

Odozva EUV filtrov na parametre plazmy pre netermálne κ -distribúcie EUV filter responses to plasma parameters for the non-thermal κ -distributions

J. Dudík¹, E. Dzifčáková^{1,2}, A. Kulinová^{1,2}, M. Karlický²:

¹Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, FMFI UK Bratislava, Slovenská republika

²Astronomický ústav AVČR Ondřejov, Česká republika

Abstrakt:

Odozva EUV filtrov vzhľadom na emisiu je funkciou teploty, hustoty elektrónov a predpokladanej elektrónovej distribučnej funkcie. Ukázali sme, že pre κ -distribúciu, ktorá je charakterizovaná prítomnosťou vysokenergetického chvosta, má výsledná odozva filtra vzhľadom na emisiu širšiu závislosť na T a jej maximum je plochejšie a posunuté v porovnaní s Maxwellovou distribúciou. Diskutovaná je možnosť diagnostikovať T a tvar distribučnej funkcie z pozorovaní vo všetkých troch EUV filtroch.

Abstract:

The filter responses to emission are functions of temperature, electron density and the assumed electron distribution functions. It is shown here that for the case of κ -distributions, characterized by the presence of the non-thermal tail, the resulting function of the filter response to emission have broader dependence on T and its maximum is flatter and shifted in comparison with Maxwellian distribution. Possibility to diagnose of T and the shape of the distribution from the observations in all three EUV filters is discussed.

Úvod.

Bežne sa predpokladá, že distribúciu častíc v slnečnej koróne popisuje Maxwellova distribučná funkcia. Silný gradient teploty alebo hustoty však v coronálnych podmienkach môže viesť k značným odchýlkam distribúcie častíc od Maxwellovej, čo sa prejaví prítomnosťou zvýšeného počtu častíc vo vysokoenergetickom chvoste. Takémuto typu distribúcie sa hovorí κ -distribúcia. (napr. Scudder & Olbert, 1979a,b; Roussel-Dupré, 1980; Shoub, 1983; Dufton *et al.*, 1984; Ljepojevic & MacNiece, 1988; Scudder 1992; Pinfield *et al.*, 1999) a jej prítomnosť vedie k pozorovateľným efektom, pretože ovplyvňuje ako ionizačnú tak aj excitačnú rovnováhu. κ -distribúcia sa dnes bežne používa pri popise distribúcie častíc v slnečnom vetre (Zouganelis, 2008), pri popise jeho iónového zloženia (Vasyliunas, 1968), ale napr. aj pre koronálne slučky s nestacionárnym ohrevom (Vocks *et al.*, 2008).

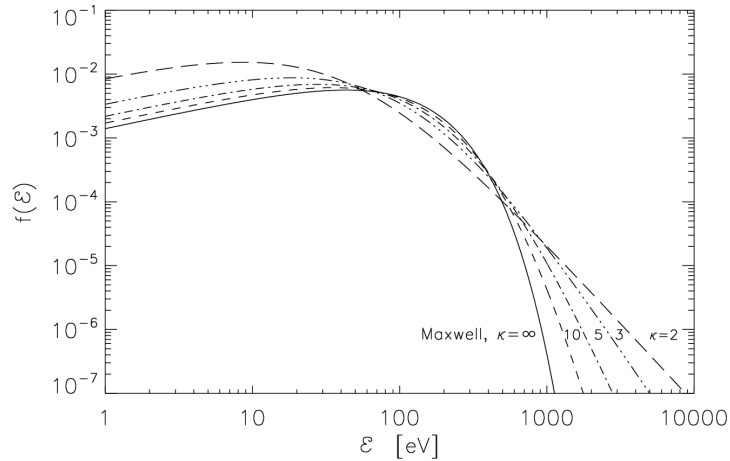
Vplyv κ -distribúcie na ionizačnú a excitačnú rovnováhu skúmali e.g. Wannawichian, S. *et al.*, (1996), Dzifčáková (1992; 2000; 2002; 2006a) a Dzifčáková & Kulinová (2003). Otázkou vplyvu κ -distribúcie na odozvu Trace EUV filtrov na emisiu koróny skúma tento článok. Ide o aktuálny problém, keďže pomery odoziev v rôznych EUV filtroch sa používajú na diagnostiku teploty v koróne.

κ -distribúcia

κ -distribúcia, ako funkcia energie E , je definovaná nasledovne:

$$f(E)dE = A_{\kappa} \frac{2}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \frac{E^{1/2}}{\left(1 + \frac{E}{(\kappa - 1.5)kT}\right)^{\kappa+1}} dE$$

kde k je Boltzmannova konštanta, T a κ sú parametre distribúcie a A_{κ} je normalizačná konštanta. κ -distribúcia spojitě prechádza do Maxwellovho rozdelenia pre κ idúce do nekonečna. Najväčšie odchýlky od Maxwellovho rozdelenia sa dosahujú pre κ blížiacie sa k 1.5.



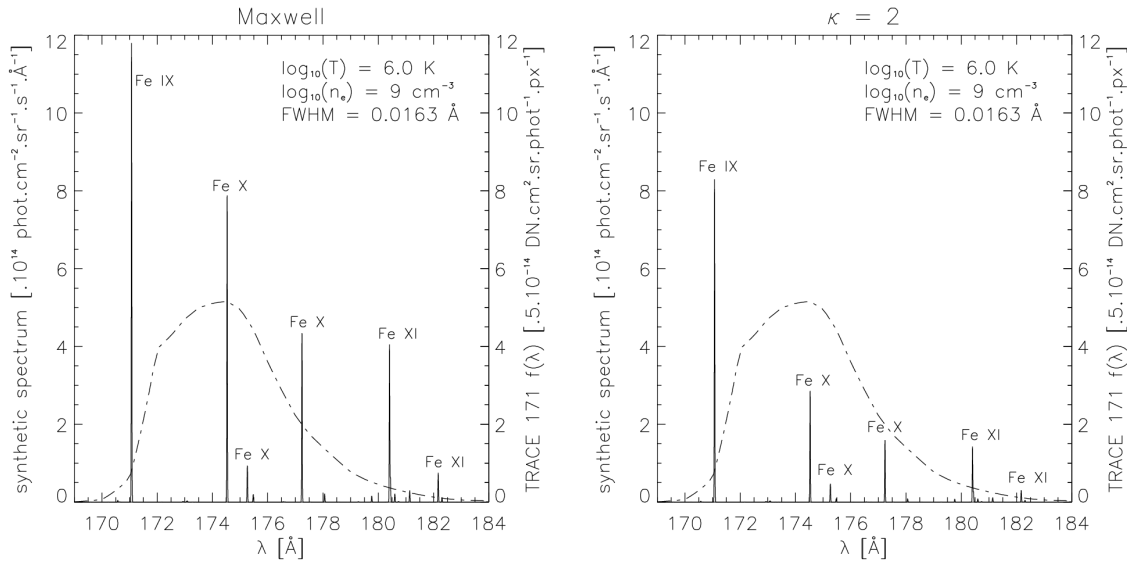
Obr. 1. Porovnanie Maxwellovej distribúcie s κ -distribúciou pre $\kappa = 2, 3, 5$ and 10 . Všetky distribúcie majú rovnakú $T = 10^6$ K a teda aj strednú energiu častíc.

Priemerná hodnota energie častíc v κ -distribúcii je $\langle E \rangle = 3kT/2$ a je rovnaká ako pre Maxwellovu distribúciu s tou istou T .

Intenzity čiar, spektrá a odozvy filtrov

EUV filtre, ktoré sa používajú na pozorovanie slnečnej koróny, majú maximum priepustnosti v okolí 171 \AA , 195 \AA a 284 \AA a dominujú v nich čiary iónov Fe. Obr. 2 ukazuje syntetické spektrá v okolí filtra 171 \AA pre Maxwellovo rozdelenie a κ -distribúciu s $\kappa = 2$ spolu so spektrálnou odozvou filtra (čiarkovaná čiara). Syntetické spektrá boli vypočítané pomocou vlastnej modifikácie (Dzifčáková, 2006b) softvéru a databázy CHIANTI (Dere *et al.* 1997). Ionizačná rovnováha pre κ -distribúcie bola prevzatá z práce Dzifčáková (2002).

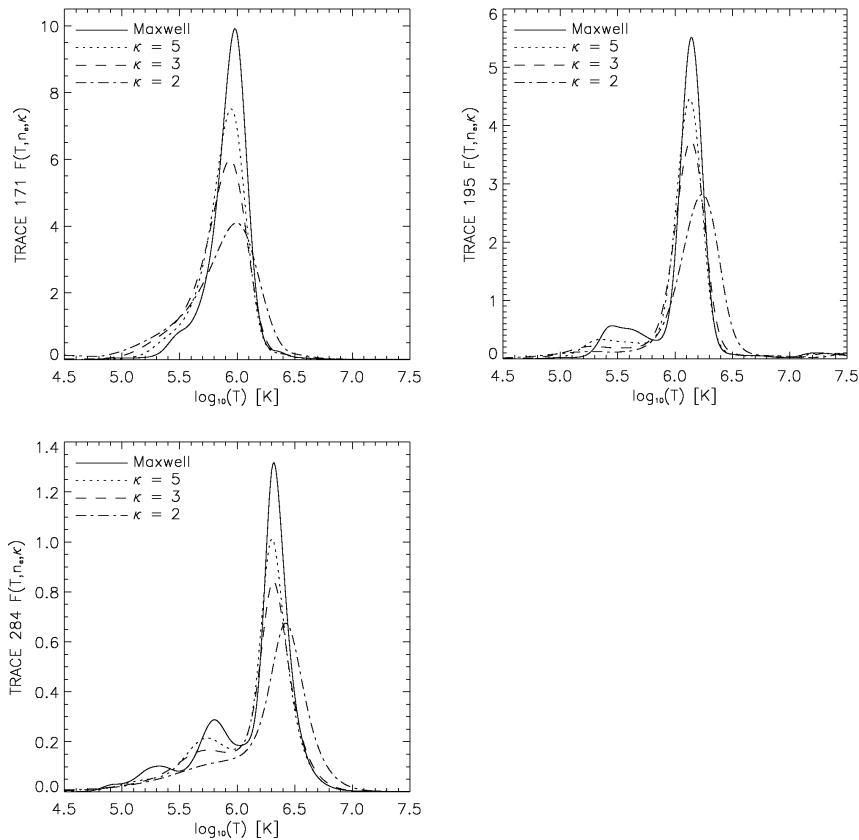
Keď vieme vypočítať syntetické spektrum, odozva filtra je potom integrál súčinu spektrálnej odozvy filtra so spektrom cez vlnový rozsah daného filtra, pričom spektrum je charakterizované hustotou elektrónov a parametrami T a κ . Odozvu filtra na emisiu sme počítali pre TRACE EUV filtre 171 \AA , 195 \AA a 284 \AA .



Obr. 2. Syntetické spektrá v okolí filtra 171 \AA pre Maxwellovo rozdelenie (vľavo) a κ -distribúciu s $\kappa = 2$ (vpravo). Spektrálna odozva filtra je na oboch obrázkoch vyznačená čiarkovanou čiarou.

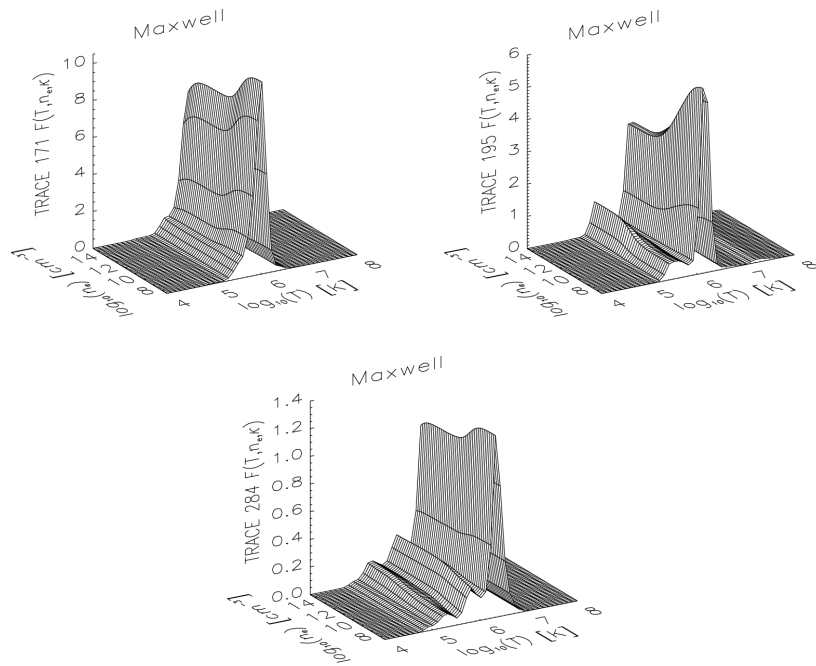
Výsledky

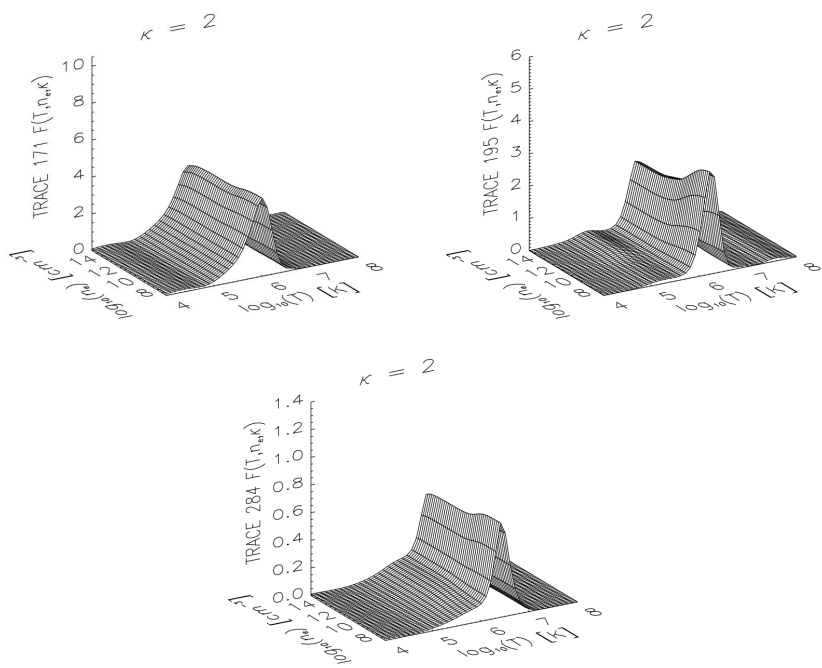
Odozva TRACE EUV filtrov na emisiu pre κ -distribúcie sa značne líši od odozvy filtrov na emisiu pre Maxwellovo rozdelenie. Vo všeobecnosti je pík v závislosti na T pre κ -distribúcie nižší a širší ako pre Maxwellovu distribúciu, pričom zároveň dochádza k "vyhladeniu" vedľajších maxím (Obr. 3). Zároveň dochádza k posuvu maxima funkcie odozvy filtra na T smerom k nižším hodnotám T pre menšie odchýlky κ -distribúcie od Maxwellovej. Tieto zmeny sú spôsobené hlavne zmenami v excitačnej rovnováhe. Naproti tomu pre $\kappa = 2$ dochádza k posuvu maxima odozvy filtra smerom k vyšším T , čo je dôsledok najmä zmien v ionizačnej rovnováhe.



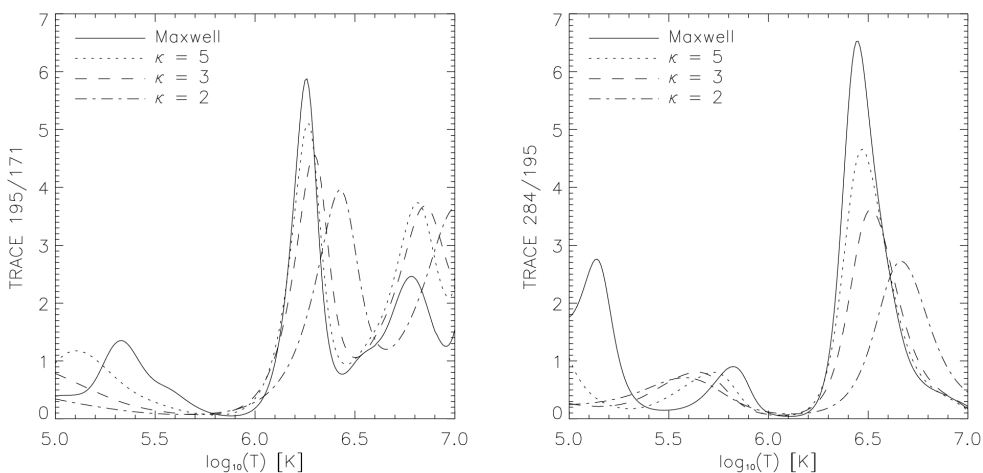
Obr. 3. Odozvy TRACE EUV filtrov na T pre Maxwellovu distribúciu (plná čiara) a pre κ -distribúcie s $\kappa = 5$ (bodkovaná čiara), $\kappa = 3$ (čiarkovaná čiara) a $\kappa = 2$ (bodko-čiarkovaná čiara) pre hustotu elektrónov 10^{10} cm^{-3} a mieru emisie $EM=10^{27} \text{ cm}^{-5}$.

Ďalší parameter, na ktorom závisí veľkosť odozvy filtra na emisiu, je hustota elektrónov. Obr. 4 ukazuje jej zmeny s hustotou pre dva extrémne prípady, pre Maxwellovo rozdelenie a pre κ -distribúciu s $\kappa = 2$. Opäť, zmeny spôsobené zmenou hustoty sú menšie pre κ -distribúcie ako pre Maxwellovu distribúciu.

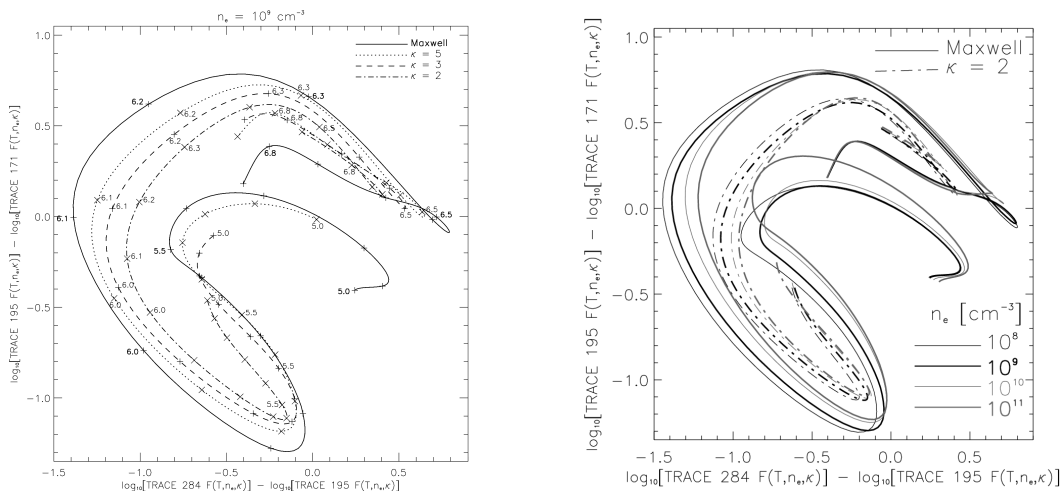




Obr. 4. Odozvy EUV filtrov na T a hustotu elektrónov pre Maxwellovu distribúciu (hore) a pre κ -distribúciu s $\kappa = 2$ (dole).



Obr. 5. Pomery TRACE EUV filtrov v závislosti na $\text{Log}(T)$ pre hustotu elektrónov 10^9 cm^{-3} .



Obr. 6. Farebný diagram pre diagnostiku T pre hustotu elektrónov 10^9 cm^{-3} (vľavo) a závislosť farebného diagramu na hustote elektrónov (vpravo).

TRACE EUV filtre sa pomerne často používajú aj na diagnostiku T . Keďže pomery dvoch filtrov nie sú monotónnou funkciou T , nie je ich možné priamo použiť na diagnostiku (Obr. 5). Preto Chae *et al.* (2002) navrhli metódu tzv. farebného diagramu. Tá vyživa fakt, že závislosť pomerov filtrov 195/171 na 284/195

vytvára krivku, ktorá umožňuje diagnostikovať T . My sme tieto krivky vypočítali aj pre κ -distribúcie (Obr. 6, vľavo). Ukázalo sa, že farebný diagram silne závisí na hodnote parametra κ a v niektorých oblastiach diagramu sú body s rovnakým T na veľmi rozdielnych miestach. Najväčšie rozdiely sú pre $\log(T)$ z intervalov (5.3, 5.7) a (6.3, 6.4). V tejto oblasti je teda nemožná diagnostika T bez znalosti parametra κ . Naopak, rozdiely medzi farebnými krivkami pre Maxwellovo rozdelenie a κ -distribúcie pre $\log(T)$ z intervalu (6.0, 6.3) sú tak veľké, že môžu umožniť diagnostikovanie hodnoty κ za predpokladu, že poznáme hustotu elektrónov a máme k dispozícii dáta s dostatočnou presnosťou. Znalosť elektrónovej hustoty pre diagnostiku T , resp. κ z farebného diagramu je nevyhnutná, pretože zmeny hustoty majú na krivky farebného diagramu podobný efekt ako zmeny parametra κ (Obr. 6, vpravo).

Záver

Vypočítali sme odozvy EUV filtrov pre κ -distribúcie a výsledky sme porovnali s výsledkami pre Maxwellovo rozdelenie. Ukázalo sa, že prítomnosť κ -distribúcie má veľký vplyv na odozvy EUV filtrov a že ovplyvňuje diagnostiku T z pomerov odoziev filtrov natoľko, že bez znalosti parametra κ nie je možné pre niektoré hodnoty pomerov filtrov správne určiť T . Zmeny vo farebnom diagrame dokonca v istej oblasti T umožňujú diagnostikovať κ ak máme k dispozícii dáta s dostatočnou presnosťou. Avšak akákoľvek diagnostika z farebného diagramu vyžaduje znalosť hustoty elektrónov nejakou inou, nezávislou metódou.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Grantovou agentúrou SR, VEGA, grant č. 1/0069/08, Grantovou agentúrou Akadémie vied ČR, grant IAA300030701, Grantovou agentúrou ČR grant č. 205/09/1705 a grantom Komenského Univerzity č. 414/2008 a 398/2009.

Literatúra:

- Chae, J., Park, Y.-D., Moon, Y.-J., Wang, H., Yun, H. S.: 2002, *ApJ*, **567**, 159
Dere, K. P., Landi, E., Mason, H. E., Monsignori Fossi, B. C., Young, P. R.: 1997, *A&AS*, **125**, 149
Dufton, P. L., Kingston, A. E., Keenan, F. P.: 1984, *APJ*, **280**, L35
Dzifčáková, E.: 1992, *Sol. Phys.*, **140**, 247
Dzifčáková, E.: 2000, *Sol. Phys.*, **196**, 113
Dzifčáková, E.: 2002, *Sol. Phys.*, **208**, 91
Dzifčáková, E.: 2006a, *Sol. Phys.*, **234**, 243
Dzifčáková E.: 2006b, in *Proc. SOHO-17, 10 Years of SOHO and Beyond*, ed. H. Lacoste & L. Ouwehand, ESA SP-617 89.1
Dzifčáková, E., Kulinová, A.: 2003, *Sol. Phys.*, **218**, 41
Ljepojevic, N. N., MacNiece, P.: 1987, *Sol. Phys.*, **117**, 123
Owocki, S. P., Scudder, J. D.: 1983, *APJ*, **270**, 758
Pinfield, D. J., Keenan, F. P., Mathioudakis, M., et al.: 1992, *APJ*, **527**, 1000
Roussel-Dupre, R.: 1980, *Sol. Phys.*, **68**, 265
Scudder, J. D.: 1992, *APJ*, **398**, 319
Shoub, E. C.: 1983, *APJ*, **266**, 339
Vasyliunas, V. M.: 1968, in *Proc. Physics of the Magnetosphere*, ed. R. L. D. Carrovilano & J. F. McClay, *ASSL*, **10**, 622
Vocks, C., Mann, G., Rausche, G.: 2008, *A&A*, **480**, 527
Wannawichian, S., Ruffolo, D., Katavych, Yu. Yu.: 2002, *APJS*, **146**, 443
Zouganelis, I.: 2008, *JGR*, **113**, A08111