

Određivanje krive rasta i ekscitacione temperature Ti I u Sunčevom spektru

Određena je krive rasta i ekscitaciona temperatura Ti I na osnovu podataka o spektralnim linijama Sunca Ti I i Fe I. Podaci su pokrivali spektralne linije Ti I od 470 do 550 nm i spektralne linije Fe I od 480 do 550 nm. Kriva rasta sadrži podatke o oba elementa. Dobijena temperatura ekscitacije za Ti I iznosi 5250 K, što znači da linija Ti I nastaje u višim slojevima Sunčeve fotosfere.

Uvod

Poznato je da svaki atom ima karakteristične spektralne linije. One mogu biti apsorpcione i emisione. Intenzitet svake spektralne linije zavisi od broja atoma koji izrači, odnosno apsorbuje zračenje po jedinici površine. Intenzitet se izražava preko ekvivalentne širine. Na prvi pogled odnos između intenziteta linije i broja atoma izgleda kao da su ove veličine proporcionalne, ali je ova zavisnost mnogo komplikovanija i zavisi od širenja spektralnih linija. Širenje spektralnih linija prouzrokuje okolina atoma, tj. okolni gas u kome se javlja emisija ili apsorpcija zračenja. Najčešći uzroci širenja spektralnih linija su:

1. termalno širenje koje zavisi od temperature gasa – što je veća temperatura gasa, širenje linije je veće;
2. Dopplerov efekat usled rotacije zvezde;
3. pritisak – usled promene energetske stanja atoma koje je prouzrokovano interakcijom apsorbera i okolnih čestica;
4. magnetno polje – što je jače magnetno polje, širenje magnetno osjetljivih linija je izraženije i
5. prirodno širenje – energetski nivoi atoma imaju određenu širinu.

Kriva rasta

Zavisnost intenziteta odnosno ekvivalentne širine spektralne linije od broja atoma po cm^3 (atoma koji apsorbuju-apsorberi) se izražava preko

*Ana Matković (1978),
Beograd, Sretna Mladonovića 25/14, učenica 3
razreda XV beogradske
gimnazije*

*MENTOR:
Dr Ištvan Vince, Astro-
nomska opservatorija,
Beograd, Volgina 7*

krive rasta (slika 1). Kriva rasta pokazuje da za mali broj atoma po cm^3 centar spektralne linije još uvek nije potpuno crn, tj. da u centru spektralne linije zračenje nije potpuno apsorbovano, i tada je intenzitet linije direktno proporcionalan broju atoma. Za srednje vrednosti broja atoma po jedinici zapremine (cm^3) centar linije je crne boje (u centru dolazi do potpune apsorpcije zračenja), ali apsorpcija u krilima linije još nije postala velika i njen intenzitet raste veoma sporo sa rastom broja atoma. Za veliki broj atoma po jediničnoj zapremini (cm^3) intenzitet linije je proporcionalan kvadratnom korenu iz broja atoma po cm^3 . Uz pomoć krive rasta može se odrediti ekscitaciona temperatura nekog hemijskog elementa i hemijski sastav zvezde.

Ekscitaciona temperatura

Svaki atom se sastoji od jezgra i elektrona koji kruže oko njega na određenim rastojanjima. Ovakav atom se nalazi u osnovnom stanju, dok ekscitovano (pobuđeno) stanje označava stanje atoma u kojem se neki elektron privremeno nalazi na većem rastojanju od jezgra. Pobuđivanje atoma može nastati npr. kada atom apsorbuje foton ili pri sudarima atoma sa drugim česticama. Kada je atom pobuđen njegova unutrašnja energija je veća od unutrašnje energije atoma u osnovnom stanju, ali je manja od energije jonizacije. Temperatura na kojoj se vrši ekscitacija se može definisati kao ekscitaciona temperatura.

Kada je temperatura nekog gasa velika, oko 4000-5000 K, atomi će u međusobnim sudarima, apsorbovati i emitovati energiju, gubiti elektrone i ponovo ih vraćati. Pod uslovom termodinamičke ravnoteže, raspodela atoma po energetske stanjima (u ovom slučaju npr. stanja a i b) određena je Boltzmann-ovom jednačinom:

$$\frac{N_a}{N_b} = \frac{g_b}{g_a} \cdot e^{-\chi/kT}$$

gde je k – Boltzmann-ova konstanta, g_a i g_b statističke težine nivoa a i b , c – ekscitaciona energija i T – temperatura ekscitacije. Ako se c izrazi u eV i gornji izraz logaritmuje, dobija se podesniji oblik formule za izračunavanje ekscitacione temperature:

$$\log \frac{N_b}{N_a} = - \frac{5040}{T} \cdot \chi + \log \frac{g_b}{g_a},$$

Metod

Dobijeni podaci [1] o Sunčevim linijama TiI i FeI sadrže: ekvivalentne širine w , broj multiplleta, $\log gf$ (gde je g – statistička težina, a f – sila oscilatora) i ekscitacionu energiju. Da bi se dobila ekscitaciona temperatura iz ovih podataka, prvo je određena kriva rasta. Kriva rasta pokazuje kako ekvivalentna širina linije raste sa brojem atoma koji apsorbuju. Obično se predstavlja na grafiku na čijoj y-osi je $\log w$, a na x-osi $\log Nf + \text{const}$, (N je broj atoma po cm^3 tj. njegova gustina). Pošto je N nepoznato na x-osu se nanosi $\log Nf$. Kriva rasta je nacrtana tako što je za svaki multiplet posebno nacrtan grafik $\log w = f(\log Nf)$. Zatim se svaki taj grafik precrtava na jedan (glavni) tako što se pomera duž x-ose sve dok se po ugledu na krivu rasta iz literature ne dobije kompozitna kriva rasta. Kroz te tačke je provučen polinom četvrtog stepena (grafik na slici 1), koji najviše odgovara raspodeli tačaka. Sa dobijene krive se očitavaju vrednosti sa x-ose za svaku vrednost $\log w$. Ove očitane vrednosti se predstavljaju $\log Nf + \text{const}$, koji je potreban da bi se izračunala ekscitaciona temperatura (T) Ti I. Temperatura se može dobiti iz sledeće formule:

$$\log Nf - \log gf = \text{const.} - \frac{5040}{T} c \quad (1)$$

Da bi se dobila ekscitaciona temperatura TiI potrebno je nacrtati novi grafik na čijoj x-osi je $\text{const.} - (5040/T)$, a na y-osi $\log Nf - \log gf$. Na tom grafiku se metodom najmanjih kvadrata dobija prava čiji je koeficijent pravca jednak

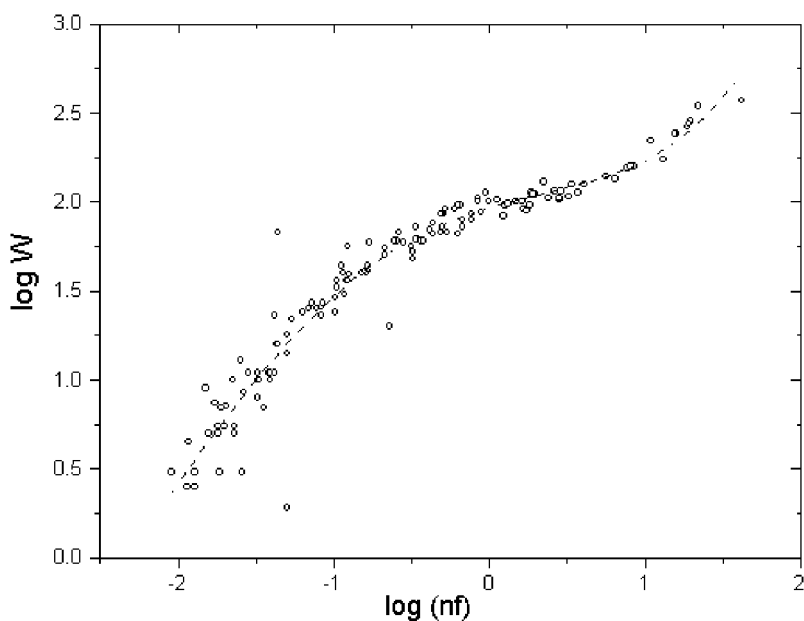
$$\text{tg } z = - \frac{5040}{T} .$$

Odatle se može dobiti ekscitaciona temperatura T . Pri crtanju krive rasta korišćeni su podaci o spektralnim linijama TiI (koji formiraju donji deo krive rasta) i o linijama FeI (koji formiraju i gornji deo krive rasta).

Rezultati i diskusija

Uz pomoć programskog paketa ORIGIN, kroz tačke koje formiraju krivu rasta, provučen je polinom četvrtog stepena:

$$y = 1.97 + 0.26 x - 0.15 x^2 + 0.12 x^3 + 0.03 x^4 .$$



Slika 1
 Kriva rasta.
 Isprekidana linija
 predstavlja
 aproksimaciju
 polinomom četvrtog
 stepena.

Figure 1
 Curve of growth.
 Dashed line
 represents a fourth
 degree polynom
 approximation

Dobijena kriva rasta je prikazana na slici 1.

Nacrtan je i grafik $\log Nf - \log gf = \text{const.} - (5040/T) c$ i metodom najmanjih kvadrata provučena je prava čiji su koeficijenti $a = -0.96$ i $b = 0.32$. Odatle sledi da je ekscitaciona temperatura T_i I jednaka 5250 K i ona predstavlja temperaturu na kojoj se formira najveći broj apsorpcionih linija ovog hemijskog elementa [3].

Dobijena ekscitaciona temperatura T_i I od 5250 K se razlikuje od efektivne temperature Sunca (temperatura fotosfere) od 5770 K. Jasno je da se spektralne linije neutralnog T_i formiraju u atmosferi Sunca na visini većoj od visine kojoj se pripisuje efektivna temperatura. Drugi razlog nepoklapanja je nepostojanje termodinamičke ravnoteže na visini na kojoj se formiraju linije T_i I.

Ako se pretpostavi stanje termodinamičke ravnoteže, na osnovu ekscitacione temperature može se izračunati srednja visina formiranja spektralnih linija T_i I. Sledi da ove linije nastaju u sloju atmosfere višim za 70 km od fotosferskog sloja efektivne temperature.

Zahvanost: Zahvaljujem se svima koji su mi omogućili da se ostvari ovaj rad i potrošili svoje slobodno vreme (i ono drugo) pomažući mi. Naročito se zahvaljujem Dr Vince Ištvanu, bez čije pomoći se ova ideja ne bi mogla realizovati. Takođe, zahvaljujem se ISP u kojoj je rad ostvaren i osoblju u Stanici: rukovodiocu programa astronomije Mr Silvani Nikolić, mlađim saradnicima Nikoli Božinoviću i Ivanu Ermanoskom, kao i polaznicima seminara AST 2 95 koji su omogućili stvaranje veoma prijatne i radne atmosfere u Stanici.

Literatura

- [1] Minnaert M. G. J. 1969. *Practical Work In Elementary Astronomy*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- [2] Aller L. H. 1971 *Atoms, Stars and Nebulae*. Cambridge: Harvard University Press.
- [3] Vince I. 1995. Privatna komunikacija

Ana Matković

Determining the Curve of Growth and Excitation Temperature of TiI in the Solar Spectrum

The purpose of this project was to determine the curve of growth and excitation temperature of Ti I from the data about the Sun's spectral lines of Ti I and Fe I. The data covered Ti I spectral lines ranging from 550 to 470 nm, and Fe I spectral lines from 480 to 550 nm. The curve of growth contains data for both elements. The obtained excitation temperature of Ti I is 5250 K, which indicates that these spectral lines are formed in higher layers of the Sun's photosphere.

