
Marija Vucelja

Određivanje ekvivalentnih širina aktivno-osetljivih linija Sunčevog spektra

Prikazana je metoda razvijena na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu za izračunavanje ekvivalentnih širina Fraunhoferovih linija Sunčevog spektra, posmatranih CCD kamerom. Napisan je program za automatizovanje procedure: ispravljavanje vidnog polja, normiranje spektra, korekcija x-skale i izračunavanje ekvivalentnih širina.

Uvod

U dužem vremenskom intervalu moguće je uočiti promenu parametara (ekvivalentne širine, dubine, poluširine) profila spektralnih linija u zavisnosti od aktivnosti Sunca. Iz tih razloga na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu je 1986. godine započet dugoročni posmatrački program. Uz pomoć Sunčevog spektrograma posmatra se 31 izabrana fotosferska spektralna linija. Pre dve godine program je poboljšán – upotrebom CCD kamere promenjen je način beleženja podataka.

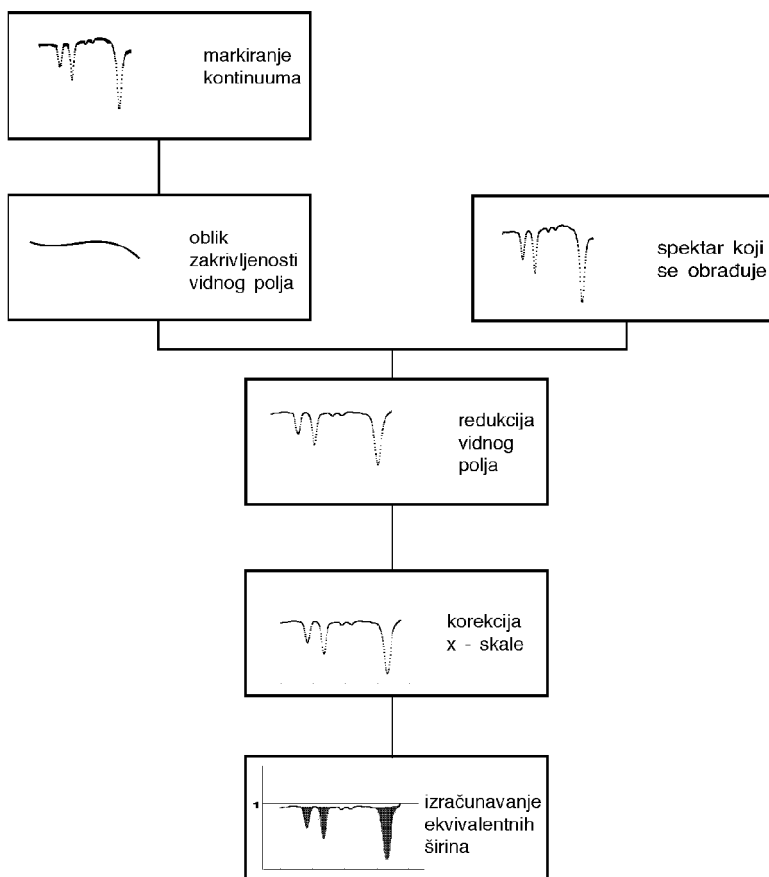
U ovom radu analizirane su aktivno-osetljive Fraunhoferove linije. Naš je zadatak bio da sa CCD snimaka izaberemo kvalitetne fotometrijske preseke i sa tako dobijenih spektara odredimo ekvivalentnu širinu izabranih linija. Spektar je sniman sa SBIG ST-6 kamerom, montiranom na ekvatorijalni sunčani spektrograf (Kubičela 1975). CCD čip je bio fotoosetljive površine $8.6 \times 6.5 \text{ mm}^2$ i rezolucije 375×242 piksela. Fotometrija snimljenog spektra vršena se analizom digitalne slike (programom ccdgraph.exe). Materijal korišćen u obradi dobijen je ljubaznošću Vince Istvána, sa astronomske opservatorije u Beogradu.

Metod

Snimci spektra su dobijeni CCD kamerom prikačenom za spektrograf. Sa snimaka se mogu izdvojiti horizontalni (duž pravca disperzije) i verti-

*Marija Vucelja (1978),
Beograd, Steve Todorovića 45/27, učenica
3. razreda XIII beogradske
gimnazije*

*MENTOR:
Dr István Vince,
Astronomska opservatorija
Beograd*



Slika 1.
Šematski prikaz
obrade profila linije.

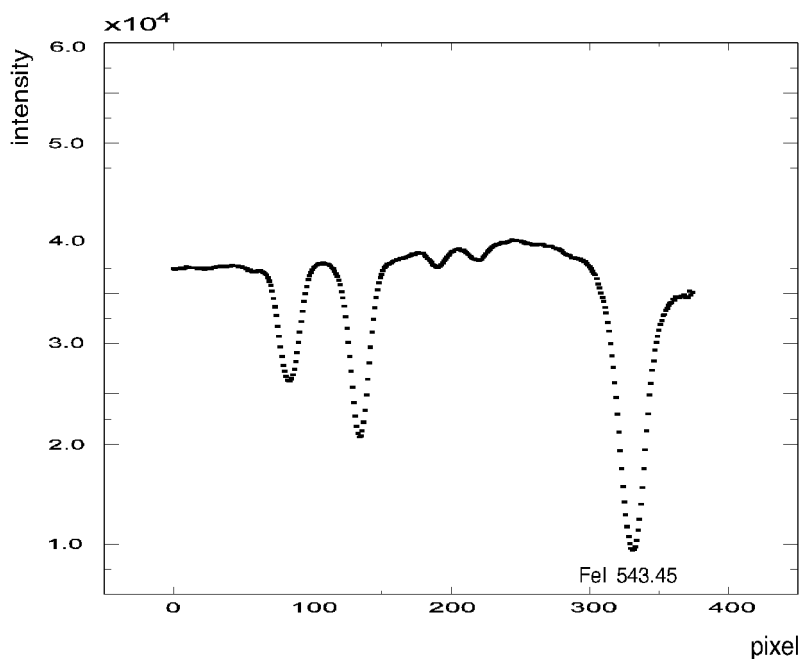
Figure 1.
Flow chart of line
profile analysis.

kalni fotometrijski preseci. Fotometrijski presek predstavlja raspodelu intenziteta osvetljenosti po pikselima (x -osa); maximum apsorpcije je tamo gde je intenzitet osvetljenosti minimalan.

Podaci su obrađeni korišćenjem horizontalnih fotometrijskih preseka. Sa svakog snimka izdvojeno je 15–20 horizontalnih fotometrijskih preseka čijim usrednjavanjem je dobijen po jedan rezultujući snimak. Dalji postupak obrade podeljen je na podprocese (sl. 1).

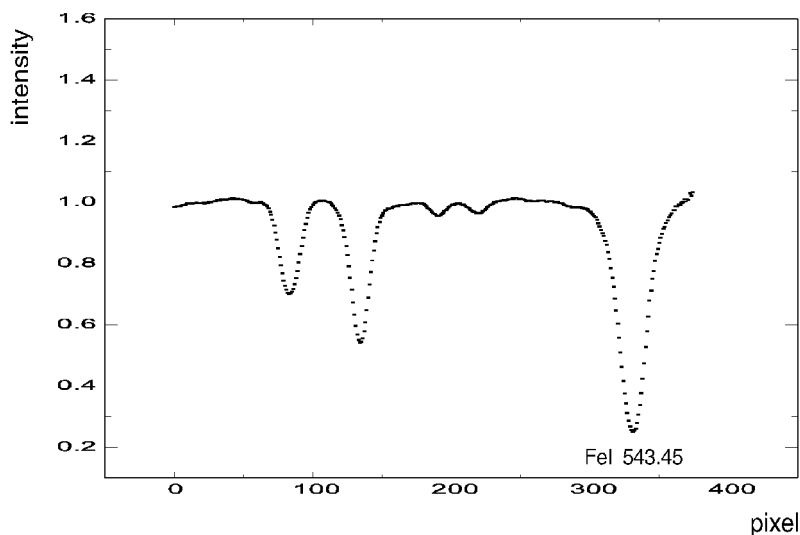
1) Na usrednjenom fotometrijskom preseku markiran je kontinuum. *Markiranje kontinuuma* vršeno je ručno – empirijski je potvrđeno da se na ovaj način dobijaju precizniji podaci nego automatizovanjem procesa. Tačnost dobijenih rezultata direktno zavisi od odnosa šuma i signala kao i od instrumentalnog profila. Pošto odnos šuma i signala nije konstantan kao ni instrumentalni profil (karakteristike su samo jednog snimka), proces izbora tačaka koje pripadaju kontinuumu ne može se automatizovati.

2) Sledeći korak pri obradi podataka je *fitovanje markiranog kontinuuma* na svakom spektrogramu. Fitovanje je vršeno polinomom 3.



Slika 2.
Grafik srednjeg
profila linije FeI
543.45 dobijenog
CCD snimkom
(horizontalni presek).

Figure 2.
The average
horizontal profile of
spectral line FeI
543.45, obtained
from the CCD image.



Slika 3.
Redukcija vidnog
polja (FeI543.45).

Figure 3.
Flat field reduction
for FeI543.45.

stepena. Eksperimentalno je utvrđeno da ovakav oblik funkcije najbolje odgovara obliku zakrivljenja koje zavisi od instrumenta (Skuljan 1991: 36–42).

3) *Redukcija vidnog polja* (flat field reduction) ima za cilj izravnavanje i normiranje nivoa kontinuuma. Vršiti se sledećom formulom:

$$y_i^r = y_i / P_3(x),$$

gde su:

y_i^r – redukovane vrednosti y_i ,

y_i – intenzitet dat fotometrijskim presekom,

x_i – broj piksela na fotometrijskom preseku,

P_3 – polinom trećeg stepena čiji su koeficijenti izračunati u prethod-

nom koraku: $P_3 = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3$.

4) Korekcija x -skale

Vrednosti na x -osi su izražene u pikselima. Nađena je zavisnost razmere (nm/piksel) od promene talasne dužine. Dužina intervala dozvoljava aproksimaciju linearnom funkcijom:

$$y = a \lambda + b,$$

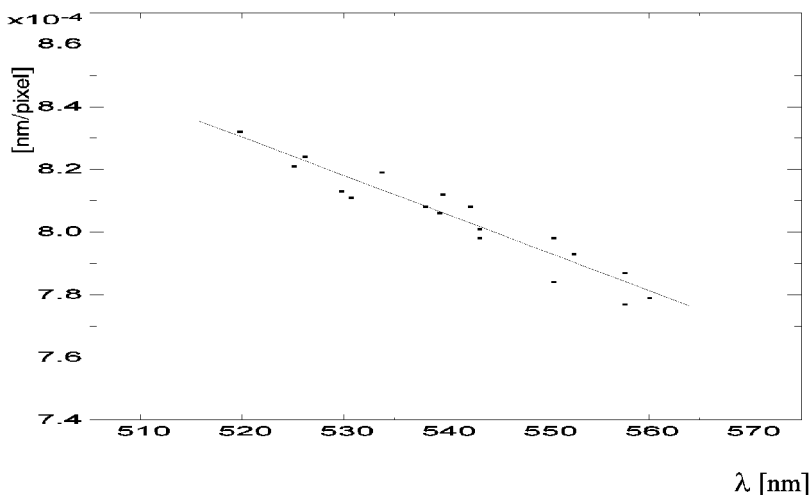
gde je: y – razmera nm/piksel, a λ – talasna dužina [nm]. U našem slučaju za parametre pravca su dobijene vrednosti:

$$a = (-1.2 \pm 0.09) \cdot 10^{-6}, b = (1.47 \pm 0.05) \cdot 10^{-3}.$$

5) *Ekvivalentna širina* je računata prema sledećim formulama:

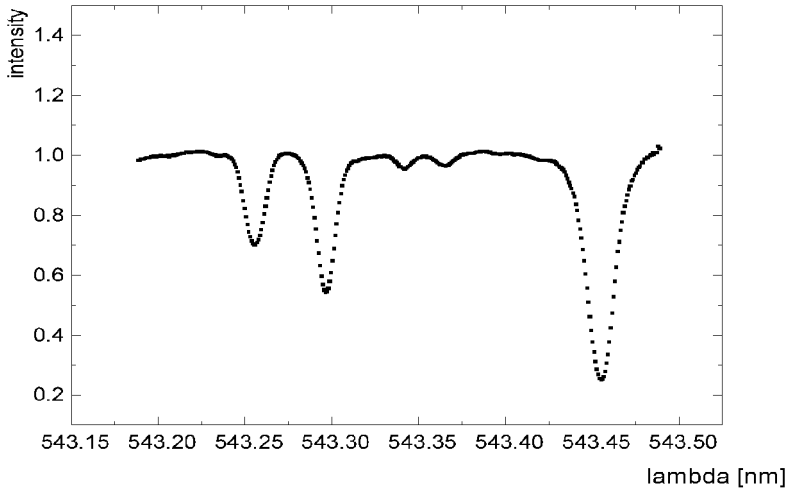
$$S_1 = \sum_{i=L}^{D-1} (\lambda_{i+1} - \lambda_i) \cdot \frac{I_i + I_{i+1}}{2}$$

$$R = (\lambda_D - \lambda_{D-1}) \cdot \frac{I_{D+1} + I_D}{2}$$



Slika 4.
Zavisnost razmere (nm/piksel) pri promeni talasne dužine.

Figure 4.
The nm/pixel ratio versus wavelenght.



Slika 5.
Izgled profila linije
Fe I 543.45 nakon
korekcija.

Figure 5.
The profile of
spectral line Fe I
543.45 after
corrections.

$$S_2 = \sum_{k=0}^{m-1} (\lambda_{L+2k+2} - \lambda_{L+2k}) \cdot \frac{I_{L+2k} + I_{L+2k+2}}{2}, \text{ ako je } D - L = 2m$$

$$S_2 = \sum_{k=0}^{m-1} (\lambda_{L+2k+2} - \lambda_{L+2k}) \cdot \frac{I_{L+2k} + I_{L+2k+2}}{2} + R,$$

kada je $D - L = 2m + 1$

$$S = \frac{4S_2 - S_1}{3}$$

$$W = (\lambda_D - \lambda_L) - S \text{ [nm]}$$

$$W_F = \frac{W}{\lambda} \cdot 10^6 \text{ [F]},$$

gde je:

λ – talasna dužina,

I – intenzitet,

$(D - L)$ – broj elementarnih intervala na segmentu integracije,

$(\lambda_D - \lambda_L)$ – interval na kome se vrši numerička integracija [nm],

W – ekvivalentna širina u nanometrima,

W_F – ekvivalentna širina u fraunhoferima.

Rezultati i diskusija

Napisan je algoritam za već pomenute elemente procedure (sl. 1). Analizirane linije su birane iz opsega talasnih dužina 518-68 nm. U tabeli su prikazani naši rezultati (W_F) i odgovarajući kataloški podaci (W_F') (Skuljan 1991: 21). Poredeći ove podatke vidi se da je odstupanje ispod 10%, što se smatra zadovoljavajućim rezultatom.

Dobijene vrednosti ekvivalentne širine analiziranih linija (W_F) i njihove kataloške vrednosti (W_F')

linija	λ [nm]	W_F	W_F'
FeII	542.43	7.5	8.8
FeI	543.45	33.0	34.0
FeI	550.68	22.0	23.0
ScII	552.68	13.3	13.8
CaI	558.18	16.7	16.7
CaI	560.13	17.7	17.8

Odstupanja su posledica mogućeg uticaja više faktora. Na ukupnu grešku najviše utiče greška podprocesa 1, tj. markiranje kontinuuma, budući da ono nije jednoznačno već zavisi od lične procene. Ekvivalentna širina verovatno povlači određenu grešku (ova greška se računa kao standardna devijacija serije snimaka iste ekspozicije bliskih po vremenu, što ovde nije bio slučaj). Na odstupanja naših rezultata od kataloških, svakako da utiče i činjenica da se radi o materijalu snimljenom u različitim delovima faze Sunčeve aktivnosti.

Promenom izbora tačaka koje određuju kontinuum, primećuje se da je jedan od glavnih uzroka odstupanja dobijenih vrednosti od kataloških nemogućnost preciznog determinisanja kontinuuma.

Literatura

- [1] Arsenijević J., Kubičela, A., Vince, I., Jankov, S. 1988. Belgrade program for monitoring of Activity – Sensitive Spectral Lines of the Sun as a Star. *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, 138: 1–4.
- [2] Erkapić S., Vince I. 1995. On the average optical depths of formation of some Fraunhofer lines. *Bull. Astron Belgrade*. 151: 13–16.
- [3] Kubičela, A. 1975. Ekvatorijalni Sunčani spektrograf. *Publ. Astron. Obs. Belgrade*, 20: 47-51.
- [4] Kubičela A., Jevremović D., Popović L. C., Skuljan J., Arsenijević J., Vince I. 1994. Inteference Fringes of CCD camera. *Bull. Astr. Belgrade*, 150: 37–40.
- [5] Skuljan J. 1991. *Prilog spektrofotometriji Sunčevih linija*. Beograd
- [6] Skuljan J. Erkapić S., Vince I., Kubičela A. 1992. The data processing in solar spectrophotometry. *Bull. Astron. Belgrade*, 145: 157–62.

- [7] Vince I., Kubičela A., Arsenijević J. 1988. Belgrade program for monitoring of Activity – Sensitive Spectral Lines of the Sun as a star II. Selection of Fraunhofer Lines and Beginning of a Study of their Long-term Changes. *Bull. Obs. Astron. Belgrade.* 139: 25–30.
- [8] Zirin H. 1966. *The Solar Atmosphere.* Blaisdell Publishing Company.

Marija Vucelja

Equivalent Widths Evaluation of Activity-sensitive Lines in Solar Spectrum

The method developed at the Belgrade Astronomical Observatory for evaluating the equivalent widths of Fraunhofer lines, obtained with CCD camera is described. Using this method a program for the reduction procedure was produced. It includes flat field reduction, normalization to the continuum level, correction of the x -scale and evaluation of equivalent widths.

