



MASARYKOVA UNIVERZITA  
Přírodovědecká fakulta  
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**Štúdium spektra hviezdy HD 74212**

Lenka Janeková

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Vladimír Štefl, CSc.

2011

Ďakujem doc. RNDr. V. Šteflovi, CSc. za vedenie práce, neoceniteľné rady a pomoc pri písaní práce.

Tiež ďakujem rodine a priateľom, ktorí mi v tomto období pomáhali.

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu napísala samostatne a výhradne s použitím citovaných prameňov. Súhlasím so zapožičiavaním práce a jej zverejňovaním.

V Brne dňa 19.5.2011

Lenka Janeková

Abstrakt:

V predloženej práci študujeme spektrum hviezdy HD 74212, ktoré bolo získané ako súčasť projektu "The UVES Paranal Observatory Project" v rámci programu Európskej južnej observatória. V práci sa zaoberáme teóriou týkajúcou sa spektra, spektrálnych čiar a zároveň stručne históriou vedúcou k súčasným objavom. Hlavnú časť tvorí vstupná analýza spektra, identifikácia prvkov vo vybraných oblastiach a upresnenie radiálnej rýchlosti hviezdy.

Kľúčové slová: hviezda, spektrum, spektrálne čiary, radiálna rýchlosť

Abstract:

In the present work we study spectrum of the star HD 74212, which was obtained from the project "The UVES Paranal Observatory Project". This project is part of European Southern Observatory program. Work obtains theory of spectrum, spectral lines and shortly history, that lead to present discovery. The main part contains preliminary spectrum analysis, identification of elements in the chosen range and clarify of radial velocity.

Keywords: star, spectrum, spectral line, radial velocity

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>História</b>	<b>6</b>
2.1	Spektroskopia . . . . .	6
2.2	Radiálne rýchlosti . . . . .	7
2.3	Spektrálna klasifikácia . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Hviezda HD74212</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Spektrum hviezdy</b>	<b>12</b>
4.1	Spektrum . . . . .	12
4.2	Profil spektrálnych čiar . . . . .	12
4.3	Rozšírenie čiar . . . . .	14
4.4	Zložené profily . . . . .	14
4.5	Ekvivalentná šírka čiar . . . . .	16
4.6	Telurické čiary . . . . .	16
4.7	Posun spektrálnych čiar . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Analýza spektra</b>	<b>20</b>
5.1	Preloženie kontinua a normovanie spektra . . . . .	21
5.2	Identifikácia čiar - prvky . . . . .	24
5.3	Prvky atmosféry . . . . .	33
5.4	Určenie údajov programom Splat . . . . .	34
5.5	Radiálna rýchlosť . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>38</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Objekty nachádzajúce sa vo vesmíre sú príliš vzdialené na to, aby sme so súčasnou technikou boli schopní ich skúmať priamo. Zaletieť k nim, či vyslať sondu môžeme len u tých najbližších, no aj tak to zaberie veľa času. Z obrovského množstva hviezd môžeme najdetailnejšie skúmať naše Slnko, no ani v tomto prípade nepripadá do úvahy priame skúmanie (odobratie vzorky...) Mohlo by sa zdať, že skúmanie vesmírnych objektov sa neraz stretáva s neprekonateľnými prekážkami.

Astrofyzika sa napriek tomu zaoberá ich skúmaním, zbiera o nich informácie. Väčšina bádání spojených s hviezdami je robená pomocou spektroskopie. Pomocou spektrálnej analýzy svetla a častíc, ktoré k nám putujú z hviezd, získavame väčšinu informácií. Technika a rôzne pozorovacie metódy prechádzali a stále prechádzajú vývojom. Zberáme poznatky, ktoré by sa pár desiatok rokov dozadu zdali nedosiahnuteľné. Správnou interpretáciou výsledkov môžeme zistiť, aký je pohyb zdroja elektromagnetického žiarenia, zmenu zdroja v čase, vlastnosti elektromagnetického žiarenia...

Prvé skúmanie viditeľného svetla môžeme priradiť Newtonovi, ktorý pomocou rozkladu hranolom získal farebné spektrum. Po ňom prišli ďalší, ktorí sa zaoberali vlastnosťami svetla. Vo svojej práci určujem zo získaného spektra, v jeho vybraných oblastiach, prítomnosť rôznych prvkov. Tiež z rozšírenia čiar, respektíve z ekvivalentnej šírky stanovíme gravitačné zrýchlenie na hviezde.

V úvodnom prehľade o pridelenej hviezde uvádzam radiálne rýchlosti, ktoré boli zverejnené v rôznych prácach a neskôr sa z posunutia vlnových dĺžok určených prvkov sama snažím upresniť radiálnu rýchlosť hviezdy.

# Kapitola 2

## História

### 2.1 Spektroskopia

Prvé zmienky o skúmaní elektromagnetického žiarenia – konkrétne viditeľnej oblasti siahajú do roku 1672. Isaac Newton (1643-1727) pomocou skleneného hranolu rozložil svetlo prichádzajúce zo Slnka na spektrum farieb - pojem, ktorý sám zaviedol. Rovnako dokázal, že opätovným zložením spektra dostaneme pôvodné biele svetlo. Na tento, z dnešného hľadiska pomerne jednoduchý experiment, no v danej dobe a zároveň historickom hľadisku výnimočný objav, použil celkovo jednoduchý experiment. K dispozícii mal aparáturu slúžiacu na emitovanie svetelného lúča, kolimačnú šošovku, sklenený hranol na disperziu svetla a tienidlo, ktoré slúžilo na zobrazenie výsledného spektra. Táto jednoduchá aparátúra je v podstate základom fungovania súčasných prístrojov.

Anglický chemik a fyzik William Hyde Wollaston (1766-1828) mal okrem iného významnú prácu týkajúcu sa optiky, kde v roku 1802 skúmal aj tmavé (neskôr Fraunhoferove) čiary v slnečnom spektre. Hoci tieto čiary ako prvý pozoroval Wollaston, nesú meno po nemeckom fyzikovi Josephovi von Fraunhoferovi (1787-1826), ktorý ich znovu objavil v roku 1814 a začal s ich systematickým skúmaním - určoval ich vlnovú dĺžku. Okrem iného v roku 1817 pozoroval spektra niektorých jasnejších hviezd a o pár rokov neskôr v roku 1823 publikoval objav, týkajúci sa ich rozdielného vzhľadu. Nesústredil sa však len na hviezdy, ale zaoberal sa aj skúmaním spektra planét. Napriek tomu, že temným čiarom v spektre venoval takmer polovicu svojho života, sústredil sa len na ich opis. Vysvetlenie príčiny vzniku týchto čiar si počkalo na nemeckého fyzika Gustava Kirchhafa (1824-1887). Ten spolu s Robertom Wilhelmom Bunsenom (1811-1889) objavil, že prvky sú spojené so spektrálnymi čiarami a že prvky absorbujú dopadajúce

žiarenie na rovnakých vlnových dĺžkach, ako ho vyžarujú. Touto metódou môžeme zistiť chemické zloženie zdroja bez priameho skúmania, len na základe elektromagnetického žiarenia, ktoré vysielá do priestoru. Tento okamih bol významný pre vznik spektroskopie a spustil následné intenzívne skúmanie rôznych pozemských zdrojov (plameň, iskra, výboje) a zrovnávanie nájdených prvkov s prvkami, ktoré sa nachádzali v spektrách hviezd.

Opis zastúpenia prvkov v Slnku prvýkrát spravila americká astrofyzička pôvodom z anglicka Cecilie Helene Payne-Gaposchkinová (1900-1979) vo svojej dizertačnej práci [1]. Zaoberá sa v nej rozdielmi v absorpčných čiarach a prichádza s tvrdením, že sú spôsobené rôznym stupňom ionizácie – spôsobeným rozličnou teplotou a nie odlišným zastúpením prvkov [2]. V roku 1929 americký astronóm Henry Norris Russell (1877-1957) publikoval prácu, v ktorej sa zaoberá výskytom chemických prvkov v atmosfére Slnka [3]. Naproti vtedajším očakávaniam a predpokladom zistil, že množstvo vodíku a hélia je omnoho vyššie ako zastúpenie ostatných prvkov.

Hoci by sa zdalo, že určenie prvkov je vec rýchla a jednoznačná, nie je tomu tak, čo uvidíme neskôr v práci.

Anglický astrofyzik William Huggins (1824-1910) veľmi napomohol pri pochopení podstaty spektier svojím pozorovaním kozmických telies v roku 1860. Identifikoval najvýraznejšie čiary spektier Sírnia a Vegy. O štyri roky neskôr zistil rozdiel medzi spektrom galaxií a plynných hmlovín, pričom prvé majú hlavne absorpčné čiary, kým spektrá hmlovín sú tvorené emisnými čiarami.

## 2.2 Radiálne rýchlosti

S postupným vývojom spektroskopie sa otvorili nové možnosti, týkajúce sa pohybu skúmaných objektov vo vesmíre. Kým pôvodne mohli astronómovia určiť len súradnice a vzdialenosť, od roku 1842 sa im naskytla nová možnosť, prvýkrát použitá v roku 1866. Zaslúžil sa o to už spomínaný William Huggins, ktorý vychádzal z práce rakúskeho fyzika Christiana Dopplera (1803-1853). Jednalo sa o výpočet radiálnej rýchlosti hviezdy. Kľúčové bolo rozšírenie čiar v spektre hviezdy. Dopplerova publikácia z uvedeného roku 1842 s názvom „O farebnom svetle dvojhviezd a niektorých ďalších nebeských telies“ obsahuje výklad zmeny frekvencie svetla pri pohybe zdroja. Hoci dnes už vieme, že prvé meranie a výpočty mali k presnosti ďaleko, znamenalo to pokrok v skúmaní vesmírnych objektov. V súčasnosti sa táto metóda stále používa, no vďaka lepším znalostiam a meracím prístrojom je oveľa presnejšia.



Tabuľka 2.1: Spektrálna klasifikácia podľa Secchiho

trieda I	biele a modré hviezdy	výrazná vodíková čiara
trieda II	žlté hviezdy	viditeľné kovové čiary
trieda III	oranžové až červené hviezdy	komplexný pás spektra

## 2.3 Spektrálna klasifikácia

Okrem možnosti identifikácie jednotlivých prvkov zastúpených vo hviezdach, prispela spektroskopia aj k možnosti rozlíšenia jednotlivých hviezd, tzv. klasifikácií.

S rozvojom spektroskopie sa objavuje potreba rozlišovať hviezdy aj z tohto hľadiska. Prvý, ktorý sa podujal rozčleniť hviezdy na základe ich charakteristických rysov (konkrétne sa jedna o ich vzhľad) bol americký astronóm Lewis Morris Rutherford (1816-1892), ktorý v roku 1862 zaviedol tri spektrálne triedy. Napriek tomu, že to v danej dobe bolo pomerne dostatočné, už onedlho sa objavili štyri triedy, ktorých autorom bol Agelo Secchi (1818-1878) - tabuľka č.2.1 [4].

Postupom času však toto členenie nestačilo, s dokonalejšími pozorovacími prístrojmi, nadobúdali pôvodné skupiny príliš veľa členov, prípadne podskupín. Prvým členením na základne fyzikálnych vlastností objektov, teda rozdelením na základne teploty sa zaoberal nemecký astronóm Hermann Carl (1841-1907), ktorý zaviedol tri skupiny a tiež prvý spektroskopický katalóg hviezd.

Asi najvýznamnejším a najznámejším človekom, ktorý položil základy súčasnej klasifikácii, je americký astronóm Edward Charles Pickering (1846-1919). Pristúpil k hromadnému používaniu fotografie v spektrometrii, čo nielen urýchlilo určovanie a a zaradovanie (odpadla nutnosť priameho pozorovania), ale aj spresnilo pozorovanie. Porovnávaním hviezd na fotografiách totiž aspoň čiastočne odpadol ďalší možný faktor chýb - nepresnosť, či nedokonalosť očí niektorých pozorovateľov. Prvý Harvardský katalóg bol zverejnený už v roku 1884 a zhruba desať rokov za ním nasledovalo druhé vydanie, pričom sa počet zaradených hviezd zvýšil z tisícov na milióny. Pickering však na to nebol úplne sám. Svojím spôsobom mu pomohol Secchi, keďže vychádzal z jeho klasifikácie, ktorú však zjemnil.

# Kapitola 3

## Hviezda HD74212

V práci sa zaoberám hviezdou s označením HD 74212. Skratka HD v názve hviezdy hovorí, že sa hviezda nachádza v katalógu Henryho Drapera, ďalej číslo 74212 je jej číslo v tomto katalógu. Dané pomenovanie nie je jediné [5]. V tabuľke č.3.1 prikladám ďalšie názvy, pod ktorými možno hviezdu nájsť. Tabuľka č.3.2 obsahuje prehľad základných informácií o hviezde.

Hviezdu radíme do súhvezdia Plachiet. Patrí do otvorenej hviezdokupy s označením IC 2391. Hviezdokupa bola prvýkrát opísaná perzským astronómom Al Sufim okolo roku 964 n.l. Nezávisle na tom ju o pár storočí neskôr objavil Abbe Lacaille v roku 1752 a do katalógu ju zaviedol pod názvom Lac II. 5. Jej vek je približne určený na 36 miliónov rokov. Súhvezdie je viditeľné voľným okom, môže za to aj jej najjasnejšia a zároveň najteplejšia zložka. Jedná sa o Velorum (tiež HD 74195), hviezdu spektrálneho typu B3, ktorej vizuálna hviezdna veľkosť dosahuje 3,63 magnitúd. Stručné informácie o súhvezdí sa nachádzajú v tabuľke č.3.3. [6]

Napriek tomu, že je toto súhvezdie dostatočne dobre viditeľné, nerobila som

Tabuľka 3.1: Ďalšie názvy hviezdy HD 74212

VXR PSPC 15	CPC 19 3072	IC 2391 22	SRS 8548
CD-53 2395	CPD-53 7808	SSAO 236168	UBV 8410
CI* IC 2391 L 26	CI* IC 2391 PPM 715	PPM 337125	UBV M 8707
GCRV 60042	GEN# +3.23910022	2MASS J08401741-5326317	

Tabuľka 3.2: Hviezda HD 74212

súradnice	rektascenzia	$8^h40^m17,434^s$
	deklinácia	$-53^\circ26'32,09''$
radiálna rýchlosť	$(3 \pm 20) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	
spektrálny typ	K0 III	
hviezdna veľkosť	B 9,75 mag V 8,69 mag	

Tabuľka 3.3: Základná charakteristika IC 2391

rektascenzia	$8^h40,6^m$
deklinácia	$-53^\circ02'$
vzdialenosť	$(147,7 \pm 5,5) \text{ pc}$
vizálna hviezdna veľkosť	2,5 mag
uhlová veľkosť	$50^\circ$
radiálna rýchlosť	$(16,04 \pm 2,53) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
vlastný pohyb v rektascenzií	$(-25,05 \pm 0,34) \text{ mas} \cdot \text{rok}^{-1}$
vlastný pohyb v deklinácií	$(-22,65 \pm 0,28) \text{ mas} \cdot \text{rok}^{-1}$

priame pozorovanie a spektrum som získala z pozorovaní v Chile. Hviezda sa totiž nachádza na južnej pologuli a tak je z našich zemepisných širok (Česká republika) nepozorovateľná.

Ďalšie vlastnosti hviezdy som získala z článku Straižysa a Kuriliena [7], kde sa síce neuvádza priamo daná hviezda, ale hviezdy daného typu všeobecne. Niektoré z hodnôt som využila neskoršie v práci.

Udávaná radiálna rýchlosť hviezdy sa mení v pomerne veľkom rozpätí. Kým v Simbáde je možné nájsť hodnotu  $(3 \pm 20) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , článok „Radial velocity in the open cluster IC 2391“ z roku 1988 [8] udáva rozpätie  $(43 - 55) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  s príslušnou chybou. Prehľad konkrétnych hodnôt je v priloženej tabuľke č.3.4.

Tabuľka 3.4: Radiálne rýchlosti hviezdy HD 74212

Hel. J.D. 2 440 000	R.V. ( $km \cdot s^{-1}$ )	n	Int. prob. error ( $km \cdot s^{-1}$ )
5360,817	48	13	3
5361,719	50	13	3
5365,751	50	13	3
5365,752	54	13	3
5367,699	49	13	4
5368,615	55	13	3
5370,594	43	12	3
5371,617	51	11	3
5372,613	55	12	3

# Kapitola 4

## Spektrum hviezdy

### 4.1 Spektrum

Spektrum je ako odtlačok prsta. Jedinečne dané pre každú hviezdu a v závislosti na zemepisnej šírke aj pre daný okamih - zastúpenie prvkov v atmosfére v presnom mieste je premenlivé, a nikdy nie je rovnaké.

Čiary spektra bývajú v ideálnom prípade symetrické, krídla majú rovnaký priebeh. Oveľa častejšie sa však vyskytujú čiary tzv. blendované, keď si spektrálne čiary susediacich prvkov zasahujú do profilu, navzájom sa prekrývajú. Nezriedka je potom ťažké (pri veľmi tesných prvkoch) určiť, ktorý prvok prevláda. Vo svojej práci sa snažím vychádzať hlavne z jasnejších - jednoznačnejších, miestami síce blendovaných, ale nesporne určených prvkov.

### 4.2 Profil spektrálnych čiar

Spektroskopia nám umožňuje z grafov a dátových záznamov získať množstvo ďalších informácií ohľadom hviezdnej atmosféry, ako teplotu, chemické zloženie, tiažové zrýchlenie atď. Toto prebieha hlavne štúdiom absorpčných čiar daných spektier. Pokiaľ máme spektrum s dostatočnou disperziou, môžeme jeho fotometrickým premeraním zistiť profil čiary, t.j. relatívnu intenzitu žiarenia v závislosti na vlnovej dĺžke v okolí čiary. Profil ďalej využijeme na získanie (odvodenie) vlastnosti tej časti hviezdnej atmosféry, v ktorej vznikajú absorpčné čiary, ako napr. teploty, turbulentných pohybov, množstva absorbujúcich častíc, intenzitu magnetického poľa, či rotáciu hviezdy. Skutočný profil čiary závisí na rade faktorov. Pokiaľ by nastal ideálny prípad, vlnová dĺžka (frekvencia) emis-

nej a absorpčnej čiary by zodpovedala prechodu elektrónu medzi dvoma ostro definovanými hladinami, pričom rozdiel hladín energií je  $\Delta = h\nu$ . Pre tento prípad máme zodpovedajúcu funkciu  $\delta$ , teda konečná merateľná hodnota intenzít emisnej čiary je obmedzená len na jednu vlnovú dĺžku  $\lambda$  odpovedajúcu frekvencii  $\nu$ . Reálna situácia sa však líši od ideálneho modelu. Bežne totiž emisné či absorpčné čiary vznikajú ako súčast' emisií (či absorpcií) vo veľkom počte atómov.

Rozdiely energetických hladín všetkých atómov, ktoré v danom okamihu žiaria, nie sú rovnaké, ale budú s istou pravdepodobnosťou rozložené okolo strednej hodnoty  $\Delta E_0 = h\nu_0$ , kde  $\nu_0$  odpovedá frekvencii strednej čiar. Rozdiely hodnôt  $\Delta E$  pre určitý prechod u jednotlivých atómov vznikajú napríklad pri vzájomných tesných stretnutiach (zrážkach) atómov s nabitými časticami, čo sa prejaví rozšírením spektrálnych čiar (jav nazývaný Starkov efekt). Avšak ani z oblaku častíc, ktoré sa vzájomne všeobecne ovplyvňujú, nevyžiari, respektíve nepohlí sa úplne len určitá frekvencia  $\nu_0$ , ale s istou pravdepodobnosťou aj frekvencia  $\nu$  v jej tesnom okolí.

Keďže žiariaci (či absorbujúci) atóm si môžeme v tejto súvislosti predstaviť ako harmonický oscilátor vysielaajúci tlmené vlny, možno hovoriť o rozšírení čiar útlmom. Ak kmity oscilátoru sú tlmené, potom energia udáva exponenciálne s časom  $e^{-t\gamma}$ , veličina  $\gamma$  je konštantou útlmu. V zhode s Fourierovou analýzou takýchto kmitov sa dá napríklad zistiť, že rozloženie absorpčného koeficientu  $\kappa_\nu$ , okolo frekvencie  $\nu_0$  strednej absorpčných čiar je úmerné výrazu

$$\kappa_\nu \sim \frac{\gamma}{4\pi^2(\nu_0)^2 + (\gamma/2)^2}. \quad (4.1)$$

V dôsledku časovo obmedzeného vyžarovania energie atómom dochádza k rozšíreniu čiar žiarivým útlmom. Ak toto rozšírenie je

$$\Delta\nu = \frac{\gamma}{2}, \quad (4.2)$$

pričom to je šírka meraná v mieste polovičnej intenzity strednej čiary (prípadne hĺbky – v závislosti na emisnej či absorpčnej čiare). Potom môžeme prirodzenú dĺžku čiar vyjadriť nezávisle na vlnovej dĺžke ako:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c}\Delta\nu = 1,1810^{-4} \sim 10^{-5} \text{ nm}. \quad (4.3)$$

Prirodzená šírka čiar (ako dôsledok žiarivého útlmu) je veľmi malá a v praxi ju bežne zanedbávame.

### 4.3 Rozšírenie čiar

„Skutočnosť, že pozorovaná spektrálna čiara vzniká absorpciou či emisiou v danom okamihu vo veľkom počte atómov, ktoré sa vzhľadom k pozorovateľovi pohybujú rôznymi rýchlosťami, sa prejaví na rozšírení čiary. Pritom však príčina rozdielu v rýchlostiach atómov môže byť rôzna. Vedľa tepelných pohybov môžu to byť makroskopické turbulentné pohyby v atmosfére hviezdy – vzostupné a zostupné prúdy plynov – alebo aj usporiadané prúdenie plazmy v niektorom mieste na hviezdnom povrchu. Pochopiteľne aj rotácia hviezdy rozšíri spektrálne čiary charakteristickým spôsobom. Rozšírenie čiary útlmom sa dá pomerne dobre rozlíšiť od ostatných vplyvov z profilu. Tiež pomerne ľahko sa dá odhadnúť, či rozšírenie čiary je spôsobené rotáciou alebo tepelnými turbulentnými pohybmi.

Tepelnými pohybmi jednotlivých atómov v atmosfére hviezdy vznikajú tepelné rozšírenia spektrálnych čiar. Predpokladá sa u toho Maxwellove rozdelenie rýchlosti. Potom istý zlomok počtu častíc  $N$  bude mať radiálnu rýchlosť v medziach  $v$  až  $v + dv$

$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp \left[ - \left( \frac{v}{v_0} \right)^2 \right] \frac{dv}{v_0}, \quad (4.4)$$

pričom  $v_0$  je najpravdepodobnejšia rýchlosť.

Keďže turbulencia má nahodilý charakter a hviezdny povrch pozorujeme ako celok, potom termické a turbulentné efekty vstupujú súčasne do celkového dopplerovského rozšírenia čiary a platí:

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda}{c} \sqrt{\left( \frac{2RT}{\mu} + v_t^2 \right)}. \quad (4.5)$$

“ [9]

V tabuľke č.4.1 nachádzame stručný prehľad možných príčin rozšírenia spektrálnych čiar v spektre hviezdy [9].

### 4.4 Zložené profily

Zo spomínaných vecí môžeme odvodiť závislosť absorpčného koeficientu na vlnovej dĺžke (prípadne na frekvencii), daný vzťah má tvar:

$$\kappa_p \simeq \exp \left[ \frac{-\Delta\lambda}{\Delta\lambda_D} \right]^2, \quad (4.6)$$

Tabuľka 4.1: Prehľad hlavných mechanizmov rozširujúcich čiary v spektrách hviezd

Útlm	a) žiarivý (zanedbateľný $10^{-3} \text{ nm}$ ) b) spôsobený zrážkami (výrazný pri počte zrážok $10^7 \text{ s}^{-1}$ )
Dopplerov jav	a) teplota b) turbulencie c) rotácia hviezdy
Zeemanov jav	magnetické pole (v závislosti na poli je čiara buď rozšírená alebo rozštiepená)
Starkov Jav	štiepenie spektrálnych čiar v elektrickom poli

kým pre samotný útlm platí jednoduchšia závislosť:

$$\kappa_p = \frac{1}{\Delta\lambda^2}. \quad (4.7)$$

Je pochopiteľné, že oba tieto prejavy sa uplatňujú súčasne a profil čiary je zložený z profilov dvoch. Podiel útľmu na profile čiar závisí predovšetkým na tlaku plynu (voľných elektrónoch).

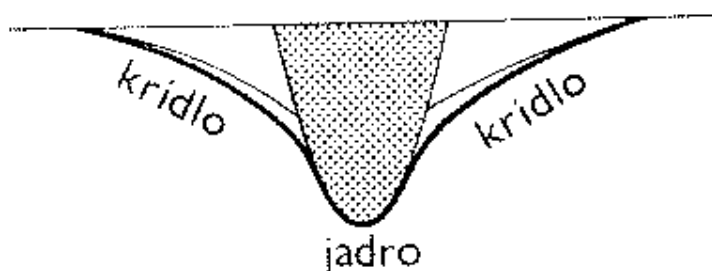
Priebeh profilu čiary je daný funkciou  $H = (\alpha, \chi)$  odvodenú Voigtom a udávajúcu pomer absorpčného koeficientu mimo stred čiary ku koeficientu v strede čiary  $\kappa_0$

$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = H = (\alpha, \chi). \quad (4.8)$$

Pokiaľ je  $\kappa_0$  veľmi vysoké – jedná sa o veľmi silnú absorpciu v centre čiary – úplne sa zaplní dopplerovské jadro čiary. Ak ďalej rastie – dopplerovské jadro je už zaplnené a pomaly sa začne prejavovať absorpcia v krídlach čiary, kde sa však už uplatní profil ovplyvnený výhradne útlmom.

Voigtova funkcia sa používa hlavne pre chladné hviezdy, medzi ktoré naša hviezda patrí, lebo najlepšie vystihuje profil čiar. Je vlastne kombináciou dvoch funkcií a to Gaussovej, ktorá najvhodnejšie opisuje jadro čiary a Lorentzovej, ktorej opis výborne vystihuje krídla čiary.





Obr. 4.1: Profil čiary v spektre [9]

## 4.5 Ekvivalentná šírka čiar

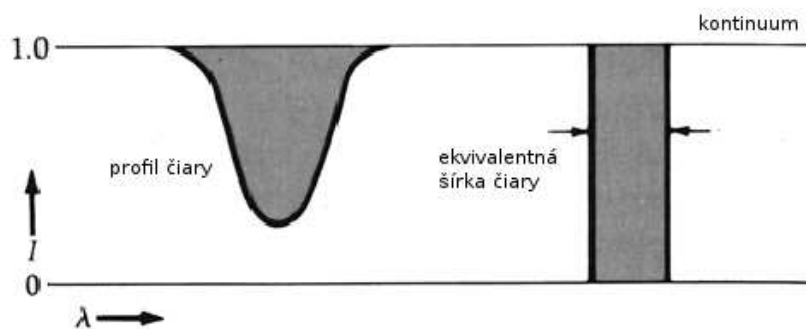
Keďže profil čiary je ovplyvnený mnohými faktormi, je zrejmé, že napríklad široká čiara môže poprípade reprezentovať slabšiu celkovú absorpciu (relatívne ku kontinuu) než čiara omnoho užšia. Je teda nutné zaviesť veličinu, ktorá by jednoznačnejšie závisela na počte atómov, ktoré sa absorpcie (alebo emisie) účastnia. Preto sa zavádza pojem ekvivalentná šírka čiary, čo je šírka myslenej čiary pravouhlého profilu (v rovnakom mieste spektra, ako čiara skutočná), v ktorej je absorbované všetko žiarenie a ktorá ma rovnakú plochu, ako čiara skutočná. Ekvivalentná šírka čiary preto nie je závislá na skutočnom profile čiary, len na počte absorbujúcich (emitujúcich) častíc. Ekvivalentná šírka čiary sa vyjadruje väčšinou v zlomkoch  $nm$  (tiež v  $m\text{\AA}$ ) a platí:

$$W_\lambda = \int_{-\infty}^{\infty} (1 - I_\lambda) d\lambda \quad (4.9)$$

## 4.6 Telurické čiary

Keďže sa väčšina detektorov nachádza na Zemi, musí sa počítať s nežiaducimi vplyvmi, ktoré má na pozorovanie zemska atmosféra. Z tohoto dôvodu sú stanovené kritéria, týkajúce sa umiestnenia observatórií, kvôli ich najefektívnejšiemu využitiu. Dôraz je kladený na počet jasných dní v roku, minimálne svetelné znečistenie a pokiaľ možno čo najlepšie poveternostné podmienky. S postupujúcou dobou sa zlepšujú aj detekčné prístroje, ktoré zase nároky zväčšujú.

Telurickými čiarami sú jednotne nazývané čiary, objavujúce sa v spektre hviezd, ktoré ale majú pôvod v zemskej atmosfére. Sú to čiary kyslíku, vodných pár a rôznych molekúl, ktoré sa v danej dobe nachádzajú v smere merania



Obr. 4.2: Ekvivalentná šírka čiar -  $W$

pozorovacieho prístroja.

Najlepšie sú badateľné, respektíve najviac sa v spektre prejavujú v dlhších vlnových dĺžkach (červená a infračervená oblasť elektromagnetického spektra) [10].

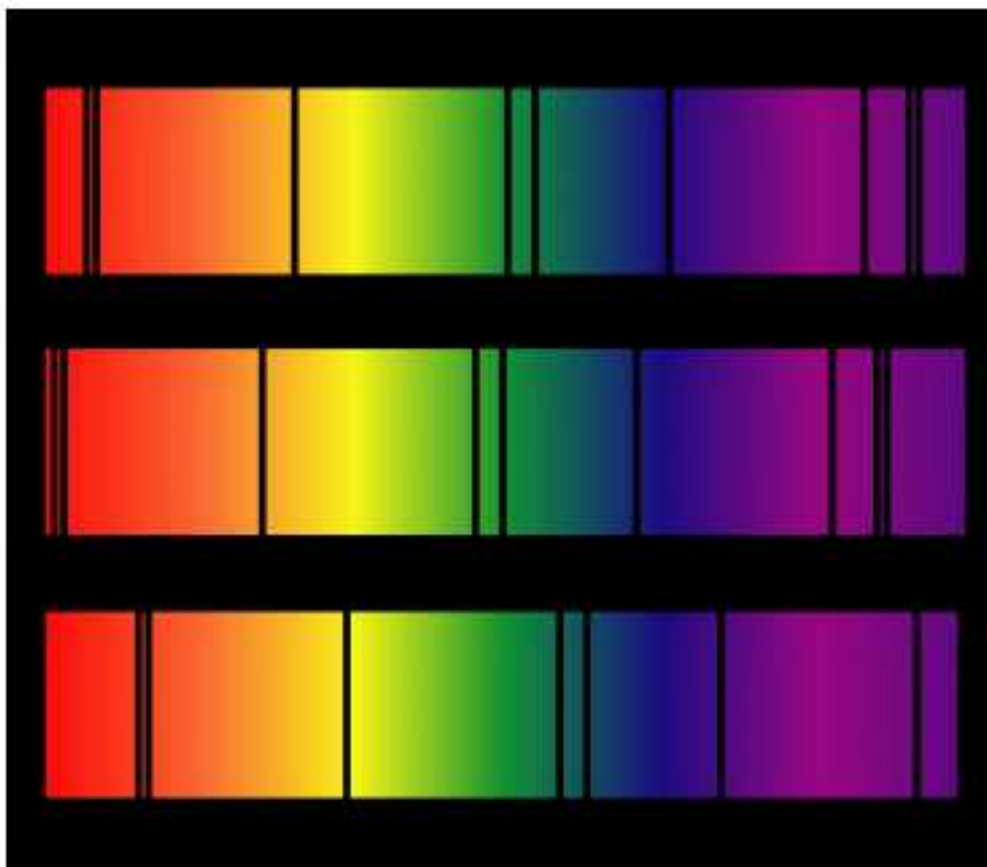
## 4.7 Posun spektrálnych čiar

Objekty vo vesmíre nie sú statické, pohybujú sa. Rotujú okolo svojej osy, obiehajú okolo spoločného ťažiska vybraného systému a pohybujú sa ako súčasť väčšieho systému. Zo všetkých týchto pohybov vyplýva zjavne – objekty sa vo vesmíre pohybujú voči sebe navzájom.

V sústave dvoch telies, ktoré sa voči sebe pohybujú, si zvolíme jedno za referenčné – vzťažné a bude nás zaujímať pohyb druhého telesa. Teleso má vo vesmíre rýchlosť, ktorá je výslednicou dvoch zložiek - tangenciálnej a radiálnej. Tangenciálna je kolmá na smer voči pozorovateľovi (v našom prípade nejaké detekčné zariadenie na Zemi, či v jej blízkosti) a radiálnej, ktorá je rovnobežná so spojnicou pozorovateľ - objekt.

Radiálna rýchlosť môže nadobúdať hodnotu kladnú aj zápornú. Daná hodnota v sebe ukrýva informáciu, či sa objekt pohybuje k pozorovateľovi (záporné číslo), alebo či sa od pozorovateľa vzdďaľuje (kladné číslo). Tento pohyb súvisí s Dopplerovým efektom (či Dopplerovým posunom), so zmenou pôvodnej frekvencie vysielaanej zdrojom (a tým aj zmenou vlnovej dĺžky). Pokiaľ sa objekt pohybuje k pozorovateľovi, jeho frekvencia sa zvyšuje, nastáva posunutie vlnových dĺžok k väčším dĺžkam – stretávame sa s tzv. modrým posunom. Naopak,

pokiaľ frekvencia elektromagnetického žiarenia, ktorú zachytí pozorovateľ, je v porovnaní s pôvodnou frekvenciou zdroja nižšia, dostávame sa ku kratším vlnovým dĺžkam a jedná sa o červený posun. Na obrázku 4.3 [11] je názorné spektrum, pričom prvé je referenčné (laboratórne), druhé ukazuje červený posun a najspodnejšie modrý posun.



Obr. 4.3: Posun spektrálnych čiar - Dopplerov effect

V predchádzajúcom odstavci sa spomenulo, že posun súvisí s posunutím čiar k dlhším či kratším vlnovým dĺžkam. Závislosť frekvencie a rýchlosti je vyjadrená vzťahom

$$f = \left(1 - \frac{v_{s,r}}{c}\right) f_0, \quad (4.10)$$

Kde  $f$  predstavuje pozorovanú frekvenciu,  $f_0$  je frekvencia detekovaná,  $c$  je rýchlosť svetla vo vákuu,  $v_{s,r}$  je rozdiel radiálnych rýchlostí zdroja k rýchlosti pozorovateľa  $v_{s,r} = v_s - v_r$ . Po upravení vzťahu pre rýchlosť a vlnovú dĺžku dostaneme tvar

$$v_r = c \frac{\lambda_p - \lambda_l}{\lambda_l}, \quad (4.11)$$

pričom  $\lambda_p$  je vlnová dĺžka, na ktorej pozorujeme určitý prvok, kým  $\lambda_l$  je hodnota vlnovej dĺžky toho istého prvku v laboratórnych podmienkach a  $v_r$  je radiálna rýchlosť, ktorú určujeme.

# Kapitola 5

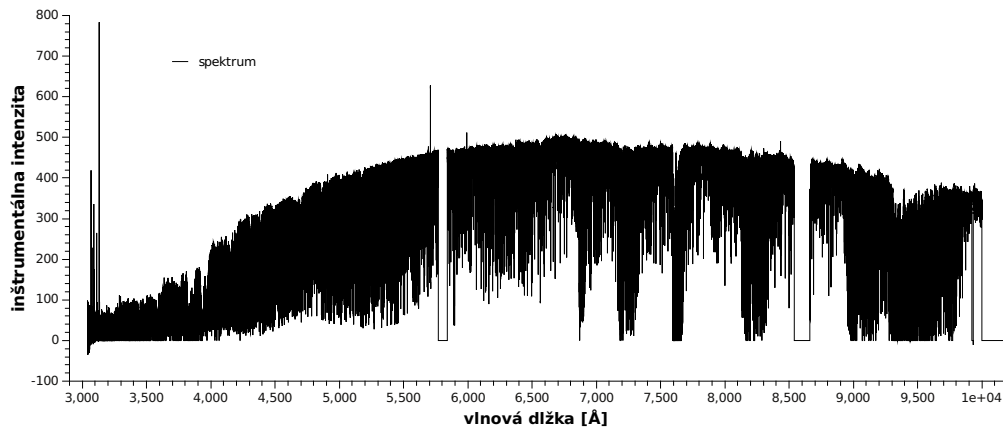
## Analýza spektra

Spektrum hviezdy HD 74212, analyzované v tejto práci, bolo namerané 12.2.2001 na Paranal Observatory v Chile, ako súčasť programu Európskeho južného observatória. Projekt nazývaný „A Library of High-Resolution Spectra of Stars across the Hertzsprung-Russell Diagram“ [12] poskytol vysoko disperzné spektrum približne štyristo hviezd naprieč Hertzsprung-Russellovým diagramom v širokom rozsahu vlnových dĺžok s vysokým pomerom signál/šum (S/N). Tieto dáta boli neskôr po redukcii sprístupnené verejnosti na sieti a vo svojej práci z nich čerpám.[13]

Po získaní dát sa mi pomocou programu QTIPLOT podarilo vykresliť prehľadné spektrum hviezdy zobrazené v grafe č.5.1

Spektrum bolo nasnímané pomocou jedného zo štvorice teleskopov, tvoriacich VLT (Very Large Telescope). Jednalo sa o teleskop Kueyen, ktorého priemer zrkadla je 8,2 m a spektrograf UVES (UV-Visual Eschelle Spectrograph). Pomer signál-šum (S/N) je uvádzaný na 300/500 v obore V. Súhrnné rozlíšenie spektier pre tento projekt je udávané na 110 000 bodov v rozmedzí 300nm-1100nm [14]. Spektrum mojej hviezdy má rozlíšenie 0,015 Å/px, čo je ešte podrobnejšie.

Poskytované spektrum nemá normované hodnoty intenzity, tá je udávaná v inštrumentálnych jednotkách. Normovaním sa zaoberám ďalej v práci. Tiež nie je opravené o radiálnu rýchlosť hviezdy, ale je tu už zavedená heliocentrická korekcia.



Obr. 5.1: Spektrum hviezdy HD 74212

## 5.1 Preloženie kontinua a normovanie spektra

Predtým, než som u spektra začala určovať jednotlivé prvky, normovala som ho. Prekladala som spektrum polynómom druhého a tretieho rádu, pričom sa nikdy nejednalo o celé spektrum, ale o niekoľko jeho častí. Vznikol graf podobný pôvodnému, pričom ale maximálna intenzita bola 1 a zodpovedala kontinuu.

Aby som mohla spraviť normovanie spektra, hľadala som najprv jeho kontinuum zvolením najvyšších bodov inštrumentálnej intenzity v lokálnych a globálnejších vlnových dĺžkach príslušného úseku. V prílohe tabuľky č.5.1 sa nachádza výpis daných bodov. Následne som hľadala vhodný polynóm. Pre úsek (5000-5500) Å najlepšie sedel polynóm tretieho rádu:

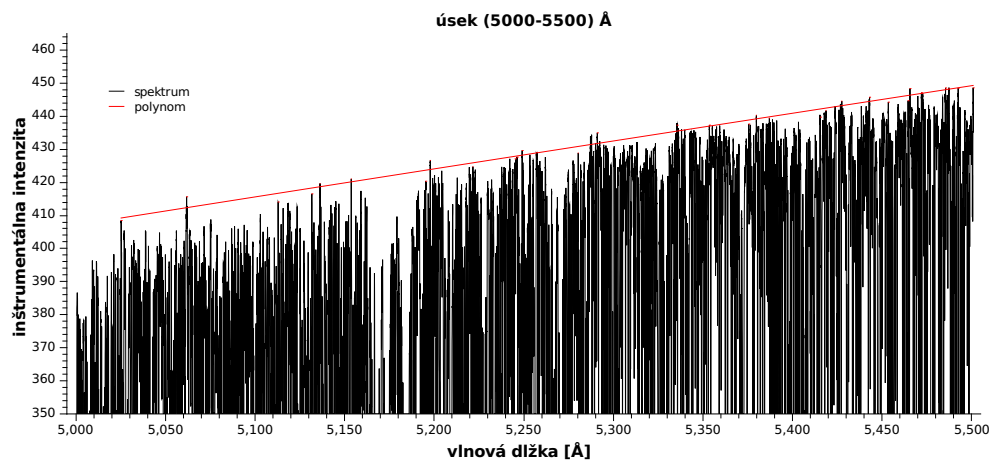
$$A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \quad (5.1)$$

$$9.580310^3 + (-5.3922)x + 1.041910^{-3}x^2 + (-6.603510^{-8})x^3 \quad (5.2)$$

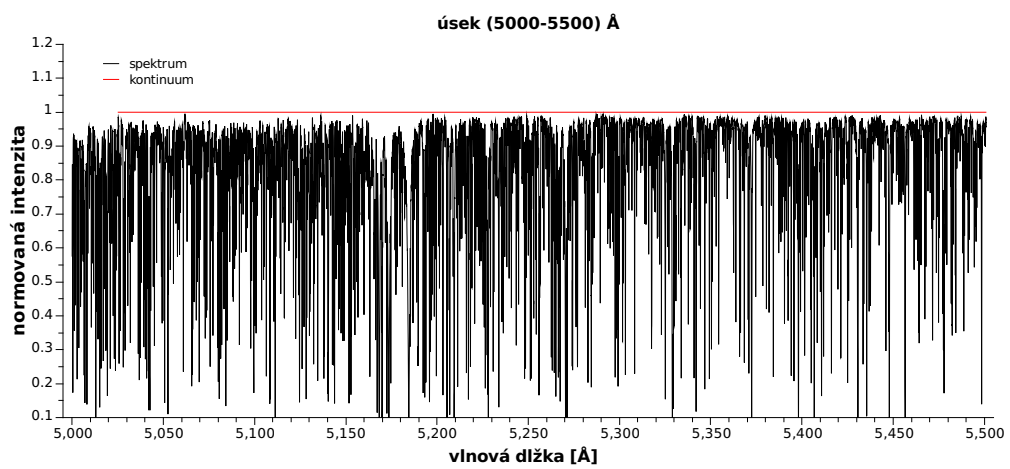
Následujúci graf č.5.2 ukazuje vybranú časť spektra (5000-5500) Å so zodpovedajúcim fitom, ktorým je v tomto prípade polynóm tretieho rádu. Graf č.5.3 pod ním zobrazuje rovnakú časť spektra s už normovanou intenzitou.

Tabuľka 5.1: Vybrané body pre polynóm

vlnová dĺžka [Å]	Inštrumentálna intenzita
5025,274	408,462
5061,834	415,647
5112,902	414,072
5131,727	416,531
5136,293	419,600
5153,718	421,049
5195,257	420,357
5197,835	426,630
5221,623	424,736
5245,201	427,133
5246,281	427,614
5249,094	429,628
5257,402	429,062
5280,395	428,886
5291,045	434,973
5335,573	437,287
5353,617	437,303
5375,579	437,635
5379,836	440,297
5387,068	439,428
5415,523	439,721
5418,693	441,694
5427,502	444,569
5442,998	445,744
5453,456	444,257
5464,488	444,682
5465,534	448,358
5471,971	447,086
5472,664	446,919
5485,405	448,549
5487,334	448,383
5492,446	448,489
5500,798	448,590



Obr. 5.2: Spektrum hvězdy - interval (5000-5500) Å



Obr. 5.3: Normované spektrum - interval (5000-5500) Å



## 5.2 Identifikácia čiar - prvky

Po zvolení úseku spektra a normovaní prišlo k samotnému určovaniu prvkov. Zvolila som si dobre rozlíšiteľné čiary, ktoré boli čo najmenej blendované, prípadne mali blendované len krídla. Jednotlivé čiary som určila zrovnávaním daného spektra so spektrom hviezdy podobného typu – hviezdou Arcturus (K I) - Alpha Boo - pomocou internetovej stránky Spectroweb [15]. Na stránke som si zvolila úsek a porovnávala profil jednotlivých čiar. Zrovnávacie spektrum bolo získané 6.6.2009 pomocou teleskopu Mercator Hermes.

Určenie prvkov sa nachádza v nasledujúcich grafoch č.5.4-5.9. Prehľad prvkov s príslušnou vlnovou dĺžkou sa nachádzajú v tabuľkách pod grafmi.

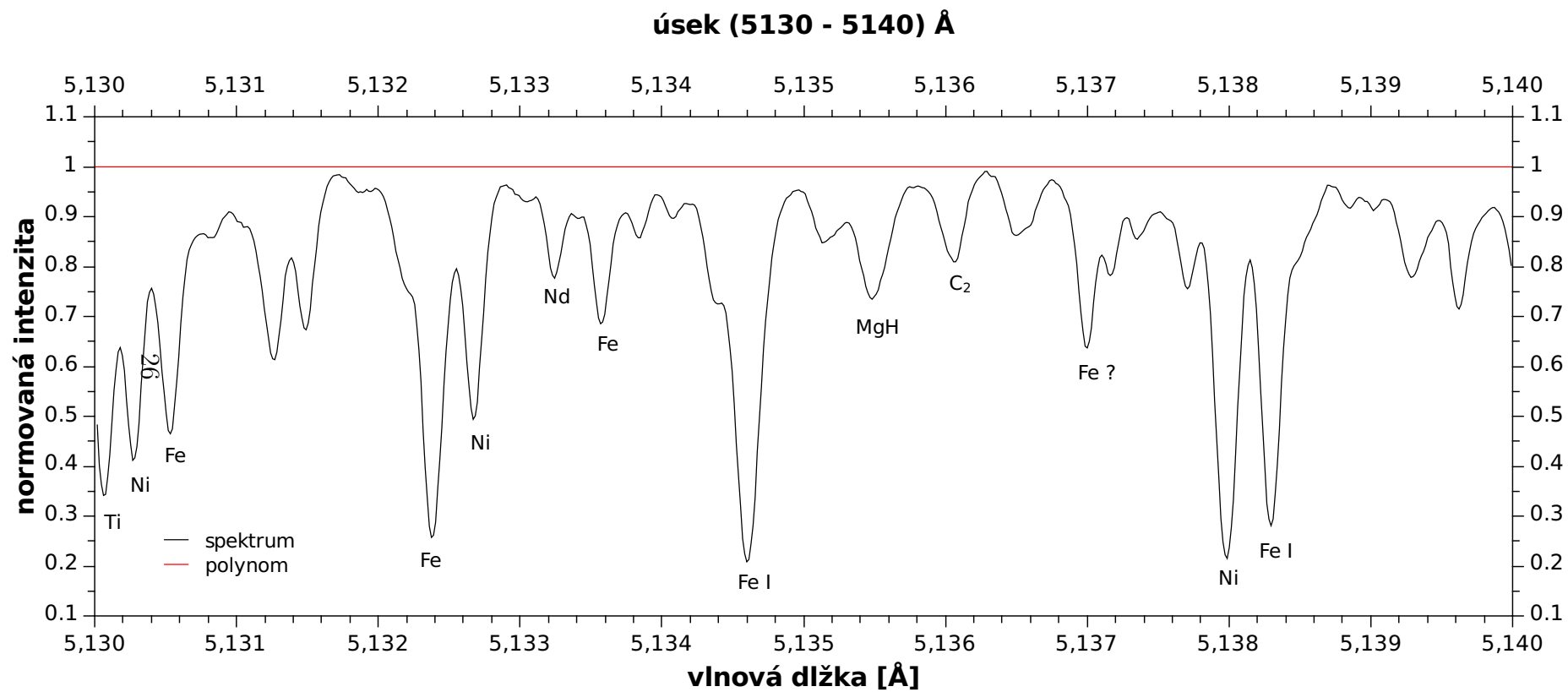
Tabuľka 5.2: Identifikácia prvkov v oblasti (5130-5140) Å

prvok	$\lambda[\text{Å}]$
Ti	5130,055
Ni	5130,269
Fe	5130,527
Fe	5132,375
Ni	5132,665
Nd	5133,240
Fe	5133,569
Fe I	5134,597
MgH	5135,488
$C_2$	5136,047
Fe ?	5136,995
Ni	5137,981
Fe I	5138,295

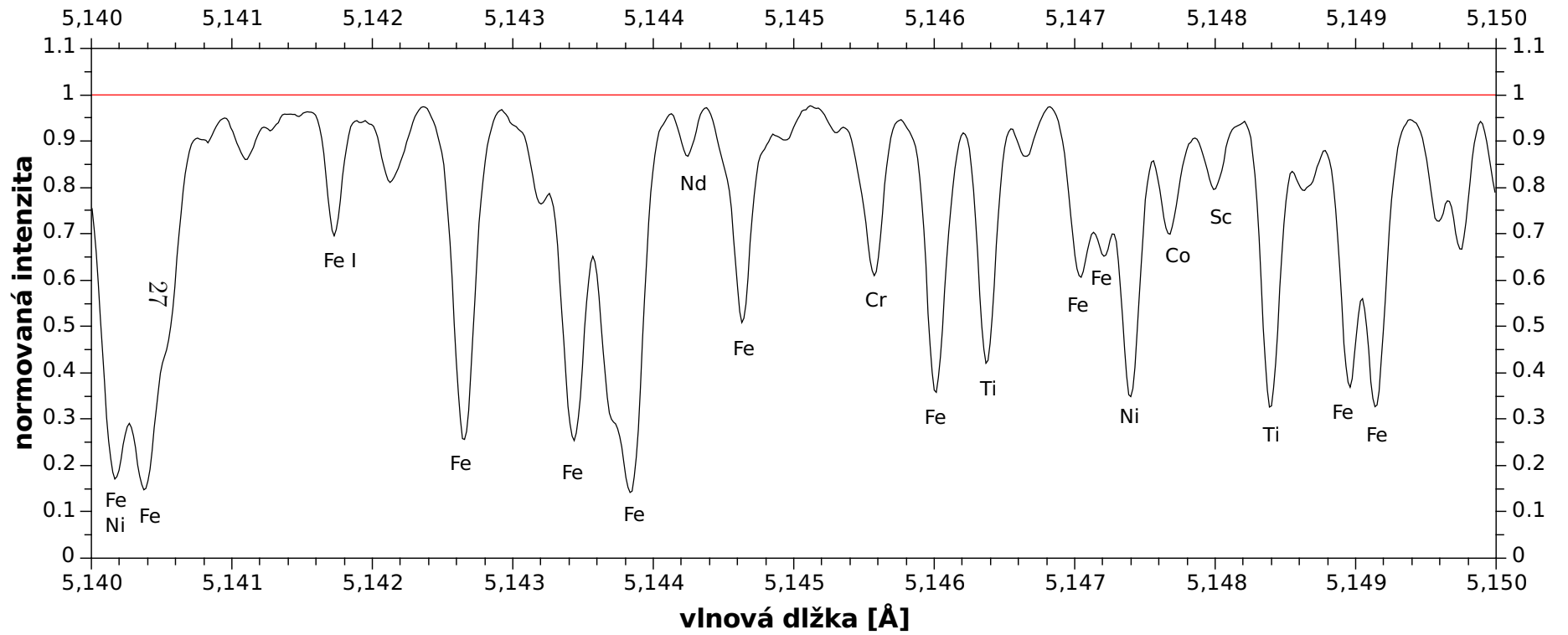
Tabuľka 5.3: Identifikácia prvkov v oblasti (5140-5150) Å

prvok	$\lambda[\text{Å}]$
Ti,Fe	5130,055
Ni	5140,162
Fe	5140,360
Fe I	5141,729
Fe	5142,650
Fe	5143,431
Fe	5143,825
Fe	5144,245
Nd	5144,631
Fe	5145,562
Cr	5146,010
Fe	5146,370
Ti	5147,034
Fe	5147,192
Fe	5147,393
Ni	5147,667
Co	5147,986
Sc	5148,389
Ti	5148,950
Fe	5148,950
Fe	5149,132

Obr. 5.4: Identifikácia prvkov v oblasti (5130-5140) Å



úsek (5140 - 5150) Å

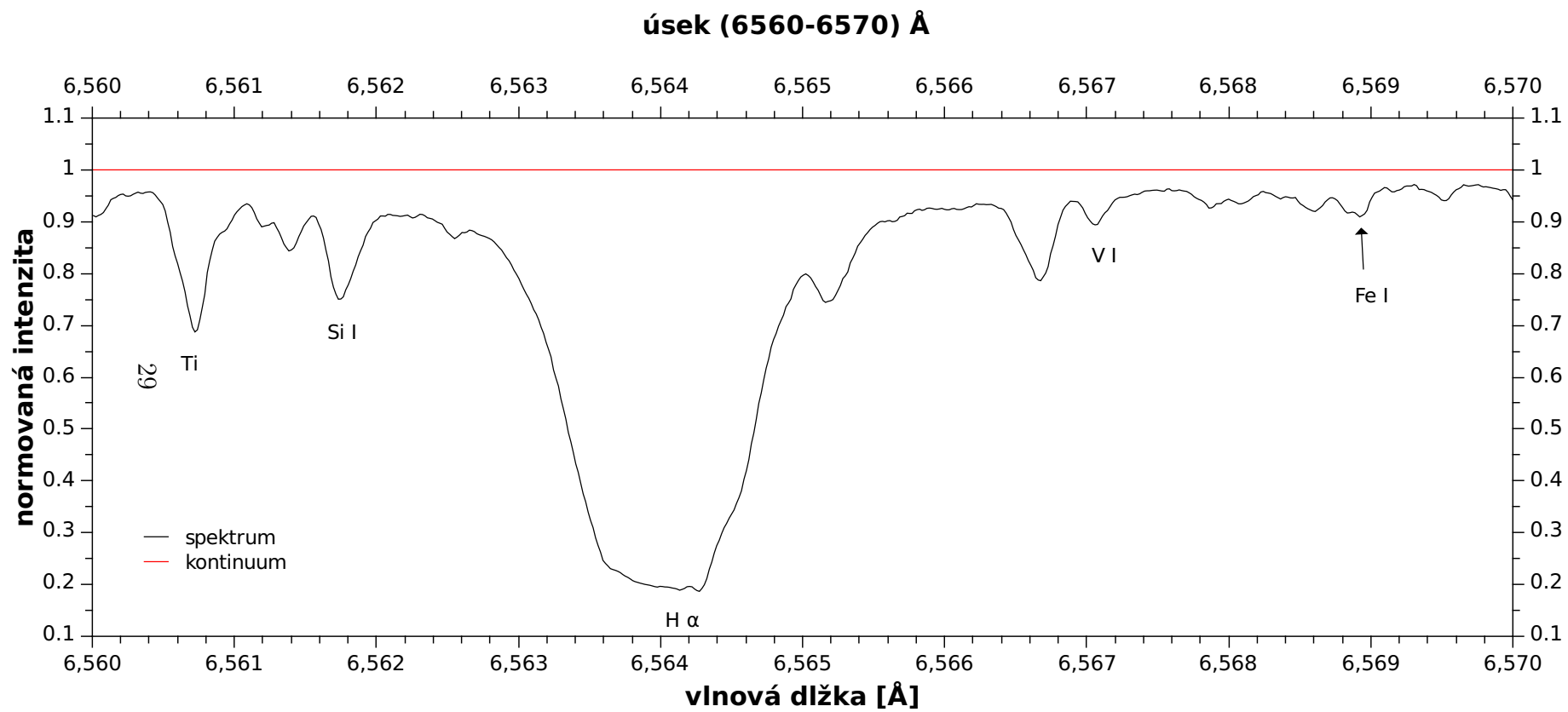


Obr. 5.5: Identifikácia prvkov v oblasti (5140-5150) Å

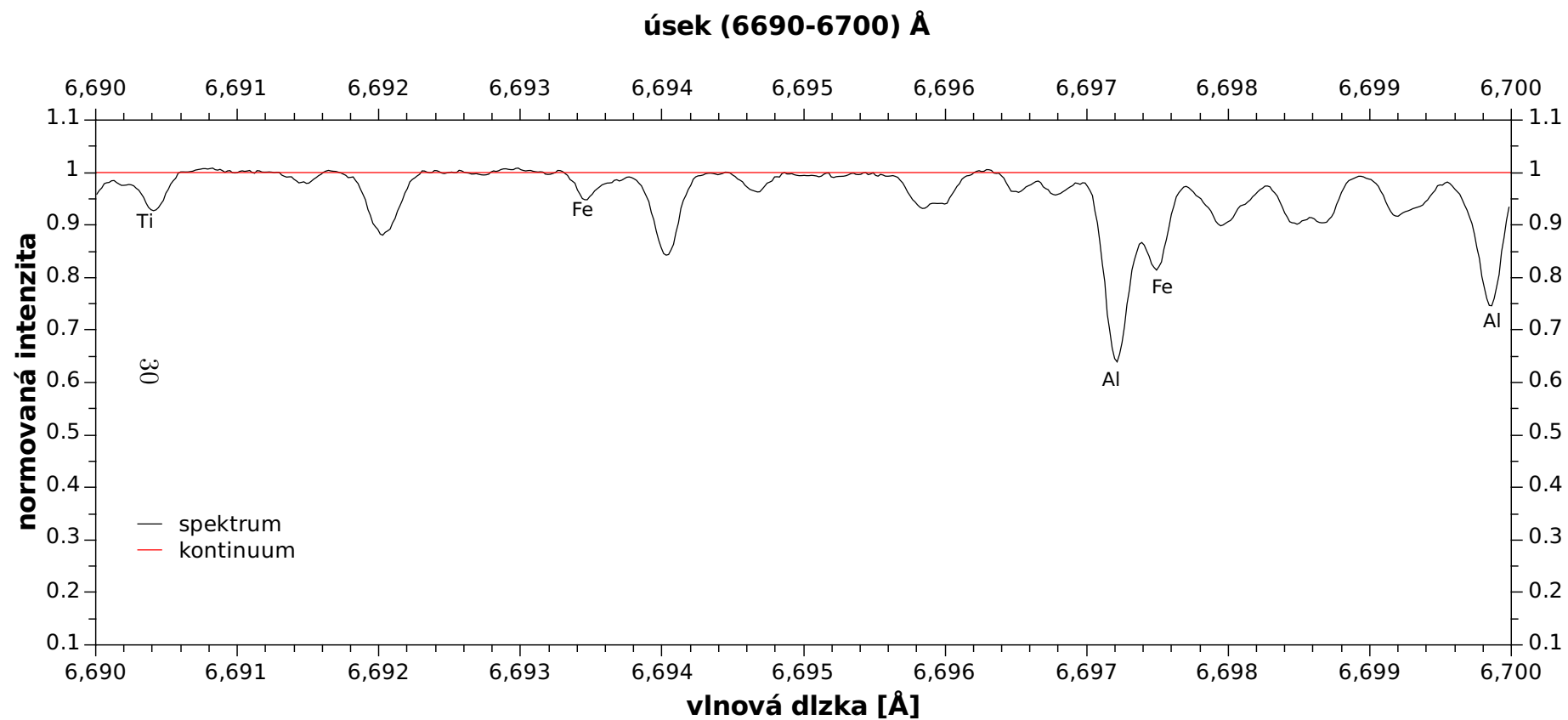
Tabuľka 5.4: Identifikácia prvkov v dlhovlnnej oblasti

prvok	$\lambda[\text{\AA}]$
Ti II	6559,588
V I	6565,878
Fe	6692,272
Al	6696,023
Fe	6696,304
Al	6698,673
Ni	6700,890
Fe I	6703,566
Fe I	6705,101
Ti	6706,288
Li	6707,761
Fe	6710,316
Fe I	6710,323
Fe I	6713,044
Fe I	6713,743
Fe	6715,382
Fe	6716,222
Ca I	6717,526

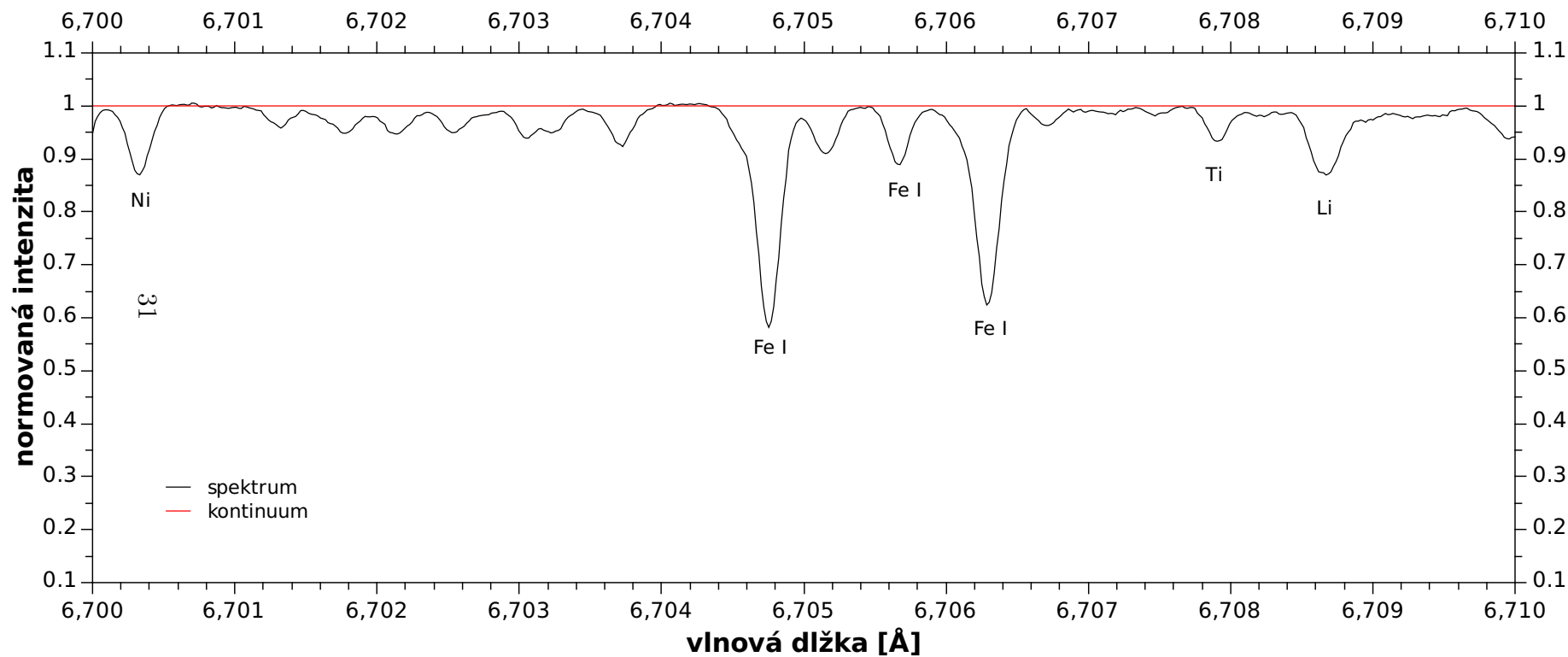
Obr. 5.6: Identifikácia prvkov v oblasti (6560-6570) Å - okolie čiar H



Obr. 5.7: Identifikácia prvkov v oblasti (6690-6700) Å



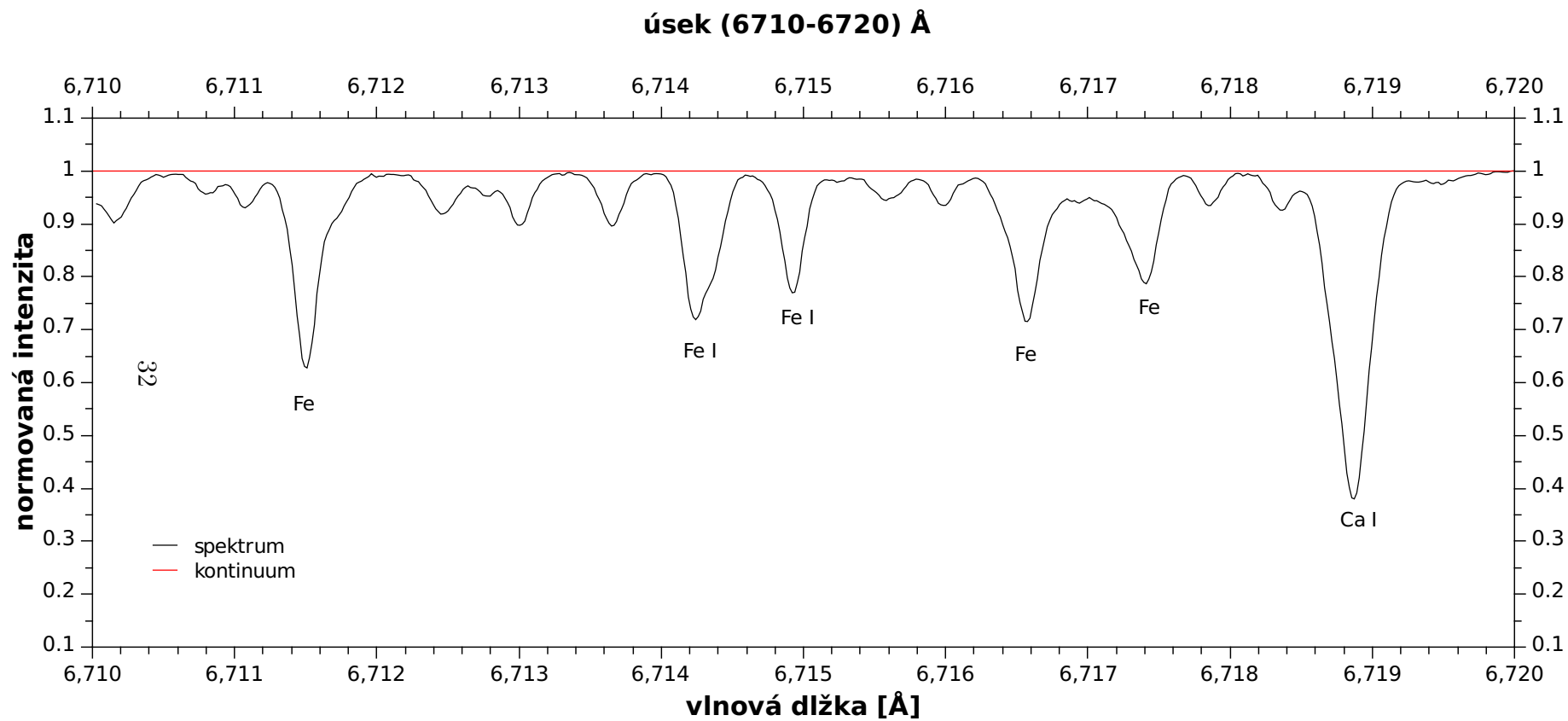
úsek (6700-6710) Å



Obr. 5.8: Identifikácia prvkov v oblasti (6700-6710) Å



Obr. 5.9: Identifikácia prvkov v oblasti (6710-6720) Å



## 5.3 Prvky atmosféry

Snažila som sa určiť zastúpenie telurických čiar v oblasti väčších vlnových dĺžok. Vychádzala som z určených vlnových dĺžok atmosferických provkov prof. Harmancom [16] a zrovnávala so svojim spektrom.

Zastúpenie telurických čiar sa mi nepodarilo nájsť preukázateľne, prisudzujem to zemepisnej šírke teleskopu Kuyen 5.5, ktorá súvisí s malou vlhkosťou - jeden z dôvodov, prečo bolo toto miesto vybrané na detekciu spektra hviezd.

Tabuľka 5.5: VLT - informácie

organizácie	Európska južná observator
meno	Very Large Telescope (VLT)
typ	Optická a infračervená oblasť
lokalita	Cerro Paranal, Púšť Atacama, Chile
súradnice	24°37'38" S, 70°24'15" W
nadmorská výška	2 635 m
počasie	340 jasných nocí za rok
teleskopy	Antu, Kueyen, Melipal a Yepun

Identifikovať v spektre sa dajú spoľahlivo tak, že sa nehýbu, t.j. spektrum hviezdy môže byť ovplyvnené dopplerovým posunom - červeným alebo modrým - kým telurické čiary nie. Telurické čiary, ako čiary vznikajúce v atmosfére Zeme, nemajú v spektre žiaden posun - zhodujú sa s laboratórnymi čiarami.

## 5.4 Určenie údajov programom Splat

Ekvivalentnú šírku čiar som zistovala pomocou programu Splat, ktorý mi tiež poslúžil v predchádzajúcej kapitole k určení centra vlnových dĺžok jednotlivých prvkov. Program pracoval s hodnotami pre normované úseky. Pri určovaní hodnôt ekvivalentnej šírky pre dané čiary využíval Voigtovu formulu [17].

$$K(a, b) = \frac{b}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-t^2)}{(a-t)^2 + b^2} d\lambda \quad (5.3)$$

$$a = \sqrt{\ln 2} \frac{x - c}{\sigma} \quad (5.4)$$

$$b = \sqrt{\ln 2} \frac{w}{\sigma} \quad (5.5)$$

V rovnici  $c$  zodpovedá centrálnej vlnovej dĺžke,  $x$  je vzdialenosť od počiatku,  $\sigma$  je Gaussovská šírka,  $W$  je Lorentzová šírka. Z rovnice využívame reálnu časť.

$$\frac{b}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-t^2)}{(a-t)^2 + b^2} d\lambda \quad (5.6)$$

Tabuľky č.5.6 a 5.7 udávajú zistené hodnoty pre zvolené prvky.

Medzi prvkami sme zistili aj MgH, ktorého vlnová dĺžka je  $\lambda = 5135,488 \text{ \AA}$  a ekvivalentná šírka čiary  $W = 0,076 \text{ \AA}$ . Efektívnu teplotu sme získali z vyššie spomínaného článku [7]  $\log T_{ef} = 3,681$ . Z týchto hodnôt sme pomocou grafu 5.10 [18] určili tiažové zrýchlenie na hviezde. Na x-ovej ose sme našli príslušnú teplotu, ktorá pre túto hviezdu je približne  $T_{ef} = 4800 \text{ K}$ . Y-nová osa prislúcha ekvivalentnej šírke čiar, ktorej hodnota je pre nami zvolený úsek tiež známa. Pomocou týchto údaj sme určili tiažové zrýchlenie hviezdy na  $\log g = 2,5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ .

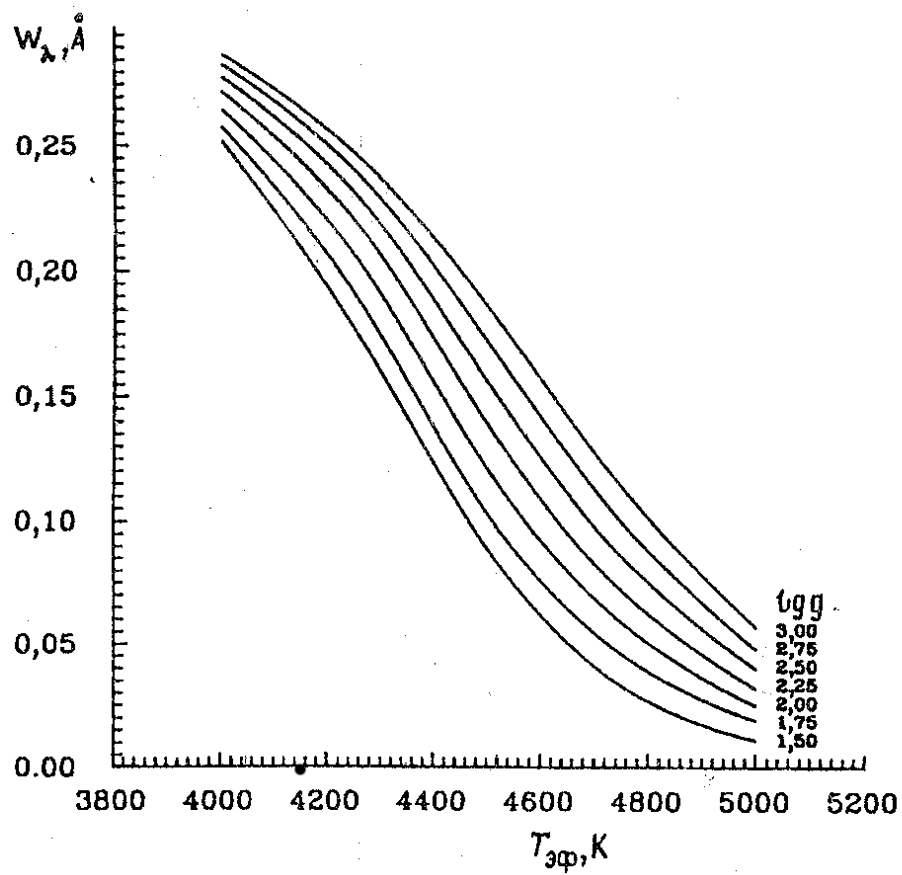
Pomocou pomeru priemeru hviezdy  $\log \frac{R}{R_{\odot}} = 1,00$  [7] a efektívnej teploty  $T_{ef} = 4800 \text{ K}$  [7] sme určili pomer žiarivého výkonu hviezdy

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 47,6, \quad (5.7)$$

ktorý sme využili v nasledujúcej rovnici na určenie hmotnosti hviezdy.

$$\log \frac{M}{M_{\odot}} = \log g + \log \frac{L}{L_{\odot}} - 4 \log T_{ef} + 10,61 \quad (5.8)$$

$$\log \frac{M}{M_{\odot}} = 0,46 \quad (5.9)$$



Obr. 5.10: Graf na zistenie tiažového zrýchlenia

$$\frac{M}{M_{\odot}} = 1,16 \quad (5.10)$$

Zistená hodnota sa líši od hodnoty udávanej Straižysom  $M = 2,88 M_{\odot}$  z roku 1981 [7], ale zodpovedá hodnote  $M = 1,1 M_{\odot}$ , ktorá sa nachádza v novej publikácii od Coxa z roku 2000 [19].

Tabuľka 5.6: Ekvivalentná šírka čiar pre úsek (5130-5140) Å

prvok	vlnová dĺžka [Å]	W [Å]
Ni	5130,269	0,050
Fe	5130,527	0,054
Fe	5132,375	0,058
Ni	5132,665	0,052
Fe I	5134,597	0,061
MgH	5135,488	0,076
Fe ?	5136,995	0,045
Ni	5137,981	0,041
Fe I	5138,295	0,054

Tabuľka 5.7: Ekvivalentná šírka čiar pre úsek (5140-5150) Å

prvok	vlnová dĺžka [Å]	W [Å]
Fe I	5141,729	0,049
Fe	5142,650	0,062
Fe	5143,431	0,048
Fe	5144,245	0,049
Cr	5146,010	0,055
Fe	5146,370	0,053
Ti	5147,034	0,057
Ni	5147,667	0,051
Ti	5148,389	0,042

## 5.5 Radiálna rýchlosť

Našou úlohou bolo upresnenie radiálnej rýchlosti hviezdy. V prvej kapitole som uviedla niekoľko rôznych hodnôt z rozdielných zdrojov, pričom tieto boli vo veľkom rozpätí. Simbad uvádza hodnotu  $(3 \pm 20) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , kým citovaný článok sa pohybuje v rozmedzí  $(43 - 55) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na určenie radiálnej rýchlosti som využila niektoré prvky a ich pozorovanú vlnovú dĺžku, ktoré som predtým určila. Ako laboratórne hodnoty som vzala vlnové dĺžky tých istých prvkov zo spektra Slnka [15]. Správne hodnotu som určila podobne, ako na začiatku tejto kapitoly – porovnávaním profilu spektra a nájdením zodpovedajúcej vlnovej dĺžky. Názvy prvkov a príslušné vlnové dĺžky, ako aj radiálna rýchlosť pre jednotlivé čiary sú v tabuľke č.5.8.  $\lambda_p$  predstavuje pozorovanú vlnovú dĺžku,  $\lambda_l$  je laboratórna (referenčná) vlnová dĺžka a  $\Delta\lambda$  predstavuje rozdiel medzi nimi, teda náš hľadaný posun

$$\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_l. \quad (5.11)$$

Výber na určenie prvkov radiálnych rýchlosti prechádzal prísnejším kritériom neovplyvneného základu čiary, samostatných čiar, aby sme sa vyhli čo najviac chybe určenia radiálnej rýchlosti. Nami určená radiálna rýchlosť hviezdy spadá do intervalu hodnôt uvedených v tabuľke č.3.4 v kapitole 3 [8]. Dané hodnoty sa viditeľne líšia od prehľadu v Simbade a majú oveľa menšiu neistotu.

Tabuľka 5.8: Posun čiar a upresnenie radiálnej rýchlosti

prvok	$\lambda_p[\text{Å}]$	$\lambda_l[\text{Å}]$	$\Delta\lambda[\text{Å}]$	$v_r[\text{km} \cdot \text{s}^{-1}]$
Fe	5132,375	5131,468	0,907	53,03
Ni	5132,665	5131,766	0,899	52,54
Fe I	5134,597	5133,681	0,916	53,53
Ni	5137,981	5137,070	0,911	53,20
Fe I	5134,597	5133,681	0,913	53,32
Fe	5142,650	5141,470	0,911	53,15

# Kapitola 6

## Záver

Cieľom bakalárskej práce bol popis konkrétneho spektra hviezdy HD 74212 získaného v Chile, pomocou zrkadlového teleskopu Kueyen, identifikácia prvkov vo vybraných úsekoch tohoto spektra a určenie radiálnej rýchlosti hviezdy.

Vybrané úseky spektra som najprv normovala. Na určenie polynómu som pre úsek (5000-5500) Å použila 24 vybraných bodov, nachádzajúcich sa v tabuľke č. 5.1, pričom najlepšie vyhovoval polynóm tretieho rádu.

Celkovo som vo vybraných úsekoch identifikovala 53 čiar. Najpočetnejšie zastúpenie malo železo Fe (20 čiar), následne jedenkrát ionizované železo Fe I (9 čiar), nikel Ni (5 čiar) a titán Ti (4 čiary). Prvky neodým Nd a hliník Al mali po dvoch čiarach. Ostatné prvky boli zastúpené jednou čiarou.

Z ekvivalentnej šírky čiary MgH určenej programom Splat  $W = 0,076 \text{ \AA}$ , som určila tiažové zrýchlenie na hviezde majúce hodnotu  $\log g = 2,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ , Straižysom [7] je udávaná hodnota mierne väčšia  $\log g = 2,89 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Pomocou pomerou polomerov vzatého z [7] a teplôt som stanovila žiarivý výkon hviezdy  $L = 47,6 L_{\odot}$ . Novšie Coxove tabuľky „Allen’s astrophysical quantities“ [19] udávajú väčší pomer polomerov, takže aj vyšší žiarivý výkon. Hodnota hmotnosti hviezdy mnou stanovená je  $M = 1,16 M_{\odot}$ , čo zodpovedá hodnote udávanej Coxom [19], ktorý udáva  $M = 1,1 M_{\odot}$ .

Na určenie posunu spektrálnych čiar som vybrala dve čiary od troch prvkov - Fe, Fe I a Ni. Pomocou rozdielu hodnôt nameranej a referenčnej vlnovej dĺžky zvolených šiestich čiar som zistila, že sa hviezda od Zeme vzdáľuje rýchlosťou  $v_r = (53,13 \pm 0,17) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , čo sa zhoduje s rôzpätím hodnôt určených družicou Hipparchos [8].

# Literatúra

- [1] Lovell B. *Obituary - Prentice, J.P.M.* QJRAS vol. 23, 1982.
- [2] E. A. M. *Stellar Atmospheres: a Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars.* Natur vol. 116, 530–532, 1925.
- [3] Russell H.N. *On the Composition of the Sun's Atmosphere.* ApJ vol. 70, 1929.
- [4] Hearnshaw J.B. *The analysis of starlight: One hundred and fifty years of astronomical spectroscopy.* Cambridge and New York, Cambridge University Press 1986.
- [5] *HD74212 v Simbade.*  
URL <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=hd+74212submit=SIMBAD+search>
- [6] Dodd R.J. *Data mining in the young open cluster IC2391.* MNRAS vol. 355, 959–972, 2004.
- [7] Straizys V., Kuriliene G. *Fundamental stellar parameters derived from the evolutionary tracks.* ApSS vol. 80, 353–368, 1981.
- [8] Levato H., Garcia B., Lousto C., Morrell N. *Radial velocities in the open cluster IC 2391.* ApSS vol. 146, 361–373, 1988.
- [9] Vanýsek V. *Základy astronomie a astrofyziky.* Praha, Academia 163–175, 1980.
- [10] Hrudková M., Harmanec P. *Reliable elimination of telluric lines from stellar spectra.* AaP vol. 437, 765–768, 2005.



- [11] *Spektrum - Dopplerov posun.*  
URL [http://web.mit.edu/newsoffice//images/article\\_images/](http://web.mit.edu/newsoffice//images/article_images/)
- [12] *ESO projekt.*  
URL <http://www.sc.eso.org/santiago/uvespop/>
- [13] *The ESO UVES Project Observatória Paranal.*  
URL <http://www.sc.eso.org/santiago/uvespop/IC2391uptonow.html>
- [14] *Spektrum - Dopplerov posun.*  
URL <http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt/vlt-instr.html>
- [15] *SpectroWeb.*  
URL <http://spectra.freeshell.org/spectroweb.html>
- [16] *Telurické čiary.*  
URL <http://www.astrosurf.com/buil/us/spectro11/specalib.htm>
- [17] *Program Splat.*  
URL <http://astro.dur.ac.uk/pdraper/splat/sun243.htx/node35.html>
- [18] Berdyugina S.V., Savanov I.S. *Determination of the parameters of red giants' atmospheres - MgH as a luminosity criterion.* AZH vol. 69, 829–841, 1992.
- [19] Cox A.N. *Allen's astrophysical quantities.* Allen's Astrophysical Quantities 390, 2000.
- [20] Dodd R.J. *Data mining in the young open cluster IC2391.* MNRAS vol. 355, 959–972, 2004.
- [21] Ch. Fehrenbach, M. Duflot, C. Mannone, R. Burnage, V. Genty. *Mesures de vitesses radiales.* Astron. Astrophys. Suppl. Ser. vol. 124 2, 255–257, 1997.  
URL <http://dx.doi.org/10.1051/aas:1997360>