

Objev nové proměnné hvězdy CzeV 690 Lac a určení jejích parametrů

Adam Greš

Zlín 2016

Středoškolská odborná činnost

Obor 2: Fyzika

Gymnázium Zlín Lesní čtvrť



Středoškolská odborná činnost

Obor SOČ: 02 - Fyzika

Objev nové proměnné hvězdy CzeV 690 Lac a určení jejích parametrů.

Discovery of a new variable star CzeV 690 Lac and designation of its parameters.

Autor: Adam Greš

Škola: Gymnázium Zlín-Lesní čtvrť,
Lesní čtvrť 1364, Zlín

Konzultant: Ing. Pavel Cagaš, Ph. D.

Zlín 2016

Psáno v programu LyX¹.

¹<https://www.lyx.org/>

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval(a) samostatně a použil (a) jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ. Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné. Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V dne **podpis:**

Poděkování

Děkuji Pavlovi Cagašovi za odbornou konzultaci práce. Děkuji Aničce Juráňové za pomoc s praktickým provedením pozorování. Děkuji SNPTM za Letní školu mladých talentů 2015, kde mě naučili jak psát odbornou práci. A také děkuji všem, kteří se mnou trávili noci na hvězdárně při focení.

Anotace

Tato práce si vytyčuje za cíl objevení nové proměnné hvězdy. Na úvod jsou shrnuty základní údaje o proměnných hvězdách, zejména jejich podtypu W UMa, pod který se řadí i nově objevená proměnná hvězda. Stručně je též pojednáno o historii a dnešních možnostech pozorování proměnných hvězd. Následně je popsán postup užitý při pořizování dat. Následuje kapitola o zpracování pořízených snímků na světelné křivky. Nakonec se práce věnuje samotné nově objevené hvězdě, která byla zaregistrována jako CzeV 690 Lac a byly určeny její základní charakteristiky.

Klíčová slova: proměnná hvězda; CCD fotometrie; nová proměnná hvězda; určení periody; CzeV katalog

Annotation

Goal of this work is a discovery of a new variable star. As introduction, basic information about variable stars is summarized, particularly their subtype W UMa, which the newly discovered variable star is member of. Brief overview is also given of history and today's possibilities of observation of variable stars. Next is described the method used in the observations. Chapter about processing observed data into light curves comes next. In the end the work focuses on the new variable itself, which was registered as CzeV 690 Lac and its basic characteristics were determined.

Key words: variable star; CCD photometry; new variable star; period determination; CzeV catalogue

Obsah

Úvod	7
1 Proměnné hvězdy	8
1.1 Typy	8
1.2 Zákrytové proměnné hvězdy	9
1.3 Proměnné hvězdy typu W UMa	9
1.3.1 Podtypy	10
2 Historie objevů a pozorování proměnných hvězd	11
2.1 CCD pozorování	12
2.2 Katalog CzeV	12
3 Užité přístroje	12
4 Pozorování	13
4.1 Výběr pozorovaného pole	13
4.2 Začátek pozorování	13
4.3 Pořizování snímků	14
4.4 Ukončení pozorování	15
4.5 Barevné filtry	16
5 Zpracování snímků	16
6 Provedená měření	17
6.1 Určení periody	18
6.2 Určení typu a registrace do CzeV katalogu	18
Závěr	19
Diskuze	19
Použitá literatura	21
Seznam obrázků	22
Seznam tabulek	22
Seznam příloh	22

Úvod

Na Zlínské hvězdárně je už pár let mimo dalekohledu dostupná také CCD kamera. Díky tomu s ní mohou pozorovat i astronomové amatéři, kteří by na takové vybavení neměli prostředky, tedy například studenti. Pozorování za jasných nocí, ve dnech kdy je hvězdárna pro veřejnost zavřená, se stalo běžnou záležitostí. Většina pozorování se věnuje fotometrii proměnných hvězd, tedy měření změn jejich jasnosti v čase.

Nevíme však o všech proměnných hvězdách. Mnoho z nich je vedeno ve hvězdných katalozích jako obyčejné hvězdy a nikdo zatím neobjevil jejich proměnnost. Zde se otevírá možnost pro astronomy amatéry. Sice existují celoblohové přehlídky, které hledají nové proměnné hvězdy a měří ty známé, mají však omezený rozsah.

Mé působení na hvězdárně už je mnohaleté. Začal jsem jako člen astronomického kroužku a dnes jej vedu. Mimo účasti na astronomických táborech a olympiádě jsem se seznámil i s CCD pozorováním. To že je s technikou dostupnou na hvězdárně ve Zlíně možné objevit nové proměnné hvězdy už bylo prokázáno dříve, kdy má starší spolužačka Anna Juráňová objevila nové proměnné hvězdy v souhvězdí Žirafy a později i Ještěrky. Mimo ní se o to ale z řad mladších pozorovatelů od té doby nikdo nepokusil.

Já jsem se rozhodl, že by bylo zajímavé si něco takového vyzkoušet, třeba tak i ukázat mladším a budoucím členům, že to může dělat každý. Objevování nových proměnných hvězd dle mého názoru zní docela zajímavě a tak by to mohlo třeba přitáhnout další lidi, především členy astronomických kroužku na hvězdárně k CCD fotometrii.

Jako cíl jsem si tedy stanovil objevit novou proměnnou hvězdu, určit alespoň její periodu a přidat ji do katalogu. Dále pak pořídít křivku její jasnosti jak v celém rozsahu kamery, tak s použitím jednotlivých barevných filtrů. Na základě toho následně určit o jaký typ proměnné hvězdy se jedná.

1 Proměnné hvězdy

Jak již název napovídá, jedná se o hvězdy, které v průběhu času mění svou jasnost. Tato vlastnost může mít mnoho rozdílných důvodů a podob. Rozdílná může být časová škála proměnnosti, stejně jako dosahované rozdíly jasů. Dnes se odhaduje, že asi 10 % hvězd jsou zjevně proměnné (1, s. 11).

Studiem proměnných hvězd můžeme získat více informací nejen o dějích způsobujících jejich proměnnost, ale i těchto hvězdách samotných. Dovídáme se tak o nich více než o hvězdách neproměnných. Jedno známé využití proměnnosti je měření vzdálenosti pomocí cefeid, které díky pevné vazbě mezi periodou změny jasnosti a absolutní hvězdnou velikostí slouží jako tzv. standardní svíčky (standard candle) při měření vzdáleností ve vesmíru.

1.1 Typy

Nejpoužívanější dělení proměnných hvězd je podle mechanismu změn jejich jasů. Takto je dělíme na proměnné hvězdy geometrické a vlastní (fyzické).

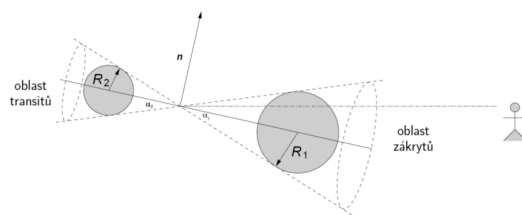
Vlastní proměnné hvězdy procházejí při změně jasů změnou svých vlastností. Může docházet ke změně částí hvězdy či jejího okolí. Podle toho, kde ke změně dochází, je rozdělíme takto:

- V okolí hvězdy.
- Na povrchu.
- Pod povrchem.
- V jádru.

Hvězda může interagovat s okolní látkou, která může být například pozůstatek původní mlhoviny, ze které hvězda vznikla. Hvězdy mohou též uvolňovat vlastní látku do prostoru. Na povrchu hvězdy se často jedná o hvězdnou aktivitu (2, s. 52).

Děje probíhající uvnitř hvězdy mohou způsobovat pulzaci, vznikají tak pulzující proměnné hvězdy, jako například již zmiňované cefeidy. Při smršťování během vzniku hvězdy dochází ke změnám v jádře (1, s. 196). Do všech těchto sfér pak zasahují kataklyzmatické proměnné hvězdy, mezi které se řadí například supernovy.

Geometrické proměnné hvězdy nemění přímo svou jasnost. Jeden takový případ jsou rotační proměnné hvězdy, které mění jasnost při rotaci kolem své osy. To může být způsobeno asymetrickým tvarem nebo přítomností skvrn na povrchu. Nebo se může jednat o dvě hvězdy, které se navzájem překrývají během svého vzájemného oběhu, tzv. zákrytové proměnné hvězdy.



Obrázek 1: Zákryty ve dvojhvězdě, převzato z 1, s. 159

1.2 Zákrytové proměnné hvězdy

Pokud je rovina vzájemného oběhu dvou hvězd nakloněná tak, že se při pohledu ze Země v určité části své dráhy překrývají (obrázek 1), hovoříme o zákrytových proměnných hvězdách. Nemusí se vždy jednat o hvězdy, můžeme sem zařadit například exoplanetární systémy nebo soustavy obsahující bílé trpaslíky, ovšem pro účely této práce se zaměříme pouze na soustavy dvou hvězd.

Proměnnost těchto hvězd je zpravidla periodická, změny periody nastávají velmi pomalu v důsledku změn jako například konec života jedné ze složek. V průběhu periody oběhu nastávají dvě minima jasnosti. Když je zakryta jasnější složka, nastává primární minimum, při překrytí méně jasné složky nastává sekundární minimum. Snížení jasnosti též můžeme rozdělit na přechody (transity), kdy menší složka přechází před větší, a zákryty (okultace), kdy větší složka zakrývá složku menší. Podle tvaru světelné křivky rozdělíme proměnné hvězdy na tři skupiny:

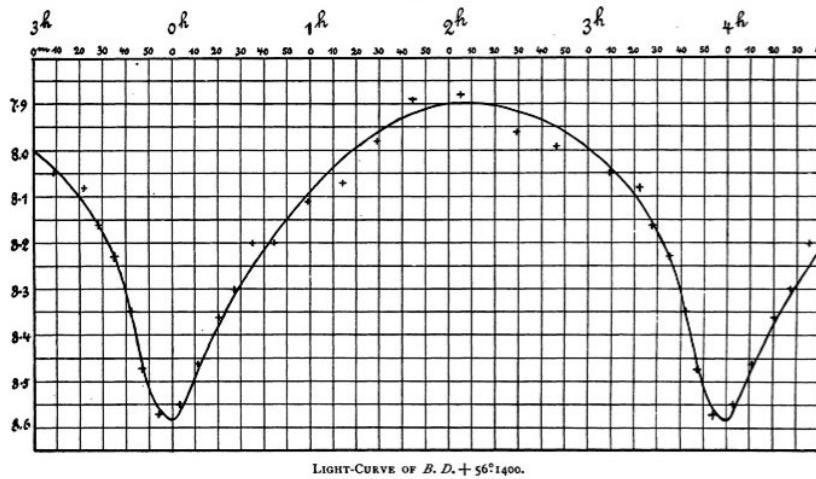
Algolidy pojmenované po hvězdě Algol ze souhvězdí Persea, jejíž změny jsou pozorovatelné holým okem. Jedná se o dvě hvězdy, které jsou oddělené a pokud nedochází k zákrytu, je jejich jasnost konstantní nebo se jen pomalu mění (odraz, asférické složky). Periody se naházejí v širokém intervalu 0,22 až 10 000 dní (1, s. 158).

Lyrae jsou těsné dvojhvězdy u kterých dochází k deformaci a protažení složek. V důsledku toho se jasnost mění i mimo minima. Na křivce je zřetelné primární i sekundární minimum. Dochází zde k výměně látky mezi složkami. Periody bývají delší než 1 den a změny jasnosti při primárním minimu až 2 mag. Tyto systémy se vyskytují vzácně (1, s. 158).

W UMa je pro tuto práci nejdůležitější typ, věnujeme mu proto více pozornosti.

1.3 Proměnné hvězdy typu W UMa

Proměnné hvězdy typu W UMa se vyznačují krátkou periodou 0,22 až 1 den. Primární a sekundární minima mají velmi podobnou hloubku a změna jasnosti je kontinuální během celé periody. Amplituda změn je maximálně 0,8 mag (1, s. 158). Tyto vlastnosti



Obrázek 2: Světelná křivka W UMa, převzato z 3

poukazují na to, že se jedná o těsné dvojhvězdy, kontaktní nebo téměř kontaktní. Příklad takové světelné křivky je na obrázku 2.

Jejich protáhlý kapkovitý tvar má za následek změny jasnosti i mimo minima, kdy se natáčením mění velikost plochy natočené k pozorovateli. Další efekt, který zde působí je tzv. efekt odrazu, kdy vzájemně přivrácené strany fotosfér jsou jasnější kvůli záření, přicházejícího od druhé hvězdy (1, s. 164).

Složky bývají blízké co se týče spektrální třídy. Obě složky jsou hvězdy hlavní posloupnosti, spektrálních tříd A až K, nejvíce však F a G. I když mají obě hvězdy rozdílnou hmotnost, jejich teplota je téměř stejná, protože sdílejí společnou obálku a dochází mezi nimi k teplotní výměně (3).

Mechanismus vzniku dvojhvězd typu W UMa není s jistotou znám, obecně se však soudí, že vznikají z oddělených dvojhvězd, které se k sobě přiblíží v důsledku ztráty momentu hybnosti (3).

1.3.1 Podtypy

Proměnné hvězdy typu W UMa byly rozděleny do dvou podtypů A a W, ke kterým později přibýly další dva B a H (4).

Typ A zastávají dvojhvězdy skládající se ze složek spektrálních tříd A až G, větší jasnosti a hmotnosti, a menšího poměru hmotnosti obou složek. Vyskytuje se zde silná společná obálka. Hlubší primární minimum nastává při přechodu menší složky přes větší a teplejší složku (3). Periody se pohybují v rozmezí mezi 0,4 až 0,8 dne (4).

Typ W se sestává z chladnějších hvězd spektrální třídy F až K. Při primárním minimu dochází k zákrytu menší a méně hmotné složky. Typy W a A jsou považovány za

různá vývojová stádia, která na sebe navazují. Není ovšem jisté, který typ je vývojově mladší a který vývojově starší (3). Periody typu W jsou 0,22 až 0,4 dne(4).

Později přidáný typ B se vyznačuje vyššími rozdíly teplot a typ H zase velmi rozdílnými hmotnostmi (4).

2 Historie objevů a pozorování proměnných hvězd

Na obloze najdeme proměnné hvězdy, jejichž změny lze zaznamenat i pouhým okem. Přesto vědecký popis proměnných hvězd začíná až v druhé polovině 16. století. Dříve existence takovýchto hvězd odporovala Aristotelově vidění světa, kde byly hvězdy neměnné. Jelikož bylo Aristotelovo učení obecně přijímáno, po dlouhou dobu byly supernovy a proměnnost hvězd považovány za atmosférické jevy (1, s. 12).

První vědecké pozorování provedl Tycho Brahe. V roce 1572 pozoroval supernovu v souhvězdí Kasiopeji a určil její vzdálenost jako minimálně šest vzdáleností Měsíce, tedy mimo sféru, kde Aristotelovská filozofie připouštěla změny. V roce 1596 zjistil David Fabricius periodické změny u hvězdy Ceti, kterou později nazval Mira - podivná (1 s. 12 - 13).

Následovaly další objevy proměnných hvězd a začaly vznikat první katalogy. Značný průlom způsobil Friedrich Argelander, když přišel se svou pozorovací metodou v roce 1844. Tato metoda je založena na srovnávání jasností hvězd při vizuálním pozorování(2, s. 8). Takzvané Argelanderovy odhadní stupně (tabulka 1) jsou využívány amatérskými astronomy dodnes a jejich pozorování stále slouží jako srovnání s těmi historickými, dobré vizuální pozorování se dá zpracovat i vědecky.

Odhadní stupěň (os)	Definiční popis rozdílů slabostí srovnávaných hvězd	Zápis
0	Hvězda a se jeví stejně slabá jako hvězda b nebo se chvílemi zdá střídavě nepatrně slabší a nepatrně jasnější než hvězda b .	$a0b$
1	Při bedlivém pozorování se hvězda a jeví častěji jasnější než hvězda b a jen vzácně se jeví hvězda b jasnější než hvězda a .	$a1b$
2	Hvězda a se jeví takřka vždy o málo jasnější než hvězda b . Jen zřídka se zdá, že se jejich slabosti rovnají.	$a2b$
3	Hvězda a se již na první pohled jeví jasnější než b .	$a3b$
4	Hvězda a je výrazně jasnější než hvězda b .	$a4b$

Tabulka 1: Argelanderovy odhadní stupně, převzato z (1, s. 16)

V 19. a 20. století došlo k prudkému rozvoji fotografických a spektroskopických metod. Počet známých proměnných hvězd prudce narůstal a též byly zkoumány podrobněji příčiny proměnnosti. Zpočátku se používaly skleněné fotografické desky, později se přešlo

k fotoelektrické fotometrii a na konci 20. století převládla CCD fotometrie, která se běžně využívá dodnes (1, s. 15).

2.1 CCD pozorování

První CCD kamera byla představena Bellovými laboratořemi v roce 1970. Tehdy se nejednalo o příliš účinný přístroj, vývoj byl ale velmi rychlý. V roce 1979 byla nainstalována první astronomická CCD kamera na observatoři Kitt Peak National Observatory (1, s. 19).

Zkratka CCD pochází z anglického Charge-coupled device. Jako všechny na světlo citlivé součástky, využívá CCD fotoelektrického jevu. Světlo dopadající na krystal křemíku uvolňuje elektrony. Ty se nemohou volně pohybovat po čipu, jsou totiž uvězněny v potenciálových studních vytvořených odpudivými silami záporných elektrod, které jsou přímo v čipu. Každá taková potenciálová studna reprezentuje jeden pixel výsledného snímku. Změnami napětí na elektrodách jsou elektrony pixel po pixelu odváděny z čipu do zesilovače, který převede náboj na napětí, které je pak kamerou přečteno a digitalizováno (5).

Tato technologie se začala velmi rychle šířit a zlepšovat a dnes jsou CCD kamery masově rozšířeny jak na profesionálních přístrojích, tak mezi astronomy amatéry.

2.2 Katalog CzeV

Jedná se o katalog proměnných hvězd objevených českými pozorovateli, který je přístupný na stránkách Sekce proměnných hvězd a exoplanet České astronomické společnosti². Jeho správcem je Martin Mašek. Sekce PHE mimo jiné nabízí možnost registrace na svých stránkách i pro nečleny. Každý pozorovatel si tak může založit účet a vkládat zde své pozorování do pozorovacího deníku.

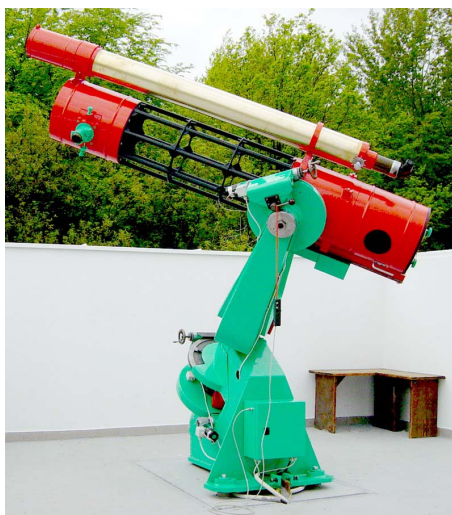
3 Užité přístroje

K pozorování byl využit hlavní dalekohled Zlínské hvězdárny. Oba dalekohledy, které jsou na společné montáži na pozorovatelně hvězdárny, pocházejí z roku 1953, v roce 2004 prošly (i s montáží) generální opravou a taky byla montáž osazena motory. Zrekonstruovaný dalekohled je na obrázku 3.

K pořízení snímků byl využit Newtonův zrcadlový dalekohled s průměrem hlavního zrcadla 270 mm a ohniskovou vzdáleností 2 150 mm. Motorizovaná montáž automaticky sleduje zdánlivý pohyb hvězd a dá se ovládat připojeným ovladačem (6).

Kamera použitá při pozorování je G2-1600 od firmy Moravian Instruments. Kamera obsahuje CCD snímač Kodak KAF-1603ME s rozlišením 1536 x 1024 (7). V použitém

²<http://var2.astro.cz/czev.php>



Obrázek 3: Hlavní zlínský dalekohled, převzato z (6)

nastavení má kamera zorné pole 23×16 úhlových minut. Tato technika je majetkem Zlínské astronomické společnosti a jako členovi mi bylo umožněno ji využít.

4 Pozorování

4.1 Výběr pozorovaného pole

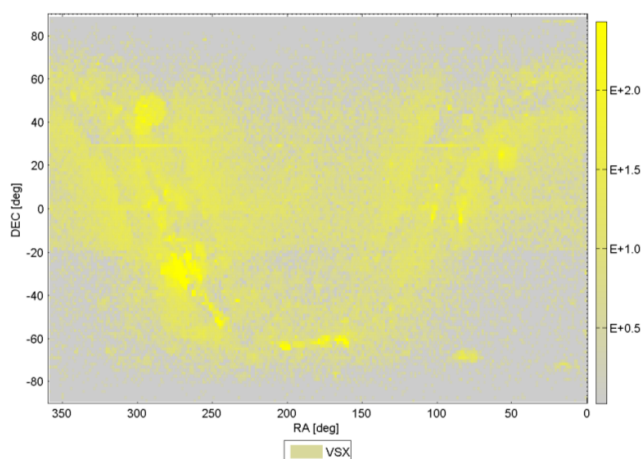
Jak už bylo řečeno, mým cílem je objevit proměnnou hvězdu, jenž nikdo zatím nepozoroval. Proto je dobré vybrat si pro pozorování oblast, kde je malý podíl známých proměnných hvězd. Pro své pozorování jsem zvolil souhvězdí Ještěrky (mapa tohoto souhvězdí je v přílohách). To se v tu dobu nacházelo vysoko nad obzorem celou noc. Přispěl i odhad z mapky objektů katalogu proměnných hvězd VSX (obrázek 4), kde není počet známých proměnných hvězd v této oblasti příliš vysoký, vzhledem k tomu že se jedná o část mléčné dráhy.

Nakonec rozhodnutí ztvrdil fakt, že noci předcházející prvnímu pozorování byly právě v Ještěrce na Zlínské hvězdárně objeveny hned dvě nové proměnné hvězdy³.

4.2 Začátek pozorování

Nejdříve je nutno připravit pozorovatelnu. To znamená připravit dalekohled, přidělat na něj kameru a tu připojit k počítači. Poté je potřeba vychladit CCD čip. Kamera by měla zvládnout ochlazení čipu asi o 45 řC pod teplotu okolí. Pak následuje nalezení pole. Zde lze využít přímo guide systému dalekohledu, ten je ovšem méně přesný, navíc je potřeba dalekohled ustavit na objekt a nastavit guide.

³Anna Juráňová - CzeV 682 a CzeV 684



Obrázek 4: Distribuce hvězd VSX, převzato z 8, s. 9.

Často se proto upřednostňuje přiblížit se k hledanému poli manuálně a potom pomocí ovladače motorů na dalekohledu postupně přejít na vyžadované pole. Při tom se využívají nakrátko exponované snímky (pořizování snímků dále) a program *Cartes du Ciel*⁴, který slouží jako mapa.

4.3 Pořizování snímků

Nyní je čas začít pořizovat snímky. K tomu se používá program SIPS od Moravských přístrojů⁵, který je přímo určen k ovládání použité kamery. Ten obsahuje nástroj k pořizování snímků, kde lze nastavit všechny potřebné parametry snímku. Ukázka pracovního prostředí tohoto programu je na obrázku 5.

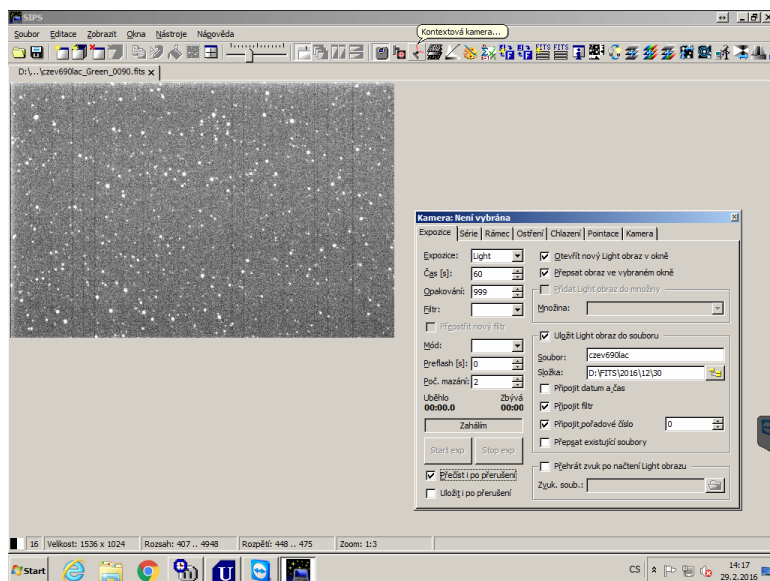
V tomto případě hledáme zejména slabší hvězdy, takže doba expozice by měla být co nejdelší. Pokud by však byla příliš dlouhá, projevíly by se na snímku efekty atmosféry a také vítr, který třese již starší montáží dalekohledu. Pro účely tohoto pozorování byla délka expozice 60 s.

Dále je třeba nastavit filtr na “clear”, tedy bez filtru, aby bylo zachyceno co nejvíce světla (o pozorování s barevnými filtry oddělená kapitola). Typ snímku nastavíme na “light”, což značí, že se jedná o snímek světla, tedy objektu samotného. Pak nastavíme opakování. Jelikož hledáme novou proměnnou hvězdu, tak neznáme čas minima, proto nastavíme opakování na vysoké číslo a pozorování provedeme co nejdelší, nejlépe do svítání.

Mimoto je třeba nastavit názvy snímků a složku kam se ukládají, nejlépe i pořadové číslo přidělené do názvu. Je také možné přidat do názvu souboru datum a čas, ovšem názvy souborů jsou pak dlouhé. Informace o datu a čase snímku jsou uloženy v souboru, takže není nutné uvádět vše v názvu.

⁴Volně dostupný z <https://www.ap-i.net/skychart/en/start>

⁵Volně dostupný z <http://www.gxccd.com/cat?id=146&lang=405>



Obrázek 5: Pracovní prostředí SIPS

4.4 Ukončení pozorování

Jakmile začne svítat a modrající obloha začne vytvářet šum ve snímcích, nemá smysl dále s pozorováním pokračovat. Než se sundá a vypne kamera je potřeba ještě pořídit dark a flat snímky.

První přijdou na řadu snímky flat field, které kompenzují různou citlivost aparatury v různých částech pole. V ideálním případě jsou foceny na rovné rovnoměrně osvětlené ploše. K tomu je využíváno například bílé plátno. Bohužel takové na Zlínské hvězdárně není instalováno, proto jako alternativu namíříme dalekohled na bílá prkna odsouvací střechy pozorovatelný.

Délku expozice nastavíme na 0,2 sekundy. Tato hodnota je pro dané nastavení ideální. Pořídíme pět až deset takovýchto snímků. Flat snímky je potřeba pořídit na konci každého focení, protože kamera může být pokaždé trochu jinak otočená v dalekohledu.

Po sundání kamery z dalekohledu zakryjeme vstup kamery krytkou, aby dovnitř prošlo co nejméně světla. Pak fotíme dark snímky. Ty odečítají ze snímků temný proud čipu. Druh expozice nastavím na dark. Délka expozice je stejná jako při focení light snímků, v tomto případě 60 s. Pořídíme jich pět až deset, stejně jako flat. Takzvaný dark frame je možné použít opakovaně při pozorováních, která se dějí v malém časovém rozestupu, je ale lepší udělat je pokaždé znovu.

Následně necháme čip kamery pomalu ohřát na teplotu okolí a kameru i dalekohled vrátíme do původního stavu.

4.5 Barevné filtry

Při výzkumu proměnných hvězd je též cenný zdroj informací světelná křivka pořízená pouze v určité části viditelného spektra, tedy přes barevný filtr. Když kamera přijímá jen část viditelného spektra, je potřeba užít delší expozice, aby jsme získali dostatečně jasný snímek. Pro své pozorování jsem zvolil délku 70 s, jelikož při velmi dlouhých expozicích už je velmi znát nepřesnost montáže dalekohledu.

Použitá kamera má nainstalovány tři barevné filtry pro modrou, visible (zeleno-žlutá) a červenou barvu. Pro účely toho pozorování nebyl modrý filtr použit vůbec, jelikož nalezená hvězda byla velmi červená (to vyplývá z jejího barevného indexu) a v modré barvě by nejspíš nešla vůbec vidět.

Pro střídání filtru se dá použít nastavení sekvencí v SIPS, kde se nastaví opakování sekvence obsahující jedenu visible a jedenu červenou expozici. Na konci pozorování musíme udělat sady flat korekčních snímků pro každou barvu zvlášť.

5 Zpracování snímků

Ke zpracování získaných dat použijeme především program Muniwin⁶ s menší pomocí již zmíněného software SIPS.

První tlačítko na panelu nástrojů programu Muniwin je vymazání souborů. To je první krok, pokud už v Muniwinu nějaké soubory jsou. Skutečně začneme přidáním pořízených dat, kde vybereme všechny light snímky. Následující krok je konvertování souborů do interního formátu používaného programem Muniwin.

Nyní už může Muniwin se soubory pracovat. Nejdříve provedeme korekci o dark a flat frame. Na to potřebuje jeden od každého, pro zvýšení přesnosti složené z více snímků, takzvaný master-dark a master-flat. Složení provedeme v programu SIPS. Zde přes nástroj operace s obrazy vytvoříme medián pořízených flat a dark snímků. Ten pak použijeme v Muniwinu ke korekci.

Následujícím krokem je fotometrie. Ta získá pozice a jasnosti hvězd na snímcích a uloží je do samostatných souborů. Dále použijeme nástroj skládání fotometrických souborů (match stars). Vybereme referenční snímek a k hvězdám na něm se přiřadí hvězdy z ostatních snímků. Referenční snímek je vhodné vybírat z prostřední části pozorování tak, aby bylo pole uprostřed posunu způsobeného nepřesností montáže. Také je dobré zvolit takový snímek, který má vysoký počet hvězd, aby se nestalo, že některé hvězdy na něm nejsou identifikovány a proto budou ignorovány na všech snímcích.

Nyní vybíráme proměnnou hvězdu a hvězdu srovnávací, proti které určujeme jasnost. Pokud pozorujeme už známou hvězdu, vybereme již známé hvězdy podle předchozích po-

⁶Dostupný z <http://c-munipack.sourceforge.net/>, použitá starší verze z <http://var2.astro.cz/download.php>

zorování. Při hledání nových proměnných hvězd použijeme funkci Hledání proměnných hvězd (Find variables). Ta nám nabídne kromě vybírání proměnné a srovnávací hvězdy podle mapy i vyhledávání v grafu odchylky podle magnitudy. Zvolíme vhodnou srovnávací hvězdu, kterou později přizpůsobíme a prohlédneme hvězdy, které mají vysokou odchylku (vyšší než ostatní). Mezi těmito hvězdami, které vybočují, se mohou nacházet i chyby měření, proto hledáme hvězdu, u které tvar křivky odpovídá změnám jasnosti u proměnných hvězd.

Když najdeme proměnnou hvězdu, vybereme k ní vhodnou srovnávací hvězdu. Ta by měla mít nejlépe maximálně o 0,1 mag rozdílný barevný index. Rozdílně barevné hvězdy by mohly být snímány čipem s různou citlivostí a atmosférické jevy by se u nich mohli také projevit jinak. I přesto, že provádíme korekci snímků, je lepší vybrat takovou srovnávací hvězdu, která je blízko k proměnné hvězdě v poli.

V okně nástroje Zobrazení světlené křivky nastavíme clonku (aperture) tak, aby byla odchylka měření co nejmenší. Můžeme též využít funkci Zobrazení grafu odchylek. Výslednou křivku uložíme jako data. Můžeme také uložit mapku pole, pokud ji pro toto pole nemáme.

6 Provedená měření

Celkem se uskutečnilo pět pozorovacích nocí, z toho čtyři byly úspěšné. Přehled provedených pozorování je v tabulce 2. V poli jsem objevil proměnnost u hvězdy UCAC4-717-104071 (informace z katalogu UCAC4 a mapa jsou v přílohách). Vyhledávání v katalozích SIMBAD⁷ ani VSX⁸ neměla žádné výsledky, hvězda tedy ještě není známá.

Datum	Počet vyfocených light snímků
9. 7.	279
10. 7.	130
16. 7.	281
17. 7.	229
30. 12.	93

Tabulka 2: Přehled provedených pozorování

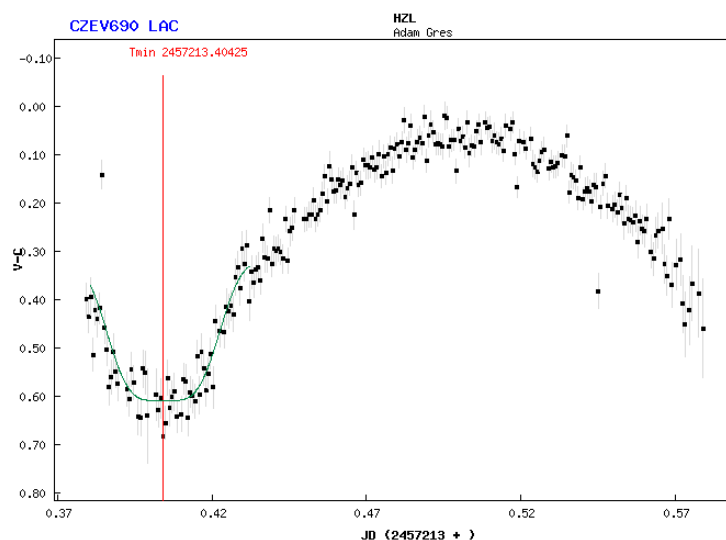
Výstupem z každého zpracovaného měření je křivka jasnosti v čase. Jako příklad je na obrázku 6 křivka z prvního pozorování. Všechny získané křivky jsou v přílohách a také dostupné online v mém pozorovacím deníku na stránkách Sekce PHE ČAS⁹.

První čtyři pozorování proběhla v červenci 2015. V září jsem se rozhodl přidat ještě pozorování s barevnými filtry. To kvůli špatnému počasí a technickým problémům

⁷<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fcoo>

⁸<http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=search.top&ql=1>

⁹http://var2.astro.cz/obslog.php?obs_id=1436564950&lang=cz



Obrázek 6: Křivka z pozorování 9. července. Vygenerováno skrze pozorovací deník na stránkách PHE ČAS.

proběhlo až 30. prosince 2016. Bohužel získané snímky nedokázal Muniwin zpracovat, na snímcích s barevnými filtry nejasné hvězdy neidentifikoval.

6.1 Určení periody

Ke sfázování křivky byl použit program PerSea¹⁰. Ten přijímá vstupní data v textovém dokumentu o třech sloupcích - juliánské datum, magnituda, odchylka. Stejně tři sloupce jsou ve výstupních datech Muniwinu. Je potřeba však vymazat hlavičky a chybějící body (místo těch Muniwin vyplní devítky do magnitudy a odchylky) a vše zkopírovat do jednoho souboru.

V programu nastavíme minimální a maximální periodu podle odhadu na základě tvaru pozorovaných křivek. Do pole harmonics zadáme dvojku, protože výsledná křivka má dvě minima, primární a sekundární. Rozlišení (Resolution) zprvu nastavíme větší. Postupně snižujeme podle výsledku rozmezí a zároveň zpřesňujeme rozlišení. Pokud nastavíme vysoké rozlišení (menší číslo) pro velké rozmezí, bude výpočet trvat dlouho.

Podle tohoto postupu jsem došel až na rozlišení 0,0001. Vzhledem k odchylce reálného měření, by už větší rozlišení nemělo smysl. Program zjistí délku periody s odchylkou, rozdíl magnitudy v maximu od srovnávací hvězdy a amplitudu změny. Učí i typ proměnné hvězdy, který lze ale z tvaru křivky v tomto případě určit snadno.

6.2 Určení typu a registrace do CzeV katalogu

Získaná světelná křivka má velmi podobně hluboká minima a jasnost se mění kontinuálně v průběhu celé periody. Amplituda změny je 0,589 magnitudy a perioda 0,391 099 +/- 0,000 017 dne.

¹⁰Gracjan Maciejewski, dostupné z <http://uloz.to/xbxyZiPv/persea-zip>

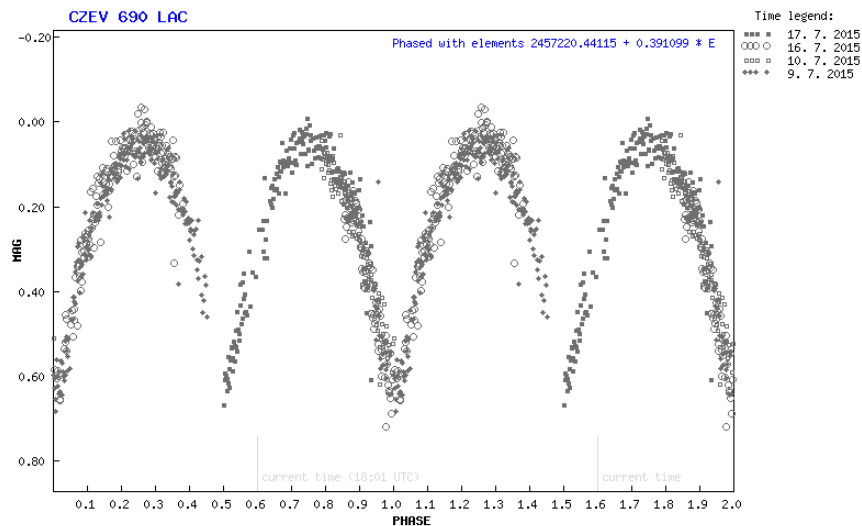
Je tedy možné s jistotou říci že se jedná o zákrytovou proměnnou typu W UMa.

Bylo by také možné zařadit hvězdu do podtypu. Perioda je jen o málo menší než hraničních 0,4 dne. Barevný index 0,84 řadí hvězdu někam do spektrální třídy K. Hvězda je pravděpodobně podtypu W, i když to nelze určit s úplnou jistotou.

Po té co jsem určil typ a periodu mám dostatek údajů pro přidání hvězdy do databáze CzeV. Hvězdu jsem zaregistroval přes formulář nového objektu¹¹. Hvězda byla přijata jako CzeV 690 Lac.

Závěr

Vytyčený úkol objevit novou proměnnou hvězdu a přidat ji do oficiálního katalogu se vydařil. Hvězda UCAC4-717-104071 byla nově identifikována jako proměnná a zařazena do CzeV katalogu jako CzeV 690 Lac. Proměnná hvězda je typu W UMa a její perioda je 0.391 099 +/- 0.000 017 dne.



Obrázek 7: Zfázovaná křivka z katalogu CzeV (strana 12)

Její magnituda v maximu je 15,59 a v primárním minimu 16,18. Sekundární minimum je jen o něco málo jasnější než primární, přesně ale určit nejde, jelikož zde změřené body chybí. Vzhledem k podobné hloubce minim je zde i možnost, že neprozkoumané minimum je ve skutečnosti primární. Zfázovaná křivka je na obrázku 7.

Pokus o pozorování s barevnými filtry se nezdařil.

Diskuze

Tímto však práce na zkoumání této hvězdy ještě nemusí končit. Pozorování s filtry se nezdařilo, což může být proto, že už není možné s tímto vybavením pozorovat tak

¹¹<http://var2.astro.cz/czev.php>

slabý objekt ještě s omezením filtrů. Hrál zde roli ovšem více podmínek. Pozorování se uskutečnilo v zimě, kdy počasí nebylo ideální pro takové pozorování, navíc už bylo souhvězdí níže nad obzorem a více přесvíceno světelným smogem města. Je možné že opakování za lepších podmínek někdy během nadcházejícího léta by mohlo přinést kladné výsledky.

Zjištěná perioda nemusí být finální. I když provedená pozorování stačila na její prvotní určení, další pozorování by ji mohla zpřesnit. Také by mohla doplnit chybějící část křivky v oblasti sekundárního minima.

Nyní je důležité, aby pozorování proměnných hvězd na Zlínské hvězdárně pokračovalo i nadále. Proto je potřeba přitáhnout k tomuto oboru například členy Astronomického kroužku. Objevování nových proměnných hvězd by mohlo jako zajímavě znějící činnost sloužit jako lákadlo právě pro ně. Je však potřeba vyvážit riziko toho, že žádnou novou proměnnou neobjeví a zklamání odejdou.

Zajímavé je též pozorování s barevnými filtry, které zatím v oblasti proměnných hvězd na hvězdárně ve Zlíně příliš využito nebylo. Zajímavá je i možnost střídat dva filtry během pozorování. S nově přidaným čistým sklem do prázdného místa v kameře není třeba přестřovat mezi pozorováním s filtry a bez nich, je tedy možné fotit v celé viditelné části spektra a vybrané barvě v rámci jedné řady.

Do budoucna by bylo vhodné přehodnotit dosavadní způsoby vyhodnocování a zvážit přechod na novější verzi Muniwin (C-Munipack) nebo využít nový nástroj pro fotometrii v SIPS. V souvislosti s již zmíněnou pedagogickou hodnotou by bylo vhodné vytvořit pro případné zájemce, kteří by se CCD fotometrii chtěli věnovat, velmi stručný a srozumitelný postup práce, typu krok po kroku, jak data zpracovat.

Tato práce pro mě byla cennou zkušeností. Naučil jsem se správně provádět astronomické pozorování a také jsem se lépe seznámil s programy použitými ke zpracování. Také jsem si vyzkoušel psaní odborné práce a naučil jsem se psát v editoru LyX, který využívá L^AT_EX. Věřím, že tyto zkušenosti ještě v budoucnu zúročím.

Použitá literatura

1. MIKULÁŠEK, Zdeněk a Miloslav ZEJDA. Úvod do studia proměnných hvězd. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6241-2. Skripta.
2. MIKULÁŠEK, Zdeněk. Proměnné hvězdy. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 2002. Skripta.
3. MALATESTA, Kerri. W Ursae Majoris. In: AAVSO: American Association of Variable Star Observers [online]. Cambridge, Massachusetts, USA: AAVSO, 2010 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: https://www.aavso.org/vsots_wuma
4. W Ursae Majoris variable. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/W_Ursae_Majoris_variable
5. Úvod do techniky CCD čipů. Moravské přístroje a.s. [online]. Zlín-Malenovice: Moravské přístroje, 2011 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.gxccd.com/art?id=303&lang=405>
6. Astronomické vybavení. ZAS: Hvězdárna Zlín [online]. Zlín: Zlínská astronomická společnost, 1997 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.zas.cz/vybaveni.php>
7. CCD kamery G2-0402, G2-1600, G2-3200, G2-8300, G2-2000 a G2-4000. Moravské přístroje a.s.[online]. Zlín-Malenovice: Moravské přístroje, 2009 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.gxccd.com/art?id=441&lang=405>
8. LIŠKA, Jiří, Marek SKARKA, Reinhold Friedrich AUER, Zdeněk PRUDIL a Anna JURÁŇOVÁ. Possible candidates for multiple occurrence of variable stars in the VSX catalogue. Open European Journal on Variable stars [online]. Pec pod Sněžkou: Sekce pozorovatelů proměnných hvězd České astronomické společnosti, 2015, 10(0170), 11 [cit. 2016-02-28]. ISSN 1801-5964. Dostupné z: <http://var.astro.cz/oejv/issues/oejv0170.pdf>
9. The Constelations. International Astronomical Union [online]. International Astronomical Union [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.iau.org/public/themes/constellations/#lac>

Seznam obrázků

1	Zákryty ve dvojhvězdě, převzato z 1, s. 159	9
2	Světelná křivka W UMa, převzato z 3	10
3	Hlavní zlínský dalekohled, převzato z (6)	13
4	Distribuce hvězd VSX, převzato z 8, s. 9.	14
5	Pracovní prostředí SIPS	15
6	Křivka z pozorování 9. července. Vygenerováno skrze pozorovací deník na stránkách PHE ČAS.	18
7	Zfázovaná křivka z katalogu CzeV (strana 12)	19

Seznam tabulek

1	Argenlanderovy odhadní stupně, převzato z (1, s. 16)	11
2	Přehled provedených pozorování	17

Seznam příloh

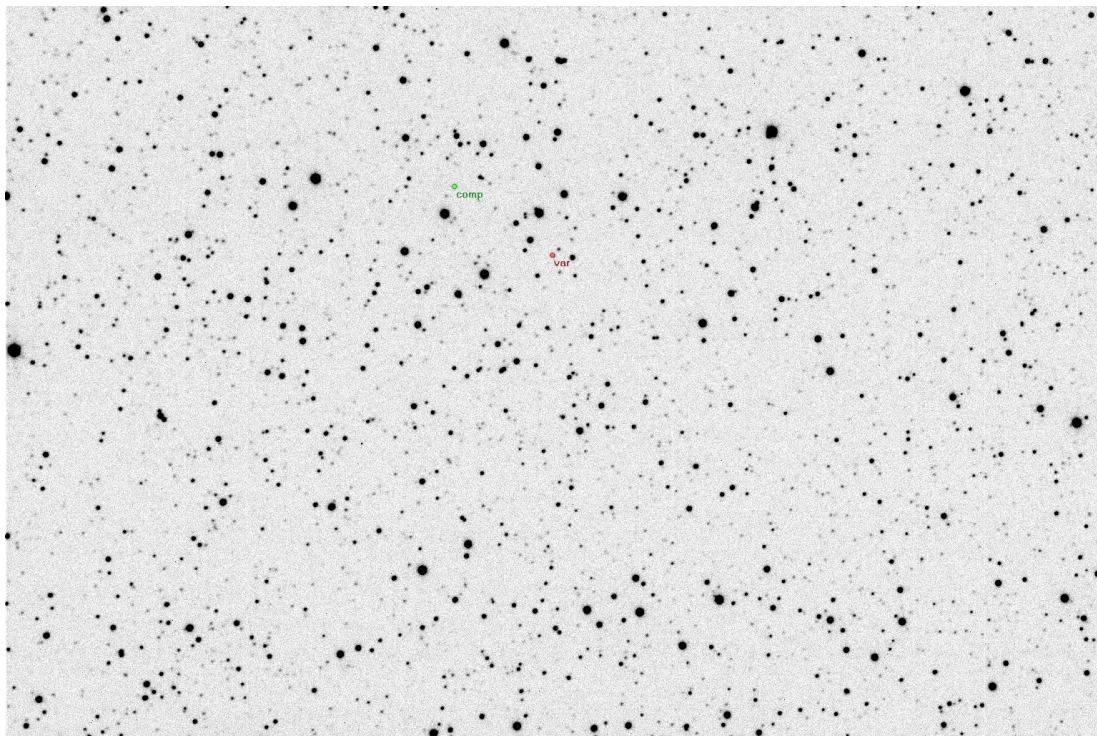
1.	Informace o proměnné a srovnávací hvězdě z katalogu UCAC4.	23
2.	Proměnná a srovnávací hvězda v poli.	23
3.	Získané křivky ze všech pozorování.	24
4.	Mapa souhvězdí ještěrky	26

Informace o proměnné a srovnávací hvězdě z katalogu UCAC4¹²

Hvězda	UCAC4-717-104071 (var)	UCAC4-717-104141 (com)
Vizuální magnituda	15,55	15,54
Barevný index	0,84	0,82
Vlastní pohyb (RA) [mas/y]	0	-14
Vlastní pohyb (Dec) [mas/y]	-1	-5
Souřadnice Střední k J2000	RA: 22h55m30.423s DE:+53ř22'02.81"	RA: 22h55m44.075s DE:+53ř20'43.10"
Ekliptika	L: +16ř15'35" B:+53ř20'17"	L: +16ř16'46" B:+53ř17'57"
Galaktické	L: +106ř02'31" B:-05ř39'35"	L: +106ř03'47" B:-05ř41'39"

Proměnná a srovnávací hvězda v poli

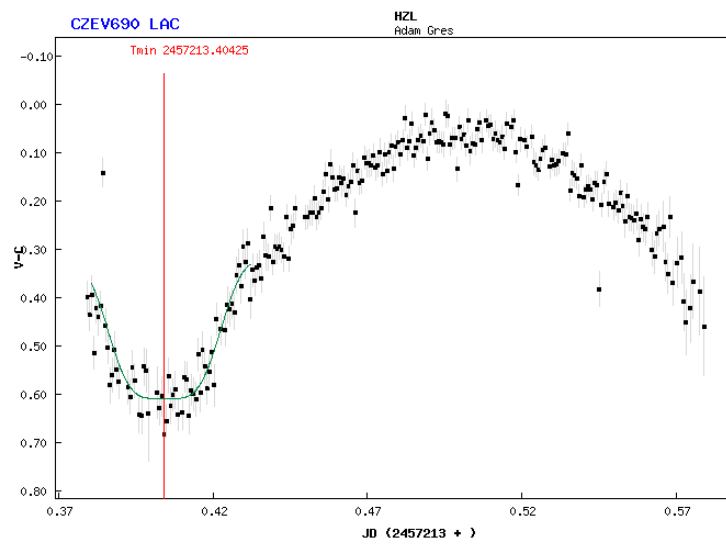
Mapka z programu Muniwin.



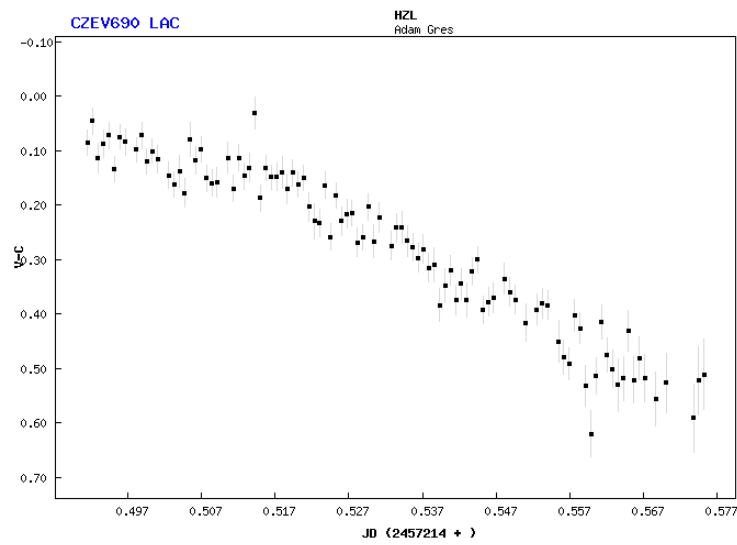
¹²<http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/ucac>

Získané křivky ze všech pozorování

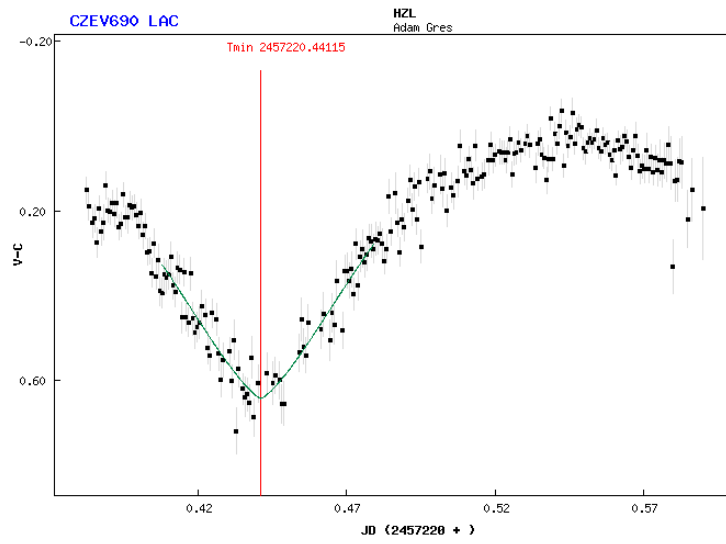
Obrázky jsou převzaty z pozorovacího deníku na stránkách PHE ČAS.



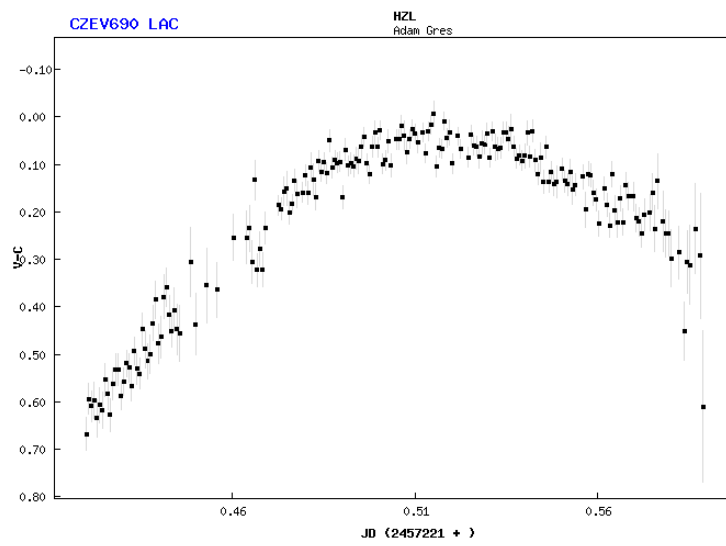
9. července



10. července



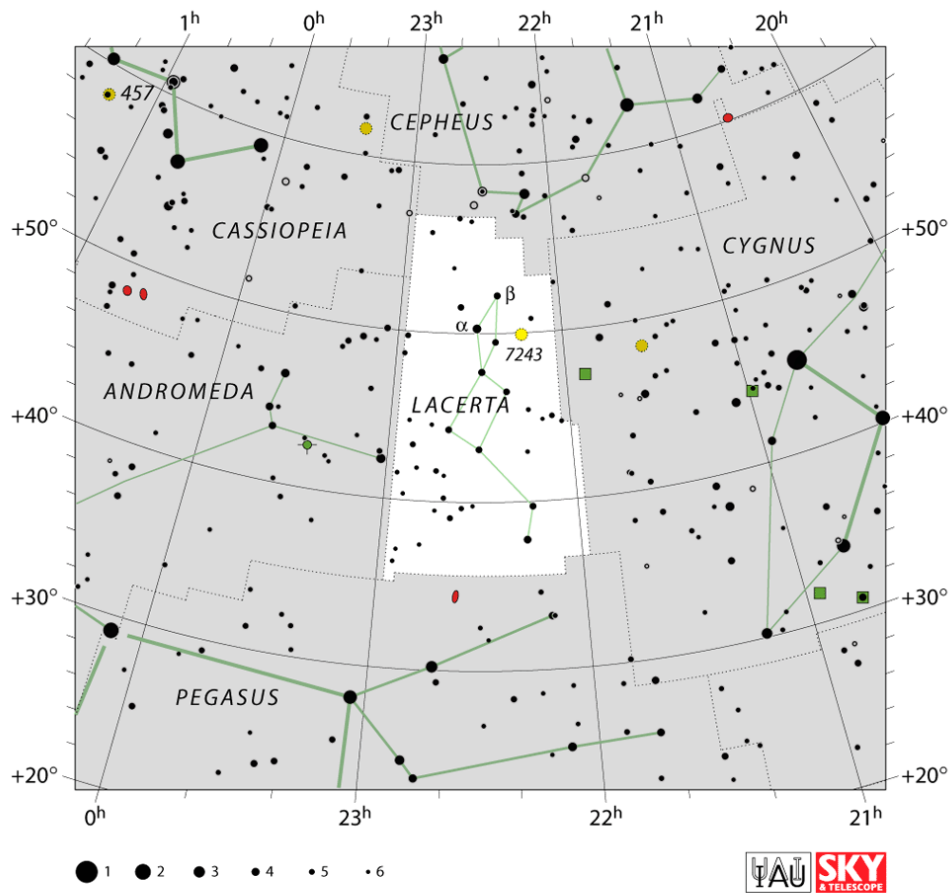
16. července



17. července

Mapa souhvězdí ještěřky

Tato mapa je převzata ze společného projektu IAU a Sky & Telescope (9).



Detail mapy pořízený v programu Cartes du Ciel.

