

**MUNI**

# **Vícenásobné soustavy hvězd**

**Jakub Kolář**

21.11.2023

# Témata

- Dvojhvězdy
- Systémy s více hvězdami
- Příběh výzkumu BG Ind
- Pozorovací skupina

## Dvojhvězdy (fyzické)

- Soustava dvou hvězd
- Gravitační vazba
- Oběh kolem společného těžiště
- Stejně stáří a počáteční chemické složení, další vývoj může být různý



[eso.org/public/videos/eso1311b/](https://eso.org/public/videos/eso1311b/)

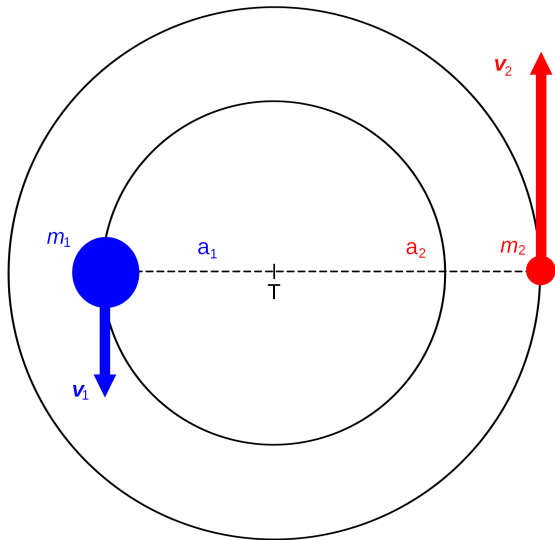
optické nejsou gravitačně vázány, jen stejný směr  
k pozorovateli

# Oběh složek

Zachování hybnosti

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{a_2}{a_1}$$



# Význam studia dvojhvězd

- Určování důležitých parametrů, které se obvykle stanovují obtížně (hmotnosti, absolutní rozměry, vzdálenosti)
- Různorodé druhy hvězd (spektra, stáří, vývojové fáze)
- Hvězdná stavba a vývoj
- Vícenásobné soustavy, vždy se vyskytují dvojice

# Metody detekce a studia

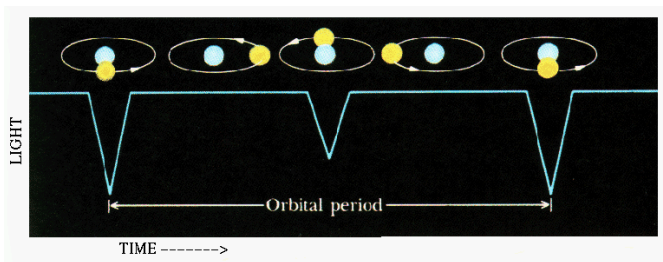
- Vizuální
- Astrometrické
- Spektroskopické
- Zákrytové

## Zákrytové dvojhvězdy

- Během oběhu se složky vzájemně zakrývají
- Pravidelné změny jasnosti (perioda oběhu), další možné jevy
- Vhodné natočení systému - nezbytná podmínka
- Projevy pohybu hvězd - prozrazují nám toho daleko více než samostatné hvězdy

# Průběh změn

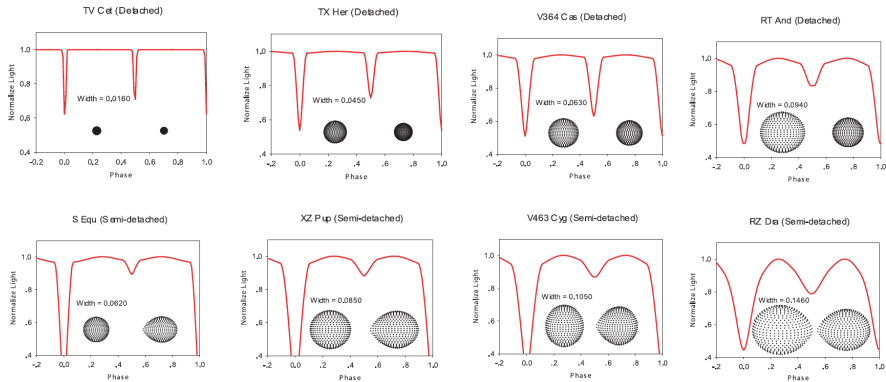
- Světelná křivka
- Primární minimum
- Sekundární minimum
- Rovina oběhu podobná rovině pozorovatele



[homepages.uc.edu/~hansonmm/ASTRO/LECTURENOTES/W04/Binaries/Page57.html](http://homepages.uc.edu/~hansonmm/ASTRO/LECTURENOTES/W04/Binaries/Page57.html)



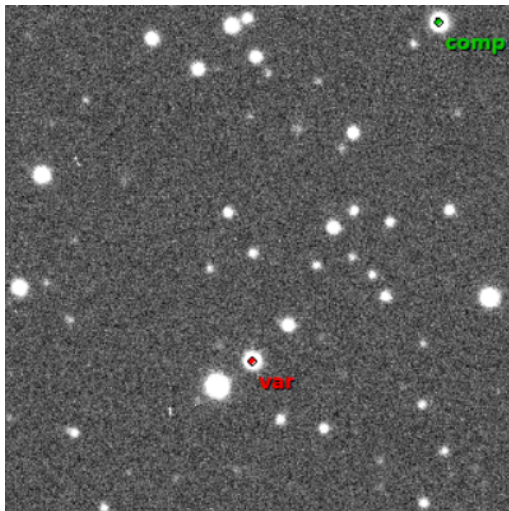
# Světelné křivky



Kang, 2010

# Jak vypadá pozorování

- Většinou vidíme jako jeden objekt
- Clonka (apertura), ve které měříme jas
- Srovnávací a kontrolní hvězdy

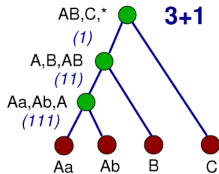
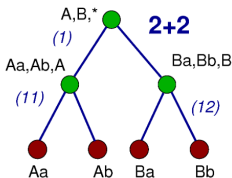
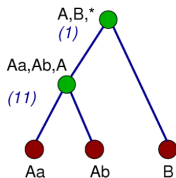


## Různorodost složek

- Oběžná perioda: typicky dny pro zákrytové systémy, ale také minuty až desítky roků
- Vzdálenosti mezi hvězdami, splynutí
- Stupeň vývoje: mladé hvězdy, bílí trpaslíci, neutronové hvězdy
- Doplňující jevy: skvrny, pulzace, společná obálka, disky atd.

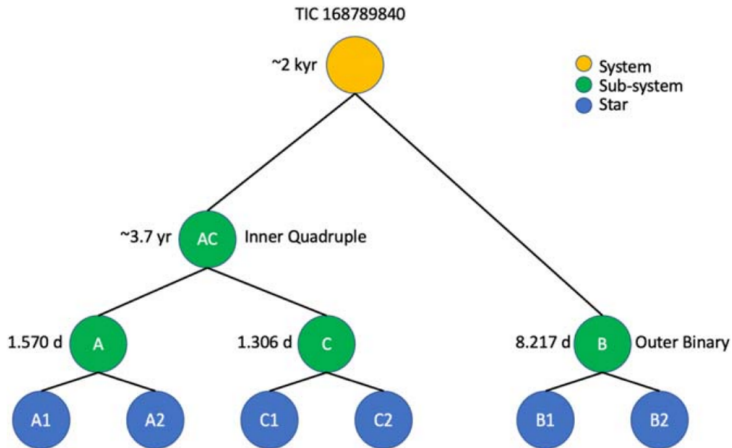
# Vícenásobné systémy

- Více jak dvě hvězdy
- Pouze několik stabilních řešení konfigurace
- Trojhvězda: těsná dvojhvězda a vzdálená třetí složka
- Čtyřhvězda: struktura 3+1, nebo 2+2
- Základem jsou dvojice, hodně jevů stejných, využíváme fyziku dvojhvězd



Tokovinin, 2021

# Zákrytová šestihvězda TIC 168789840

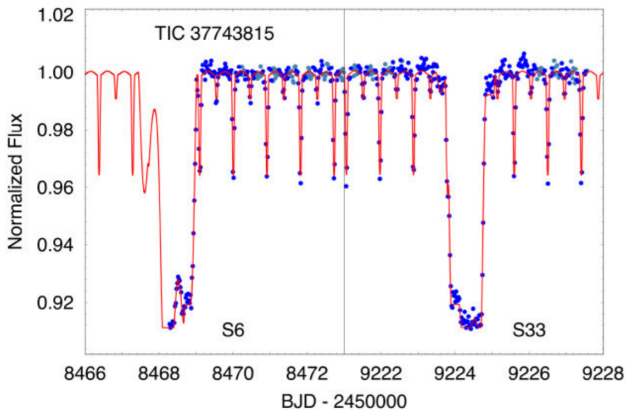


Tři zákrytové dvojhvězdy, Powell et al., 2021

# Hranice vícenásobných soustav

- Velké množství známých dvojhvězd
- Známých několik šestihvězd
- Sedmihvězdy
- Osmihvězda, konec těsné vazby?
- Přejít do volnějších skupin, hvězdokupy

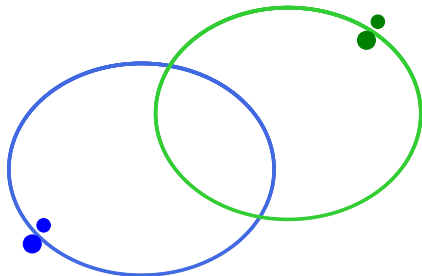
# Trojhvězda, zákryt třetí složkou



Rappaport et al., 2022 (data družice TESS)

# Dvojkrytové systémy

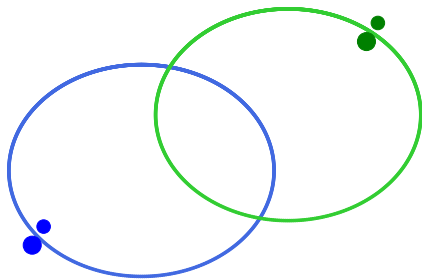
- Čtyři hvězdy ve struktuře  $2 + 2$
- Dva zákrytové podsystemy, oběh kolem jejich společného těžiště
- Kolem 500 známých kandidátů
- Komplexní studie jen pro několik z nich
- Vzájemný pohyb, většinou velké periody, vyžaduje spektra nebo dlouhodobé fotometrické sledování



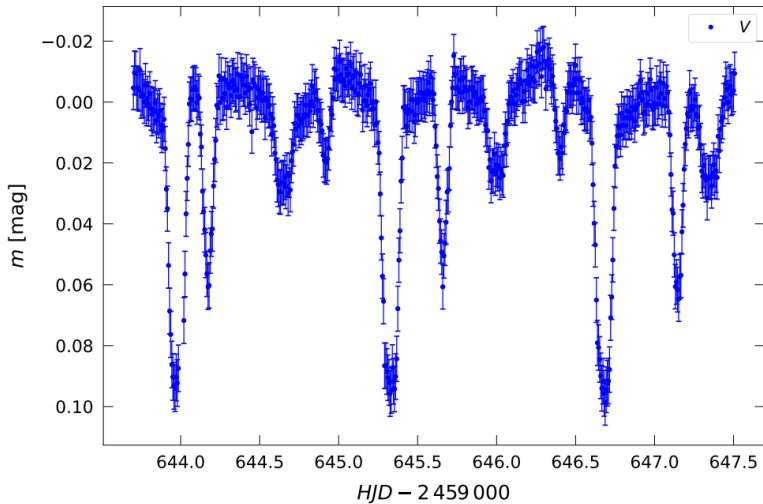


# Hledání

- Detekce další změny (doposud neznámé)
- Dlouhodobé a nepřetržité pozorování
- Ze Země velmi obtížné
- Střídání dne a noci, počasí
- Družice

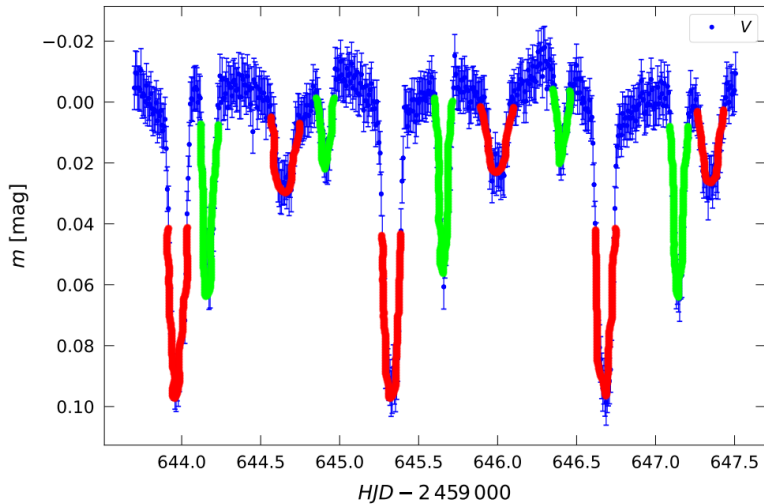


# TESS



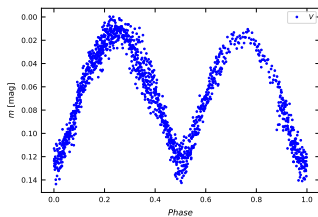
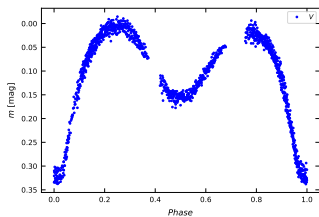
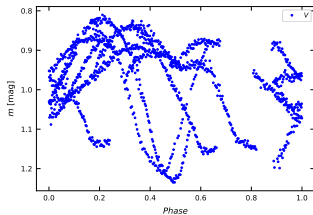
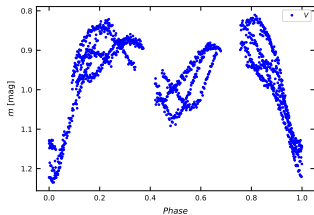
ATO J223.4251+52.7158

# TESS



ATO J223.4251+52.7158

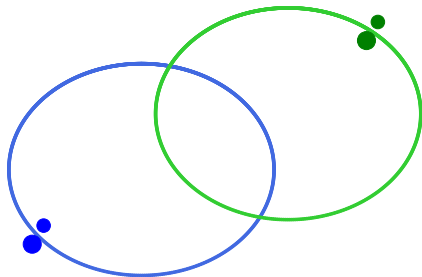
# Rozplétání světelných křivek



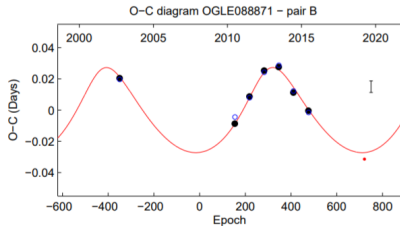
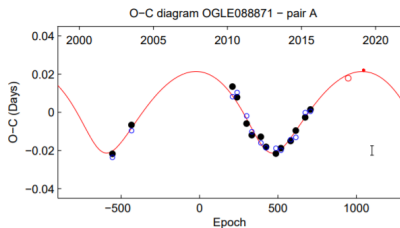
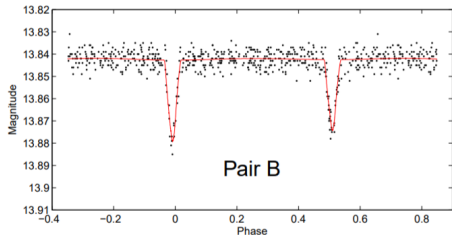
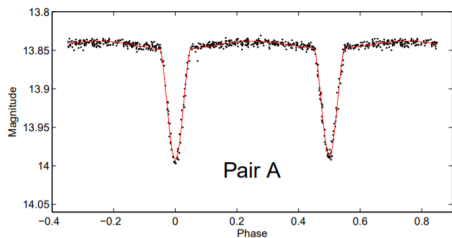
NSVS 5871089

## Potvrzení gravitační vazby

- Možná nejtěžší úkol (alespoň pro některé systémy)
- Vzájemný pohyb, většinou dlouhé periody (roky, desetiletí)
- Dlouhodobé sledování okamžiků minim
- Pravidelné kolísání kolem střední hodnoty, dáno vzájemným pohybem



# Potvrzení gravitační vazby



OGLE BLG-ECL-088871, Zasche et al., 2019

## BG Ind

- $V = 6, 14$  mag
- Spektrální typ F5 (6 500 K)
- Pozorování mimo střední Evropu
- Od prvních objevů proměnnosti po současný stav výzkumu



## Proměnnost

- Strohmeier et al., 1964
- Amplituda změn okolo 0, 3 mag
- Bez periodicity a dalších informací

BV 561 = CoD -28 <sup>o</sup> 15 917(7. <sup>m</sup> 3)	= HD 183 764(B9)	A <sub>pg</sub> = 0. <sup>m</sup> 6
BV 562 = CoD -39 <sup>o</sup> 12 825(9. <sup>m</sup> 7)		A <sub>pg</sub> = 0. <sup>m</sup> 3
BV 563 = BD -7 <sup>o</sup> 5056(7. <sup>m</sup> 2)	= HD 186 575(F8)	A <sub>pg</sub> = 0. <sup>m</sup> 3
BV 564 = CoD -59 <sup>o</sup> 7830(6. <sup>m</sup> 7)	= HD 208 496(F5)	A <sub>pg</sub> = 0. <sup>m</sup> 3
BV 565 = CoD -23 <sup>o</sup> 17 470(7. <sup>m</sup> 8)	= HD 213 8188(Go)	A <sub>pg</sub> = 0. <sup>m</sup> 5

Bamberg, Remels-Observatory  
11 November 1964



# První světelná křivka

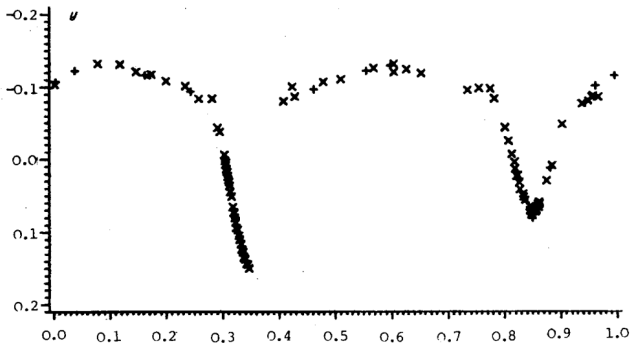


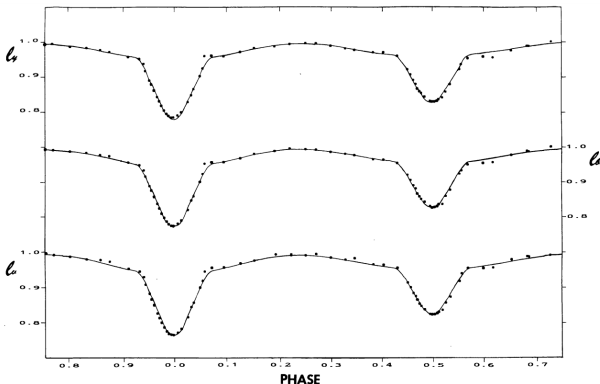
Figure 1

Phase diagram for HD 208496 in  $u$ . (+ September 1981;  
x July 1984). The period is 1.464047 d.

Manfroid & Mathys, 1984

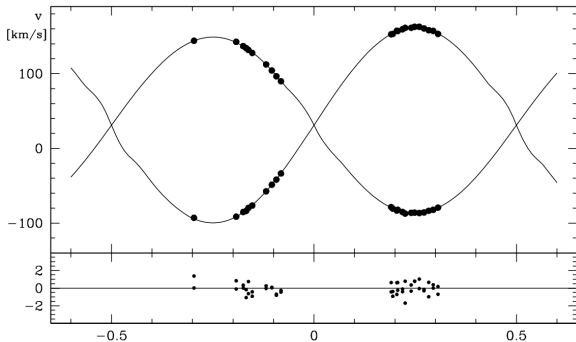
## První hrubé modely

- van Hamme & Manfroid, 1988, fotolektrická pozorování
- Oddělená soustava s oběžnou periodou 1,464069 dne
- $T_1 = 7\,000\text{ K}$ ,  $T_2 = 6\,450\text{ K}$ , odhady hmotností  $M_1 = 1,4 M_\odot$ ,  
 $M_2 = 1,2 M_\odot$



# Přidání spekter

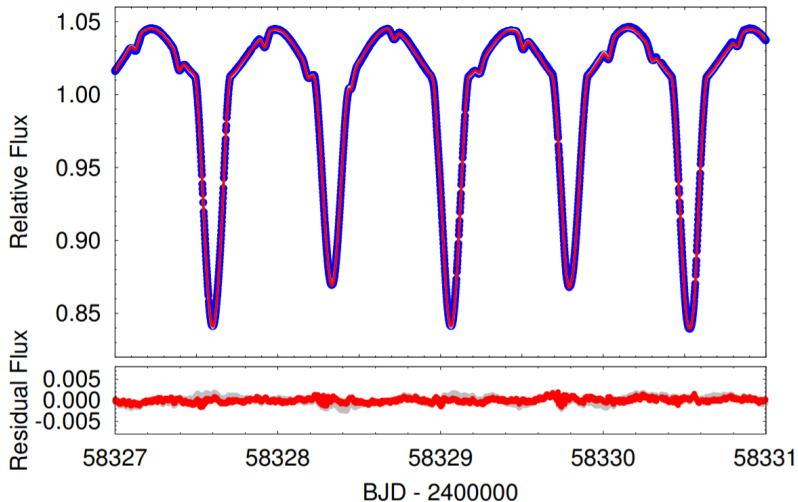
- Bakis et al., 2009, Rozyczka et al., 2011
- Komplexní modelování
- Kruhová trajektorie složek



# Model

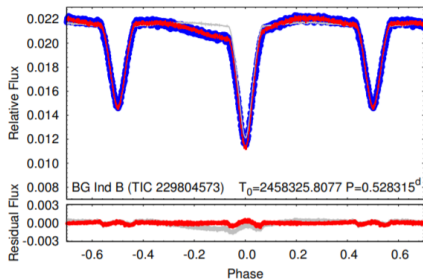
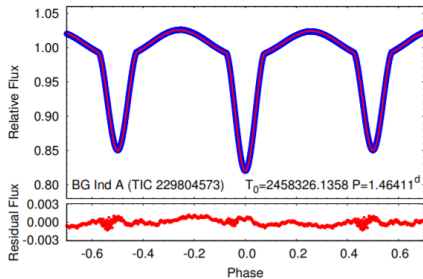
- Primární složka:  $T_1 = 6\,400\text{ K}$ ,  $M_1 = 1,43 M_\odot$ ,  $R_1 = 2,3 R_\odot$
- Sekundární složka:  $T_2 = 6\,600\text{ K}$ ,  $M_2 = 1,29 M_\odot$ ,  $R_2 = 1,7 R_\odot$
- Vzdálenost složek mezi sebou zhruba  $7,5 R_\odot$
- Máme hotovo?

# TESS



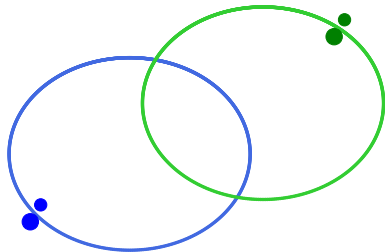
Borkovits et al., 2021

# Dva zákrytové páry



# Čtyřhvězda

- Čtyři složky, 2+2 konfigurace
- Nejbližší známá dvozářková čtyřhvězda
- Oběh kolem společného těžiště za zhruba 2 roky



# Čtyřhvězda

## Pár A

- $T_1 = 6\,440\text{ K}$
- $M_1 = 1,43 M_{\odot}, R_1 = 2,3 R_{\odot}$
- $T_2 = 6\,800\text{ K}$
- $M_2 = 1,32 M_{\odot}, R_2 = 1,6 R_{\odot}$

## Pár B

- $T_1 = 4\,600\text{ K}$
- $M_1 = 0,69 M_{\odot}, R_1 = 0,64 R_{\odot}$
- $T_2 = 4\,300\text{ K}$
- $M_2 = 0,64 M_{\odot}, R_2 = 0,61 R_{\odot}$



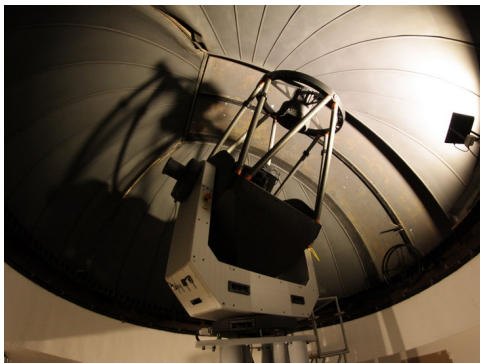
# BG Ind

- Začátek studia před téměř šedesáti lety
- Detekce proměnnosti → slušný model dvojhvězdy
- Družice TESS
- Dvojjádrová čtyřhvězda, všechny čtyři hvězdy známy a modelovány

## Pozorovací skupina

- Jakub Kolář, Miloslav Zejda, Anna Richterková, Reinhold F. Auer, Radek Dřevěný, Petr Dvořák, Sabina Pačková
- Fotometrická pozorování čtyřhvězdných kandidátů
- Modelování světelných křivek
- Snahy o potvrzování nových čtyřhvězd

## Požizování dat



Ždánice ([hvezdarnazdanice.cz/novinky-a-clanky/novy-univerzitni-dalekohled-az800-f-6-8-asa.html](http://hvezdarnazdanice.cz/novinky-a-clanky/novy-univerzitni-dalekohled-az800-f-6-8-asa.html))



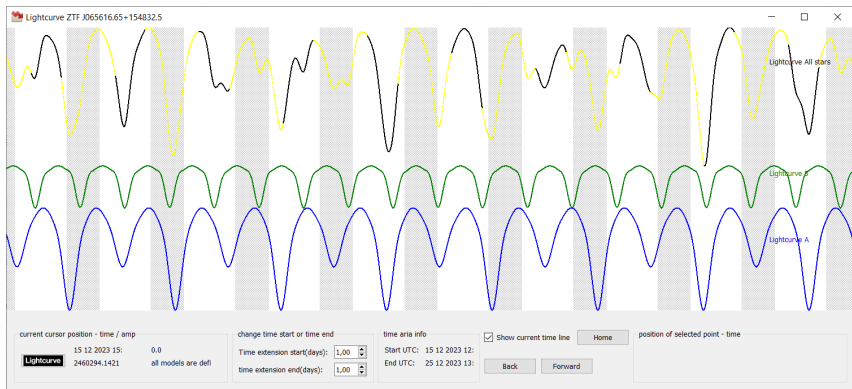
Kraví hora ([astro.physics.muni.cz](http://astro.physics.muni.cz))

Brno, Ždánice, Veverská Bítýška, Znojmo, Prostějov, Tuscany Italy, La Silla Chile

## Naše hvězdy

- Kritéria pozorovatelnosti: jasnost, velikosti změn, oběžné periody
- 10 – 16 mag, 20 – 30 mmag, hodiny až několik dní
- V nějakém stupni zapojení 40 objektů
- Spolupráce s dalšími astronomy: Zbyněk Henzl, Petr Zasche, Pavel Čagaš, Martin Mašek

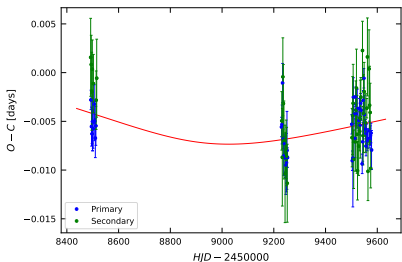
# Předpovědi



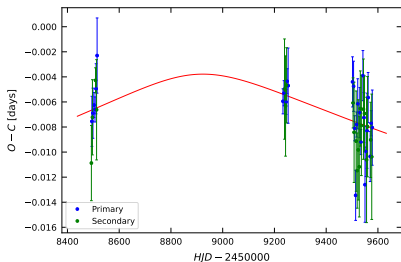
Program STEP, Z. Henzl

# ASASSN-V J081048.48+133402.0

Pár A



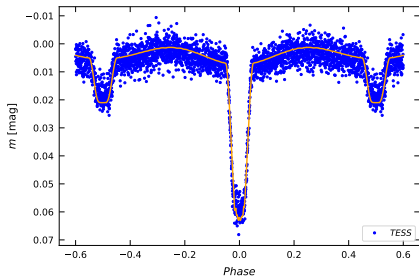
Pár B



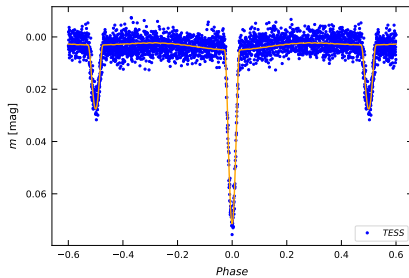
Potvrzený vzájemný pohyb,  $P_{AB} \approx 23$  years.

# ASASSN-V J081048.48+133402.0

Pár A

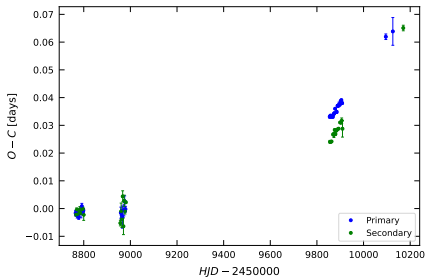


Pár B

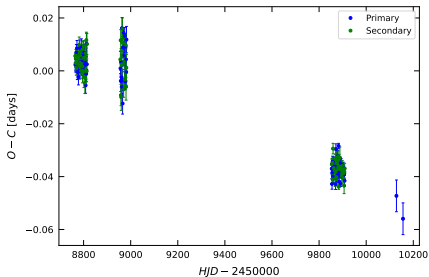


# ASASSN-V J233336.79+615012.0

Pár A



Pár B





# Periody

- Poměr period párů ve čtyřhvězdách
- Otázka výskytu a vysvětlení rezonancí
- 1:1 - hodně hvězd kolem, málo přímo v ní, nestabilní?
- 3:2 - většina hvězd s tímto poměrem je dost blízko rezonanci

## Závěr

- Dvojhvězdy jsou pro nás velmi cenné zdroje informací
- Vícenásobné soustavy, pouze několik stabilních konfigurací, vždy zde figurují dvojice
- Známé soustavy od dvou až po osm hvězd, hranice vazby?
- Potřeba dlouhých časových řad, ideálně nepřetržitých
- Čtyřhvězdy, neustále jich přibývá, doposud málo potvrzených
- BG Ind - jen zřídka si můžeme být jisti, že už víme dost

**MASARYKOVA  
UNIVERZITA**