

Rozhledy matematicko-fyzikální

Daniel Kurtin

Proměnné hvězdy a význam pořizování jejich dat amatérsky

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 99 (2024), No. 2, 44–56

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/152490>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2024

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>

Proměnné hvězdy a význam pořizování jejich dat amatérsky

Daniel Kurtin, Gymnázium a SOŠPg Jeronýmova, Liberec

Abstrakt. Článek vychází z ročníkové práce ve 3. ročníku na gymnáziu. Cílem ročníkové práce bylo porozumět problematice proměnných hvězd, zpracovat napozorovaná data a předat informace srozumitelnou formou ostatním studentům. Teoretická část řeší fyzikální podstatu proměnných hvězd, jejich rozdělení, historii pozorování a současný výzkum. Praktická část je založená na pořizení vlastních dat proměnné zákrytové dvojhvězdy AB And. Představen je také způsob zpracování těchto dat a jejich následný rozbor. Nakonec je posuzován význam pořizování těchto dat v době, kdy za nás velkou práci odvádějí kosmické sondy.

Proměnné hvězdy jsou skupinou hvězd, jejichž jasnost se v čase mění. Může se měnit buď periodicky, neperiodicky nebo pouze ojedinele. Příčiny těchto změn jsou velice složitou a komplexní záležitostí – mohou záviset na vnitřních i vnějších jevech, podle čehož proměnné hvězdy rozdělujeme do různých skupin. Výzkum proměnných hvězd se řadí mezi jedny z nejmladších oborů astronomie, jehož skutečnou podstatu plně odhalujeme až v posledních desetiletích. Je ale v dnešní době vůbec ještě potřeba měřit proměnné hvězdy amatérsky, když máme družice, které dokáží pozorovat velkou část oblohy najednou? A jak případně taková data pořídít?

Základní dělení

Abychom se vůbec v systému proměnných hvězd zorientovali, představíme jejich základní rozdělení. Dnes rozlišujeme dvě základní skupiny proměnných hvězd podle toho, jaký původ jejich změny jasnosti mají – jsou to *fyzické* a *geometrické* proměnné hvězdy.

U fyzických proměnných hvězd dochází ke změně zářivého toku. Tyto hvězdy tak skutečně mění svojí fyzikální charakteristiku, která se navenek projevuje právě změnou jasnosti. Tyto změny mají často původ v nestabilitě gravitační síly hvězdy a tlakové síly vyvolané termonukleárními reakcemi v jejím jádře, v důsledku čehož hvězda pulzuje (převaha vlivu obou sil se střídá, ale hvězda zůstává dlouhodobě stabilní), exploduje nebo se zhroutí (převládá jedna ze sil). Změna jasnosti zde může

mít původ také ve složitém magnetickém poli hvězdy, čímž může docházet k hvězdným erupcím měnícím celkovou jasnost. Fyzické proměnné se proto dále dělí na *pulzující, explozivní a eruptivní hvězdy*.

Mezi pulzující hvězdy patří *cefeidy*. U cefeid je zajímavá závislost periody pulzací na absolutní magnitudě, čímž se dají cefeidy používat k měření vzdáleností ve vesmíru. Poměrně časté jsou pak *hvězdy typu RR Lyrae*, které mohou mít podobné světelné křivky (graf závislosti jasnosti na čase) jako cefeidy, ale jsou slabší a tvoří je většinou staré hvězdy v kulových hvězdokupách v galaktických halech (kulová obálka galaxií). Existují také *proměnné hvězdy typu Delta Scuti* nebo *typu RV Tauri*. Druhý zmíněný typ má delší periodu a většinou dvě minima (jedno hlubší a jedno mělké), čímž se podobá zákrytovým dvojhvězdám. Tato minima se navíc v čase mohou měnit, a dokonce i vyměňovat. Mezi pulzující proměnné se dále řadí *dlohoperiodické proměnné typu Mira*. Patří sem pomalu pulzující hvězdy, tedy hvězdy s dlouhou periodou pohybující se obvykle mezi sto dny a čtyřmi lety, které mají velkou amplitudu v průměru kolem 5 mag (magnituda – jednotka jasnosti používaná v astronomii).

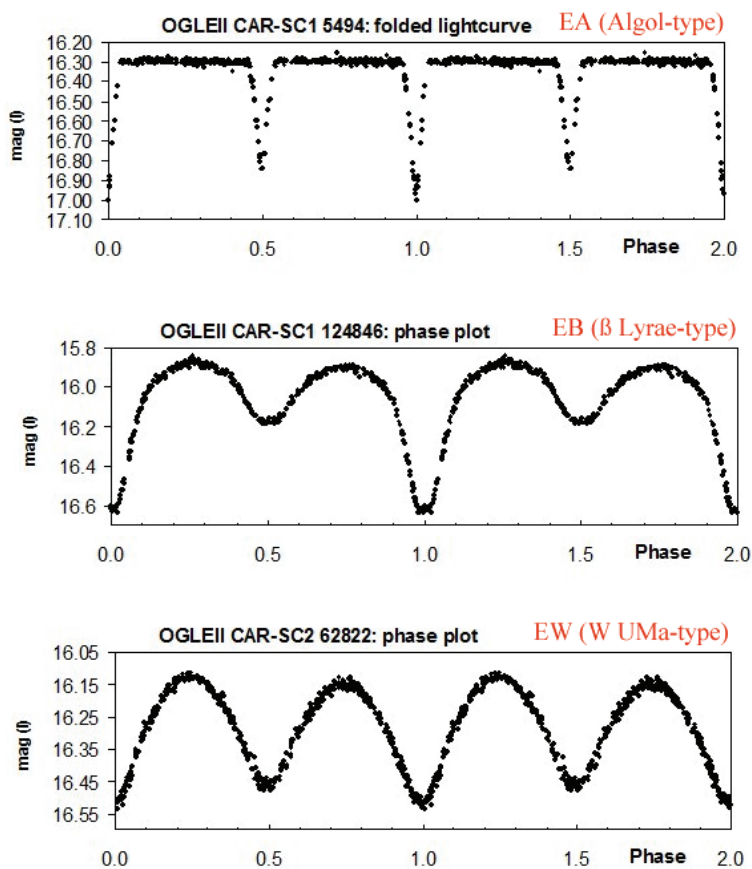
Explozivní hvězdy pak prodělávají extrémní změnu jasnosti, která často nastává jen jednou za jejich existenci. Jedná se hlavně o *supernovy* a *novy* (u nov je zjasňování opakující se děj). Supernovy mohou vznikat několika způsoby. Dvěma nejčastějšími typy jsou supernovy typu II a supernovy typu Ia. Typ II vzniká, když velice hmotná hvězda vyčerpá své palivo a zhroutí se. Typ Ia pak vzniká v těsné dvojhvězdě, kde bílý trpaslík nahromadí hmotu svého průvodce, čímž se zhroutí na neutronovou hvězdu. Explozivní termonukleární hoření v celém objemu trpaslíka způsobí supernovu typu Ia. Novy vznikají podobně jako supernovy typu Ia, ale zde se bílý trpaslík udrží a spustí se v něm termojaderná fúze.

Mezi eruptivní hvězdy patří takové objekty, u nichž dochází ke změně jasnosti v důsledku bouřlivých dějů v jejich atmosféře, které mají původ ve složitém magnetickém poli hvězdy. Mohou to být tedy *protovhvězdy*, velice *mladé hvězdy* nebo hvězdní *obří* a *veleobří*.

Dostáváme se k druhé velké skupině, kterou jsou geometrické proměnné. Změna jasnosti těchto hvězd není dána změnou jejich fyzikální charakteristiky, ale vnějšími příčinami (viz dále). Celková svítivost hvězdy se tedy nemění a vždy záleží na vzájemné poloze hvězdy a pozorovatele. Už z podstaty se jim také říká „zdánlivě proměnné hvězdy“.

Jedná se o *rotační proměnné hvězdy*, tedy osamocené asférické hvězdy, které díky vlastní rotaci mění na obloze jasnost (například na sobě mají

velké skvrny) nebo o *zákrytové dvojhvězdy*, tedy hvězdy, které se navzájem z našeho pohledu zakrývají. Zákrytové dvojhvězdy se dělí na tři skupiny: proměnné hvězdy *typu Algol*, *typu Beta Lyræ* a *typu W UMa*. Rozlišujeme je podle vzájemné vzdálenosti a podle toho, zda u nich dochází k přenosu materiálu. Do této skupiny můžeme zařadit také přechody exoplanet (tedy přechody planet v jiných soustavách přes jejich mateřské hvězdy).



Obr. 1: Světelné křivky jednotlivých typů zákrytových dvojhvězd, postupně se jedná o proměnnou typu Algol, typu Beta Lyræ a typu W UMa

Něco z historie

První proměnné hvězdy

Hvězdy na obloze zajímají lidstvo od nepaměti. I pravěký člověk často vzhledl k noční obloze a byl očarován několika tisíci hvězdami a Mléčnou dráhou. Zároveň na něj musela dolehnout tíha obrovského neznáma – o jejich podstatě totiž neměl žádné povědomí. Vznikaly první teorie, že nebeská obloha se dělí na sféry a že všechny stálice jsou na jedné z nich a ostatní objekty jako Slunce, Měsíc a ostatní „bludné hvězdy“ putují na sférách vlastních. Všem objektům kromě stálic se v řečtině říkalo planetés (v překladu právě „bludné hvězdy“) – tento výraz se dochoval do dnešní doby pro skupinu těles, kterým říkáme planety. Tato myšlenka přetrvávala velmi dlouho. Jistou revoluci přinesl až v první polovině 16. století Mikuláš Koperník, zastávající heliocentrický model vesmíru. Teorie, že Slunce je pouze „obyčejnou“ hvězdou, která je podobná hvězdám na noční obloze, se však začala prosazovat až v 18. a 19. století.

Zatímco v Evropě byla proměnnost hvězd často přehlížena, v Číně a v Japonsku tomu tak nebylo. Místní astronomové pečlivě zaznamenávali všechny úkazy na obloze do kronik. Podle nich víme, že prvními událostmi, kdy lidé prokazatelně zachytili změny jasností hvězd, byly supernovy a novy. Tou vůbec nejjasnější supernovou byla SN 1006 v souhvězdí Vlka na jižní obloze.

První novodobá a více zdokumentovaná změna jasnosti hvězdy pochází z roku 1572, kdy dánský astronom Tycho Brahe objevil v souhvězdí Kasiopěji „novou hvězdu“, jejíž vývoj v následujících měsících důkladně sledoval a dokumentoval. Z těchto dokumentací bylo možné sestavit vůbec první světelnou křivku proměnné hvězdy. Díky tomu víme, že se jednalo o supernovu, jejíž jasnost přesáhla na svém vrcholu jasnost planety Venuše a dosáhla $-4,1$ mag. Hvězda následně postupně slábla a v březnu 1574 se její jasnost dostala pod hranici viditelnosti pouhýma očima. Tycho Brahe rozbořem vlastních dat i dat ostatních pozorovatelů (mezi nimi byl například i český přírodovědec Tadeáš Hájek z Hájku) zjistil, že ona „nova“ (jak jí tenkrát říkal) musí být minimálně šestkrát dál než Měsíc. Dnes víme, že se jednalo o supernovu typu Ia ve vzdálenosti osm až deset tisíc světelných let.

V roce 1604 pozoroval Johannes Kepler podobnou supernovu, která se stala do dneška poslední pozorovanou supernovou v Mléčné dráze. Už z dobových světelných křivek se ukazuje, že se rovněž jednalo o supernovu typu Ia.

První objevenou periodicky proměnnou hvězdou se stala hvězda Omikron Ceti neboli Mira. Tu pozoroval německý astronom David Fabricius v srpnu 1596, když v souhvězdí Velryby našel hvězdu druhé hvězdné velikosti, která záhy (v říjnu) přestala být vidět. Pokládá se však za pravděpodobné, že Mira byla pozorována už v Babylonu. Některé dobové klínopisné tabulky totiž obsahují informace o hvězdě v oblasti Velryby, která „vybuchla a zhasla“. Její periodicitu ale dokázal až v roce 1638 astronom Johannes Phocylides Holwarda. Roku 1667 francouzský astronom Ismaël Bouillau určil její periodu na 333 dní (podle dnešních měření je to 332 dní, což potvrzuje relativní přesnost dobových pozorování). V roce 1667 byla objevena proměnnost hvězdy Algol v souhvězdí Persea. Poté bylo objeveno ještě několik málo takových proměnných, ale tyto objevy byly stále dost sporadické.

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	18.8.1600–1626?	Blau ³
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–?	Anthelm, Picard

Obr. 2: Historické novy a supernovy [1, str. 10]

První systematická pozorování

Významným milníkem se stala 80. léta 18. století, do kdy se datuje začátek vrcholové kariéry britsko-německého astronoma Williama Herschela, který zavedl první systematickou metodiku pro srovnávání jasností hvězd. Do stejného období se řadí také první snahy o vysvětlení příčiny změny jasnosti hvězdy Algol. Podle těchto teorií měla být hvězda zastiňována slabším objektem, který přes ni pravidelně přecházel (dnes víme, že se jedná o zákrytovou dvojhvězdu).

Historickým mezníkem byl rok 1844, kdy německý astronom Friedrich Argelander v díle „Výzva přátelům astronomie“ publikoval jednoduchou, ale relativně přesnou metodu pozorování proměnných hvězd, čímž v tomto ohledu překonal Williama Herschela. Ve stejném roce navrhl způsob označování proměnných hvězd. Podle něho se proměnným přiřadila písmena v abecedě počínaje písmenem R, po nichž následovala latinská zkratka souhvězdí, ve kterém se hvězda nacházela (např. R Cep). Každému souhvězdí tak náleželo maximálně 9 proměnných hvězd, což se záhy ukázalo jako velmi naivní představa o počtu proměnných hvězd.

S objevy a s pozorováními již objevených proměnných hvězd se roztrhl pytel v polovině 19. století. V této době bylo známo kolem stovky proměnných. Vznikaly různé spolky, byly vydávány hvězdné katalogy a díla popisující nejlepší strategie při pozorování a astronomie se rozšířila do dalších zemí. Počet známých proměnných tak začal bezprecedentně narůstat, a to také díky rozmachu fotografie.

První polovina 20. století

Americká astronomka H. S. Leavittová se v roce 1903 zaměřila na Magallanovy oblaky, ve kterých bylo po třech letech její práce známo 1 777 proměnných hvězd. V témže roce objevila také závislost periody cefeidy na jejich absolutní magnitudě.

Hlavním centrem ve výzkumu proměnných hvězd se ale stalo Německo. V té době byl asi vůbec nejúspěšnějším pozorovatelem proměnných hvězd Cuno Hoffmeister, který v roce 1925 založil hvězdárnu v Sonnebergu. Inicioval tam fotografickou přehlídku oblohy a s její pomocí objevil skoro 10 000 proměnných hvězd. Po celém světě přibývali astronomové, kteří tyto proměnné hvězdy proměřovali a získávali i desetitisíce jednotlivých odhadů jasností.

V roce 1911 vznikla v USA *Americká asociace pozorovatelů proměnných hvězd* (AAVSO), která je dnes největší a nejaktivnější v celosvětovém měřítku. Jejím hlavním účelem byla a je dlouhodobá mezinárodní spolupráce v pozorování proměnných hvězd a koordinace v rámci získávání nových dat a poznatků. V roce 1917 byla založena *Česká astronomická společnost* (ČAS). O sedm let později, v roce 1924, byla v rámci ČAS založena také Sekce pozorovatelů hvězd měnlivých (od roku 2008 známá jako Sekce proměnných hvězd a exoplanet). Ve Francii vznikla v roce 1921 *Francouzská asociace pozorovatelů proměnných hvězd* (AFOEV), která je dnes asi nejvýznamnější skupinou v Evropě.

V červenci 1919 vyvrcholila snaha založit astronomickou společnost

světového charakteru. Vznikla tak *Mezinárodní astronomická unie* (IAU). Ta sestává z různých komisí zastřešujících vždy určitou oblast astronomie. Jednou z prvních byla i 27. komise „Proměnné hvězdy“. Ta rozhodla v roce 1925 mimo jiné i o novém způsobu katalogizace proměnných hvězd za pomoci označení počínaje V335 (pokračovalo se V336 atd.).

Po válce se koordinace vědeckých prací opět ujala Mezinárodní astronomická unie, která přesunula v roce 1946 centrální evidenci proměnných hvězd z Německa do SSSR. Zde se tak začala připisovat proměnným hvězdám jejich definitivní označení, v důsledku čehož vzniklo několik vydání *Generálního katalogu proměnných hvězd* (GCVS) a *Katalogu hvězd podezřelých z proměnnosti* (CSV).

Určitou revoluci v pozorování přineslo používání CCD čipů, které jsou velice citlivé na světlo a dokáží přesně rozpoznat jasnost každého pixelu a tím poskytnout přesnější měření. S jejich nástupem byl zaznamenán veliký nárůst počtu pozorování. V 90. letech existovalo po světě už přes 200 společností zabývajících se proměnnými hvězdami.

Současný výzkum proměnných hvězd

V roce 2010 bylo celkem známo asi 200 000 proměnných hvězd, v roce 2020 už to byly dva miliony a v roce 2022 po uveřejnění dat z družice Gaia to bylo 10,5 milionů proměnných hvězd. To poukazuje na extrémní nárůst objevů, který je daný stále přesnějšími přístroji a družicemi, které jsou schopné zachycovat i minimální odchylky jasností, a dále pak celooblohovými přehlídkami (kamery snímají automaticky a dlouhodobě často i celou oblohu).

Dvě hlavní družice, které nám v posledních letech poskytují nejvíce informací, jsou TESS a již zmíněná Gaia. Primárním cílem amerického satelitu TESS je výzkum tranzitujících exoplanet. Data z této družice ale obsahují přesné informace o jasnostech hvězd, a dají se tudíž využít také ke studiu binárních systémů nebo pulzujících hvězd. TESS pozoruje oblohu po částech, je tedy důležitý hlavně při výzkumu hvězd s kratšími periodami. V rámci primární mise bylo pomocí TESS identifikováno (ne však objeveno) 46 tisíc periodicky proměnných hvězd s vysokou spolehlivostí a dalších 38 tisíc jich bylo identifikováno se střední spolehlivostí. Mise však byla prodloužena, takže se dá očekávat, že nám satelit v budoucnu nabídne pohled i na další hvězdy a poskytne nám spoustu dalších informací.

Evropská observatoř Gaia pozoruje a zaznamenává mimo jiné přesné polohy a pohyby objektů. Cílem této mise, která započala v roce 2013,

je vytvořit trojrozměrnou mapu celé Mléčné dráhy s tím, že tato mapa by měla obsahovat více než jednu miliardu objektů do 20 mag emitujících záření v široké oblasti spektra od blízké UV oblasti po blízkou IR oblast. Balík dat zveřejněný v červnu 2022 už však obsahoval informace o téměř dvou miliardách objektů. Mimo jiné se jednalo o měření 10,5 milionů proměnných hvězd, konkrétně třeba více jak 15 tisíc cefeid, téměř 2,2 milionů zákrytových dvojhvězd, 1,7 milionů dlouhoperiodických proměnných, 270 tisíc proměnných typu RR Lyræ.

Dá se tedy říci, že kosmické sondy dnes utváří budoucnost výzkumu vesmíru. Přípravovanou sondou je dnes například PLATO, která by měla být do vesmíru vynesena v roce 2026 a jejíž hlavním cílem bude hledání exoplanet.

Praktické amatérské pozorování

Základem studia proměnných hvězd je vytvoření tzv. světelné křivky, která zaznamenává změny jasnosti v čase. Ze světelné křivky se dají vyčíst informace o povaze sledovaných objektů. Jedná se o amplitudu změny jasnosti (rozdíl mezi nejmenší a nejvyšší jasností), minimální a maximální jasnost, průběh změny jasnosti, a pokud je změna periodická, tak i její frekvenci. Z těchto informací se dá následně odvodit původ těchto změn (*vnitřní* – fyzické proměnné a *vnější* – geometrické proměnné), z čehož můžeme pochopit fungování sledovaných objektů. Výzkumem proměnných hvězd ale také získáme často unikátní informace o jejich výkonech, hmotnostech i o vnitřním složení. Navíc nám mohou prozradit také svoji vzdálenost od Země, čímž se vyznačují hlavně supernovy typu Ia, ale občas také pulzující proměnné hvězdy a za určitých podmínek i zákrytové dvojhvězdy. Pomocí těchto informací se tak dají upřesňovat a rozvíjet dosud známé informace a vědomosti i o obecné fyzice a jejich ostatních oborech.

Vybavení

Jelikož pozorování proměnné hvězdy zabere většinou celou noc, je potřeba mít zejména pevný stativ a kvalitní montáž. Montáž slouží ke kompenzaci rotace Země a je tak velice důležitá pro pořizování dlouhých expozič. Mezi potřebné vybavení dále patří dalekohled, který nemusí být nutně velký – na jasnější proměnné si vystačíme i s teleobjektivem. V neposlední řadě je důležitý také fotoaparát nebo astronomická kamera. Jelikož za jednu noc pořídíme stovky expozič a důležitá je pro nás hlavně informace o jasnosti jednotlivých pixelů a nikoli rozlišení, vystačíme si i s poměrně jednoduchou astronomickou kamerkou s malým CCD čipem.

Já jsem použil montáž Sky-Watcher EQ-5 Pro, dalekohled Vixen ED 81S II a kameru Meade DSI Pro MC. Zmíněný dalekohled má průměr 81 mm a ohniskovou vzdálenost 625 mm. Asi vůbec nejdůležitější je však právě kamera, která v mém případě disponuje CCD čipem značky Sony o velikosti 4,9 mm × 3,69 mm a rozlišením 0,25 Mpx. To je v porovnání s moderními zobrazovacími zařízeními poměrně málo, ale na fotometrii proměnných hvězd to zcela stačí – menší velikost výstupních snímků je naopak výhodou při zpracování. Na hodnotu získané amplitudy bude mít nemalý vliv tzv. spektrální citlivost (to, jak je kamera citlivá na záření o určitých vlnových délkách). Mnou použitá kamera je nejcitlivější na záření o vlnové délce asi 600 nm. To vysvětluje malý rozdíl v mých výsledcích pozorování oproti družici TESS, která je nejcitlivější na trochu delší vlnové délky (přibližně od 600 nm od 1 000 nm).

Cílový objekt

Pro svou práci jsem potřeboval vybrat proměnnou hvězdu, která bude mít dostatečně velkou amplitudu a naopak kratší periodu, abych byl schopen získat co nejkvalitnější data. Při malé amplitudě by totiž hrozilo, že kamera nebude schopna zachytit změnu jasnosti. Při dlouhé periodě bych zase musel pořídit takové množství dat, které není v mých možnostech. Ideální hvězda musí být navíc od nás dobře pozorovatelná a musí stoupat co možná nejvýše nad jižní obzor, aby ji bylo možno souvisle pozorovat co nejdéle, nebo musí být cirkumpolární (nikdy nezapadající). Při výběru jsem tedy musel uvážit veškeré tyto aspekty. Nakonec jsem zvolil proměnnou hvězdu AB And, nacházející se v souhvězdí Andromedy. Jedná se o zákrytovou dvojhvězdu typu W UMa.

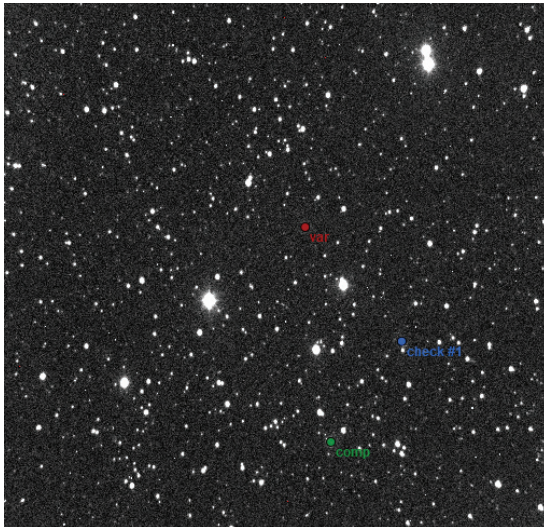
Získávání dat proměnné hvězdy

Obecně má v astrofotografii veliký vliv na kvalitu pozorování světelné znečištění. Je tedy dobré zvolit si lokalitu co nejméně postiženou nežádoucím vlivem umělých světel z měst.

Abychom měli měřenou hvězdu správně exponovanou, musíme použít správné nastavení kamery. Délku expozice vybereme tak, abychom neměli snímky v důsledku nepřesné práce montáže rozmazané. V závislosti na použité kameře pak nastavíme také citlivost tak, aby byla hvězda správně exponovaná. Ideálně se však snažíme navolit co nejmenší hodnotu, abychom zbytečně nepodpořili šum na snímcích. Vlastností CCD kamer však je, že disponují pouze jedním nastavením citlivosti, takže v mém případě stačilo nastavit pouze délku expozice – při tmavé obloze to bylo 30 sekund, a když svítil Měsíc v první čtvrti 20 sekund. Pak sta-

čilo fotit tak dlouho, dokud to jen podmínky dovolily. Bylo ale přitom důležité občas kontrolovat, zda je náš cílový objekt v zorném poli, nebo zda se neroší objektiv.

V astrofotografii je vždy dobré nasnímat i takzvané kalibrační snímky, které nám pomohou zvýšit poměr signálu k šumu (signal-to-noise ratio – SNR) a eliminovat nežádoucí jevy v našich datech. V noci, když je málo světla, je totiž SNR malý a my musíme pořizovat dlouhé expozice, které jsou pak zašuměné. Senzor kamery na sobě také může obsahovat prachová zrnka, která se na fotografiích také projeví negativně. Od toho nám však pomohou právě kalibrační snímky – dark, flat a bias framy. Získání co nejlepších kalibračních snímků je poměrně složité. Na internetu však najdete spoustu užitečných návodů, které s tím pomohou.



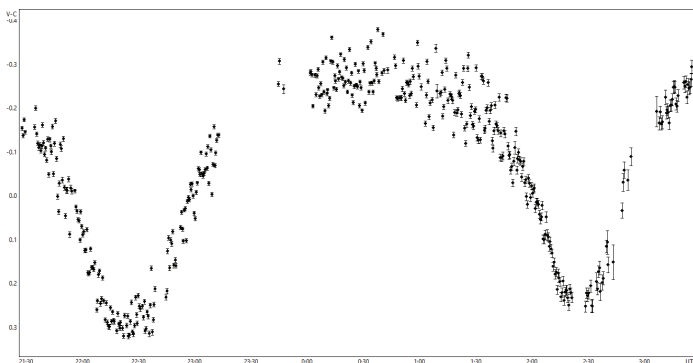
Obr. 3: Snímek ukazující polohu proměnné hvězdy AB And (označení var – červeně, nahoře), srovnávací hvězdy (comp – zeleně, dole) a kontrolní hvězdy (check #1 – modře, vpravo)

Zpracování dat

Zpracování dat je složitou, ale velice důležitou částí celé práce. Vytvořit světelné křivky nám pomůže český program Muniwin. Můžeme v něm také vytvořit výsledné kalibrační snímky. Při zpracování dat je nejdůležitější vybrat správnou srovnávací hvězdu v poli, která nám poslouží k porovnání s jasností naší proměnné. Tato hvězda by tedy měla

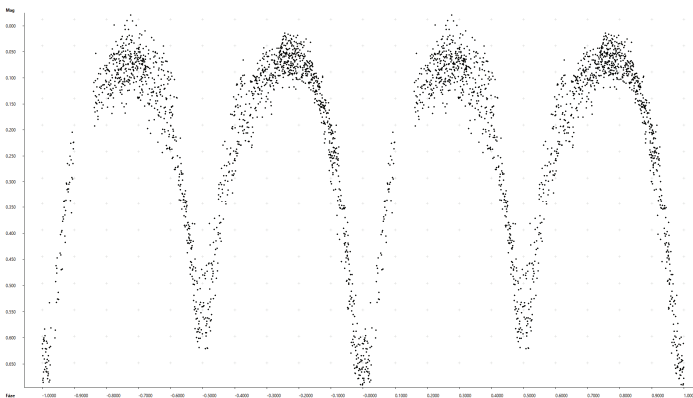
mít konstantní jasnost, ideálně by také měla být podobně jasná a měla by být podobným spektrálním typem.

Fotil jsem čtyři noci, takže jsem musel v programu Muniwin vytvořit čtyři dílčí světelné křivky – z každé noci jednu. Zde je příklad jedné takové křivky z noci ze 14. na 15. října 2023. Jak je vidět, podařilo se zachytit obě minima najednou, nejprve primární a poté i sekundární. Neblahý vliv však v závěru měla oblačnost, která občas mou cílovou hvězdu zakrývala.



Obr. 4: Světelná křivka hvězdy AB And z noci ze 14. na 15. 10. 2023

Všechny dílčí křivky jsem následně musel složit do jedné výsledné fázové křivky, což jsem udělal v programu SILICUPS. Tuto fázovou křivku můžete vidět na obr. 5.



Obr. 5: Výsledná fázová světelná křivka

Celkem jsem získal asi 16 hodin dat, což pokrylo celou periodu dokonce dvakrát. Vždy je dobré pořádit co nejvíce dat, i když se třeba opakují. Zlepší to totiž kvalitu našeho pozorování a hlavně přesnost získaných informací.

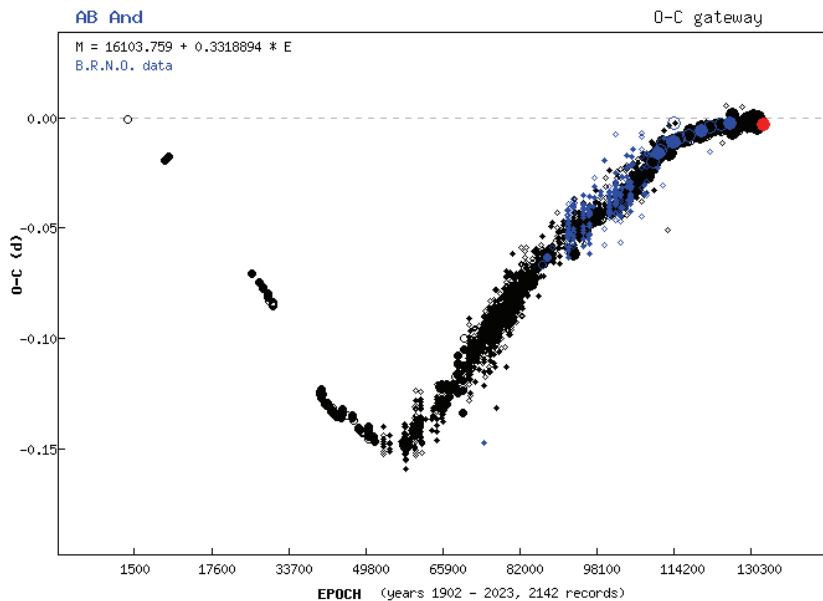
Rozbor dat

Nakonec můžeme z fázové křivky vyčíst spoustu informací. Za prvé se jasnost mění v průběhu celé periody a primární a sekundární minima jsou podobná, což naznačuje, že se skutečně jedná o typ těsné zákrytové dvojhvězdy, ve kterém se obě hvězdy vzájemně téměř dotýkají. Mohlo by se tedy jednat o proměnnou typu W UMa, jak jsme předpokládali. Z programů jednoduše vyčteme periodu proměnné hvězdy 0,331 907 5 dne, což je 7 hodin 57 minut 56,808 sekundy (bez zaokrouhlení). Tabulková hodnota činí 0,331 89 dne. Můžeme určit přesnost měření 0,000 01 dne neboli 0,86 s. Amplitudu jasnosti jednoduše odečteme z křivky: 0,62 mag. Po porovnání se srovnávací hvězdou také můžeme zjistit minimální a maximální jasnost „naší“ hvězdy 9,87 mag až 10,49 mag. Jsme schopni také určit přesný okamžik primárního minima, což se v astronomii zpravidla uvádí v Juliánském datu 2460232.4346513.

O-C diagram

To ale není vše, co můžeme zjistit. U zákrytových proměnných hvězd k zákrytům nemusí vždy docházet přesně periodicky, ale perioda se může v průběhu dní až let měnit. Tento rozdíl nám udávají tzv. O-C diagramy. Čas je zde definován pomocí tzv. „epoch“, které značí počet zákrytů. Veškerá minima by se tak měla dát vypočítat, pokud přičteme k okamžiku referenčního minima M_0 násobek periody a určitého počtu epoch. Ve skutečnosti však tato vypočítaná minima (C – computed) často nekorespondují přesně s pozorovanými minimy (O – observed). A právě tento rozdíl se zakresluje do tzv. O-C diagramů, které nám tedy říkají, jak se v čase mění perioda nebo nám ji na základě dlouhodobých pozorování umožňují zpřesnit.

Na výše uvedeném O-C diagramu hvězdy AB And je moje pozorování označené červenou tečkou. Jak vidíme, od roku 1902 došlo u hvězdy k poklesu hodnoty O-C, který vyvrcholil kolem roku 1960 a poté zase hodnota O-C stoupala. To může znamenat, že se s hvězdou děje něco, co neumíme s jistotou vysvětlit. Například může kolem této dvojhvězdy obíhat ještě třetí hvězda nebo mezi hvězdami přetéká velké množství materiálu, což ovlivňuje její periodu.



Obr. 6: O-C diagram hvězdy AB And vytvořený z primárního minima z druhé noci, červeným bodem je označený můj výsledek

Závěr

Je potřeba připomenout, že přestože se může zdát, že práci ohledně výzkumu proměnných hvězd už plně převzaly kosmické sondy, schopné najednou sledovat velkou část oblohy mimo zemskou atmosféru, amatérská pozorování mají v tomto oboru stále své místo. I amatér může přispět k vědecké činnosti a pomoci s hledáním souvislostí mezi proměnnými hvězdami. A nejlepší je, pokud ho to navíc i baví.

Literatura

- [1] Zejda, M.: Historie výzkumu proměnných hvězd. In: Mikulášek, Z. a kol.: *Pozorování proměnných hvězd I*. Contributions of the Public Observatory and Planetarium in Brno, Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka, roč. 30A, Brno, 1994, s. 9–22. https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=1994CoBrn..30A.....&db_key=AST&page_ind=0&data_type=GIF&type=SCREEN_VIEW&classic=YES