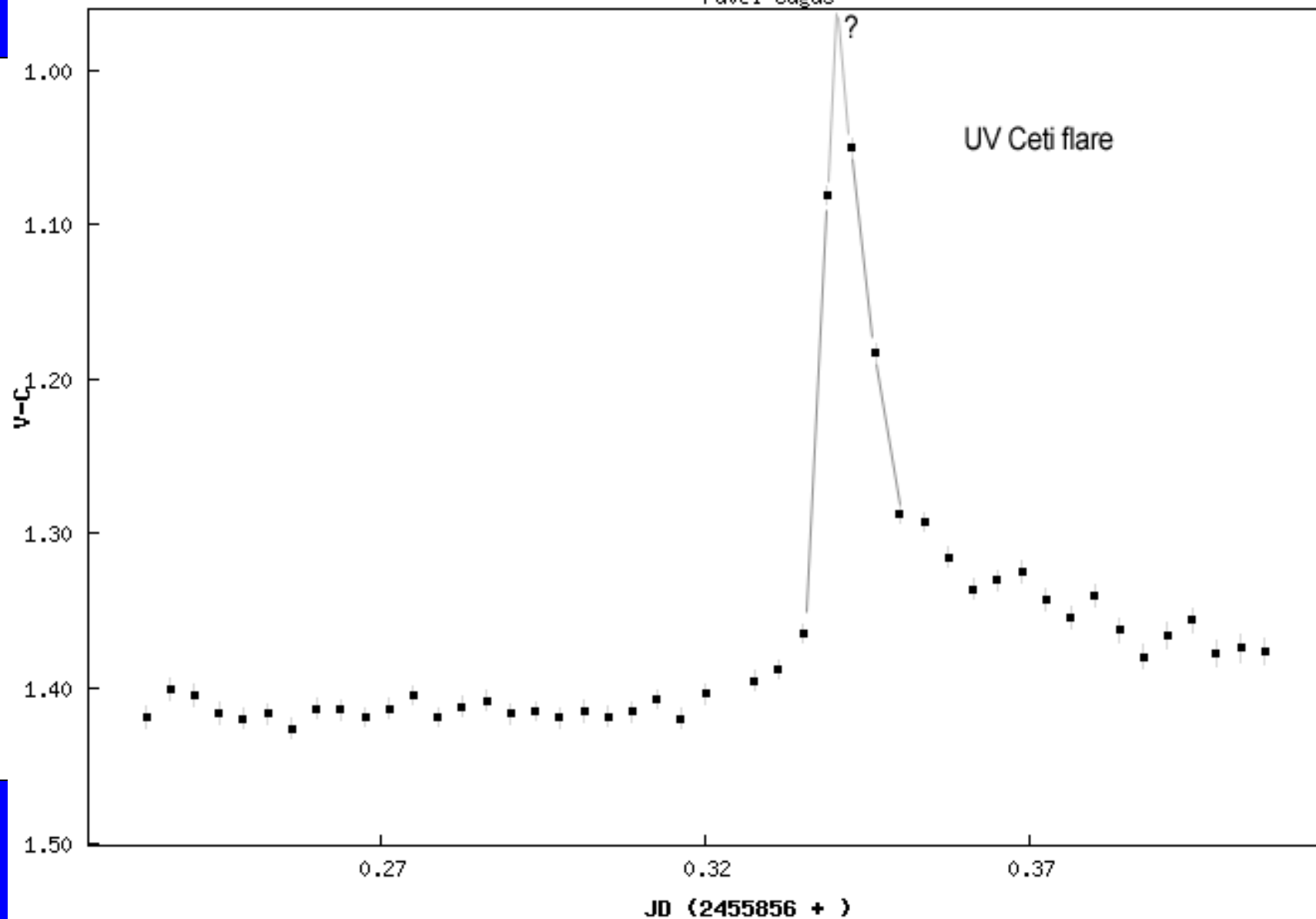
B 2. Nestacionární děje na povrchu hvězdy



B 3
- fo
skv
poc
- by
eru
- T
proj

UNA 0975-16973908 AQL

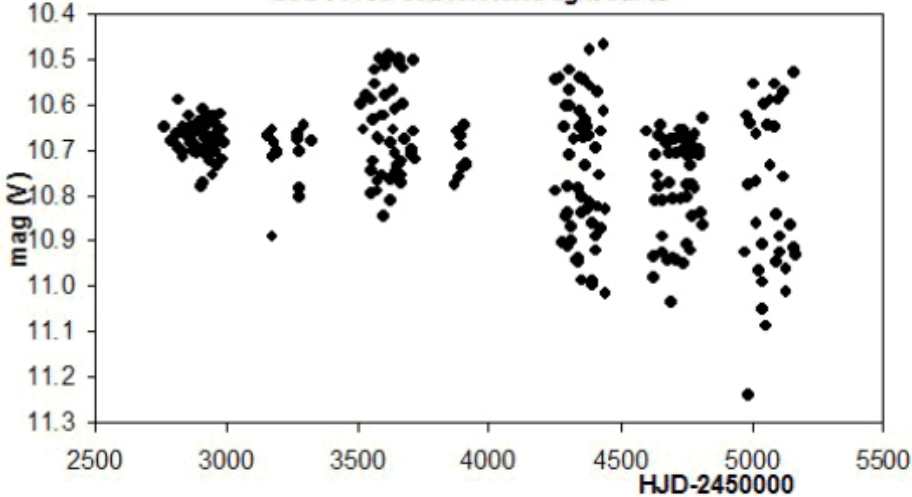
BSO Zlin
Pavel Cagas



- *Obří a veleobří* – rovněž chromosférická aktivita, *hvězdný vítr* => ztráta hmoty

RS CVn (skvrnití psi) – těsné dvojhvězdy. Zde fotosférická skvrny

GSC 01159-00245: ASAS light curve



No. 148: GSC 01159-00245

Period: 18.11(1) d

NSVS data: <http://skydot.lanl.gov/nsvs/star.php?num=11826310&mask=32004>

2MASS J-K: 0.707

Johnson B-V=1.122 (derived from Tycho-2)

Proper motion: pmRA: -12.16 mas/yr, pmDE: -47.92 mas/yr (Roeser et al., 2008)

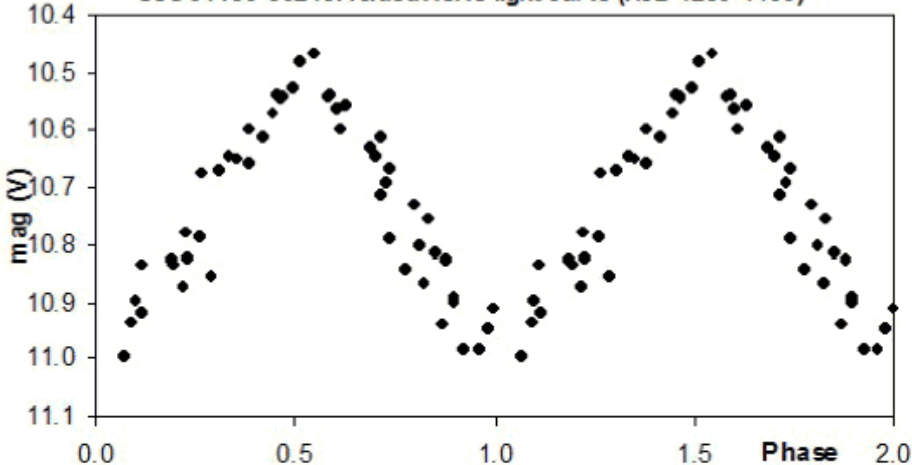
ROSAT: HR1= 0.69, HR2= 0.25, fxfopt=-2.46

Spectral type: K1e (Skiff, 2010)

Known variable: type LPV (<http://hal.physast.uga.edu/~jss/nsvs/>)

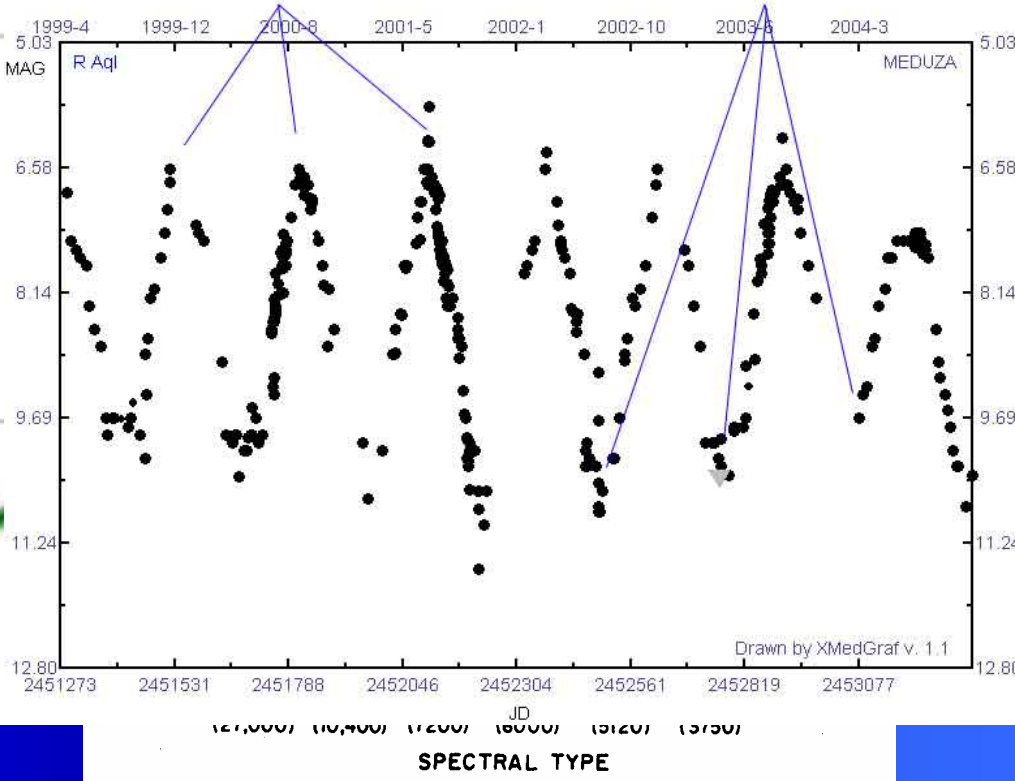
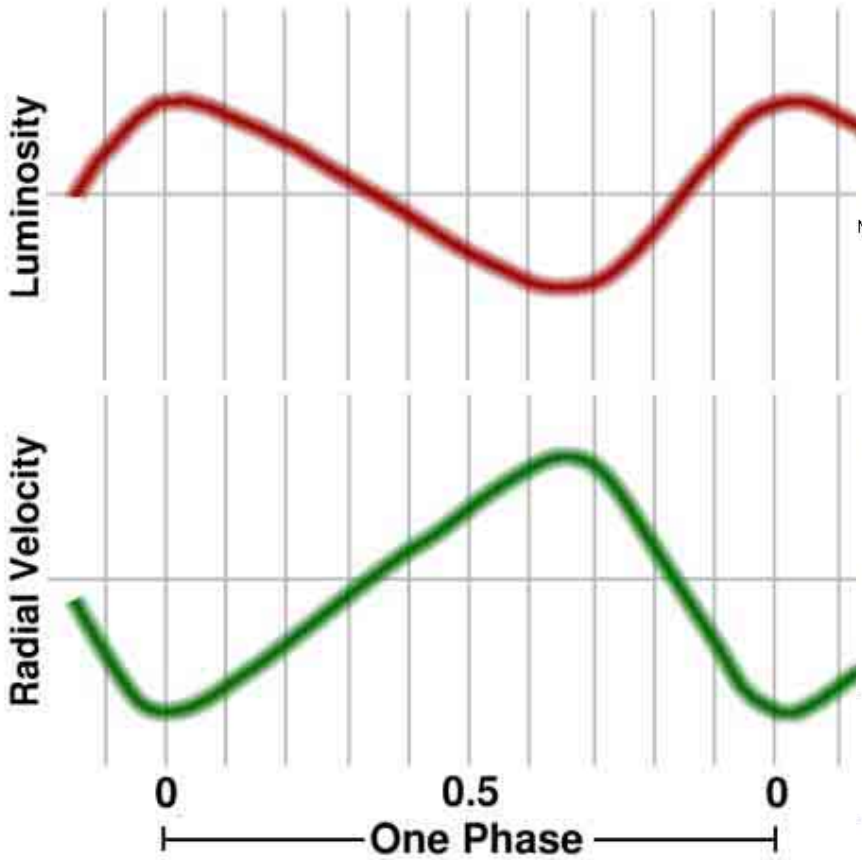
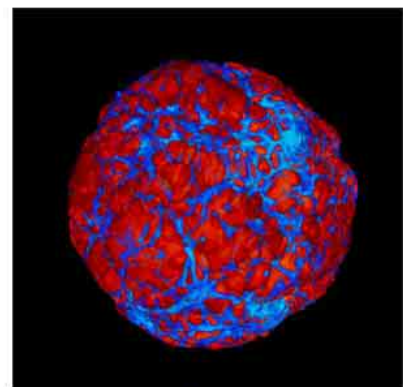
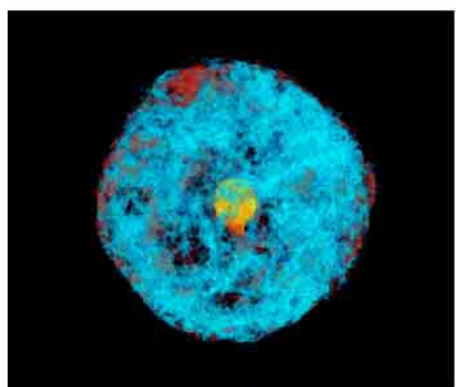
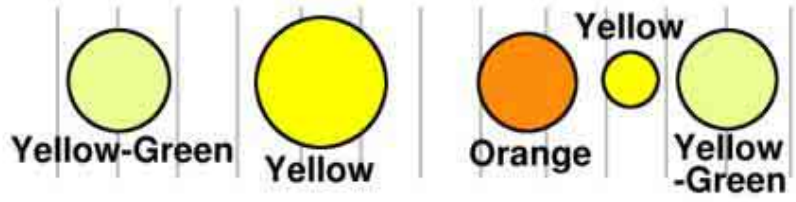
Likely RS CVn variable

GSC 01159-00245: folded ASAS light curve (HJD 4250-4439)



- horké O a B hvězdy – korona vzniká tlakem silného UV záření

- A hvězdy nemají ani silné UV záření, ani konvektivní vrstvy => klidná fotosféra => *chemicky pekuliární hvězdy* (vlivem zářivé



B 4.I Radiální pulzace

- *hydrostatická rovnováha* – v rovnováze je *gravitační síla a gradient tlaku*. Perioda pulzací odpovídá periodě vlastních kmitů hvězdy => perioda pulzací je nepřímo úměrná odmocnině ze střední hodnoty hustoty hvězdy => Mira Ceti $P \sim 100$ d, DCEP $P \sim 10$ d, ZZ CET $P \sim 0.01$ d

- v jádru hvězdy je *uzel stojatého vlnění*, na povrchu je *kmitna stojatého vlnění* – u základního mód pulzací. U vyšších pulzačních módů je uzel uzly ještě v obalu hvězdy – uzlové koule.

- většina DCEP a WVIR v základním módu, RR LYR v základním i v 1. Harmonické.

- proti pulzacím působí tření, aby se pulzace neutlumily, je třeba nalézt mechanismus, který pulzacím dodává energii – zářivý tok z nitra na povrch vs. oblasti HeII a HeIII. Při stlačení HeII dojde k ionizaci na HeIII (ztmavnutí), následuje expanze a rekombinace HeIII -> HeII (zprůhlednění) = přebytek HeII => ionizace na HeIII atd. dokola

- tento proces je účinný jen pro určité rozmezí L – u chladnějších hvězd je oblast HeII/HeIII moc hluboko => malá amplituda kmitů, u teplejších hvězd je oblast HeII/HeIII ve vyšších – řídkých vrstvách obalu => malá hustota HeII/HeIII oblasti a málo zadržného záření => *úzký pás nestability*

- *RR LYR* – staré hvězdy první generace a obsahují He => potvrzení faktu, že raný vesmír obsahoval prvotní He

- vztah *perioda – zářivý výkon* (Henrieta Swan Leavittová)

$M_V = -2.8 * \log(P) - 1.43$, platí ale *jen pro pulzující proměnné v základním módu!* DCEP pulzující v 1. Harmonickém módu mají při tomtéž výkonu kratší periodu. Lze je odlišit – v *základním módu* asymetrická světelná křivka vs v 1. *nadtónu* symetrická křivka

- BCEP – rozdíl oproti DCEP v tom, že *fotoionizace prvků skupiny železa*, ne HeII

B 4. II Pulzace neradiální, módy pulzací

- hvězdné pulzace mají povahu *podélného vlnění* (jako zvuk), které se šíří plasmou – pulzace prostupuje hvězdou a interferuje samo s sebou a vzniká *stojaté vlnění*.
- hvězda je tzv. *prostorový rezonátor* (jako Země), uzlový bod v jádru hvězdy, kmitna na povrchu – ve fotosféře, zde dochází k odrazu zpět, vlna se postupem dovnitř láme (roste hustota – obdoba lomu světla), odchyluje se od kolmice až dosáhne opět fotosféry, zde se odrazí a interferuje sama s sebou – vznik stojatého vlnění, na povrchu vznikají *uzlové kružnice*
- *uzlové kružnice* na povrchu – obdoba poledníků a rovnoběžek, mimo uzlové kružnice oddělují oblasti které se od sebe zároveň vzdalují a přibližují – pulzují v opačné fázi
- vzniká tak i *postupná vlna*, která se šíří rovnoběžně s rovinou rovníku

B 4.III – Dlouhoperiodické proměnné

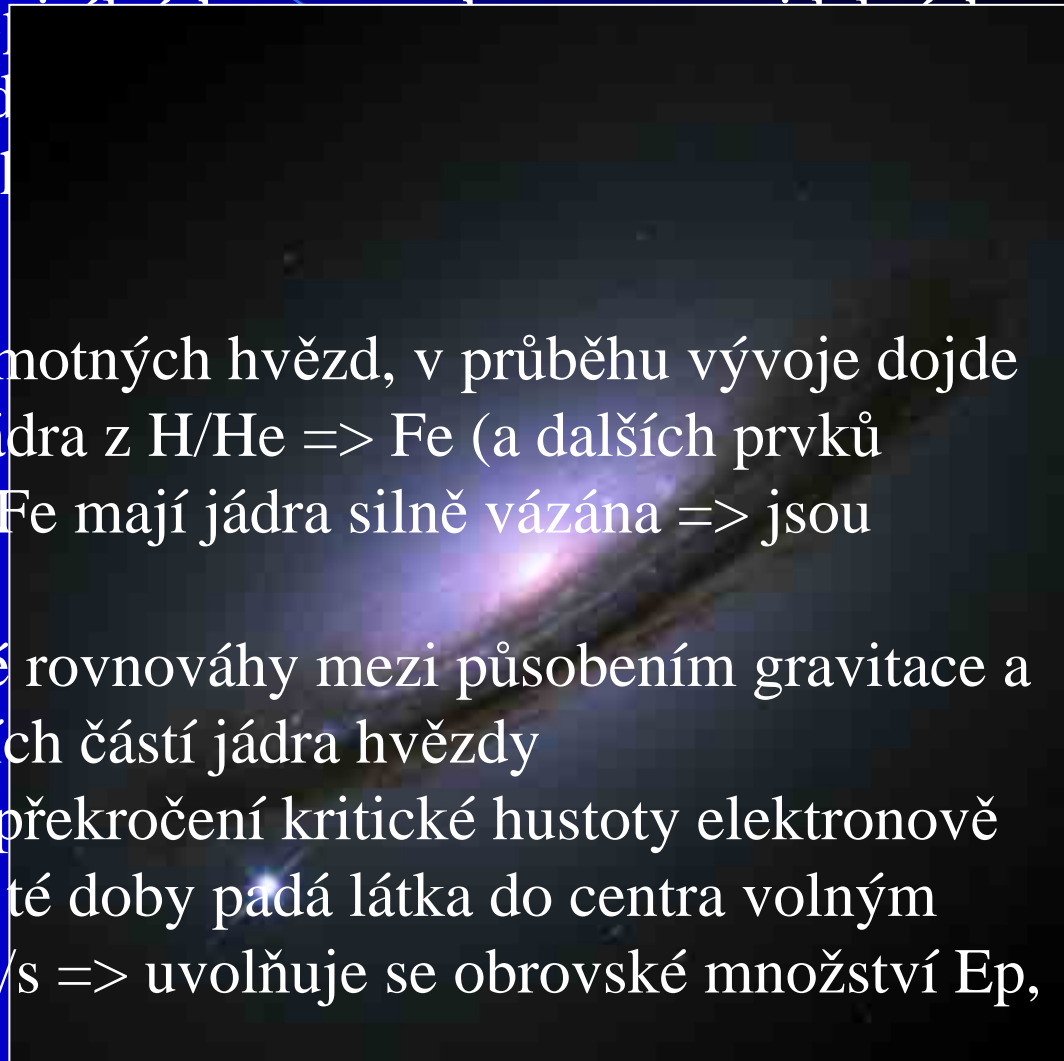
- M, SR = hvězdy asymptotické větve obrů (ABG),
- povaha pulzací jako u klasických cefeid – energii pulzací dodává zářivý tok postupující z nitra, k akumulaci zářivé energie dochází na vrstvě ionizovaného vodíku (HI / HII), pulzy mají v řídkém obalu povahu *rázové vlny*, při jejím postupu dochází k ohřevu obalu a disociaci molekul TiO => pokles opacity => zvýšení jasnosti
- SR se od M liší tím, že TiO je ve spektru přítomno neustále – postup rázové vlny zde není tak „devastující“ jako u M => menší amplitudy

B 5. Hvězdná proměnnost související s ději v jádru hvězdy

- v průběhu života hvězdy dochází k pozvolné změně chemického složení nitra v důsledků jaderných reakcí
- Supernovy – několik odlišných příčin exoploze
 - **II, Ib, Ic** jsou pozorovány ve spirálních galaxiích, u H II oblastí => mladé hvězdy
 - **Ia** ve všech galaxiích v různých vzdálenostech

B 5.I Supernovy typu II

- důsledek vývoje mimořádně hmotných hvězd, v průběhu vývoje dojde ke změně chemického složení jádra z H/He => Fe (a dalších prvků skupiny železa), prvky skupiny Fe mají jádra silně vázána => jsou jaderně „nehořlavá“,
- dochází k poruše hydrostatické rovnováhy mezi působením gravitace a tlaku záření => kontrakce vnějších částí jádra hvězdy
- v jádru roste hustota látky, po překročení kritické hustoty elektronově degenerovaného Fe jádra, až do té doby padá látka do centra volným pádem => až rychlostí tisíce km/s => uvolňuje se obrovské množství Ep, únik Ep z jádra formou *neutrin*



- většina *neutrín* prolétá obalem hvězdy bez interakce, malá část jich je absorbována => ohřev látky na velmi vysokou teplotu => mohutná

rázová vlna (shock wave) se šíří směrem k povrchu hvězdy a rozmetá

celou hvězdu

- na H β vlnové délce (4861 nm) je pozorována absorpční čára

- vzniká z důvodu rozpadu ^{56}Ni na ^{56}Co (T $_{1/2}$ = 5,27 d),

^{56}Co (T $_{1/2}$ = 271 d) a ^{56}Fe (T $_{1/2}$ = 2,628e10 d) s uvolněním energie v

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

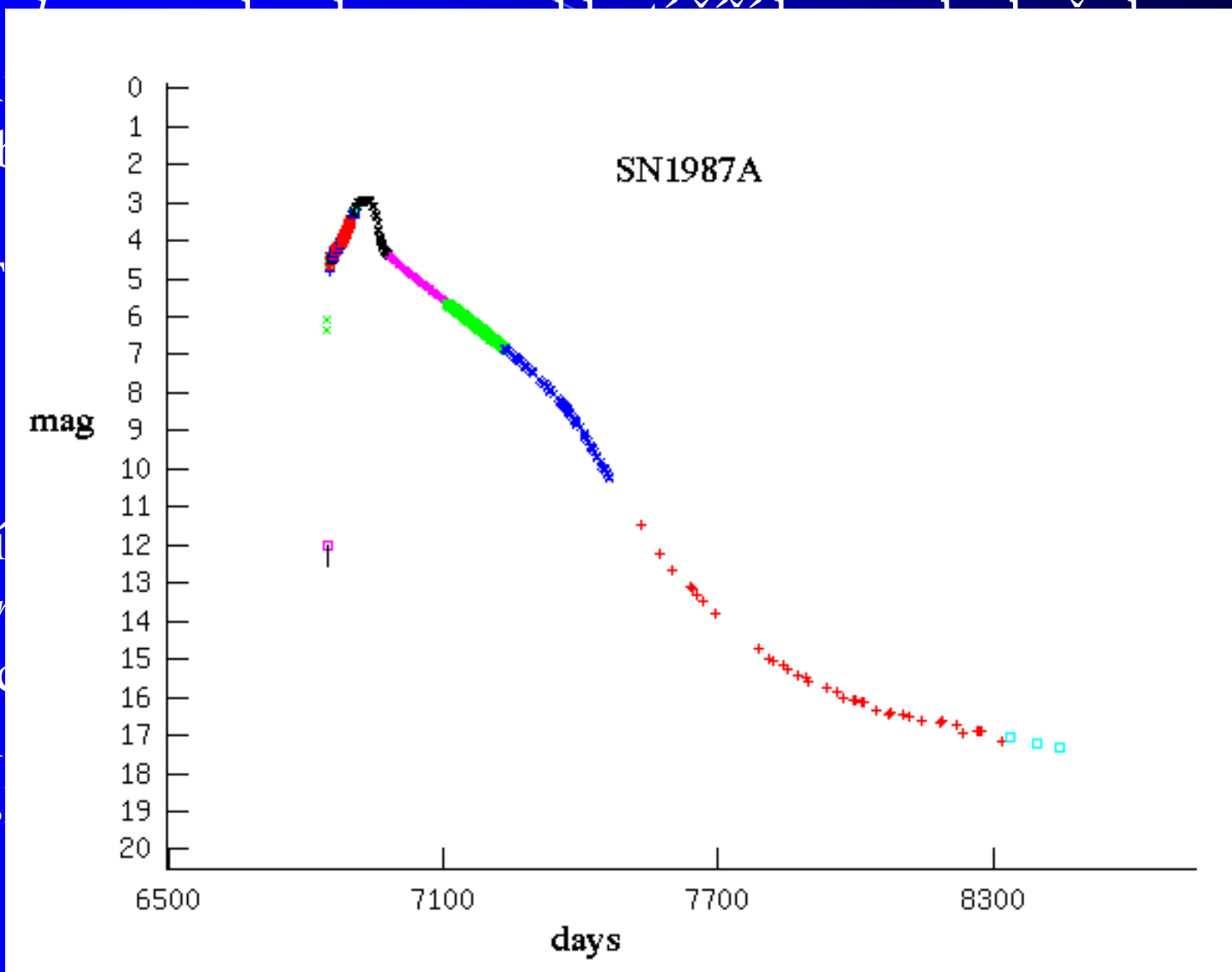
období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů

období 10-100 dnů



B 5.II

- nejsví

standar

- jiný s

- příčin

druhé s

roste p

=>

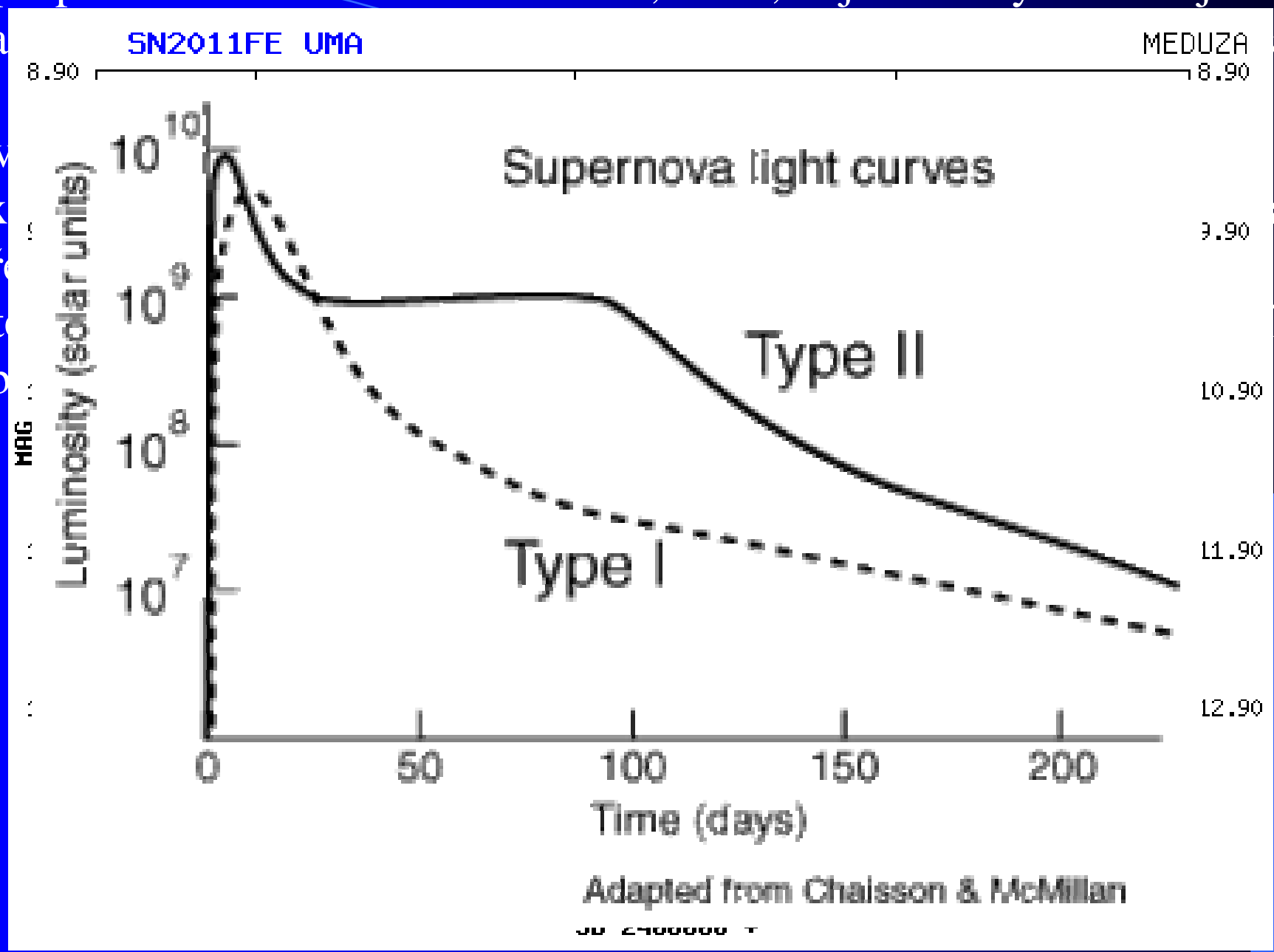
hmoty z

R =>

- při překročení kritické hmotnosti 1,3 Msl, dojde ke zvýšení T v jádru

na
je
- v
ex
př
- t
ob

až
ale



30 2400000 T

Děkuji za pozornost!

