

Interpretacija Astronomskih Spektara

Lekcija 1: Zvezdani Spektri

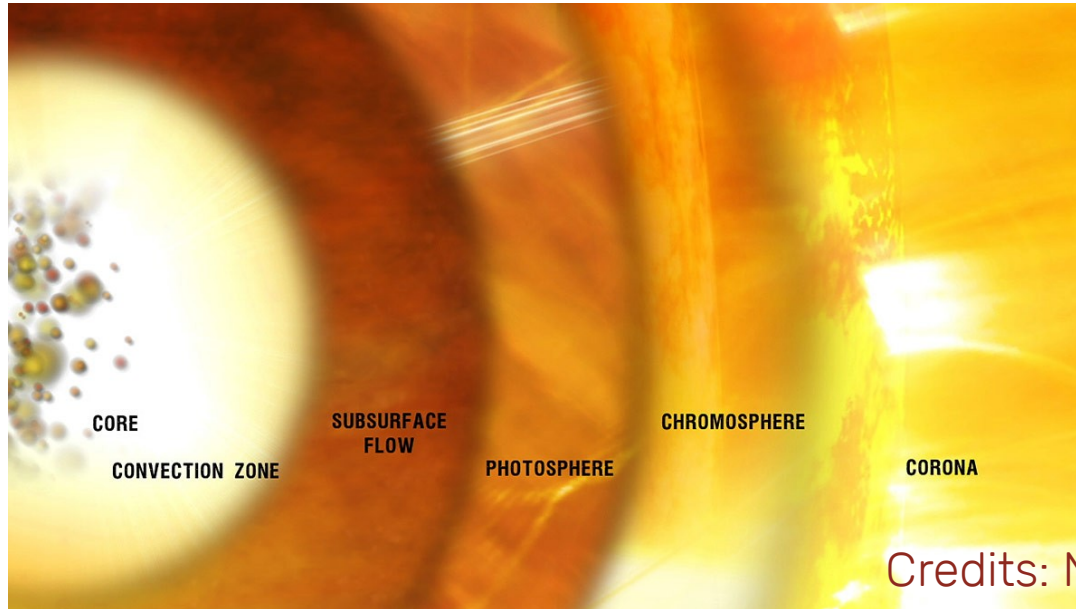
Ivan Milić (AOB / MATF)

16/10/2023

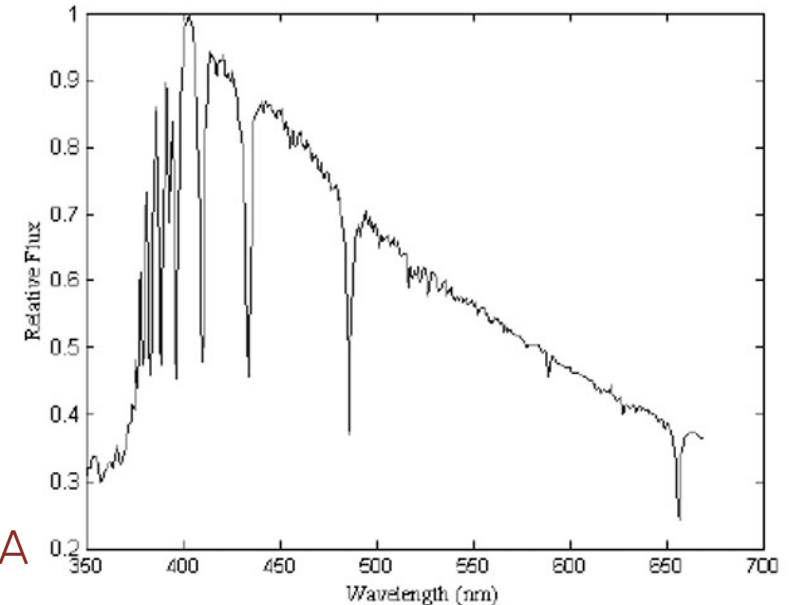


Podsetnik na Teoriju Zvezdanih Spektara

- Zvezdana atmosfera je sloj gasa iz kog zračenje može da pobegne i koje eventualno možemo da posmatramo
- Komplikacija je u tome što zračenje različitih talasnih dužina beži sa različitih dubina i nosi informacije o različitim fizičkim uslovima (pre svega temperatura i pritisak) – u suprotnom zvezda bi bila apsolutno crno telo

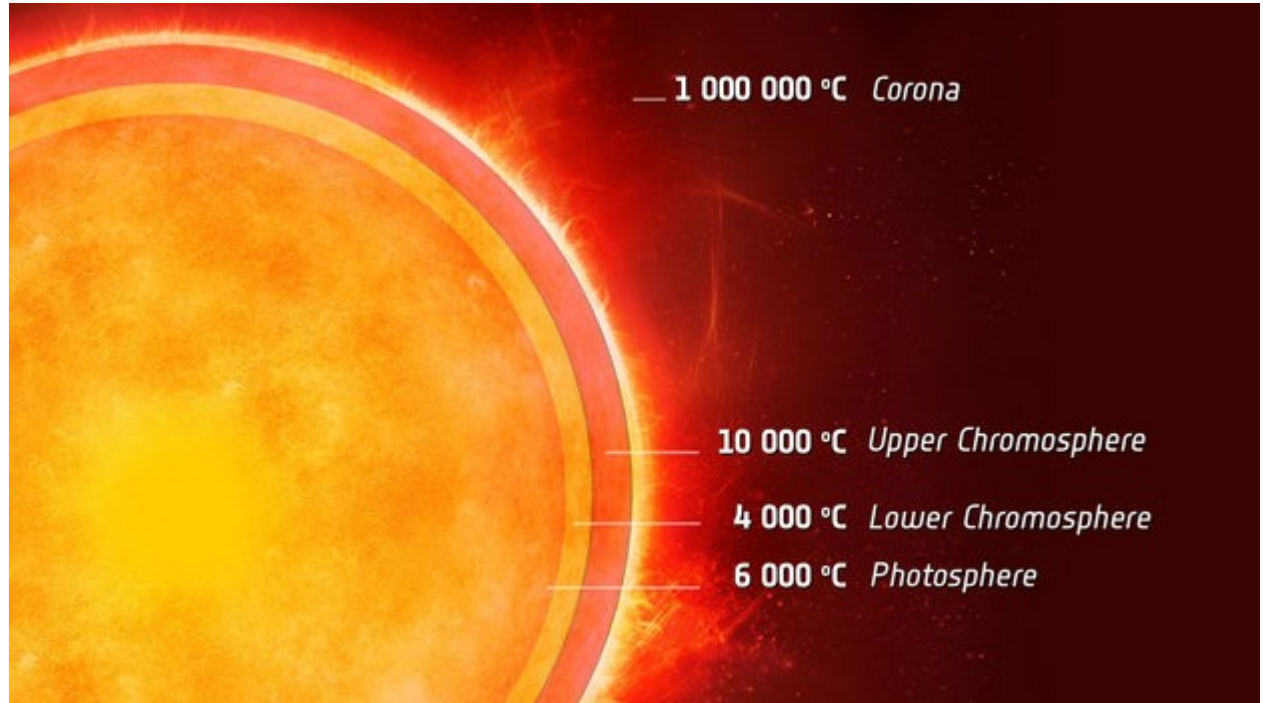


Credits: NASA



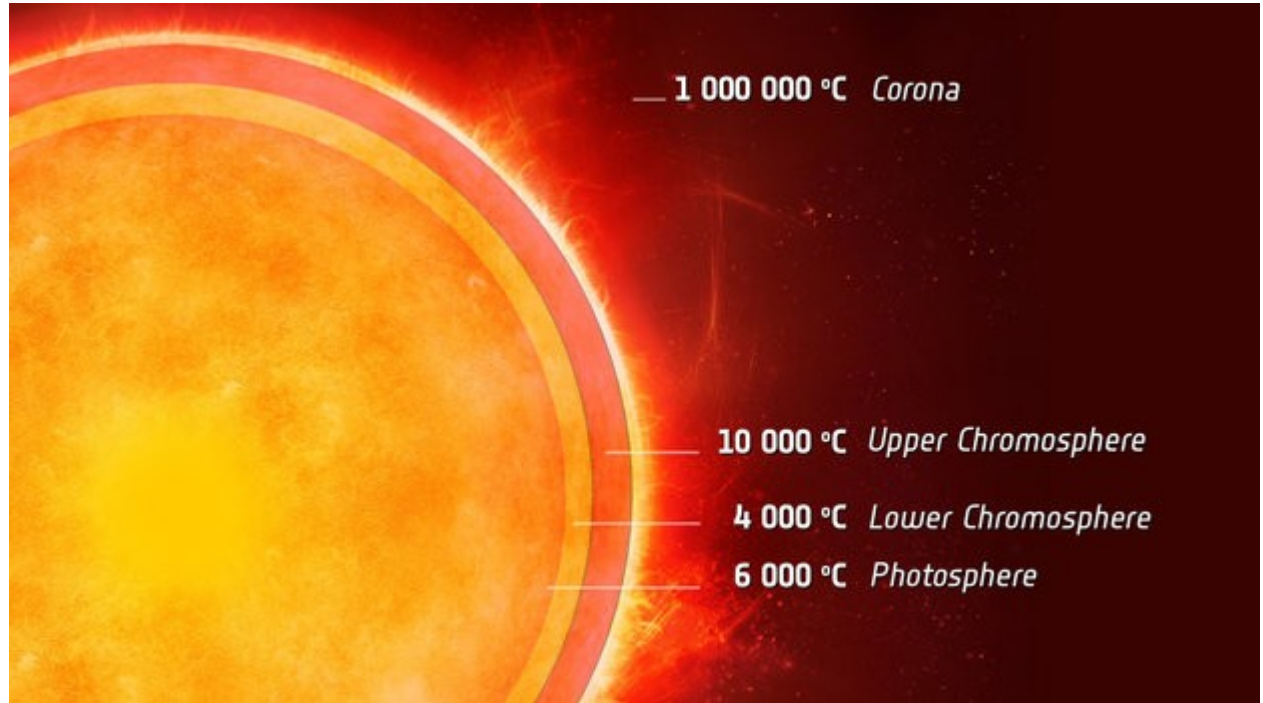
Dakle atmosfera je sloj u kom nastaje spektar

- Atmosferu Sunca npr. možemo da zamislimo kao sloj debeo najviše ~ 2000 km
- Evo jedne slike koja je malo realnih proporcija:
- Zašto kažem "najviše"?



Dakle atmosfera je sloj u kom nastaje spektar

- Atmosferu Sunca npr. možemo da zamislimo kao sloj debeo najviše ~ 2000 km
- Evo jedne slike koja je malo realnih proporcija:
- Zato što najveći deo energije dolazi iz fotosfere
- Neke jače linije dolaze iz Sunčeve hromosfere
- A samo UV, radio itd. dolaze iz korone
- Moramo da znamo o kojoj talasnoj dužini pričamo!



Fizika prenosa zračenja

- Šta se dešava u Zvezdanoj atmosferi? (A da je bitno za nas)
- Energija se prenosi ka spolja, pre svega zračenjem
- Fotoni bivaju apsorbovani, emitovani, rasejani (ovo podrazumeva i slučaj kada su apsorbovani pa re-emitovani – rasejanje u spektralnim linijama).
- Da bismo dobili izlazni spektar moramo da rešimo jednačinu prenosa. Hajde na tablu da se podsetimo svega malo detaljnije...

$$\mu \frac{dI_{\lambda}(z)}{dz} = -\chi_{\lambda}(z)I_{\lambda}(z) + j_{\lambda}(z)$$

$$\mu \frac{dI_{\lambda}(z)}{\tau_{\lambda}} = S_{\lambda} - I_{\lambda}$$

Gde se kriju zvezdani parametri

- “Interpretacija” – zašto spektar ima posmatranu raspodelu?
- Možemo li da zaključimo vrednosti fizičkih parametara iz spektra?
- **Direktno** – ne možemo. Indirektno?
- **Podsetnik: procena temperatura**
- Efektivna temperatura – na osnovu luminoznosti
- Temperatura boje – na osnovu poredjenja fluksa na dve talasne dužine
- Oba ova pristupa pretpostavljaju da je zvezda apsolutno crno telo – prodiskutujmo još jednom

Zvezdani parametri su funkcije

- Ne postoji jedna temperatura, jedan pritisak itd... svi ti parametri zavise od z
- Rezultujući spektar je rešenje JPZ a fizički parametri se kriju u koeficijentima apsorpcije i emisije.
- Koef. apsorpcije je često dovoljan, jer možemo da smatramo da je atmosfera u LTR (podsetimo se malo šta to implicira)
- Za neki "generički proces" uvek možemo pisati:

Koef. Apsorpcije –
neprozračnost



$$\chi_\lambda = n_{\text{apsorbera}} \sigma_\lambda$$

Koncentracija
apsorbera za
specifični proces



Koef. ekstinkcije



$$\kappa_\lambda = n_{\text{apsorbera}} \sigma_\lambda / \rho$$

Efikasni presek



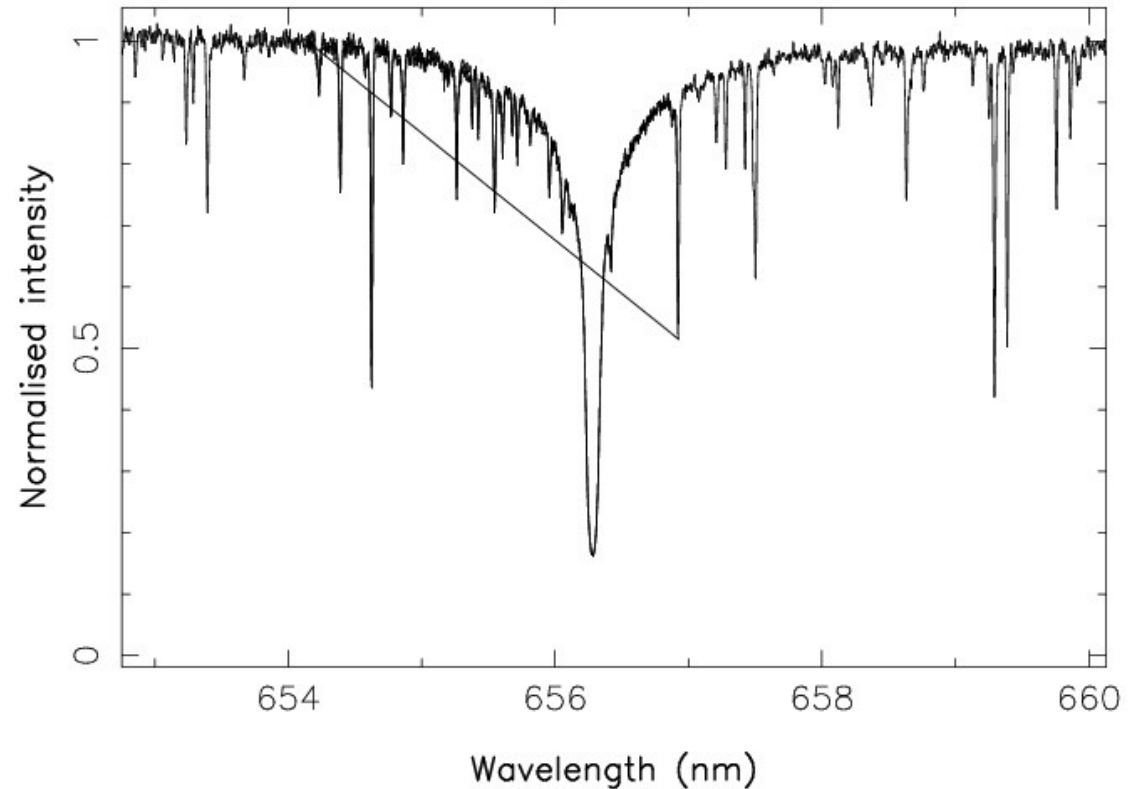
Neprozračnost

- Koncentracija apsorbera: koncentracija čestica koje mogu da apsorbuju svetlost na određenoj talasnoj dužini / u određenom procesu.
- Apsorpcija: nestanak fotona da bi se promenila energija čestica
- **Slobodno – vezani:** fotojonizacija (radijativna rekombinacija)
- **Slobodno – slobodni:** zaključno zračenje i inverzno zaključno zračenje
- **Vezano – vezani:** spektralne linije. Posebno interesantne. Zašto?

Spektralne linije

- **Vezano – vezani:** spektralne linije. Posebno interesantne. Zašto?
- Koeficijent apsorpcije u linijama se brzo menja sa talasnom dužinom. To znači da posmatranja jedne spektralne linije nose informacije sa više dubina
- Takodje, spektralne linije su osetljive na **brzinu** i na **magnetno polje**

Solar spectrum with ESPaDOnS, H α



$$\chi_{\lambda} = (n_2 B_{23} - n_3 B_{32}) \frac{hc}{4\pi\lambda} \phi_{\lambda}$$

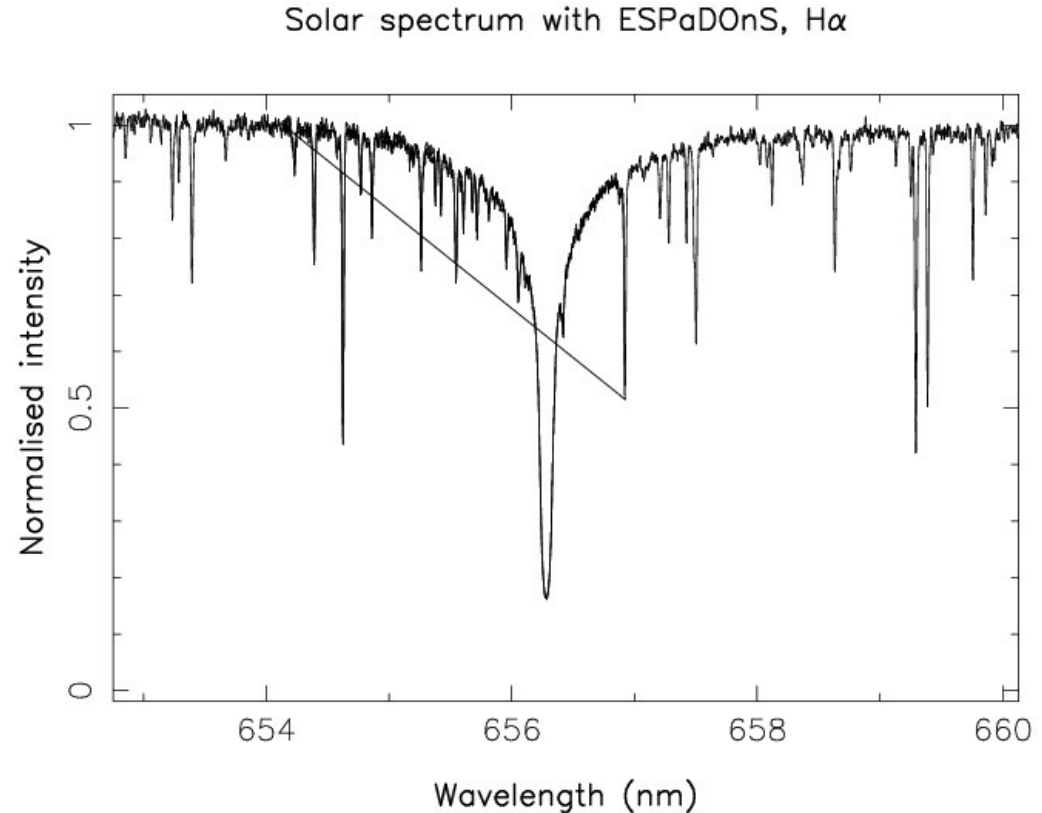
Spektralne linije

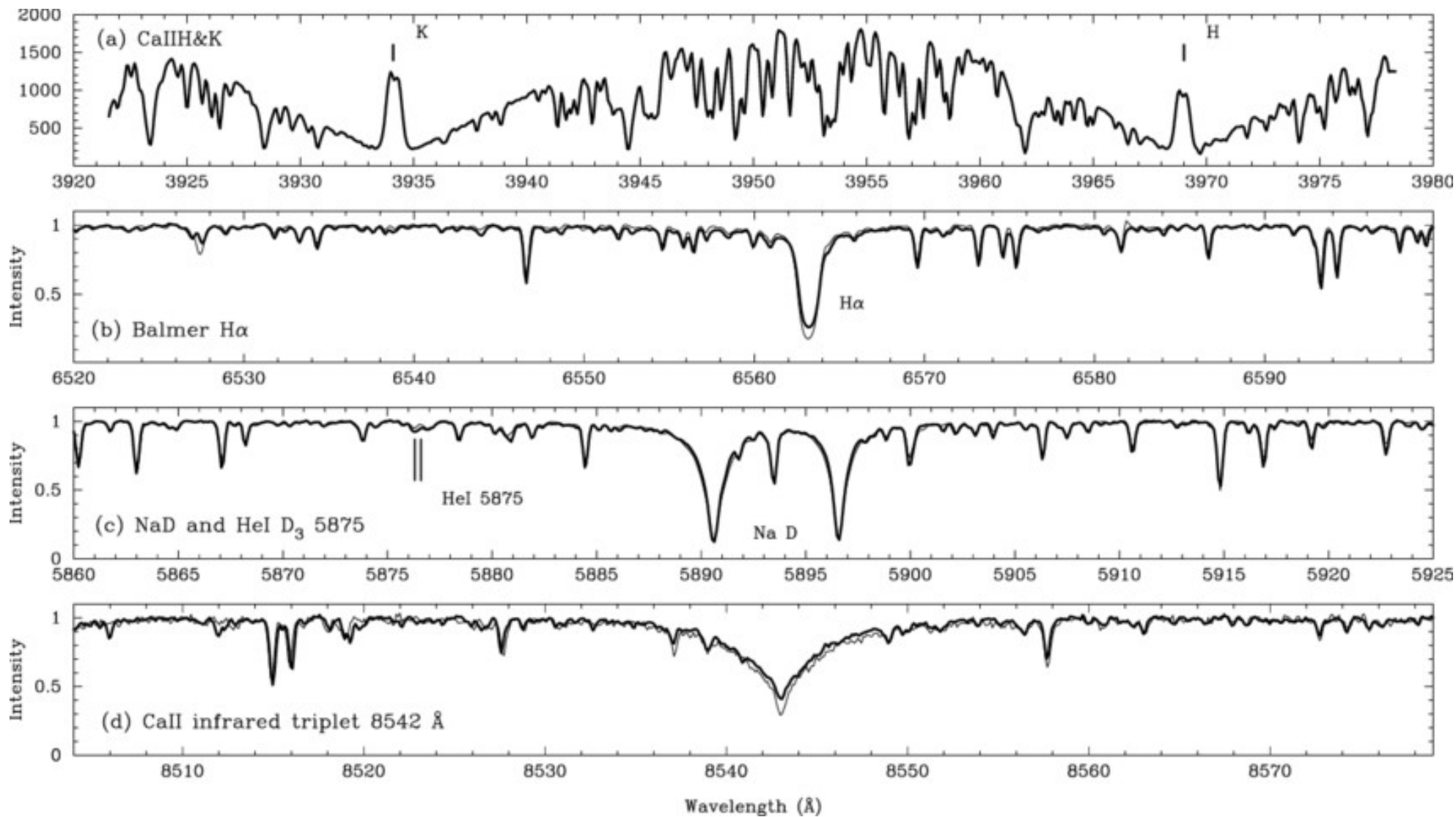
- I dalje ne vidimo temperaturu, pritiske....
- Setimo se da (pratim knjigu):

$$\chi_\lambda = (n_2 B_{23} - n_3 B_{32}) \frac{hc}{4\pi\lambda} \phi_\lambda$$

$$n_2 = \frac{n_2}{n_{H0}} \frac{n_{H0}}{n_H} \frac{n_H}{n_H}$$

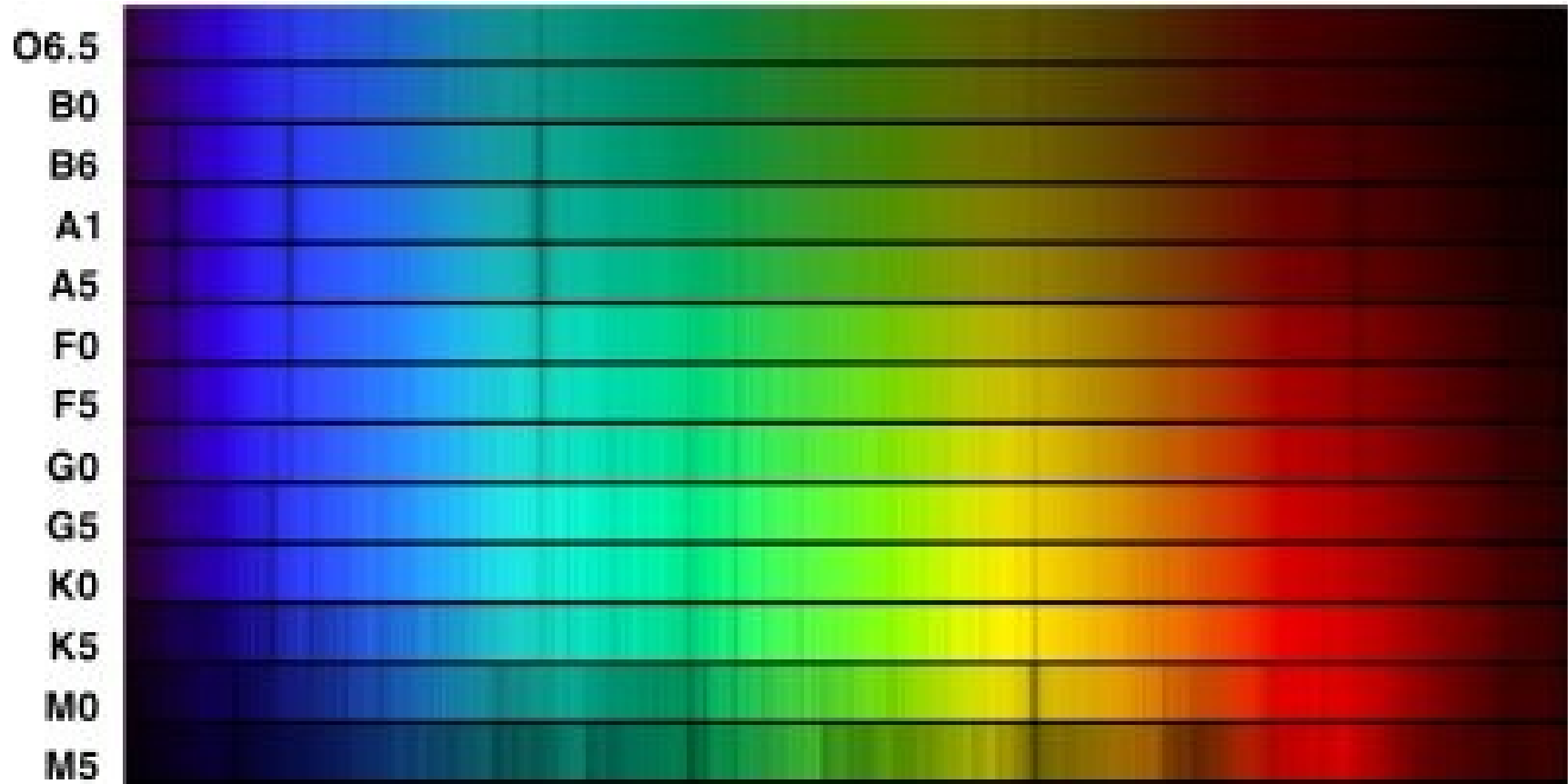
- Odnosi u jednačini 2 se mogu naći, u LTR uslovima, na osnovu Bolcmanove i Sahine jednačine





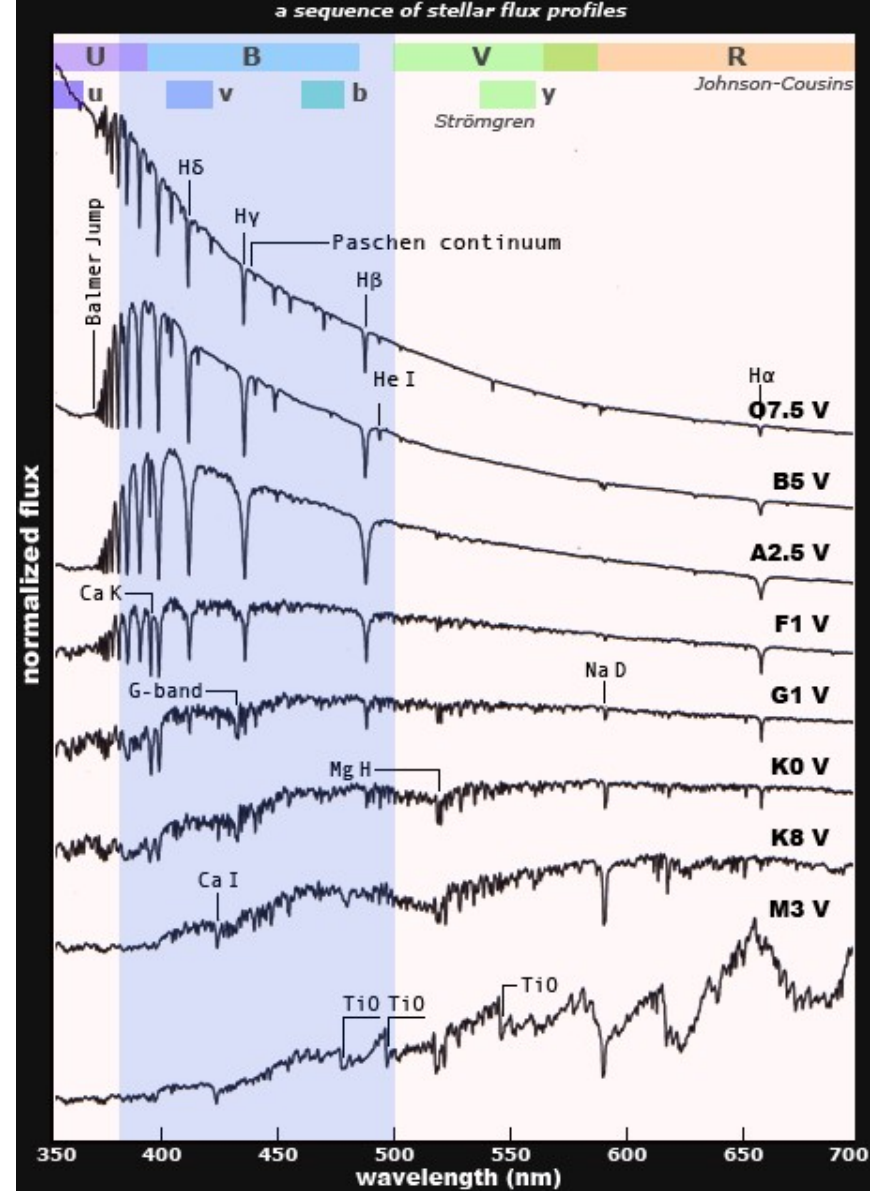
Hajde da se podsetimo ovoga

- Prisustvo i jačina linija oslikavaju razlike u fizičkim uslovima. Ovoga se moramo sećati.



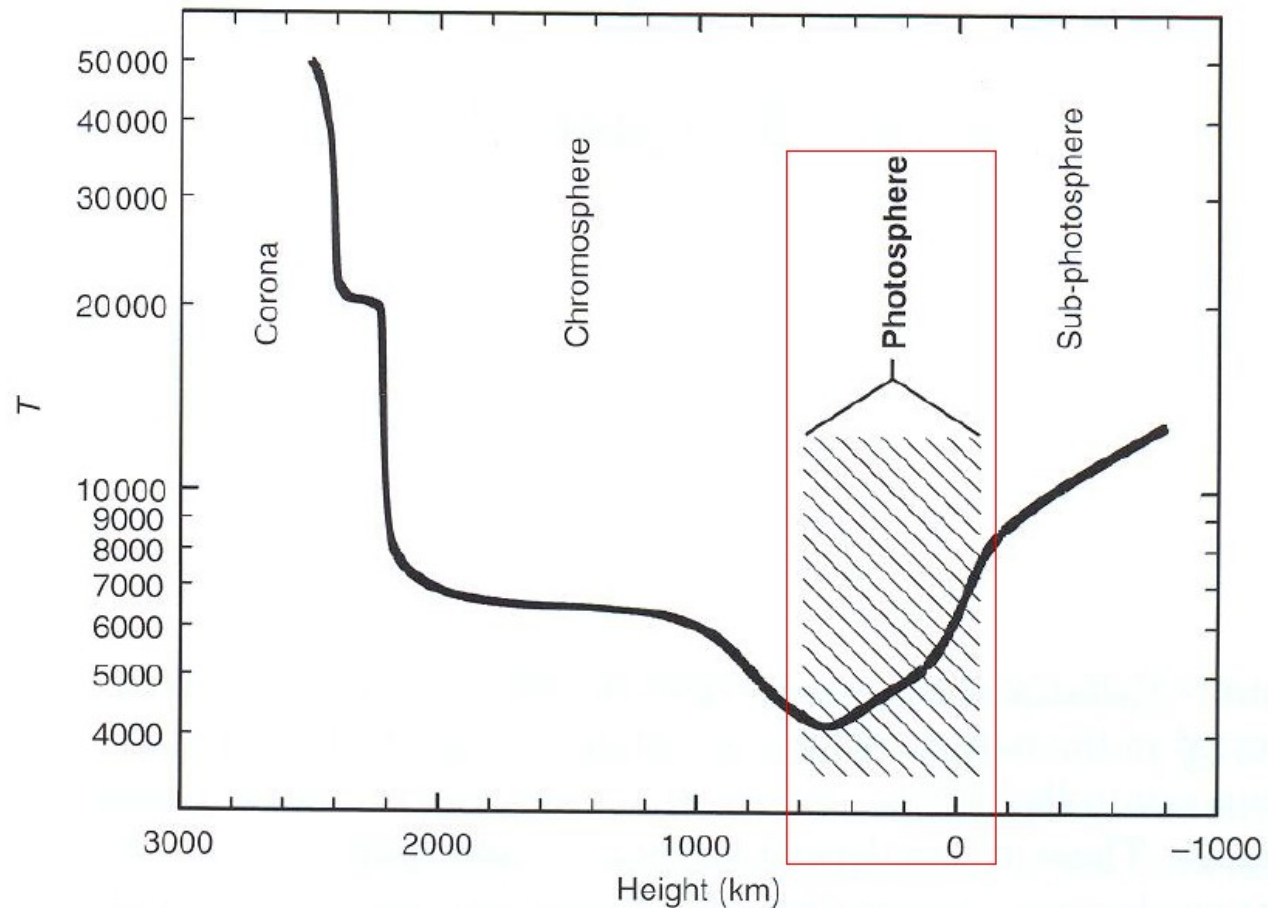
Spektri različitih zvezda

- Sve ove zvezde mogu, u principu, imati isti hemijski sastava, ali usled razlika u temperaturi vidimo:
- Različiti oblik kontinuuma (posledica Plankovog zakona)
- Različite procese u apsorpciji u kontinuumu (e.g. Balmerov skok)
- Različite spektralne linije



Modeli zvezdanih atmosfera

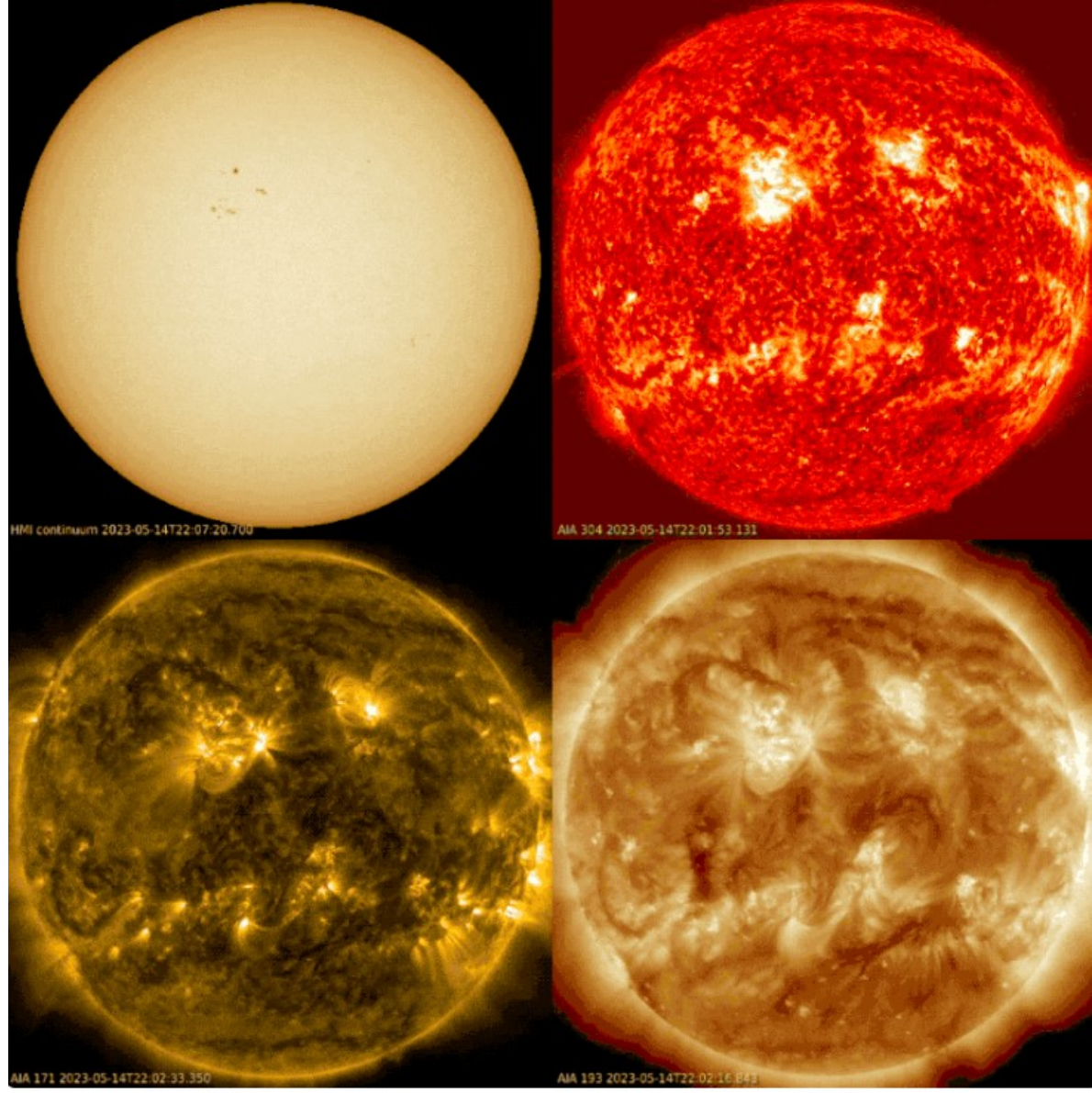
- Poredjenjem posmatranog izračunatog spektra, uz detaljnu fiziku (ne-LTR, itd pod pretpostavkom hidrostatičke ravnoteže, dobijen je fizički motivisan model desno, koji takodje objašnjava spektar Sunca od UV do IR
- Gde je 0?



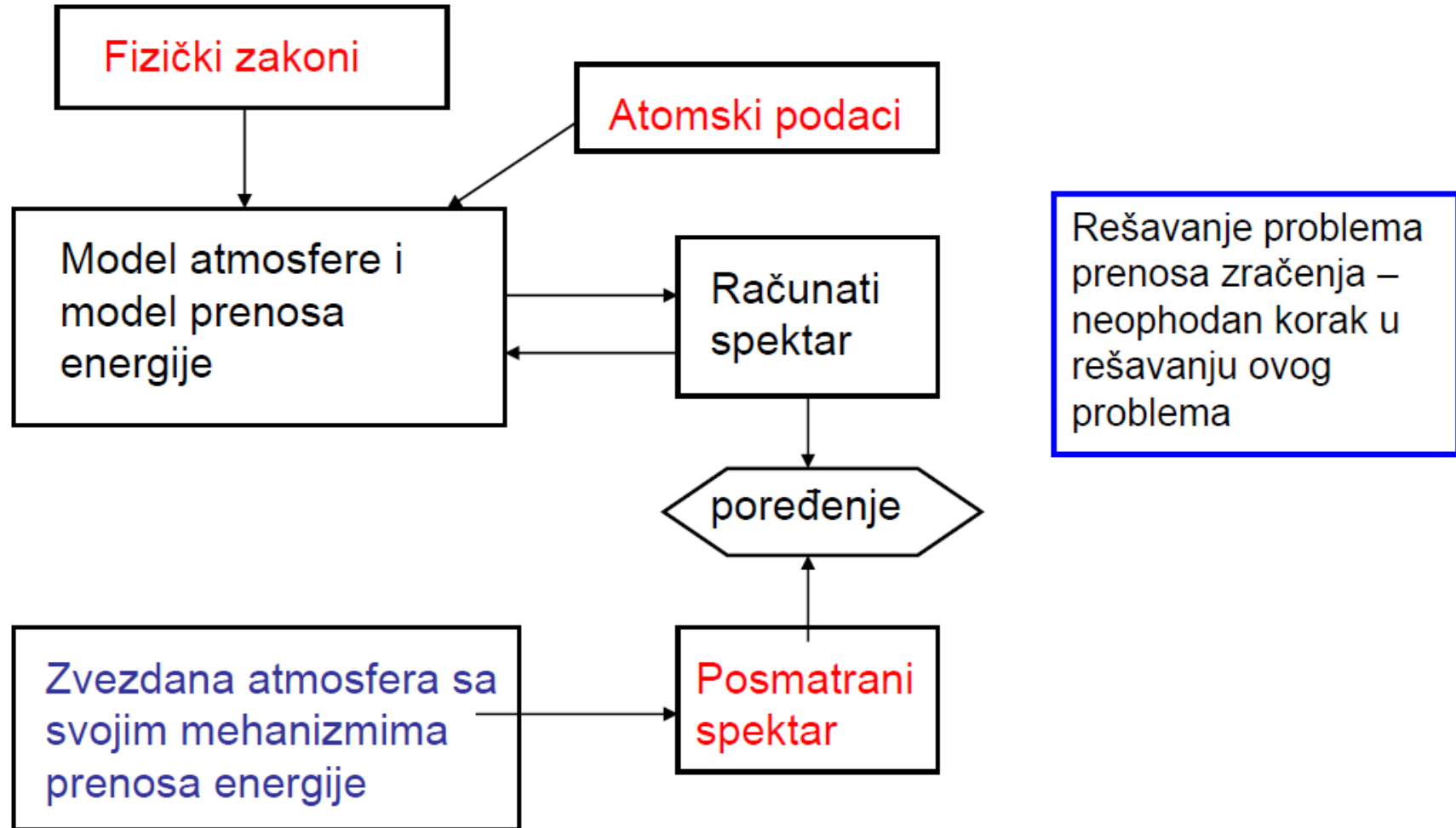
Vežbe radi...

- Probajmo da objasnimo (bez previše ulaska u same mehanizme apsorpcije i emisije), zašto Sunce ovako izgleda na različitim talasnim dužinama

Credits:
NASA/SDO



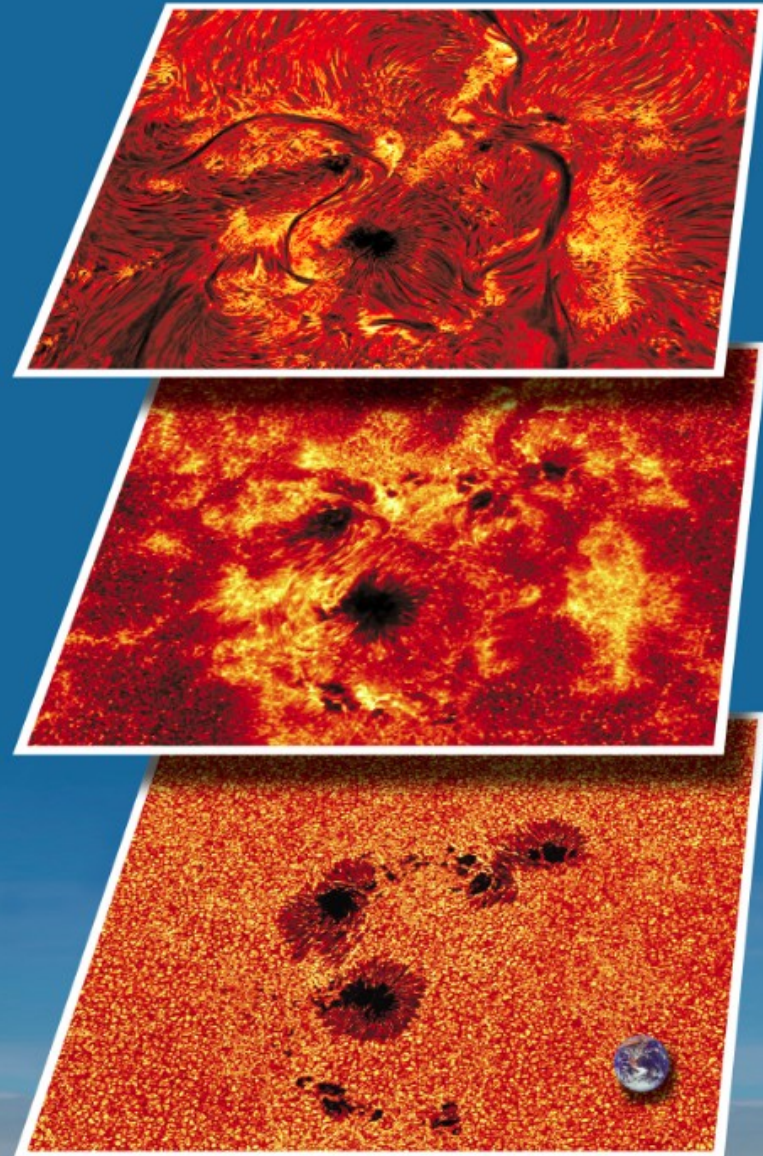
Modelovanje zvezdanih spektara



Različite linije “sempluju” različite visine

- Različite talasne dužine (i različite spektralne linije), se **formiraju** na različitim visinama u atmosferi.
- Analizom svih njih, simultano, možemo da rekonstruišemo strukturu zvezdane atmosfere

Credits: DOT



Nazad na kontinuum (pratimo knjigu)

- Tri glavna izvora neprozračnosti kod hladnijih (manje od 10 000 K) zvezda su:
- **Vezano-slobodni** prelazi neutralnog vodonika (jonizacija). Za vidljivo to su Balmerov i Pašenov kontinuum:

$$\chi_{bf} = \text{const} \frac{Z^4}{n^5 \nu^3} n_n$$

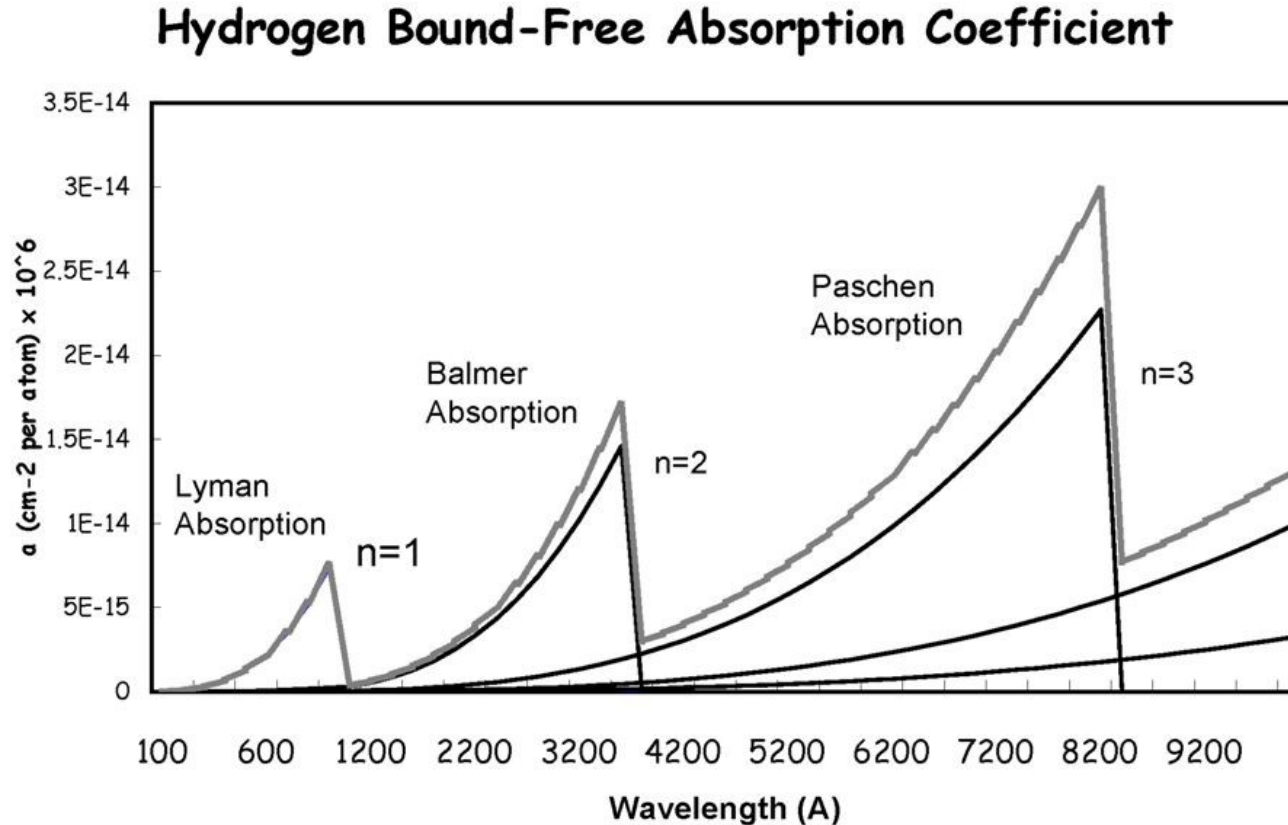
- Vezano-slobodni i slobodno-slobodni prelazi H- jona

$$\chi_{H-} = \text{const} \times T^{3/2} e^{-8735/T} n(H0) n_e$$

- Rasejanje na elektronima (dosta važnije kod vrelih zvezda)

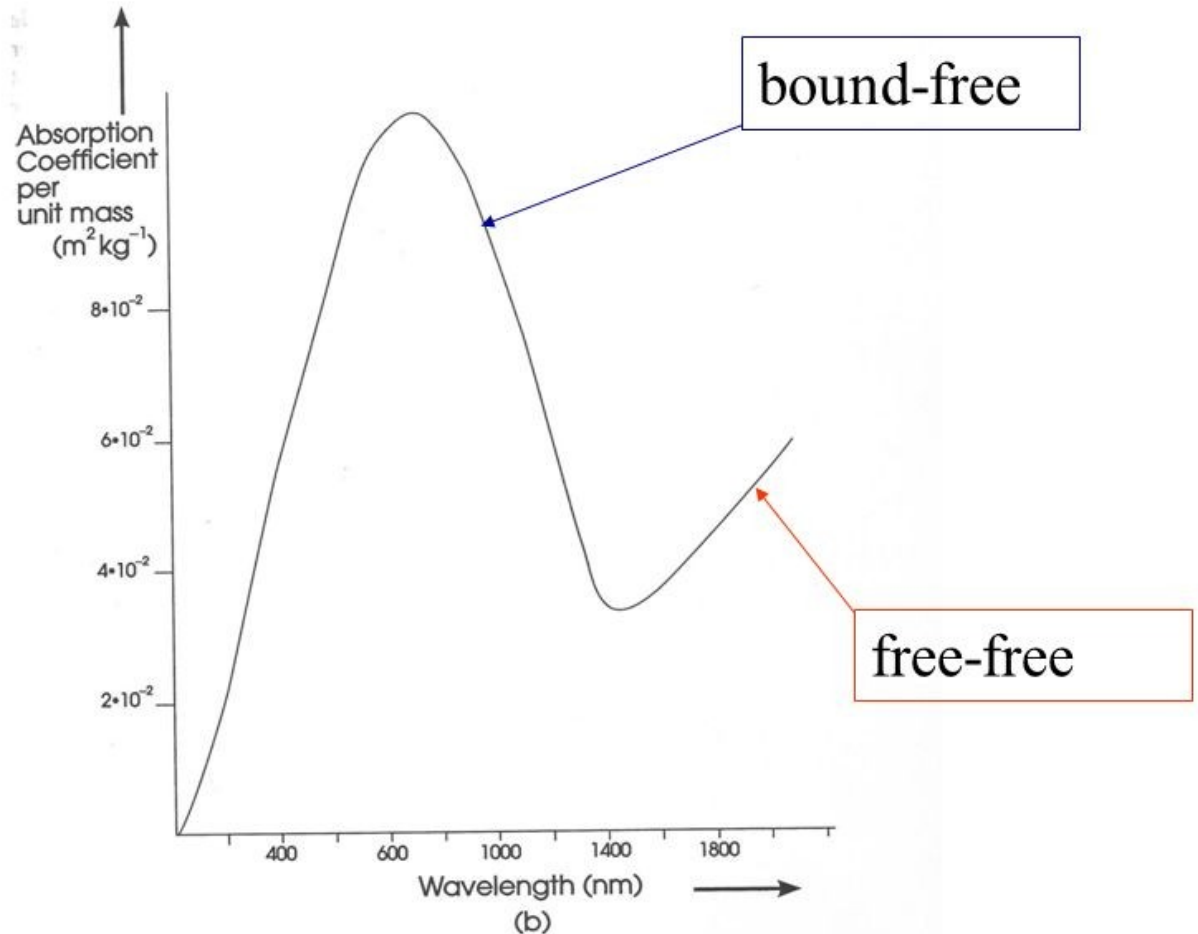
$$\chi_e = \text{const} n_e$$

Vezano slobodni prelazi neutralnog vodonika (Fig. 5.1)



Negativni jon vodonika (Slika 5.2)

IV. The Negative Hydrogen Ion: Total



Neprozračnost pri različitim uslovima