

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 2: Fyzika

Periodová analýza vybraných chemicky pekuliárních hvězd z TESS.

**Jay Zavrtálek
Jihomoravský kraj**

Brno 2025

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 2: Fyzika

**Periodová analýza vybraných chemicky pekuliárních
hvězd z TESS.**

**Period analysis of chosen chemically peculiar stars
from TESS.**

Autoři: Jay Zavrtálek

Škola: Gymnázium Matyáše Lercha, Brno, Žižkova 55, příspěvková
organizace, Žižkova 980/55, Veveří, 616 00 Brno

Kraj: Jihomoravský kraj

Konzultant: Mgr. Caiyun Xia

Brno 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

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) ve znění pozdějších předpisů.

V Brně dne datum

Jay Zavrtálek

Poděkování

Rád bych poděkoval svému konzultantovi za pomoc s provedením a sepsáním práce, své škole za vstřícnost a pochopení ohledně práce na Středoškolské odborné činnosti, a svým blízkým za přítomnost v době, kdy jsem na práci nazvané „Periodová analýza vybraných chemicky pekuliárních hvězd z TESS“ pracoval.

Anotace

Magnetické chemicky pekuliární hvězdy mají ve svém spektru neobvyklé elementární zastoupení, které způsobuje pravidelnou změnu pozorovatelné jasnosti. Ve své práci SOČ jsem se zabýval určováním periody jasnosti vybraných chemicky pekuliárních hvězd. Tato analýza byla provedena prostřednictvím dostupných dat z teleskopů TESS a Kepler, a dat získaných v rámci praktické části této práce. Ke zpracování získaných dat byla použita metoda fotometrie (astrometrie). K následnému srovnání obou souborů byl využit program PERANSO.

Shrnuje téma práce, její cíle, použité metody a dosažené výsledky. Rozsah by se měl pohybovat mezi 5 a 10 větami.

Klíčová slova

Astrofyzika; Perioda; Magnituda; Hvězdy; Pekuliární

Annotation

Magnetic chemically peculiar stars have an unusual elemental structure that results in a change of brightness in periodical intervals. In my SOČ paper, I researched the period of the change in luminosity in stars of said type. The analysis was done using publicly available data from the TESS and Kepler telescopes and the data acquired during practical research. The photometry (astrometry) method was used to interpret acquired data. The program PERANSO was used to later compare both data samples.

Keywords

Astrophysics; Period; Magnitude; Stars; Peculiar

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Horké hvězdy	Chyba! Záložka není definována.
3	Chemicky pekuliární hvězdy	Chyba! Záložka není definována.
3.1	klasifikace	Chyba! Záložka není definována.
3.2	magnetické CP hvězdy	Chyba! Záložka není definována.
3.1.1	magnetické CP hvězdy.....	Chyba! Záložka není definována.
4	Volba pozorovaných objektů	
5	Práce s dalekohledem	
5.1	připojení se na dalekohled.....	Chyba! Záložka není definována.
5.2	zahájení pozorování	Chyba! Záložka není definována.
5.3	meteorologický stav	Chyba! Záložka není definována.
5.4	ukončení pozorování	Chyba! Záložka není definována.
6	Vyhodnocování získaných dat	
6.1	SIPS.....	Chyba! Záložka není definována.
7	Tvorba grafů	
8	Porovnání pomocí programu Peranso	
9	Závěr	Chyba! Záložka není definována.
10	Použitá literatura	25
11	Seznam obrázků a tabulek	25
6	Příloha 1: Název přílohy	Chyba! Záložka není definována.

1 Úvod

Hvězdy jako fyzikální objekty lze zkoumat pomocí několika pozorovatelných astrofyzikálních vlastností – mimo jiné hvězdnou velikostí, hmotností, vzdáleností, teplotou, chemickým složením a tepelným tokem záření. Chemicky pekuliární hvězdy jsou neobvyklé právě svým chemickým složením. Magnetické chemicky pekuliární hvězdy, na které je tato práce zaměřena, jsou specifické lokálními oblastmi svým elementárním složením a efektivní teplotou odlišnými od zbytku povrchu hvězdy, což zapříčiňuje pozorovatelnou periodickou (zdánlivou) změnu hvězdné velikosti. Tento jev je poměrně častý, jelikož odhadem tvoří zjevně proměnné hvězdy asi 10 % všech známých hvězd. To v současné době znamená přes 8 000 objevených chemicky pekuliárních hvězd (Xia 2019). Počet objevených chemicky pekuliárních hvězd narůstá i díky pokroku a zpřesňování dostupné pozorovací techniky.

Práce „Periodová analýza vybraných chemicky pekuliárních hvězd z TESS.“ je tedy zaměřena na konkrétní druh zmíněných hvězd, a to na magnetické chemicky pekuliární hvězdy. Věnoval jsem se již zmíněné vlastnosti těchto proměnných hvězd, a to změnám hvězdné velikosti vybraných hvězd v čase, neboli určování period znázorňujících tento efekt. Praktická část této práce sestává ze získání vlastních dat pozorováním vybraných magnetických chemicky pekuliárních hvězd prostřednictvím dalekohledu AZ 800 situovaného na půdě Ždánické hvězdárny a planetária Oldřicha Kotíka za použití funkce Vzdálená plocha Chrome a z porovnání vlastních dat s daty získanými družicemi TESS a Kepler, a to pomocí programu Peranso 3 (CBABelgium.com, 2004-2025).

Jako produkt této práce jsem si stanovil porovnat získaná data o periodické změně hvězdné velikosti vybraných magnetických chemicky pekuliárních hvězd s daty získanými družicemi TESS a Kepler. Cílem tohoto procesu je zjistit, jak moc se budou data případně lišit, nebo jestli bude vůbec nějaká výrazná odchylka pozorovatelná. Při pozorování objektů pomocí přístrojů na zemském povrchu čelí astronomové komplikacím kvůli nepříznivým podmínkám, které pro „vesmírného pozorovatele“, jako třeba TESS nebo Kepler, neplatí. Zisk přesných dat komplikuje nejen zemská atmosféra a její aktuální meteorologický stav – tím je myšleno jak aktuální počasí, které zahrnuje např. míru oblačnosti, či samotná přítomnost atmosféry –, seeing, ale i přesnost dostupné techniky. Mírné odlišnosti jsou tedy velmi pravděpodobně očekávatelné.

2 HVĚZDY

Hvězdy jsou stabilní útvary držené pohromadě vlastní gravitací o hmotnosti od 0,08 až několik stovek $M_{\odot}$ (Mikulášek 2021). Při studiu magnetických chemicky pekuliárních horkých proměnných hvězd jsou důležité hlavně ty, které jsou následně shrnuty.

2.1 Hvězdná velikost

Hvězdná jasnost, jinými slovy také hvězdná velikost dané hvězdy, která udává jasnost objektu na obloze. Oproti tomu, jak je zvykem, u hvězdné velikosti znamená nižší číslo, že hvězda svítí

více. Např. hvězdná velikost hvězdy Sirius je ve viditelném spektru -1.5 mag (databáze Simbad). V porovnání s hvězdami vybranými pro tuto práci, které mají hvězdnou velikost kolem +10 mag je tedy na hvězdné obloze o srovnání jasnější. Hvězdná velikost se dělí na absolutní a pozorovatelnou.

2.1.1 Absolutní hvězdná velikost (M_v)

Je definovaná hvězdná velikost, kterou by hvězda měla ve vzdálenosti 10 parseků od polohy pozorovatele. Parsek (pc) je základní používaná jednotka vzdálenosti v astronomii. Jeden parsek určuje vzdálenost, z níž by se 1 astronomická jednotka (1 AU) jevila být pod úhlovým rozměrem jedné vteřiny. Jeden parsek se dá vyjádřit vztahem (vzorec 1), kde AU je astronomická jednotka, a ly je světelný rok.

$$1 \text{ pc} = 30,856 \times 10^{12} \text{ km} = 206\,264,806 \text{ AU} = 3,261\,633 \text{ ly} \quad (1)$$

Oproti pozorovatelné hvězdné velikosti je absolutní hvězdná velikost závislá na skutečném zářivém výkonu hvězdy.

2.1.2 Pozorovatelná hvězdná velikost (m_v)

je fotometrická veličina udávající pozorovanou zářivost hvězdy. Jednotkou pozorovatelné hvězdné velikosti je magnituda (mag).

2.2 Chemické složení hvězdy

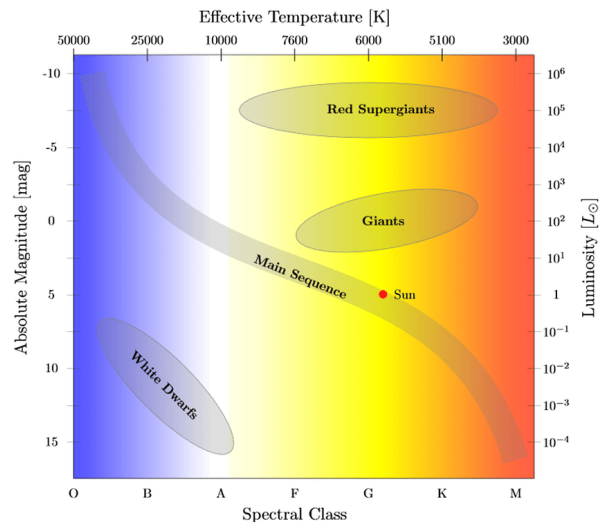
Spektrum, kterého je dosaženo analýzou světla vydávaného hvězdou, lze rozlišit na jednotlivé emisní či absorpční spektrální čáry symbolizující zastoupení jednotlivých chemických prvků hvězdy. Právě pomocí studia spektrálních čar nám chemické složení chemicky pekulárních hvězd umožňuje rozdělit tyto hvězdy do jednotlivých klasifikačních kategorií.

2.3 Hmotnost hvězdy

Hmotnost hvězdy lze vypočítat pouze v případě, je-li v její blízkosti jiné hmotné těleso – např. nějaká planeta –, jelikož hmotnost hvězdy samotné nejsme schopni změřit přímo, aniž bychom použili výpočet obsahující jiné veličiny, které změřit nebo pozorovat možné je.

2.4 Hertzsprungův-Russellův diagram

Hertzsprungův-Russellův (HR) diagram je stavový diagram. Poloha konkrétní hvězdy na HR diagramu je dána její hmotností a vývojovým stádiem. Centrem tohoto diagramu je tzv. hlavní posloupnost. Diagram nám zanesením vlastností hvězd do grafické podoby pomáhá lépe asociovat určité typy hvězd a také lépe porozumět hvězdnému vývoji. V grafu pak vznikají skupiny nazývané bílí trpaslíci, hvězdy hlavní posloupnosti, obři a veleobři.



Obr. 1: Hertzsprungův-Russellův diagram. (Klein et al. 2022)

První pokusy o jeho vytvoření můžeme datovat už do 19. století (Klein et al. 2022) kdy byl HR diagram zobrazen jako vztah mezi spektrální třídou, teplotou a svítivostí hvězdy. Dnes typický HR diagram zobrazuje také informace o efektivní teplotě (T_{eff}) udávané v kelvinech [K] a barvě hvězdy (barva v pozadí diagramu). Existuje Stefanův–Boltzmannův zákon (vzorec 2), kde L je svítivost hvězdy, R je hvězdný poloměr a σ je Stefanova–Boltzmannova konstanta, který udává vztah mezi svítivostí hvězdy a její T_{eff} , která se po nelineární stupnici zprava do leva zvyšuje a může být přibližně reprezentována barvou hvězdy.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (2)$$

3 HORKÉ HVĚZDY

Jak už jejich název napovídá, horké hvězdy jsou hvězdy s vyšší povrchovou teplotou, než kterou disponuje jim opačná kategorie této nejjednodušší klasifikace hvězd – hvězdy chladné – a velmi vysokou svítivostí. Tato rozhodující hodnota pro klasifikaci horké hvězdy je udávána jako efektivní teplota nad 7 000 K. Zmíněná klasifikace hvězd na horké a chladné je důležitým dělícím faktorem, který nám umožňuje lépe porozumět jejich ostatním astrofyzikálním vlastnostem. Pokud budeme určovat zastoupení horkých hvězd na populaci hvězd z celé Galaxie, dopočítáme se jen několika procent. Když však tuto klasifikaci přeneseme na nám známé hvězdy, tak zjistíme, že horkých bude 7 % hvězd v našem nejbližším okolí, z nejjasnějších hvězd na obloze 40 % z nich a ze stovky těch nejjasnějších hvězd to bude dělat celkem asi 2/3 horkých hvězd všeho druhu. Největší zastoupení horkých hvězd mají hvězdy s hmotností větší než 1, 35 $M_{\odot}$ (Xia 2019; Mikulášek 2021). A jaké vlastnosti nám efektivní teplota konkrétně napomáhá určit?

Přenášení toku energie. Přenášení toku energie z jádra hvězdy k jejímu povrchu má velký vliv na výslednou povrchovou teplotu hvězdy, která má zase vliv na její výslednou barvu. Způsob tohoto přenosu toku energie totiž ve výsledku určuje, jak vysoká bude hodnota efektivní teploty dané hvězdy. Tok energie je z jádra přenášen dvěma způsoby. Zářením – u horkých hvězd je energie z jádra přenášena sáláním tepla až k hvězdnému povrchu. Konvekci – u hvězd

slunečního typu a obecně u chladných hvězd je teplo vyzařující z jádra přenášeno fyzickým pohybem a prouděním tekutiny. Tímto způsobem se teplo šíří až k povrchovým vrstvám hvězdy

Podpovrchové vrstvy. Stavba podpovrchových vrstev hvězd se nedá z pochopitelných důvodů napřímo pozorovat. Efektivní teplota hvězdy nám pomáhá zjišťovat souvislosti mezi výslednou povrchovou teplotou a chemickým složením hvězdy, což nám umožňuje lépe porozumět hvězdné stavbě. Míra výskytu jednotlivých prvků je určována pomocí spektrálních čar, které jsou buď silné – vysoké zastoupení daného prvku –, nebo slabé – vzácné zastoupení daného prvku.

4 CHEMICKY PEKULIÁRNÍ HVĚZDY

Chemicky pekuliární (CP) hvězdy jsou hvězdy horní části hlavní posloupnosti. Jak už jejich název napovídá, od ostatních hvězd se liší primárně svým chemickým složením. Oproti slunečnímu složení je relativní zastoupení některých prvků v atmosféře těchto horkých hvězd hojnější či vzácnější. Po tomto zjištění byly tyto hvězdy označeny přídomek „p“. Jedná se o Ap, Bp a Fp hvězdy. Vyznačují se také v zásadě pomalejší rotací oproti hvězdám nepekuliárním – důvod tohoto fenoménu není přímo znám, avšak spekuluje se o nadměrné ztrátě momentu hybnosti ještě před jejich vstupem na hlavní posloupnost –, vedoucí ke vzniku řady výsledných souvisejících jevů v jejich o poznání klidnější atmosféře. Vzhled spekter CP hvězd je z velké části určen jejich efektivní teplotou, která se pohybuje v rozmezí 7 000 až 25 000 K a hraje – podobně jako výskyt či absence globálního magnetického pole – zásadní roli při aplikované klasifikaci.

4.1 Klasifikace

Přesto, že se od sebe jednotlivé CP hvězdy velmi liší, lze je klasifikovat s ohledem na hodnotu jejich efektivní teploty a přítomnost či nepřítomnost globálního magnetického pole. Dělí se následovně:

CP1 – Am (metalické) hvězdy – spektrální typ A až časně F –, s efektivní teplotou 7 000–10 000 K. Ve většině případů se jedná o dvojhvězdné systémy s krátkou dobou oběhu pohybující se v řádu dní. Předpokládá se, že je rotace hvězd v těchto soustavách zpomalená do takové míry, že se stala vázanou. Při vyšších rychlostech rotace pozorujeme u Am CP hvězd menší míru pozorované pekuliárnosti. U spekter CP1 hvězd byl zpozorován přebytek Fe a některých ostatních těžkých prvků (Cr, Sr, Ti, Ni, ...) a slabost u čar např. Ca či Sc. Mívají slabé nebo nedetekovatelné magnetické pole.

CP2 – Ap a Bp, magnetické CP hvězdy (mají silné globální magnetické pole), s T_{eff} 7 200–15 000 K.

CP3 – chladnější B hvězdy, jedná se o CP1 hvězdy přenesené do vyšších teplot, s T_{eff} 10 000–15 000 K. Jde o tzv. rtuťovo-manganové (HgMn) hvězdy. Jsou charakteristické vysokým nadbytkem hořčíku nebo manganu. Ve většině případů se jedná o dvojhvězdné/vícehvězdné systémy. Pekuliarita CP3 hvězd spočívá stejně jako u

magnetických CP hvězd v přítomnosti anomálních skvrn na povrchu hvězdy, avšak doposud nebyla u CP3 hvězd odhalena přítomnost silného globálního magnetického pole. Jejich rotace patří mezi nejpomalejší z hvězd horní části hlavní posloupnosti zapříčiňující výjimečně stabilní atmosféru. U spekter CP3 hvězd byl zpozorován nadbytek těžkých prvků jako W, Os, Au a Bi. Dále pozorujeme také úbytek v zastoupení prvků He a Ca.

CP4 – hvězdy tříd B2.5–B8, jedná se o CP2 hvězdy přenesené do vyšších teplot, s T_{eff} 13 000–20 000 K. Jde o hvězdy se slabými He čarami označované jako He-weak, v důsledku abnormálně nízké hodnoty těchto čar vzhledem k jejich efektivní teplotě. U spekter CP4 hvězd byl zpozorován typický přebytek Si nebo Sr a Ti.

Širší literatura uvádí klasifikaci rozšířenou o další tři skupiny CP hvězd:

CP5 – hvězdy se silnými spektrálními čarami He, vysokoteplotní varianta CP2 hvězd.

CP6 – hvězdy tříd B2–B4, jednalo se o CP2 a CP4 hvězdy přenesené do vyšších teplot. V důsledku silných spektrálních čar He byly také označovány jako He-strong. Díky přítomnosti magnetického pole se klasifikovaly jako magnetické CP hvězdy.

CP7 – hvězdy s přebytkem He, CP2 hvězdy o vyšších teplotách.

V současnosti již však tato klasifikace není při práci s CP hvězdami všeobecně rozšířena a pracuje se s klasifikací CP1–CP4. Pro kategorie CP5–CP7 se používá souhrnné označení He-strong, odkazující na silné čáry He v jejich spektru. T_{eff} této souhrnné kategorie se pohybuje kolem 18 000–23 000 K.

4.1.1 Magnetické CP hvězdy

Magnetické chemicky pekuliární hvězdy (mCP) jsou CP hvězdy vyznačující se výskytem stabilního globálního magnetického pole. Toto silné magnetické pole je dipólové, a provází hvězdu po celou dobu její existence na hlavní posloupnosti. Jeho přítomnost a zpravidla pomalejší rotace CP hvězd zapříčiňuje vznik stabilních chemických skvrn v důsledku přesunu některých prvků k jádru či naopak k povrchu hvězdy. V důsledku rotace se skvrna přesouvá mezi stádiem nám viditelným, a stádiem, kdy se nachází skryta na odvrácené straně hvězdy. To vede k pozorovatelným změnám v jasnosti dané hvězdy. I přesto, že je pozorovatelná efektivní teplota po celém povrchu hvězdy stejná, její magnituda se v čase periodicky mění. Perioda této změny je rovna rotační periodě hvězdy.

5 VOLBA POZOROVANÝCH OBJEKTŮ

Jako pozorované objekty byly zvoleny vybrané potvrzené nebo kandidující mCP hvězdy ze seznamu třiapadesáti hvězd (Hümmerich et al. 2018). Konkrétně TIC122673176, TIC164723837 a TIC170345008. Ze zmíněného seznamu byly určeny hvězdy s ideálními vlastnostmi pro pozorování pomocí dalekohledu AZ 800 ve Ždánicích. Konkrétně s poněkud kratší délkou periody (okolo několika desítek hodin), která je zároveň stabilní, a hvězdnou

velikostí s hodnotou osm až třináct magnitudy. Možnosti techniky ve Ždánicích jsou v rozsahu 7 až 16 magnitudy, zvolený rozsah byl vybrán pro praktičnost pozorování spíše v oblasti nižší magnitudy, aby byla hvězdná velikost dané hvězdy dost výrazná a výsledky se lépe vyhodnocovaly. Všechny hvězdy ze seznamu se nachází v blízkosti souhvězdí Labutě, jelikož byl Kepler právě na tuto oblast zaměřen. Ideální čas k jejich pozorování nastává kolem poloviny kalendářního roku, u vybraných hvězd konkrétně na pomezí července a srpna. Provedená pozorování byla proto prováděna od srpna do listopadu roku 2024. Zohledňovat se musela i fáze v rámci periody, ve které se hvězda při pozorování nachází, aby se zamezilo pozorování a získání dat stejné fáze vícekrát.

Tab. 1: Podrobnosti o hvězdě TIC164723837

hvězda [KIC]	1. pozorování začátek	1. pozorování konec	perioda: P [d] (Simbad)	rektascenze
10324412	15. 8., 22:50	16. 8., 0:49	1, 73	18 58 02
	fáze začátku	fáze konce	magnituda	deklinace
	0,253	0,301	8, 21	47 25 10

Tab. 2: Podrobnosti o hvězdě TIC122673176

hvězda [KIC]	1. pozorování začátek	1. pozorování konec	2. pozorování začátek	2. pozorování konec	perioda: P [d] (Simbad)	rektascenze
1865567	18. 9., 20:10	19. 9., 0:30	20. 9., 22:44	21. 9., 1:17	1, 35	19 23 13
	fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	magnituda	deklinace
	0,706	0,84	0,334	0,444	10, 46	37 22 24

Tab. 3: Podrobnosti o hvězdě TIC170345008

hvězda [KIC]	1. pozorování začátek	1. pozorování konec	2. pozorování začátek	2. pozorování konec	perioda: P [d] (Simbad)
5473826	13. 10., 20:54	13. 10., 23:16	19. 10., 19:04	19. 10., 23:01	1, 05
	fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	magnituda
	0,808	0,902	0,45	0,607	10, 86

	3. pozorování začátek	3. pozorování konec	4. pozorování začátek	4. pozorování konec	rektascenze
	3. 11., 18:46	3. 11., 20:36	5. 11., 18:44	5. 11., 20:56	19 52 51
	fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	deklinace
	0,724	0,798	0,629	0,715	40 36 21

Pro určení fáze existuje fázový vzorec (vzorec 3), kde JD znamená juliánské datum, T_0 juliánské datum odpovídající času v okamžiku minima pozorovaného objektu a P perioda (v dnech).

$$Fáze = \left(\frac{JD - T_0}{P} \right) \bmod 1 \quad (3)$$

Jelikož vzorec nepracuje s daty gregoriánského kalendáře, musíme pomocí dalšího vzorce (vzorec 4) přepočítat gregoriánské datum z námi užívaného systému do podoby systému juliánského kalendáře, tedy juliánského data (JD), které vyjadřuje počet dní uplynulých od poledne světového času dne 1. ledna a roku 4713 př. n. l. dle proleptického juliánského kalendáře. K tomu použijeme pomocnou proměnnou E, kterou nahradíme počtem dní uplynulých od 1. března a pomocnou proměnnou R, jejíž hodnota je dána počtem let uběhlých od juliánského počátku času.

$$JD = E + 365R + \left\lfloor \frac{R}{4} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{R}{100} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{R}{400} \right\rfloor - 32045 \quad (4)$$

Proměnné hodnoty E a R, které použijeme při výpočtu namísto pomocných proměnných ve vzorci pro výpočet juliánského data, získáme prostřednictvím pomocných výpočtů (vzorec 5 a vzorec 6). Zde se pracuje i s počátečními vstupními proměnnými. Vstupní proměnná D označuje daný den, pomocná proměnná N je hodnota přepočítaného počtu měsíců v daném roce (od konce února), vstupní proměnná Y označuje daný rok a pomocná proměnná A rozlišuje, jestli výpočet pracuje s uvedeným měsícem lednem nebo únorem (hodnota 1), nebo se pracuje s jiným měsícem v roce (hodnota 0).

$$E = D + \left\lfloor \frac{153N+2}{5} \right\rfloor \quad (5)$$

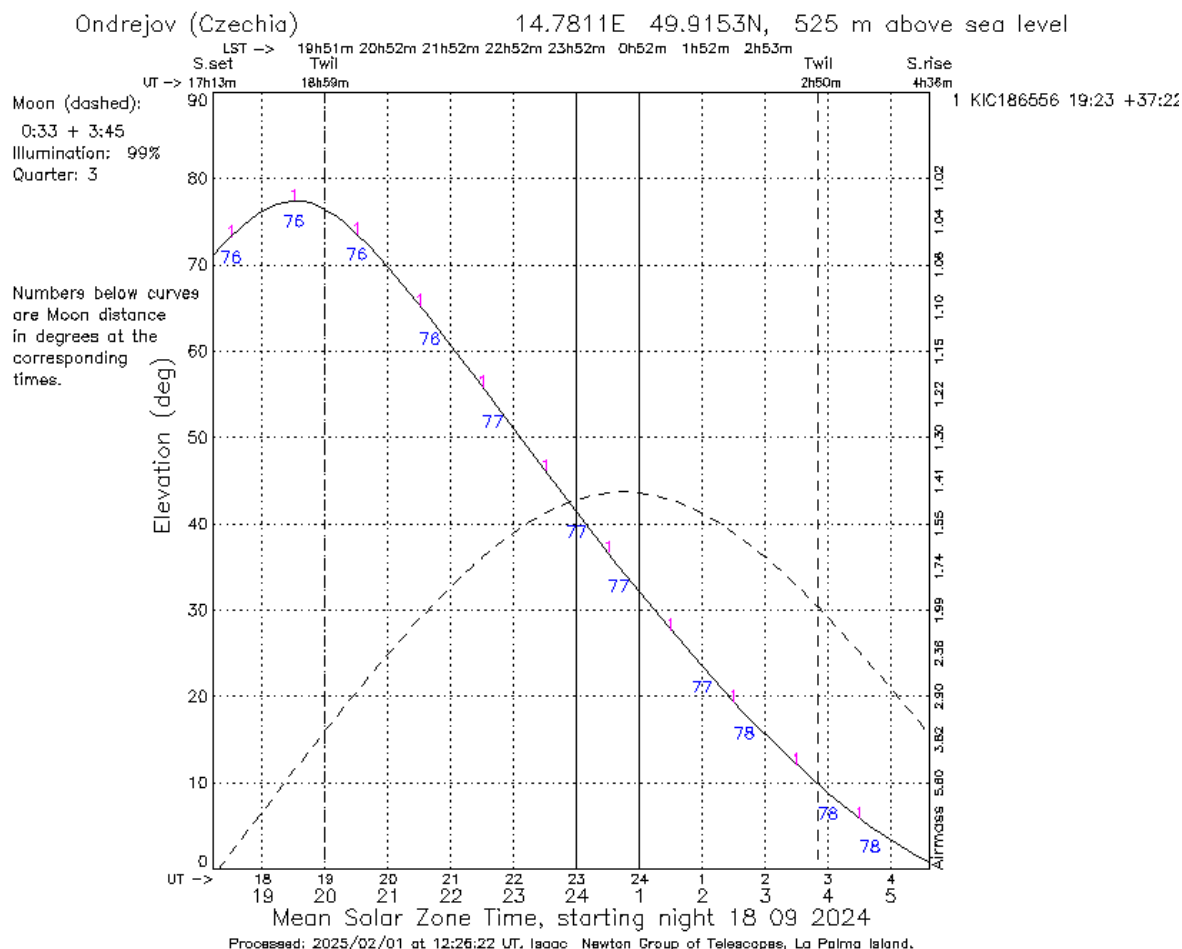
$$R = Y + 4800 - A \quad (6)$$

6 PRÁCE S DALEKOHLEDEM

Pozorování bylo prováděno dalekohledem AZ 800 ve Ždánické hvězdárně a planetáriu Oldřicha Kotíka. Ovládání dalekohledu je několikafázový a komplikovaný proces. Musel jsem se připojit přes vyhledávač Google a jeho funkci „Vzdálená plocha Chrome“ a dále pro práci s dalekohledem využít čtyři různé softwarové aplikace. Musel jsem také myslet na aktuální stav počasí.

6.1 Příprava

Před zahájení pozorování je důležité si zjistit, kdy bude hvězda na noční obloze viditelná. Kvůli bezpečnosti dalekohledu a světelnému smogu nás tedy zajímá, kdy bude daná hvězda minimálně 30° nad obzorem. Pro zjištění této informace byl použit program STARALT (Azzaro Marco, Méndez Javier a Sorensen Peter) zobrazující viditelnost astronomických objektů, dostupný na adrese <https://astro.ing.iac.es/staralt/>. Jestli jako příklad použijeme graf z 1. pozorování hvězdy KIC1865567 (Obrázek 2), můžeme po jeho vygenerování na základě



Obr. 2: Graf „pohybu“ hvězdy KIC1865567 dne 18. 9. 2024 (STARALT)

zadaných dat o konkrétní noci, poloze observatoře a souřadnicích vyčíst následující klíčové informace: v jakém časovém úseku se bude objekt nacházet 30° nad obzorem (zde až do jedné hodiny ráno GMT+1), kdy nastane soumrak a rozbřesk (zde 19:59 a 3:50 GMT+1) a potenciál ovlivnění kvality daného pozorování trajektorií měsíce (zde setkání trajektorií pozorovaného objektu a měsíce v okamžiku skoro 45° nad obzorem).

6.1.1 Meteorologické podmínky

Také je nutné zkontrolovat předpověď počasí pro čas naplánovaného pozorování. V mém případě probíhala kontrola přes telefon pomocí aplikace Windy od Windyty SE (dostupné na

adrese [windy.com](https://www.windy.com)), která poskytuje potřebné informace. V nabídce je několik map znázorňujících požadovaný meteorologický jev. Pro plánování pozorování jsou užitečné hlavně



Obr. 3: Ukázka aplikace Windy ([Google Play](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.windyapp))

mapy Vlhkost (při vlhkosti 95 % a více se kopule hvězdárny automaticky uzavře), Déšť, bouřky a Mraky. Výhodou je také možnost zobrazení předpovědi až na 5 dní dopředu. V případě, že se všechny tyto podmínky zdají být příznivé, lze naplánovat pozorování. Pak už zbývá jen zamluvit teleskop.

6.1.2 Seeing

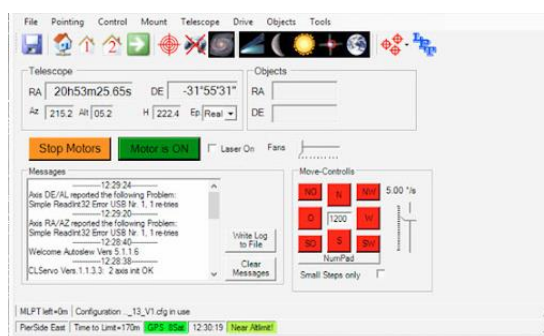
Jako seeing se označuje vliv zemské atmosféry na kvalitu pořízených snímků. Seeing popisuje rozmazání astronomických objektů způsobené turbulencí a teplotními variacemi v atmosféře. Špatný seeing je způsoben ohýbáním nebo třpytem světla vyzařovaného hvězdou vlivem atmosférických jevů. Faktory, které seeing ovlivňují, jsou fluktuace v atmosféře, nadmořská výška a poloha a povětrnostní podmínky. Fluktuaci v atmosféře způsobuje nepravidelné ohýbání světelných vln. To se pak odrazí na získaných snímcích, které mohou být rozmazané. Čím vyšší je nadmořská výška místa, kde máme umístěnou techniku, tím lepší se nám stanou podmínky pro seeing, jelikož v oblastech s vyšší nadmořskou výškou, jako třeba na horách, budeme pozorovat menší světelný smog, který nám tím pádem tolik nebrání v pozorování a v získání požadovaných výsledků. Ze stejného důvodu rozezná obyvatel obce na noční obloze více hvězd než obyvatel města stejně jako se obyvateli horských oblastí pravděpodobně podaří rozeznat více i méně jasných souhvězdí než obyvateli hustě osídlených oblastí, které se častěji nachází v nižších nadmořských výškách. Povětrnostní podmínky nám zase ovlivňují stabilitu vzdušných mas, které v případě silného větru či přivátí mračna negativně ovlivňují seeing a kvalitu získaných dat.

Lze seeing ovlivnit? Ano, seeing našeho pozorování můžeme ovlivnit, i když samotný seeing změnit nelze. To, co udělat můžeme, je cíleně dělat volby, které nám umožní, aby pro nás byly naše podmínky co nejprívětivější. První takovou volbou je zvolení si vhodného času pro pozorování. Naše atmosféra bývá stabilnější pozdě v noci až brzy ráno, takže pozorování je vhodnější provádět v tuto dobu, kdy je klidná jasná noc. Zvolení pozorovací techniky umístěné ve vyšší nadmořské poloze je další způsob, kterým můžeme svůj seeing zlepšit. Zvolením místa s vyšší nadmořskou výškou minimalizujeme dopad atmosférických efektů na naše pozorování.

6.2 Připojení se na dalekohled a zahájení pozorování

Jelikož byla možnost využít pro pozorování dalekohled AZ 800 Hvězdárny a planetária Oldřicha Kotíka ve Ždánicích (přes 40 km od Brna), byla pro ovládání přístroje použita Vzdálená plocha Chrome, která umožnila komunikaci se Ždánickým zařízením. Dále bylo přes chrome také možné nahlédnout na samotný teleskop přes kameru. Možnost sledovat dalekohled přináší výhody třeba v případě nespolutracující techniky, kdy můžeme zkontrolovat, co přesně dalekohled a kopule dělají.

Ke správě dalekohledu byly použity 4 různé programy. ASA, Autoslew, Sequence a SIPS.



Obr. 4: Ukázka programu Autoslew

Jako první s předstihem zapínáme kameru (znovu přes Chrome) a její chlazení (nastavíme v SIPS, v našem případě obvykle na -20°C), aby byla připravená a my ušetřili čas. Když zahájíme pozorování (tento text mluví pouze o pozorování ve Ždánicích), začneme s programem ASA, přes který otevřeme kryt dalekohledu a zapneme chlazení větráku. Přes program Autoslew určujeme polohu, kam bude dalekohled namířen – zadáme tedy souřadnice nebo název objektu, který budeme pozorovat. Je zde i možnost si zadanou polohu prostřednictvím mapy hvězdné oblohy přímo graficky zobrazit. Dále přes tento program zapneme motor dalekohledu a možnost tracking, neboli sledování, která nastaví, že se dalekohled bude v průběhu pozorování za naším objektem sám otáčet. Přes program Sequence dále připojíme veškerou techniku. V této fázi konečně zapínáme program SIPS. Přes tento program vytvoříme v zařízení složku, kam se budou data ukládat, a zadáme název pozorovaného objektu. Pro naše pozorování nastavíme filtr V a expozici na „light“. Pokud ještě nemáme k dispozici, vytvoříme si na začátku flat a dark snímky. Pozor, tyto snímky by měly být pořízeny za stejných podmínek jako následně snímky samotného pozorování. Lze však provést až nakonec, po ukončení pozorování. V případě, že již tyto snímky máme, vytvoříme pár kontrolních snímků. Když jsme spokojeni, nastavíme, jak dlouho má dalekohled pozorovat. Teď už jen necháme dalekohled snímat a pravidelně ho kontrolujeme.

6.3 Ukončení pozorování

Při ukončování pozorování zkontrolujeme, že jsou snímky i dalekohled v pořádku, v případě potřeby pořídíme darky a flaty, pokud jsme tak ještě neučinili. Když vše probíhá tak jak má,

ukončíme pozorování a vypneme chlazení – teplota se začne stabilizovat. Pomocí programu Autoslew zaparkujeme dalekohled (zkontrolujeme, zda je opravdu v parkovací pozici), dále zavřeme kopuli a kryt, vypneme kameru, větrák a motor a přes program Sequence odpojíme všechnu techniku. Teď už zbývá jen data z dané noci stáhnout a vyhodnotit.

7 VYHODNOCOVÁNÍ ZÍSKANÝCH DAT

Data jsem po stáhnutí a rozřídění vyhodnotil programem SIPS, konkrétně SIPS4 EN 32-bit. Rozřídění dat jednotlivých pozorování mělo nadřazenou složku s názvem podle gregoriánského data pozorování, pod kterou se řadily složky darků, flatů a lightů – lighty byly následně z technických důvodů též rozříděny do jednotlivých složek dle počtu souborů, se kterými byli sám software a moje zařízení ochotné řádně fungovat. Prvním krokem bylo vytvořit z pořízených kalibračních snímků darků a flatů masterdark a masterflat. To bylo provedeno pomocí uplatnění metody mediánu, kdy se nejběžnější hodnota jednotlivých souborů přenesla do souboru výsledného a vytvořila přesnější verzi, kterou bylo možné uplatnit na samotná data pozorování – lighty. Zároveň je lepší jednotlivé původní soubory zkontrolovat a odstranit ty, které jsou poškozené na kvalitě – nejčastěji kvůli průletu jasného objektu. Následně jsem vytvořil photometry task, kam jsem zadal souřadnice dané hvězdy a polohu souborů lightů, masterdarku a masterflatu v zařízení. Po uložení této úlohy už jen stačí zvolit „run photometry task“ a nechat program nějakou chvíli běžet, než nám data vyhodnotí. Pak už zbývá jen identifikovat danou pozorovanou hvězdu a zvolit pro ni hvězdu srovnávací, u které se hvězdná velikost nemění. To bylo provedeno pomocí databáze Simbad, kde je možné si po vyhledání konkrétní hvězdy díky jejímu názvu zobrazit hvězdu samotnou, i hvězdy v okolí, mezi kterými je možnost hledat, pro potřebu této práce již zmíněné hvězdy, u kterých není prokázána pozorovatelná změna hvězdné velikosti.

7.1 Kalibrační snímky a jejich pořízení

Darky a Flaty jsou kalibrační snímky, které byly pro tuto práci v rámci jednotlivých pozorování pořízeny, a se kterými jsem dále pracoval. Cílem kalibračních snímků je odstranit systematické chyby z pořízených snímků pozorovaného objektu. Tím nám kalibrační snímky umožňují získat co možná nejpresnější data.

7.1.1 Darky snímky

Darky jako kalibrační snímky slouží k odstranění tepelného šumu ze snímků pozorovaného objektu. Pořízení dark snímků má 3 fáze. Nejdříve nasadíme kryt dalekohledu. Zkontrolujeme, že máme nastavené stejné nastavení, jaké budeme používat při pořizování snímků pozorovaného objektu. Když máme první dva body splněné, můžeme pořídit dark snímky. Většinou jich pořizujeme okolo dvaceti až deseti.

7.1.2 Flat snímky

Flaty jako kalibrační snímky mají za cíl korigovat vady v optické dráze dalekohledu. Přítomné vady mohou být např. prach na senzoru či vinětace. Pořízení flat snímků má 4 kroky. Nejdříve

namíříme dalekohled na bílý, rovnoměrně osvětlený povrch. Zkontrolujeme, že má dalekohled nastavené stejné zaostření jako u pořízených snímků pozorovaného objektu. Dále nastavíme krátkou expozici. Teď už je možno pořídit samotné flat snímky. Stejně jako u dark snímků to bude kolem deseti až dvaceti.

7.1.3 Bias snímky

Bias jsou kalibrační snímky, které narozdíl od darků a flatů nebyly v průběhu této práce využity. Bias snímky měří minimální úroveň signálu produkovaného senzorem kamery. Ten je pak odečten od snímků pozorování. Cílem kalibračních snímků bias je tedy získat skutečný signál z oblohy. To celé probíhá pomocí měření vnitřního elektromagnetického šumu kamery. Pořízení bias snímků probíhá ve čtyřech krocích. Nejdříve nasadíme dalekohledu kryt. V nastavení dále nastavíme nejkratší expoziční čas. Poté zkontrolujeme, že máme nastavené stejné podmínky jako u snímků pozorovaného objektu. Po splnění zmíněných podmínek pořídíme okolo padesáti až sto bias snímků.

8 TVORBA GRAFŮ A JEJICH POROVNÁNÍ POMOCÍ PROGRAMU PERANSO

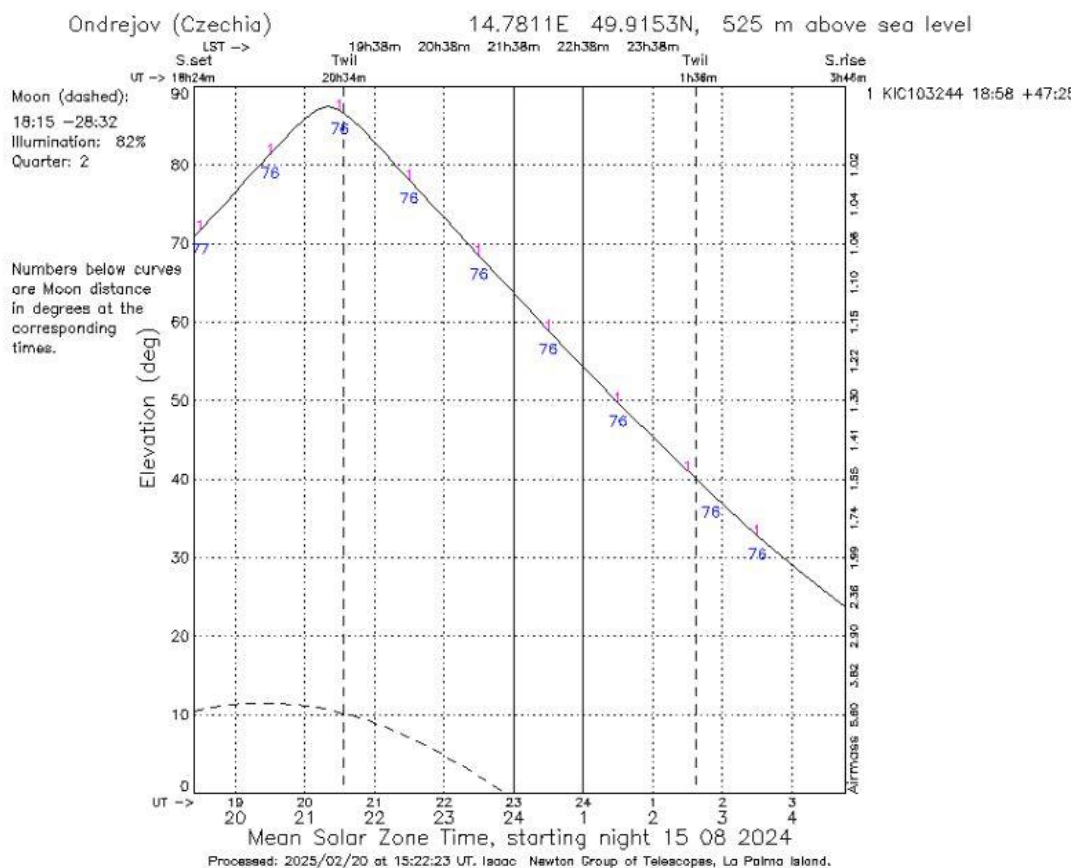
Grafy použité v této kapitole, které nebyly vytvořeny pomocí již zmíněného programu STARALT (kapitola 6 – Práce s dalekohledem, 6.1 – Příprava), byly vytvořeny prostřednictvím softwaru Peranso. Jsou to 2 druhy grafů. Grafy dat získaných družicí Kepler a grafy dat získaných při praktické části této práce.

8.1 KIC10324412

Pozorování hvězdy TIC164723837 bylo pro účely této práce provedeno v srpnu roku 2024. Informace o hvězdě lze nalézt v příložené tabulce (Tabulka 4) 15. 8. končil v oblasti Brna, blízko kterého se nachází ždánický dalekohled, astronomický soumrak v 22 hodin 14 minut v noci. Pozorování tedy probíhalo v noci z 15. 8. na 16. 8. 2024. Teploty se pohybovaly kolem 30°C. Meteorologické podmínky se v tento den vyznačovaly vysokou mírou oblačnosti, takže meteorologické podmínky byly zhoršené a mohly zhoršit kvalitu dat získaných z pozorování.

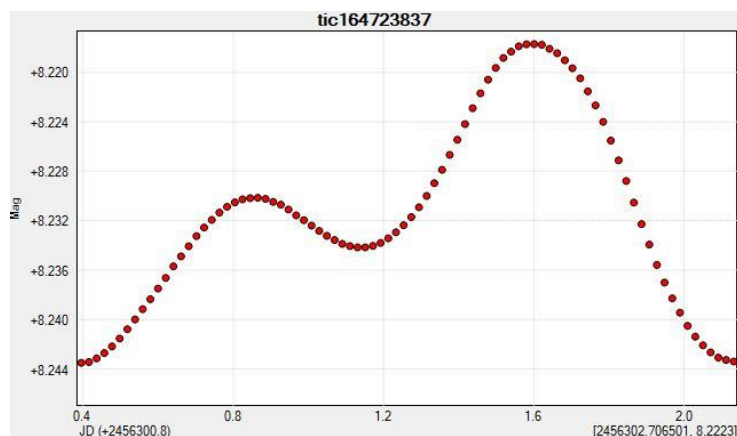
Tab. 4: Podrobnosti o hvězdě TIC164723837

1. pozorování začátek [JD]	1. pozorování konec [JD]	perioda: P [d] (Hümmerich et al. 2018)	rektascenze (Hümmerich et al. 2018)
2460538.4097	2460538.4924	1, 73	18 58 02
fáze začátku	fáze konce	magnituda (Hümmerich et al. 2018)	deklinace (Hümmerich et al. 2018)
0,253	0,301	8, 25	+47 25 10



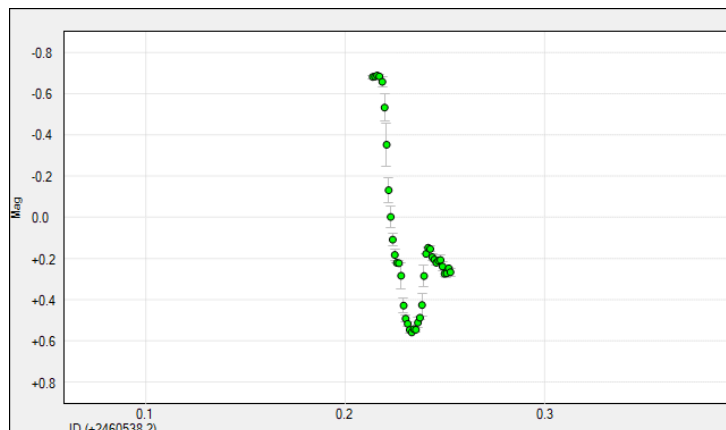
Obr. 5: Graf „pohybu“ hvězdy KIC10324412 dne 15. 8. 2024 (STARALT)

Perioda hvězdy KIC10324412 vytvořena z dat družice Kepler pomocí programu Peranso (obrázek 6) je specifická částí, kdy zhruba od čtvrtiny do poloviny periody hodnota hvězdné velikosti klesá, než zase pokračuje v typickém stupání do maxima a následným návratem na začáteční hodnotu periody. Pozorování, které proběhlo dne 15. 8. 2024 by tedy mělo zachycovat část „prvního vrcholu“ periody.

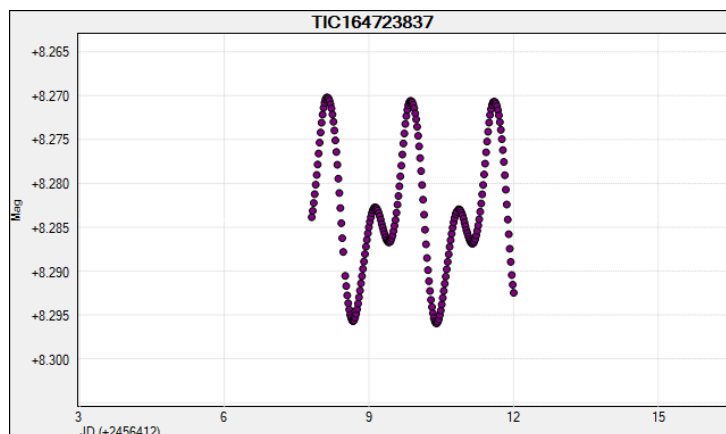


Obr. 6: Grafické zobrazení periody fáze hvězdy KIC10324412 (Peranso)

Ze získaných dat (obrázek 7) je však možno odvodit, že jsme zachytili moment 0,0 fáze. Tomu nasvědčuje i vzhled grafu hvězdné velikosti této hvězdy, který je přiložen níže (obrázek 8) Minimum nastalo v momentě 2460538.433358 JD.



Obr. 7: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC10324412 (Peranso)



Obr. 8: Grafické zobrazení změny hvězdné velikosti hvězdy KIC10324412 v čase (Peranso)

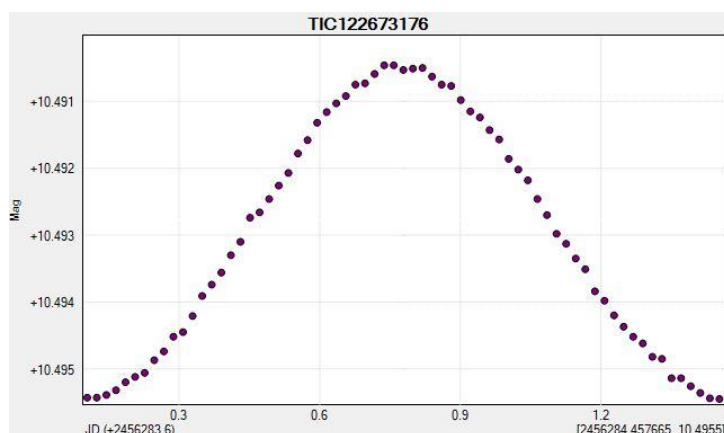
8.2 KIC1865567

Pozorování pro účely této práce hvězdy TIC122673176 byla provedena v měsíci září roku 2024. Informace o této hvězdě jsou přiloženy v tabulce níže (Tabulka 5). Ve dnech 18. a 20. 9. 2024 se teploty pohybovaly kolem 20°C. Vlhkost se v těchto dnech pohybovala místy i v hodnotách přes 90 %, což mohlo zhoršit meteorologické podmínky a tím ohrozit kvalitu pozorování.

Tab. 5: Podrobnosti o hvězdě TIC122673176

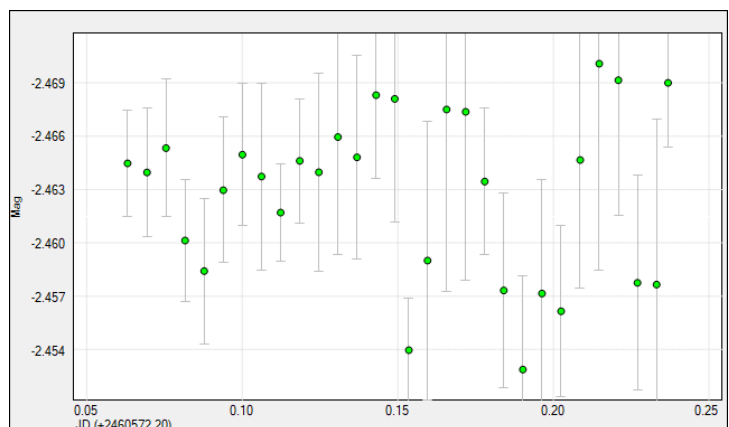
1. pozorování začátek [JD]	1. pozorování konec [JD]	2. pozorování začátek [JD]	2. pozorování konec [JD]	perioda: P [d] (Hümmeric h et al. 2018)	rektascenze (Hümmeric h et al. 2018)
2460572.298 6	2460572.437 5	2460574.4056	2460574.511 8	1, 35	19 23 13
fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	magnituda (Hümmeric h et al. 2018)	deklinace (Hümmeric h et al. 2018)
0,706	0,84	0,334	0,444	10, 57	+37 22 24

Perioda fáze hvězdy KIC1865567 se vyznačuje typickým vzhledem. V nulté fázi (0,0) začíná hvězda minimálními hodnotami, v polovině fáze (0,5) dosahují hodnoty hvězdné velikosti svého maxima a ke konci fáze (1,0) se naměřené hodnoty dostávají zpět na minimum.

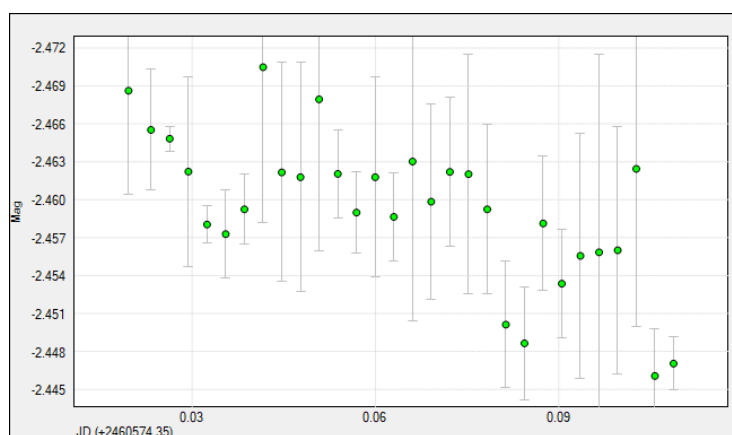


Obr. 9: Grafické zobrazení periody fáze hvězdy KIC1865567 (Peranso)

Získaná data byla ovlivněna meteorologickými podmínkami (vysokou vlhkostí), které doprovázely dny, ve kterých pozorování probíhala, a ze zobrazených výsledků nelze vyvodit jasný závěr.



Obr. 10: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC186567 ze dne 18. 9. 2024 (Peranso)



Obr. 11: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC186567 ze dne 20. 9. 2024 (Peranso)

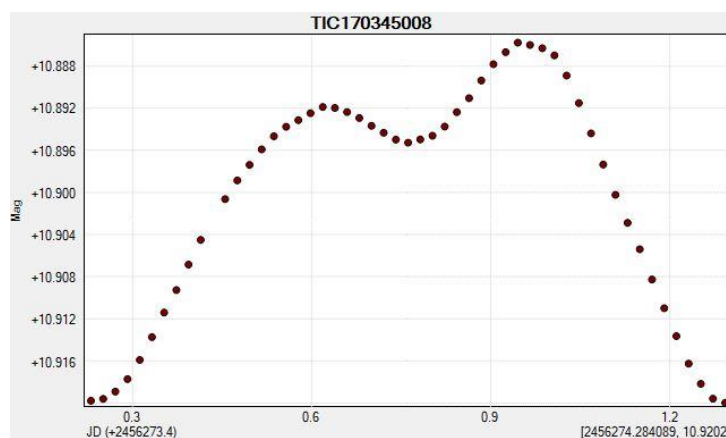
8.3 KIC5473826

Hvězda TIC170345008 byla pro účely této práce pozorována v měsících říjnu a listopadu roku 2024. V tabulce přiložené níže (Tabulka 6) lze najít podrobnější informace o hvězdě.

Tab. 6: Podrobnosti o hvězdě TIC170345008

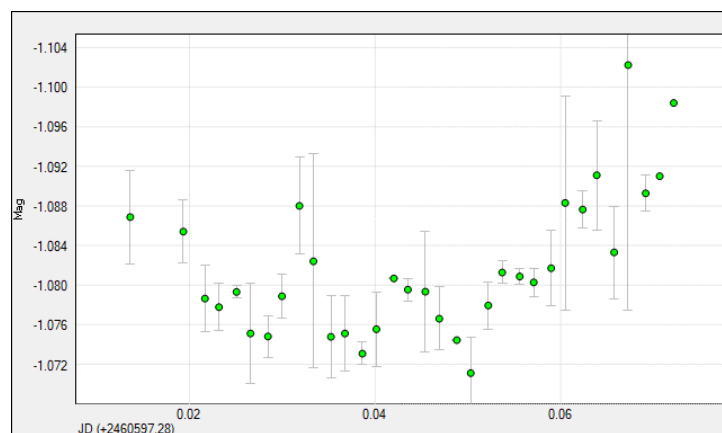
1. pozorování začátek [JD]	1. pozorování konec [JD]	2. pozorování začátek [JD]	2. pozorování konec [JD]	perioda: P [d] (Hümmerich et al. 2018)
2460597.3292	2460597.4278	2460603.2528	2460603.4174	1, 05
fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	magnituda (Hümmerich et al. 2018)
0,808	0,902	0,45	0,607	10, 9

3. pozorování začátek [JD]	3. pozorování konec [JD]	4. pozorování začátek [JD]	4. pozorování konec [JD]	rektascenze (Hümmerich et al. 2018)
2460618.2403	2460618.3167	2460620.2389	2460620.3306	19 52 51
fáze začátku	fáze konce	fáze začátku	fáze konce	deklinace (Hümmerich et al. 2018)
0,724	0,798	0,627	0,715	+40 36 21



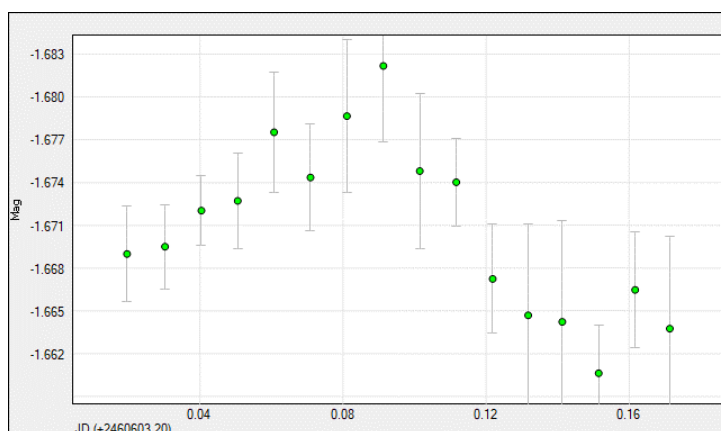
Obr. 12: Grafické zobrazení periody fáze hvězdy KIC5473826 (Peranso)

Podle výpočtů fáze hvězdy KIC5473826 během proběhlých pozorování by mělo být možné sestavit ze získaných dat polovinu fáze, zhruba od 0,5 do 1. Při prvním pozorování této hvězdy se mi podařilo (s mírnými nepřesnostmi) zachytit minimum periody fáze – 0,0 fáze (obrázek 13).



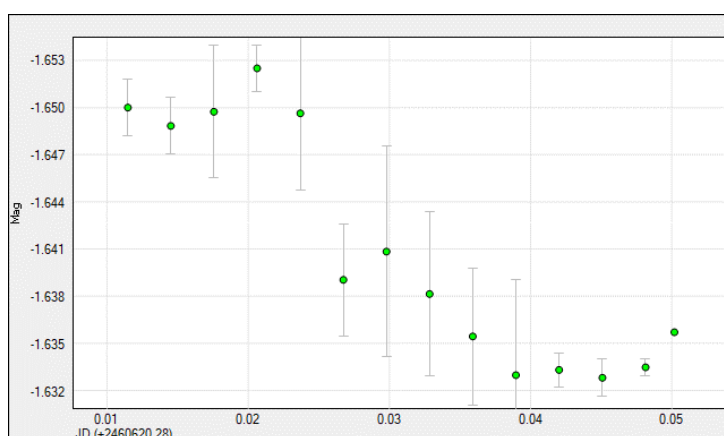
Obr. 13: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC5473826 (Peranso)

Při druhém pozorování této hvězdy se mi podařilo zachytit hvězdu v polovině její fáze, kdy nastalo „1. maximum“ její periody (obrázek 14).



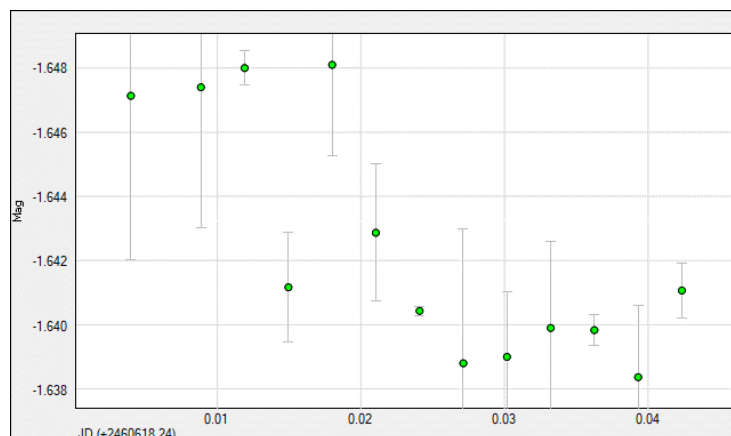
Obr. 14: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC5473826 (Peranso)

U dat ze 4. pozorování již můžeme pozorovat klesání hodnoty hvězdné jasnosti (obrázek 15), v návaznosti na 1. pozorování hodnoty hvězdné velikosti klesají do fáze „2. minima“ periody.



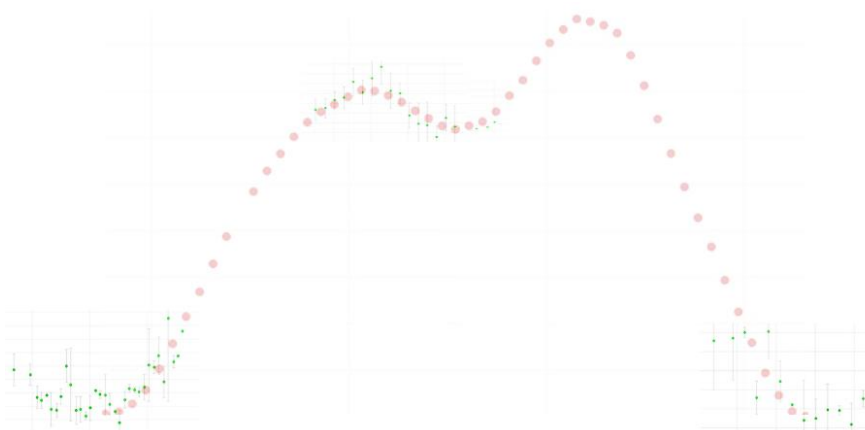
Obr. 15: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC5473826 (Peranso)

V rámci třetího pozorování již můžeme vidět, jak již hodnoty hvězdné velikosti klesají k minimu (obrázek 16).



Obr. 16: Grafické zobrazení části periody fáze hvězdy KIC5473826 (Peranso)

Rekonstrukce periody pomocí získaných dat by tedy dopadla přibližně jako na obrázku níže (obrázek 17).



Obr. 17: rekonstrukce periody fáze hvězdy KIC5473826

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo stanovit periody změny hvězdné velikosti vybraných magnetických chemicky pekuliárních hvězd zkoumaných v minulosti také teleskopy TESS a Kepler. Při práci byl využit dalekohled AZ 800 nacházející se ve Ždánické hvězdárně a planetáriu Oldřicha Kotíka, softwarové programy jako Peranso a SIPS a dostupná data o vybraných hvězdách v minulosti získaná družicemi TESS a Kepler. Celou periodu se v této práci určit nepodařilo, zato se podařilo určit části period hvězd KIC10324412 a KIC5473826. Výsledků bylo dosaženo prostřednictvím programu Peranso. U hvězdy KIC10324412 se podařilo určit minimum fáze, které nastalo 15. 8. 2024 v 23 hodin 24 minut. Můžeme tedy uvést, že tato práce stanovuje minimum hvězdy KIC10324412 na 2460538.433358 JD. Ke hvězdě KIC5473826 by pro potvrzení dat a přesné stanovení periody muselo proběhnout dalších několik pozorování. U hvězdy KIC1865567 se mi periodu ani její část stanovit nepodařilo.

Možná návaznost na tuto práci by mohla obsahovat snahu o potvrzení minima hvězdy KIC 10324412 a zachycení celé periody této hvězdy. U hvězdy KIC 5473826 by bylo vhodné potvrdit data pro jednotlivé části period prostřednictvím dalších pozorování. Dále by bylo možné stanovit celou periodu.

10 POUŽITÁ LITERATURA

1. MIKULÁŠEK, Zdeněk. Fyzika horkých hvězd I. Revize 19. 2. 2021. Brno: Masarykova univerzita, 1921.
2. BŘÍZOVÁ, Leontýna. Hvězdy ve středoškolské fyzice. Hradec Králové, 2017.
3. HÜMMERICH, S. et al. The Kepler view of magnetic chemically peculiar stars. ESO, 2018.
4. MIKULÁŠEK, Zdeněk a ZEJDA, Miloslav. Úvod do studia proměnných hvězd. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6241-2.
5. XIA, Caiyun. Vývojové změny periody rotace horkých chemicky pekuliárních hvězd. Brno: Masarykova univerzita, 2019.
6. KLEIN, P., R. LANGENDORF a S. SCHNEIDER. Extracting information from the Hertzsprung-Russell diagram: An eye-tracking study. Göttingen, 2022. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/363912640_Extracting_information_from_the_Hertzsprung-Russell_diagram_An_eye-tracking_study.