

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Marek Wolf  
Magellanova mračna

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 60 (2015), No. 2, 105–112

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/144404>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2015

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

# Magellanova mračna

Marek Wolf, Praha

## 1. Úvod

Když v roce 1519 vyplouval ve službách španělského krále portugalský mořeplavec Fernão de Magalhães<sup>1</sup> (1480–1521) na svoji plavbu kolem světa, jistě netušil, že to bude v jeho životě poslední námořní výprava, ani že se jeho jméno bude navždy připomínat na jižní hvězdné obloze, neboť ho ponесou dva výrazné a okem viditelné objekty: Velké a Malé Magellanovo mračno. Celou jeho dobrodružnou plavbu popsal kronikář výpravy Antonio Pigafetta, italský dobrodruh a mořeplavec, který doprovázel Magellana na jeho cestě kolem světa (1519–1522) [5]. Z pěti lodí se po třech letech vrátila jen jedna (Victoria), sám Magellan zahynul pravděpodobně rukama domorodců na Filipínách. Pojmenování obou satelitních galaxií po Magellanovi se ujalo ale až mnohem později, např. Bayerova Uranometrie z roku 1603 je popisuje jen jako *Nubecula major* a *Nubecula minor*. Francouzský astronom Lacaille je ve své hvězdné mapě z roku 1756 stále označuje jako *le Grand Nuage* a *le Petit Nuage* (velký a malý oblak). Magellanova mračna byla jistě známa mnohem dříve Polynésanům, kteří je používali při navigaci, stejně jako Maorům na Novém Zélandu. Vůbec první dochovaná zmínka o Velkém Magellanově mračnu je od perského astronoma Al Sufiho. V roce 964 ho nazývá *al bakr* (bílý vůl) a poznamenává, že mračno není vidět z Bagdádu, ale jen z úžiny Bab el Mandeb (12°15' sev. šířky), což je nejj jižnější bod Arabského poloostrova. Obě mračna musela hrát pochopitelně důležitou roli při navigaci na jižní polokouli, protože v blízkosti jižního pólu není žádná jasná hvězda, která by určovala jeho polohu tak nápadně jako na severu Polárka. Obě mračna vytvářejí s jižním pólem přibližně rovnostranný trojúhelník a jsou slabě viditelná i za měsíčního svitu.

Z pohledu současné astrofyziky jsou Magellanova mračna dvě trpasličí galaxie, které patří do tzv. Místní skupiny galaxií společně s naší Galaxií, galaxií M31 v Andromedě a dalšími zhruba třemi desítkami trpasličích galaxií. Velké Magellanovo mračno (*Large Magellanic Cloud*, LMC) je dobře viditelné na noční obloze jako slabý obláček na hranici jižních souhvězdí Mečouna (Dorado) a Tabulové hory (Mensa), má zhruba 20krát větší úhlový průměr než Měsíc v úplňku. V současné době se klasifikuje jako spirální galaxie s příčkou (SB), bez prstenců (s) a s jednou spirálou (označení SB(s)m). Jeho celková hmotnost činí  $10^{10}$  hmotností Slunce, což je asi jedna setina hmotnosti naší Galaxie. Pozoruhodná je i poměrně pomalá diferenciální rotace (70 km/s), u spirálních galaxií zpravidla naměříme rychlost 200–300 km/s. Project MACHO zde nepřetržitě sleduje změny jasnosti hvězd způsobené gravitačními čočkami. V LMC

---

<sup>1</sup>Špan. Fernando Magallanes, lat. Ferdinandus Magellanus, angl. Ferdinand Magellan.

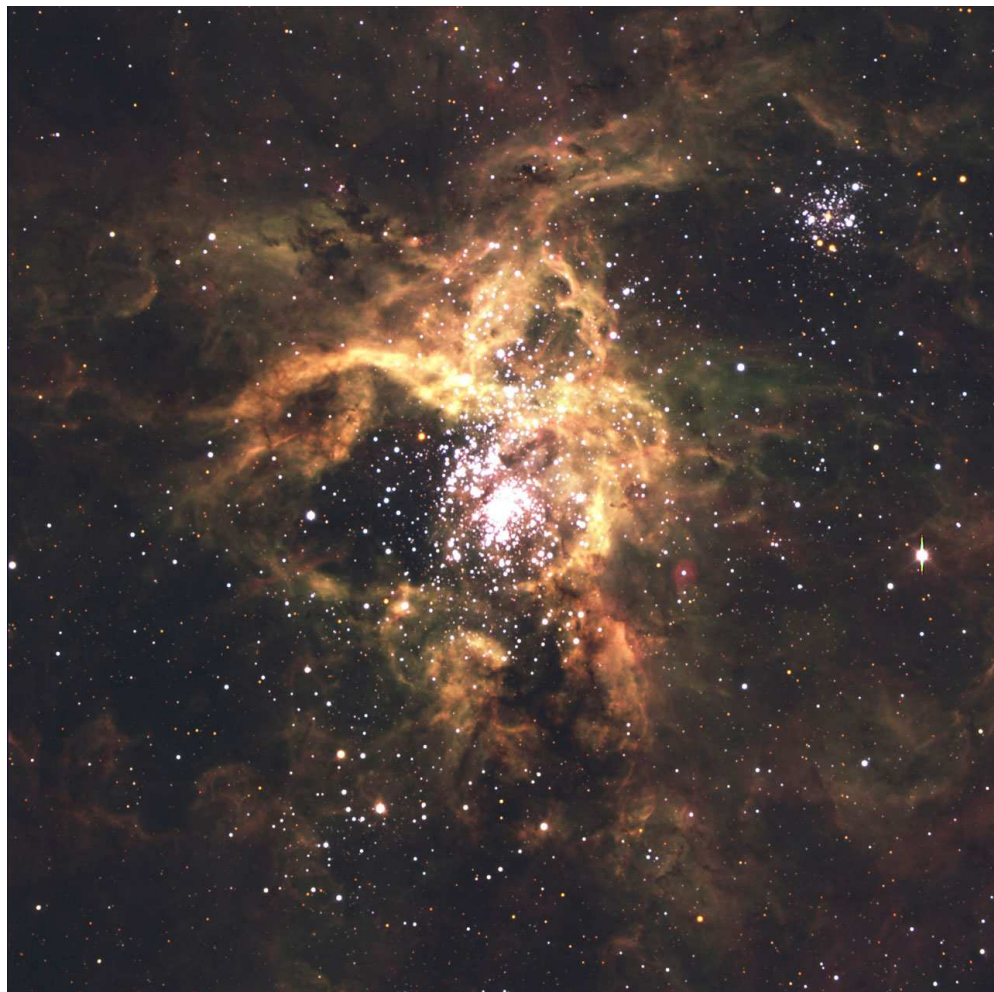


Obr. 1. Snímek Velkého a Malého Magellanova mračna (foto ESO) zobrazuje značnou část jižní oblohy. Úhlová vzdálenost mezi oběma mračny je přibližně 20 stupňů.

upoutá každého pozorovatele mlhovina Tarantula (30 Dorado), obří difúzní mlhovina ionizovaného vodíku viditelná pouhým okem (obr. 2). V jejím sousedství vzplála v roce 1987 známá supernova SN1987A, od dob Keplera první a zatím poslední supernova viditelná pouhým okem a také zatím jediný detekovaný zdroj neutrin mimo Sluneční soustavu. LMC je také čtvrtá největší galaxie v Místní skupině (po M31 v Andromedě, naší Galaxii a M33 v Trojúhelníku).

Malé Magellanovo mračno (*Small Magellanic Cloud*, SMC) leží asi 20 stupňů západněji v souhvězdí Tukana a má menší průměr, asi 10 měsíčních úplňků. Ve složitě vnitřní struktuře odhalíme opět slabý náznak příčky a mohutný výběžek nazývaný Křídlo. Bylo zjištěno, že SMC obsahuje velmi málo těžších prvků, protože proces vzniku hvězd zde začal později a je pomalejší než v naší Galaxii. Mezihvězdný plyn představuje téměř třetinu celkové hmotnosti oblaku.

Astrofyzikové se dříve domnívali, že LMC i SMC obíhají naši Galaxii, ale současný výzkum naznačuje, že tomu tak v minulosti nebylo a obě mračna jsou teprve na svém prvním nebo druhém průletu kolem naší Galaxie. Tomu nasvědčuje i existence tzv. Magellanova proudu, spojnice nebo obřího mostu neutrálního vodíku, který propojuje naši Galaxii s oběma mračny a který je dobře patrný v čáře 21 cm sledované ovšem radioastronomicky. Magellanův proud je tak důsledkem vzájemného gravitačního působení všech tří galaxií (tj. naší Galaxie, LMC a SMC). Na obloze se táhne v délce až 100 stupňů přes jižní galaktický pól a k naší Mléčné dráze se připojuje v souhvězdí Orla. Velmi pravděpodobně byl vytažen slapovým působením naší Galaxie při průletu obou oblaků. Jeho morfologií a kinematikou se v nedávné době zabýval



Obr. 2. Snímek mlhoviny Tarantula (30 Dorado) v LMC (foto ESO). Jde o vůbec nejsvětější oblast ionizovaného vodíku (tzv. HII oblast) v Místní skupině galaxií o průměru asi 200 pc. Má velmi složitou strukturu jasných oblouků a tmavých oblastí s asociacemi horkých a mladých O hvězd.

náš astrofyzik Adam Růžička, z jehož modelů vyplývají dva průlety mračen okolo naší Galaxie před 2.5 miliardami a 150 miliony let [6]. Obě galaxie se od nás v současné době vzdalují rozdílnou rychlostí, LMC 278 km/s, SMC 158 km/s.

Středem pozornosti v obou mračnecích se také staly hvězdokupy a hvězdné asociace, kterých je v obou mračnecích značný počet. John Herschel jich v roce 1847 identifikoval a katalogizoval několik stovek (919 v LMC, 214 v SMC). Moderní přehledky tento počet zvýšily už na tisíce (4 200 v LMC, 2 000 v SMC). O výzkum Magellanových mračen se v průběhu 20. století zasloužilo mnoho známých přístrojů, např. 64m radio-teleskop v Parkesu (Austrálie) nebo flotila dnes už zaniklých družic: od ultrafialového

satelitu IUE (1978–1996) přes infračervený IRAS (1983) až po rentgenové družice Einstein (1978–1981) a ROSAT (1990–2011). K poznání přispěl významně i Hubbleův dalekohled. Více o historii a výzkumu Magellanových oblaků čtenář nalezne v dnes již klasické monografii B. Westerlanda [7].

## 2. Vzdálenost Magellanových mračen

V letech 1834 až 1838 uskutečnil John Frederick William Herschel první profesionální pozorování LMC a SMC pomocí 36cm reflektoru na známé *Royal Observatory* na mysu Dobré naděje. Velkou výzvou pro astronomy bylo určení přesné vzdálenosti obou mračen. V roce 1891 zahájila pravidelná pozorování jižní oblohy *Harvard College Observatory* na nově zřízené stanici Arequipa v Peru. V letech 1893 až 1906 zde pak probíhala pod vedením Solona Baileyho fotografická přehlídka obou mračen. A právě fotografické desky z této stanice použila Henrietta S. Leavittová ke studiu světelných změn proměnných hvězd v Malém Magellanově mračnu. Pro jistý typ proměnných hvězd (později nazvaných cefeidy) pak v roce 1912 publikovala svůj slavný vztah perioda–svítivost<sup>2</sup>. Tento vztah se stal základem k určování vzdálenosti ve vesmíru a je jedním z pilířů současné kosmologie [2]. Jeho užitím mohl další slavný astronom Ejnar Hertzsprung odvodit v roce 1913 vzdálenost Malého mračna tak, že nejprve změřil 13 blízkých cefeid v okolí Slunce, aby zjistil jejich absolutní hvězdnou velikost a vztah sl. Leavittové tím kalibroval. Jeho výsledek 10 kpc (30 tis. světelných let) je sice značně nepřesný, ale ukázal na použitelnost této metody. Dnešní měření ukazují na vzdálenost LMC 50 kpc (tj. 163 000 světelných let) a SMC 60 kpc (200 000 světelných let).

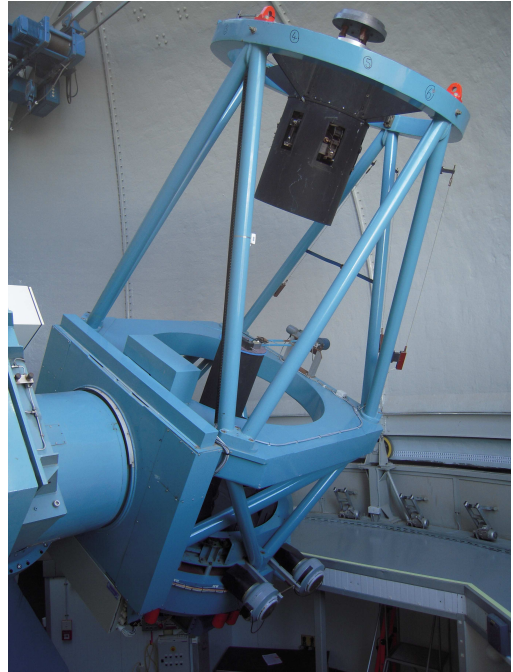
Vzdálenost LMC hraje klíčovou roli při určování kosmologických vzdáleností ve vesmíru. V minulosti byly na toto téma publikovány stovky odborných článků, při kterých autoři využili vlastností různých „standardních svíček“: cefeidy, proměnné hvězdy typu RR Lyrae, supernovu SN1987A, zákrytové dvojhvězdy, větev červených obrů na HR diagramu i dlouhoperiodické proměnné hvězdy typu Mira. Měření modulu vzdálenosti<sup>3</sup> LMC bylo také předmětem jednoho z klíčových projektů Hubbleova teleskopu, neboť nejistota ve vzdálenosti LMC byla jednou z největších nepřesností stanovení Hubbleovy konstanty. Lze odvodit, že změna modulu vzdálenosti LMC o 0.1 mag vede ke změně Hubbleovy konstanty o 5%. V roce 2001 byla zveřejněna závěrečná zpráva tohoto klíčového projektu s analýzou dřívějších měření vzdálenosti LMC [1]. Modul vzdálenosti byl stanoven  $18.5 \pm 0.1$  mag, což odpovídá 50.1 kpc. Tato hodnota byla posléze přijata i jako konsensus nejšířší astronomickou veřejností.

Ačkoliv je měření vzdálenosti SMC prakticky identická úloha s měřením vzdálenosti LMC, překvapivě nalezneme v odborné literatuře výrazně méně údajů pro SMC. Důvodem může být to, že SMC není oním příslovečným pilířem kosmologického žebříku, leží o trochu dále a navíc obsahuje i méně objektů vhodných ke stanovení vzdálenosti, což činí tuto úlohu obtížnější. Průměrná hodnota i medián publikovaných modulů vzdálenosti jsou blízké hodnotě 18.9 mag, což představuje 60.3 kpc.

Téměř 20 let monitoruje desítky miliónů hvězd v LMC a SMC experiment OGLE

<sup>2</sup>Jeho současný tvar  $M_v = -2.769 \log_{10} P - 1.440$  mag, kde  $P$  je pulsační perioda cefeidy ve dnech.

<sup>3</sup>Modul vzdálenosti je rozdíl mezi vizuální ( $m$ ) a absolutní ( $M$ ) hvězdnou velikostí. Podle Pogsonovy rovnice platí pro modul vzdálenosti jednoduchý vztah:  $m - M = 5 \log r - 5$ , kde  $r$  je vzdálenost objektu v parsecích.



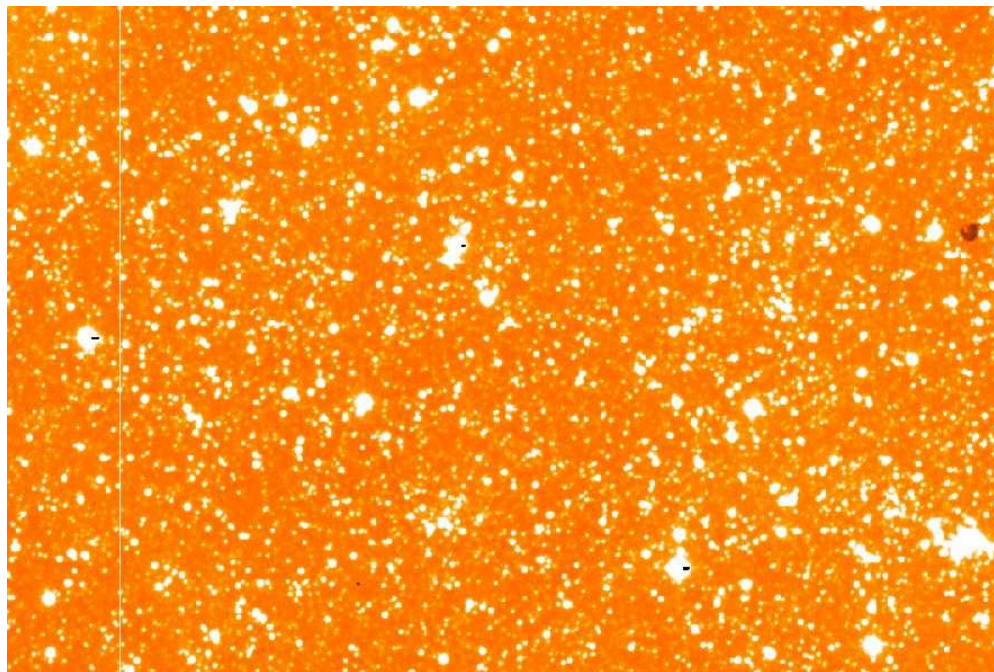
Obr. 3. Kopule a zrcadlový dalekohled Ústavu Nielse Bohra Univerzity v Kodani o průměru 1.54 m umístěný na observatoři La Silla v Chile. Tento přístroj a jeho citlivou CCD kameru je možné pomocí internetu ovládat i z České republiky. Foto ESO a autor.

(*Optical Gravitational Lensing Experiment*) [3]. Těžiště jeho práce spočívá v detekci gravitačních čoček. Z dlouhé řady dostupných fotometrických dat byly také odhaleny poměrně vzácné zákrytové dvojhvězdy s velmi dlouhou oběžnou dobou až 772 dní. Analýza těchto oddělených systémů poskytuje jedinečnou příležitost určit přesně nejen fyzikální parametry složek, ale i jejich vzdálenost a nezávisle kalibrovat měřítko kosmických vzdáleností. Z nedávných měření polských astronomů vyplývá např. vzdálenost středu LMC  $49.97 \pm 0.19$  kpc [4]. V tomto údaji je vzata v úvahu i známá morfologie oblaku, která zahrnuje i polohy jednotlivých dvojhvězd.

### 3. Fotometrický výzkum dánským dalekohledem na Evropské jižní observatoři v Chile

Astronomové dnes z mnoha důvodů obracejí svoji pozornost více na extragalaktické dvojhvězdy než na dvojhvězdy v okolí Slunce. Je tomu tak díky dlouhodobým přehlídkám řady experimentů (např. MACHO a OGLE), které objevily v LMC i SMC několik tisíc nových zákrytových dvojhvězd. Zcela paradoxně tak v obou mračnech známe nyní asi 2krát více zákrytových dvojhvězd než v naší Galaxii.

Na výzkum Magellanových mračen se v současné době zaměřila i skupina českých stelárních astronomů z Prahy, Brna a Ondřejova pomocí dálkově ovládaného 1.54m dánského dalekohledu na Evropské jižní observatoři La Silla v Chile (obr. 3).



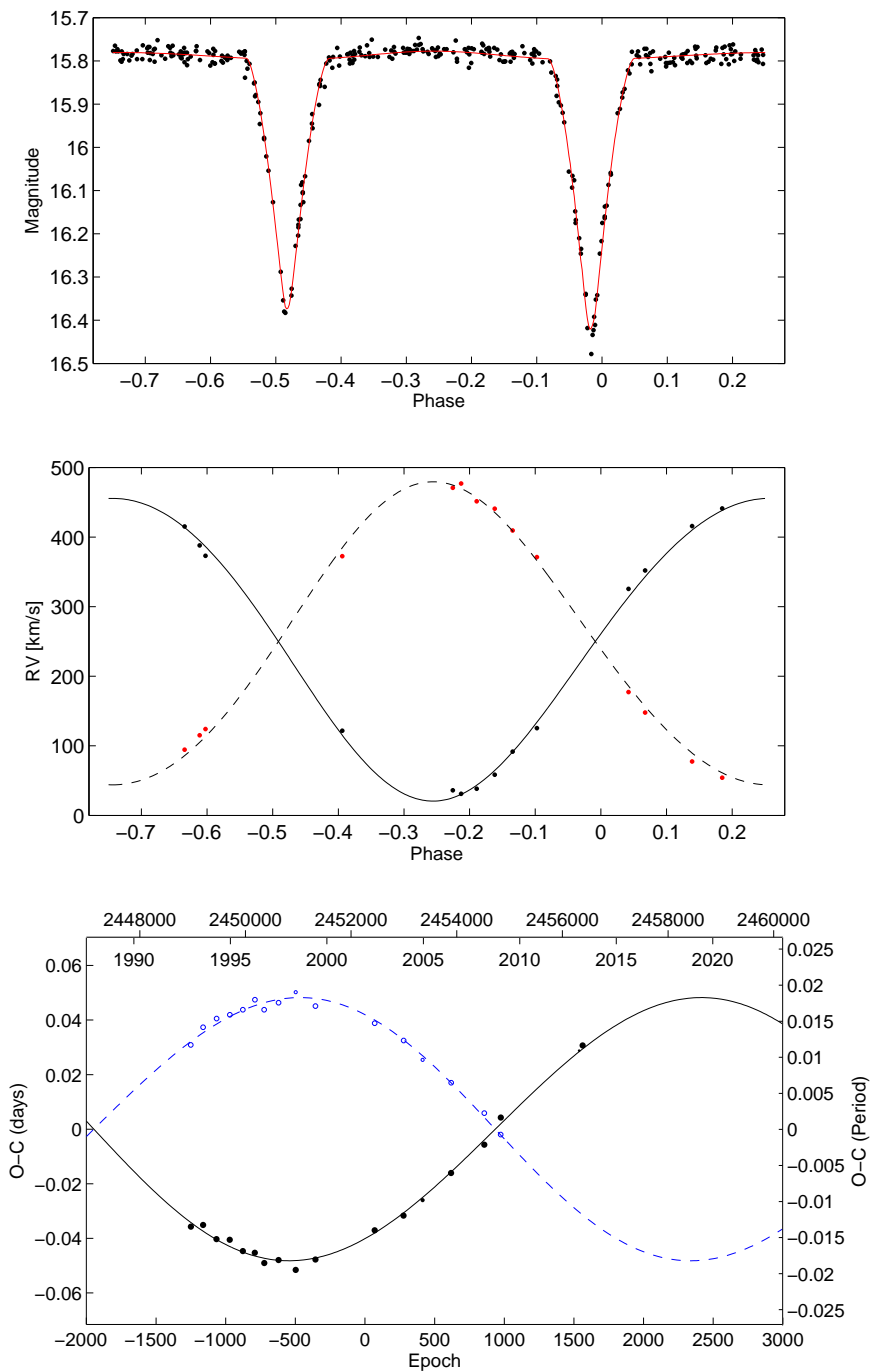
Obr. 4. Výřez ze snímku hustého hvězdného pole v LMC o velikosti zhruba 7krát 10 úhlových minut pořízený dánským 1.54m teleskopem na observatoři La Silla v lednu 2015. Expoziční doba 90 sekund ve filtru  $R$ . Na celém snímku, který obsahuje informaci o jasnosti zhruba 30 000 hvězd, je třeba identifikovat jen několik vybraných dvojhvězd.

Vzdálený přístup po internetu umožňuje měřit z pohodlí domova nebo vlastní kanceláře bez nutnosti cestovat přes půlku zeměkoule. Romantika nočních pozorování se tak vytrácí, časový posun 6 hodin není pro pozorovatele zrovna příjemný, ale vynikající klimatické podmínky observatoře La Silla jsou zárukou téměř 100% jasných nocí. Ani ušetřené cestovní náklady nejsou zanedbatelné. Středem zájmu se mj. staly zákrytové dvojhvězdy, které dobře známe z naší Galaxie, neboť umožňují určit přesné fyzikální vlastnosti hvězd: hmotnosti, poloměry a povrchové teploty složek. Přesným fotometrickým měřením zákrytů je možné stanovit i malé změny oběžné doby a usuzovat na jejich příčiny, např. na existenci dalšího, tj. třetího tělesa v soustavě. Malá skupina zákrytových dvojhvězd s excentrickou dráhou, u kterých dochází k pomalému stáčení dráhy v prostoru, pak odhalí vnitřní stavbu hvězdy, tj. rozložení hustoty uvnitř tělesa. Tento efekt známý jako stáčení přímky apsid v mnohem menší míře ovlivňuje ve Sluneční soustavě dráhu Merkura. Pečlivá analýza světelných křivek dvojhvězd umožní také zjistit změnu sklonu dráhy zákrytového páru, který je dalším dynamickým efektem přítomnosti třetí složky. Díky menšímu zastoupení těžších prvků<sup>4</sup> zjišťujeme, že vývoj hvězd v těchto galaxiích probíhá nepatrně odlišně, než známe u hvězd v okolí Slunce.

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny postupně fázová světelná křivka, křivka

---

<sup>4</sup>Všechny prvky mimo vodík a helium.



Obr. 5



radiálních rychlostí a graf časových změn okamžiků zákrytů pro jednu z námi studovaných zákrytových dvojhvězd v LMC s označením MACHO 79.5377.76 (též OGLE LMC-ECL-10288). Tyto grafy představují výsledky i několikaletého snažení pozorovatele. První panel ukazuje světelnou křivku dvojhvězdy ve filtru  $R$  společně s jejím řešením v programu PHOEBE (červeně)<sup>5</sup>. Druhý panel zobrazuje dráhový pohyb a změřenou změnu radiální rychlosti obou komponent. Černé body a plná křivka reprezentují pohyb primární složky, červené body a čárkovaná křivka odpovídají sekundární složce. Rychlost vzdalování těžiště soustavy činí přitom asi 250 km/s. Obě časové závislosti byly přepočteny na fázi pomocí přesné oběžné doby 2.6365766 dne. Poslední panel představuje časové odchylky jednotlivých zákrytů od lineární efemeridy. Černé body a plná křivka reprezentují okamžiky primárních zákrytů, modrá kolečka a čárkovaná křivka pak sekundární minima. Sinusový průběh těchto odchylek s opačným znaménkem je jasným důkazem již zmíněného apsidálního pohybu. Podrobná analýza těchto dat odhalila dvě velmi podobné složky dvojhvězdy o hmotnostech 11.3 hmotnosti Slunce, poloměrech 4.8 a 4.3 poloměru Slunce a povrchových teplotách 27 500 a 26 700 K, což odpovídá spektrálnímu typu B1–B2. Perioda apsidálního pohybu (tj. stáčení přímky apsid v prostoru) této mírně excentrické dráhy činí 42 let. Viz též [8].

**Poděkování.** Tento článek vznikl za podpory projektu MŠMT INGO-II LG12001 v letech 2012–2014.

## L i t e r a t u r a

- [1] FREEDMAN, W. L., et al.: *Final results from the Hubble space telescope key project to measure the Hubble constant*. *Astrophys. J.* 553 (2001), 47.
- [2] LEAVITT, H. S., PICKERING, E. C.: *Periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud*. Harvard College Observatory Circular 173 (1912).
- [3] OGLE — Optical Gravitational Lensing Experiment. <http://ogle.astrouw.edu.pl/>
- [4] PEITRZYNSKI, G., et al.: *An eclipsing-binary distance to LMC accurate to two per cent*. *Nature* 495 (2013), 76.
- [5] PIGAFETTA, A.: *Zpráva o první cestě kolem světa*. Praha, Mladá fronta, 1975.
- [6] RŮŽIČKA, A., et al.: *Rotation of the Milky Way and the formation of the Magellanic Stream*. *Astrophys. J.* 725 (2010), 369.
- [7] WESTERLUND, B. E.: *The Magellanic Clouds*. Camb. Astrophys. Ser. 29, Cambridge University Press, 1997.
- [8] ZASCHE, P., WOLF, M.: *Apsidal motion and absolute parameters for five LMC eccentric eclipsing binaries*. *Astronom. Astrophys.* 558 (2013), A51.

---

<sup>5</sup>Pozn. redakce: Barevný obrázek bude během roku 2016 dostupný na [www.dml.cz](http://www.dml.cz).