



MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV TEORETICKÉ FYZIKY
A ASTROFYZIKY



**Studium spektra chemicky
pekuliární hvězdy HD 114365**

Bakalářská práce

Jana Krčálová

Vedoucí práce: prof. Mgr. Jiří Krtička, Ph.D.

Brno 2012

Bibliografický záznam

Autor: Jana Krčálová
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Název práce: Studium spektra chemicky pekuliární hvězdy
HD 114365

Studijní program: Aplikovaná fyzika

Studijní obor: Astrofyzika

Vedoucí práce: prof. Mgr. Jiří Krtička, Ph.D.

Akademický rok: 2011/2012

Počet stran: 45

Klíčová slova: Hvězda; Spektrum; Spektrální čára; Radiální rychlost;
Chemicky pekuliární hvězda

Bibliographic Entry

Author Jana Krčálová
Faculty of Science, Masaryk University
Department of Theoretical Physics and Astrophysics

Title of Thesis: Study of spectra of chemically peculiar star
HD 114365

Degree programme: Applied Physics

Field of Study: Astrophysics

Supervisor: prof. Mgr. Jiří Krtička, Ph.D.

Academic Year: 2011/2012

Number of Pages: 45

Keywords: Star; Spectrum; Spectral line; Radial velocity;
Chemically peculiar star

Abstrakt

V předložené práci se zabývám studiem spekter chemicky pekuliární hvězdy HD 114365. Hlavním cílem práce je zpracování unikátní série spekter této hvězdy získané 2,2metrovým dalekohledem Evropské jižní observatoře v Chile v rámci projektu *087.D-0099: FEROS advanced test of model atmospheres: the comparison of chemically peculiar star variability with theoretical predictions*. Tématem práce je základní popis hvězdného spektra, identifikace čar vodíku a dalších chemických prvků ve spektru, nalezení spektrálních čar vykazujících proměnnost, z posuvu spektrálních čar je určena radiální rychlost. Dále jsou určeny spektrální čáry molekul vznikající průchodem atmosférou.

Abstract

In the thesis I study spectra of chemically peculiar star HD 114365. The main task is to elaborate a unique series of spectra of the star obtained with 2,2-meter telescope of Southern European Observatory in Chile under the project *087.D-0099: FEROS advanced test of model atmospheres: the comparison of chemically peculiar star variability with theoretical predictions*. The themes of the thesis are basic description of the stellar spectrum, lines identification of hydrogen and other chemical elements in the spectrum, finding the spectral lines with variability and the radial velocity determined by the shift of spectral lines. In addition, the spectral lines of molecules produced by entering through the atmosphere are identified.



Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student : Jana Krčálová
Studijní program : Aplikovaná fyzika
Studijní obor : Astrofyzika

Ředitel Ústavu teoretické fyziky a astrofyziky PŘF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

Studium spektra chemicky pekuliární hvězdy HD 114365

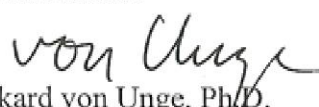
Study of spectra of chemically peculiar star HD 114365

Zásady pro vypracování:

Hvězda HD 114365 patří mezi nepříliš studované chemicky pekuliární hvězdy jižní oblohy. Cílem bakalářské práce je podrobné studium unikátní série spekter této hvězdy získané 2,2 m dalekohledem Evropské jižní observatoře v Chile. Výsledkem bakalářské práce by měl být základní popis hvězdného spektra, měla by být provedena identifikace čar ve spektru, nalezeny spektrální čáry vykazující proměnnost a určena radiální rychlost hvězdy. Literatura: Z. Mikulášek, J. Krtička: Fyzika horkých hvězd, MU, 2007

Vedoucí bakalářské práce : doc. Mgr. Jiří Krtička, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce : září 2011
Datum odevzdání bakalářské práce : dle harmonogramu ak. roku 2011/2012

V Brně dne 30. 11. 2011


Prof. Rikard von Unge, Ph.D.
ředitel Ústavu teoretické fyziky a astrofyziky
PŘF MU

Zadání bakalářské práce převzal dne: 6.12.2011

Podpis studenta



Poděkování

Chtěla bych poděkovat hlavně a převážně prof. Mgr. Jiřímu Krtičkovi, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci napsala sama a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejněním.

Brno 21.5.2012

.....
Jana Krčálová

Obsah

Kapitola 1.....	2
Úvod	2
Kapitola 2.....	3
Teoretická část.....	3
2.1 Elektromagnetické záření	3
2.2 Spektrum	5
2.3 Spektrální klasifikace.....	9
2.4 Horké hvězdy	11
2.5 Chemicky pekuliární hvězdy.....	13
2.6 Hvězda HD 114365.....	14
2.7 Dalekohled o průměru 2,2m La Silla v Chile.....	16
Kapitola 3.....	20
Praktická část	20
3.1 Identifikace čar	20
3.2 Radiální rychlost hvězdy	24
Kapitola 4.....	29
Závěr	29
Přílohy	30
Použité zdroje.....	49

KAPITOLA 1

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je analýza spekter (viz. *Příloha1*) hvězdy HD 114365, získané v rámci projektu ESO pomocí 2,2m dalekohledu na observatoři La Silla v Chile. V této práci se zabývám identifikací spektrálních čar hvězdy, spektrálních absorpčních čar, telurických čar zemské atmosféry, určením radiální rychlosti z čar vodíku a vytvořením křivek závislosti radiální rychlosti na fázi, odvozených z proměnnosti třech vybraných čar křemíku.

Práce je členěna na čtyři kapitoly. Ve druhé kapitole se zabývám teoretickými znalostmi důležitými pro správné analyzování a pochopení spektra. Tato kapitola je zpracována dle skript a knih uvedených v použitých zdrojích. Třetí kapitola se věnuje praktickému zpracování poskytnutých spekter. V závěru práce jsou shrnuty poznatky o hvězdě HD 114365, příloha obsahuje zpracovaná spektra s identifikací jednotlivých čar.

Hvězda HD 114365 patří do souhvězdí Kentaura, patří tedy na jižní oblohu. Dle údajů z databáze SIMBAD ^[2] je hvězda HD 114365 typu α^2 CVn. Součástí práce je ověření tohoto spektrálního typu.

KAPITOLA 2

TEORETICKÁ ČÁST

2.1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Tato kapitola je zpracována s pomocí učebnice [3].

Elektromagnetické záření má současně povahu částice a vlnění. Tuto charakteristiku nazýváme duální povahou elektromagnetického záření.

Elektromagnetické záření je kombinací příčného postupného vlnění elektrického pole a magnetického pole. Vektory elektrické intenzity a magnetické indukce jsou vzájemně kolmé a kolmé současně ke směru šíření vlny. Směr šíření udává tzv. Poyntingův vektor. Vlnění je charakterizováno vlnovou délkou λ , udávanou v metrech a jeho zlomcích. V astrofyzice se nejčastěji užívá jednotka Ångström, přičemž $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$. Místo vlnové délky můžeme užívat též veličinu zvanou frekvence ν , udávanou v hertzech: $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Tyto veličiny spolu souvisejí vztahem:

$$\nu = \frac{v_n}{\lambda},$$

kde v_n je rychlost šíření elektromagnetického záření prostředím. Tato rychlost je limitní ve vakuu, $c = 299\,793\,458 \text{ ms}^{-1}$.

V optickém prostředí platí pro rychlost šíření záření vztah:

$$v_n = \frac{c}{n},$$

kde n je index lomu prostředí. Pokud záření přechází z jednoho prostředí do druhého, mění se pouze vlnová délka záření, nikoliv jeho frekvence.

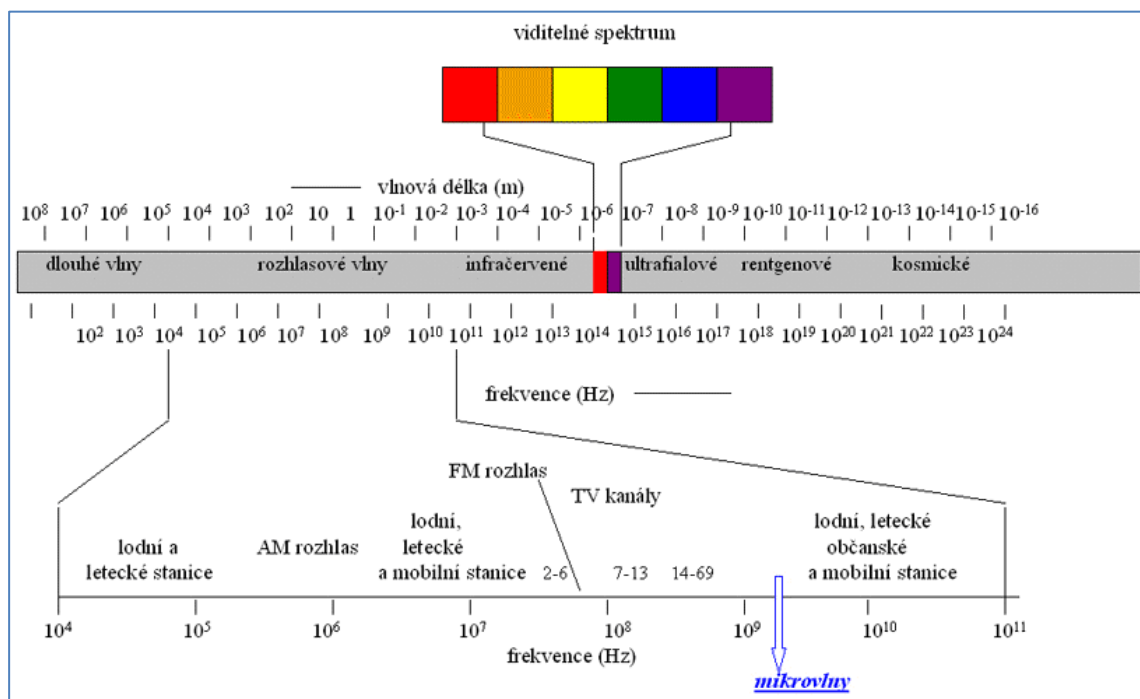
Elektromagnetické záření je tvořeno elementárními částicemi, tzv. fotony. Fotony jsou kvanta energie. Jeden foton nese energii:

$$E_\nu = h\nu,$$

kde h se nazývá Planckova konstanta, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$. Planckova konstanta a rychlost světla jsou základními konstantami kvantové fyziky. Z praktického hlediska dělíme spektrum elektromagnetických vln do několika navazujících oblastí. Jejich rozdělení je uvedeno v *Tabulce 1* a na *Obrázku 1*.

Záření	Vlnová délka
Rádiové	delší než 10 cm
Mikrovlnné	1 mm až 10 cm
Infračervené (IR)	740 nm až 1 mm
Optické – červená	625 až 740 nm
– oranžová	590 až 625 nm
– žlutá	565 až 590 nm
– zelená	520 až 565 nm
– modrá	430 až 520 nm
– fialová	380 až 430 nm
Ultrafialové (UV)	10 nm až 400 nm
Rentgenové (X)	0,1 nm až 10 nm
Gama (γ)	menší než 0,1nm

Tabulka 1 [4]



Obrázek 1 [5]

2.2 SPEKTRUM

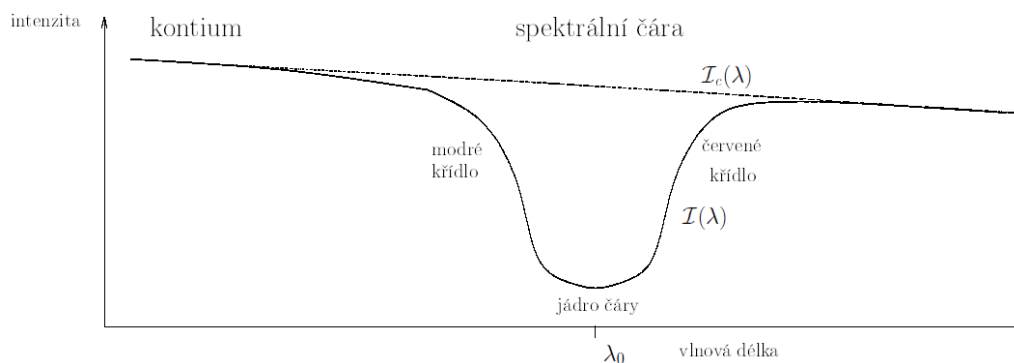
Tato kapitola byla zpracována pomocí skript [6].

Spektrum je jedním z nejdůležitějších zdrojů informací pocházejících z hvězd a kosmických objektů. Ve spektru je obsažen záznam o zdroji záření i o prostředí, kterým se záření šíří od zdroje.

Hvězdné spektrum zobrazuje zářivý tok hvězdy v závislosti na vlnové délce. V zobrazení hvězdného spektra se ale většinou místo veličiny zářivého toku využívá intenzity záření $I(\lambda)$, která je přímo úměrná zářivému toku.

Ve spektru nalézáme (viz. *Obrázek 2*):

- spojité spektrum
- spektrální čáry



Obrázek 2: Spektrum – spojité spektrum, spektrální čára [6]

Celé spektrum se skládá z několika částí - spojitého spektra, které vzniká díky volně-volným a vázaně-volným přechodům v atomu, a rozptylu. Na pozadí spojitého spektra se promítají spektrální čáry, které jsou důsledkem vázaně-vázaných přechodů. V závislosti na vlnové délce se čarové spektrum mění velmi rychle, spektrum spojité se naopak s vlnovou délkou mění pomalu. Ze spojitého spektra se získávají informace například o efektivní povrchové teplotě hvězdy. Mnohem více informací se dá získat rozбором spektrálních čar, z těch můžeme vyčíst chemické složení, radiální rychlost či proměnnost hvězdy.

Spektroskopie je velice mocným nástrojem astronomie. Ze spektra získáváme informace o chemickém složení hvězdy. Na základě několika fyzikálních zákonů lze odhadnout nejen složení hvězdných objektů, ale také pomocí těchto údajů spočítat jejich efektivní teplotu, dle efektivní teploty dále dopočítat poloměr, vzdálenost, hvězdnou velikost a další charakteristiky.

PROFIL SPEKTRÁLNÍCH ČAR

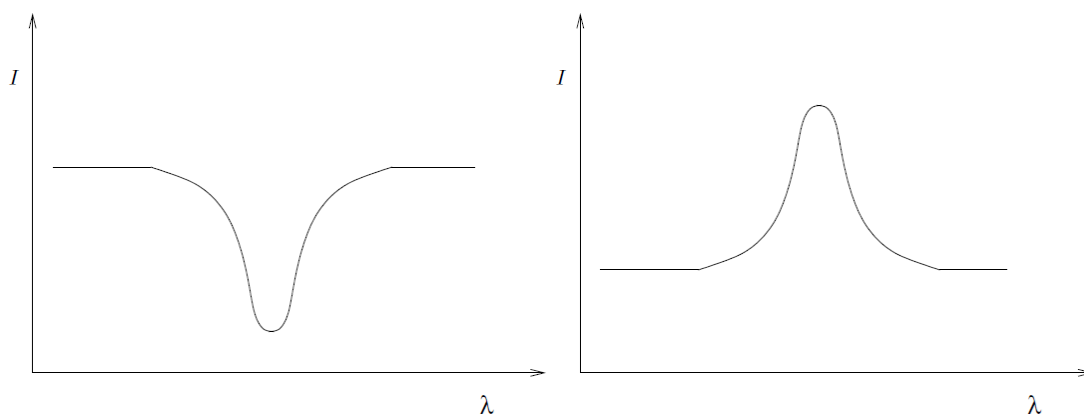
Spektrální čáry vznikají jako důsledek závislosti teploty na výšce v atmosféře.

Existují dva typy profilů spektrálních čar (viz. *Obrázek 3*):

- absorpční
- emisní

Absorpční profil je obvyklejší, než profil emisní. Nalézáme ho ve většině spekter hvězd. Je způsoben klesající teplotou s výškou v atmosféře. Čára tedy září na teplejším pozadí a díky tomu pohlcuje (absorbuje) záření.

Emisní profil vzniká typicky v atmosférách, ve kterých teplota s výškou roste. Emisní profily nalézáme také u hvězd s obálkou.



Obrázek 3: Absorpční spektrum

Emisní spektrum ^[6]

ROZŠÍŘENÍ SPEKTRÁLNÍCH ČAR

V získaném hvězdném spektru je profil čar vytvořen díky několika jevům a nese informace o oblastech, ve kterých se záření vytváří. Na profil čáry působí mnoho procesů, které jeho vzhled ovlivňují a mohou ho i významným způsobem modifikovat. Většinou se tyto procesy projeví rozšířením spektrální čáry.

Nyní uvedu několik možných mechanismů rozšíření spektrálních čar:

- *přirozená šířka čáry*

Je určena pomocí Heisenbergova principu neurčitosti. Většinou je tato šířka velmi malá, proto ji můžeme zanedbat. Rozšíření přirozené šířky čáry udává Lorentzův profil

$$\Phi(\nu) = \frac{\frac{\gamma}{4\pi^2}}{(\nu - \nu_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{4\pi}\right)^2},$$

kde ν_0 je frekvence středu čáry, parametr γ souvisí s četností přechodu z excitovaného stavu.

- *srážkové rozšíření čáry*

Vzniká v důsledku přítomnosti dalších částic v okolí vyzařujícího atomu. Čím je koncentrace částic větší, tím více se toto rozšíření projeví. Srážkový profil je dán Lorentzovým profilem

$$\Phi(\nu) = \frac{\frac{\Gamma}{4\pi^2}}{(\nu - \nu_0)^2 + \left(\frac{\Gamma}{4\pi}\right)^2},$$

kde Γ je parametr udávající šířku čáry.

- *Dopplerovo rozšíření čáry*

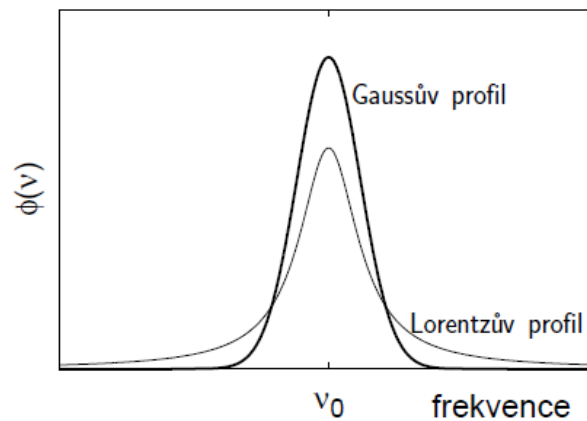
Vzniká jako důsledek neuspořádaného pohybu částic a Dopplerova jevu. Je významný u látek s nízkou hustotou a vysokou teplotou. Profil spektrální čáry rozšířené v důsledku neuspořádaného pohybu částic a Dopplerova jevu je dán Gaussovou funkcí

$$\Phi(\nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi}\Delta\nu_D} \exp\left[-\frac{(\nu - \nu_0)^2}{\Delta\nu_D^2}\right],$$

kde pološířka rozdělení souvisí s teplotou látky vztahem

$$\Delta\nu_D = v_{tep} \frac{v_0}{c}, \quad v_{tep} = \sqrt{\frac{2kT}{m}},$$

kde m je hmotnost absorbujících částic.



Obrázek 4: Gaussův a Lorentzův profil [6]

Kombinací Gaussova a Lorentzova profilu získáváme profil Voightův. V případě, že je srážkové nebo Dopplerovo rozšíření zanedbatelné (pro hvězdy s minimálními srážkami částic a pro hvězdy bez rotace a dalších druhů rozšíření), přechází tato funkce na Gaussovu nebo Lorentzovu funkci. K celkovému profilu čáry přispívá často několik druhů mechanismů rozšíření. Pozorovaný profil má tedy většinou složitější tvar, než jsou uvedené funkce.

- *mikroturbulentní rozšíření*
Souvisí s turbulentními pohyby částí hmoty v atmosféře hvězdy.
- *rotační rozšíření*
Důsledkem rotace hvězdy se k nám jedna část jejího povrchu přibližuje, druhá vzdaluje. Pro některé čáry je tento druh rozšíření velmi důležitý. Z velikosti tohoto rozšíření můžeme určit průmět rotační rychlosti hvězdy

$$v = v_{rot} \sin i,$$

kde i je úhel sklonu rotační osy hvězdy vůči pozorovateli. Žádné rozšíření tedy nepozorujeme, pokud je rotační osa namířena na pozorovatele.

2.3 SPEKTRÁLNÍ KLASIFIKACE

Tato kapitola byla zpracována na základě knihy [7].

Každé spektrum je zcela jedinečné a odlišné od ostatních, existují však skupiny hvězd, jejichž spektra mají podobné znaky. Éra soustavného průzkumu spekter hvězd začala v první polovině 19. století. Tehdy Angelo Secchi vytvořil čtyři hvězdné kategorie, do kterých roztrídil na 4000 hvězd. Stal se tak zakladatelem hvězdné klasifikace. V současnosti se používají dva základní spektrální systémy: Harvardská klasifikace a Yerkeská klasifikace, také známá jako Morganova-Keenanova klasifikace.

HARVARDSKÁ KLASIFIKACE

Harvardská klasifikace je založena na pozorování spekter velkého množství hvězd. Pickering se spolupracovníky tato spektra rozdělil do několika tříd symbolizovaných velkými písmeny: O-B-A-F-G-K-M, Annie Jump Cannon se spolupracovníky dále klasifikaci doplnila o podtřídy značené čísly od 0 do 9, aby tímto ještě jemnějším dělením rozlišila i malé odlišnosti ve spektrech. Taktéž zpracovala základní popis každého typu. K jednotlivým spektrům přidávala navíc poznámky o pekulárnosti, emisních čarách a dalších anomáliích. Celá práce Cannonové je shrnuta v Henry Draperově katalogu (tzv. HD katalog), nejrozsáhlejší katalogu hvězdných spekter, který stále patří k základním astronomickým publikacím. V devíti svazcích jsou informace o 225 300 hvězdách, o jejich polohách, jasnostech a samozřejmě spektrech.

Posloupnost spektrálních tříd není náhodná, jedná se o tzv. teplotní posloupnost. Povrchové (efektivní) teploty narůstají od spektrálních tříd M, K, G, F k třídám A, B, O. Pro efektivní teplotu hvězdy platí:

$$L = \sigma T_{ef}^4 4 \pi R^2.$$

V minulosti se ujalo označení teplejších hvězd jako tzv. raných (třídy O až F), hvězd chladnějších naopak jako pozdních (třídy K, M, někdy i F a G). Toto označení pochází ze zastaralého názoru, že hvězdy vznikají jako žhavá zářící tělesa a postupně chladnou.

U hvězd spektrálních tříd O a B převládají čáry helia, uhlíku a kyslíku, u třídy A pak čáry vodíku. Pro hvězdy typu F a G jsou charakteristické čáry kovů, zejména železa. U chladnějších hvězd tříd K a M se objevují čáry a především pásy, náležející víceatomovým molekulám (viz. *Tabulka 2*).

Spektrální třída	Efektivní teplota	Charakteristické čáry
O	28 000 – 40 000 K	He II, He I, H I, O III, N III, C III, Si IV
B	10 000 – 28 000 K	He I, H I, C II, O II, N II, Fe III, Mg III
A	7000 – 10 000 K	H I (Balmerova série), ionizované kovy
F	6000 – 7000 K	H I, Ca II, Ti II, Fe II
G	5000 – 6000 K	Ca II, neutrální kovy, jednoduché molekuly
K	3500 – 5000 K	Ca I, neutrální kovy, molekuly
M	2500 – 3500 K	Pásy molekul TiO, čáry Ca I

Tabulka 2: Spektrální třídy

MORGANOVA-KEENANOVA KLASIFIKACE

Harvardský systém se doplňuje o tzv. Yerkeský systém, známý též jako Morganova-Keenanova spektrální klasifikace vytvořená W.W.Morganem, P.C.Keenanem a jejich spolupracovníky. Hlavní inovace tohoto systému tkvěla v zavedení druhého parametru pro posuzování spektra, a to dle šířky čar související se svítivostí hvězdy. Byly zavedeny luminozitní třídy, značené římskými číslicemi od I do VII, které lokalizují polohu hvězdy v H-R diagramu (viz. *Tabulka 3*).

Luminozitní třída	
Ia	Jasní veleobři
Ib	Veleobři
II	Nadobři
III	Obři
IV	Podobři
V	Hvězdy hlavní posloupnosti
VI	Podtrpaslíci
VII	Bílí trpaslíci

Tabulka 3: Luminozitní třídy

Pokud známe zařazení hvězdy dle Yerkovského klasifikace, můžeme stanovit velké množství informací o hvězdě - dle tabulek stanovíme efektivní teplotu, její absolutní hvězdnou velikost, z absolutní hvězdné velikosti dále můžeme dle vzorce:

$$M_v = m_v + 5 - 5 \log r - A_v,$$

(pokud známe pozorovanou hvězdnou velikost m_v a mezihvězdnou extinkci A_v) určit vzdálenost r objektu. Spektrum hvězdy dále dává informaci o gravitačním zrychlení:

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

kde M je hmotnost objektu, R vzdálenost od středu objektu (poloměr) a G je gravitační konstanta ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$).

2.4 HORKÉ HVĚZDY

Kapitola byla zpracována na základě skript [6].

Dříve se dělily hvězdy na rané a pozdní, dělicí čáru tvořilo naše Slunce. Toto dělení bylo zavedeno na základě všeobecné představy o vývoji hvězd. Hvězda se rodí jako žhavý objekt, který postupem času chladne. Hvězdy teplejší než Slunce byly tedy pokládány za vývojově mladší, naopak hvězdy chladnější byli v pokročilejším stadiu vývoje oproti Slunci. Dnes je již tato představa o vývoji hvězd překonána.

V dnešní době dělíme hvězdy na hvězdy horké a chladné, přičemž pomyslnou dělicí čáru tvoří uměle určená hranice, tj. spektrální typ F2 - efektivní teplota kolem 7000 K. Toto dělení na horké a chladné hvězdy vychází jak z kvalitativních, tak z kvantitativních charakteristik, zejména pak z vnějšího chování hvězdy.

Pro efektivní teplotu hvězdy platí vztah:

$$L = \sigma T_{ef}^4 4 \pi R^2.$$

Pro povrchové gravitační zrychlení:

$$g = \kappa \frac{M}{R^2}.$$

V těchto dvou vztazích jsou shrnuty základní charakteristiky hvězdy: hmotnost M , zářivý výkon L , poloměr fotosféry R a efektivní teplota T_{ef} . κ a σ jsou konstanty, přičemž $\kappa = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$; $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

Dělení hvězd na horké a chladné provádíme na základě pozorovaných vnějších charakteristik. Tyto charakteristiky velmi závisí na vnitřní teplotě hvězdy, která určuje, zdali se bude tok energie v podpovrchových vrstvách přenášet zářením (hvězdy horké), či konvekcí (hvězdy chladnější).

Díky konvekci jsou u hvězd chladnějších vnější vrstvy v pohybu, tento pohyb zapříčiňuje generování mohutných lokálních magnetických polí. V atmosférách těchto hvězd sledujeme projevy hvězdné aktivity. Existence či neexistence aktivity slunečního typu, výskyt aktivních oblastí v povrchových vrstvách hvězdy, výskyt chromosfér a korón, a výskyt dlouhodobé či přechodné hvězdné aktivity (fotosférické skvrny, erupce, protuberance) - tyto znaky společně s pomalejší rotací náleží hvězdám chladným.

Pro hvězdy horké je naopak typická vysoká rotační rychlost, vysoké teploty a pomalá zářivá difuze (vedoucí až k jevu chemicky pekuliárních hvězd), klidné atmosféry a výskyt stabilních globálních magnetických polí. Horké hvězdy tvoří nesourodou směsici hvězd v různém stadiu vývoje, s různou velikostí, hmotností a předchozím vývojem. Nejvíce horkých hvězd se nalézá na H-R diagramu v oblasti hlavní posloupnosti populace I, dále najdeme horké hvězdy mezi bílými trpaslíky a veleobry.

Díky výběrovému efektu pozorujeme velké množství horkých hvězd, ale ve skutečnosti je jich nepoměrně méně než hvězd chladných, které se hůře pozorují. Horké hvězdy jsou v tomto zvýhodněny svými zářivými výkony.

2.5 CHEMICKY PEKULIÁRNÍ HVĚZDY

Tato kapitola byla zpracována dle skript [6].

Chemicky pekuliární hvězdy (též CP hvězdy) jsou horké hvězdy horní části hlavní posloupnosti s efektivními teplotami od 7000 K do 30000 K s anomálním chemickým složením povrchových vrstev, které zapříčiňuje jejich zvláštní spektrum. Jsou to hvězdy spektrálních tříd F2 až B0 s hmotnostmi od 1,5 do 15 hmotností Slunce.

CP hvězdy označujeme dle jejich základních charakteristik jako Ap hvězdy, Am (metalické) hvězdy, hvězdy typu λ 4200-Si, Mn, Si, SiCrEu, EuCrSr, Sr; Bp hvězdy, mezi něž řadíme He-slabé, He-silné hvězdy; Hg-Mn hvězdy; magnetické hvězdy a spektrálně proměnné hvězdy.

Míra pekuliránosti hvězd se obecně liší od téměř normální až po velmi anomální. Odchytky od standardního spektra pozorujeme zhruba u 10 % hvězd.

Anomálie ve spektru odrážejí přebytek nebo deficit příslušných prvků v atmosféře hvězdy. CP hvězdy v porovnání s normálními hvězdami hlavní posloupnosti o stejné efektivní teplotě mají stejné poloměry, hmotnosti, zářivé výkony a další charakteristiky určené vnitřní stavbou hvězdy. Anomálie je tedy pouze v povrchových vrstvách.

V letech 1970 a 1981 Michaud se spolupracovníky poprvé zveřejnili původ chemické anomálie v hypotéze, podle níž jsou pozorované chemické anomálie důsledkem zářivé difuze, což je pomalý proces vztlínání atomů s velkým účinným průřezem vůči procházejícímu záření a sedimentace opticky neaktivních atomů.

Děje vedoucí ke vzniku anomálie jsou velmi pomalé, a proto potřebují stabilní a klidné prostředí v povrchových vrstvách. Podmínkou jsou tedy neaktivní, velmi stabilní a nepohyblivé podpovrchové vrstvy. Hvězdy hlavní posloupnosti v teplotním intervalu od 7000 K do 30000 K se vyznačují relativně klidnými vnějšími vrstvami. U chladnějších hvězd se povrchové vrstvy mísí pomocí podpovrchové konvekce, naopak u hvězd teplejších než 30000 K dochází k obroušování vnějších vrstev silným hvězdným větrem. Pro rozvinutí anomálie na povrchu hvězdy je též důležitá pomalá rotace.

KLASIFIKACE CP HVĚZD

Tato standardní Prestonova-Maitznerova klasifikace (viz. *Tabulka 4*) uvádí jednotlivé typy pekuliráních hvězd řazeny dle rostoucí teploty.

Prestonova-Maitznerova klasifikace	
CP1	klasické metalické Am hvězdy, zpravidla bez silného magnetického pole, většinou složky dvojhvězd s vázanou rotací
CP2	magnetické hvězdy, spektrálně proměnné Ap a Bp hvězdy, označovány též mCP – magnetické CP hvězdy
CP3	rtuťovo-manganové hvězdy, vysokoteplotní varianca CP1 hvězd
CP4,5	heliově slabé hvězdy se zjevným nedostatkem helia a nadbytkem He ³
CP6,7	heliově silné hvězdy s nadbytkem helia

Tabulka 4

2.6 HVĚZDA HD 114365

Ve své práci se budu zabývat hvězdou HD 114365. Toto označení pochází z katalogu Henryho Drapera (odtud HD), šestimístné číslo 114365 udává číslo zařazení hvězdy v katalogu. Hvězda může být označována i jinými názvy (některé z nich jsou uvedeny v *Tabulce 5 – Označení hvězdy*). *Tabulka 6 (Základních charakteristiky hvězdy)* uvádí obecné informace o hvězdě - její radiální rychlost, polohu, vzdálenost, spektrální typ a další. Hvězda se nachází v souhvězdí Kentaura, které nalezneme na jižní obloze. Řadíme ji mezi proměnné hvězdy typu α^2 CVn [8].

CHARAKTERISTIKA HVĚZD TYPU α^2 CVn

Hvězdy typu α^2 CVn (*Canum Venaticorum*) jsou rotující chemicky pekuliární hvězdy spektrálního typu B8-A7 V se silným dipólovým magnetickým polem. Ke světelným změnám, doprovázeným změnami intenzity některých spektrálních čar a variacemi podélné složky indukce magnetického pole, dochází v důsledku nehomogenního rozložení chemických prvků po povrchu hvězdy. To je výsledkem pomalých procesů v klidné atmosféře navíc stabilizované mohutným globálním magnetickým polem. Rotační periody činí 0,5 až 160dní, amplitudy světelných změn nepřesahují 0,1mag. [9]

Označení hvězdy

HD 114365

V* V824 Cen

GCRV 63885

HIP 64320

UBV M 19091

HR 4965

uvby98 100114365 V

Tabulka 5 ^[8]

Základní charakteristiky hvězdy

Souřadnice	Rektascenze	13h 10m 58,432s
	Deklinace	-52° 34' 00,83''
Hvězdná velikost	B	5.957
	V	6.035
Spektrální typ	Ap	C
Radiální rychlost	26 ± 10 km/s	

Tabulka 6 ^[8]

Jelikož souhvězdí Kentaura se nachází na jižní polokouli, nedělala jsem bohužel přímá pozorování této hvězdy, neb z naší polokoule není pozorovatelná. Naměřené hodnoty, které ve své práci používám, jsou převzaty z pozorování získaných na observatoři v Chile 2,2m dalekohledem Evropské jižní observatoře.

Spektrum hvězdy HD 114364 bylo pořízeno ve dnech 1.8.2011 - 6.8.2011 v rámci programu ESO (European Southern Observatory) pomocí 2,2m dalekohledu MPI a jeho části FEROS v rámci projektu *087.D-0099: FEROS advanced test of model atmospheres: the comparison of chemically peculiar star variability with theoretical predictions* ^[1]. Data napozorovali Jan Janík a Jan Skalický, Jan Janík je dále zpracoval. Jedná se o 20 zpracovaných spekter hvězdy HD 114365 (viz. *Příloha 1*) v rozmezí vlnových délek od optické až po infračervené, tj. od 3800 Å do 8000 Å. Spektrum má normované hodnoty intenzity, ta je udávána v instrumentálních jednotkách.

2.7 DALEKOHLED O PRŮMĚRU 2,2M LA SILLA V CHILE

Informace jsou přežaty ze stránek ESO [10].

ESO, Evropská jižní observatoř, je nejvýznamnější mezivládní astronomická organizace v Evropě a nejproduktivnější astronomická observatoř na světě. ESO poskytuje astronomům nejmodernější výzkumná zařízení. Jejimi členy jsou Belgie, Brazílie, Velká Británie, Česká republika, Dánsko, Finsko, Francie, Německo, Itálie, Nizozemsko, Portugalsko, Rakousko, Spojené království, Španělsko, Švédsko a Švýcarsko. Několik dalších zemí vyjádřilo o členství zájem.

ESO provozuje v oblasti pouště Atacama v Chile tři unikátní observatoře světové úrovně: La Silla, Paranal a Chajnantor.

Observatoř La Silla leží 600 km severně od Santiaga de Chile v nadmořské výšce 2400 m na hoře La Silla a je baštou ESO od 60. let 20. století. ESO zde provozuje několik nejproduktivnějších dalekohledů ze třídy čtyřmetrů na světě.



Obrázek 5: FEROS [14]

Observatoř La Silla je první observatoří světové třídy, které bylo uděleno osvědčení Mezinárodní Organizace pro standardizaci (ISO) 9001 Quality Management System, potvrzující kvalitu systému řízení. Infrastrukturu na La Silla též využívá mnoho členských zemí ESO pro své vlastní projekty s konkrétním zaměřením. Najdeme zde například 1,2m švýcarský dalekohled Euler, italský dalekohled Rapid-Eye Mount (REM) a francouzský přístroj TAROT pro hledání záblesků záření gama, stejně jako některá běžnější zařízení, jako MPG/ESO 2,2m a dánský 1,5m teleskop. Širokoúhlý zobrazovač WFI (Wide Field Imager) se 67 miliony pixelů umístěný na 2,2m dalekohledu už pořídil řadu

ohromujících snímků nebeských objektů, z nichž se některé staly přímo ikonami.

Observatoř La Silla je umístěna na okraji chilské pouště Atacama, což je jedna z nejsušších a nejosamělejších oblastí světa. Podobně jako další observatoře v této zeměpisné oblasti je i La Silla situována daleko od zdrojů světelného znečištění a – stejně jako observatoř Paranal, kde sídlí Velmi velký teleskop VLT – se těší tak temnému nočnímu nebi, jak é se dá pozorovat jen málokde na Zemi.

2,2m dalekohled MPG/ESO je v provozu na La Silla od počátku roku 1984, je vypůjčen z Max Planck Gesellschaft (MPG) na dobu neurčitou. Pozorovací čas je rozdělen mezi pozorovací programy ESO a MPG, zatímco provoz a údržbu zajišťuje ESO. Na dalekohledu jsou umístěny tři přístroje: 67milion pixelový WFI (Wide Field Imager) se zorným polem velkým jako Měsíc v úplňku, GROND na hledání gama záblesků a prohledávání optické oblasti blízké infračerveným vlnovým délkám a FEROS, spektroskop s vysokým rozlišením, který se používá k podrobnému studování hvězd.



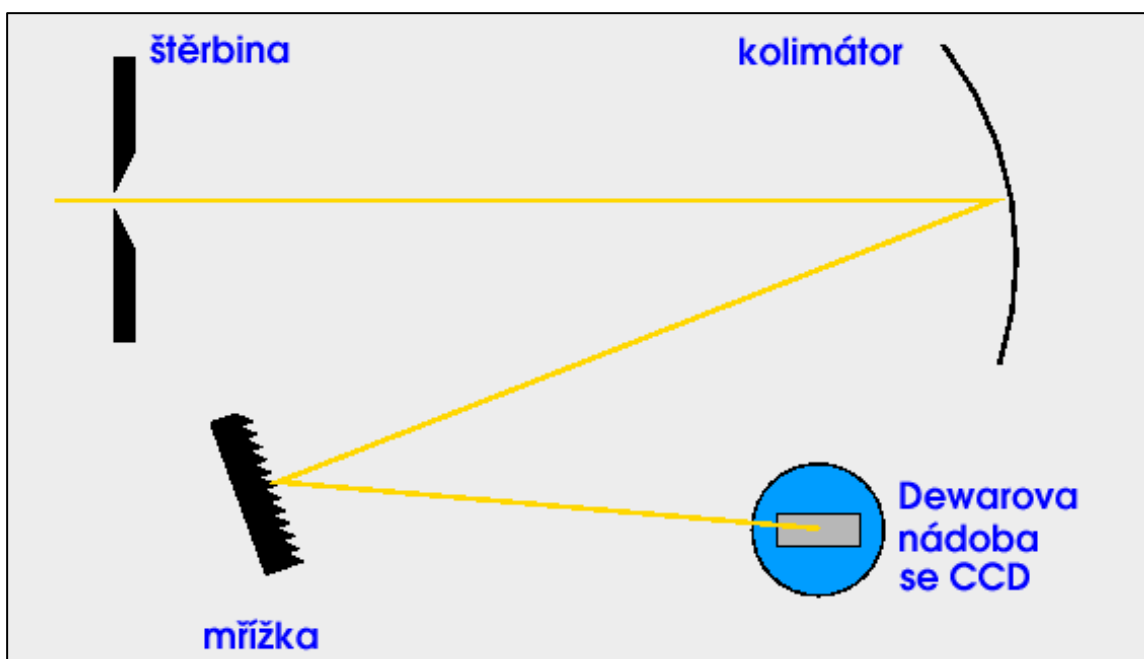
Obrázek 6: MPG/ESO 2,2m [11]

FEROS

Přístroj FEROS (Fibre-fed Extended Range Optical Spectrograph) je optický spektrograf s vysokým rozlišením. Je umístěn v jednom z nejlepších pozorovacích astronomických míst na světě – observatoři na hoře La Silla v Chile.

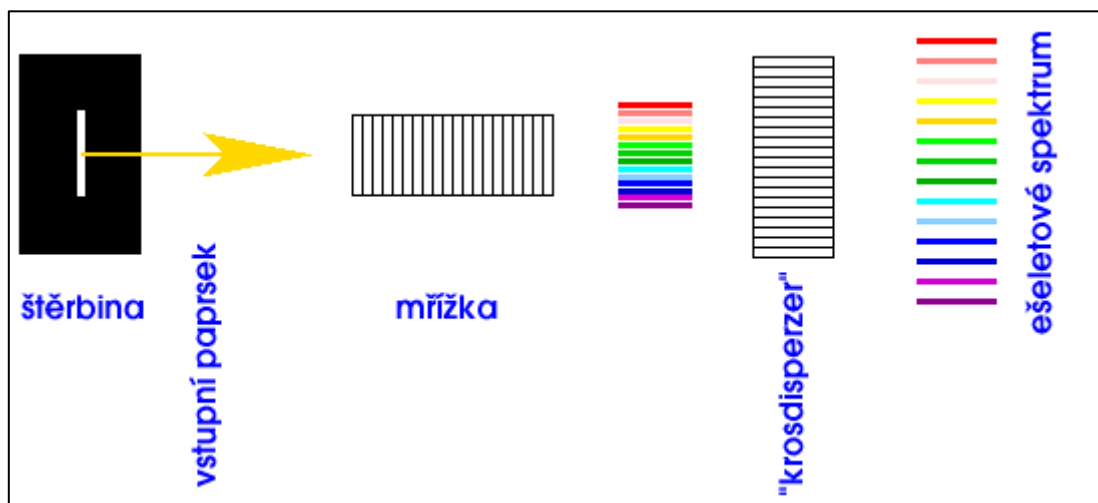
Vysoká účinnost ($\sim 20\%$), velký rozsah vlnových délek (FEROS poskytuje kompletní zachycení optické oblasti spektra v jedné expozici) a vysoké rozlišení ($R = 48000$), umožňuje realizaci velkého množství programů zaměřených na extra-galaktická a stelární spektroskopická pozorování, která vyžadují vysokou spektrální stabilitu.

[12] Typický spektrograf (viz. *Obrázek 7*) funguje na principu rozkladu světla na optickém členu (hranol, mřížka) do spektra, které zaznamenáváme dnes již zpravidla na CCD. Kromě těchto dvou prvků se ve spektrografu nachází ještě štěrbinu a kolimátor. Štěrbina se klade do ohniska dalekohledu před vlastní tělo spektrografu, aby se dosáhlo ostrého obrazu spektra. Čím je štěrbinu užší, tím je rozlišovací schopnost lepší. Na úkor ostroty se ale snižuje účinnost přístroje, neboť se vlivem úzké štěrbinu ztrácí velká část světla. Kolimátor, nacházející se mezi štěrbinou a mřížkou, vytváří z rozbíhavého svazku svazek rovnoběžný, dopadající teprve na mřížku. Tímto způsobem se zobrazí na CCD čip pouze jeden řád.



Obrázek 7: Typický spektrograf [12]

Spektrograf FEROS je typu Échelle. Échelle spektrograf funguje poněkud odlišným způsobem. Dokáže naráz vykreslit velké množství spektrálních řádů, které se částečně překrývají. Lze je tedy poskládat dohromady a získat tak rozsáhlý úsek spektra najednou. V praxi se tedy na prvním disperzním členu spektrografu vytvoří obraz mnoha spektrálních řádů, které se překrývají. Tento obraz se promítá na další disperzní člen, který je kolmo k prvnímu. Druhý člen se postará o rozložení jednotlivých řádů tím, že je promítne jednotlivě do řady nad sebe.



Obrázek 8: Échelle spektrograf [12]

KAPITOLA 3

PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 IDENTIFIKACE ČAR

Abychom mohli přejít k identifikaci čar, musíme nejdříve získat kvalitní vysokodisperzní spektrum s vysokým poměrem signál/šum. Spektra CP hvězd jsou navíc velmi komplikovaná, určení jednotlivých čar stěžují následující problémy:

- spektrální čáry jsou většinou překryty několika dalšími čarami, dochází k tzv. blendům,
- ve spektrech se vyskytují čáry málo běžných prvků, pro něž nemáme spolehlivá atomární data,
- v důsledku magnetického pole mohou být čáry rozštěpeny,
- prvky jsou po povrchu rozloženy nerovnoměrně, takže vzhled čar se vcelku výrazně mění v závislosti na rotaci.

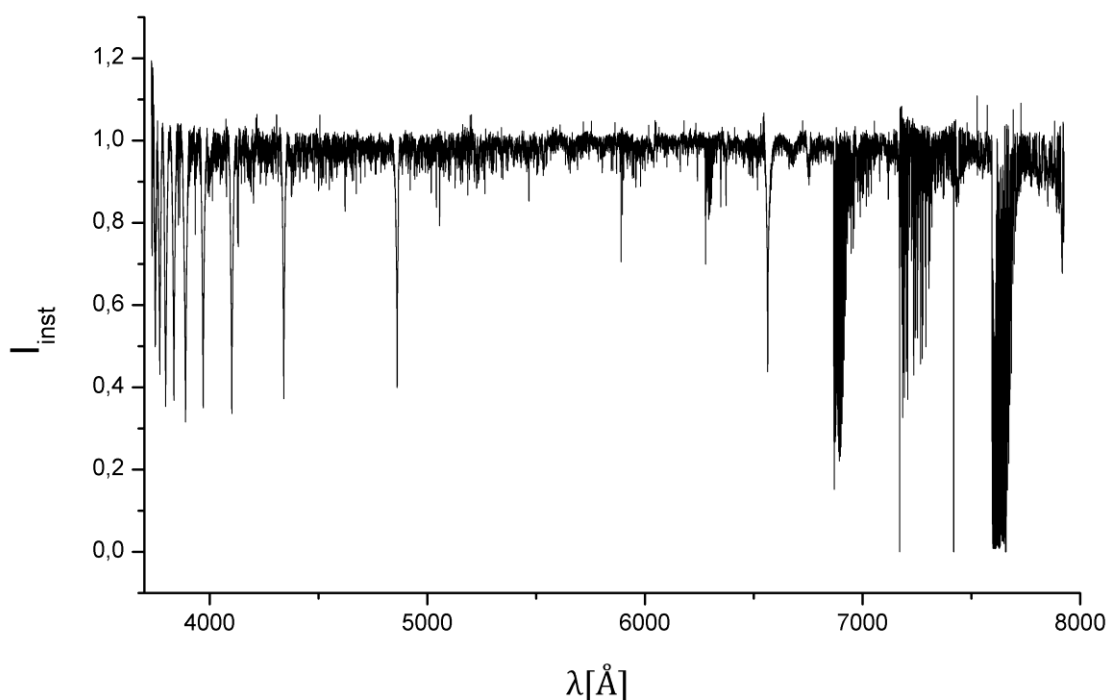
MODELY ATMOSFÉR

Pro výpočet modelů atmosfér se všeobecně využívají následující rovnice: rovnice přenosu záření, rovnice energiové rovnováhy, rovnice popisující obsazení hladin, rovnice hydrostatické rovnováhy a rovnice toku energie prostřednictvím konvekce (ta se ale u horkých hvězd většinou neuplatňuje). Parametry pro výpočet modelů hvězdných atmosfér jsou efektivní teplota, velikost gravitačního zrychlení na povrchu, předpokládané chemické složení atmosféry a případně poloměr hvězdy. Existují dva typy modelů – LTE modely (využívající předpoklad LTE) a

NLTE modely (pro tyto modely používáme obecnější rovnice statické rovnováhy). Klasickým příkladem LTE modelů je ATLAS9 (Kurucz), pro NLTE modely se používá program TLUSTY (Hubený).^[13]

VLASTNÍ IDENTIFIKACE ČAR

Získaná data jsou ve velmi širokém rozsahu vlnových délek s vysokým poměrem signál/šum. Spektra jsou měřena v dvou expozičních dobách, jedna je 300 s, druhá 600 s. Poskytnuté spektrum má normované hodnoty intenzity, intenzita je udávána v instrumentálních jednotkách. Vykreslením dat do grafu tedy získáváme velmi podrobné spektrum hvězdy HD 114365 (viz. *Obrázek 9*).



Obrázek 9: Spektrum 01 (viz. Příloha 1) hvězdy HD 114365

Celé spektrum jsem poté rozdělila na menší oblasti a v těchto oblastech určovala jednotlivé čáry prvků srovnáním s poskytnutým namodelovaným syntetickým spektrem pomocí programu SYNSPEC.

Nejvýraznější čáry ve spektru jsou čáry vodíku (H α , H β , H γ , H δ , H ϵ , H I), dalšími nepřehlédnutelnými čarami jsou silné čáry ionizovaného křemíku (Si II).

Ve spektru se též nachází mnoho čar ionizovaných kovů, jako například velmi četné čáry železa (Fe II), chromu (Cr II), titanu (Ti II), hořčíku (Mg II), niklu (Ni II) a méně četné čáry hliníku (Al II). Nalezla jsem i čáry dvakrát ionizovaného železa (Fe III), čáry ionizované síry (S II), neionizovaného hořčíku (Mg I), kyslíku (O I), uhlíku (C I), dusíku (N I) a sodíku (Na I). Ve spektru jsem našla i velmi slabé čáry helia (He I), které jsou charakteristickými pro vedlejší spektrální třídu B.

Určení prvků se nachází v grafech v *Příloze 2*.

PRVKY ZEMSKÉ ATMOSFÉRY

Ve větších vlnových délkách jsou patrna molekulová spektra. Při průchodu spektra zemskou atmosférou vznikají absorpční čáry nebo pásy nazývané telurické. Vzhledem k tomu, že byla pozorování prováděna ze zemského povrchu, musíme počítat s přítomností těchto telurických čar. Atmosféra se skládá převážně z vody, oxidu uhličitého, dusíku a kyslíku. Telurické čáry se dají velmi spolehlivě identifikovat, nepůsobí na ně totiž vlivy způsobené hvězdou a jejím pohybem, jako například Dopplerův posuv. Shodují se vždy s laboratorními výsledky, můžeme tedy s jistotou říci, které čáry náležejí zemské atmosféře. Ve spektru hvězdy HD 114365 se tyto čáry vyskytují v oblastech od 5800 Å do větších vlnových délek (viz. *Příloha 2*). Molekulové pásy jsem porovnávala s grafy Harmance ^[14].

ÚZKÉ ABSORPČNÍ ČÁRY

Ve všech poskytnutých spektrech (viz. *Příloha 1*) se vyskytují určité čáry, které nejeví žádné rozšíření (viz. *Obrázek 10*). Vyskytují se ve spektrech beze změny, mají velmi úzký profil a nalézají se ve stále stejných vlnových délkách. Nalezené úzké absorpční čáry uvádím v *Tabulce 7*. Zkoušela jsem tyto čáry identifikovat jako čáry prvků mezihvězdného prostředí.

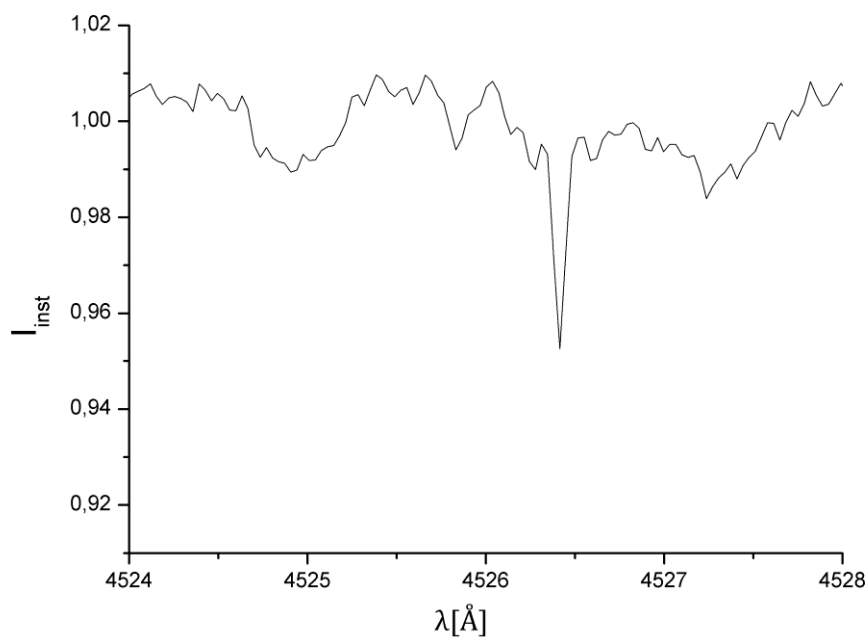
Dle databáze NIST^[15] se mi bohužel nepodařilo spolehlivě identifikovat nalezené čáry, žádný prvek kolem nalezených délek nebyl vhodný.

Dále se nabízela možnost identifikovat úzké absorpční čáry jako čáry atmosféry, ovšem ani tato možnost se nepotvrdila.

Pro ověření absorpčních čar by bylo užitečné srovnání s nově napozorovanými spektry. Tuto možnost ovšem nemám, nová pozorování se zatím neuskutečnila.

Úzké absorpční čáry

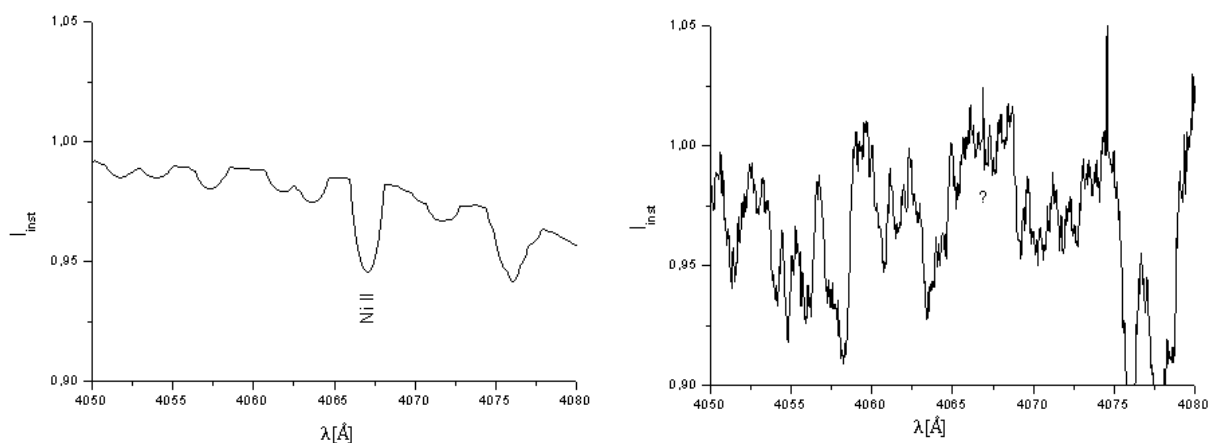
4221,529
4258,477
4526,394
4736,741
4837,996
4854,39
5163,449
5270,444
5346,746
5610,951
5650,34
5658,314
6011,985
6088,562

Tabulka 7**Obrázek 10: Příklad úzké absorpční čáry ze spektra 03 (viz. Příloha 1)****NEVÝRAZNÉ ČÁRY NIKLU**

Ve všech spektrech jsem objevila jednu jasnou odchylku od modelového spektra, a to sice v oblasti 4066 Å. Měla by se zde vyskytovat výrazná čára Ni II, ovšem v reálných spektrech se tato čára neobjevuje.

Srovnáním našeho problému s článkem o hvězdě HD 143418 [16] jsem dospěla k názoru, že problém chybějící čáry u hvězdy HD 114365 je stejný jako chybějící čáry stroncia u hvězdy HD 143418.

Ve spektru hvězdy HD 114365 je většina čar niklu v blendovaném stavu díky ostatním čarám, nebo jsou velmi slabé a nevýrazné, čára v oblasti 4066Å chybí úplně. V případě čar niklu u hvězdy HD 114365 se tedy jedná o chybné síly oscilátoru tohoto prvku, stejně jako v případě stroncia u hvězdy HD 143418.



Obrázek 11: Modelové spektrum

Reálné spektrum 01

3.2 RADIÁLNÍ RYCHLOST HVĚZDY

Radiální rychlost je rychlost objektu vůči pozorovateli. Spektrum přicházející k nám z pohybujícího se pozorovaného objektu bude touto rychlostí ovlivněno, pozorujeme tzv. Dopplerův jev. Pokud se od nás objekt vzdaluje, pozorujeme posun spektrálních čar směrem k červené barvě (červený posuv), pokud se naopak přibližuje, spektrální čáry se posouvají směrem k barvě modré (modrý posuv). Tento posuv zjistíme srovnáním spektrálních čar přicházejících z objektu se spektrálními čarami naměřenými v laboratoři.

Pro výpočet radiální rychlosti jsem použila výrazné spektrální čáry vodíku. K určení radiální rychlosti je třeba vybrat si čáry, které nejeví změny v průběhu času a nejsou blendované (tzn. překryté dalšími čarami). Použila jsem tedy pouze 8 čar

vodíku, které ovšem pro výpočet radiální rychlosti nejsou příliš vhodné. Jiné čáry se ale k výpočtu radiální rychlosti nehodily, protože vykazují výraznou proměnnost v závislosti na rotaci hvězdy.

Vybrané čáry jsem zpracovávala v programu SPLAT. Dle předpokladu rozšíření čar různými vlivy, jsem nejdříve čáry fitovala pomocí Voightova profilu. Fit nebyl příliš přesný, vyzkoušela jsem tedy i ostatní typy profilů – Lorentzův a Gaussův. Gaussův profil se nakonec ukázal jako nejvhodnější.

Dle Gaussova profilu jsem určila minima čar (*Tabulka 8*). Vlnová délka čáry tedy odpovídá vlnové délce minima Gaussovy funkce určené ze Spektra 01 (viz. *Příloha 1*).

Radiální rychlost jsem počítala dle vzorce:

$$v_{rad} = c \cdot \frac{\lambda_{real} - \lambda_{model}}{\lambda_{model}}$$

kde λ_{real} je vlnová délka minima čáry ve zkoumaném spektru, λ_{model} je vlnová délka minima čáry v modelovém spektru, c je rychlost světla (viz. *Tabulka 8*).

Radiální rychlost vypočtená aritmetickým průměrem hodnot pro jednotlivé spektrální čáry mi vyšla

$$v_{rad} = 33,4 \pm 1,3 \text{ km s}^{-1}.$$

Vypočtená hodnota je v rámci chyby uvedené v databázi SIMBAD [8],

$$v_{rad} = 26 \pm 10 \text{ km s}^{-1}.$$

Čára	λ_{real} [Å]	λ_{model} [Å]	$\lambda_{real} - \lambda_{model}$ [Å]	v_{rad} [km s ⁻¹]
H I	3798,397	3797,909	0,488	38,6
H I	3835,993	3835,397	0,596	46,6
H I	3889,272	3889,064	0,208	16,0
Hε	3970,486	3970,075	0,411	31,1
Hδ	4102,121	4101,734	0,387	28,3
Hγ	4341,035	4340,472	0,563	38,9
Hβ	4861,879	4861,35	0,529	32,7
Hα	6563,552	6562,79	0,762	34,8
Aritmetický průměr				33,4

Tabulka 8: Výpočet radiální rychlosti ze spektra 01

ZÁVISLOST RYCHLOSTI NA FÁZI

Protože většina čar ve spektru jeví značné změny, vytvořila jsem křivku závislosti radiální rychlosti na fázi. Vybrala jsem si tři nápadné čáry křemíku (Si II) ve vlnových délkách 3853,67 Å; 3856,02 Å; 3862,60 Å a určila jejich vlnové délky ve všech spektrech (*Tabulka 9*).

Fázi jednotlivých čar jsem určovala z modifikovaného Juliánského data uvedeného vždy v hlavičce spektra (viz. *Příloha 1*).

$$MJD = JD - 2400000,5.$$

Pro výpočet fáze jsem použila následující vzorec ^[17]:

$$\varphi(t) = FRAC \left[\frac{JD - JD_0}{P} \right].$$

Periodu a JD_0 jsem získala od pana docenta Zdeňka Mikuláška ^[18]:

$$P = 1,271704 \text{ dne}$$

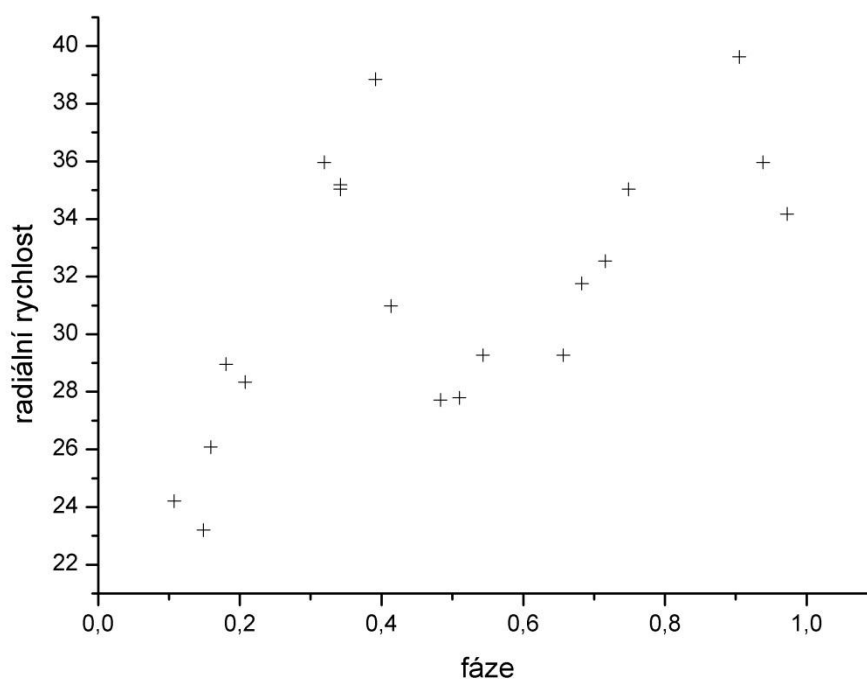
$$JD_0 = 2444724,749.$$

Číslo spektra	radiální rychlost (km.s ⁻¹)			fáze
	Si II (3853,665 Å)	Si II (3856,018 Å)	Si II (3862,595 Å)	
01	36,0	30,2	30,1	0,3191
02	35,0	31,9	34,3	0,3420
03	35,2	32,0	31,9	0,3420
04	38,8	31,7	30,0	0,3915
05	31,0	25,2	-	0,4134
06	24,2	16,9	28,0	0,1073
07	23,2	17,3	28,3	0,1487
08	26,1	17,3	30,8	0,1588
09	29,0	20,3	28,2	0,1806
10	28,3	21,6	37,4	0,2074
11	39,6	31,6	31,2	0,9051
12	36,0	31,7	32,1	0,9386
13	34,2	27,0	25,3	0,9725
14	29,3	22,5	21,2	0,6564
15	31,8	24,6	22,0	0,6827
16	32,5	26,4	24,5	0,7158
17	35,0	27,7	28,9	0,7488
18	27,7	21,6	21,4	0,4831
19	27,8	19,4	17,8	0,5097
20	29,3	20,6	16,0	0,5430

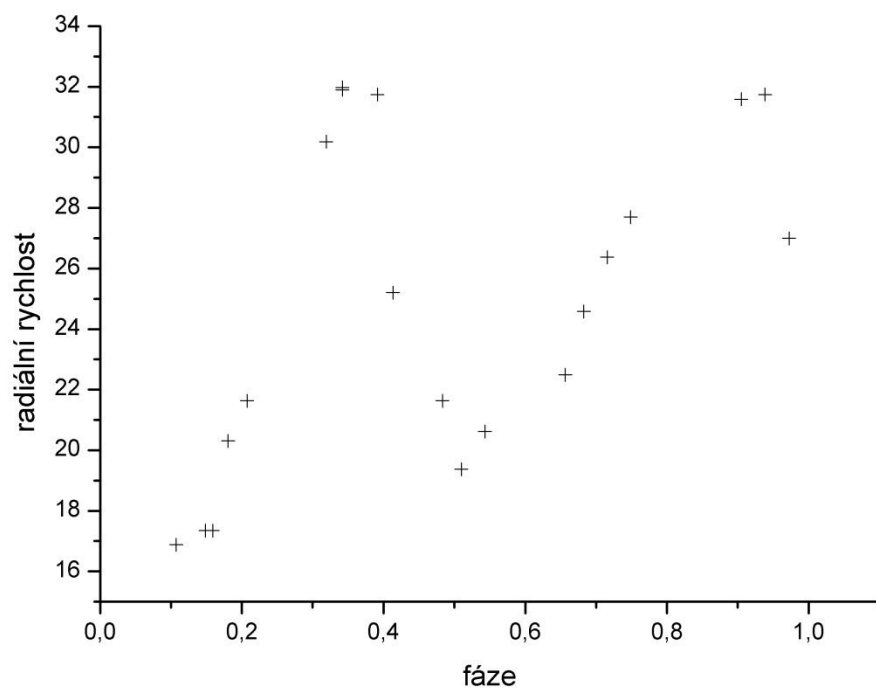
Tabulka 9

Na základě získaných údajů (Tabulka 9) jsem sestrojila tři grafy (Obrázek 12, Obrázek 13, Obrázek 14) závislostí radiálních rychlostí na fázi.

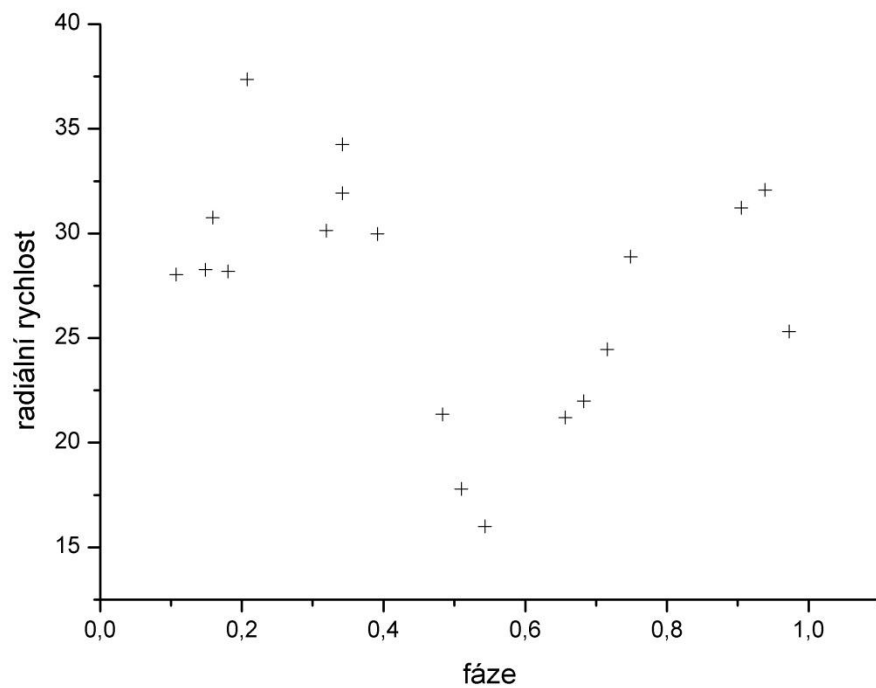
Závislost radiální rychlosti na fázi, zjištěná z čar křemíku, je možno interpretovat jako důsledek přítomnosti skvrn s nadbytkem křemíku na povrchu hvězdy. Díky rotaci hvězdy se skvrna pohybuje. Z grafů je jasně patrné, jak se tato skvrna pohybuje. Pokud radiální rychlost klesá, skvrna se k nám přibližuje, pokud narůstá, skvrna se po povrchu pohybuje směrem od nás.



Obrázek 12: Závislost radiální rychlosti na fázi pro křemík Si II (3853,665 Å)



Obrázek 13: Závislost radiální rychlosti na fázi pro křemík Si II (3856,018 Å)



Obrázek 14: Závislost radiální rychlosti na fázi pro křemík Si II (3862,595 Å)

KAPITOLA 4

ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabývala spektry hvězdy HD 114365, které byly pořízeny v rámci programu ESO pomocí 2,2m dalekohledu MPI a jeho části FEROS v rámci projektu 087.D-0099: *FEROS advanced test of model atmospheres: the comparison of chemically peculiar star variability with theoretical predictions* [1].

V těchto spektrech jsem se zabývala identifikací jednotlivých čar, dále určením radiální rychlosti z čar vodíku a vytvořením křivek závislosti rychlosti čar křemíku na fázi.

Z identifikace čar (viz. *Příloha 2*) ve zkoumaném spektru vyplývá velmi silné postavení čar vodíku doplněné mnoha čarami ionizovaných kovů, převážně středně silnými čarami křemíku (Si II), dále potom ionizovanými čarami železa, titanu, chromu, síry, hliníku, hořčíku a dalších. Tyto spektrální čáry (čáry vodíku a ionizovaných kovů) přísluší hvězdám spektrálního typu A, mezi které náleží i hvězda HD 114365.

V oblasti od 5800Å se vyskytují úzké absorpční čáry a molekulové pásy prvků zemské atmosféry. Byl zjištěn výskyt molekulových pásů vody a kyslíku.

V celém spektru se místy vyskytují i úzké absorpční a emisní čáry. V oblasti 4066 Å chybí výrazná čára niklu.

Z posuvu spektrálních čar vodíku byla zjištěna radiální rychlost. Pro určení radiální rychlosti nejsou čáry vodíku nejlepší volbou, ale bohužel všechny ostatní čáry ve spektrech vykazují proměnnost. Vypočtená hodnota radiální rychlosti je

$$v_{rad} = 33,4 \pm 1,3 \text{ km s}^{-1},$$

hvězda se tedy vzdaluje od Slunce rychlostí 33,4 km s⁻¹.

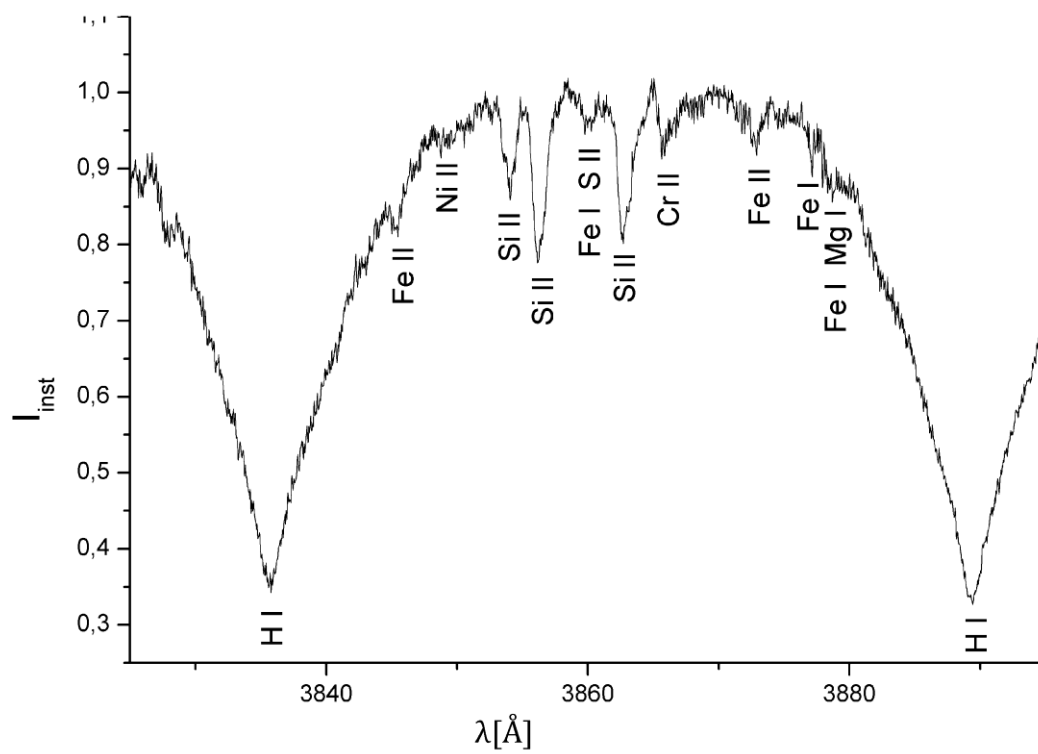
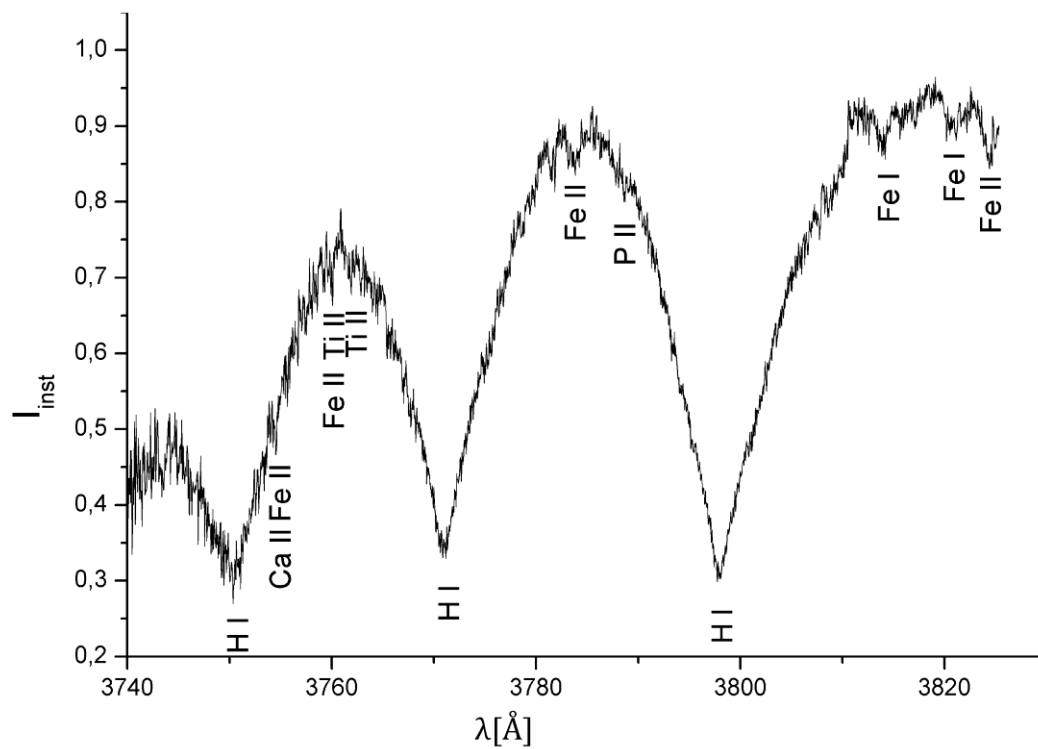
Na základě proměnnosti třech čar křemíku ve vlnových délkách 3853,665 Å; 3856,018 Å a 3862,595 Å jsem zpracovala křivky závislosti radiální rychlosti na fázi. Výsledky jsou uvedeny v *Obrázcích 12, 13 a 14*.

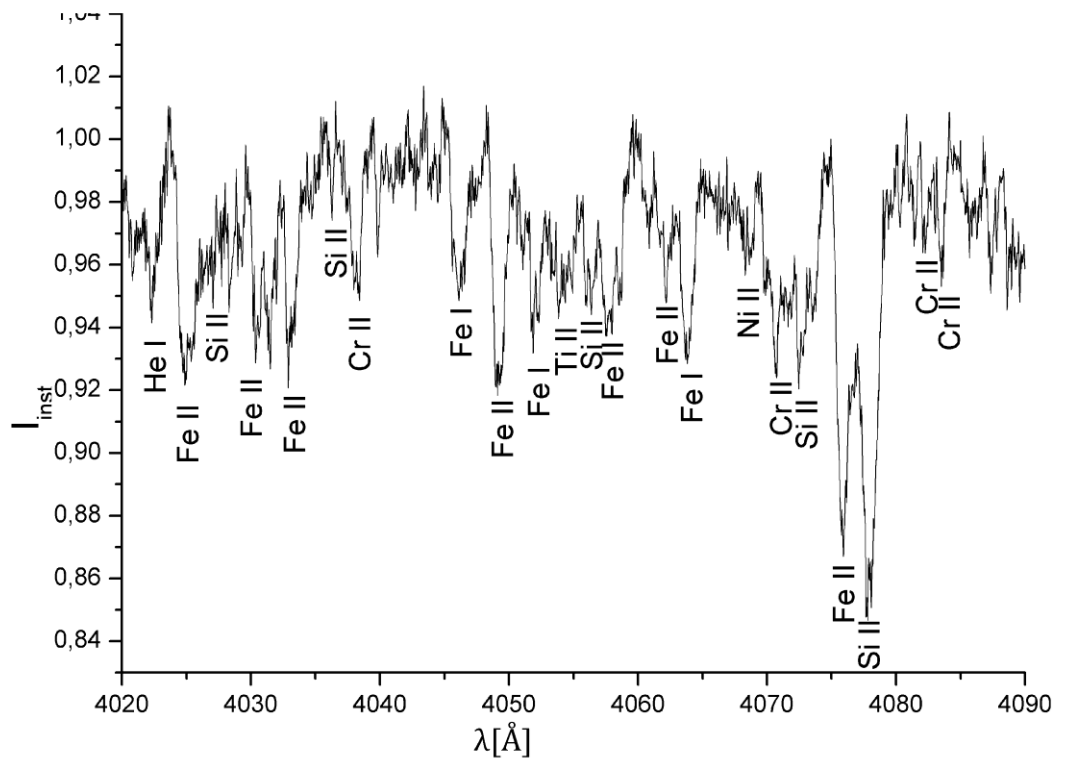
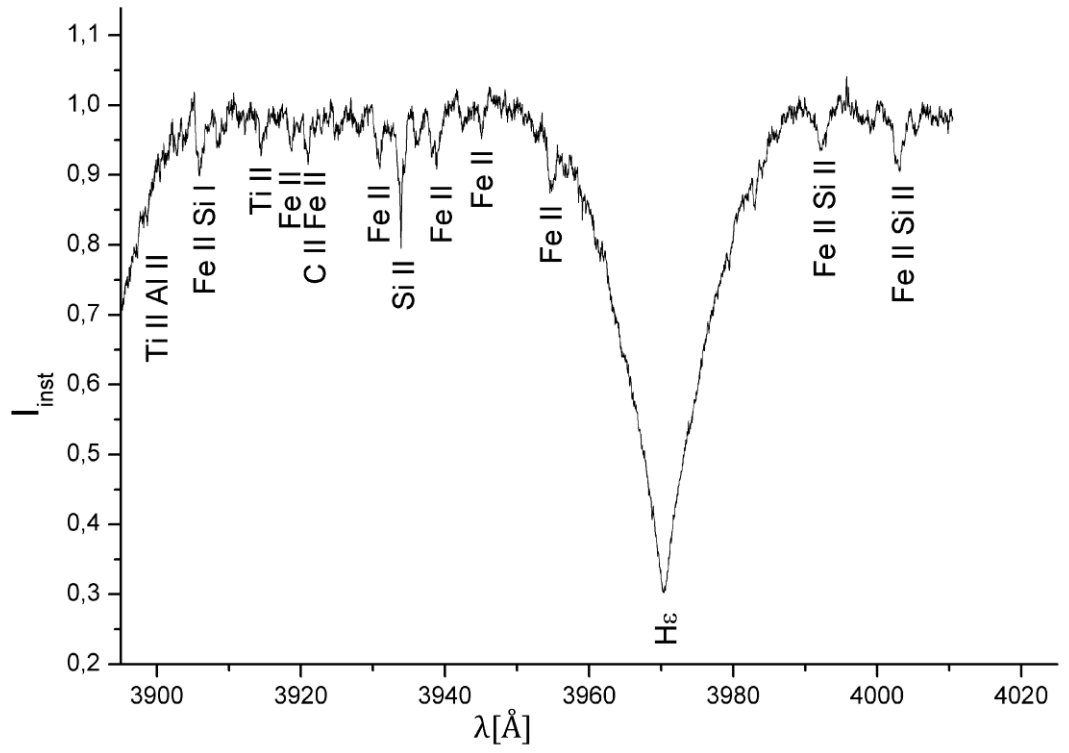
PŘÍLOHY

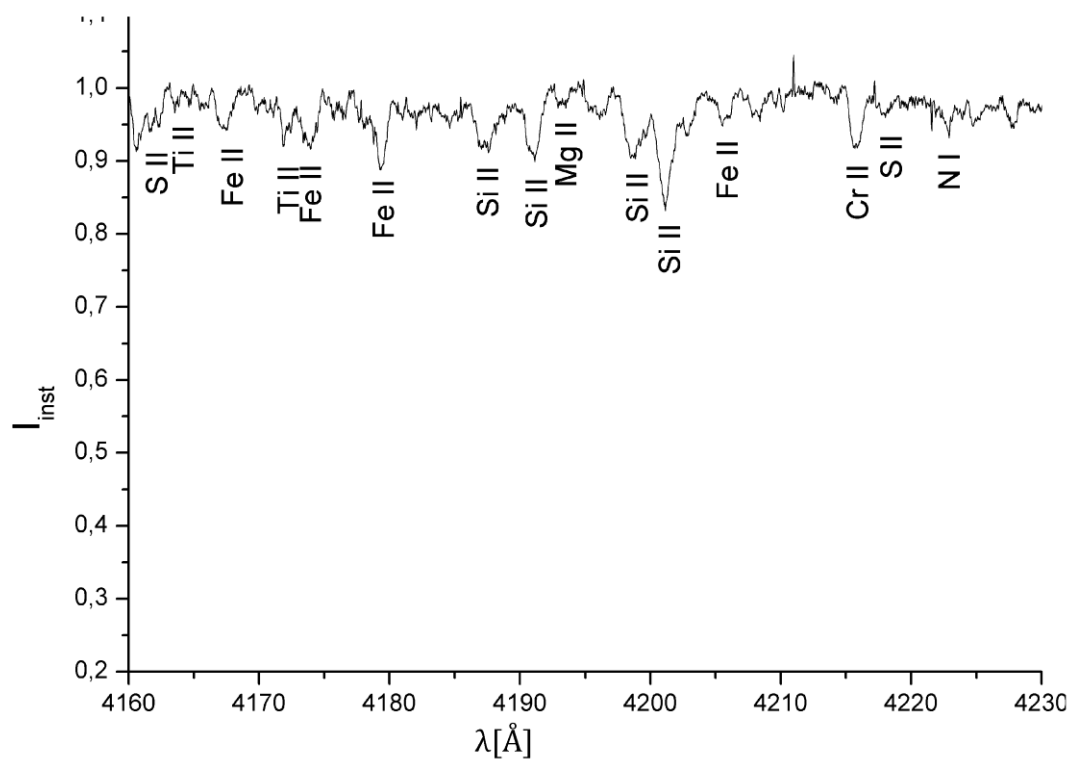
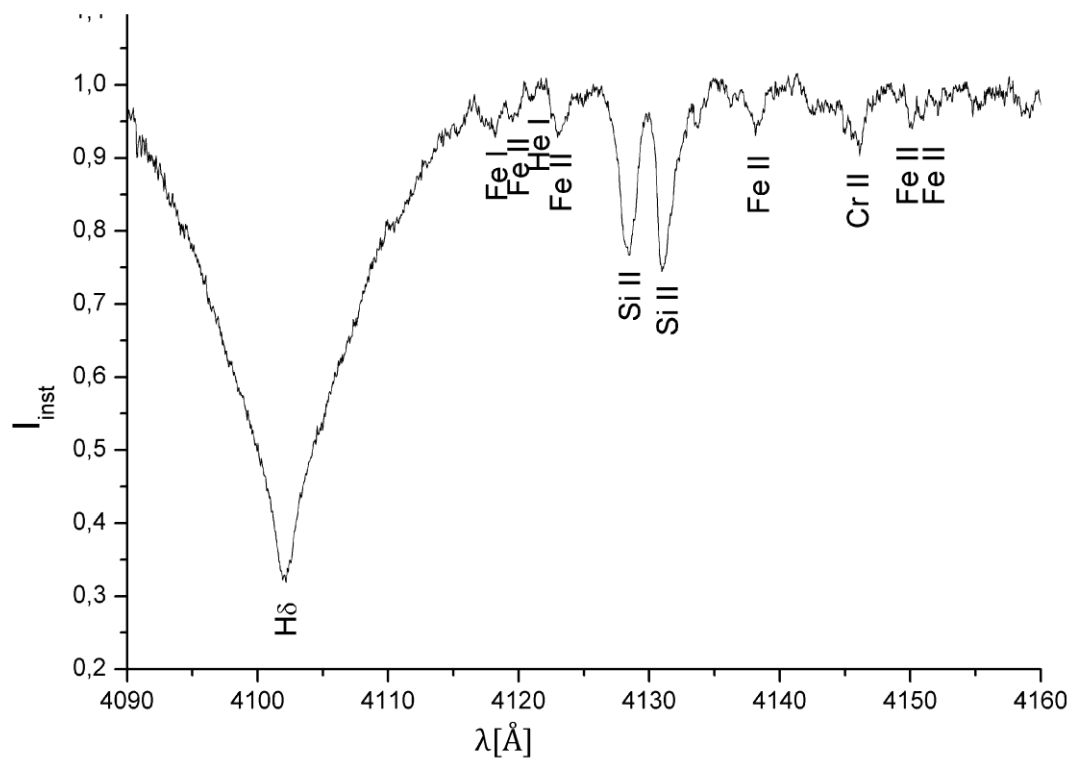
PŘÍLOHA 1: POUŽITÁ SPEKTRA

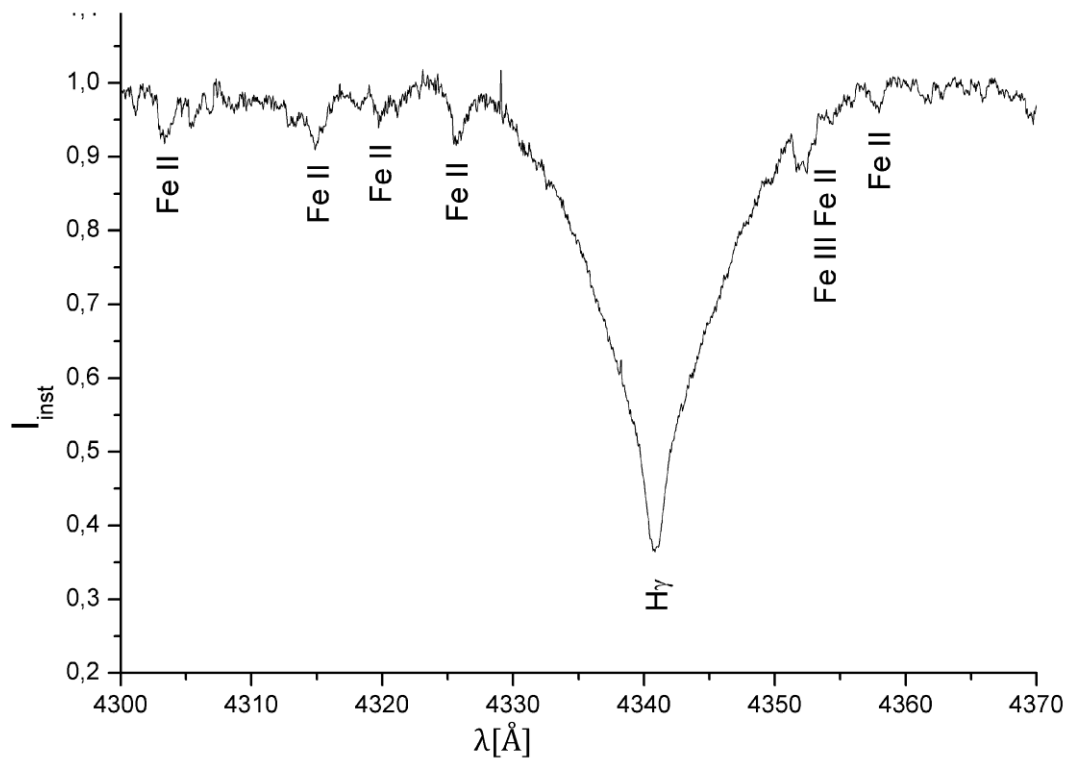
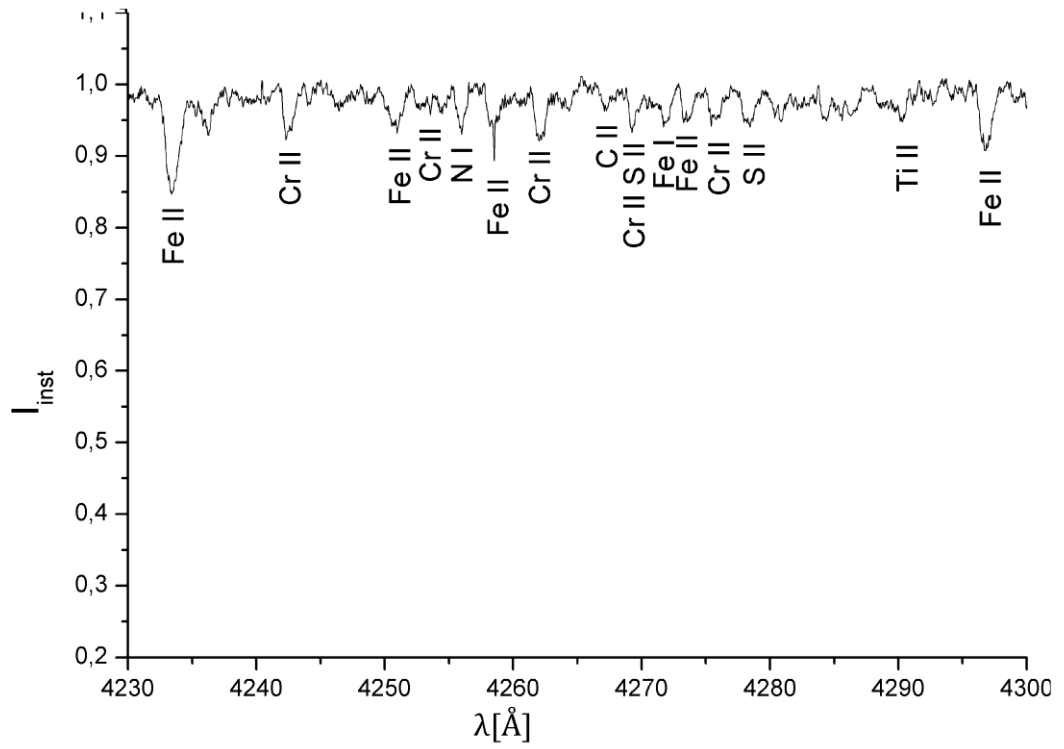
Číslo	Datum, čas (UTC)	MJD	Doba expozice[s]
01	2011-08-01 23:49:04.464	55774,992	300
02	2011-08-02 00:30:28.850	55775,021	300
03	2011-08-02 00:30:28.850	55775,021	300
04	2011-08-02 02:01:34.175	55775,084	300
05	2011-08-02 02:41:36.971	55775,112	300
06	2011-08-02 23:52:22.921	55775,995	300
07	2011-08-03 01:08:09.654	55776,047	300
08	2011-08-03 01:26:41.588	55776,060	300
09	2011-08-03 02:06:31.223	55776,088	300
10	2011-08-03 02:55:41.059	55776,122	300
11	2011-08-04 00:13:18.016	55777,009	600
12	2011-08-04 01:14:40.713	55777,052	600
13	2011-08-04 02:16:44.444	55777,095	600
14	2011-08-04 23:09:05.582	55777,965	600
15	2011-08-04 23:57:18.491	55777,998	600
16	2011-08-05 00:57:53.522	55778,040	600
17	2011-08-05 01:58:22.523	55778,082	600
18	2011-08-06 00:23:05.237	55779,016	600
19	2011-08-06 01:11:44.519	55779,050	600
20	2011-08-06 02:12:41.302	55779,092	600

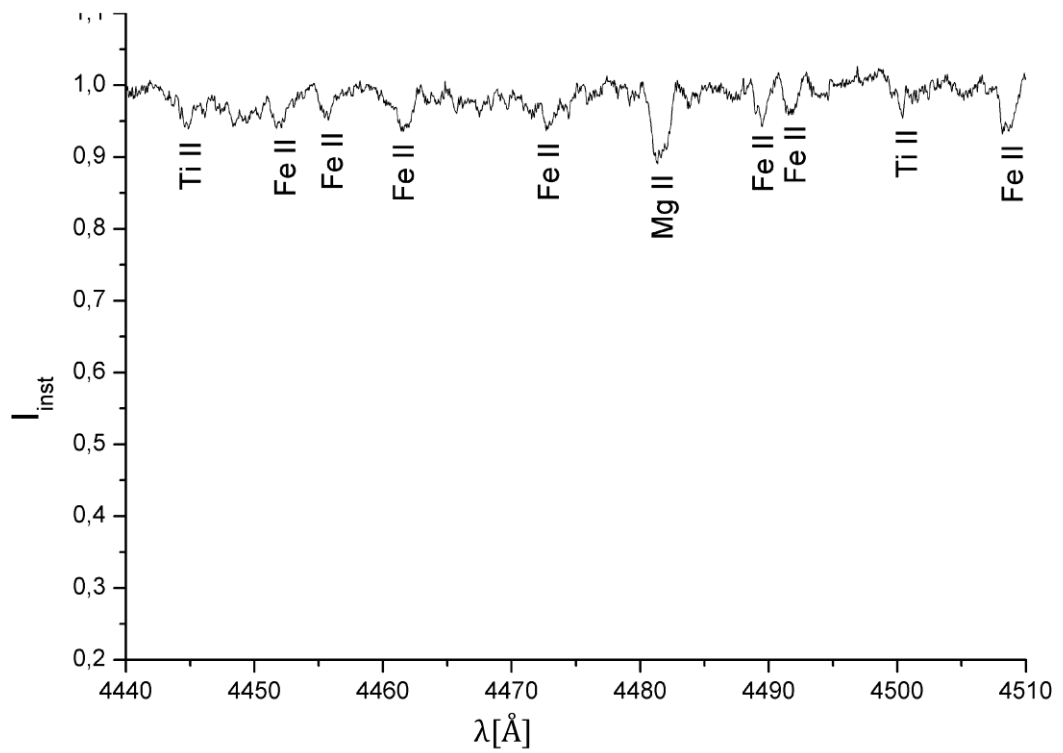
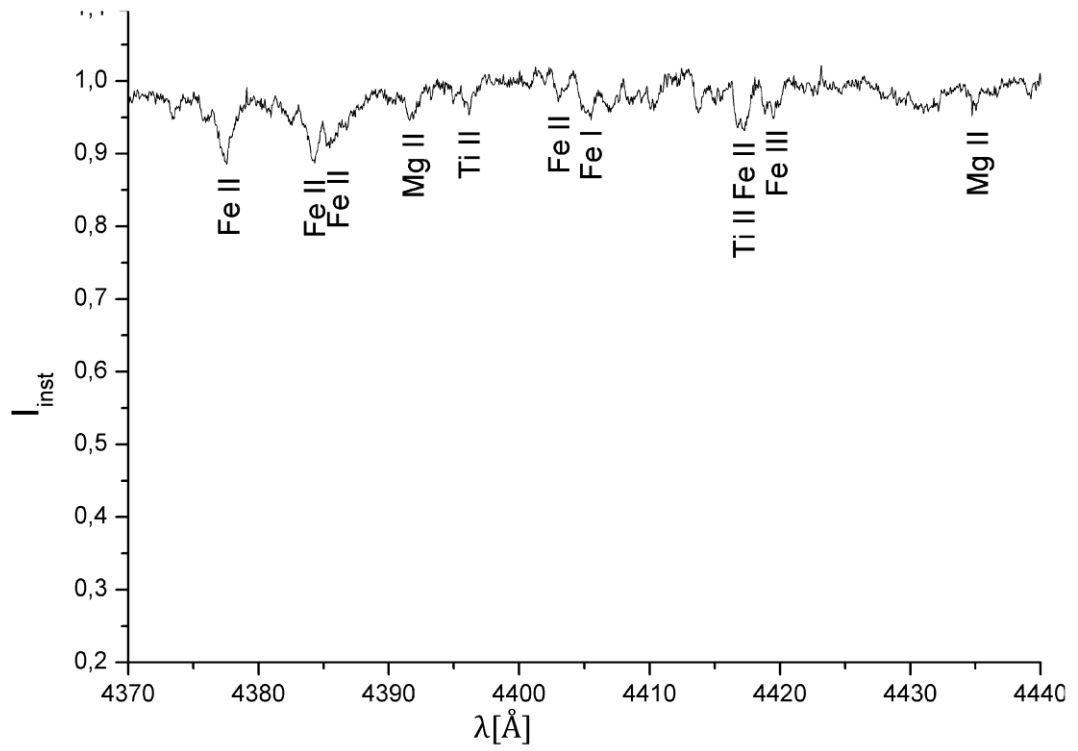
PŘÍLOHA 2: IDENTIFIKACE ČAR

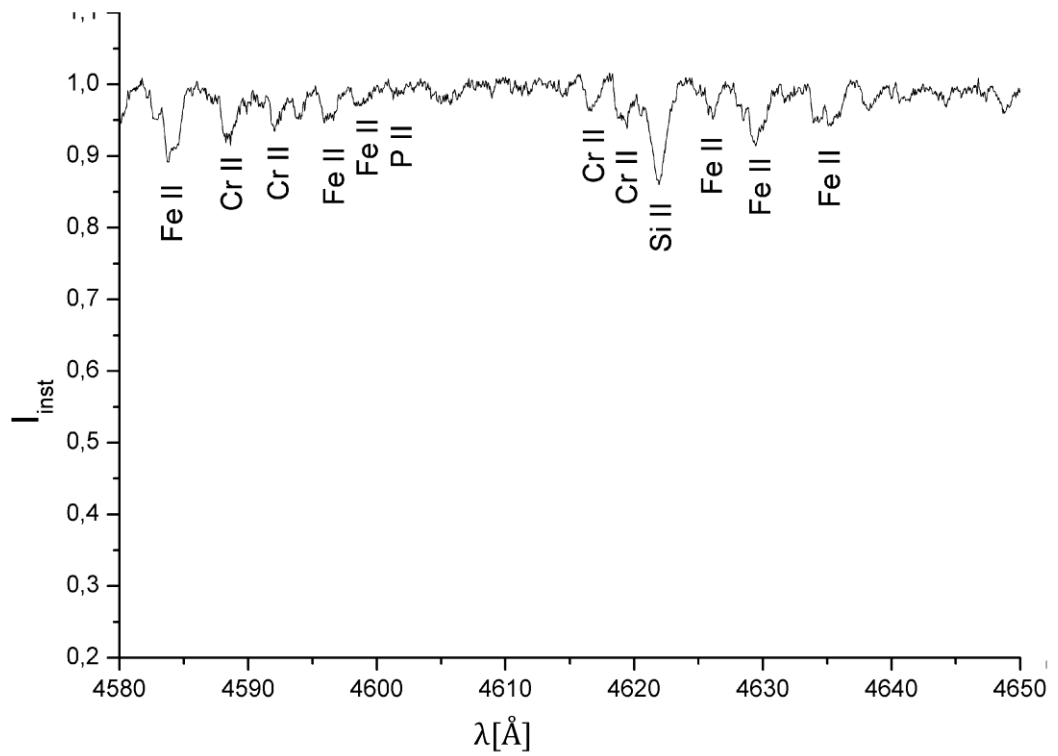
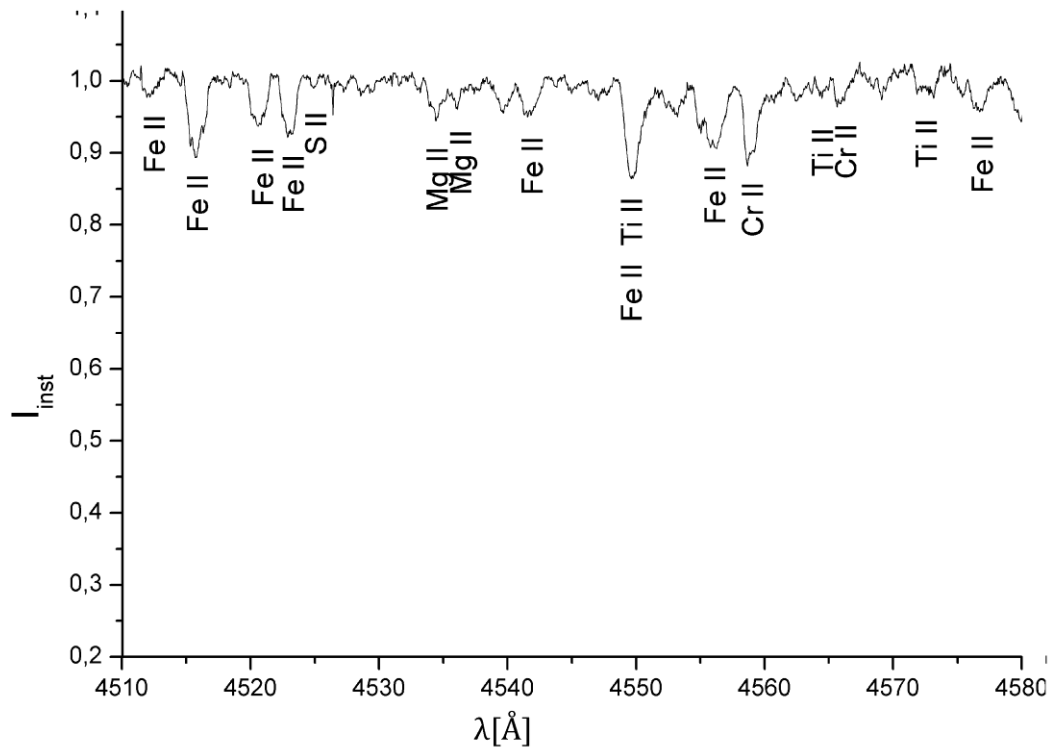


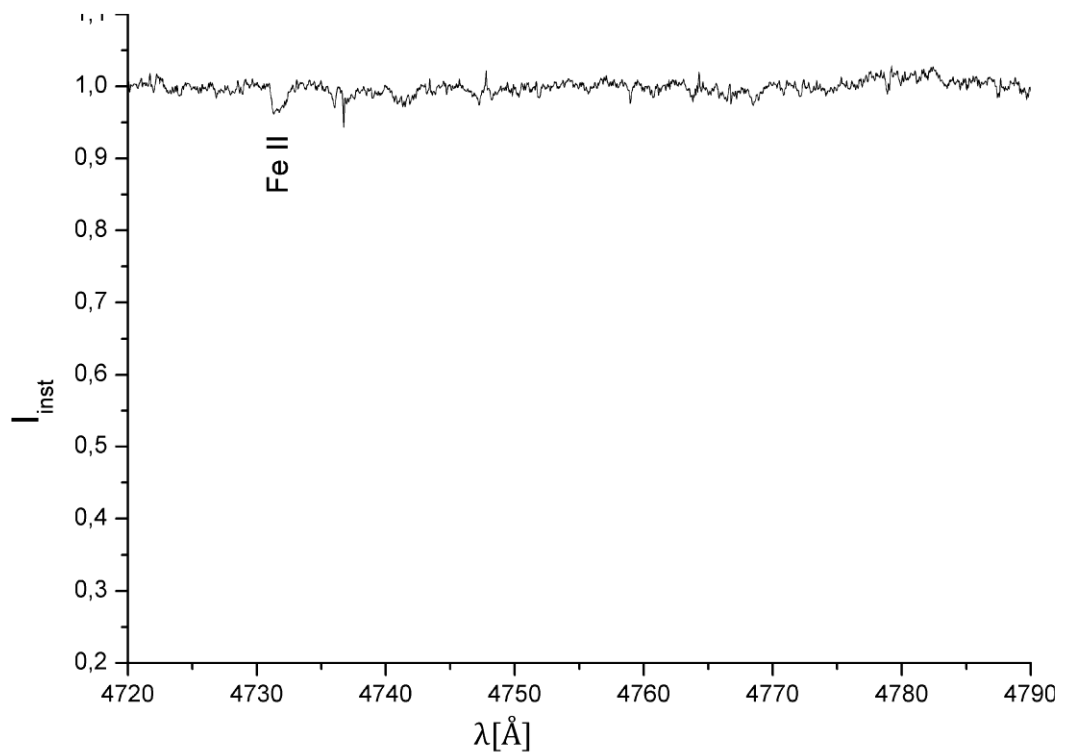
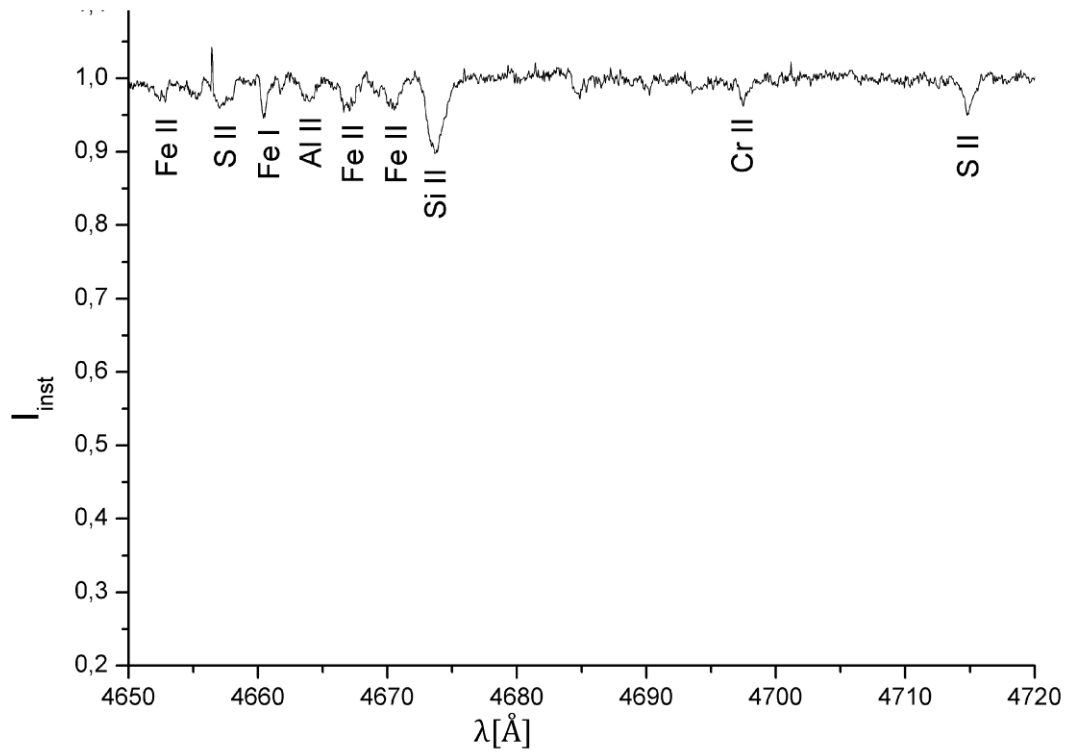


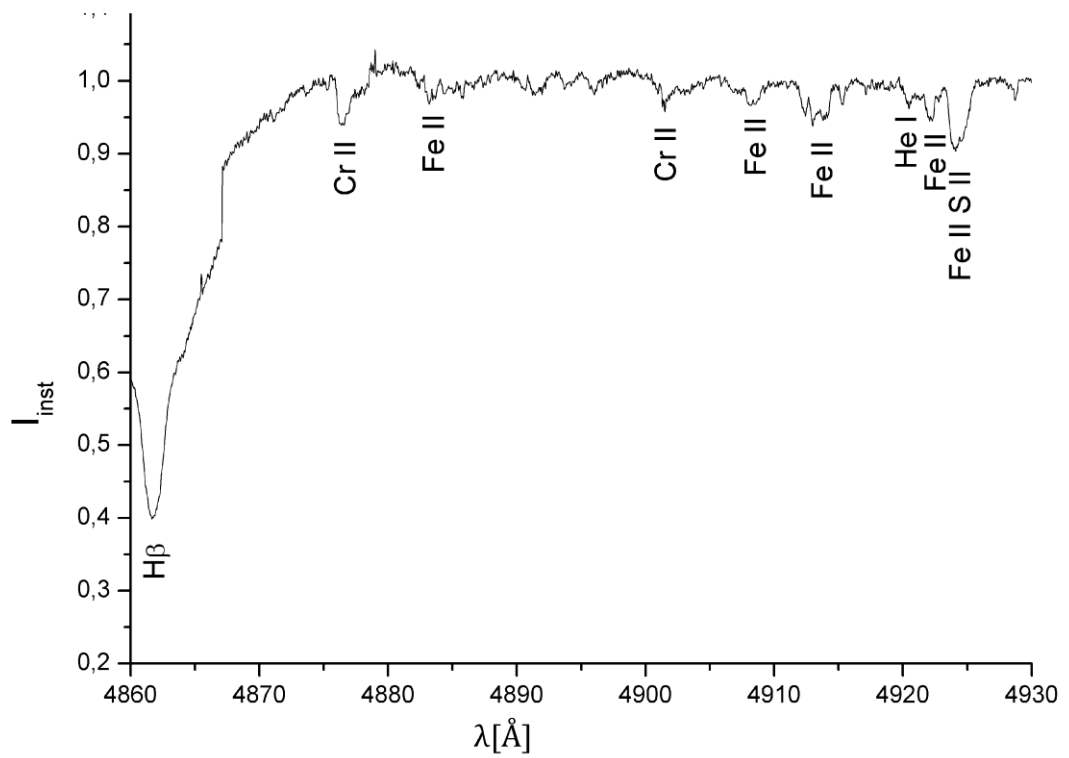
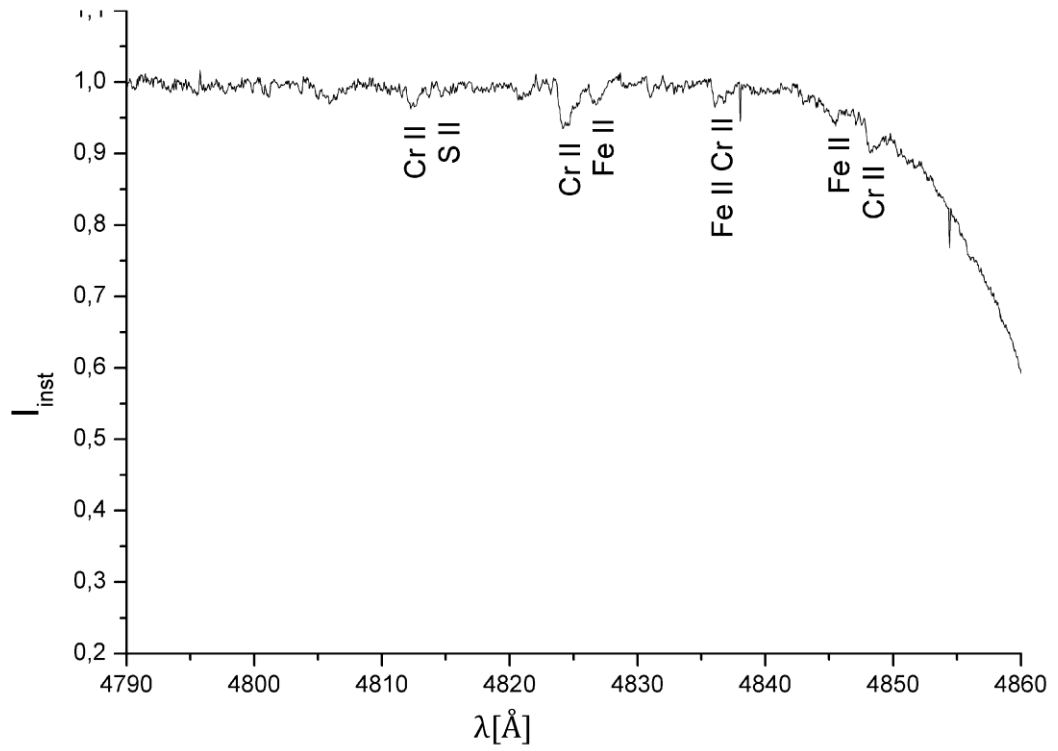


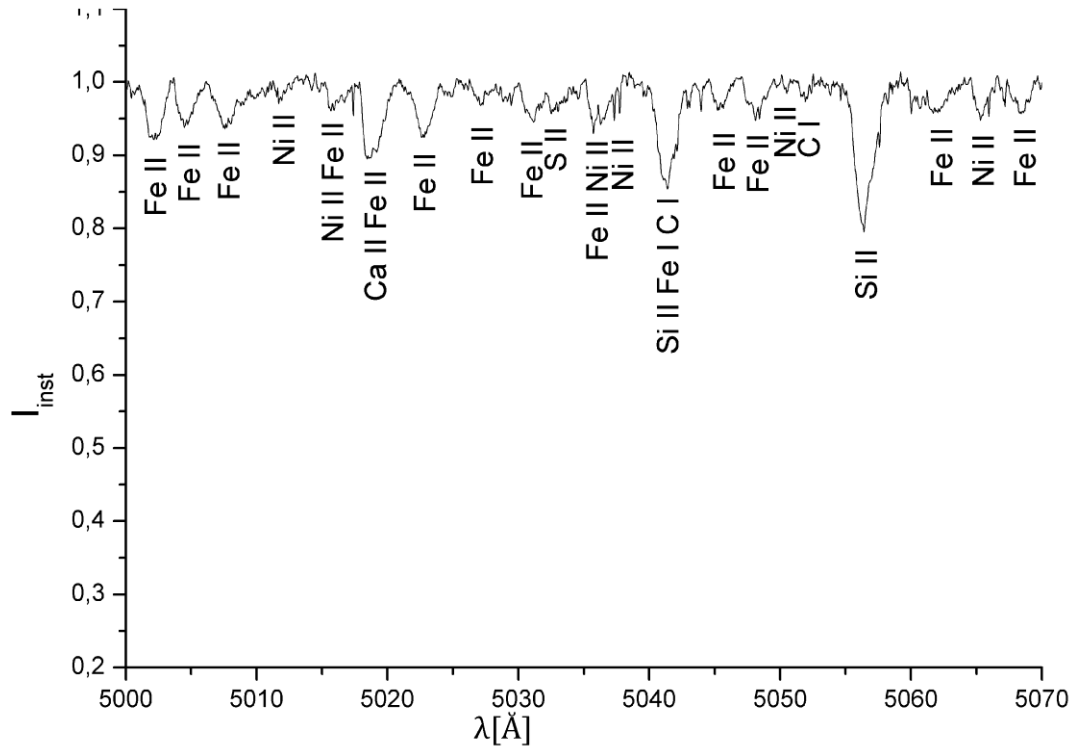
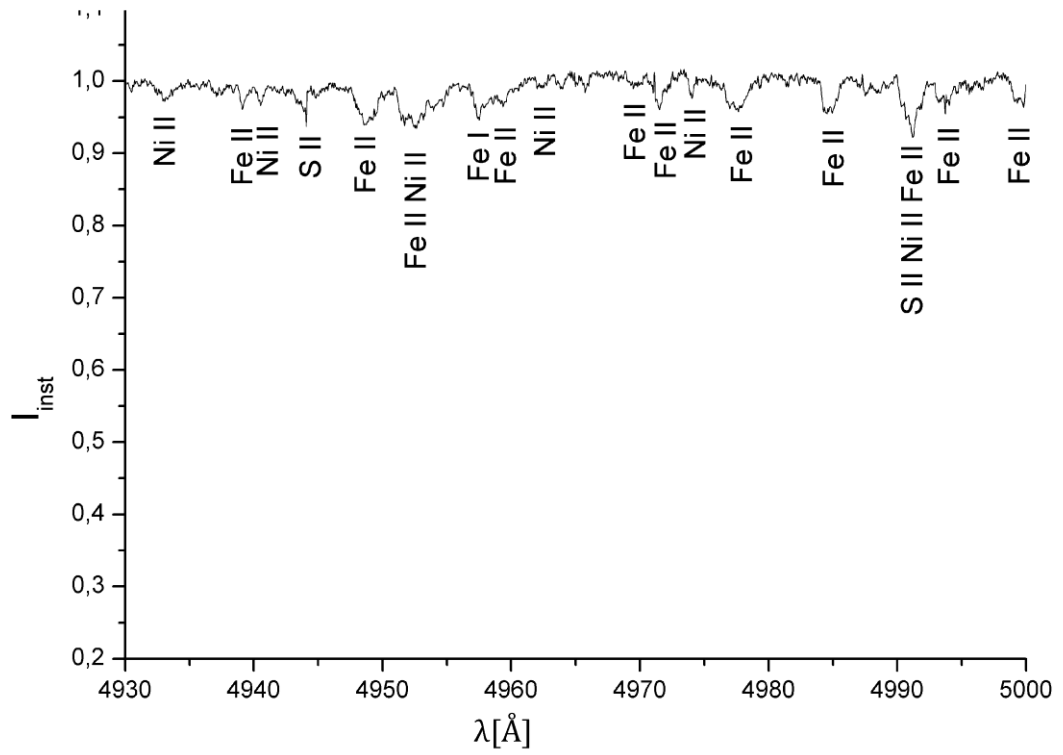


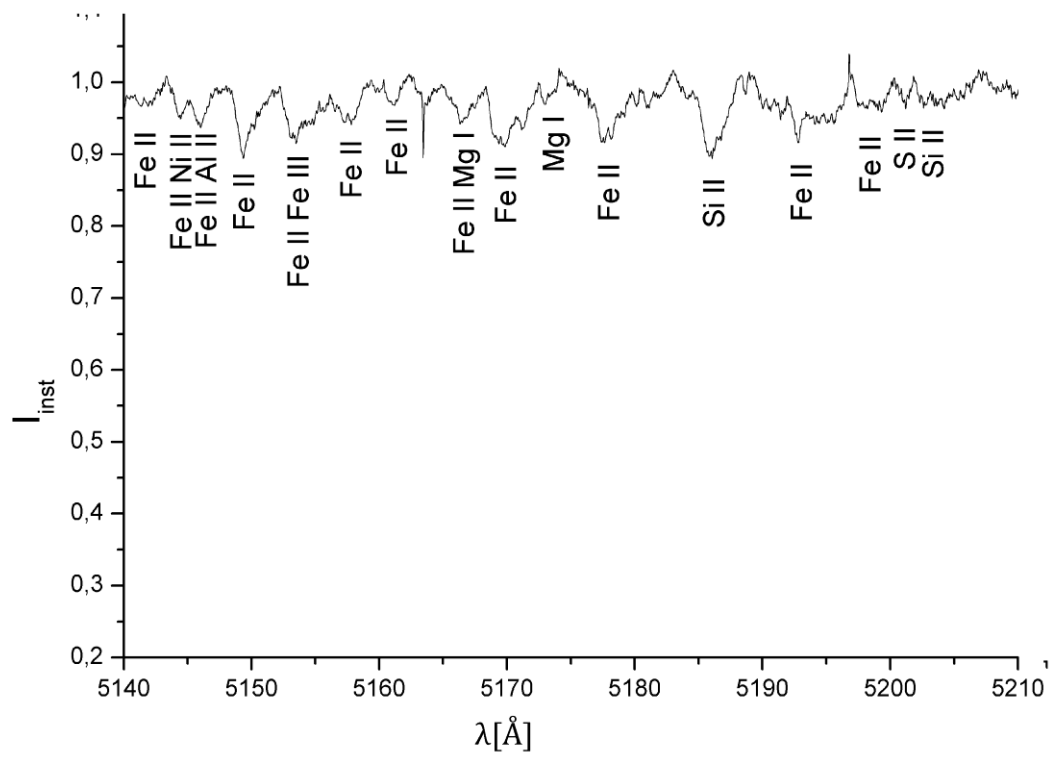
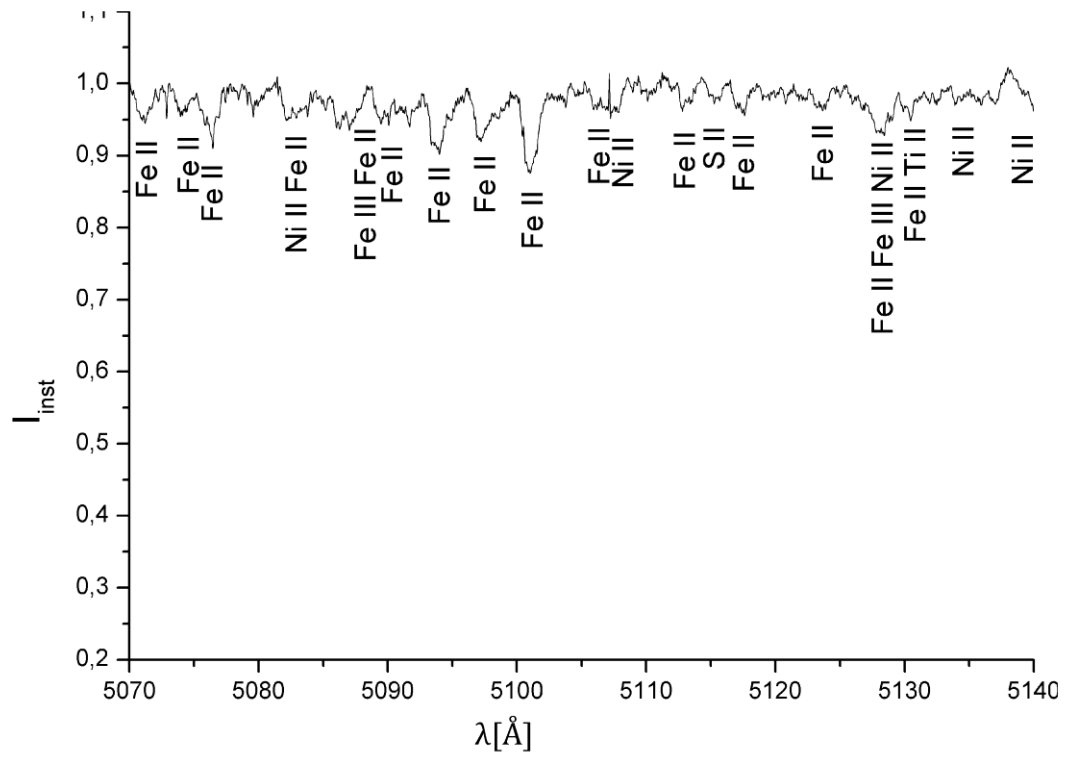


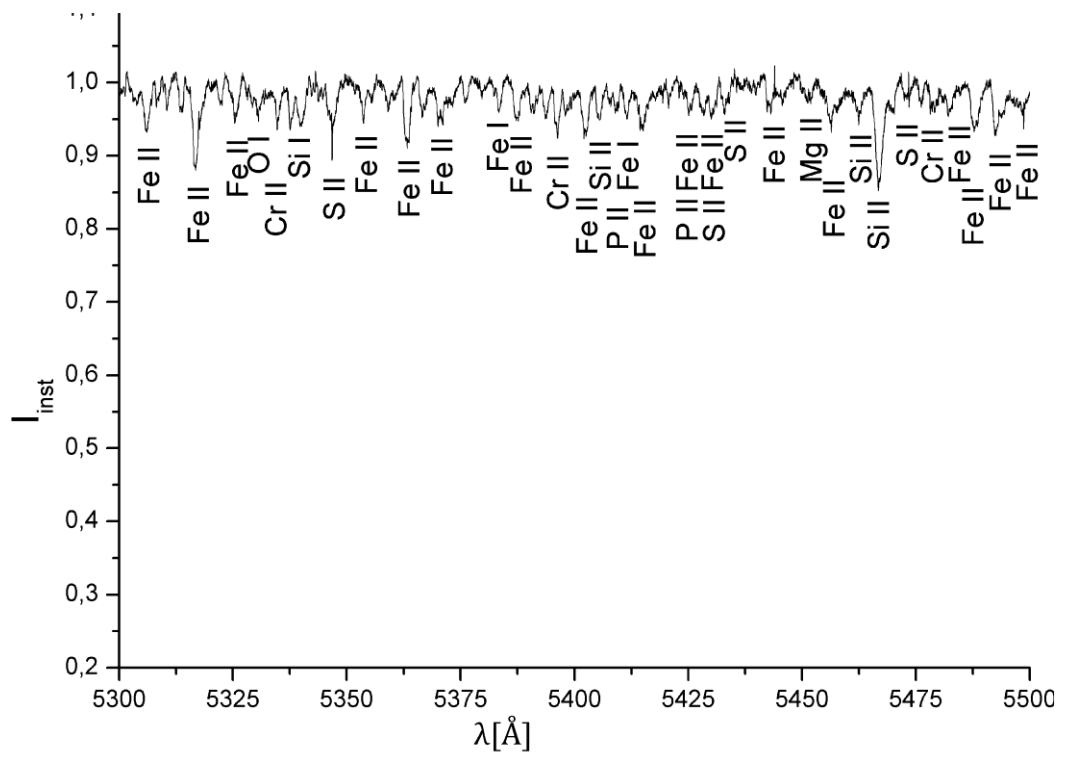
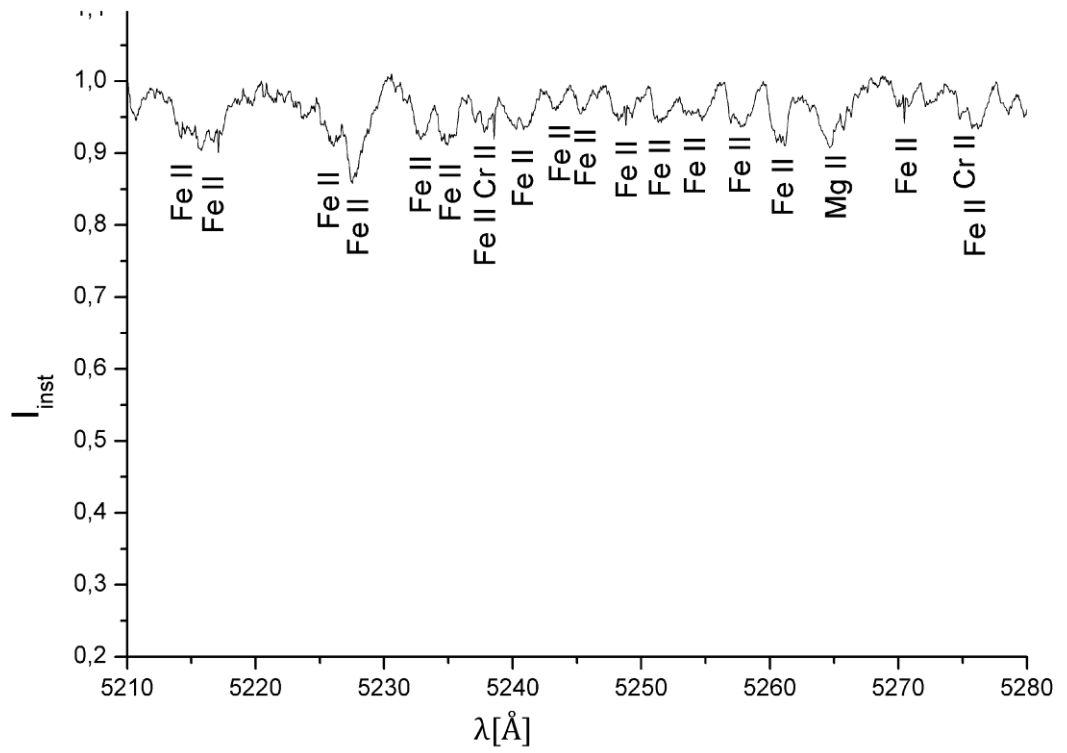


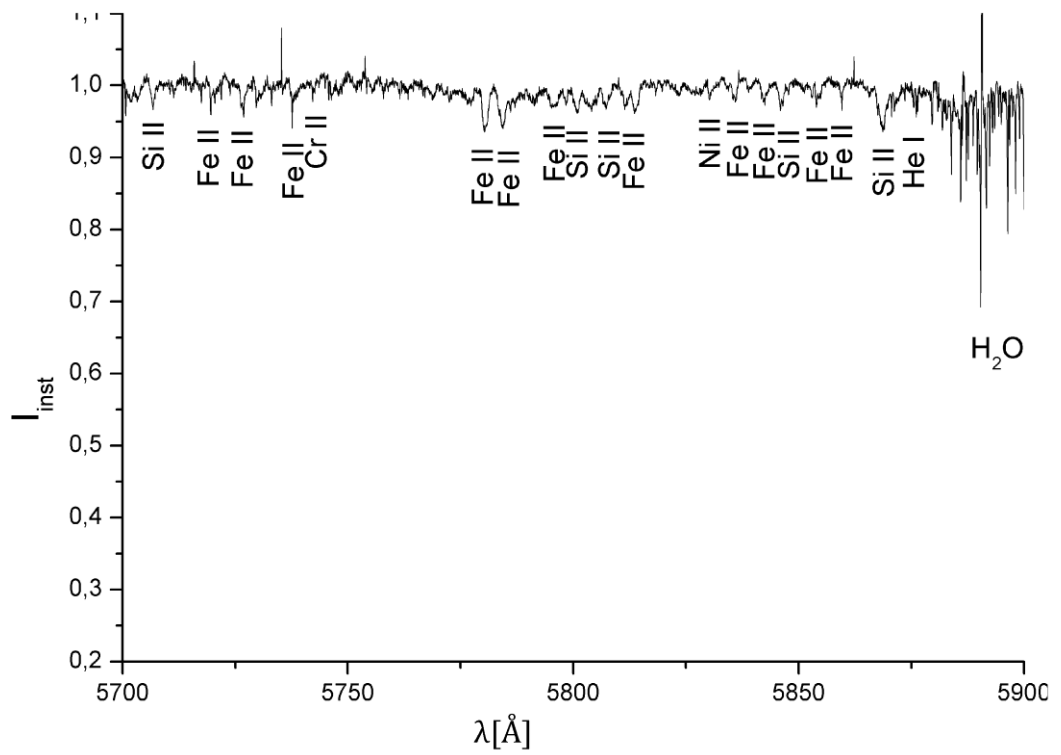
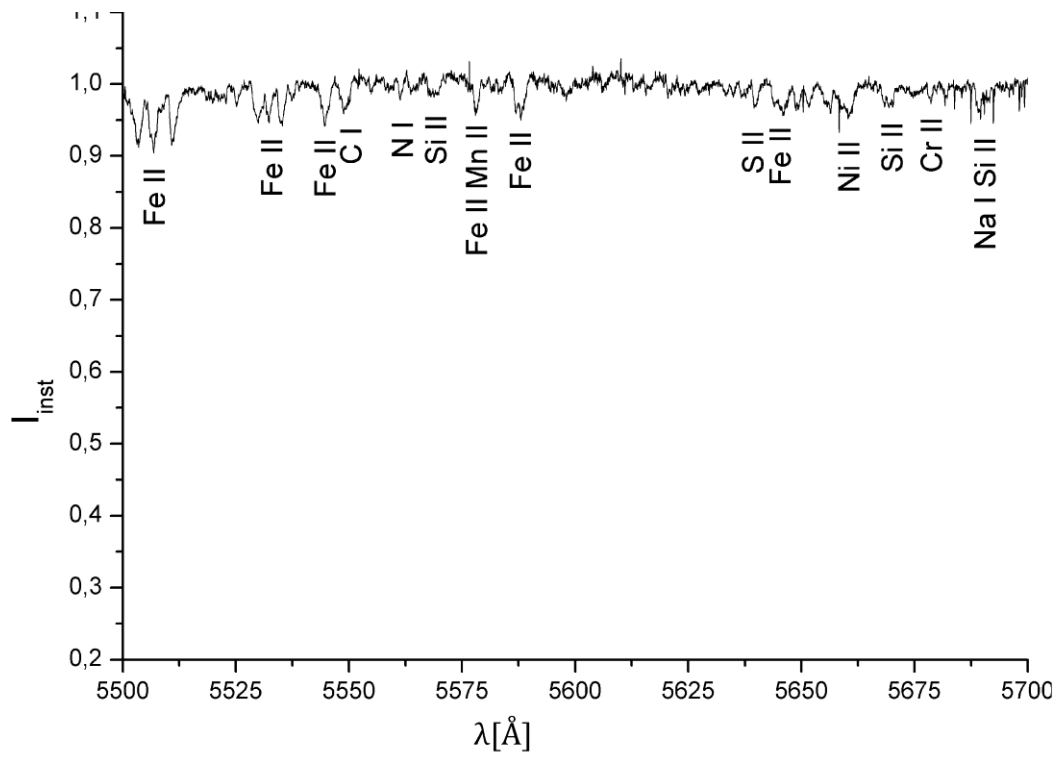


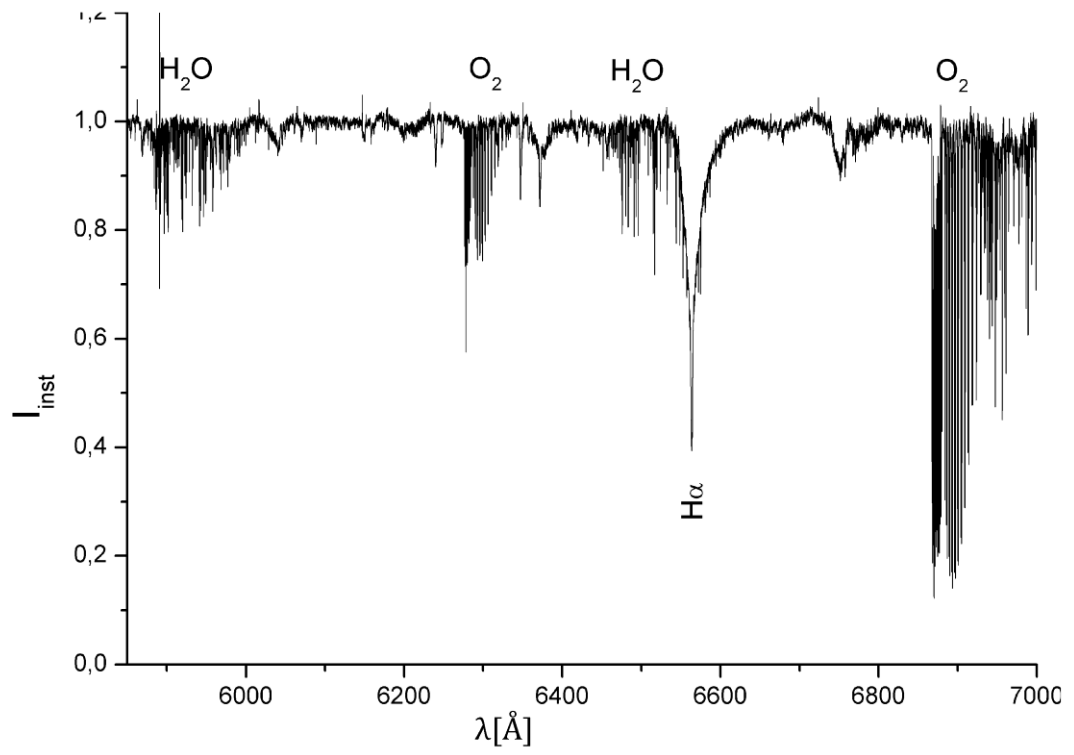












POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Evropská jižní observatoř:
<http://www.eso.org/public/>
- [2] SIMBAD Astronomical Database:
<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [3] Halliday D., Resnick R., Walker J., 2003: *Fyzika: Elektromagnetické vlny – Optika - Relativita*, VUTIUM, Brno
- [4] http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_spektrum
- [5] <http://www.mykos.cz/bezpecnost-mikrovlny/>
- [6] Mikulášek Z., Krτίčka J., 2007: *Fyzika horkých hvězd*, Skripta MU, Brno
- [7] Jaschek C., Jaschek M., 1987: *The classification of stars*, Cambridge University Press,
Cambridge
- [8] SIMBAD – hvězda HD 114365
<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/simbasic?Ident=HD+114365&submit=SIMBAD+search>
- [9] Mikulášek Z., Krτίčka J.: *Úvod do fyziky hvězd*, Skripta MU, Brno, 2006
- [10] <http://www.eso.org/public/teles-instr/lasilla.html>
- [11] <http://dumbell.physics.muni.cz/foto/>
- [12] Hvězdárna v Ondřejově
<http://pleione.asu.cas.cz/~slechta/OES/pro-ian/>
- [13] ADS Database – A Grid of NLTE Line-blanketed Model Atmospheres of Early B-Type Stars
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2007ApJS..169...83L>
- [14] Harmanec – telurické čáry
<http://www.astrosurf.com/buil/us/spectro11/specalib.htm?1330690657299>

- [15] NIST Database
http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html
- [16] ADS Database – The puzzling binary HD 143418
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2009A%26A...506..845Z>
- [17] Mikulášek, Z., 2002: *Proměnné hvězdy*, Skripta MU, Brno
- [18] Mikulášek, Z., 2012: *Soukromé sdělení*