

# VPLYV TEPLOTNÝCH ZMIEN V MODELOCH SLNEČNEJ FOTOSFÉRY NA PROFIL SPEKTRÁLNYCH ČIAR

*J. Koza, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, koza @astro.sk*

## Abstrakt

V práci skúmame citlivosť čiary Fe I 522,5 nm na poruchy teploty s Gaussovským rozdelením vo fotosférických modeloch. Pre rôzne fotosférické modely sme vypočítali citlivostné funkcie čiary Fe I 522,5 nm. Pri výpočte citlivostnej funkcie sme použili jednokomponentný model VAL3C ako aj nový dvojkomponentný model. Ukázali sme, že v prípade jednokomponentného modelu teplotná porucha horných vrstiev modelu fotosféry ovplyvňuje iba jadro profilu, zatiaľ čo porucha spodných vrstiev fotosféry ovplyvňuje len krídla profilu. To však neplatí v prípade dvojkomponentného modelu, kde ohrev alebo ochladenie horných vrstiev fotosféry významne ovplyvňuje nielen jadro čiary ale aj krídlo. V práci predkladáme analýzu uvedeného javu, ktorá poukazuje na skutočnosť, že zjednodušené jednokomponentné modely nevystihujú fyzikálne podmienky v hviezdnych fotosférach.

## 1. ÚVOD

Hlavným cieľom interpretácie spektier je odvodenie fyzikálnych veličín charakterizujúcich hviezdnu atmosféru. Ak interpretačná metóda umožňuje z pozorovaných dát odvodiť rozloženie fyzikálnych veličín v radiálnom smere, potom ich výšková variácia je modelom hviezdnej atmosféry ako celku, alebo len určitého atmosférického javu v závislosti na spektrálnom a priestorovom rozlíšení.

Snahy o pochopenie slnečnej atmosféry ako celku vyvrcholili formuláciou viacerých semiempirických modelov. Ako ich reprezentatívnych zástupcov môžeme spomenúť: Harvard-Smithsonian referenčnú atmosféru (HSRA), (Gingerich a kol., 1971) ; atmosféru Holweger Müller (HOLMU), (Holweger a Müller, 1974) a priemerný model pokojného Slnka (VAL3C), (Vernazza a kol., 1981) , ktoré môžu byť pokladané aj za istú typickú triedu atmosférických modelov Slnka s nasledujúcimi spoločnými vlastnosťami:

- modely fotosféry a chromosféry (okrem modelu HOLMU);
- jednokomponentné 1D modely nezohľadňujúce granuláciu a teda neschopné vysvetliť a reprodukovať asymetriu profilov spektrálnych čiar;

- pozorovanými dátami použitými pri odovodení modelov boli prevažne intenzity kontinua v infračervenej, vizuálnej a ultrafialovej časti spektra. Len malá časť z nich boli pozorovania najsilnejších spektrálnych čiar.;
- pohyby atmosférickej plazmy označované ako dynamika sú charakterizované veličinami mikroturbulentná a makroturbulentná rýchlosť. Modely neberú do úvahy reálne prúdenie plazmy v granule a intergranule.

V uplynulom desaťročí Ruiz Cobo a del Toro Iniesta (1992) vyvinuli a použili pre interpretačné účely spektier novú a veľmi výkonnú inverznú metódu. Jej aplikovanie na spektrá s vysokým spektrálnym rozlíšením viedlo k formulácii novej triedy atmosférických modelov, ktoré :

- opisujú iba fotosféru;
- priestorovo rozlišujú granuláciu (Rodríguez Hidalgo a kol., 1996) prípadne rozlišujú granuláciu prejavujúcu sa len asymetriou priestorovo priemerovaných profilov (Borrero a Bellot Rubio, 2002) . Geometria je zohľadnená v dvojkomponentných 1D modeloch tým, že sa skladajú z dvoch častí, ktoré je možné stotožniť s granulárnou a intergranulárnou fotosférou.;

- interpretujú výhradne iba profily čiar Fe I pozorované v strede disku Slnka vo vizuálnej oblasti spektra získané s vysokým spektrálnym rozlíšením, no s rozdielnym priestorovým rozlíšením;
- okrem konvenčnej mikro- a makroturbulентnej rýchlosti popisujú prúdenie plazmy v granule a intergranule veľkosťou projekcie vektora rýchlosti do smeru zorného lúča, ktorá bude v ďalšom texte označovaná ako  $v_{LOS}$  (z angl. line-of-sight velocity).

V priebehu osemdesiatych a deväťdesiatych rokov 20. storočia nastal významný pokrok v chápaní zmyslu a fyzikálneho obsahu matematických formúl známych pod menom *Contribution functions* a *Response functions* (ďalej len CFs, RFs). Práve ich úzky súvis s pojmom a chápaním výšky formovania spektrálnych čiar v atmosfére bol hlavným stimulom vedúcim k vzniku viacerých pozoruhodných prác, napríklad: Caccin a kol., (1977) , Magain (1986) , Saryčev (1986) , Grossmann-Doerth a kol., (1988) , Gurtovenko a kol., (1991) , Ruiz Cobo a del Toro Iniesta (1994) a Sánchez Almeida a kol., (1996) . Na rozdiel od nich, Kučera a kol., (1998) skúmali CFs z experimentálneho hľadiska.

Cieľom tejto práce je ukázať, že výškové gradienty  $v_{LOS}$  prítomné v realistickejšom dvojkomponentnom modeli významne narušajú symetriu teplotnej RFs, čo má neobvyklé dôsledky pre profil spektrálnej čiary. Žiadna z uvedených ani iných nám známych prác zatiaľ na túto skutočnosť nepoukázala.

## 2. VÝBER SPEKTRÁLNEJ ČIARY

### Fe I 522,5 nm A ATÓMOVÉ PARAMETRE

Komplexná štruktúra elektrónového obalu železa je dôvodom, prečo sú najmä čiary neutrálneho Fe I a jedenkrát ionizovaného Fe II atómu hojne zastúpené v spektre Slnka a zároveň prečo majú odlišné spektrálne diagnostické vlastnosti. Výskyt konkrétneho viazано-viazанého prechodu je podmienený vhodným termodynamickým stavom atmosférických vrstiev. Preto sú práve čiary Fe I a Fe II často pokladané za citlivé sondy stavu jednotlivých vrstiev atmosféry. Teda voľbou určitej Fe I čiary sú zároveň vymedzené aj skúmateľné vrstvy atmosféry a závery platné pre silné Fe I čiary nie je možné zovšeobecniť pre slabé Fe I čiary a naopak. Pre naše ďalšie výpočty je najdôležitejšou skutočnosťou, že Fe I čiary sú formované v podmienkach LTE prinaajmenšom pri 1D modeloch hviezdnych atmosfér (Ščukina a Trujillo Bueno, 2001) .

V niekoľkých nedávno publikovaných prácach (napr. Kučera a kol., (2000a) a Kučera a kol., (2000b) ) bola použitá ako spektroskopický prostriedok stredne silná Fe I 522,5 nm čiara s vysokou citlivosťou vzhľadom na magnetické pole, pretože jej Landé faktor  $g_{eff}$  je 2,25 (Beckers, 1969) .

## 3. POSTUP VÝPOČTU

Pre účely tejto práce sme použili program SIR (Stokes Inversion based on Response functions), ktorého stručný popis je možné nájsť v Ruiz Cobo a del Toro Iniesta (1992) a Bellot Rubio (1999) . Jednokomponentný model slnečnej fotosféry reprezentoval VAL3C. Ako jeho dvojkomponentný profajšok sme vybrali model Borrero a Bellot Rubio (2002) obsahujúci granulárnu a intergranulárnu komponentu, ďalej označované ako GR a IG.

V použitom programe SIR je potrebné zadať ako vstupné parametre charakterizujúce uvažovaný prechod nasledujúce veličiny: centrálnu laboratórnu vlnovú dĺžku prechodu  $\lambda_{lab}$  v Ångströmoch, ktorá je 5225,5261 Å (Nave a kol., 1994) , excitačný potenciál dolnej hladiny 0,11 eV, silu oscilátora  $\log(gf) = -4,74$  a abundanciu železa 7,46 sme prevzali z Thévenin (1989) . Korekčný faktor van der Waalsovho rozšírenia  $\Gamma_6$  sme zadali ako rovný 1.

Výpočty prebiehali v dvoch etapách. V prvej sme vypočítali teplotné RFs I zložky Stokesovho vektora a syntetické profily čiary Fe I 522,5 nm pre oba modely. Na základe tvaru RFs sme do teplotnej stratifikácie modelov zámerne zaviedli poruchy a to v nízkych aj vysokých vrstvách. V druhej etape sme s použitím takto porušených modelov znovu vypočítali syntetické profily a porovnali sme ich s pôvodnými.

## 4. KOMPONENTNÉ FAKTORY

Pri zadaní dvojkomponentného modelu program SIR počíta vrámci jedného behu profily čiar  $I_1$  a  $I_2$  zodpovedajúce jednotlivým komponentám, a potom ich navzájom sčíta s ohľadom na zadané komponentné faktory  $f_1$  pre granulu a  $f_2$  pre intergranulárny priestor. V tomto prípade je výsledný profil daný ako:

$$I = f_1 I_1 + f_2 I_2, \quad (1)$$

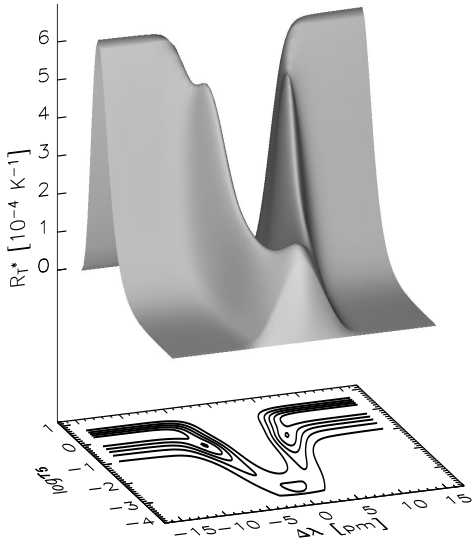
kde model Borrero a Bellot Rubio (2002) stanovuje  $f_1 = 0,76$  a  $f_2 = 0,24$ . V anglickej literatúre sú komponentné faktory uvádzané pod názvom *filling factors*.

## 5. VÝPOČTOVÝ PROCES

Detailné odvodenie vzťahu pre RFs je možné nájsť napr. v del Toro Iniesta (2001) a vlastné výpočty teplotných RFs (ďalej ako  $R_T$ ) sme vykonali pomocou programu SIR. Pri numerických výpočtoch je atmosféra rozčlenená na diskkrétne vrstvy, pričom namiesto škály optických hĺbok  $\tau_5$  pre  $\lambda = 500$  nm v kontinuu je použitý jej logaritmický ekvivalent  $\log \tau_5$ . Preto SIR počíta  $R_T$  podľa vzťahu:

$$R_T(x_i; \lambda) = R_T(\tau_{5i}; \lambda) \tau_{5i} \ln 10, \quad (2)$$

kde  $x_i = \log \tau_{5i}$ . Index  $i=1, \dots, n$  čísluje jednotlivé vrstvy diskretizovanej atmosféry. V závere výpočtu



Obrázok 1. Absolútne  $R_T^*$  čiary FeI 522,5 nm pre I komponentnu Stokesovho vektora normalizované vzhľadom na hodnotu intenzity kontinua v strede disku Slnka podľa modelu HSRA pre centrálnu vlnovú dĺžku čiary a pre model VAL3C.

je efekt makroturbulencie na  $R_T(x_i; \lambda)$  a syntetický profil čiary simulovaný ich konvolúciou s gaussianom:

$$M(\lambda - \lambda_0, v_{\text{mac}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

kde  $\sigma \equiv \lambda_0 v_{\text{MAC}}/c$ ,  $\lambda_0$  je centrálna vlnová dĺžka čiary a  $c$  je rýchlosť svetla (Bellot Rubio, 1999). Pre úplnosť, konvolúciu zapíšeme ako:

$$R_T^*(x_i; \lambda) = M(\lambda) * R_T(x_i; \lambda). \quad (4)$$

Výsledné  $R_T^*$  sú takzvané absolútne RFs na rozdiel od relatívnych RFs definovaných napr. v Ruiz Cobo a del Toro Iniesta (1994). Preto ich jednotkou je  $\text{K}^{-1}$ .  $R_T^*$  ako aj syntetický profil sú normalizované vzhľadom na intenzitu kontinua podľa modelu HSRA v strede disku Slnka pre centrálnu vlnovú dĺžku počítanej čiary. Preto v jednotke  $R_T^*$  nevystupuje energetická jednotka. Zo vzťahov je zjavné, že  $R_T^*(x_i; \lambda)$  je funkciou dvoch nezávislých premenných, a to logaritmu optickej hĺbky  $x_i$  a vlnovej dĺžky  $\lambda$ , ktorých hodnoty musia byť stanovené pred začatím výpočtu.

## 6. VÝSLEDKY - NEPORUŠENÉ MODELY

S použitím jednokomponentného modelu VAL3C a vzťahov 2 až 4 sme vypočítali pre čiaru FeI 522,5 nm zodpovedajúce  $R_T^*$  uvedené na obr.1. Ako ukážeme ďalej, už grafická 3D reprezentácia  $R_T^*$  je vhodným podkladom pre formulovanie istých kvalitatívnych predpovedí, ktorých správnosť je možné

bezprostredne overiť. Hneď na prvý pohľad sú nápadné nasledujúce vlastnosti  $R_T^*$ :

- $R_T^*$  majú globálne maximum vo vrstvách formujúcich kontinuum ( $\log \tau_5 \simeq 0$ ) a jedno lokálne maximum blízko  $\log \tau_5 \simeq -3$ ;
- $R_T^*$  sú symetrické vzhľadom k centru čiary;

Na základe týchto faktov môžeme predpokladať, že teplotná porucha v okolí  $\log \tau_5 \simeq 0$  ovplyvní len úroveň lokálneho kontinua a krídla čiary, pričom centrum čiary ňou nebude ovplyvnené. Naopak, teplotná porucha lokalizovaná do optickej hĺbky medzi  $\log \tau_5 \simeq -2,5$  a  $\log \tau_5 \simeq -3,5$  by mala vyvolať len zmenu intenzity v centre spektrálnej čiary. Navyše, porucha v ktorejkoľvek optickej hĺbke sa prejaví symetricky vzhľadom k centru čiary.

Kroky načrtnuté vyššie zopakujeme s použitím dvojkomponentného modelu Borrero a Bellot Rubio (2002).  $R_T^*$  pre GR sú znázornené na obr.2 a  $R_T^*$  pre IG sú na obr.3. Pri bližšom pohľade na ich členitý povrch je možné usúdiť nasledovne:

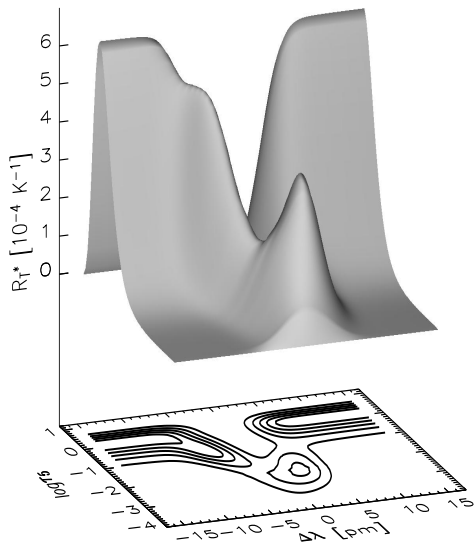
- $R_T^*$  majú globálne maximum vo vrstvách formujúcich kontinuum ( $\log \tau_5 \simeq 0$ );
- $R_T^*$  môžu mať viaceré maximá vo vyšších vrstvách, ktoré sú vyššie a výraznejšie, ako  $R_T^*$  pre jednokomponentné modely;
- $R_T^*$  sú asymetrické vzhľadom k centru čiary;

Teplotné zmeny ovplyvnia čiaru asymetricky vzhľadom na jej centrum, no dôsledky poruchy v blízkom okolí vrstiev s  $\log \tau_5 \simeq 0$  budú rovnaké, ako pri jednokomponentnom modeli.

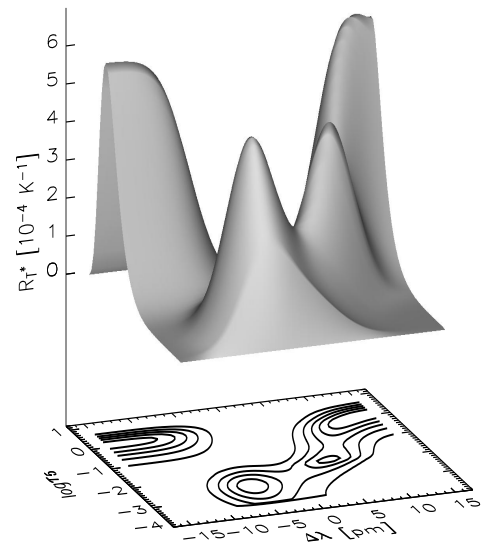
Kým  $R_T^*$  pre GR komponentu sú podobné  $R_T^*$  pre jednokomponentné modely (porovnaj obr.2 a obr.1),  $R_T^*$  pre IG komponentu sú pozoruhodnejšie vďaka dvom vrcholom vo vyšších vrstvách. Zvláštnu pozornosť si zasluhuje izolované lokálne maximum so súradnicami vrcholu približne  $\log \tau_5 \simeq -2,5$  a  $\Delta\lambda \simeq -5$  pm. Pretože bod profilu čiary s  $\Delta\lambda = -5$  pm už môžeme považovať za súčasť krídla čiary, je tak opodstatnené predpokladať na základe obr.2 a obr.3, že porucha vrstiev v modeli IG v optickej hĺbke  $\log \tau_5 = -2,5$  neovplyvní iba centrum čiary, ale aj krídlo čiary v okolí bodu  $\Delta\lambda = -5$  pm, čo je v protiklade s tradičným chápaním založenom na jednokomponentných modeloch. Pred vlastným overením naznačených predpovedí ešte dodávame (pozri obr.1), že porucha v optickej hĺbke  $\log \tau_5 = -2,5$  modelu VAL3C sa prejaví len nepatrne v krídle čiary v okolí bodu  $\Delta\lambda \simeq -5$  pm.

## 7. MODELY S PORUCHAMI

Pre zámery sledované v tejto kapitole sme vybrali model VAL3C ako zástupcu jednokomponentných modelov. Umelými zásahmi do je-



Obrázok 2. Absolútne  $R_T^*$  čiary Fe I 522,5 nm pre I komponentnu Stokesovho vektora normalizované vzhľadom na hodnotu intenzity kontinua v strede disku Slnka podľa modelu HSRA pre centrálnu vlnovú dĺžku čiary a pre granulárnu GR zložku dvojkomponentného modelu Borrero a Bellot Rubio (2002).



Obrázok 3. Absolútne  $R_T^*$  čiary Fe I 522,5 nm pre I komponentnu Stokesovho vektora normalizované vzhľadom na hodnotu intenzity kontinua v strede disku Slnka podľa modelu HSRA pre centrálnu vlnovú dĺžku čiary a pre intergranulárnu IG zložku dvojkomponentného modelu Borrero a Bellot Rubio (2002).

ho teplotnej štruktúry sme vytvorili dve modifikácie (obr.4), ktoré sa navzájom líšia optickou hĺbkou zodpovedajúcou centru simulovanej poruchy s Gaussovým rozdelením. Vzťahy definujúce prvú (bodkovane, obr.4) a druhú (čiarkovane, obr.4) modifikáciu originálneho modelu majú tvar:

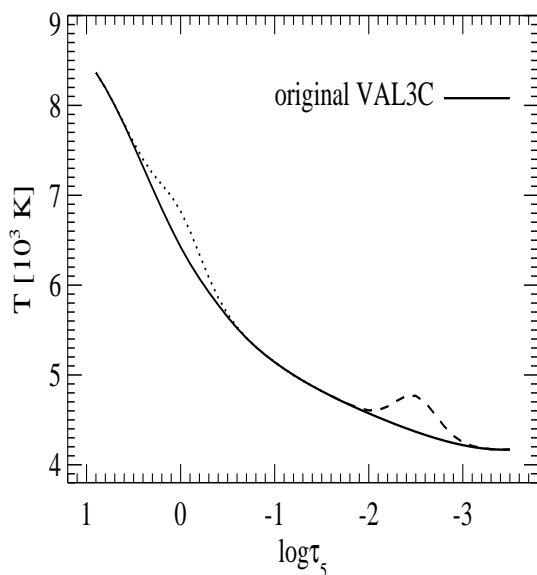
$$T_1(x) = T_0(x) + A \cdot \exp\{-x^2/B^2\}, \quad (5)$$

$$T_2(x) = T_0(x) + A \cdot \exp\{-(2.5 + x)^2/B^2\}, \quad (6)$$

kde  $T_0(x)$  je pôvodná teplotná stratifikácia modelu,  $x = \log \tau_5$ ,  $A=400$  a  $B=0,32$ . Tak  $T_1(x)$  a  $T_2(x)$  predstavujú model s centrom poruchy vo vrstvách formujúcich kontinuum ( $\log \tau_5 \simeq 0$ ) a vo vyšších vrstvách okolo  $\log \tau_5 \simeq -2,5$ . Každý z trojice modelov (pôvodný a dva porušené) sme použili pri výpočte syntetických profilov čiary Fe I 522,5 nm znázornených na obr.5. Z obrázku vidieť, že tvary profilov sú v súlade s očakávaním, pretože úroveň kontinua a krídla čiary sa zmenili v dôsledku poruchy hlbších vrstiev. Naopak, zmena intenzity v centre čiary bola vyvolaná poruchou vo vyšších vrstvách. Na tomto mieste je vhodné pripomenúť, že syntetické profily vypočítané z jednokomponentných modelov je nutné pokladať za priemerné alebo priestorovo nerozlíšené, čo je hlavným znakom stelárnych spektier.

Podobne sme vykonali aj overenie správnosti predpovedí týkajúcich sa dvojkomponentného modelu. Pomocou rovníc 5 a 6 sme vytvorili dve mod-

ifikácie IG komponenty (pozri obr.6). Zámerné sme GR ponechali nezmenenú pri výpočte syntetických profilov, pretože má podstatne väčší komponentný faktor a  $R_T^*$  pre GR model sú podobné ako  $R_T^*$  pre jednokomponentné modely. Je samozrejmé, že chovanie priestorovo rozlíšených IG profilov je nezávislé od toho, či je v GR modely porucha alebo nie je. Na obr.7 sú znázornené práve priestorovo rozlíšené syntetické intergranulárne profily, ktoré boli vypočítané pomocou neporušeného IG modelu a IG modelu s poruchou vo vyšších vrstvách. Na obr.8 a obr.9 sú priestorovo nerozlíšené syntetické profily vypočítané z pôvodného dvojkomponentného modelu a dvojkomponentného modelu s poruchou v IG zložke. Príspevok GR a IG komponenty k výslednému profilu je určený komponentnými faktormi (pozri rov.1), preto je amplitúda variácií redukovaná v porovnaní s predchádzajúcimi prípadmi. Celkovo sú však obr.7, 8 a 9 v súlade s očakávaním. Ako vidieť, úroveň kontinua a krídla reaguje na poruchu vo vrstvách formujúcich kontinuum, no simulovaná porucha vo vyšších vrstvách vedie taktiež ku značnému narušeniu krídla čiary v okolí bodu  $\Delta\lambda \simeq -5$  pm. Za povšimnutie stojí aj fakt, že profily získané z dvojkomponentného modelu sú nápadne asymetrické a ich centrum je nepatrne posunuté ku kratším vlnovým dĺžkam vzhľadom ku laboratórnej vlnovej dĺžke. Na rozdiel od toho, profily získané z jednokomponentného modelu sú symetrické a ich centrálna vlnová dĺžka je totožná s labo-

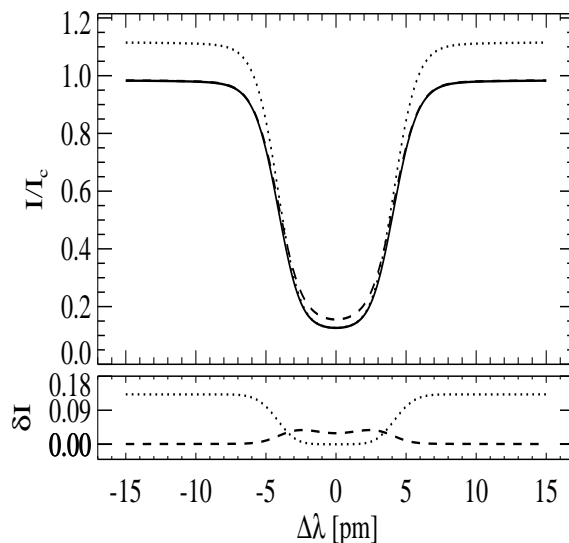


Obrázok 4. Priebeh teploty v originálnom, neporušenom modeli VAL3C, VAL3C s poruchou v okolí  $\log \tau_5 \simeq 0$  (bodkovane) a VAL3C s poruchou horných vrstiev v okolí  $\log \tau_5 \simeq -2,5$  (čiarkovane)

ratórnou. Je preto nepochybné, že dvojkomponentné modely sú realistickejšou reprezentáciou hviezdnej atmosféry. Niektoré ďalšie vlastnosti profilov ako napr. ploché dno čiary (obr.5) je možné vysvetliť vlastnosťami samotného modelu VAL3C, no to nie je predmetom tejto práce.

## 8. ZÁVER

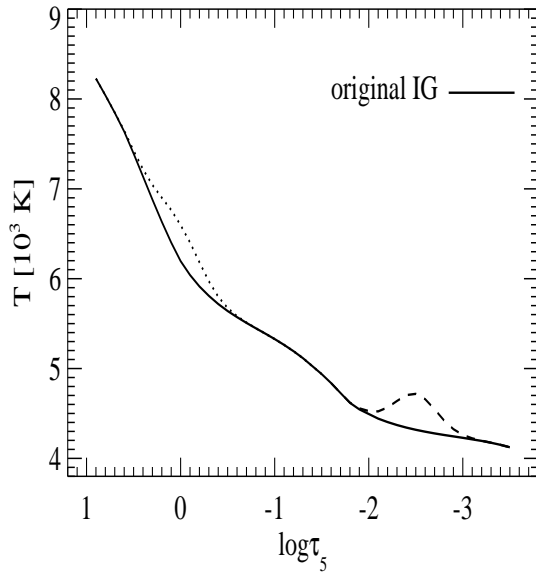
V tejto práci sme prezentovali metódu umožňujúcu odhadnúť vplyv poruchy atmosférického parametra na profil čiary, a to s využitím RFs. Informácie získané výpočtom RFs majú len kvalitatívny charakter, nakoľko samotné RFs sú závislé od použitého modelu. Táto vlastnosť RFs sa stáva nápadnejšou, ak sú vypočítané s použitím dvojkomponentného modelu, lebo RFs sú závislé na priebehu  $v_{\text{LOS}}$  (del Toro Iniesta, 2001). Tým sa RFs stávajú komplikovanejšími s posunutými a viacnásobnými lokálnymi maximami citlivosti. V prípade IG modelu je výsledná asymetria a posun tak silný, že za variácie v krídle čiary už nie sú zodpovedné zmeny v teplotnej štruktúre hlbokých vrstiev v okolí  $\log \tau_5 \simeq 0$ . Vo všeobecnosti, prítomnosť gradientov rýchlosti súvisiacich s granuláciou v hviezdnej atmosfére môže významne skomplikovať vzťahy medzi vrstvami, kde nastala porucha a ich prejavmi v profile čiary, ak uvzujeme o priestorovo ohraničených poruchách, ako bola aj použitá porucha s Gaussovým rozdelením. Hoci prezentované syntetické profily vyjadrujú intenzitu a nie tok, všeobecné závery sú platné pre všetky hviezdne atmosféry ovplyvňované granuláciou.



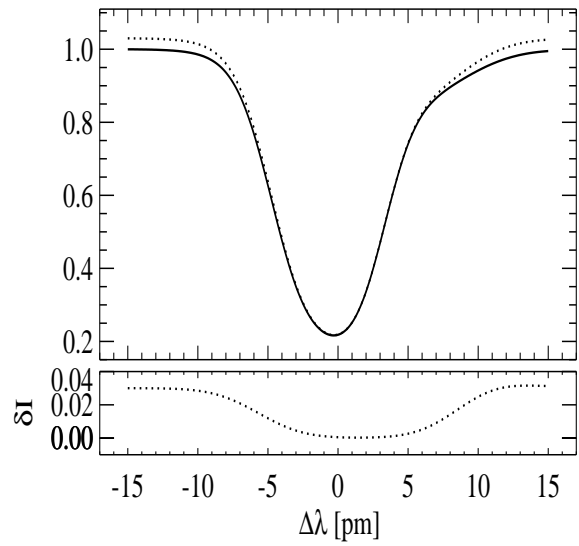
Obrázok 5. Syntetické profily čiary FeI 522,5 nm vypočítané pomocou originálneho modelu VAL3C (plná čiara, ďalej ako  $I_{\text{O}}$ ), modifikovaného v hlbších (bodkovane,  $I_{\text{D}}$ ) a vyššie položených vrstvách (čiarkovane,  $I_{\text{U}}$ ). Profily je možné považovať za priestorovo nerozlíšené (**horný panel**).  $\delta I$  predstavuje rozdiely:  $I_{\text{D}} - I_{\text{O}}$  (bodkovane) a  $I_{\text{U}} - I_{\text{O}}$  (čiarkovane) (**dolný panel**).

## POĎAKOVANIE

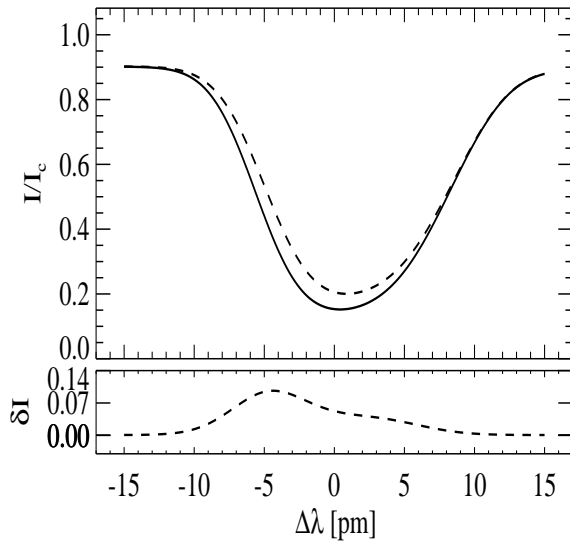
Autor ďakuje RNDr. A. Kučerovi, CSc. za pomoc a cenné rady, ktoré prispeli ku skvalitneniu tejto práce. Práca vznikla s podporou Grantovej agentúry VEGA (grant VEGA 2/3015/23).



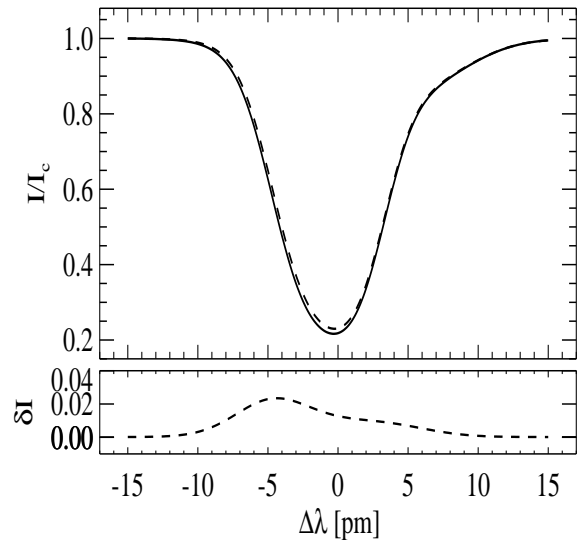
Obrázok 6. Priebeh teploty v originálnej, neporušenej intergranulárnej IG komponente dvojkomponentného modelu Borrero a Bellot Rubio (2002), s poruchou v okolí  $\log \tau_5 \simeq 0$  (bodkovane) a s poruchou horných vrstiev v okolí  $\log \tau_5 \simeq -2,5$  (čiarkovane).



Obrázok 8. Syntetický profil čiar FeI 522,5 nm vypočítaný pomocou originálneho dvojkomponentného modelu (plná čiara, ďalej ako  $I_O$ ) a dvojkomponentného modelu, v ktorom bola IG komponenta modifikovaná v hlbšie položených vrstvách (bodkovane,  $I_D$ ) (**horný panel**).  $\delta I$  predstavuje rozdiely:  $I_D - I_O$  (bodkovane) (**dolný panel**). Profily môžu byť chápané ako teoretické príklady v spektre priestorovo nerozlíšených profilov.



Obrázok 7. Syntetický profil čiar FeI 522,5 nm vypočítaný pomocou originálneho modelu IG (plná čiara, ďalej ako  $I_O$ ) a modifikovaného vo vyššie položených vrstvách (čiarkovane,  $I_U$ ) (**horný panel**).  $\delta I$  predstavuje rozdiely:  $I_U - I_O$  (čiarkovane) (**dolný panel**). Profily môžu byť chápané ako teoretické príklady v spektre priestorovo rozlíšených intergranulárnych profilov.



Obrázok 9. Syntetický profil čiar FeI 522,5 nm vypočítaný pomocou originálneho dvojkomponentného modelu (plná čiara, ďalej ako  $I_O$ ) a dvojkomponentného modelu, v ktorom bola IG komponenta modifikovaná vo vyššie položených vrstvách (čiarkovane,  $I_U$ ) (**horný panel**).  $\delta I$  predstavuje rozdiely:  $I_U - I_O$  (čiarkovane) (**dolný panel**). Profily môžu byť chápané ako teoretické príklady v spektre priestorovo nerozlíšených profilov.

## LITERATÚRA

- Beckers, J.M.: 1969, A Table of Zeeman Multiplets, Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts
- Bellot Rubio, L.R.: 1999, A user guide to SIR, Version 2, manual
- Borrero, J.M., Bellot Rubio, L.R.: 2002, *Astron. Astrophys.*, 385, 1056
- Caccin, B., Gomez, M.T., Marmolino, C., Severino, G.: 1977, *Astron. Astrophys.*, 54, 227
- Gingerich, O., Noyes, R.W., Kalkofen, W., Cuny, Y.: 1971, *Sol. Phys.*, 18, 347
- Gray, D.F.: 1976, *The Observation and Analysis of Stellar Photosphere*, Wiley, New York
- Grossmann-Doerth, U., Larsson, B., Solanki, S.K.: 1988, *Astron. Astrophys.*, 204, 266
- Gurtovenko, E.A., Sheminova, V.A., Sarychev, A.P.: 1991, *Sol. Phys.*, 136, 239
- Holweger, H., Müller, E.A.: 1974, *Sol. Phys.*, 39, 19
- Kučera, A., Balthasar, H., Rybák, J., Wöhl, H.: 1998, *Astron. Astrophys.*, 332, 1069
- Kučera, A., Brčková, K., Hanslmeier, A., Rybák, J., Wöhl, H.: 2000a, *Hvar Obs. Bull.*, 24, 111
- Kučera, A., Brčková, K., Hanslmeier, A., Rybák, J., Wöhl, H.: 2000b, 1<sup>st</sup> Solar & Space Weather Euroconference, 'The Solar Cycle and Terrestrial Climate', ESA SP-463, 357
- Magain, P.: 1986, *Astron. Astrophys.*, 163, 135
- Nave, G., Johansson, S., Learner, R.C.M., Thorne, A.P., Brault, J.W.: 1994, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 94, 221
- Rodríguez Hidalgo, I., Ruiz Cobo, B., del Toro Iniesta, J.C., Collados, M., Sánchez Almeida, J.: 1996, 'JOSO Annual Report 1995', ed.: M. Saniga, The Astronomical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Tatranská Lomnica, 162
- Ruiz Cobo, B., del Toro Iniesta, J.C.: 1992, *Astrophys. J.*, 398, 375
- Ruiz Cobo, B., del Toro Iniesta, J.C.: 1994, *Astron. Astrophys.*, 283, 129
- Sánchez Almeida, J., Ruiz Cobo, B., del Toro Iniesta, J.C.: 1996, *Astron. Astrophys.*, 314, 295
- Saryčev, A.P.: 1986, *Astron. Zh.*, 63, 556
- Shchukina, N., Trujillo Bueno, J.: 2001, *Astrophys. J.*, 550, 970
- Thévenin, F.: 1989, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 77, 137
- del Toro Iniesta, J.: 2001, *The Dynamic Sun*, editors: Hanslmeier, A., Messerotti, M., Veronig, A., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 183
- Vernazza, J.E., Avrett, E.H., Loeser, R.: 1981, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 45, 635