



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA**
Univerzita Karlova

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Michal Steiner

Nová studie dlouhodobých a orbitálních změn hvězdy se závojem V923 Aql

Astronomický ústav UK

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Petr Harmanec, DrSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Obecná Fyzika

Praha 2019

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Rád bych poděkoval prof. P. Harmanci za vedení práce, konzultace a poskytnutí výpočetních programů. Zároveň děkuji Bc. L. Kotkové za možnost využít její program eq.

Dále bych chtěl poděkovat všem astronomům a nočním pozorovatelům, jejichž spektra jsem v práci využil.

Abecední seznam astronomů :

Arazimová, Aret, Bardon, Budovičová, Čermáková, Chadima, Dovčiak, Habuda, Hadrava, Harmanec, Honsa, Jeřábková, Korčáková, Koubský, Kraus, Libich, Muratore, Nemravová, Netolický, Oksala, Řezba, Ruždjak, Šarounová, Shrubný, Škoda, Šlechta, Votruba, Wolf

Abecední seznam nočních pozorovatelů:

Ak, Havelka, Kalaš, Kotková, Sloup, Tlamicha, Žďarský

Použitá fotometrie pochází z UBV/UBVR archivu Praha/Hvar. Pozorování byla získána mnoha českými a chorvatskými astronomy, jejich finalní redukci provedli H. Božić a P. Harmanec. Tímto bych chtěl všem zainteresovaným astronomům poděkovat.

Název práce: Nová studie dlouhodobých a orbitálních změn hvězdy se závojem V923 Aql

Autor: Michal Steiner

Katedra: Astronomický ústav UK

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Petr Harmanec, DrSc., katedra

Abstrakt:

V první části je nastíněna problematika hvězd se závojem, jejich proměnnost na různých časových škálách a některé z modelů, vysvětlující vznik závoje. Následuje část zabývající se softwarem použitým k měření. Po seznámení se s programy je obsaženo samotné zpracování dat. Celkem bylo měřeno na 46 spektrech z hvězdárny Ondřejov a fotometrii z hvarské observatoře v RJD = 52000–58500. Jednotlivá zjištění pak byla dána do srovnání s již zjištěnými vlastnostmi systému. Většinu dříve sledovaného chování V923 Aql se podařilo objevit i v dodaných datech, ale byla nalezena rozdílnost mezi $RV_{H\alpha}$ a RV_M měřenou na kovových čarách. Dále byla zjištěna ve srovnání s cykly měřenými v minulosti odlišná délka dlouhodobých cyklů.

Klíčová slova: hvězdy B se závojem - dlouhodobé změny - orbitální změny - dráhové řešení

Title: A new study of the long-term and orbital variations of the Be star V923 Aql

Author: Michal Steiner

Department: Astronomical Institute of Charles University

Supervisor: prof. RNDr. Petr Harmanec, DrSc., department

Abstract: The first part of this thesis deal with the topic of Be stars, their variability on different time scales and some of the models explaining formation of the envelope. Next part deals with software, which is used for measurement. After introduction to these programs the data analysis follows. Overall, 46 spectra from Ondřejov Observatory and Hvar photometric observations that covered time RJD=52000–58500 has been used. Each finding were compared with already known properties of V923Aql. Most behavior patterns that were seen in the past has been seen even in the available data, but a difference between $RV_{H\alpha}$ and RV_M measured on metallic lines were found. Also, the length of long-term cycle seems to differ from that in the past cycles.

Keywords: Be stars - long-term changes - orbital variations

Obsah

Úvod	2
1 Program SPEFO	4
1.1 Historie programu SPEFO	4
1.2 Princip programu SPEFO	4
1.2.1 Rektifikace	4
1.2.2 Proměření RV	5
1.2.3 Měření intenzity a ekvivalentní šířky spektrální čáry	6
1.2.4 Další funkce	7
2 Program SPEL	8
3 Sekundární programy	10
3.1 Program hec13	10
3.2 Program faze	10
3.3 Program volba	10
3.4 Program deleni	10
3.5 Program ascdat	10
3.6 Program eq	11
3.7 Program gnuplot	11
4 Měření V923 Aql	12
4.1 Historie měření V923 Aql	12
4.2 Dosavadní měření	13
4.3 Metodika měření	14
4.4 Dlouhodobé změny	15
4.5 Střednědobé změny	30
4.6 Krátkodobé změny	34
5 Výsledky	35
6 Diskuze výsledků	36
Závěr	37
Seznam použité literatury	38
Seznam obrázků	41
Seznam tabulek	43

Úvod

Hvězdy se závojem (v anglické literatuře *Be star*) jsou hvězdy převážně spektrálního typu B, částečně také typu O nebo A (Oe a Ae). Jedná se o hvězdy, v jejichž spektru byla alespoň někdy pozorována emise v Balmerově sérii (značeno H_α , H_β atd.). Tyto hvězdy typicky vykazují velké rotační rychlosti a dá se předpokládat, že rotují rychle úplně všechny (zbylé hvězdy se závojem, u kterých nebyly prokázány vysoké rotační rychlosti, se dají statisticky připsat tomu, že je pozorujeme od pólu (Harmanec & Brož, 2011)). Hvězdy se závojem reprezentují více než 10 % celkových B hvězd, ale kvůli možnosti vymizení H_α emise nelze určit horní hranici (Ruždjak, 2008). Za obecně přijaté vysvětlení vzniku H_α emise je dnes považováno vysvětlení pomocí plynné obálky. Tato obálka je alespoň o řád větší než samotná hvězda.

Mezi pozorované vlastnosti patří vysoká proměnlivost na různých časových škálách, které se dají rozdělit dle délky na:

Dlouhodobé změny jasnosti a spekter hvězd se pohybují v rozmezí několika let. V průběhu této doby se mohou objevovat a zároveň mizet H_α emise. V době, kdy je H_α emise slabá, se hvězda může jevit jako klasická hvězda typu O,B či A. V době silné H_α emise se naopak objevují absorpční čáry. Pozorujeme-li hvězdu od rovníku, jeví se H_α emise jako dvojitá. Důvodem tohoto jevu je, že spektrální čáru pozorujeme v místě, kdy hvězda rotuje směrem k nám, a zároveň v místě, kdy hvězda rotuje směrem od nás. Tato dvojitá emise je pak označována jako V a R (Violet & Red). Na těchto časových škálách se mimo jiné mění radiální rychlosti (značeno RV) a V/R poměr. Tyto změny se objevují v několikaletých cyklech, které se od sebe mohou výrazně lišit.

Střednědobé změny se odehrávají v cyklech dlouhých několik týdnů až měsíců. Tyto variace jsou často způsobeny dvojhvězdností daného systému. Dalším z možných vlivů je dočasné objevení obálky kolem hvězdy (Harmanec & Brož, 2011).

Krátkodobé změny se odehrávají v rádech zlomku dne až několika dnů. Tyto změny mají typicky malé amplitudy. Ve spektrech se například projevují pomocí asymetrie spektrálního profilu. Tyto změny se ovšem objevují i v dobách, kdy hvězda prochází obdobím bez emisí (Harmanec & Brož, 2011).

Existuje několik teorií ohledně vzniku obálky. Mezi tyto teorie patří například:

Model rotační nestability - Struve (1931) vytvořil teorii založenou na rotační nestabilitě hvězd na rovníku, díky které vzniká obálka kolem hvězdy. Tento model ovšem nevysvětluje dlouhodobé změny a pozorování vykazují, že se rotační rychlost hvězd blíží 70–80 % kritické rychlosti (Porter, 1996). Teorie byla posléze rozšířena v pracích McLaughlin (1961), Huang (1973) a Kříž (1976). Tato rozšíření zakomponovala dlouhodobé změny v radiálních rychlostech a V/R změn.

Modely výtoku hmoty - Obálka vzniká ze sféroidního výtoku hmoty z dané hvězdy. Těchto modelů je mnoho a liší se mechanismem transportu hmoty. Patří mezi ně například Gerasimovič (1934), Doazan (1987), Bjorkman a Cassinelli (1993) nebo Ghoreyshi a kol. (2018).

Dvojhvězdný model - Předpokládá, že vznik hvězd se závojem je zapříčiněn dvojhvězdností systému. Kříž a Harmanec (1975) vyslovili myšlenku, že závoje vznikají přítokem hmoty z druhé složky. Teorie vysvětluje vysoké rotační rychlosti pomocí přesunu úhlového momentu. Zároveň umožňuje vysvětlit střednědobé a dlouhodobé změny. Poté, co v některých systémech byla přítomnost sekundáru, jenž zaplňuje plně Rocheovu mez, vyloučena, přišli Harmanec a kol. (2002) s hypotézou, ve které dochází k přesunu hmoty pouze v části rovníku přivrácené k druhé složce systému.

Pulzační model - V pracích Baade (1982), Rivinius a kol. (1998) a Owocki (2006) byla vypracována domněnka, že dochází k vyvrhnutí hvězdné hmoty v momentě, kdy se sejde ve fázi několik módu neradiálních pulzací.

Dodnes žádná z teorií ohledně vzniku obálky není univerzálně přijata - je možné, že k vysvětlení všech jevů vyskytujících se ve hvězdách se závojem bude potřeba kombinace několika z nich.

Tato práce si klade za cíl prostudovat objekt V923 Aql (HD 183 565, HR 7415, SAO 124 704, Rekt.= $19^h 30^m 33^s$ Dekl.= $+03^\circ 26' 39''$) v posledních letech a pozorovat změny na střednědobých a dlouhodobých časových škálách. První část práce se zabývá použitým softwarem, druhá část práce pak shrnutím dosavadních znalostí o daném objektu a samotným měřením.

1. Program SPEFO

Tato kapitola se zabývá programem SPEFO, který byl použit pro měření RV a intenzit spektrálních čar.

1.1 Historie programu SPEFO

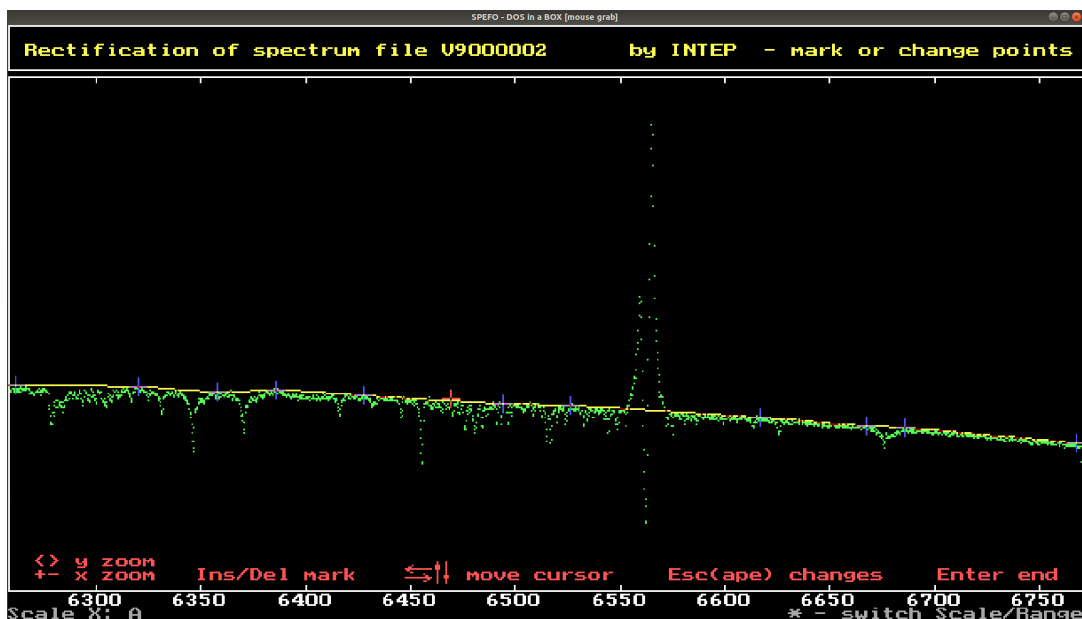
První verze SPEFa byla vytvořena v 70. letech 20. století J. Krpatou. Tato verze byla napsána v jazyku Fortran, ale v 90. letech byl program kompletně přepsán J. Hornem (1996), tentokrát v jazyku Turbo Pascal. Tento program umožňoval měření RV , intenzity a ekvivalentní šířky. Program byl pak lehce modifikován Dr. P. Škodou (Škoda, 1996). Od roku 2003 byla J. Krpatou vyvíjena nová verze programu SPEFO, do které bylo implementováno několik vylepšení.

1.2 Princip programu SPEFO

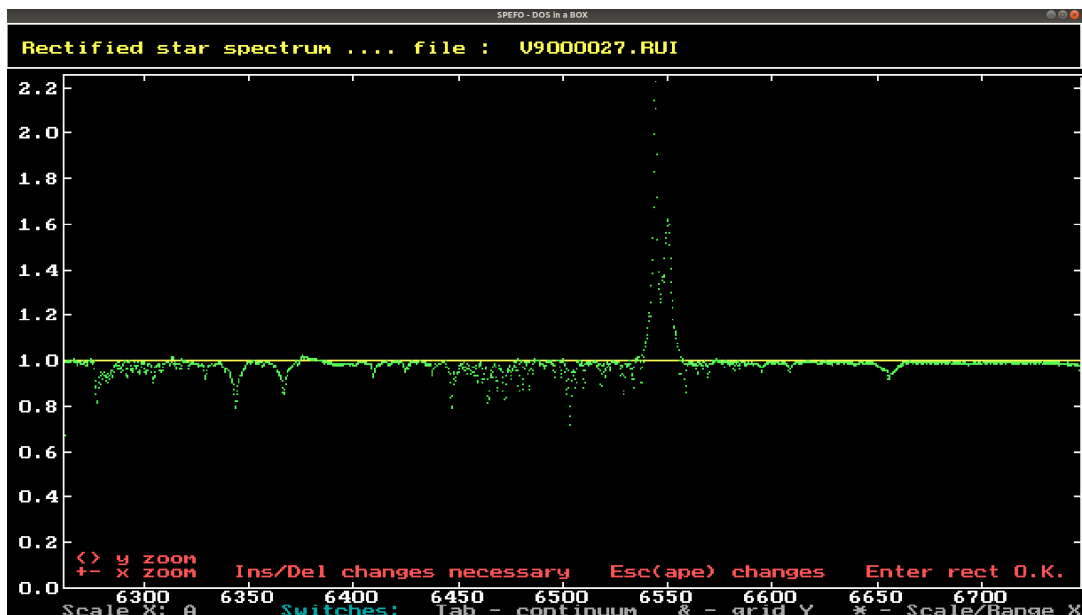
SPEFO je program pro redukci a zpracování spekter hvězd. Jednotlivé funkce, které byly v průběhu práce použity jsou v dalším textu popsány.

1.2.1 Rektifikace

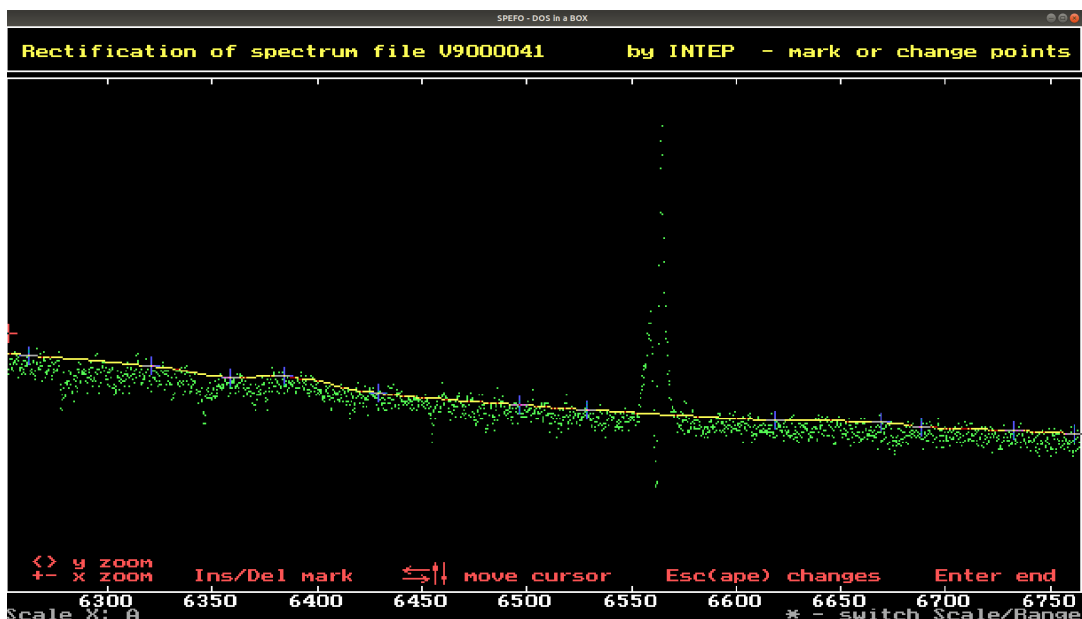
Již redukované spektrum je třeba rektifikovat. Toho je docíleno prokládáním spektra polynomem do okamžiku, kdy polynom odpovídá kontinuu daného spektra. Uživatel manuálně zadává jednotlivé uzly, jimiž musí polynom procházet (lze zvolit až 100 bodů). Příklad rektifikace spektra je na obr. 1.1. V obr. 1.2 se nachází výsledek rektifikace. Na obr. 1.3 je ukázka zašuměného spektra při rektifikaci.



Obrázek 1.1: Rektifikace spektra



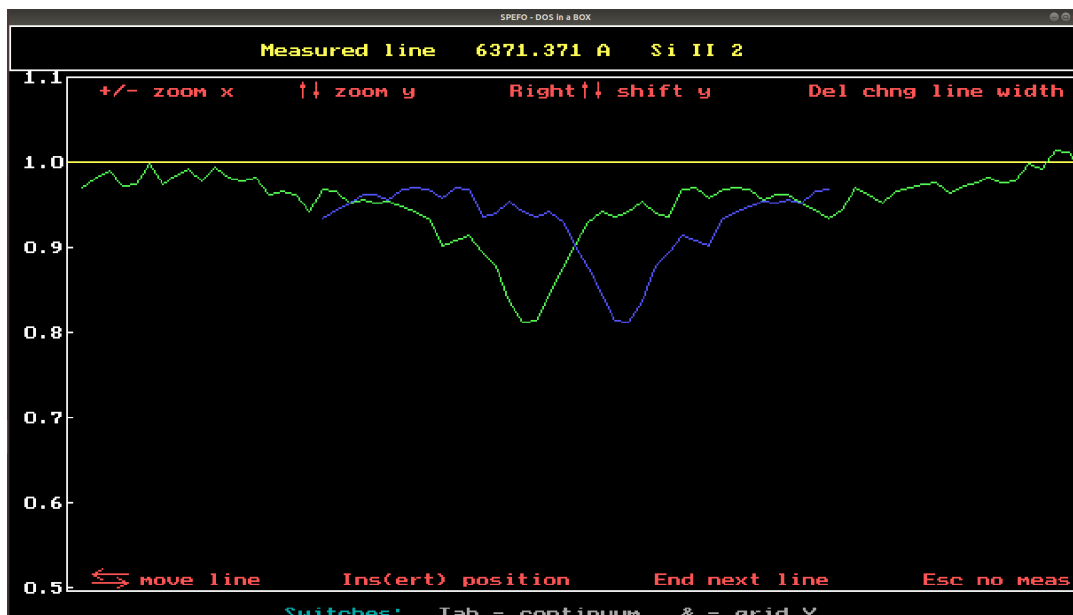
Obrázek 1.2: Výsledné zrektifikované spektrum



Obrázek 1.3: Rektifikace zašuměného spektra

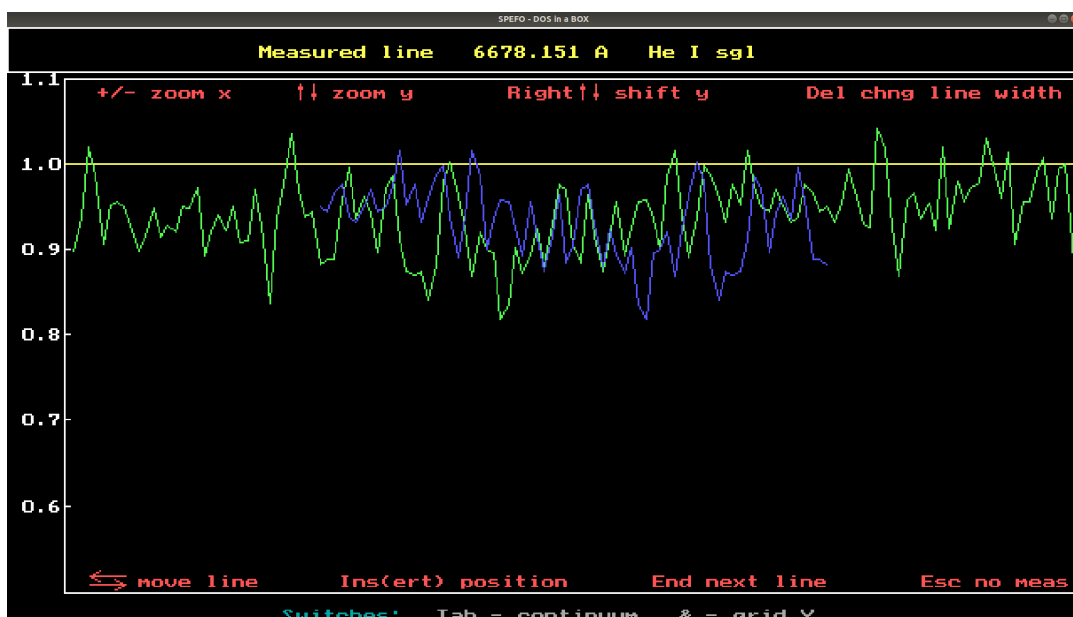
1.2.2 Proměření RV

Jednotlivé spektrální čáry jsou proměřovány pomocí oscilačního módu, kdy je vytvořen zrcadlový profil spektrální čáry, který pak uživatel prokládá spektrem tak, aby na sebe spektrální čáry navazovaly v místech, která uživatele zajímají (lze tak měřit jak jádro, tak křídla spektrální čáry). Tento postup umožňuje vyhnout se chybám u nesymetrických profilů. Výsledkem je pak tabulka měření RV jednotlivých spektrálních čar. Pakliže byly měřeny atmosférické čáry, může být tabulka opravena o vlivy atmosféry. Na obr. 1.4 vidíme jak probíhá měření v grafickém prostředí SPEFa. Nechtěné nesymetrické vlivy můžeme eliminovat manipulací s modrým symetrickým profilem.



Obrázek 1.4: Měření RV

Na obr. 1.5 pak vidíme spektrum, na kterém spektrální čára pro příliš vysokou úroveň šumu není vůbec zřetelná a měření je tak nemožné. Je použito spektrum z obr. 1.3, jedná se o spektrum, které bylo v (kap. 4) vyřazeno (#41).

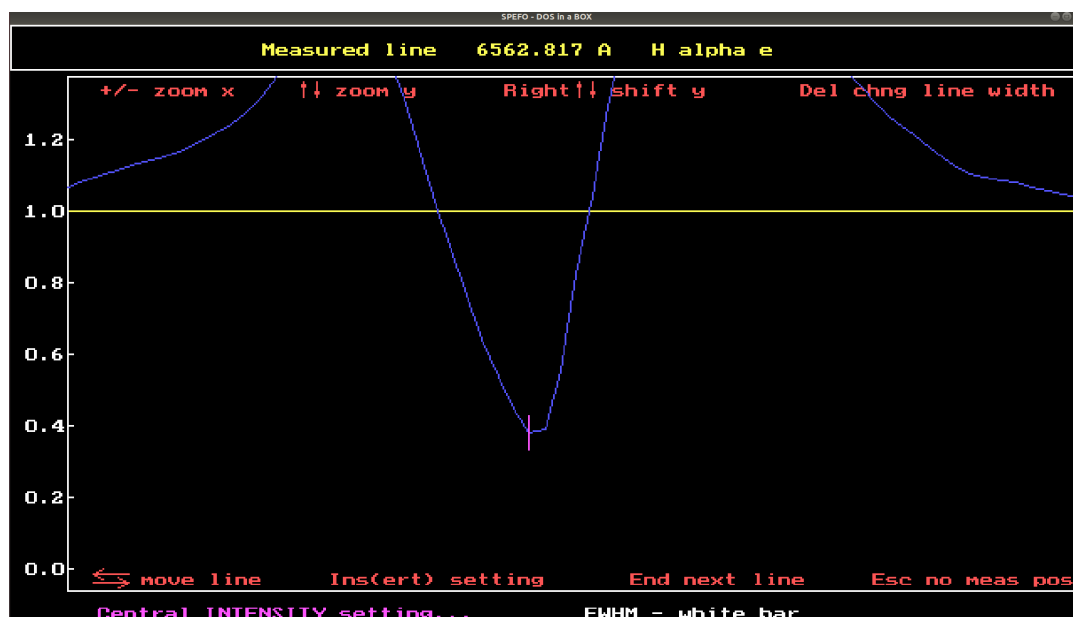


Obrázek 1.5: Zašumělé spektrum, měření RV

1.2.3 Měření intenzity a ekvivalentní šířky spektrální čáry

Další z použitých funkcí je proměření intenzity a ekvivalentní šířky spektrální čáry. Grafické prostředí je zobrazeno na obr. 1.6. Proměření spočívá v posunutí fialového proužku na extrém dané spektrální čáry (maximum pro emisi, minimum

pro absorpci). Výsledky jsou pak uloženy do souboru *.eqw, po proměření všech souborů pak použijeme program eq (kap. 3.6).



Obrázek 1.6: Měření centrální intenzity

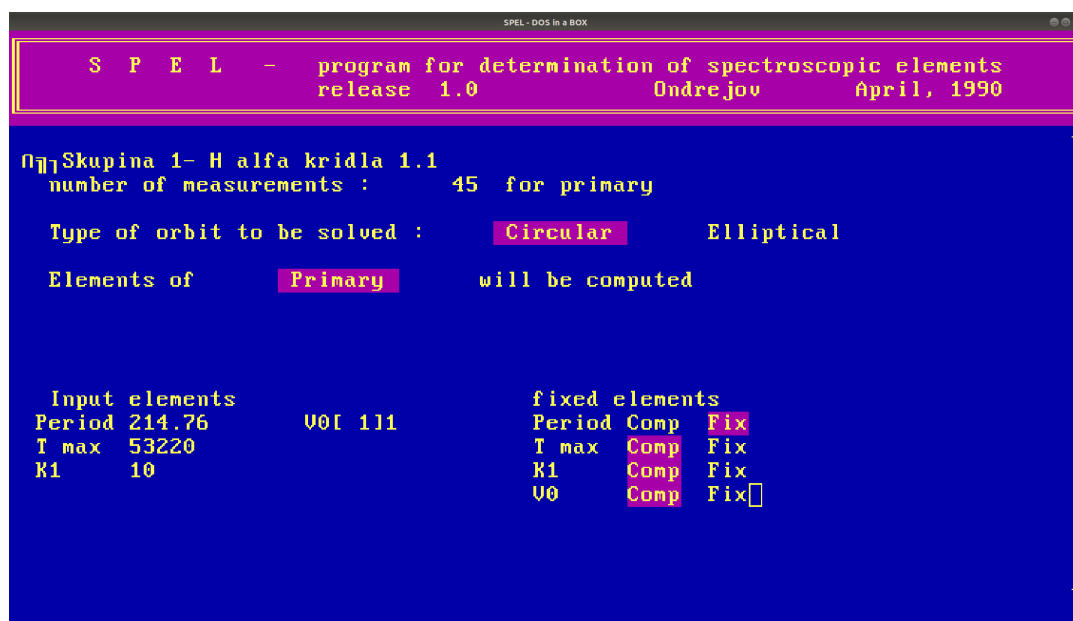
1.2.4 Další funkce

Program má několik dalších funkcí (např. derektifikace, porovnání spekter a jejich editace, konverze do různých datových formátů apod.), kterých ovšem nebylo v práci příliš využito. Jejich popis lze najít například na Škoda (1996).

2. Program SPEL

Program SPEL vytvořený J. Hornem umožňuje změřit dráhové elementy daného systému. Vstupem je tabulka RV , kterou získáme například použitím programu SPEFO (kap. 1) a sekundárního programu volba (kap. 3.3). Dalšími vstupy jsou odhady parametrů periody, epochy (T max), semiampplituda (K1) a γ rychlost (v_0). V případě jejich znalosti lze tyto parametry fixovat. Výše popsané parametry budou také, spolu s elementy a (velká poloosa dráhy) a $f(m)$ (funkce hmoty) výstupy.

Grafické prostředí programu, včetně zadávaných parametrů, je na obr. 2.1.



Obrázek 2.1: Grafické prostředí SPELu - vstupní parametry

Výstup programu SPEL je ukázán na obr. 2.2. Program zároveň vykreslí fázový diagram pro změřenou periodu (obr. 2.3).

```

SPEL - DOS in a BOX
Skupina 1- H alfa kridla 1.1
rms error of one measurement : 3.932
Period      211.91 ± 1.42
T max      53221.13 ± 9.70
K1         -3.60 ± 0.92

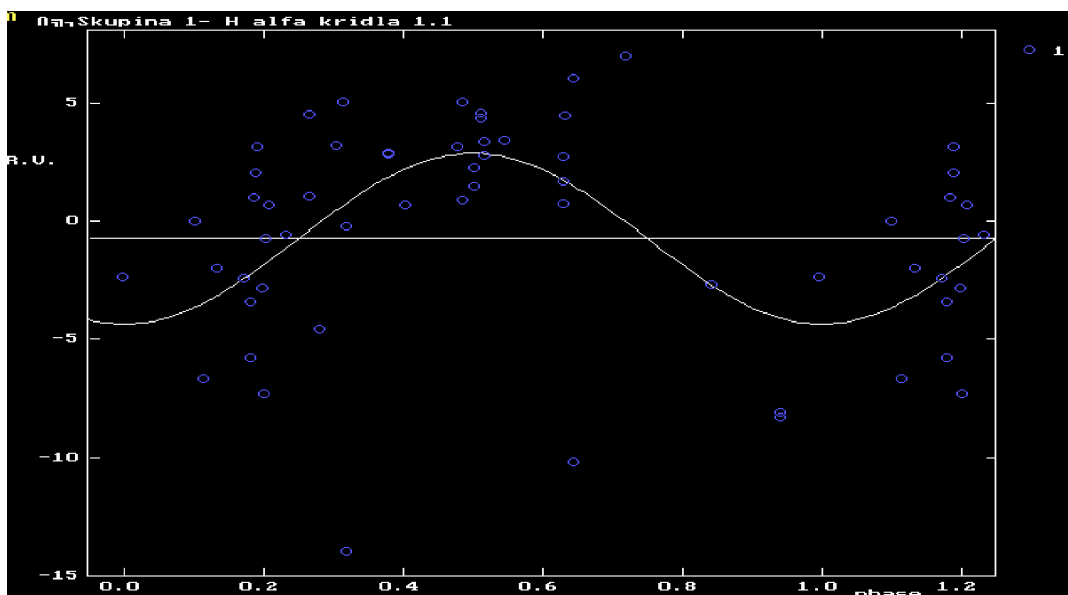
U0 [i] : 1 -0.74 ± 0.61

f(m) = -0.0010
a = -15.09

After answering following questions
phase diagram will be displayed until pressing Enter
To print results on printer ? Yes/No/Head only

```

Obrázek 2.2: Grafické prostředí SPELu - výsledky



Obrázek 2.3: Grafické prostředí SPELu - výsledný fázový diagram

3. Sekundární programy

V následující kapitole jsou krátce popsány všechny programy, které byly v rámci práce použity, ale nemají velký fyzikální význam pro práci. Jedná se zejména o "přeformátovací" programy pro jednodušší práci se soubory. Není-li řečeno jinak, autorem programů je P. Harmanec, programovacím jazykem je pak většinou Fortran.

3.1 Program hec13

Tento program proloží daty zhlazující křivku C (z anglického Computed), která umožní oddělit dlouhodobý trend od orbitální periody. Jako vstup programu kromě vstupních dat slouží zhlazovací parametr a perioda. Výsledkem jsou původní data O (z anglického Observed), ke kterým je přidána křivka C a $O-C$.

3.2 Program faze

Krátký program určený pro převedení dat z měřeného úseku na jednu periodu. Po zadání periody a měřených dat přidá program do tabulky sloupec s fází. Z této tabulky lze následně vytvořit fázový diagram.

3.3 Program volba

Program jenž přeformátuje RV data získaná ze SPEFa na data týkající se jedné spektrální čáry. Výsledný soubor lze pak použít v programu hec13 a SPEL (kap. 2).

3.4 Program deleni

Tento program je použit pro "vyčištění" spekter ovlivněných atmosférickými čarami tak, aby bylo spektrum použitelné jako vstup pro program SPEFO. Princip spočívá v rektifikaci spektra včetně spektrálních čar, vyjma čar atmosférických, které je žádoucí eliminovat. Následně se pak toto spektrum použije k "vydělení" původního spektra, čímž získáme spektrum zbavené atmosférických čar.

3.5 Program ascdat

Tento program převádí data získaná z programu deleni (kap. 3.4) do formátu čitelného SPEFem.

3.6 Program eq

Autorem eq je Bc. Lenka Kotková. Program prohledá složku a najde všechny *.eqw soubory (výsledné soubory ze SPEFa), z nichž pak načte hledaná data intenzit a šířek spektrálních čar. Výsledné hodnoty spolu s časy RJD pak uloží do souboru *.res.

3.7 Program gnuplot

Účelem gnuplotu, jehož autory jsou [Williams a kol. \(2013\)](#), je vytváření grafů v prostředí podobném terminálu. Všechny grafy v této práci jsou vytvořeny pomocí tohoto programu, není-li řečeno jinak. Další hojně využívanou funkcí je fitování dat pomocí libovolné funkce.

4. Měření V923 Aql

V následující kapitole je obsaženo měření samotného systému. V části 4.1 je popsána historie měření V923 Aql. Dále jsou v podkapitole 4.2 shrnuta dnes známá data. Zbytek kapitoly je rozdělen dle časové škály, na které měříme variace. V 4.4 jsou zobrazeny variace na dlouhodobých časových škálách, v 4.5 pak střednědobé časové změny, které souvisí zejména s orbitální periodou dvojhvězdy $T=214.76$ dní. V části 4.6 je pak ukázka krátkodobých změn, pro analýzu kratších cyklů jsou však data příliš řídká.

4.1 Historie měření V923 Aql

Harper (1937) sepsal první studii k V923 Aql, ve které poukázal na zvláštní spektrum této hvězdy, obsahující úzké H čáry, silné Fe II čáry a proměnnou RV . Bidelman (1950) interpretoval toto spektrum jako spektrum hvězdy se závojem. Merrill (1952) sepsal studii ohledně proměnných radiálních rychlostí, které odvodil z čar obálky (H I, Fe II, Ti II, Cr II, Ni II). Ukázal, že chování je cyklické s přibližnou délkou cyklu 6.5 let a amplitudou 60 km s^{-1} .

V první fotometrické studii Lynds (1960) objevil variaci světla s amplitudou větší než 0.1^m a periodou 0.85 dne. Amplituda byla s jistotou určena jako proměnná v čase, přičemž závislost periody v čase se jevila jako pravděpodobná. Gulliver (1976) ukázal korelaci V/R poměru s RV . Konkrétně určil, že $V < R$ v případě, že dlouhodobá změna RV je u minima a $V > R$ v případě, že dlouhodobá změna RV je u maxima. Zároveň bylo jeho měření v souladu s již naměřenou délkou cyklu 6.5 let (Merrill, 1952).

Koubský a kol. (1989) vytvořili studii, kdy určili V923 Aql jako spektroskopickou dvojhvězdu s periodou 214.756 dne a amplitudou 12.4 km s^{-1} . Zároveň studovali dlouhodobé změny v RV a V/R , u kterých určili periodu na 2120 dní (5.8 let) a amplitudu na 80 km s^{-1} , tedy kratší periodu a větší amplitudu než v předchozích studiích. Objevila se ovšem velká variace mezi jednotlivými cykly, která způsobila větší nejistotu v délce cyklu ($1800 \text{ d} < T < 2400 \text{ d}$). Za předpokladu standardní B6 hvězdy pak byla určena hmotnost primární hvězdy na $M_1=3.8M_\odot$.

Percy a kol. (1988) objevili malé fotometrické variace na několika časových škálách. Pro U filtr Mennickent a kol. (1994) popsali dlouhodobou kvaziperiodu 7 let s amplitudou 0.25^m a krátkodobou periodu několik dní s amplitudou 0.1^m . Dougherty a Taylor (1994) zjistili, že V923 Aql je IR (infračervená) proměnná hvězda. Pavlovski a kol. (1997) naměřili výrazné variace ve světle a v barvě. Arias a kol. (2004) určili periodu V/R variace na 6.8 let, a fotometrické variace na 0.85 dne pro krátkodobé a 6.5 let pro dlouhodobé změny. Fe II a H α variace vykazovaly orbitální periodu 214.7 dne a kvaziperiodu 6.8 let.

4.2 Dosavadní měření

Shrnutí dnes známých vlastností V923 Aql:

- Proměnná hvězda se závojem třídy B7 III C (Houk a Swift, 1999)
- Dlouhodobé variace V/R, RV a fotometrické variace, zejména pro U filtr (Arias a kol., 2004) a (Koubský a kol., 1989)
- Systém je dvojhvězda s oběžnou periodou 214.756 dne (Koubský a kol., 1989)
- RV se pohybují mezi -60 kms^{-1} a $+20 \text{ kms}^{-1}$ (Koubský a kol., 1989)
- V/R variace vykazuje následující korelaci s RV : (Gulliver, 1976)
 - $V < R$ v případě, že dlouhodobá změna RV je u minima
 - $V > R$ v případě, že dlouhodobá změna RV je u maxima
- Fotometrické variace se objevují na dlouhodobé a krátkodobé časové škále (Lynds, 1960) a (Mennickent a kol., 1994)
 - Pro dlouhodobé fotometrické variace je určena kvaziperioda 6.8 let
 - Pro krátkodobé fotometrické variace je zjištěna perioda 0.85 dne

Přibližné hodnoty barevných filtrů jsou uvedeny v tab. 4.1 - Tyto hodnoty jsou průměrné a naznačují pouze, jaký systém očekávat. Kvůli fotometrickým variacím na několika různě dlouhých cyklech nelze brát změřená data jako přesná, pouze přibližná:

Barevný filtr	Magnituda	Zdroj
U	5.69	(Jaschek a Egret, 1982)
B	6.06	(Høg a kol., 2000)
V	6.08	(Høg a kol., 2000)
G	6.03	(Collaboration, 2018)
J	5.96	(Cutri a kol., 2003)
H	5.90	(Cutri a kol., 2003)
K	5.81	(Cutri a kol., 2003)

Tabulka 4.1: Přibližné hodnoty barevných filtrů

4.3 Metodika měření

Bylo zpracováno celkem 46 již redukovaných spekter z hvězdárny Ondřejov v čase RJD = 52832–55849 (RJD = HJD -2400000.0). Tato spektra byla nejdříve v programu SPEFO (kap. 1) rektifikována. Následně pak byly pomocí osciloskopického módu změřeny RV . Během rektifikace bylo jedno spektrum příliš zašumělé (#41), a proto bylo z měření vyloučeno. Posléze proběhlo měření intenzit a ekvivalentní šířky.

Spektrální čáry, na kterých byly měřeny RV , jsou uvedeny v tab. 4.2. $H\alpha$ emise je pak měřena na několika místech - absorpční jádro ($H\alpha$ core), a křídla $H\alpha$ (vnější a vnitřní křídla), která jsou měřena na dvou amplitudách, vnější křídla s amplitudou ≈ 1.1 (relativní intenzita spektrální čáry) a vnitřní křídla pro amplitudy ≈ 1.5 (nebo nejvyšší bod, kde se křídla dají změřit, jsou-li vrcholky nižší).

Pro intenzity pak byly použity čáry $H\alpha$ emise, konkrétně absorpční jádro, V a R vrcholky, a čáry Si II - 2 (laboratorní vlnové délky jsou v tab. 4.2). Pro absorpční jádro $H\alpha$ emise pak byla změřena i ekvivalentní šířka čáry. Pro změřeni intenzit byl použit program SPEFO (kap. 1) a následně program eq (kap. 3.6).

Název spektrální čáry	Vlnová délka [Å]
$H\alpha$ emise	6562.817
He I křídla	6678.151
Fe II	6677.305
Si II - 2	6371.3710 & 6347.1090

Tabulka 4.2: Měřené spektrální čáry, pro $H\alpha$ emisi byly RV měřeny na vnějších (ampl. ≈ 1.1) i vnitřních (ampl ≈ 1.5) křídlech a $H\alpha$ absorpčním jádru

Posléze byl použit program hec13 (kap. 3.1), který data RV proložil zhlazující křivkou, která odseparuje dlouhodobý trend (v tomto případě křivka C) a orbitální periodu (křivka O–C). Protože data nebyla pro $H\alpha$ emisi příliš dobrá, byl použit program deleni (kap. 3.4) a celý cyklus měření RV pro $H\alpha$ vnější a vnitřní křídla a $H\alpha$ jádro byl opakován.

Další hodnoty RV byly čerpány z článku Koubský a kol. (1989), tyto hodnoty RV nebyly nijak upravovány, ale jsou v některých grafech vyznačeny pro zobrazení dlouhodobých změn.

Fotometrická data pochází z hvarské observatoře měřící v čase RJD=44000–58400. Data jsou obsažena ve 2 souborech, v prvním byly měřeny filtry U, B a V, zatímco k druhému souboru byl přidán filtr R. Jednotlivé soubory na sebe navazují, rozděleny jsou v čase RJD ≈ 56488 .

Chtěl jsem použít data z práce Labadie-Bartz a kol. (2017). Bohužel pro vysokou jasnost V923 Aql byla data satureovaná a tudíž nepoužitelná pro další analýzu dat.

4.4 Dlouhodobé změny

Tato sekce popisuje dlouhodobé změny V923 Aql. První část se zabývá spektroskopickým měřením, které poskytuje hodnoty RV a intenzity s ekv. šířkou spektrálních čar. Druhá část obsahuje výsledky z fotometrického měření. Ke konci jsou pak měřené veličiny zobrazeny (obr. 4.9). Z grafu lze vyčíst korelaci mezi jednotlivými veličinami.

Změřená data RV jsou obsažena v tab. 4.3. Pro $H\alpha$ emisi nebyly ze SPELU získané výsledky dostatečně kvalitní a byl proto nasazen program deleni (kap. 3.4), aplikovaný na spektrální čáry $H\alpha$ absorpční jádro a $H\alpha$ vnější i vnitřní křídla. Tabulka (tab. 4.4) obsahuje RV získané z programu deleni. Pro lepší ilustraci jsou data z (tab. 4.3) a (tab. 4.4) vynesena do následujícího grafu (obr. 4.1). Pro RV měřené na $H\alpha$ emisi jsou data v grafu již po použití programu deleni.

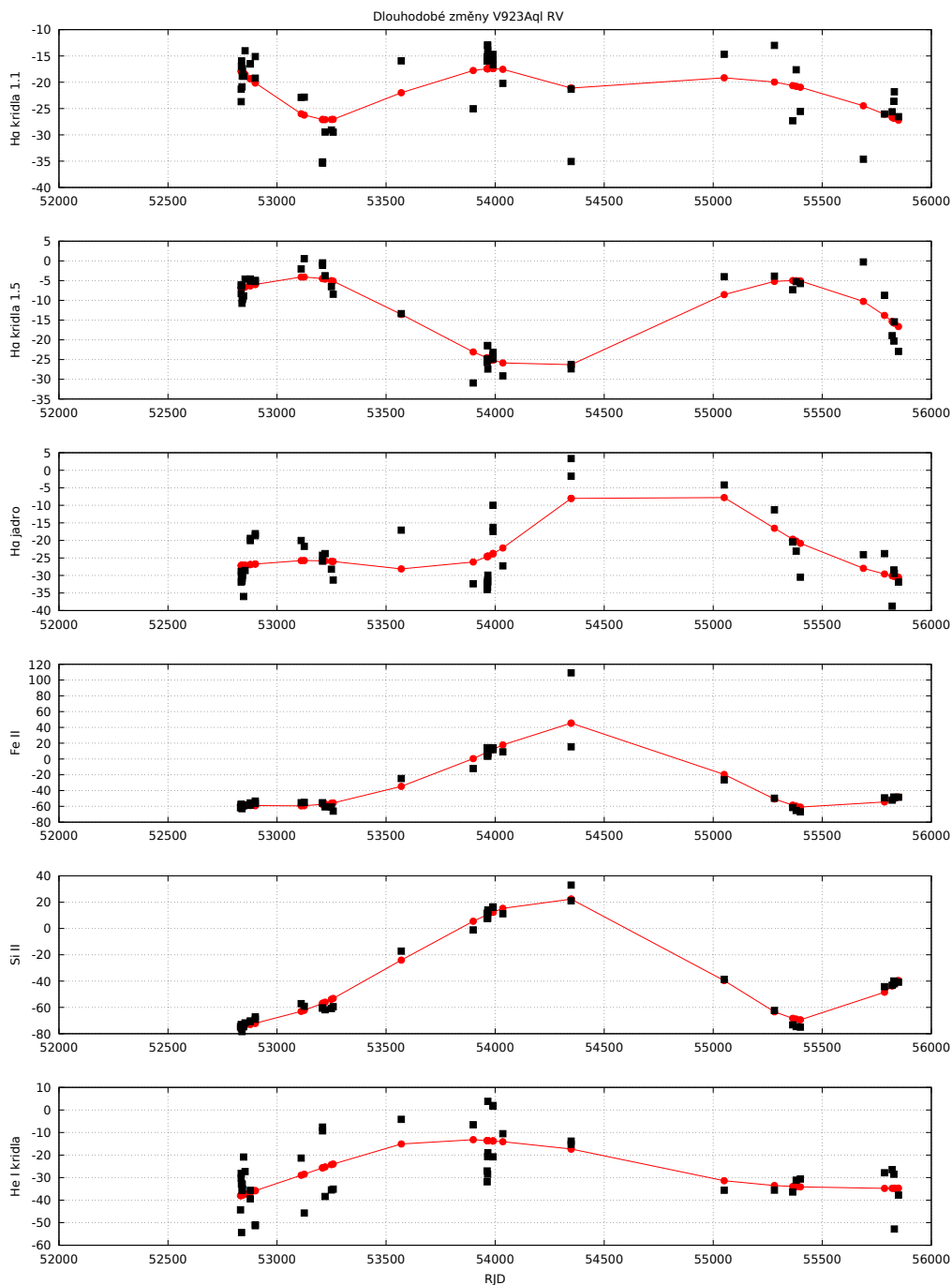
Chybějící data jsou v tabulkách vyznačena (—), neboť některé spektrální čáry byly špatně definovány a nebyly tudíž proměřeny.

#	RJD	H α 1.1	H α 1.5	He I křídla	Fe II	Si II 2	H α core
1	52832.3908	-15.9 \pm 0.3	-7.1 \pm 0.3	-44.0 \pm 2.0	-61.6 \pm 0.5	-74.7 \pm 0.4	-23.0 \pm 6.0
2	52835.5086	-26.0 \pm 0.3	-7.5 \pm 0.5	-28.1 \pm 0.3	-57.8 \pm 0.5	-75.2 \pm 0.1	-30.3 \pm 0.3
3	52835.5133	-23.5 \pm 0.7	-7.5 \pm 0.5	-30.0 \pm 1.0	-57.3 \pm 0.5	-73.0 \pm 0.2	-30.0 \pm 0.6
4	52836.5071	-22.2 \pm 0.7	-7.5 \pm 0.7	-32.8 \pm 0.5	-59.3 \pm 0.6	-76.0 \pm 0.5	-30.0 \pm 0.2
5	52837.399	-15.0 \pm 0.3	-7.1 \pm 0.3	-54.0 \pm 7.0	-59.9 \pm 0.6	-74.7 \pm 0.3	-30.3 \pm 0.3
6	52839.3905	-21.3 \pm 0.8	-11.0 \pm 0.3	-36.0 \pm 1.0	-63.0 \pm 1.0	-78.4 \pm 0.4	-33.0 \pm 0.6
7	52840.4648	-19.8 \pm 0.7	-9.2 \pm 0.4	-33.0 \pm 4.0	-59.2 \pm 0.5	-75.2 \pm 0.2	-29.1 \pm 0.3
8	52841.4485	-18.0 \pm 0.5	-10.6 \pm 0.5	-35.0 \pm 4.0	-58.4 \pm 0.5	-74.4 \pm 0.6	-29.8 \pm 0.3
9	52846.4005	-18.8 \pm 0.5	-9.8 \pm 0.3	-21.0 \pm 1.0	-59.3 \pm 0.5	-74.6 \pm 0.4	-32.7 \pm 0.6
10	52853.3864	-15.0 \pm 0.5	-6.2 \pm 0.5	-27.3 \pm 0.2	-58.3 \pm 0.4	-71.8 \pm 0.3	-28.1 \pm 0.6
11	52877.4284	-15.6 \pm 0.4	-3.3 \pm 0.4	-36.0 \pm 6.0	-55.6 \pm 0.3	-70.3 \pm 0.5	-21.1 \pm 0.6
12	52877.4565	-14.0 \pm 1.0	-3.7 \pm 0.5	-39.0 \pm 8.0	-58.5 \pm 0.3	-70.7 \pm 0.2	-21.1 \pm 0.6
13	52900.2846	-23.0 \pm 1.0	-4.8 \pm 0.6	-51.0 \pm 17.0	-56.3 \pm 0.3	-69.0 \pm 0.5	-17.0 \pm 1.0
14	52900.2898	-17.8 \pm 0.5	-5.4 \pm 0.5	-51.0 \pm 4.0	-53.3 \pm 0.4	-67.2 \pm 0.1	-18.0 \pm 1.0
15	53110.6007	-20.0 \pm 1.0	-1.1 \pm 0.5	-21.3 \pm 0.5	-55.4 \pm 0.5	-57.1 \pm 0.1	-19.4 \pm 0.3
16	53124.5619	-21.8 \pm 0.5	0.3 \pm 0.5	-46.0 \pm 3.0	-55.0 \pm 0.5	-59.2 \pm 0.5	-22.5 \pm 0.3
17	53208.4715	-20.0 \pm 0.6	-1.1 \pm 0.4	-9.3 \pm 0.9	-55.7 \pm 0.5	-60.5 \pm 0.8	-24.8 \pm 0.6
18	53208.4916	-20.0 \pm 0.4	-1.4 \pm 0.7	-7.6 \pm 0.9	-55.5 \pm 0.3	-60.5 \pm 0.2	-23.7 \pm 0.6
19	53220.4669	-23.5 \pm 0.7	-4.1 \pm 0.7	-38.4 \pm 0.3	-60.6 \pm 0.6	-61.8 \pm 0.2	-25.4 \pm 0.3
20	53249.3644	-27.0 \pm 0.7	-8.2 \pm 0.5	-35.0 \pm 1.0	-60.9 \pm 0.5	-60.8 \pm 0.5	-27.7 \pm 0.3
21	53257.4126	-27.9 \pm 0.5	-8.0 \pm 0.5	-35.1 \pm 0.9	-66.0 \pm 0.6	-59.5 \pm 0.6	-34.6 \pm 0.6
22	53569.5312	-14.0 \pm 1.0	-14.0 \pm 1.0	-4.2 \pm 0.3	-24.7 \pm 0.6	-17.2 \pm 0.3	-17.9 \pm 0.3
23	53899.4624	-14.5 \pm 0.7	-28.5 \pm 0.6	-7.0 \pm 6.0	-12.1 \pm 0.3	-1.1 \pm 0.5	-34.0 \pm 1.0
24	53963.3418	-15.2 \pm 0.5	-23.6 \pm 0.5	-29.0 \pm 1.0	13.4 \pm 0.7	11.0 \pm 1.0	-27.1 \pm 0.5
25	53963.4214	-14.8 \pm 0.4	-23.8 \pm 0.5	-32.0 \pm 6.0	3.8 \pm 0.6	7.7 \pm 0.2	-27.8 \pm 0.3
26	53965.3114	-9.6 \pm 0.6	-20.6 \pm 0.6	-28.5 \pm 0.8	6.0 \pm 0.2	7.5 \pm 0.3	-30.3 \pm 0.3
27	53965.3363	-10.1 \pm 0.6	-20.2 \pm 0.7	-21.0 \pm 3.0	8.6 \pm 0.5	8.2 \pm 0.7	-28.6 \pm 0.9
28	53966.4065	-15.2 \pm 0.4	-23.4 \pm 0.9	4.0 \pm 6.0	6.6 \pm 0.6	12.0 \pm 7.0	-26.0 \pm 1.0
29	53966.4182	-16.6 \pm 0.9	-25.6 \pm 0.7	-19.0 \pm 0.3	4.0 \pm 1.0	14.0 \pm 0.3	-29.4 \pm 0.3
30	53990.357	-14.5 \pm 0.7	-22.3 \pm 0.4	2.0 \pm 0.6	12.0 \pm 0.3	16.3 \pm 0.7	-16.2 \pm 0.6
31	53990.4	-15.1 \pm 0.4	-23.9 \pm 0.7	-21.0 \pm 3.0	12.3 \pm 0.5	16.4 \pm 0.5	-18.0 \pm 0.6
32	53990.4175	-15.0 \pm 1.0	-24.5 \pm 0.7	1.6 \pm 0.3	14.3 \pm 0.3	16.2 \pm 0.4	-17.7 \pm 0.9
33	54035.2322	-20.9 \pm 0.5	-28.0 \pm 2.0	-11.0 \pm 2.0	9.0 \pm 0.9	11.0 \pm 2.0	-29.3 \pm 0.9
34	54348.379	-21.0 \pm 0.3	-25.0 \pm 0.5	—	—	33.0 \pm 0.1	-2.0 \pm 4.0
35	54348.394	-22.1 \pm 0.7	-25.8 \pm 0.9	-14.0 \pm 1.0	15.5 \pm 0.3	21.0 \pm 0.1	-9.6 \pm 0.9
36	55050.3493	-11.0 \pm 1.0	-3.4 \pm 0.3	-35.6 \pm 0.5	-26.4 \pm 0.5	-38.67 \pm 0.05	-3.7 \pm 0.3
37	55280.6174	-13.8 \pm 0.7	-4.4 \pm 0.3	-36.0 \pm 6.0	-49.7 \pm 0.3	-62.4 \pm 0.2	-12.0 \pm 0.6
38	55364.4271	-32.0 \pm 3.0	-6.7 \pm 1.0	-36.0 \pm 3.0	-61.5 \pm 0.3	-73.3 \pm 0.4	-20.8 \pm 0.6
39	55380.4742	-20.4 \pm 0.5	-6.0 \pm 1.0	-31.2 \pm 0.6	—	-74.6 \pm 0.3	-19.0 \pm 2.0
40	55399.5779	-20.8 \pm 0.5	-7.3 \pm 0.5	-30.6 \pm 0.5	-67.0 \pm 0.5	-75.0 \pm 0.2	-25.0 \pm 1.0
42	55785.4069	-23.0 \pm 0.9	-9.0 \pm 1.0	-28.0 \pm 3.0	-49.2 \pm 0.5	-44.3 \pm 0.2	-24.7 \pm 0.9
43	55820.3571	-22.8 \pm 0.6	-23.0 \pm 0.7	-26.0 \pm 3.0	-52.0 \pm 2.0	-43.1 \pm 0.2	-32.8 \pm 0.9
44	55828.2837	-24.6 \pm 0.9	-21.0 \pm 1.0	-29.0 \pm 3.0	-48.1 \pm 0.3	-39.9 \pm 0.6	-30.0 \pm 1.0
45	55830.3416	-21.1 \pm 0.5	-11.1 \pm 0.9	-52.8 \pm 0.5	-49.0 \pm 0.2	-42.0 \pm 0.3	-28.3 \pm 0.6
46	55849.2548	-30.9 \pm 0.5	-26.0 \pm 2.0	-38.0 \pm 3.0	-48.4 \pm 0.9	-41.0 \pm 1.0	-34.0 \pm 1.0

Tabulka 4.3: Radiální rychlosti bez použití programu deleni, H α 1.1 a 1.5 označují vnější, respektive vnitřní křídla H α emise

#	RJD	H α 1.1	H α 1.5	H α core
1	52832.3908	-16 \pm 0.3	-6.6 \pm 0.6	-32.6 \pm 0.3
2	52835.5086	-21.3 \pm 0.6	-6.2 \pm 0.3	-31.9 \pm 0.3
3	52835.5133	-23.7 \pm 0.3	-8.3 \pm 0.3	-28.8 \pm 0.3
4	52836.5071	-17 \pm 0.3	-6.2 \pm 0.3	-30.1 \pm 0.3
5	52837.399	-15.9 \pm 0.4	-6.3 \pm 0.3	-31.3 \pm 0.5
6	52839.3905	-20.9 \pm 0.3	-10.8 \pm 0.3	-31.6 \pm 0.6
7	52840.4648	-18.8 \pm 0.3	-9.3 \pm 0.3	-30.8 \pm 0.3
8	52841.4485	-17.4 \pm 0.3	-9.8 \pm 0.2	-30 \pm 0.6
9	52846.4005	-18.9 \pm 0.3	-8.9 \pm 0.3	-36 \pm 0.3
10	52853.3864	-14 \pm 0.2	-4.6 \pm 0.3	-28.5 \pm 0.3
11	52877.4284	-16.5 \pm 0.3	-5.1 \pm 0.3	-20 \pm 0.2
12	52877.4565	-16.5 \pm 0.2	-4.6 \pm 0.3	-19.5 \pm 0.3
13	52900.2846	-15.1 \pm 0.2	-5 \pm 0.3	-18.1 \pm 0.3
14	52900.2898	-19.3 \pm 0.3	-5.3 \pm 0.3	-18.7 \pm 0.3
15	53110.6007	-22.9 \pm 0.3	-2 \pm 0.6	-20 \pm 0.3
16	53124.5619	-22.8 \pm 0.3	0.6 \pm 0.3	-21.7 \pm 0.3
17	53208.4715	-35.1 \pm 0.2	-0.5 \pm 0.3	-25.9 \pm 0.3
18	53208.4916	-35.4 \pm 0.3	-1.1 \pm 0.3	-24.2 \pm 0.3
19	53220.4669	-29.5 \pm 0.3	-3.8 \pm 0.3	-24 \pm 1
20	53249.3644	-29.1 \pm 0.3	-6.5 \pm 0.3	-28.2 \pm 0.3
21	53257.4126	-29.5 \pm 0.5	-8.5 \pm 0.3	-31.3 \pm 0.3
22	53569.5312	-16 \pm 0.9	-13.4 \pm 0.6	-17.1 \pm 0.3
23	53899.4624	-25.1 \pm 0.2	-31 \pm 0.3	-32.4 \pm 0.3
24	53963.3418	-16 \pm 0.2	-25.7 \pm 0.2	-32.1 \pm 0.3
25	53963.4214	-15.2 \pm 0.3	-24.9 \pm 0.3	-34 \pm 0.3
26	53965.3114	-12.9 \pm 0.3	-21.5 \pm 0.3	-33.5 \pm 0.3
27	53965.3363	-13.1 \pm 0.7	-21.5 \pm 0.3	-31.4 \pm 0.2
28	53966.4065	-14.1 \pm 0.2	-25.2 \pm 0.4	-29.9 \pm 0.1
29	53966.4182	-14.6 \pm 0.3	-27.4 \pm 0.2	-31.8 \pm 0.2
30	53990.3570	-14.7 \pm 0.1	-23.8 \pm 0.2	-9.9 \pm 0.3
31	53990.4000	-15.7 \pm 0.2	-24.8 \pm 0.3	-16.3 \pm 0.2
32	53990.4175	-16.7 \pm 0.2	-23.2 \pm 0.3	-17.5 \pm 0.3
33	54035.2322	-20.2 \pm 0.2	-29.2 \pm 0.5	-27 \pm 1
34	54348.3790	-35.1 \pm 0.7	-27.4 \pm 0.3	3.3 \pm 0.3
35	54348.3940	-21.3 \pm 0.2	-26.3 \pm 0.2	-1.7 \pm 0.2
36	55050.3493	-14.7 \pm 0.5	-4 \pm 0.2	-4.2 \pm 0.2
37	55280.6174	-13 \pm 0.3	-3.8 \pm 0.3	-11.3 \pm 0.3
38	55364.4271	-27.3 \pm 0.3	-7.4 \pm 0.3	-20.5 \pm 0.3
39	55380.4742	-17.6 \pm 0.9	-5.2 \pm 0.5	-23 \pm 0.3
40	55399.5779	-25.5 \pm 0.2	-5.7 \pm 0.2	-30.4 \pm 0.3
42	55785.4069	-26.1 \pm 0.4	-9 \pm 1	-23.8 \pm 0.9
43	55820.3571	-25.6 \pm 0.3	-19 \pm 1	-38.8 \pm 0.2
44	55828.2837	-23 \pm 2.0	-20.3 \pm 0.9	-28 \pm 2
45	55830.3416	-21.8 \pm 0.5	-15.4 \pm 0.3	-29.4 \pm 0.3
46	55849.2548	-26.6 \pm 0.7	-23 \pm 2	-31.9 \pm 0.2

Tabulka 4.4: Radiální rychlosti po použití programu deleni, H α 1.1 a 1.5 označují vnější, respektive vnitřní křídla H α emise



Obrázek 4.1: Dlouhodobý trend V923 Aql, černě pozorovaná RV (O), červeně zhlazená data (C), čára spojující zhlazené body (C) není zhlazující křivkou z programu `hec13`, jedná se pouze o spojení bodů

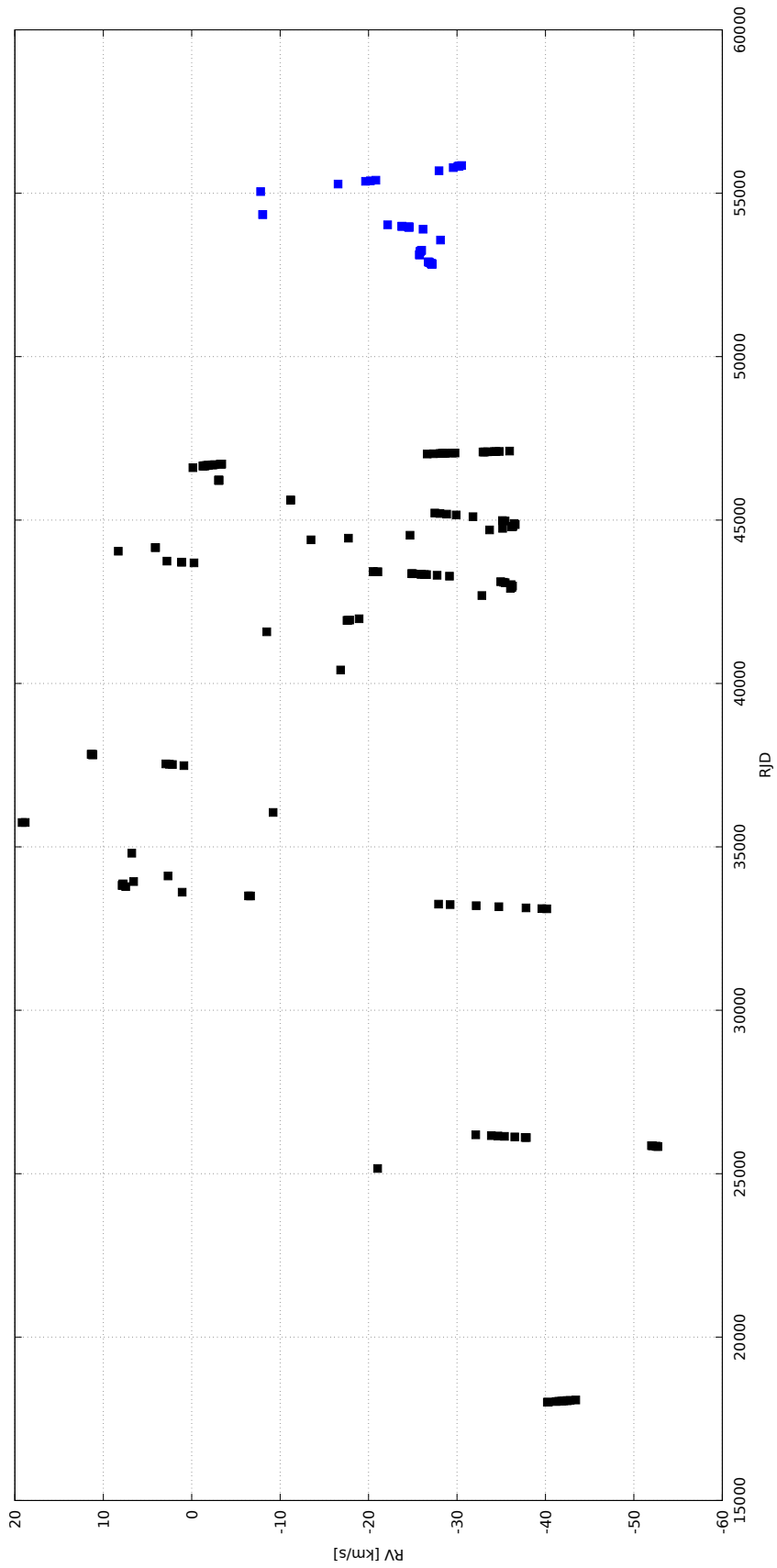
Na grafu 4.1 vidíme, že vyjma vnitřních $H\alpha$ křídel s amplitudou 1.5 se RV pro měřené veličiny chovají stejným způsobem, tedy většina má maximum v epoše mezi $RJD=54000-55000$. $H\alpha$ křídla amplitudy 1.5 se chovají opačným způsobem a ve zmíněné epoše mají minimum. Délka cyklu je $\approx 2200d$, což odpovídá délce cyklu změřené v Koubský a kol. (1989).

Na grafu 4.2 můžeme pozorovat vývoj $RV_{H\alpha core}$ v průběhu času, od kterého byla odečtena závislost na orbitální periodě. Jedná se tedy o křivku C (kap. 3.1). Zdá se, že data této práce vykazují nižší amplitudu variace $RV_{H\alpha core}$, než jaká

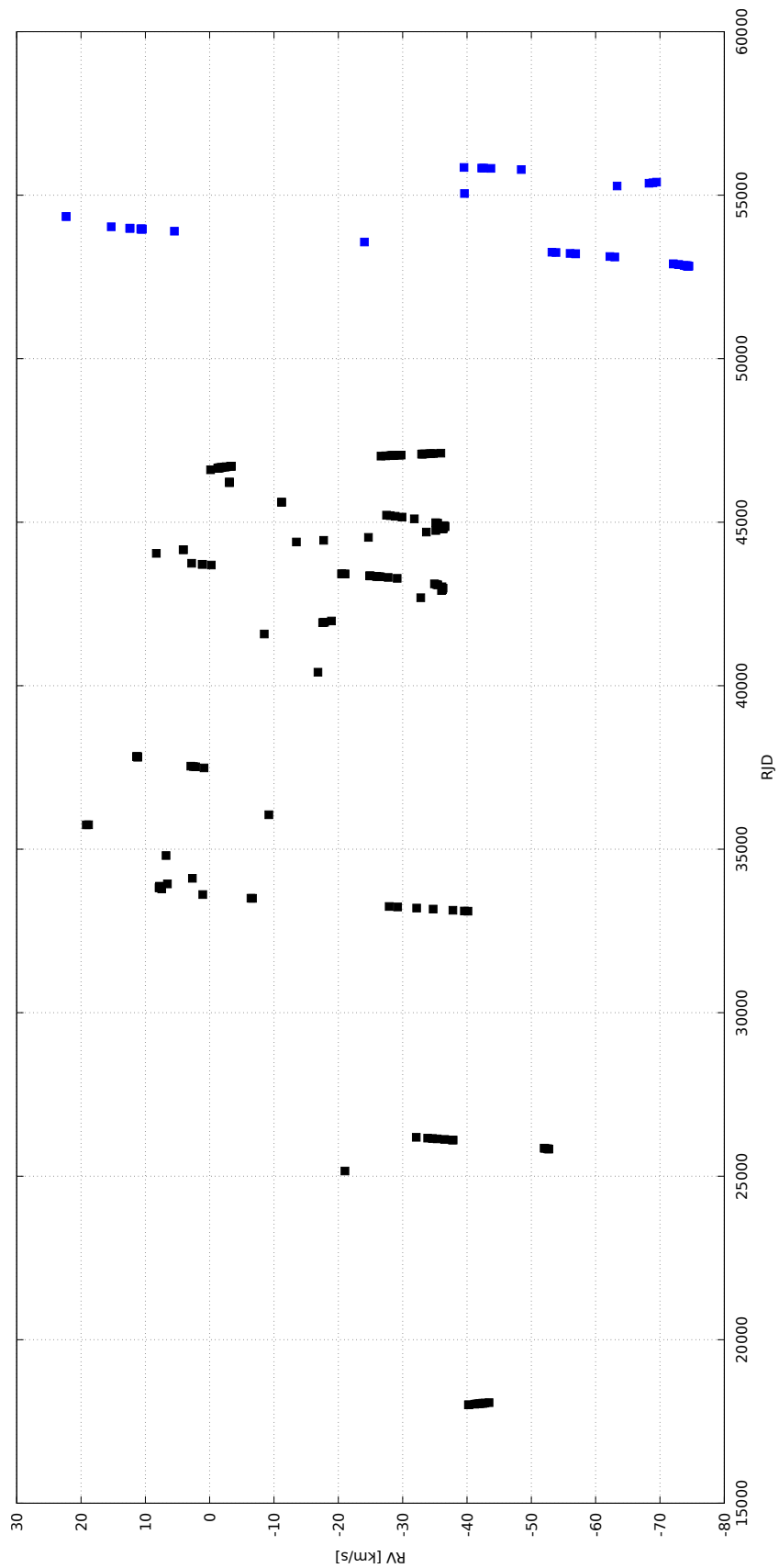
byla měřena v Koubský a kol. (1989).

Variace Si II čar (obr. 4.3) se mění v celkové amplitudě $\approx 100 \text{ km s}^{-1}$, což je větší hodnota než, která byla uvedena v Koubský a kol. (1989).

Narozdíl od Koubský a kol. (1989) se $RV_{H_{\alpha core}}$ a RV_{SiII} od sebe lišily.



Obrázek 4.2: Dlouhodobý trend radiálních rychlostí získaných zhlazující křivkou (C), černě data z Koubský a kol. (1989), modře data z této práce, RV získané z spektrální čáry $H\alpha$ jádro



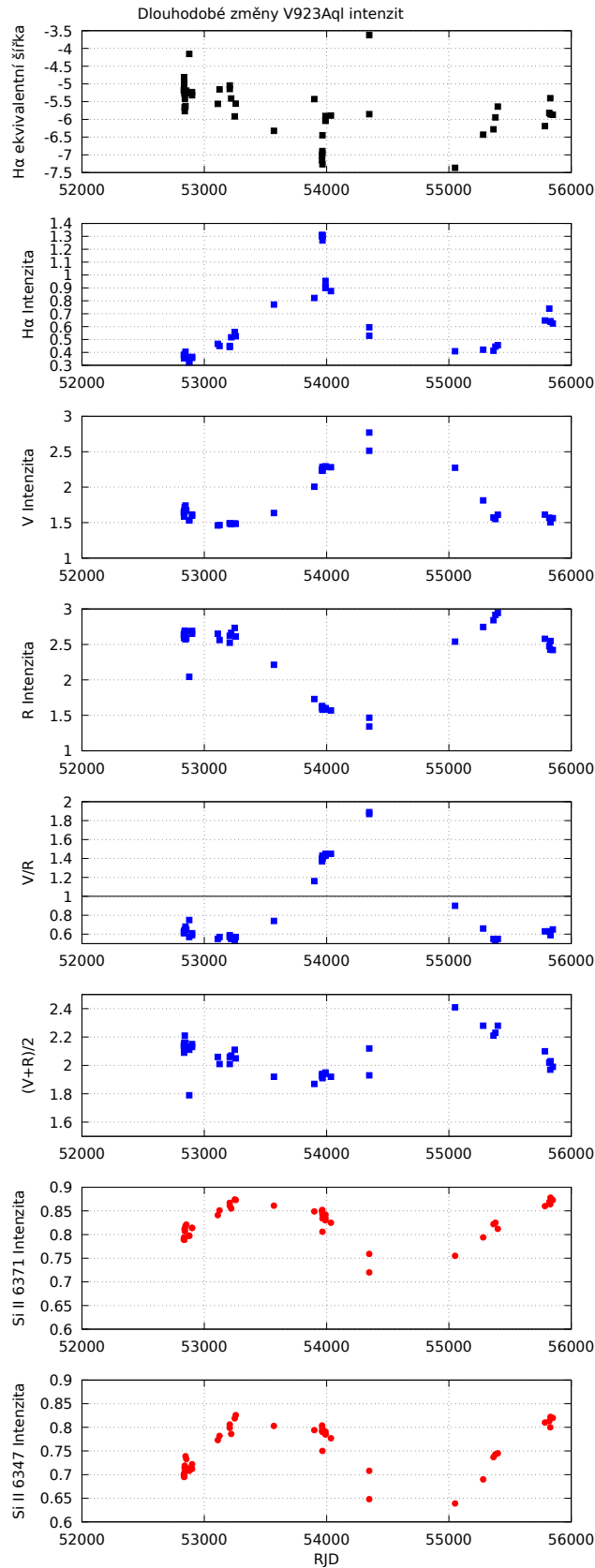
Obrázek 4.3: Dlouhodobý trend radiálních rychlostí získaných zhlazující křivkou (C), černě data z Koubský a kol. (1989), modře data z této práce, RV získané z spektrální čáry Si II

V tabulce (tab. 4.5) jsou obsaženy změřené hodnoty ekvivalentní šířky a intenzity na $H\alpha$ absorpčním jádru a intenzity V, R a Si II pásů. Pro lepší ilustraci jsou data opět vynesena do grafu (obr. 4.4).

Pro ekvivalentní šířku $H\alpha$, intenzity R a průměrné intenzity $(V+R)/2$ nastává minimum přibližně v RJD ≈ 54000 , a maximum v RJD ≈ 53000 a 55200 . Naopak pro intenzitu $H\alpha$, V a V/R se jedná o opačnou korelaci, tedy maximum leží na okolí RJD ≈ 54000 , a minimum na okolí RJD ≈ 53000 a 55200 . Délka cyklu je přibližně stejná jako pro RV , tedy $T \approx 2200$ d. Pro spektrální čáry křemíku se jeví být cyklus fázově posunutý o $1/4$ délky cyklu, tudíž v bodech extrémů výše zmíněných veličin jsou hodnoty na okolí průměru, zatímco maximum se objevuje při RJD ≈ 53500 a 55800 . Délka cyklu intenzit Si II se tedy jeví mírně delší, $T \approx 2300$ d. Kvůli nedostatečně hustému pokrytí daty kolem extrému a vzhledem k tomu, že data pokrývají jen jeden dlouhý cyklus nejsou změřené hodnoty délky cyklů přesné.

RJD	Eqw H α	Int H α	V	R	V/R	(V+R)/2	Si II 6371	Si II 6347
52832.3908	-5.183	0.38	1.64	2.633	0.62	2.14	0.79	0.7
52835.5086	-4.81	0.354	1.624	2.592	0.63	2.11	0.794	0.695
52835.5133	-5.016	0.377	1.585	2.596	0.61	2.09	0.789	0.702
52836.5071	-4.951	0.358	1.638	2.597	0.63	2.12	0.791	0.701
52837.399	-5.27	0.369	1.669	2.651	0.63	2.16	0.789	0.696
52839.3905	-5.661	0.38	1.656	2.672	0.62	2.16	0.812	0.714
52840.4648	-5.769	0.365	1.719	2.695	0.64	2.21	0.81	0.719
52841.4485	-5.425	0.387	1.698	2.6	0.65	2.15	0.807	0.708
52846.4005	-5.624	0.405	1.741	2.57	0.68	2.16	0.818	0.739
52853.3864	-5.191	0.364	1.673	2.589	0.65	2.13	0.821	0.733
52877.4284	-4.157	0.33	1.535	2.043	0.75	1.79	0.798	0.708
52877.4565	-5.262	0.322	1.53	2.685	0.57	2.11	0.797	0.713
52900.2846	-5.231	0.365	1.615	2.651	0.61	2.13	0.814	0.712
52900.2898	-5.32	0.357	1.597	2.693	0.59	2.15	0.814	0.722
53110.6007	-5.562	0.466	1.46	2.652	0.55	2.06	0.841	0.773
53124.5619	-5.154	0.45	1.464	2.563	0.57	2.01	0.851	0.782
53208.4715	-5.145	0.45	1.488	2.524	0.59	2.01	0.861	0.806
53208.4916	-5.043	0.442	1.49	2.621	0.57	2.06	0.867	0.799
53220.4669	-5.412	0.517	1.477	2.663	0.55	2.07	0.855	0.786
53249.3644	-5.916	0.558	1.489	2.734	0.54	2.11	0.874	0.819
53257.4126	-5.558	0.525	1.483	2.612	0.57	2.05	0.873	0.826
53569.5312	-6.324	0.771	1.635	2.213	0.74	1.92	0.861	0.803
53899.4624	-5.428	0.822	2.006	1.73	1.16	1.87	0.849	0.794
53963.3418	-7.019	1.309	2.241	1.61	1.39	1.93	0.849	0.804
53963.4214	-7.157	1.31	2.238	1.631	1.37	1.93	0.851	0.792
53965.3114	-6.955	1.3	2.261	1.618	1.4	1.94	0.843	0.796
53965.3363	-6.893	1.299	2.241	1.604	1.4	1.92	0.852	0.799
53966.4065	-6.447	1.268	2.231	1.579	1.41	1.91	0.806	0.75
53966.4182	-7.265	1.308	2.288	1.595	1.43	1.94	0.834	0.79
53990.357	-6.042	0.954	2.29	1.582	1.45	1.94	0.835	0.791
53990.4	-6.026	0.908	2.291	1.6	1.43	1.95	0.842	0.786
53990.4175	-5.904	0.899	2.289	1.599	1.43	1.94	0.83	0.785
54035.2322	-5.893	0.875	2.281	1.568	1.45	1.92	0.825	0.777
54348.379	-3.621	0.529	2.514	1.342	1.87	1.93	0.72	0.648
54348.394	-5.854	0.595	2.77	1.467	1.89	2.12	0.759	0.708
55050.3493	-7.366	0.409	2.275	2.539	0.9	2.41	0.755	0.639
55280.6174	-6.432	0.421	1.814	2.747	0.66	2.28	0.794	0.69
55364.4271	-6.28	0.413	1.572	2.842	0.55	2.21	0.822	0.737
55380.4742	-5.945	0.445	1.55	2.915	0.53	2.23	0.825	0.743
55399.5779	-5.641	0.456	1.611	2.945	0.55	2.28	0.812	0.745
55785.4069	-6.191	0.647	1.613	2.579	0.63	2.1	0.86	0.81
55820.3571	-5.819	0.739	1.569	2.477	0.63	2.02	0.869	0.813
55828.2837	-5.404	0.642	1.51	2.428	0.62	1.97	0.864	0.8
55830.3416	-5.86	0.639	1.503	2.548	0.59	2.03	0.878	0.822
55849.2548	-5.872	0.624	1.563	2.421	0.65	1.99	0.873	0.82

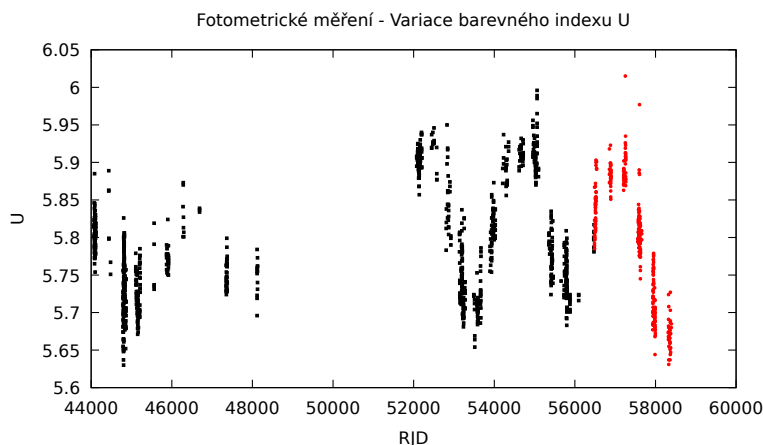
Tabulka 4.5: Tabulka ekvivalentní šířky a intenzit měřených spektrálních čar



Obrázek 4.4: Graf proměnlivosti intenzit v čase, černě ekvivalentní šířka H α absorpce, modře intenzity spektrální čáry H α (Jádro, V a R vrcholky), červeně intenzity spektrálních čar Si II

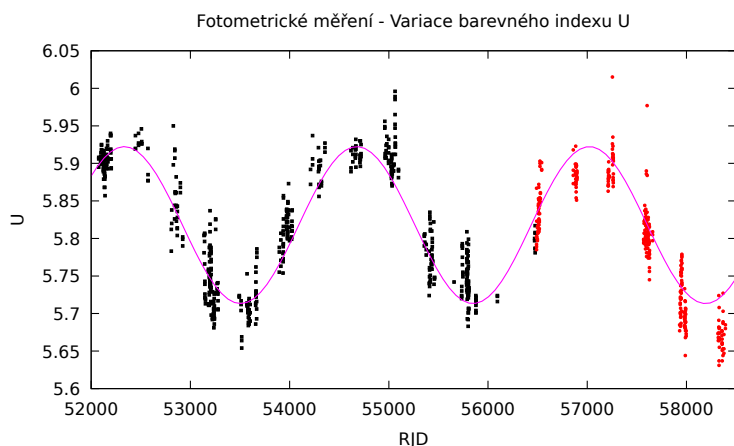
Následují fotometrická měření získaná z hvarské observatoře. Ze známých dat (kap. 4.2) lze očekávat dlouhodobé změny ve filtru U.

Na grafu (obr. 4.5) lze vidět proměnlivost barevného indexu U v průběhu času. V čase RJD=48100–52000 bohužel nebylo měřeno, kvůli čemuž je graf efektivně rozdělen na 2 křivky. V prvním úseku vidíme mírně nižší amplitudu změn, zatímco v druhé úseku lze zřetelně vidět jednotlivé variační cykly.



Obrázek 4.5: Fotometrické měření ve filtru U, černě první soubor měření, červeně druhý soubor měření

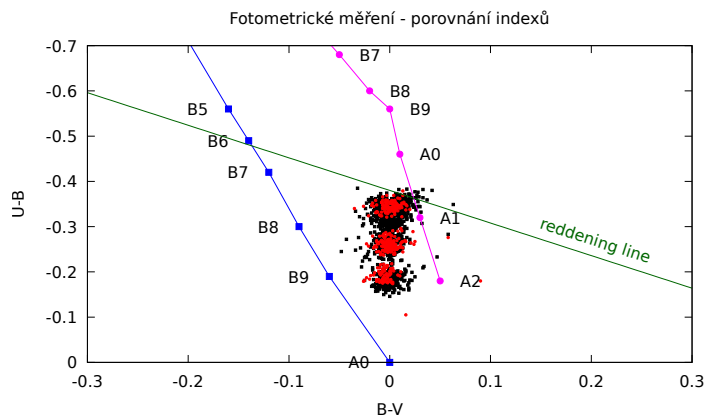
V grafu 4.6 jsou data z obr. 4.5, omezena na RJD=52000–58500 a proložena křivkou s výslednou délkou cyklu $T=(2342 \pm 7)$ dní ≈ 6.41 let. Tato délka cyklu je kratší, než ta změřená v Arias a kol. (2004). Celková amplituda (max–min) této křivky $\approx (0.21 \pm 0.1)^m$. Vysoký rozptyl dat v magnitudách je dán zejména krátkodobou periodou 0.85 dní s amplitudou 0.1^m .



Obrázek 4.6: Fotometrické měření ve filtru U, RJD = 52000–58500, černě první soubor dat, červeně druhý soubor dat, růžově fitující křivka $f(x)=(A*\sin(B*x+C)+D)$

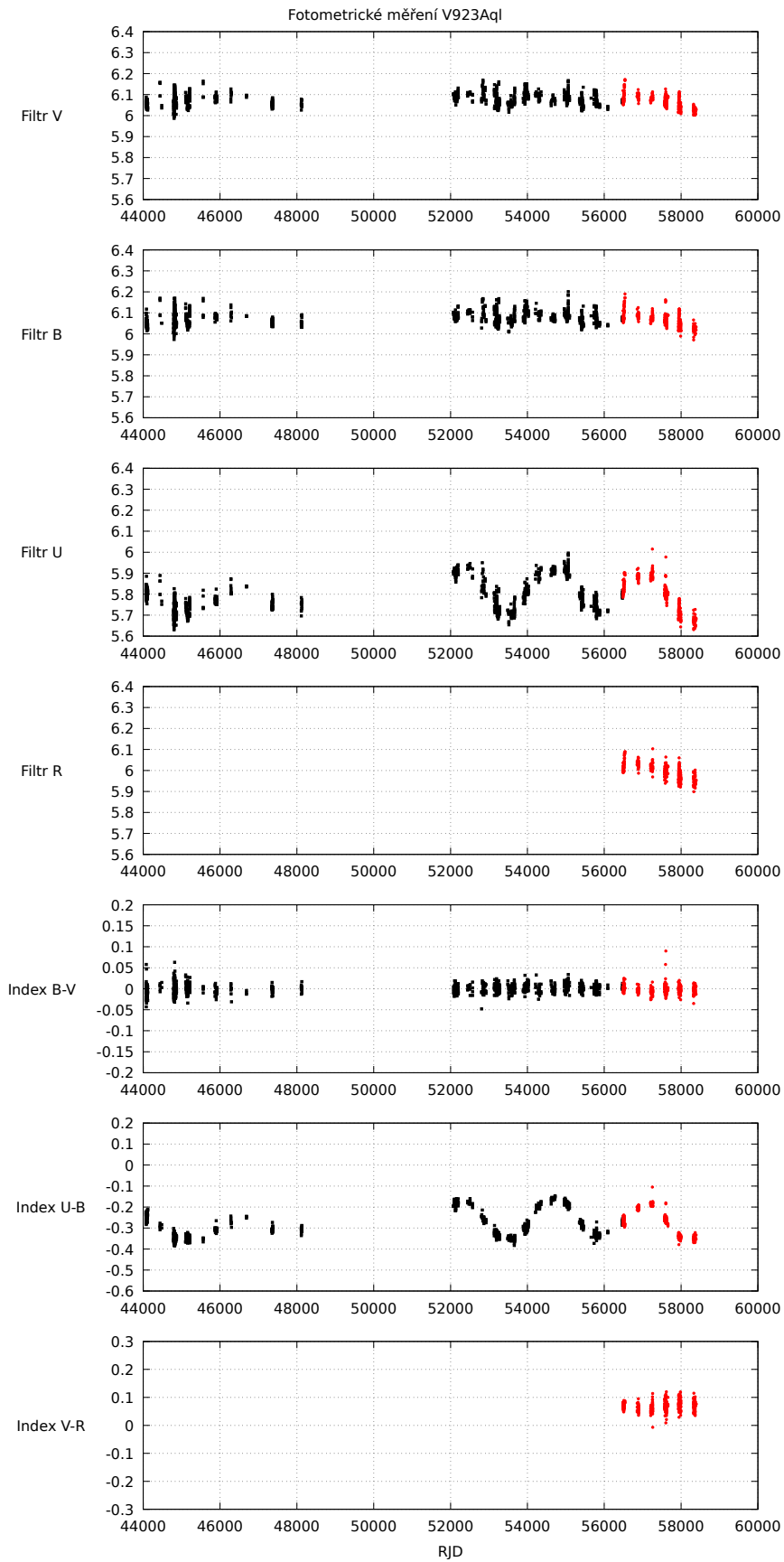
Na grafu 4.7 je pak vynesena závislost U-B vs. B-V, včetně hlavní posloupnosti V a posloupnosti veleobrů Ia. Lze vidět, že V923 Aql je zčervenálý objekt s pozitivní korelací (Harmanec & Brož, 2011). V průběhu pozorování nebylo u

objektu sledováno úplné zmizení $H\alpha$ emise, a v grafu se tedy neobjevuje v čase minimální emise.



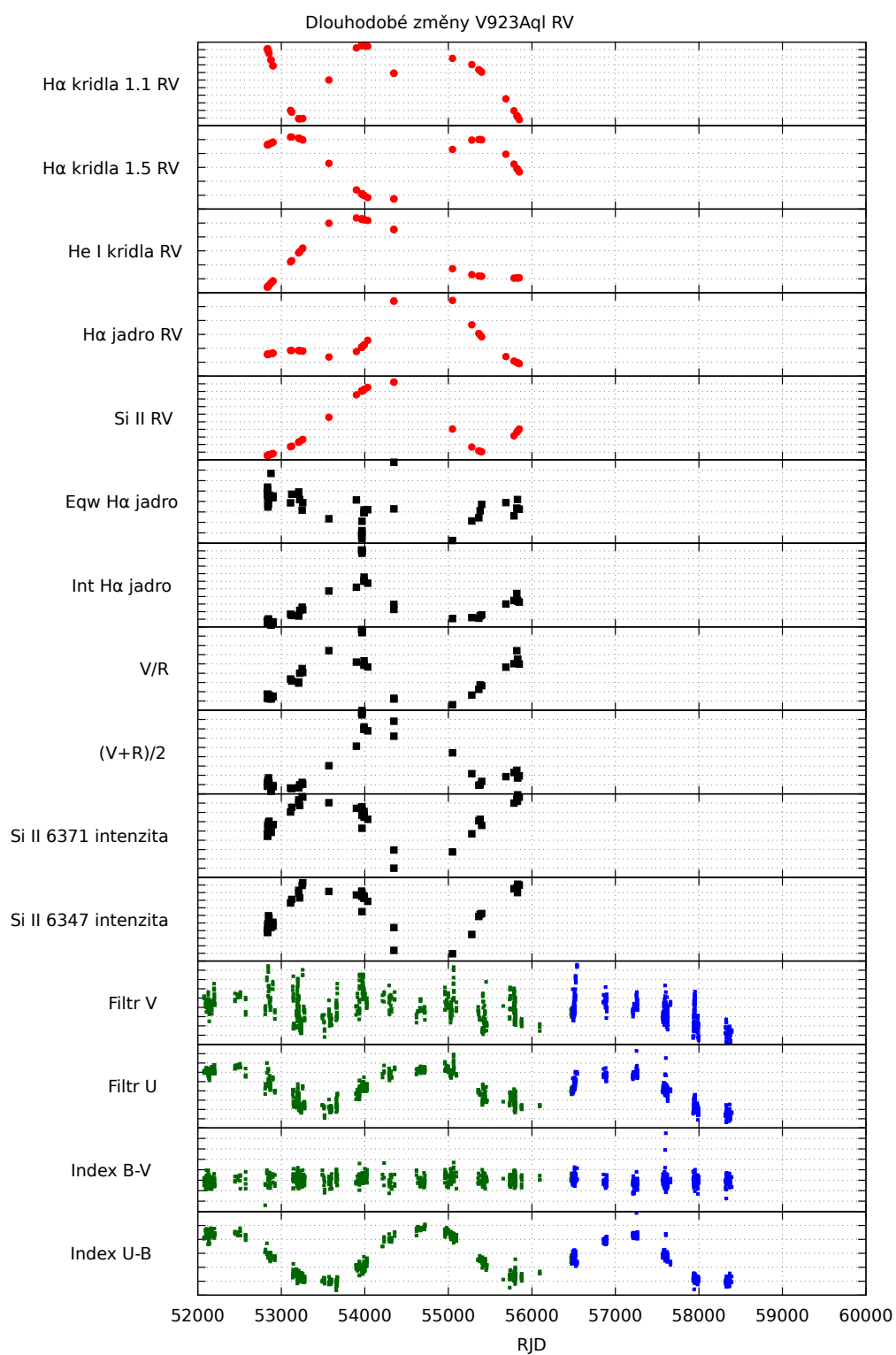
Obrázek 4.7: U-B vs. B-V diagram, černě soubor 1, červeně soubor 2, modře hvězdy hlavní posloupnosti (V), růžově posloupnost veleobrů (Ia), zeleně čára zčervenání (v angl. reddening line)

Veškerá poskytnutá fotometrie je pak vynesena na obr. 4.8. Z grafu je zřejmé, že dlouhodobé změny ostatních barevných filtrů jsou mnohem nižší amplitudy než pro barevný filtr U. Barevné indexy B–V a V–R zřetelně nevykazují dlouhodobou variaci. Barevný index U–B se na dlouhodobé časové škále mění s celkovou amplitudou 0.25^m



Obrázek 4.8: Fotometrické měření v dostupných barevných filtrech a indexech, černě první soubor dat, červeně druhý soubor dat

Veškeré relevantní změřené veličiny jsou sjednoceny na grafu (obr. 4.9) v čase $RJD = 52000-60000$. Kromě výše zmíněných korelací RV se zdá, že intenzity spektrálních čar Si II korelují s filtrem U a s indexem U–B takovým způsobem, že maximum intenzity Si II značí minimum U respektive U–B a naopak. Podobnou korelaci naznačuje také intenzita Si II s filtrem V, ale zde jsou data zanesena větším šumem způsobeným krátkodobou periodou (amplituda změn u filtru V je mnohem menší).

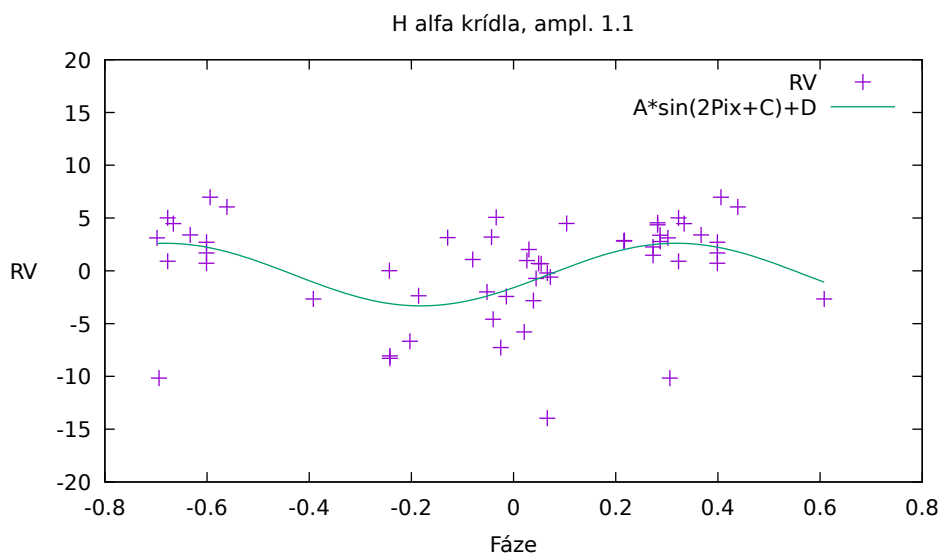


Obrázek 4.9: Dlouhodobý trend V923 Aql, různé veličiny, červeně jsou vyznačeny RV (jedná se o zhlazená data, tedy křivku (C)), černě ekvivalentní šířka a intenzity spektrálních čar, zelenou jsou barevné filtry a indexy pro soubor 1 fotometrického měření, modře pak soubor 2

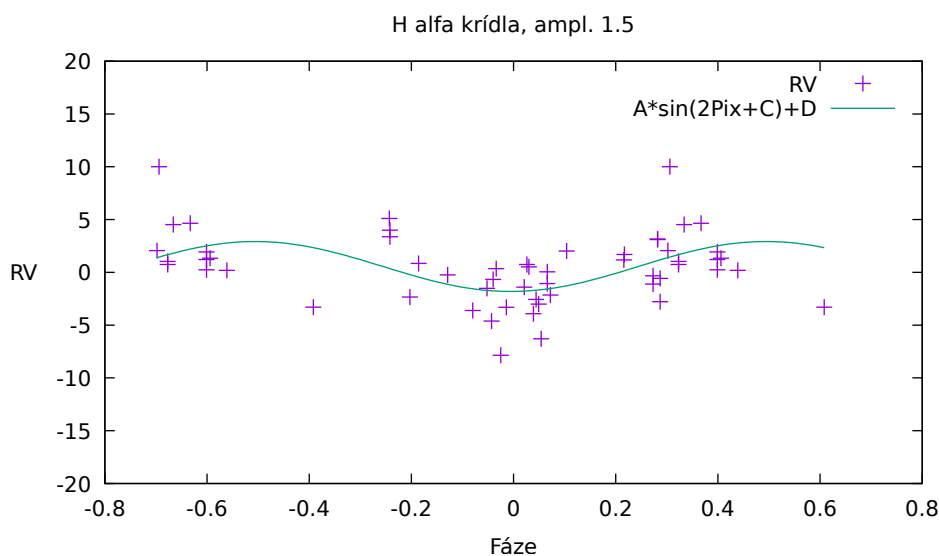
4.5 Střednědobé změny

V této části jsou ukázány změny na časové škále několika měsíců, konkrétně $T = 214,75$ dne (Koubský a kol., 1989). Tato perioda souvisí s dvojhvězdností systému. Veškeré fázové diagramy v této sekci jsou vykresleny z křivky O–C (kap. 3.1). Tyto křivky byly poté převedeny na fázové diagramy s výše zmíněnou periodou T pomocí programu faze (kap. 3.2).

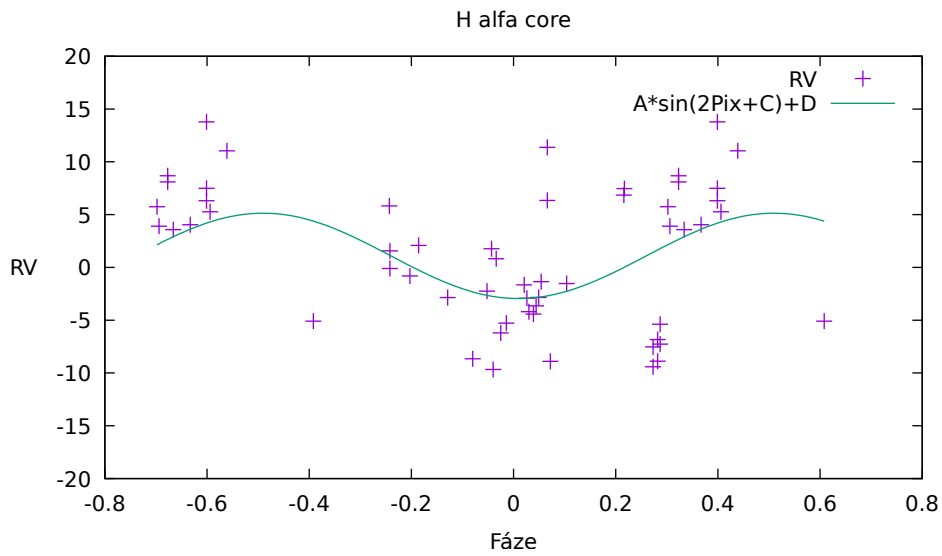
Byly vytvořeny následující fázové diagramy (obr. 4.10)–(obr. 4.15).



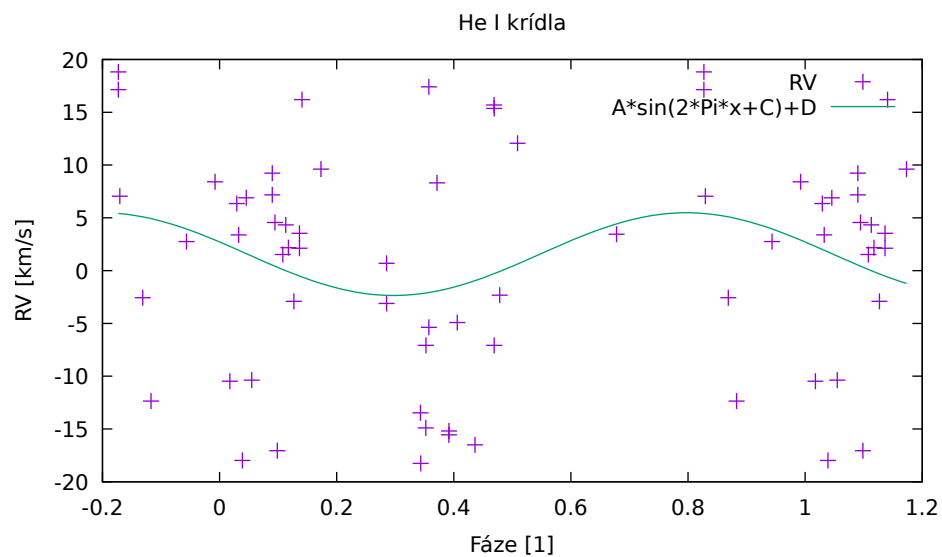
Obrázek 4.10: Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, $H\alpha$ vnější křídla 1.1, fáze s periodou $T = 214,76$ dní



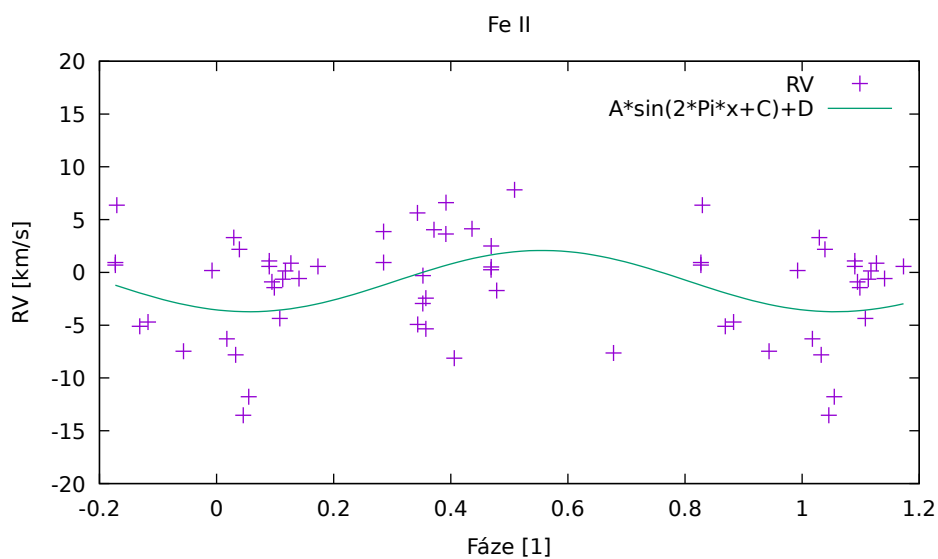
Obrázek 4.11: Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, $H\alpha$ vnitřní křídla 1.5, fáze s periodou $T = 214,76$ dní



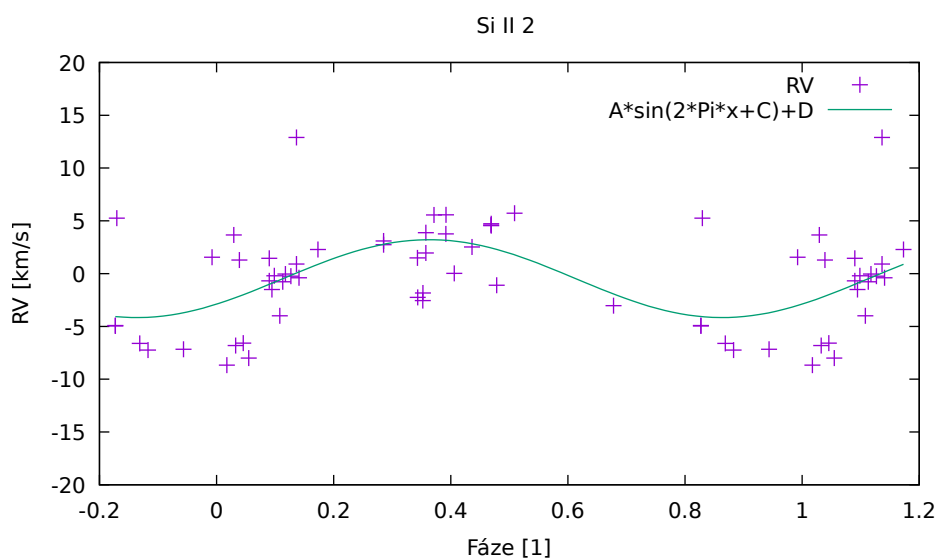
Obrázek 4.12: Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, H α core, fáze s periodou T= 214,76 dní



Obrázek 4.13: Fázový diagram radiálních rychlostí bez použití programu deleni, He I křídla, fáze s periodou T= 214,76 dní



Obrázek 4.14: Fázový diagram radiálních rychlostí bez použití programu deleni, Fe II, fáze s periodou $T= 214,76$ dní



Obrázek 4.15: Fázový diagram radiálních rychlostí použití programu deleni, Si II 2, fáze s periodou $T= 214,76$ dní

Na fázových diagramech lze vidět, že amplituda dat je nižší než jakou uvádí Koubský a kol. (1989). Ačkoliv data naznačují amplitudu nižší, přesnost parametrů není příliš vysoká. U spektrální čáry He I (obr. 4.13) periodicitu nevidíme z důvodu nepřesnosti měření (spektrální čára je široká a slabá).

Spektrální čára H α (vnitřní a vnější křídla, jádro) již obsahuje data po použití programu deleni (kap. 3.4).

RV pro H α emisi byly použity při měření v programu SPEL (kap. 2) a jejich výsledky můžeme vidět na (tab. 4.6).

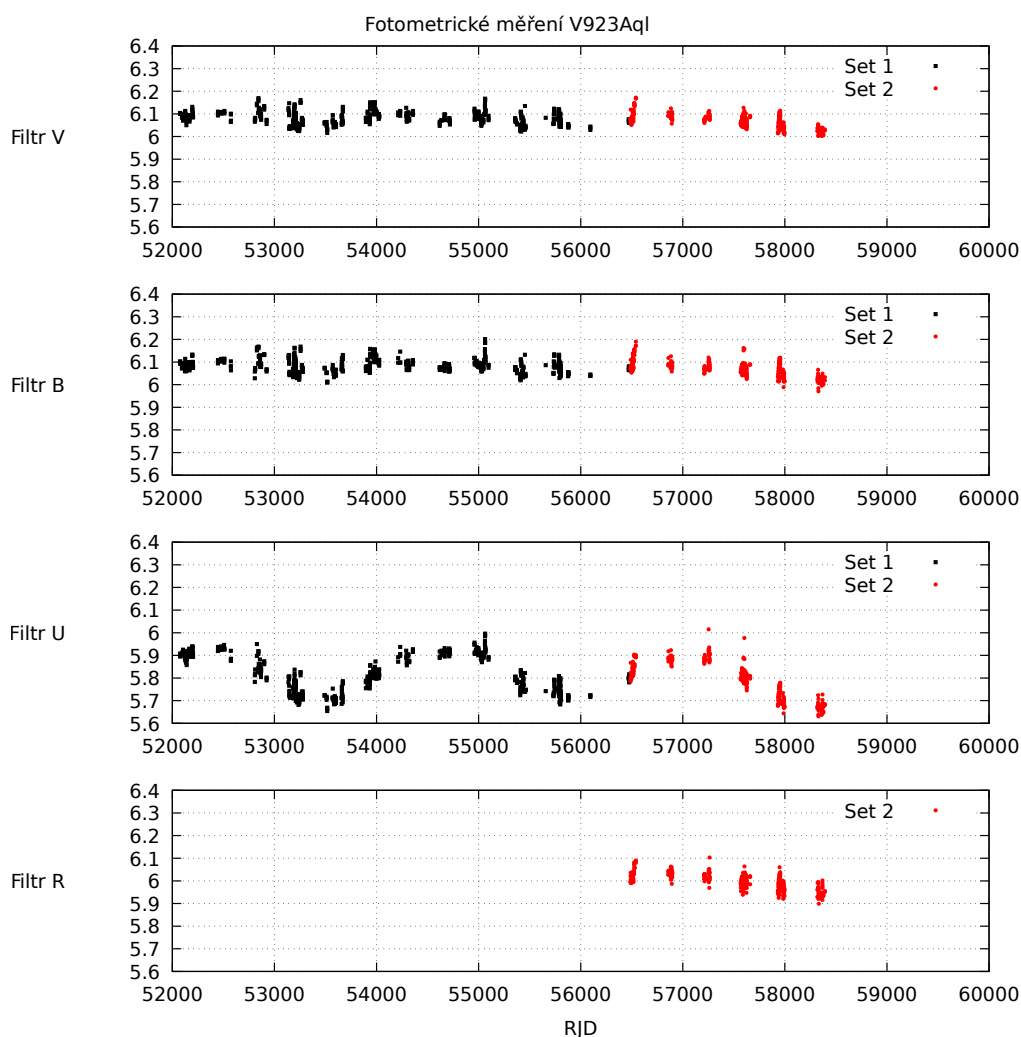
Veličina	H α 1.1	H α 1.5	H α core	H α 1.1	H α 1.5	H α core
Perioda [d]	212 \pm 1	214 \pm 2	216 \pm 2	214.76 (fix)	214.76 (fix)	214.76 (fix)
T max [RJD]	53327 \pm 9	53370 \pm 10	53370 \pm 10	53330 \pm 10	53380 \pm 9	53370 \pm 10
K1 [kms $^{-1}$]	3.6 \pm 0.9	2.4 \pm 0.6	4 \pm 1	3.0 \pm 0.8	2.3 \pm 0.6	4 \pm 1
V0 [kms $^{-1}$]	-0.7 \pm 0.6	0.7 \pm 0.4	1 \pm 0.9	-0.4 \pm 0.6	0.7 \pm 0.4	1 \pm 0.9
f(m)	0.001	0.0003	0.0019	0.0006	0.0003	0.0015
a	15.09	9.91	18.6	12.67	9.69	17.41

Tabulka 4.6: Parametry získané ze SPELu po použití programu deleni

Získaná semiamplituda K1 je nižší než byla změřena v Koubský a kol. (1989), orbitální periodu se bohužel nepodařilo zpřesnit. V druhé části tabulky (tab. 4.6) se jedná o stejná data, ale tentokráte s fixní vstupní periodou 214.76 d.

4.6 Krátkodobé změny

Tato práce se nezabývala variacemi na krátkých časových délkách a ani daná data nebyla vhodná pro jejich analýzu, proto následující část má pouze charakter ukázky. Pro V923 Aql byla objevena fotometrická variace s periodou 0.85 dne (kap. 4.2). V dostupných fotometrických měřeních se krátkodobé změny objevovaly s magnitudou $\approx 0.1^m$ (obr. 4.16), která se v grafech s delším časovým úsekem jeví spíše jako šum.



Obrázek 4.16: Krátkodobé změny pro různé filtry, RJD=52000–60000

Pro RV pak spektra nebyla dostatečně hustě pokrytá v čase, a krátkodobá variace proto nemohla být zjištěna.

5. Výsledky

V následující kapitole jsou shrnuta data získaná z práce, která jsou dále porovnávána s odbornou literaturou.

Hlavní korelace veličin na dlouhodobých časových škálách, které byly objeveny jsou:

- Maximum a minimum RV se objevuje u všech spektrálních čar shodně, vyjma vnitřních křídel $H\alpha$ emise amplitudy 1.5. Tato anomálie může naznačovat jiný mechanismus vzniku vnějších a vnitřních křídel $H\alpha$ emise hvězdy V923 Aql.

- Délka dlouhodobého cyklu RV je ≈ 2200 dní, což je v souladu s přibližnou délkou cyklu změřenou v Koubský a kol. (1989). Tato délka cyklu se nezdá být ovlivněna měřeními na jiných spektrálních čarách.

- Celková amplituda variace $H\alpha$ emise se jevila v měřeném cyklu jako nižší, než jaká popsána v Koubský a kol. (1989).

- Celková amplituda variace spektrálních čar Si II a Fe II se jevila v měřeném cyklu jako vyšší, než jaká uvedena v Koubský a kol. (1989).

- Hodnoty $RV_{H\alpha}$, RV_{FeII} a RV_{SiII} se navzájem liší, což je v rozporu s Koubský a kol. (1989), kde se získané $RV_{H\alpha}$ a RV_M (kovové spektrální čáry) od sebe liší nanejvýš v řádu 10^0 .

- Pro intenzitu $H\alpha$ emise, V a V/R se extrémny objevují v přibližně stejných časech, kdy se objevují extrémny RV . Výjimku tvoří $H\alpha$ křídla $ampl=1.5$.

- Ekvivalentní šířka $H\alpha$ emise, R a $(V+R)/2$ nabývají opačného extrému, než veličiny v předchozím bodě.

- Doba, kdy $V>R$ odpovídá době, kdy dlouhodobé změny RV jsou u maxima. (Gulliver, 1976)

- Doba, kdy $V<R$ odpovídá době, kdy dlouhodobé změny RV jsou u minima. (Gulliver, 1976)

- Výjimku z předchozích dvou bodů opět tvoří RV měřené na $H\alpha$ křídlech amplitudy 1.5

- Intenzity spektrálních čar Si II se jeví fázově posunutě o ≈ 550 d, což způsobuje, že v místech, kde jsou předchozí veličiny ve svých extrémech, se Si II jeví jako průměrná hodnota a naopak.

- Délka cyklu pro intenzitu Si II se jeví o ≈ 100 dní delší, než pro dlouhodobé změny RV . Tato délka je však stále v rozmezí získaném z (Koubský a kol., 1989).

- Variace filtru U a indexu U-B měla délku cyklu $T=(2342 \pm 7)$ d ≈ 6.41 let s amplitudou $(0.21 \pm 0.1)^m$

- Variace filtru V se pak chová stejným způsobem jako variace filtru U, ale s menší amplitudou.

- Opačně než tyto variace se chovají intenzity spektrální čáry Si II, což může naznačovat souvislost mezi fotometrickým variačním cyklem a intenzitami Si II.

Periodu orbitálních změn se zpřesnit nepodařilo, změřená výsledná perioda odpovídá Koubský a kol. (1989). Semiamplituda orbitálních změn ovšem byla menší, než jak byla změřena v Koubský a kol. (1989), a to $K1=(4 \pm 1) \text{ km s}^{-1}$.

6. Diskuze výsledků

Odchytky pro jednotlivé RV jsou vypočtené v programu SPEFO, jedná se o standartní odchytky. Délky dlouhodobých cyklů byly získány odečtením z grafu. Pro nedostatečnou hustotu a krátkou dobu měření nelze vyloučit, že jsou výsledky zatíženy značnou chybou.

V případě měření délky fotometrického cyklu jak je ukázáno na (obr. 4.6), je délka cyklu zatížena chybou fitu, která ovšem neobsahuje chybu vzniklou krátkodobou variací ani chybu danou rozdílem mezi jednotlivými cykly. Celková chyba délky cyklu tak bude pravděpodobně větší.

Na střednědobé změny (kap. 4.5) má kromě již zmíněné chyby v měření jednotlivých RV také vliv zhlazovací program hec13 (kap. 3.1). Tuto chybu ovšem nelze dobře kvantifikovat.

Celkové výsledky nejsou plně ve shodě s dříve měřenými vlastnostmi, zejména se jedná o hodnoty RV měřené na kovových čarách, které se liší od RV měřených na $H\alpha$ emisi (Koubský a kol., 1989). Další vlastností, která není zcela ve shodě s předchozími články, je délka fotometrického cyklu, která se jeví kratší než v Arias a kol. (2004).

Závěr

Z celkového počtu 46 spekter dodaných z hvězdárny Ondřejov bylo jedno vyloučeno z důvodu vysoké úrovně šumu. Na zbylých spektrech byly proměřeny RV a intenzity pro několik různých spektrálních čarách. Pro $H\alpha$ jádro byla navíc změřena i ekvivalentní šířka čáry. Práce také obsahuje fotometrii v několika různých barevných filtrech a indexech dodanou z hvarské observatoře.

Pro dlouhodobé změny byly sledovány kladné korelace mezi následujícími veličinami: $RV_{H\alpha}$ (vnější křídla 1.1, jádro), RV_{HeI} , RV_{SiII} , RV_{FeII} , Intenzita $H\alpha$ absorpce, V a V/R . Zápornou korelaci pak měly s veličinami: $RV_{H\alpha}$ (vnitřní křídla 1.5), ekvivalentní šířka $H\alpha$ emise, R a $(V+R)/2$.

Na předchozích veličinách nezávislou korelaci vykazují barevné filtry a indexy. Zde se nachází korelace mezi variací filtru U , V a indexu $U-B$.

Pro intenzitu $Si II$ není jisté, zda v rámci cyklu koreluje kladně s cyklem RV , nebo zda koreluje záporně s filtrem U a indexem $U-B$.

Seznam použité literatury

- ARIAS, M. L., CIDALE, L. S. a RINGUELET, A. E. (2004). The circumstellar environment of the star <ASTROBJ>V923 Aquilae</ASTROBJ>. , **417**, 679–688. doi: 10.1051/0004-6361:20034435.
- BAADE, D. (1982). An usually short stable period of absorption line asymmetries and V/Rvariations in the spectrum of the Be star 28 CMa. , **105**, 65–75.
- BIDELMAN, W. P. (1950). The spectrum of hr 7415. , **62**, 48. doi: 10.1086/126224. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1950PASP...62...48B>.
- BJORKMAN, J. E. a CASSINELLI, J. P. (1993). Equatorial Disk Formation around Rotating Stars Due to Ram Pressure Confinement by the Stellar Wind. , **409**, 429. doi: 10.1086/172676.
- COLLABORATION, G. (2018). VizieR online data catalog: Gaia dr2 (gaia collaboration, 2018). *VizieR Online Data Catalog*, **1345**. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018yCat.1345....0G>.
- CUTRI, R. M., SKRUTSKIE, M. F., VAN DYK, S., BEICHMAN, C. A., CARPENTER, J. M., CHESTER, T., CAMBRESY, L., EVANS, T., FOWLER, J., GIZIS, J., HOWARD, E., HUCHRA, J., JARRETT, T., KOPAN, E. L., KIRKPATRICK, J. D., LIGHT, R. M., MARSH, K. A., MCCALLON, H., SCHNEIDER, S., STIENING, R., SYKES, M., WEINBERG, M., WHEATON, W. A., WHEELOCK, S. a ZACARIAS, N. (2003). VizieR online data catalog: 2mass all-sky catalog of point sources (cutri+ 2003). *VizieR Online Data Catalog*, **2246**. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003yCat.2246....0C>.
- DOAZAN, V. (1987). The Spheroidal/ellipsoidal, Variable Mass-Loss Decelerated STAR Star Model (review Paper). In SLETTEBAK, A. a SNOW, T. P., editors, *IAU Colloq. 92: Physics of Be Stars*, page 384.
- DOUGHERTY, S. M. a TAYLOR, A. R. (1994). Near infrared variability of be-stars. , **269**, 1123. doi: 10.1093/mnras/269.4.1123. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1994MNRAS.269.1123D>.
- GERASIMOVÍČ, B. P. (1934). Non-static hydrogen chromospheres and the problem of Be stars. , **94**, 737. doi: 10.1093/mnras/94.8.737.
- GHOZEYSHI, M. R., CARCIOFI, A. C., RÍMULO, L. R., VIEIRA, R. G., FAES, D. M., BAADE, D., BJORKMAN, J. E., OTERO, S. a RIVINIUS, T. (2018). The life cycles of Be viscous decretion discs: The case of ω CMa. , **479**(2), 2214–2228. doi: 10.1093/mnras/sty1577.
- GULLIVER, A. F. (1976). *A Study of Shell Stars*. PhD thesis, UNIVERSITY OF TORONTO (CANADA). URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1976PhDT.....73G>.
- HARMANEC, P. a BROŽ, M. (2011). *Stavba a vývoj hvězd*. matfyzpress.

- HARMANEC, P., BISIKALO, D. V., BOYARCHUK, A. A. a KUZNETSOV, O. A. (2002). On the role of duplicity in the Be phenomenon. I. General considerations and the first attempt at a 3-D gas-dynamical modelling of gas outflow from hot and rapidly rotating OB stars in binaries. , **396**, 937–948. doi: 10.1051/0004-6361:20021534.
- HARPER, W. E. (1937). The radial velocities of 917 stars. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria*, **7**, 1–97. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1937PDAO....7....1H>.
- HØG, E., FABRICIUS, C., MAKAROV, V. V., URBAN, S., CORBIN, T., WYCOFF, G., BASTIAN, U., SCHWEKENDIEK, P. a WICENEC, A. (2000). The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars. , **355**, L27–L30.
- HOUK, N. a SWIFT, C. (1999). Michigan catalogue of two-dimensional spectral types for the hd stars, vol. 5. In *Michigan Spectral Survey, Ann Arbor, Dep. Astron., Univ. Michigan, Vol. 5, p. 0 (1999)*, volume 5, page 0. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1999MSS...C05...0H>.
- HUANG, S. S. (1973). Profiles of emission lines in Be stars. II. Interpretation of the long-period V/R variation. , **183**, 541. doi: 10.1086/152245.
- JASCHEK, M. a EGRET, D. (1982). Catalog of Be stars. In JASCHEK, M. a GROTH, H. G., editors, *Be Stars*, volume 98 of *IAU Symposium*, page 261.
- KŘÍŽ, S. (1976). On the V/R Variation of Emission in Be Stars. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, **27**, 321.
- KŘÍŽ, S. a HARMANEC, P. (1975). A Hypothesis of the Binary Origin of Be Stars. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, **26**, 65.
- ŠKODA, P. (1996). SPEFO—A Simple, Yet Powerful Program for One-Dimensional Spectra Processing. In JACOBY, G. H. a BARNES, J., editors, *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, volume 101 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 187.
- KOUBSKÝ, P., GULLIVER, A. F., HARMANEC, P., BALLEREAU, D., CHAUVILLE, J., GRÁF, T., HORN, J., ILIEV, L. H. a LYONS, R. W. (1989). Properties and nature of be stars. xiii - radial-velocity variations of the shell star v923 aql (hd 183656) in the past sixty years. *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, **40**, 31–41. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1989BAICz..40...31K>.
- LABADIE-BARTZ, J., PEPPER, J., MCSWAIN, M. V., BJORKMAN, J. E., BJORKMAN, K. S., LUND, M. B., RODRIGUEZ, J. E., STASSUN, K. G., STEVENS, D. J., JAMES, D. J., KUHN, R. B., SIVERD, R. J. a BEATTY, T. G. (2017). Photometric variability of the be star population. , 153:252. doi: 10.3847/1538-3881/aa6396. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017AJ...153..252L>.
- LYNDS, C. R. (1960). The Light-Variations of HD 183656. , **131**, 390. doi: 10.1086/146842.

- McLAUGHLIN, D. B. (1961). The Bright-Line Stars of Class B (concluded). , **55**, 73.
- MENNICKENT, R. E., VOGT, N. a STERKEN, C. (1994). Long-term photometry of Be stars. I. Fading events and variations on time scales of years. , **108**, 237–250.
- MERRILL, P. W. (1952). Measurements in the spectra of ten shell stars. , **116**, 501. doi: 10.1086/145642. URL <http://adsabs.harvard.edu/abs/1952ApJ..116..501M>.
- OWOCKI, S. (2006). Formation and Evolution of Disks around Classical Be Stars. In KRAUS, M. a MIROSHNICHENKO, A. S., editors, *Stars with the B[e] Phenomenon*, volume 355 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 219.
- PAVLOVSKI, K., HARMANEC, P., BOZIC, H., KOUBSKY, P., HADRAVA, P., KRIIZ, S., RUZIC, Z. a STEFL, S. (1997). UVB photometry of Be stars at Hvar: 1972–1990. , **125**, 75–98. doi: 10.1051/aas:1997213.
- PERCY, J. R., COFFIN, B. L., DRUKIER, G. A., FORD, R. P., PLUME, R., RICHER, M. G. a SPALDING, R. (1988). Photoelectric Monitoring of Bright Be Stars. , **100**, 1555. doi: 10.1086/132365.
- PORTER, J. M. (1996). On the rotational velocities of Be and Be-shell stars. , **280**(3), L31–L35. doi: 10.1093/mnras/280.3.L31.
- RIVINIUS, T., BAADE, D., STEFL, S., STAHL, O., WOLF, B. a KAUFER, A. (1998). Stellar and circumstellar activity of the Be star MU Centauri. II. Multiperiodic low-order line-profile variability. , **336**, 177–190.
- RUŽDJAK, D. (2008). *Investigation of V/R variations in Be stars*. PhD thesis, University of Zagreb.
- STRUVE, O. (1931). On the Origin of Bright Lines in Spectra of Stars of Class B. , **73**, 94. doi: 10.1086/143298.
- WILLIAMS, T., KELLEY, C. a MANY OTHERS (2013). Gnuplot 4.6: an interactive plotting program. <http://gnuplot.sourceforge.net/>.

Seznam obrázků

1.1	Rektifikace spektra	4
1.2	Výsledné zrektifikované spektrum	5
1.3	Rektifikace zašuměného spektra	5
1.4	Měření RV	6
1.5	Zašumělé spektrum, měření RV	6
1.6	Měření centrální intenzity	7
2.1	Grafické prostředí SPELu - vstupní parametry	8
2.2	Grafické prostředí SPELu - výsledky	9
2.3	Grafické prostředí SPELu - výsledný fázový diagram	9
4.1	Dlouhodobý trend V923 Aql, černě pozorovaná RV (O), červeně zhlazená data (C), čára spojující zhlazené body (C) není zhlazující křivkou z programu hec13, jedná se pouze o spojení bodů	18
4.2	Dlouhodobý trend radiálních rychlostí získaných zhlazující křivkou (C), černě data z Koubský a kol. (1989), modře data z této práce, RV získané z spektrální čáry $H\alpha$ jádro	20
4.3	Dlouhodobý trend radiálních rychlostí získaných zhlazující křivkou (C), černě data z Koubský a kol. (1989), modře data z této práce, RV získané z spektrální čáry Si II	21
4.4	Graf proměnlivosti intenzit v čase, černě ekvivalentní šířka $H\alpha$ absorpce, modře intenzity spektrální čáry $H\alpha$ (Jádro, V a R vrcholky), červeně intenzity spektrálních čar Si II	24
4.5	Fotometrické měření ve filtru U, černě první soubor měření, červeně druhý soubor měření	25
4.6	Fotometrické měření ve filtru U, RJD = 52000–58500, černě první soubor dat, červeně druhý soubor dat, růžově fitující křivka $f(x)=(A*\sin(B*x+C)+D)$	26
4.7	U-B vs. B-V diagram, černě soubor 1, červeně soubor 2, modře hvězdy hlavní posloupnosti (V), růžově posloupnost veleobrů (Ia), zeleně čára zčervenání (v angl. reddening line)	26
4.8	Fotometrické měření v dostupných barevných filtrech a indexech, černě první soubor dat, červeně druhý soubor dat	27
4.9	Dlouhodobý trend V923 Aql, různé veličiny, červeně jsou vyznačeny RV (jedná se o zhlazená data, tedy křivku (C)), černě ekvivalentní šířka a intenzity spektrálních čar, zelenou jsou barevné filtry a indexy pro soubor 1 fotometrického měření, modře pak soubor 2	29
4.10	Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, $H\alpha$ vnější křídla 1.1, fáze s periodou $T= 214,76$ dní	30
4.11	Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, $H\alpha$ vnitřní křídla 1.5, fáze s periodou $T= 214,76$ dní	30
4.12	Fázový diagram radiálních rychlostí po použití programu deleni, $H\alpha$ core, fáze s periodou $T= 214,76$ dní	31
4.13	Fázový diagram radiálních rychlostí bez použití programu deleni, He I křídla, fáze s periodou $T= 214,76$ dní	31

4.14 Fázový diagram radiálních rychlostí bez použití programu deleni, Fe II, fáze s periodou $T = 214,76$ dní	32
4.15 Fázový diagram radiálních rychlostí použití programu deleni, Si II 2, fáze s periodou $T = 214,76$ dní	32
4.16 Krátkodobé změny pro různé filtry, RJD=52000–60000	34

Seznam tabulek

4.1	Přibližné hodnoty barevných filtrů	13
4.2	Měřené spektrální čáry, pro $H\alpha$ emisi byly RV měřeny na vnějších (ampl. ≈ 1.1) i vnitřních (ampl ≈ 1.5) křídlech a $H\alpha$ absorpčním jádru	14
4.3	Radiální rychlosti bez použití programu deleni, $H\alpha$ 1.1 a 1.5 označují vnější, respektive vnitřní křídla $H\alpha$ emise	16
4.4	Radiální rychlosti po použití programu deleni, $H\alpha$ 1.1 a 1.5 označují vnější, respektive vnitřní křídla $H\alpha$ emise	17
4.5	Tabulka ekvivalentní šířky a intenzit měřených spektrálních čar	23
4.6	Parametry získané ze SPELU po použití programu deleni	33