

Štúdium záblesku v chromosfére a prechodovej oblasti

František Tomasz, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, tomasz @astro.sk

Ján Rybák, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, choc @astro.sk

Aleš Kučera, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, akucera @astro.sk

Werner Curdt, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau, SRN,
curdt @linmpi.mpg.de

Hubertus Wöhl, Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Freiburg, SRN, hw @kis.uni-freiburg.de

Abstrakt

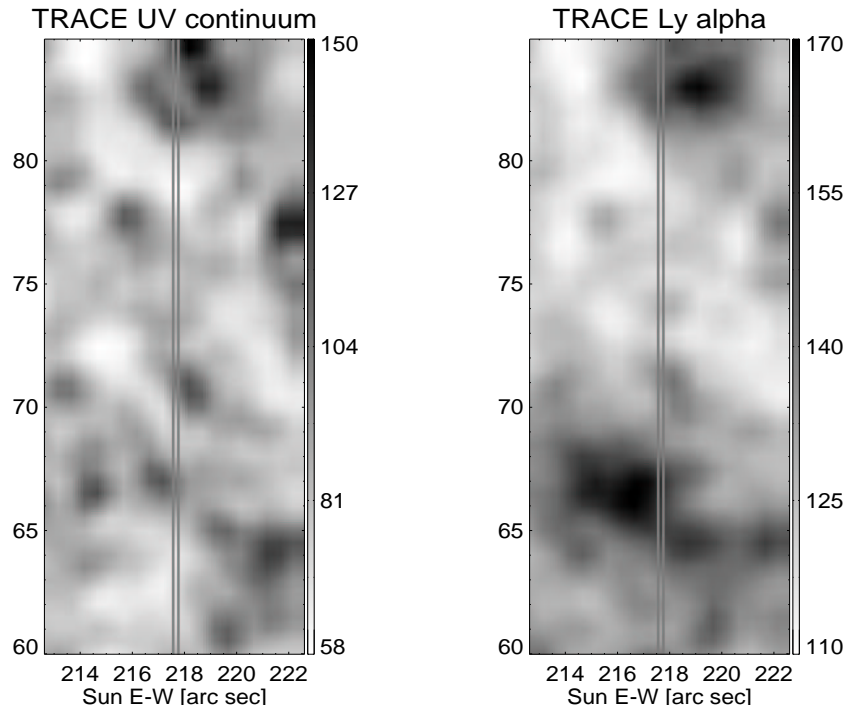
V tejto práci sú prezentované výsledky spektrálnej analýzy vybraného aktívneho javu, tzv. záblesku, pozorovaného v prechodovej oblasti pokojného Slnka. Spektrálne profily emisných čiar prechodovej oblasti C II 1037.02 Å a O VI 1037.61 Å a emisnej čiary chromosféry H I Ly β 1025.72 Å boli získané pomocou spektrometra SUMER družice SOHO. Na analýzu chromosféry a koróny boli použité filtergramy získané na družici TRACE v dvoch chromosférických kanáloch v spektrálnej čiare Ly α 1216 Å a v UV kontinuu 1600 Å a jednom koronálnom kanále v okolí čiary Fe IX 173 Å. Porovnaním priestorových vlastností záblesku v chromosfére a prechodovej oblasti sa ukázalo, že záblesk je viac štruktúrovaný v chromosfére a kompaktnější v prechodovej oblasti. Prvotné uvoľnenie energie bolo lokalizované v prechodovej oblasti. Uvoľnená energia zasiahla nižšie sa nachádzajúcu chromosféru o 60 sekúnd, pričom bolo zaznamenané zvýšenie emisie čiar tvoriacich sa v tejto vrstve. V poslednej fáze záblesku bol pozorovaný prúd plazmy z prechodovej oblasti smerom k pozorovateľovi, avšak plazma koróny nebola zábleskom ovplyvnená.

1. ÚVOD

Termín 'záblesk' (angl. blinker) po prvýkrát zaviedol Harrison (1997) pre maloškálové javy pozorované v prechodovej oblasti pomocou prístroja Coronal Diagnostic Spectrometer (Harrison a kol., 1995). Najvýraznejší prejav záblesku pozoroval Harrison v čiare prechodovej oblasti O IV. Faktor zvýšenia intenzity čiary bol v rozmedzí hodnôt 1,6–2,8, plocha, ktorú zaberá záblesk bola 2,2–4,4 $\times 10^7$ km² a priemerná doba trvania bola 13 minút.

Záblesky sa prevažne objavujú v prechodovej oblasti v okolí teplôt 10⁵ K, preto sa aj pozorovania zamerali hlavne na túto oblasť slnečnej atmosféry. Ďalšie práce zaoberajúce sa zábleskami priniesli rozšírenie vedomostí o týchto javoch. Bewsher a kol. (2002) a Parnell a kol. (2002) potvrdili predchádzajúce pozorovania a rozšírili ich o porovnanie vlastností zábleskov z pokojného Slnka a z aktívnych oblastí. Zistili, že pre pokojné Slnko je

priemerná plocha záblesku 3 $\times 10^7$ km², stredná doba trvania 16 minút, priemerný faktor zvýšenia intenzity 1,8 a frekvencia výskytu zábleskov bola medzi 1 s⁻¹ a 20 s⁻¹. Pre aktívnu oblasť bola plocha záblesku 2,4–4,3 $\times 10^7$ km², doba trvania od 16 do 19 minút, faktor zvýšenia intenzity od 1,8 do 3,3 a frekvencia výskytu 7 s⁻¹ až 28 s⁻¹. Ako je vidieť, v aktívnych oblastiach sú hodnoty parametrov zábleskov väčšie. O zábleskoch je známe, že sa pozorujú blízko hraníc supergranúl nad oblasťami, kde prevažuje jedna polarita magnetického poľa (Parnell a kol. 2002). Zvýšenie intenzity spektrálnych čiar a tým aj objavenie sa záblesku je spôsobené zvýšením hustoty plazmy v danom mieste (Harrison, 1997). Tomasz a kol. (2003) a Bewsher a kol. (2003) zistili aj dynamickú povahu zábleskov. Prví autori zistili prúdy plazmy pohybujúce sa smerom k pozorovateľovi aj od pozorovateľa na úrovni 15 km/s. Druhí určili rýchlosti počas zábleskov na pokojnom Slnku na 10–30 km/s a v aktívnych oblastiach na úrovni 15–45 km/s. Sú však pozorované prúdy plazmy



Obrázok 1. Details z okolia záblesku v dvoch kanáloch prístroja TRACE. Štrbina spektrografu SUMER je naznačená zvislými šedými čiarami. Na stĺpci vpravo od obrázku je rozsah celkovej emisie v čiare Ly α a UV kontinua. Celková emisia je vyjadrená v prístrojových jednotkách.

smerujúce od a k povrchu Slnka dostatočne energetické a schopné zasiahnuť nižšie a vyššie vrstvy atmosféry? Tento príspevok sa snaží pre jeden záblesk (Tomasz a kol., 2002) zistiť jeho vplyv na chromosféru a korónu a zároveň určiť jeho charakteristiky v týchto vrstvách slnečnej atmosféry.

2. ÚDAJE

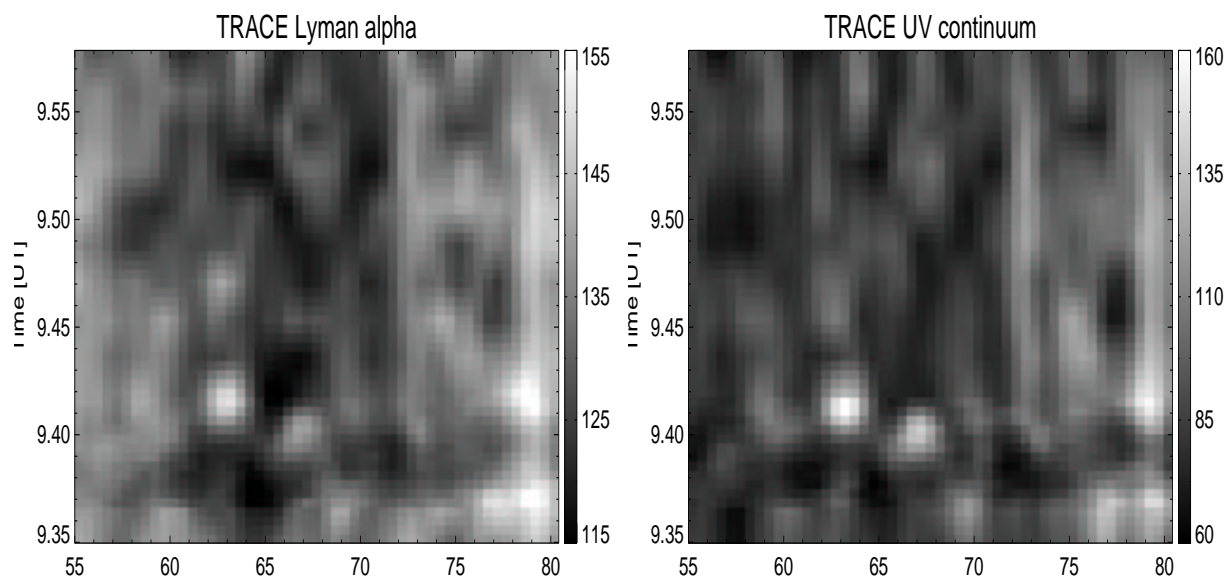
V tejto práci sú použité údaje získané prístrojom SUMER/SOHO (Wilhelm a kol., 1995) a družicou TRACE (Handy a kol., 1999). Pre obe emisné spektrálne čiary prechodovej oblasti C II 1037,02 Å a O VI 1037,61 Å, pozorované spektrometrom SUMER, boli vypočítané tri spektrálne charakteristiky: centrálna intenzita, gaussovská polšírka a dopplerovská rýchlosť (details vid. Tomasz a kol., 2002). Na štúdium záblesku v chromosfére bola použitá celková emisia čiar Ly β 1025,72 Å.

V časovom a priestorovom úseku, kde boli zmeny spektrálnych charakteristík čiar získaných spektrometrom najvýraznejšie, bol lokalizovaný aktívny jav - záblesk.

Pre časový rad pokrývajúci dobu výskytu záblesku v prechodovej oblasti (9:15:12–9:34:20 UT) boli po-

mocou družice TRACE získané filtergramy v dvoch chromosférických kanáloch čiary Ly α 1216 Å ($10\text{--}30\times 10^3$ K) a v UV kontinuu 1600 Å ($4\text{--}10\times 10^3$ K) a v jednom koronálnom kanále Fe IX 173 Å ($1,6\text{--}20\times 10^5$ K). Počas tejto doby bolo nasnímaných 16 filtergramov v kanále Fe IX a 28 filtergramov v kanáloch Ly α a v UV kontinuu s expozičnými časmi 46 s pre kanál Fe IX, 4,1 s pre kanál Ly α a 2 s pre kanál UV kontinua. Snímky boli zredukované o efekty temného prúdu, 'flat-field' a kozmického žiarenia. Následne bol redukovaný vplyv slnečnej rotácie a odstránené zvyškové pohyby.

Na porovnanie časových a priestorových vlastností záblesku v prechodovej oblasti, chromosfére a koróne bolo nutné nájsť polohu štrbiny spektrografu SUMER na filtergramoch z TRACE (obr. 1) pomocou tzv. priestorového zosúladenia. Táto metóda spočíva v hľadaní najvyššej hodnoty kroskorelačného koeficientu dvoch funkcií. V našom prípade prvú funkciu predstavoval rad celkovej emisie Ly β pozdĺž štrbiny spektrometra. Druhej funkcii bol priradený výrez široký 1 pixel (0,5") z filtergramu celkovej emisie Ly α s rovnakou dĺžkou ako výška štrbiny spektrometra (100"). Prvá funkcia ostávala nemenná, druhá sa menila v závislosti od toho, kam bola "umiestnená" štrbina spektro-



Obrázok 2. Časový vývoj celkovej emisie počas záblesku v dvoch chromosférických kanáloch. Kvôli neekvidistantnému kroku získavania filtergramov z družice TRACE sú údaje v oboch kanáloch interpolované v čase. Záblesk trvá v prechodovej oblasti od 9.38 UT do 9.52 UT a zahŕňa oblasť od 62" do 67". V týchto intervaloch je naša pozornosť zameraná na štyri jasné oblasti so zvýšenou emisiou v kanále Ly α : a) 67", 9,400 UT; b) 63", 9,415 UT; c) 63", 9,475 UT; d) 67", 9,455 UT. V kanále UV kontinua sú iba tri jasné oblasti identické s prvými troma v kanále Ly α . Rozsah celkovej emisie v oboch kanáloch je znázornený graficky na stĺpcoch vpravo od obrázka. Celková emisia je vyjadrená v prístrojových jednotkách.

grafu vo filtergrame. Pri prvej polohe prvá funkcia čiastočne prekrývala prvý stĺpec vo filtergrame s výškou 100", pri druhej prekrývala druhý stĺpec, atď. Pri dosiahnutí posledného stĺpca sa posunie štrbina o jeden pixel vyššie a opakuje sa predchádzajúci proces. Definitívna poloha štrbiny spektrografu na filtergrame sa určila z polohy, kde bol korelačný koeficient najvyšší.

Po nájdení presného miesta, kde by bola umiestnená štrbina spektrografu, je možné urobiť časový vývoj tejto oblasti. Avšak filtergramy neboli získané s rovnakým časovým rozdielom. Z tohto dôvodu bolo nutné interpolovať tieto údaje v čase (obr. 2).

3. VÝSLEDKY

Z analýzy celkovej emisie čiary Ly β , ktorá mapuje chromosférickú vrstvu slnečnej atmosféry, bola zistená doba života záblesku v trvaní približne 6 minút a maximálna veľkosť 7".

Porovnanie celkovej emisie (na obr. 3 je označená ako flux) čiary Ly β s intenzitami čiar C II a O VI (obr. 3, vrchný rad) ukazujú, že:

- záblesk sa v chromosfére objavil približne o 90 s neskôr ako v prechodovej oblasti,
- priemer záblesku v chromosfére (7") je menší ako

v spodnej prechodovej oblasti (8") a vo vrchnej prechodovej oblasti (10"),

- maximum celkovej emisie čiary Ly β je priestorovo posunuté o -2" v porovnaní s maximálnymi intenzitami oboch čiar,
- maximum celkovej emisie čiary Ly β je časovo posunuté o 55 s voči maximu intenzity v čiare O VI,
- medzi celkovou emisiou Ly β a intenzitou v čiare C II nie je žiadny časový posun.

Pri porovnaní celkovej emisie čiary Ly β s gaussovskými polšírkami čiar C II a O VI (obr. 3, stredný rad) je vidieť, že:

- zmeny gaussovskej polšírky čiary O VI predchádzajú zmenám v celkovej emisii Ly β približne o 70 s,
- gaussovská polšírka C II a celková emisia čiary Ly β nie sú voči sebe časovo posunuté,
- celková emisia čiary Ly β je priestorovo posunutá voči gaussovskej polšírke oboch čiar o -3".

Porovnanie celkovej emisie čiary Ly β s rýchlosťami z čiary O VI (obr. 3, spodný rad, pravý panel):

- záporné rýchlosti (pohyb hmoty smerom k pozorovateľovi) v čiare O VI boli namerané len na konci vývoja záblesku a sú lokalizované nad oblasťou s maximálnou celkovou emisiou čiary Ly β ,
- kladné rýchlosti sú pozorované počas predchádzajúcich 7 minút a ich priestorový rozsah je väčší ako priestorový rozsah záporných rýchlostí aj ako priestorový rozsah emisie v čiare Ly β ,
- jednotlivé maximálne kladné hodnoty rýchlostí sú pozorované približne o 30 s skôr ako jednotlivé maximá v emisii Ly β ,
- v prípade rýchlostí v čiare C II sme zistili, že rýchlosti sú určené s veľkou relatívnou chybou, preto ich nebolo možné korektne porovnať s celkovou emisiou v čiare Ly β .

Z meraní družice TRACE bola veľkosť záblesku v chromosfére určená na 1,5–2,5" v kanále čiary Ly α (obr. 2, vľavo) a na 2–3,5" v kanále UV kontinua (obr. 2, vpravo). Doba trvania záblesku bola približne 5,1 minúty v kanále Ly α a 5,5 minúty v kanále UV kontinua. Priestorový (obr. 1) a časovo-priestorový (obr. 2) vývoj bol v kanáloch čiary Ly β a v UV kontinuu podobný. Faktor zvýšenia celkovej emisie v prípade čiary Ly β je 1,25 a pre UV kontinuum 1,38.

V kanále, zachytávajúcom emisiu v čiare iónu Fe IX, nebolo registrované žiadne zvýšenie emisie súvisiace so zábleskom.

4. ZÁVER

Zo získaných časových oneskorení spektrálnych charakteristík jednotlivých čiar usudzujeme, že prvotné uvoľnenie energie nastalo v prechodovej oblasti. Priamym dôsledkom uvoľnenia energie v prechodovej oblasti počas záblesku bolo zvýšenie emisie v chromosfére. Vplyv záblesku je významnejší vo vrchnej časti prechodovej oblasti ako v spodnej prechodovej oblasti a chromosfére. Zároveň je jeho trvanie kratšie v chromosfére ako v oboch úrovniach prechodovej oblasti.

Z toho, že v koróne nebolo zaznamenané zvýšenie emisie usudzujeme, že v koróne nebola zvýšená hustota v plazme s teplotou 1 MK v okolí záblesku.

Teória magnetickej rekonexie dokáže zatiaľ najlepšie vysvetliť a modelovať mechanizmus úniku energie na priestorových a časových škálach pri záblesku.

V ďalšom výskume záblesku by sme sa chceli venovať poslednej fáze jeho vývoja, keď sme zistili náhlu zmenu kladných rýchlostí na záporné. Predpokladáme, že kladné rýchlosti sú stále prítomné, lenže aproximácia čiar jedným gaussovským profilom umožňuje odhaliť len prevládajúcu zložku rýchlostí. Za účelom nájsť aj druhú zložku rýchlostí

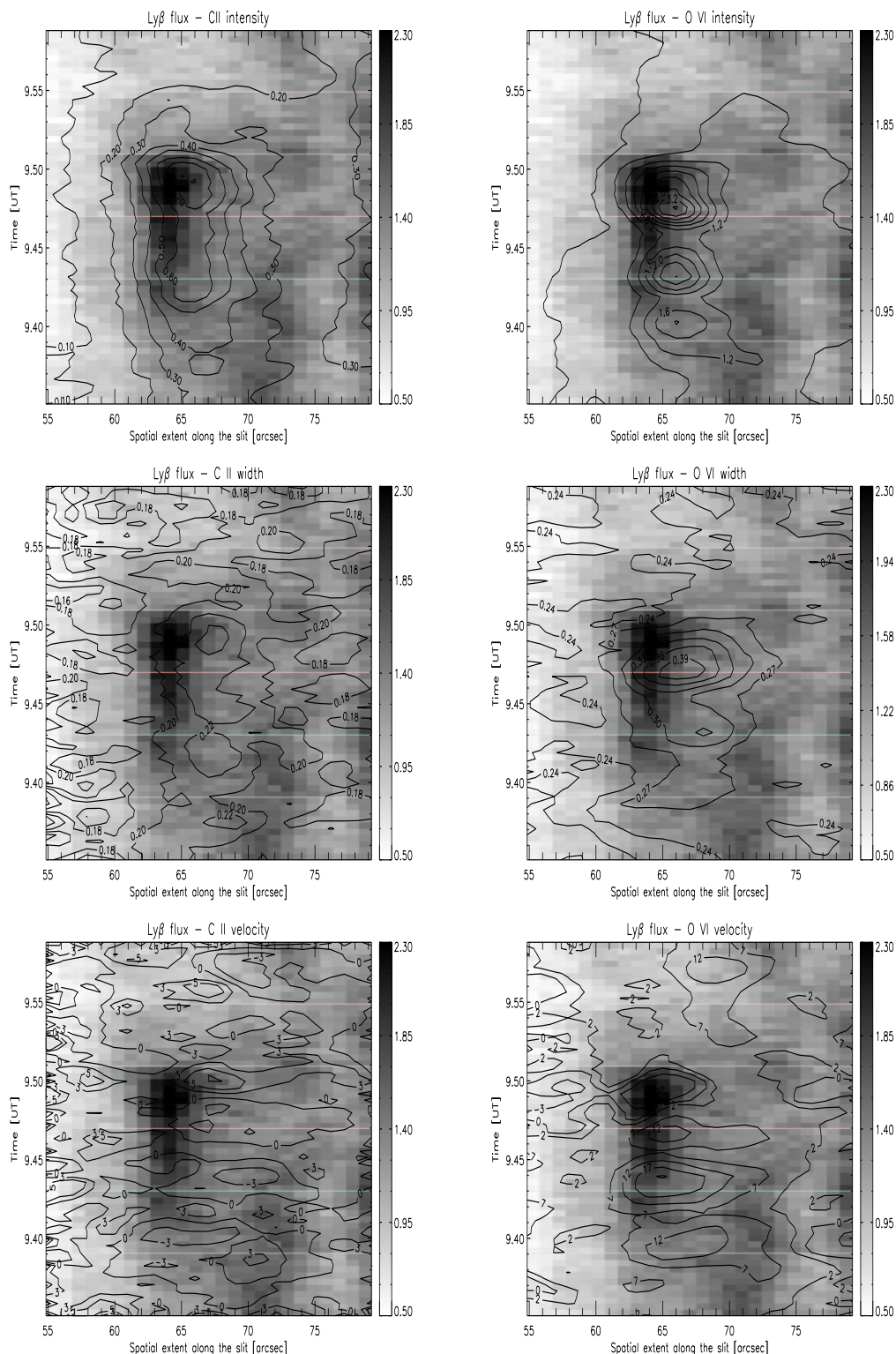
je nutná aproximácia spektrálnych profilov aspoň dvoma gaussovskými profilmi.

POĎAKOVANIE

Práca vznikla s podporou Grantovej agentúry VEGA (grant VEGA 2/3015/23) a grantu ESMN (ET/RTN contract HRPN-CT-2002-00313).

LITERATÚRA

- Handy, B. N., Acton, L. W., Kankelbork, C. C., a kolektív 45 autorov, 1999, *Solar Phys.* 187, 229
- Harrison, R. A., Fludra, A., Pike, C. D., Payne, J., Thompson, W. T., Poland, A. I., Breeveld, A. A., Culhane, J. L., Kjeldseth-Moe, O., Huber, M. C. E., Aschenbach, A., 1995, *Solar Phys.* 162, 223
- Harrison, R. A., 1997, *Solar Phys.* 175, 467
- Bewsher D., Parnell, C. E., Harrison, R. A., 2002, *Solar Phys.* 206, 21
- Bewsher D., Parnell, C. E., Pike, C. D., Harrison, R. A., 2003, *Solar Phys.* 215, 217
- Parnell, C. E., Bewsher D., Harrison, R. A., 2002, *Solar Phys.* 206, 249
- Tomasz, F., Rybák, J., Kučera, A., Curdt, W., Wöhl, H., 2002 v Zborník referátov z 15. celoštátneho snečného seminára, Turčianske Teplice, 2002, ed. I. Dorotovič, SÚH, Hurbanovo, 135
- Tomasz, F., Rybák, J., Kučera, A., Curdt, W., Wöhl, H., 2003, *Hvar Obs. Bull.* 27, 75
- Wilhelm, K., Curdt, W., Marsch, E. a SUMER kolektív, 1995, *Solar Phys.* 162, 189



Obrázok 3. Časové a priestorové posuny celkovej emisie čiary Ly β voči spektrálnym charakteristikám čiar C II a O VI v okolí záblesku. Pozadie na paneloch je celková emisia Ly β , čiernymi čiarami (kontúry) sú znázornené jednotlivé úrovne každej zo spektrálnych charakteristík. Jednotlivé úrovne sú odstupňované a ich hodnota je naznačená na príslušnom kontúre. Celková emisia je vyjadrená vo $\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}$, intenzity vo $\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2} \text{Å}^{-1}$, rýchlosti v km/s a gaussovské polšírky v Å . Odozva záblesku v chromosfére bola približne o 90 s neskôr ako v prechodovej oblasti. Oblasť vplyvu je v chromosfére posunutá smerom k spodnému okraju štrbiny o $2''$. Celková emisia čiary Ly β nadobúda maximálne hodnoty v rovnakých okamihoch ako intenzita čiary C II, avšak zaostávajú za intenzitou v čiare O VI o 60 s. Celková emisia nie je časovo posunutá voči Gaussovej polšírke čiary C II, je však posunutá priestorovo o $-3''$. Intenzita čiary O VI predchádza celkovú emisiu o 75 s a je priestorovo posunutá o $3''$. Zmena rýchlosti v čiare O VI predchádza zvýšeniu celkovej emisie o 100 s. V okamihu a v oblasti najväčšej hodnoty celkovej emisie čiary Ly β sa rýchlosť v čiare O VI zmení zo zápornej na kladnú.