Modelování atmosfér K-obrů

Jiří Krtička

1 Úvod

Zřejmě nejpřesnějším způsobem zpracování spektroskopických dat je jejich přímé porovnání se spočteným syntetickým spektrem. Tímto způsobem lze získat základní parametry hvězdných atmosfér (T_{eff}, $\log g$, [A/H], v_{turb} a případně v_{rot}). Díky tomu, že závislost spektra na těchto parametrech je nelineární, je nutné použít algoritmy minimalizující rozdíl mezi experimentálními a teoretickými daty. V následujícím textu je popsán soubor programů, které lze využít pro takovéto zpracování spektroskopických údajů.

Výpočet syntetického spektra pro dané parametry hvězdné atmosféry lze v podstatě rozdělit do dvou kroků:

1. Výpočet modelu atmosféry
2. Vlastní spočtení syntetického spektra

Pro výpočet modelů atmosfér jsem se rozhodl použít program ATLAS9 [1], pro výpočet syntetických spekter program SYNSPEC [2].

2 Model atmosféry

Síť Kuruczových modelů atmosfér [3], spočtená pomocí programu ATLAS9, patří k jedněm z nejpoužívanějších. Zasloužila se o to nejen jejich snadná dostupnost prostřednictvím buď počítačové sítě nebo CD-ROM disků, ale především započtení velkého množství atomárních a molekulových čar. Navíc je tato síť modelů poměrně hustá a pokrývá široký rozsah parametrů hvězdné atmosféry. Mnozí autoři se pak často omezují jen na výpočet syntetického spektra pomocí jednoho z těchto modelů, případně výsledný model získají interpolací. Přesto jsem se rozhodl počítat modely atmosfér přímo pomocí programu ATLAS9 [4]. Takovýto postup umožňuje, podle mého názoru, získat věrnější modely.

Mezi základní fyzikální předpoklady a numerické techniky těchto modelů patří především:

- Atmosféra složená z planparalelních vrstev nacházejících se ve stavu hydrostatické rovnováhy.
- Látka ve stavu lokální termodynamické rovnováhy (LTE). Předpoklad LTE je sice dosti omezující, ale je vynucen tím, že pro hvězdy pozdních spekrálních tříd dosud nejsou k dispozici NLTE modely. Navíc se soudí, že NLTE efekty u těchto hvězd nehrají velkou roli.
- Započítání opacity pomocí distribučních funkcí opacity, ve kterých je zahrnuto přibližně 58 milionů atomárních a molekulových čar ([5]). Právě velký počet čar zahrnutých do Kuruczových souborů ODF je velkou výhodou modelů ATLAS. To je důležité hlavně pro hvězdy pozdních spektrálních tříd. Struktura atmosfér těchto hvězd je silně ovlivněna právě čarovou opacitou.
- Zahrnutí konvekce pomocí teorie míšící délky. V souladu s výsledky numerické simulace hvězdné konvekce [6] jsem zvolil $\lambda = 1,5$. Tato hodnota popisuje nejlépe především teplotní strukturu atmosféry s konvekcí. Navíc se dobře shoduje s hodnotou získanou pomocí helioseismologie ([7]).

3 Syntetické spektrum

Výpočet syntetického spektra zajišťuje program SYNSPEC, který pro daný model atmosféry řeší rovnici přenosu záření pro jednotlivé vlnové délky. Nejkritičtější atomární data podstatná pro výpočet syntetických spekter, síly oscilátorů $\log gf$, přebírám z Vienna Atomic Line Database (VALD, [8]).

Pro rotační a instrumentální konvoluci používám program ROTIN3, dodávaný spolu s programem SYNSPEC.

4 Optimalizace parametrů syntetického spektra

Jako míru rozdílu syntetického a naměřeného spektra jsem zvolil kvadrát rozdílů mezi syntetickým a naměřeným spektrem. Syntetické spektrum je pomocí splinu interpolováno do stejných vlnových délek jako naměřené. V těchto bodech se spočítá kvadrát rozdílu mezi spektry a získané kvadráty se sčítají. Výsledek je použit jako optimalizační kritérium.

Optimalizace probíhá ve třech krocích:

1. optimalizace v_{turb} a parametru λ_{inst}, charakterizujícího pološířku gausovského instrumentálního profilu[1], s použitím ROTIN3,
2. optimalizace [Fe/H], v_{turb} s použitím SYNSPEC, ROTIN3,
3. optimalizace T_{eff}, $\log g$ s použitím ATLAS9, SYNSPEC, ROTIN3.

Uvedené kroky se opakují dokud se nedosáhne požadovaného souladu mezi experimentálními údaji a teoreticky předpovězenými hodnotami. Pro optimalizaci v krocích 1. a 2. používám metodu variabilní metriky, v kroku 3. simplexovou metodu. Volba simplexové metody ve třetím kroku je zapříčiněna problémy při výpočtu gradientu.

Důvod pro volbu takovéto třístupňové optimalizace je prostý. Domnívám se, že se tímto způsobem sníží strojový čas potřebný pro celou optimalizaci. Časově nejnáročnější totiž bývá výpočet samotného modelu atmosféry.

5 Spektroskopie α Cas

Výše uvedenou teplotu jsem použil pro stanovení parametrů K obra spektrální třídy KIII.V několika vybraných intervalech jsem minimalizoval rozdíl mezi syntetickým a naměřeným spektrem. Výsledky jsem shrnul do následující tabulky.

Interval [nm]	T_{eff} [K]	$\log g$	[A/H]	v_{turb}[kms^{-1}]
601,2 – 601,7	4419	1,98	-0,16	3,56
601,2 – 601,7	4419	1,98	-0,16	3,56
601,2 – 601,7	4419	1,98	-0,16	3,56
601,2 – 601,7	4419	1,98	-0,16	3,56

Tabulka 1: Výsledky minimalizace v jednotlivých intervalech

Obrázek 1: Ukázky výsledků minimalizace jednotlivých intervalů

V tabulce č.2 jsou uvedeny dostupné hodnoty zjištěných parametrů α Cas.

[1] Instrumentální profil mi bohužel není znám.

Veličina	Zdroj		
	[1]	[1]	tato práce
T_{eff} [K]	4700	4500	4300
[A/H]	-0,08	-0,16	-0.12

Tabulka 2: Srovnání zjištěných parametrů α Cas

Neznalost instrumentálního profilu fotografického spektra jistě částečně ovlivnila kvalitu získaných výsledků. Přesto je zřejmé, že získané chemické složení je poměrně věrohodné.

Děkuji vedoucímu své diplomové práce, doc. V. Šteflovi, vedoucímu své odborné praxe dr. Kubátovi a mgr. F. Hrochovi za obětavou pomoc a dále správcům databáze VALD za přesná data o atomárních čarách.

Odkazy

[1] Kurucz R.L., 1992, The Stellar Populations of Galaxies, IAU symp. 149, Kluwer Acad. Press

[2] Hubený I., Lanz T., 1995, Synspec – A User's Guide

[3] Kurucz R.L., 1993, CD-ROM No. 18:ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2km/s Grid

[4] Lemke M., 1995, instalace programu ATLAS9 pro UNIX (`ftp://ccp7.arm.ac.uk`)

[5] Kurucz R.L., 1992, Rev. Mexicana Astron. Astrof. 23, 45

[6] Abett

[7] Christensen-Dalsgaard J., Gough D.O., Thompson M.J., ApJ 378, 413

[8] Piskunov N.E., Kupka F., Ryabchikova T.A. Weiss W.W., Jeffery C.S., 1995, Astron.&Astrophys. Suppl. 112, 525,