

MUNI

Zákrytové dvojhvězdy

Jakub Kolář

18.10.2021

Dvojhvězdy

- Soustava dvou hvězd
- Gravitační vazba
- Oběh kolem společného těžiště
- Stejně stáří a počáteční chemické složení



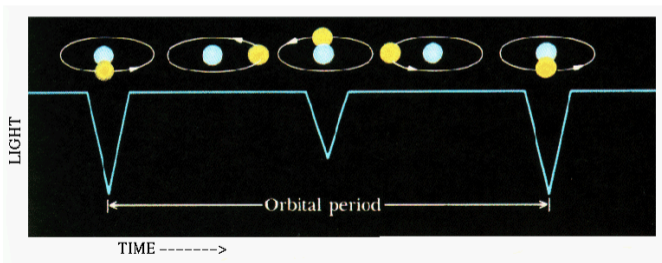
eso.org/public/videos/eso1311b/

Detekce

- Vizuální
- Astrometrické
- Spektroskopické
- Zákrytové

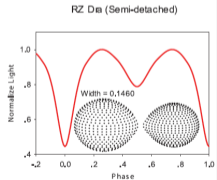
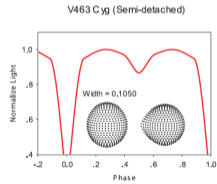
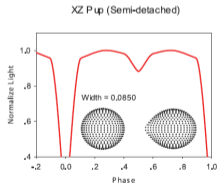
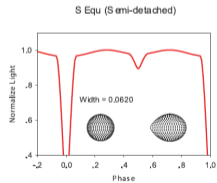
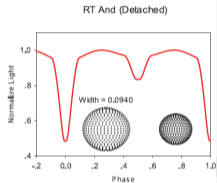
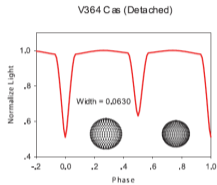
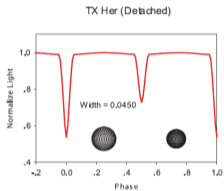
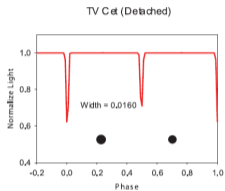
Zákrytové dvojhvězdy

- Vhodné natočení systému - nezbytná podmínka
- Během oběhu se složky vzájemně zakrývají
- Pravidelné změny jasnosti



homepages.uc.edu/~hansonmm/ASTRO/LECTURENOTES/W04/Binaries/Page57.html

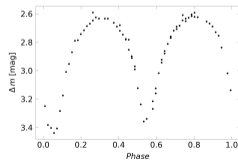
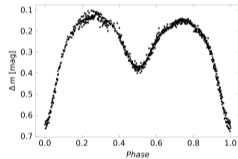
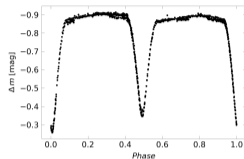
Světelné křivky



[2]

Světelné křivky

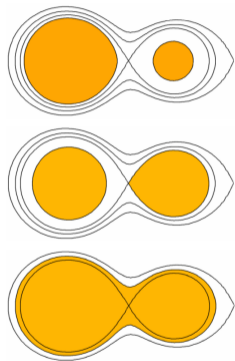
- Algolidy
- Typ β Lyr
- Typ W UMa



Pozorování J. Koláře

Morfologie

- Rocheovy laloky
- Oddělené
- Polodotykové
- Kontaktní
- Overcontact (přesahující),
double contact
- Doplnující klasifikace (např. WD
- bílí trpaslíci)



[6]

Význam studia dvojhvězd

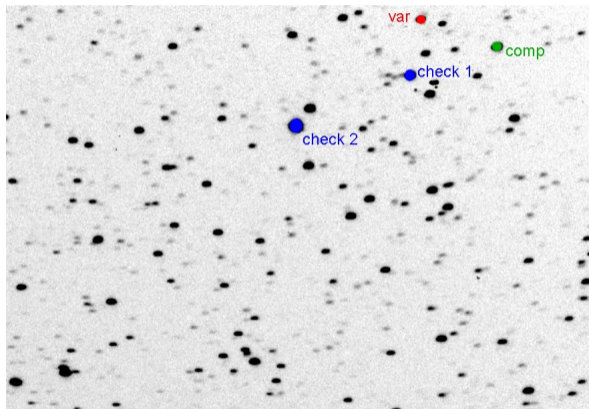
- Různorodé druhy hvězd
- Určování důležitých vlastností (hmotnosti, vzdálenosti)
- Hvězdná stavba a vývoj

Výzkum zákrytových dvojhvězd

- Fotometrie
- Spektroskopie
- Periodová analýza

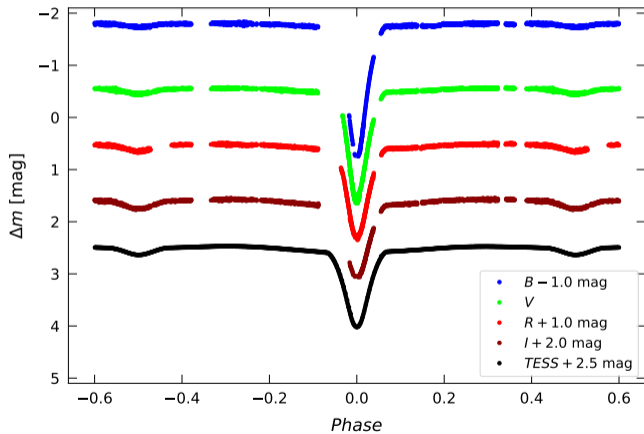
Fotometrie

- Měření jasnosti hvězd (změna jasnosti v čase)
- Zpracování CCD snímků
- Srovnávací a kontrolní hvězdy
- Přehlídky
- Světelná křivka



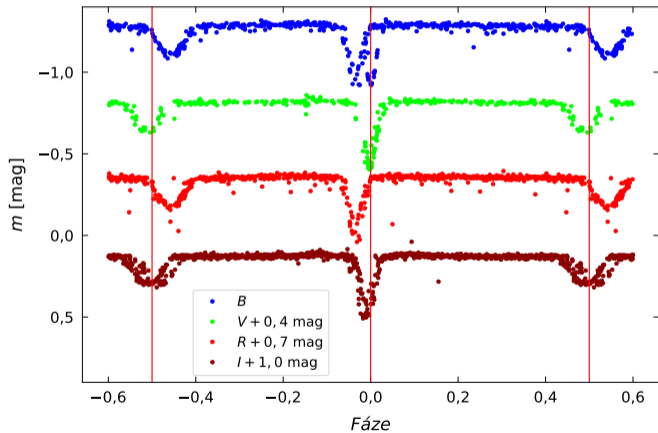
C-Munipack

TT Lyr - velmi rozdílné složky



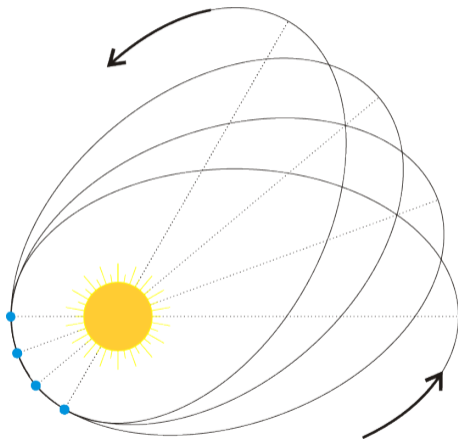
Modrá horká a červená chladná složka, [3]

OGLE LMC-ECL-7641 - apsidální pohyb



Minima oscilují kolem předpokládaných hodnot fáze, [3]

Apsidální pohyb (stáčení přímky apsid)

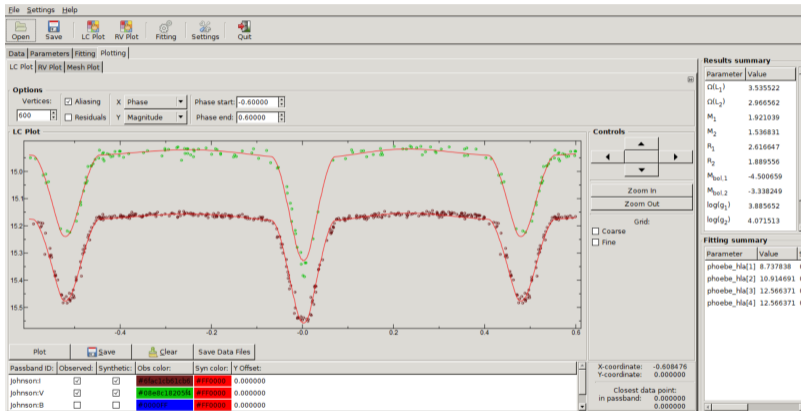


aasnova.org/2017/07/12/wasp-12b-and-its-possible-fiery-demise/

Analýza světelné křivky

- Nepostradatelná, ale nemůžeme z ní získat vše
- Tvar hvězd
- Teploty (při použití více barevných filtrů)
- Relativní rozměry
- Inklinální úhel

Modelování

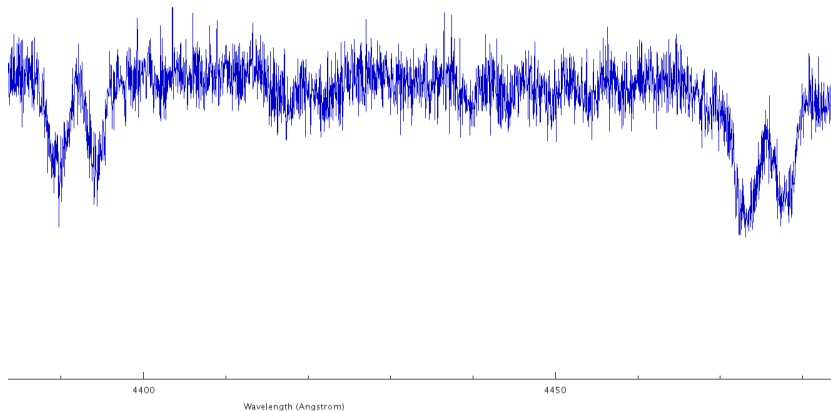


PHOEBE

Spektroskopie

- Doplnění k fotometrii
- SB1 - pouze jedna složka ve spektru, SB2 - obě složky viditelné
- Informace o teplotách, chemickém složení, povrchovém zrychlení
- Násobnost soustavy
- Radiální rychlosti
- Určení hmotností, rozměrů a vzdáleností

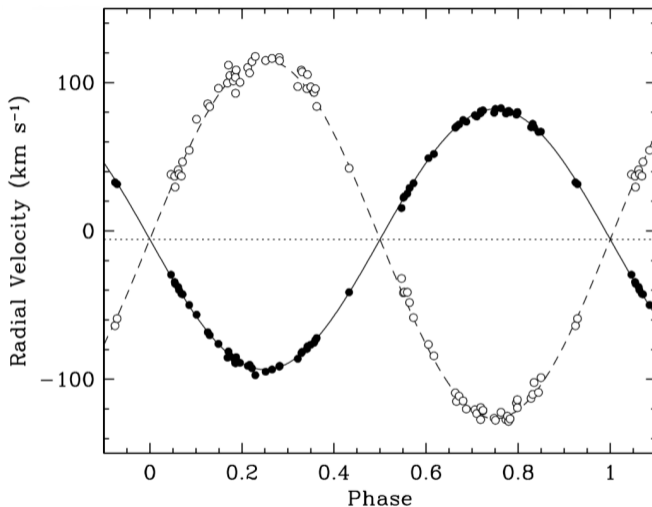
Čáry He I 4387 a 4471, OGLE LMC-ECL-17411



Křivka radiálních rychlostí

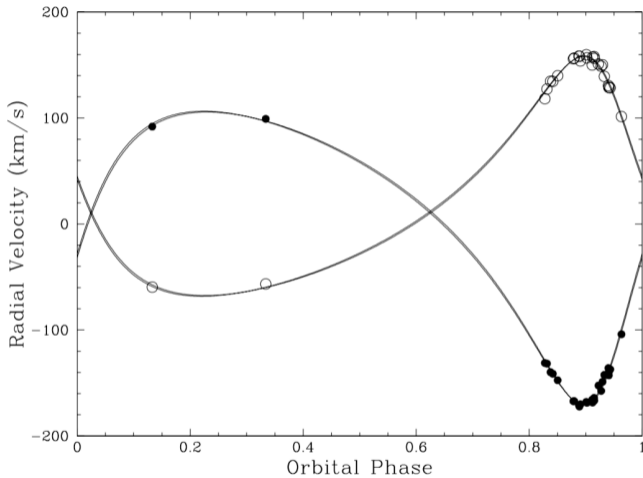
- Amplitudy K_1 a K_2
- Poměr hmotností $q = \frac{M_2}{M_1} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{a_1}{a_2}$
- Kromě hvězd se pohybuje také těžiště
- Tvar závisí na trajektoriích obou složek a orientaci systému
- Získáme konzistentní modely a absolutní parametry

Křivka radiálních rychlostí - kruhová trajektorie



Během zákrytů mají hvězdy radiální rychlost těžiště, mezi zákryty se k pozorovateli složky postupně vzdalují a přibližují, plné body značí rychlost primární složky, [7]

Křivka radiálních rychlostí - eliptická trajektorie



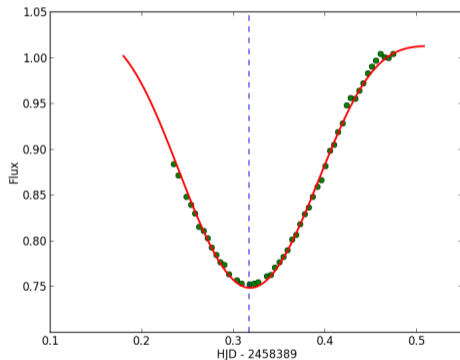
Deformované křivky, rychlost se mění různě v závislosti na poloze, [5]

Periodová analýza

- Musíme znát periodu alespoň přibližně
- Většinou je k dispozici nějaká hodnota
- Zpřesňování periody
- Změna periody
- Efekty ovlivňující periodu

Periodová analýza

- $O - C$ diagram
- Umožní odhalit některé vlastnosti systému
- Používají se okamžiky extrémů
- Neměřit jenom je

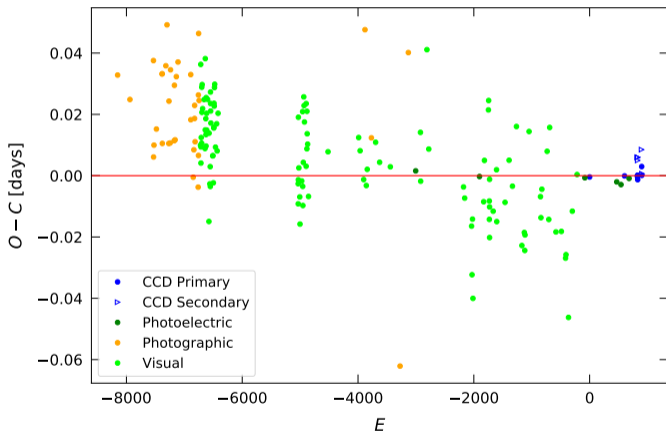


Fit minima pomocí modelové křivky v databázi AMPER

$O - C$ diagram

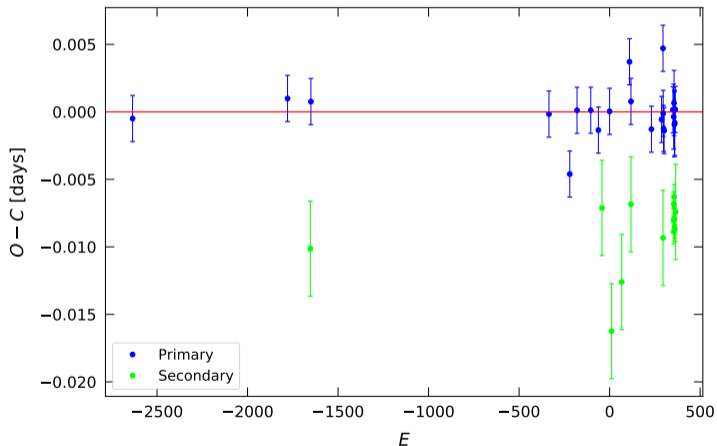
- Konstantní perioda: $O - C = 0$ dní, většinou nepozorujeme
- Kvalita dat (detektor, metoda určení času minima)
- Ideálně provést výpočet z dostupných dat
- Literatura často neuvádí informace o měření (nejistoty, formát času apod.), je nutné to zohlednit při analýze

TT Lyr



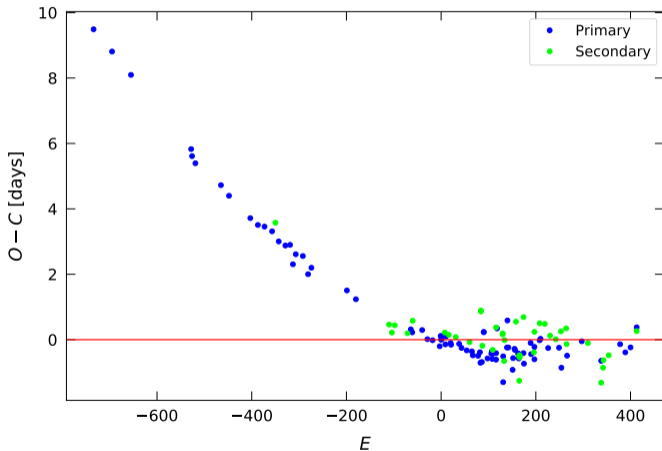
Starší pozorování subjektivní metodou neodpovídají předpovědi, nová pozorování objektivními metodami se shodují s předpovědí, [3]

GX Lac



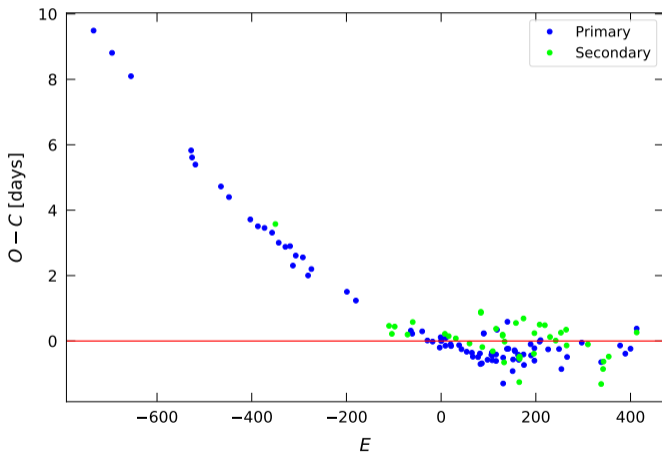
Sekundární minima jsou vertikálně posunuta (eliptické trajektorie hvězd), nastávají dřív než předpověď, protože čas $O < C$, [3]

RX Cas



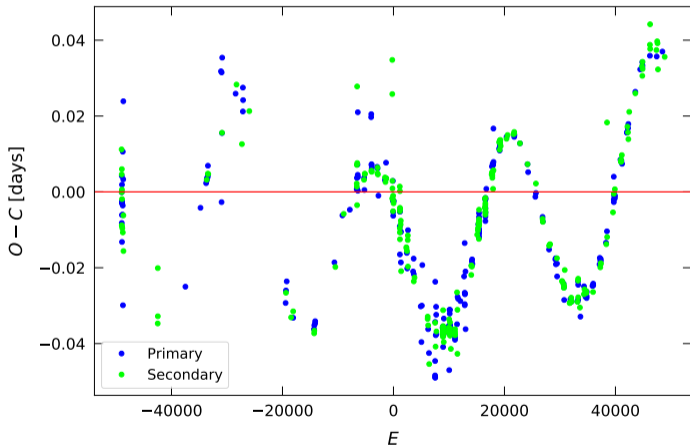
var2.astro.cz/ocgate/index.php?lang=cz

RX Cas - prodlužování periody



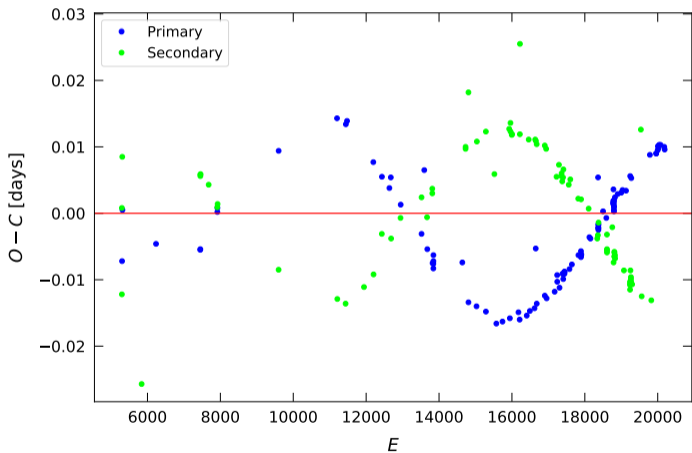
S každým oběhem se zvětšuje doba mezi minimy.

XY Leo - LiTE



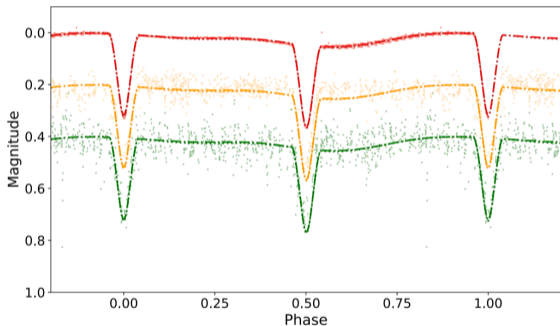
Nejčastějším vysvětlením je přítomnost 3. tělesa, které působí na dvojhvězdu,
var2.astro.cz/ocgate/index.php?lang=cz

CO Lac - apsidální pohyb



Efekty doplňující dvojhvězdnost

- Jedna složka je pulzující
- Jedna složka je rotující proměnná
- Vícenásobná soustava, stabilní řešení je vždy dvojice objektů

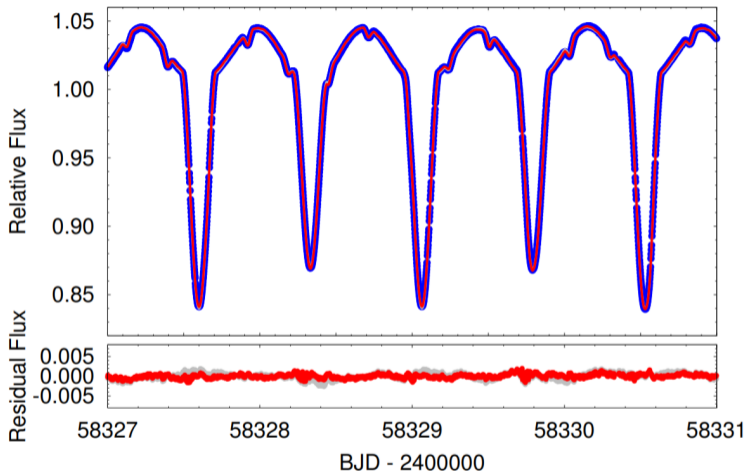


Křivkou prostupuje vlna způsobená skvrnou či více skvrnami, [4]

Dvojzákrytové systémy

- Čtyři hvězdy s hierarchií 2 + 2
- Dva zákrytové podsystemy, oběh kolem jejich společného těžiště
- Málo známých a komplexně analyzovaných
- Potřeba potvrzení vzájemného pohybu, bývá problém

BG Ind



Dobře patrná dvojhvězda, do toho velmi malé periodické změny - druhý pár, [1]

Dvojjákrytové systémy

- Hledání těchto objektů
- Přehledky, TESS
- Vedlejší produkty, světelné křivky

Bibliografie I

- [1] T. Borkovits et al. „BG Ind: the nearest doubly eclipsing, compact hierarchical quadruple system“. In: 503.3 (květ. 2021), s. 3759–3774. DOI: 10.1093/mnras/stab621. arXiv: 2103.00925 [astro-ph.SR].
- [2] Young-Woon Kang. „New light curve analysis for large numbers of eclipsing binaries I. Detached and semi-detached binaries“. In: *Journal of Astronomy and Space Sciences* 27.2 (2010), s. 75–80.
- [3] Jakub Kolář. „Studium vybraných oddělených zákrytových dvojhvězd“. In: *MUNI* (2021).

Bibliografie II

- [4] Annaliese Miller et al. „Orbital and Stellar Parameters for 2M06464003+0109157: A Double-lined Eclipsing Binary of Spotted, Sub-solar Twins“. In: 133.1022, 044201 (dub. 2021), s. 044201. DOI: 10.1088/1538-3873/abeaf7. arXiv: 2103.10488 [astro-ph.SR].
- [5] Jeffrey A. Sabby et al. „Absolute Properties of the Eccentric Eclipsing Binary Star FT Orionis“. In: 141.6, 195 (červ. 2011), s. 195. DOI: 10.1088/0004-6256/141/6/195.
- [6] Dirk Terrell. „Eclipsing Binary Stars: Past, Present, and Future“. In: *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)* 30.1 (2001), s. 1.

Bibliografie III

- [7] Guillermo Torres et al. „The eclipsing binary V1061 Cygni: Confronting stellar evolution models for active and inactive solar-type stars“. In: *The Astrophysical Journal* 640.2 (2006), s. 1018.

**MASARYKOVA
UNIVERZITA**