

Ponašanje spektralnih linija (zavisnost od temperature)

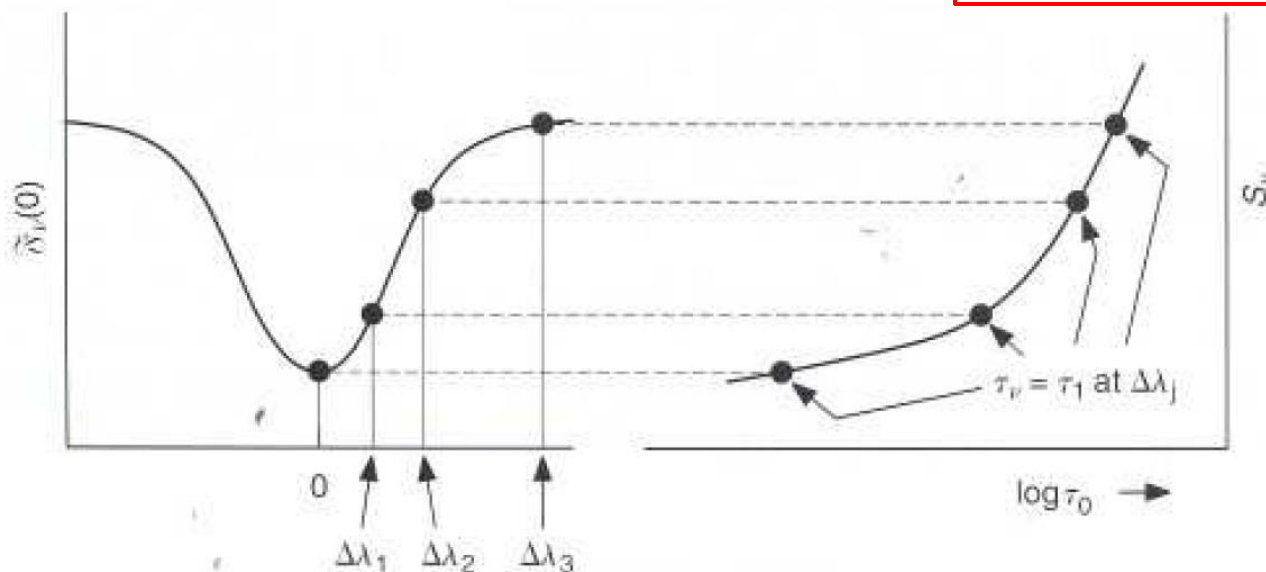
**Indikatori temperature u spektru →
odredjivanje temperature**

Oblast formiranja linije (Eddington – Barbier relacija)

$$S_\nu(\tau_\nu) = \frac{3}{4}F_\nu(0)\left(\tau_\nu + \frac{2}{3}\right)$$

za $\tau_\nu = \tau_1 = 2/3$ \Rightarrow

$$S_\nu(\tau_1) = F_\nu(0)$$

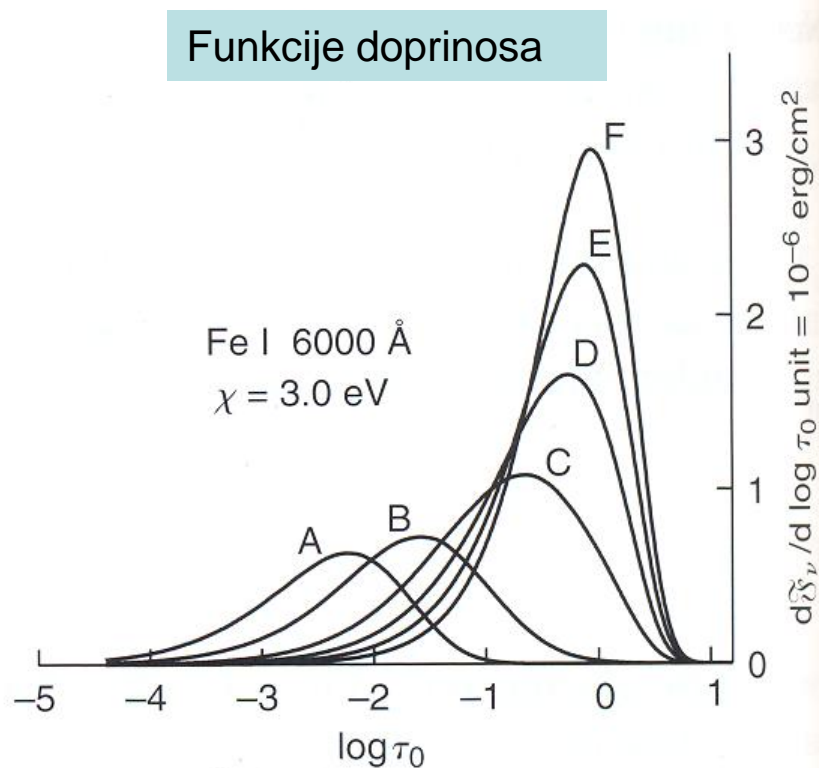
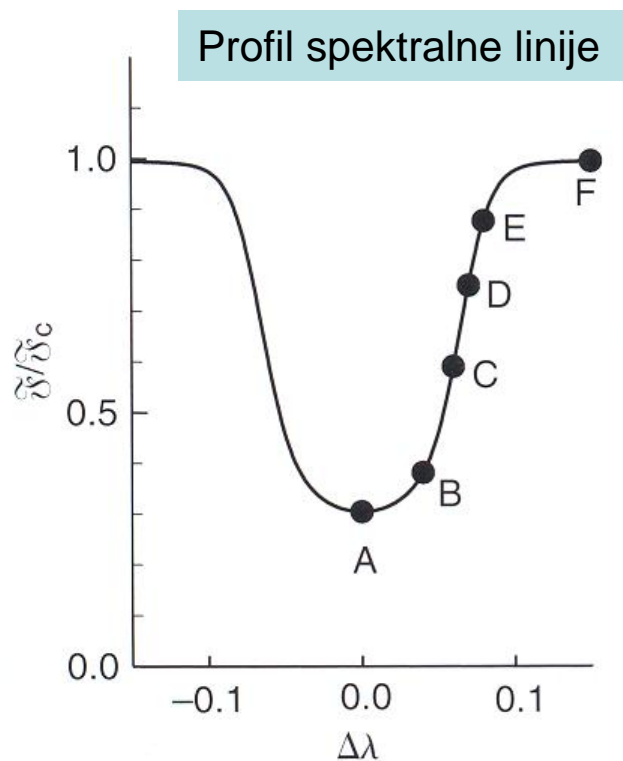


Fotoni iz jezgra linije (za koje je velika neprozračnost) potiču iz viših slojeva, dok fotoni u krilima linije (gde je neprozračnost manja) stižu iz dubljih slojeva atmosfere.

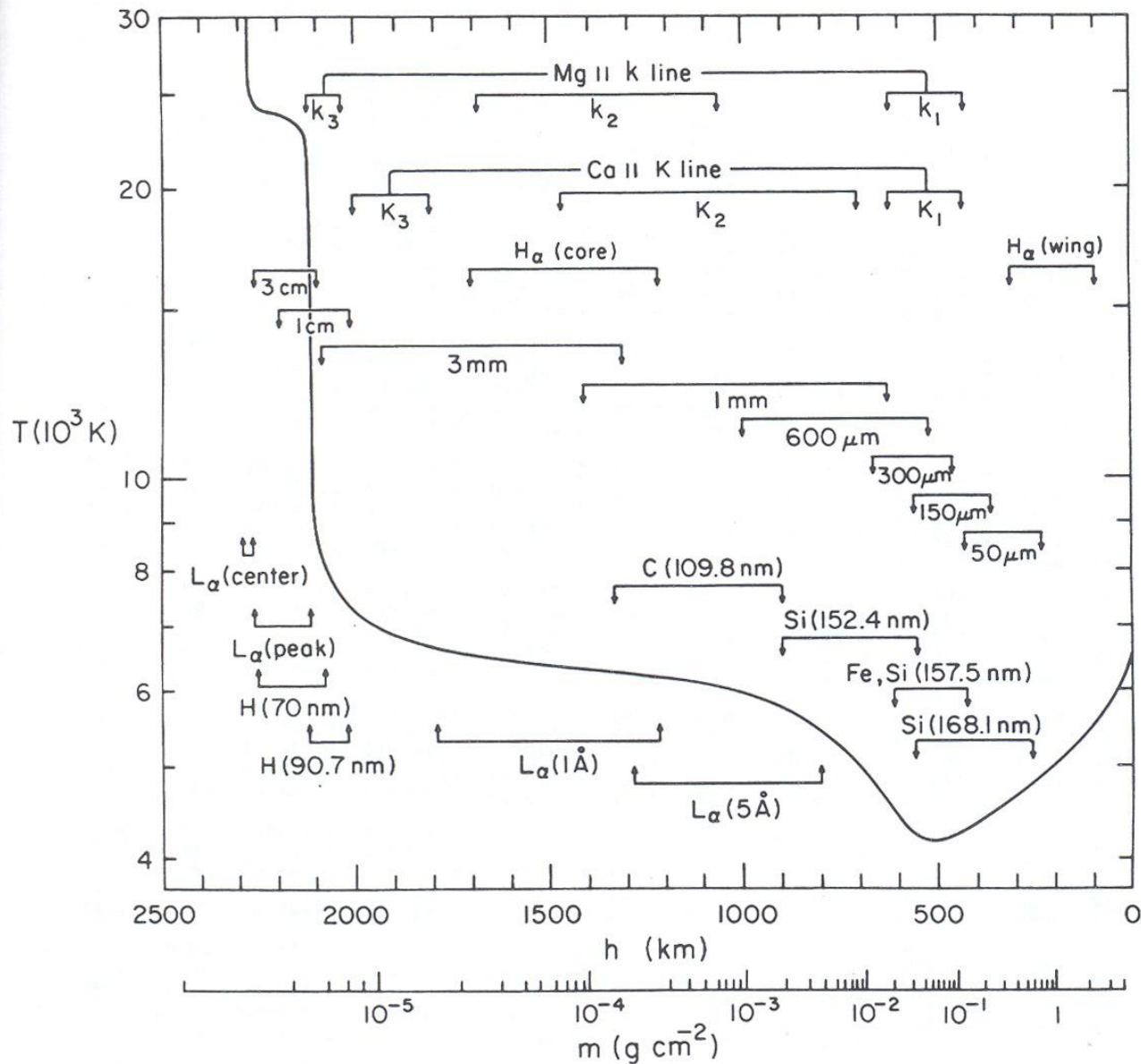
U opštem slučaju fluks zračenja na nekoj frekvenciji u liniji potiče iz velikog raspona dubina u atmosferi.

Funkcije doprinosa

$$F_{\nu}^{+}(0) = 2 \int_0^1 I_{\nu}^{+}(0, \mu) \mu d\mu = 2 \int_0^{\infty} S_{\nu}(t_{\nu}) E_2(t_{\nu}) dt_{\nu}$$



VAL III (Vernazza et al. 1981) model Sunčeve atmosfere i dubine formiranja nekih spektralnih karakteristika



Profili slabih spektralnih linija

$$\frac{F_c - F_\nu}{F_c} \approx \frac{S_\nu(\tau_c = \tau_1) - S_\nu(\tau_\nu = \tau_1)}{S_\nu(\tau_c = \tau_1)}$$

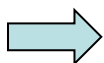
$$\tau_\nu = \int_0^{\tau_0} \frac{\chi_\nu^l}{\chi_0} dt_0 + \int_0^{\tau_0} \frac{\chi_\nu^c}{\chi_0} dt_0 = \tau^l + \tau^c$$

$$\tau^l \approx \frac{\chi_\nu^l}{\chi_0} \tau_0 \quad \tau^c \approx \frac{\chi_\nu^c}{\chi_0} \tau_0$$

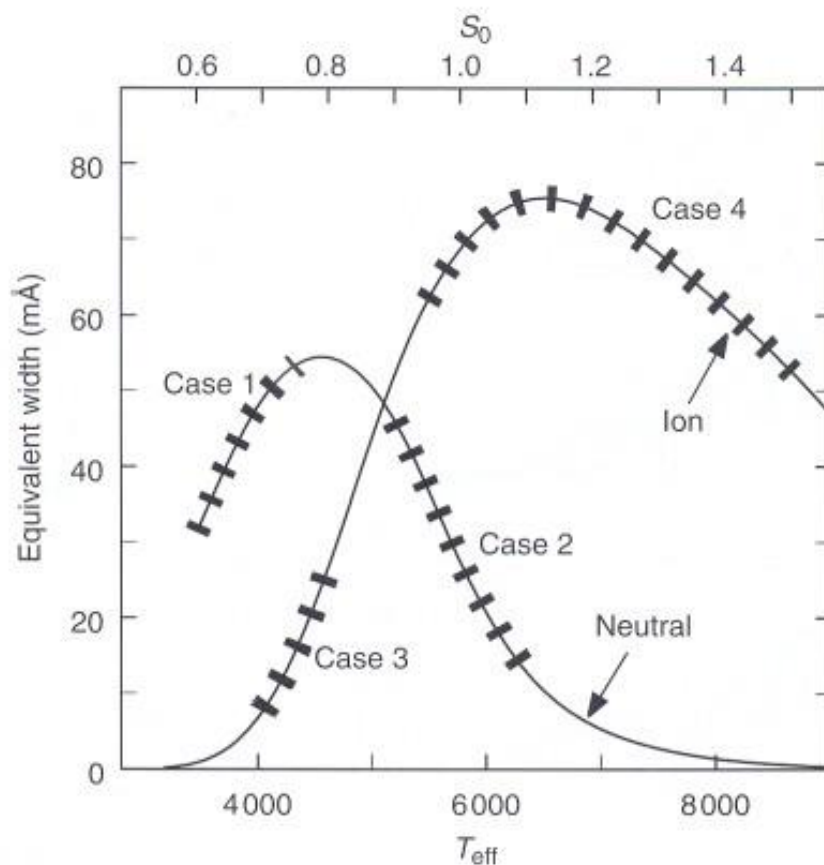
$$S_\nu(\tau_\nu = \tau_1) = S_\nu(\tau^l + \tau^c = \tau_1) = S_\nu(\tau^c = \tau_1 - \tau^l)$$

Za slabe linije $S_\nu(\tau_\nu = \tau_1) \approx S_\nu(\tau_c = \tau_1) + \frac{dS_\nu}{d\tau^c}(-\tau^l) + \dots$

$$\frac{F_c - F_\nu}{F_c} \approx \tau^l \frac{d \ln S_\nu}{d\tau^c} \Big|_{\tau_1} \approx \frac{\chi_\nu^l}{\chi_\nu^c} \tau^c \frac{d \ln S_\nu}{d\tau^c} \Big|_{\tau_1} \approx \tau_1 \frac{d \ln S_\nu}{d\tau^c} \Big|_{\tau_1} \frac{\chi_\nu^l}{\chi_\nu^c} = \text{const} \frac{\chi_\nu^l}{\chi_\nu^c}$$



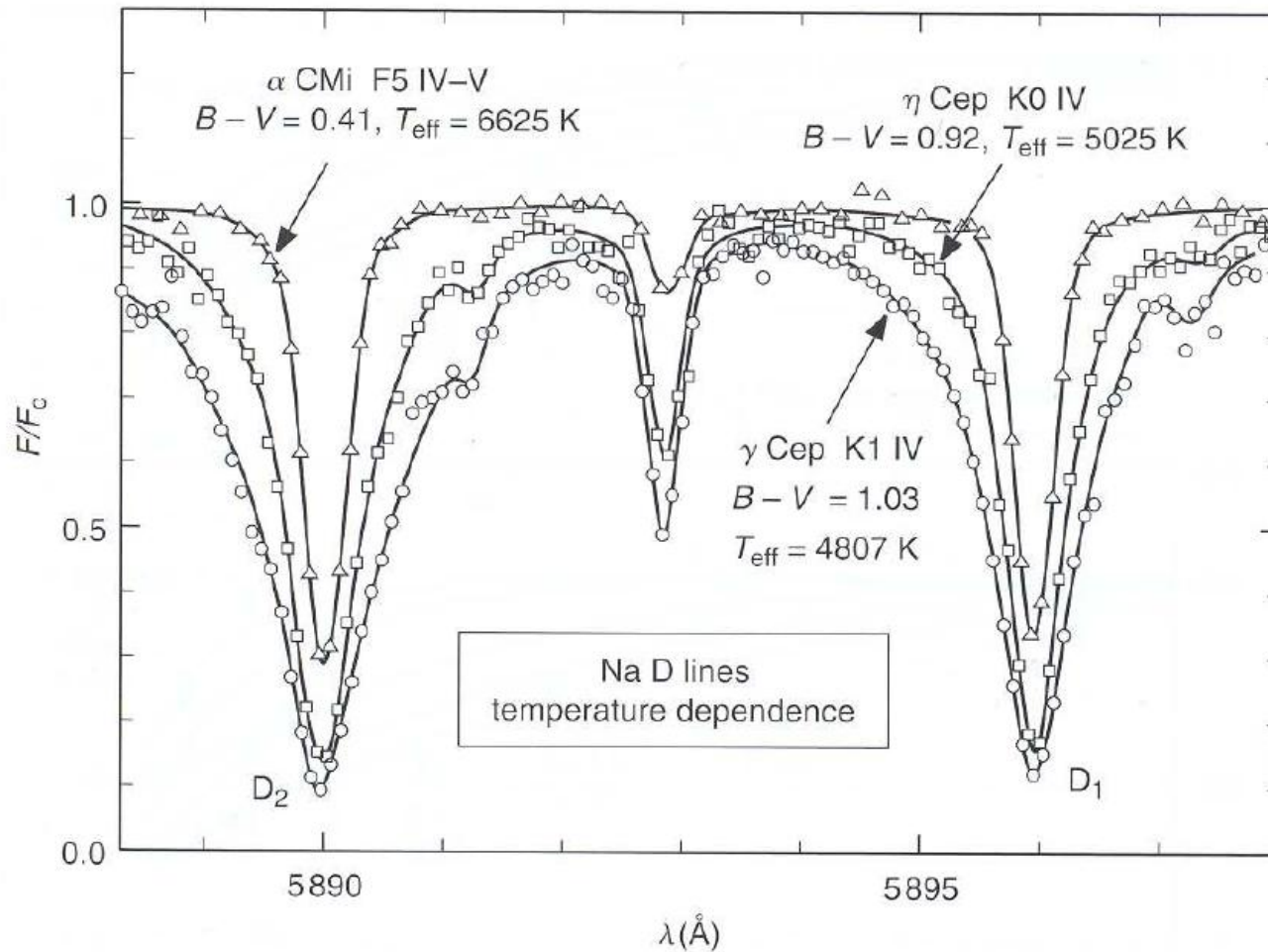
Jačina slabe linije proporcionalna je χ_ν^l / χ_ν^c



Uticaj temperature na ponašanje slabih linija

- (1) slabe linije neutrala elementa koji je uglavnom neutralan
- (2) slabe linije neutrala elementa koji je uglavnom jonizovan
- (3) slabe linije jona elementa koji je uglavnom neutralan
- (4) slabe linije jona elementa koji je uglavnom jonizovan.

Uticaj temperature na ponašanje jakih linija

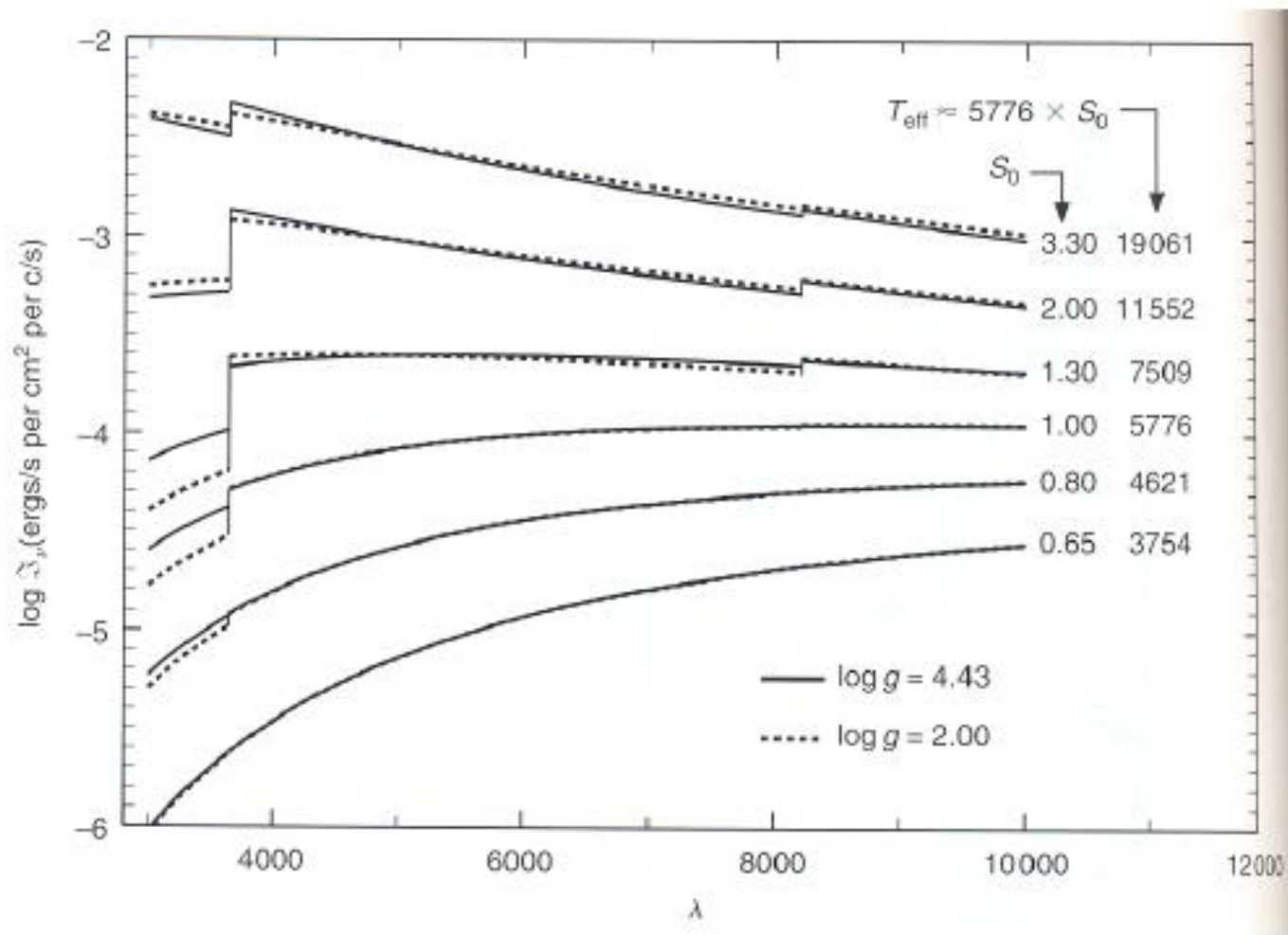


Jake rezonantne linije NaI slabe sa povećanjem temperature

Najbolji indikatori temperature

- Nagib Pašenovog kontinuumu
- Kolor indeksi (B-V, V-R, b-y)
- Balmerov skok
- Linije vodonika
- Linije metala

Nagib Pašenovog kontinuuma



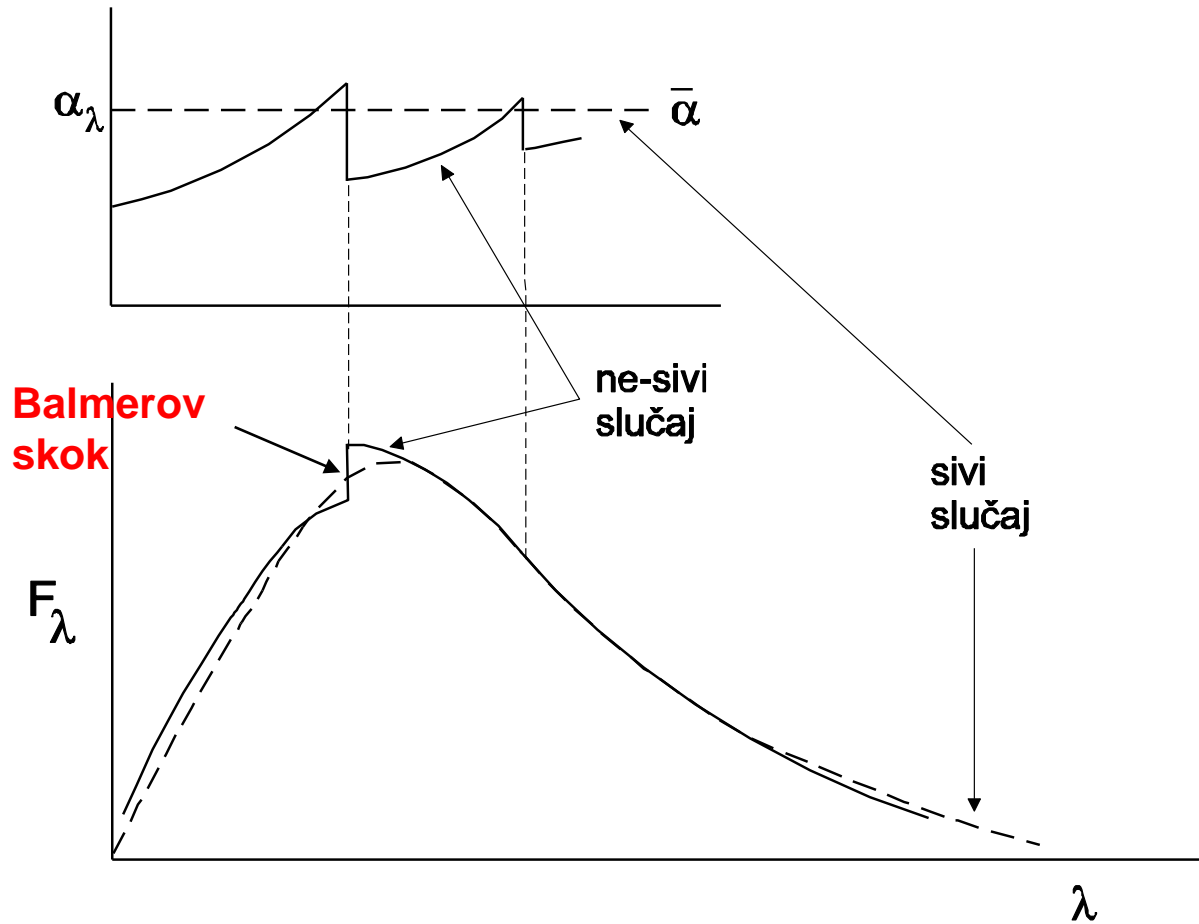
Nagib Pašenovog kontinuuma je jedan od najboljih indikatora T jer malo zavisi od površinske gravitacije g , odnosno pritiska.

$$S_0 = T_{\text{ef}}/T_{\text{ef}\odot}$$

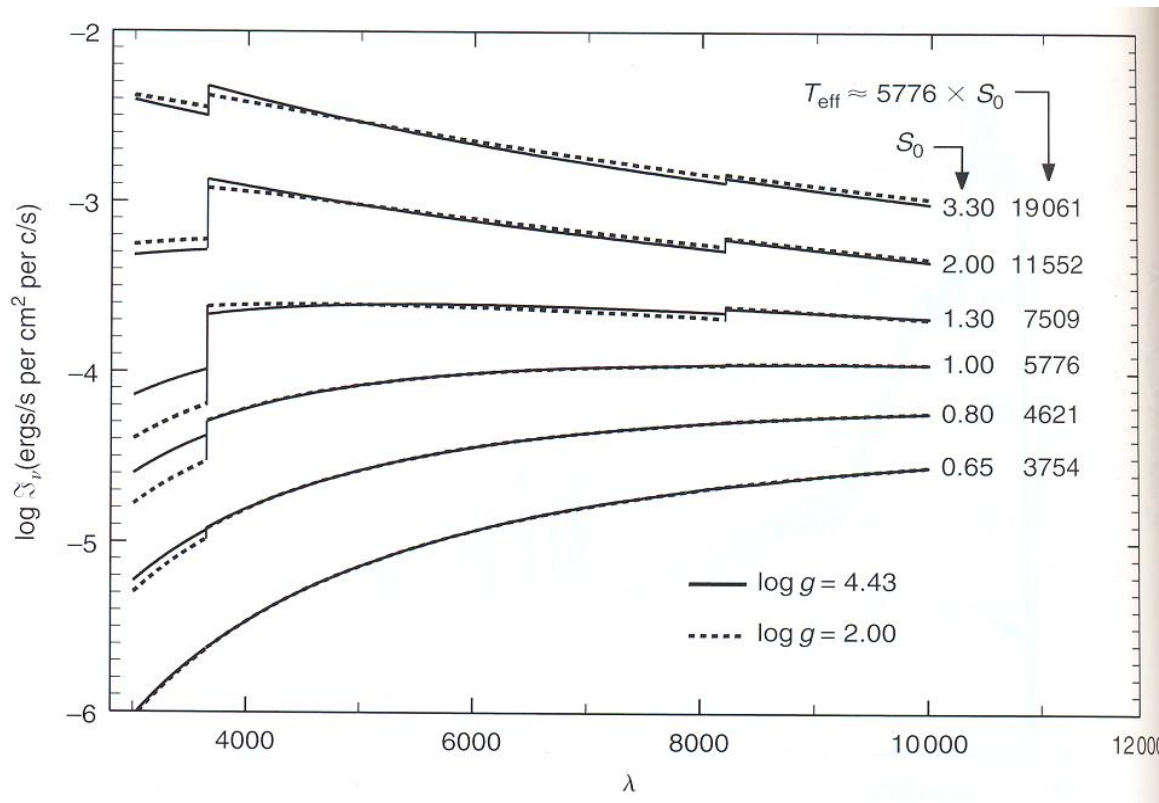
Raspodela energije u kontinuumu za zvezde različitih T_{ef}

Balmerov skok

$$D = \log F_+ / F_-.$$



Fluks zračenja zvezda različite T_{ef} i površinske gravitacije (Balmerov skok kao indikator temperature i pritiska)



Kod zvezda čija je efektivna temperatura manja od 7500K, fluks u neprekidnom spektru raste sa porastom površinske gravitacije g . Balmerov skok je manji kod zvezda veće g . Sa povećanjem g , povećava se koncentracija elektrona i negativnog jona vodonika H^- što smanjuje Balmerov skok.

Balmerov skok $D = \log F_+ / F_-$

$$\frac{\chi_\nu^+}{\chi_\nu^-} = \frac{k_\nu(H^-)n(H^-)}{k_\nu(H^-)n(H^-) + k_\nu^-(H)n_H(n=2)}$$

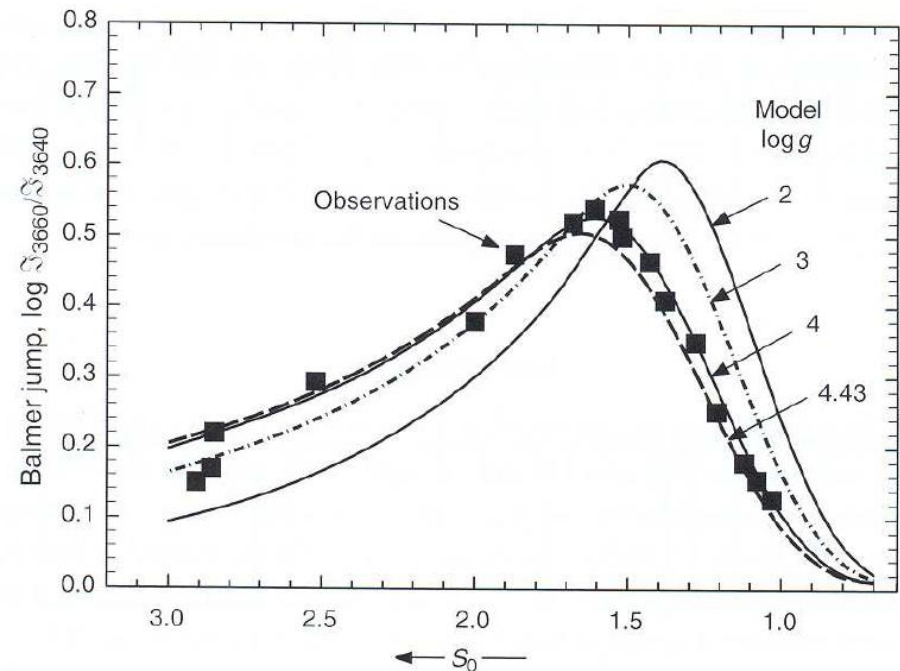
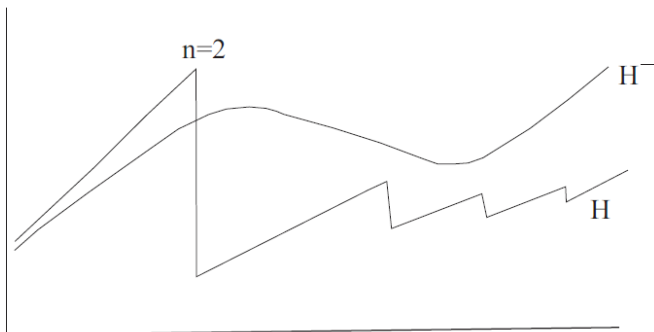
$$= \frac{k_\nu(H^-)n_H(n=1)n_e\Phi(T)}{k_\nu(H^-)n_H(n=1)n_e\Phi(T) + k_\nu^-(H)n_H(n=2)}$$

Kod toplijih F zvezda:

$$\frac{\chi_\nu^+}{\chi_\nu^-} = \frac{k_\nu(H^-)n_H(n=1)n_e\Phi(T)}{k_\nu^-(H)n_H(n=2)} \propto \frac{n_H(n=1)}{n_H(n=2)}n_e = \underline{f(T, n_e)}$$

Za zvezde $T_{\text{ef}} = 9000\text{K}$:

$$\frac{\chi_\nu^+}{\chi_\nu^-} \approx \frac{k_\nu^+(H)n_H(n=3)}{k_\nu^-(H)n_H(n=2)} = \underline{f(T)}$$

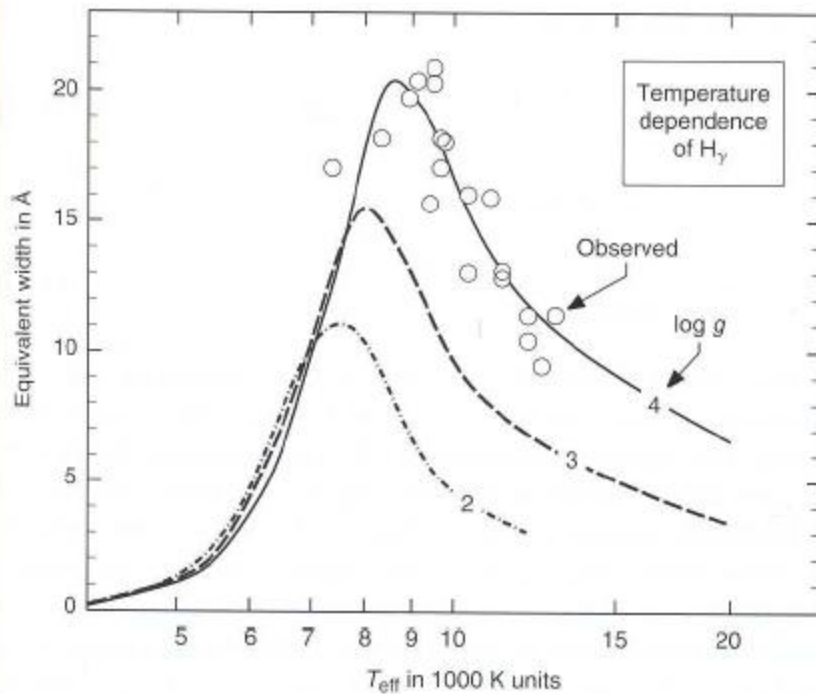


Zavisnost Balmerovog skoka od T_{ef}

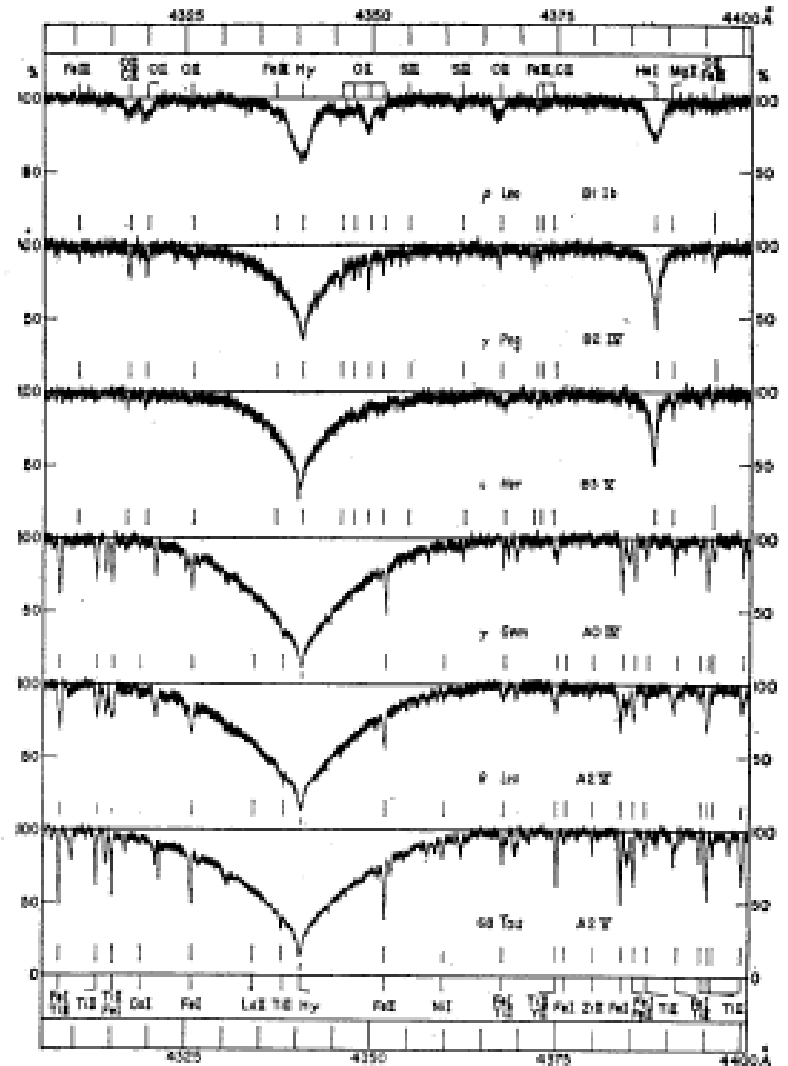
$$S_0 = T_{\text{ef}}/T_{\text{ef}\odot}$$

Koeficijent apsorpcije u kontinuumu kod zvezda poznih klasa ($T < 8000\text{K}$)

Linije vodonika



Promena ekvivalentne širine linije H_γ od T_{ef}



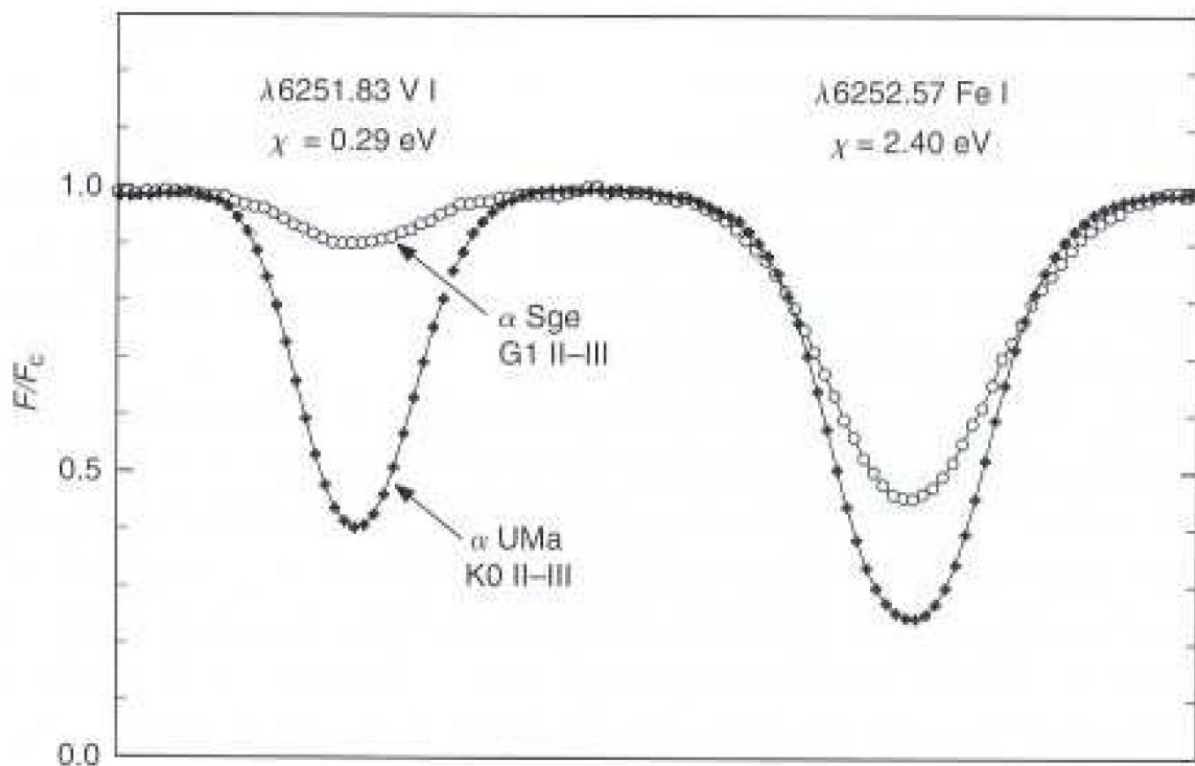
Linija H_γ u spektrima zvezda klasa B i A

Vodonikove linije

- Za T_{ef} manje od 7500K jačina vodonikovih linija se znatno menja sa temperaturom dok je neosetljiva na promene pritiska (površinske gravitacije)
- Za T_{ef} veće od 7500K linije vodonika su osetljive i na pritisak, pa je potrebno na nezavisan način izmeriti pritisak da bi se jednoznačno odredila temperatura iz vodonikovih linija

Linije metala

Osetljivost linija metala od T jako varira sa T_{ef}

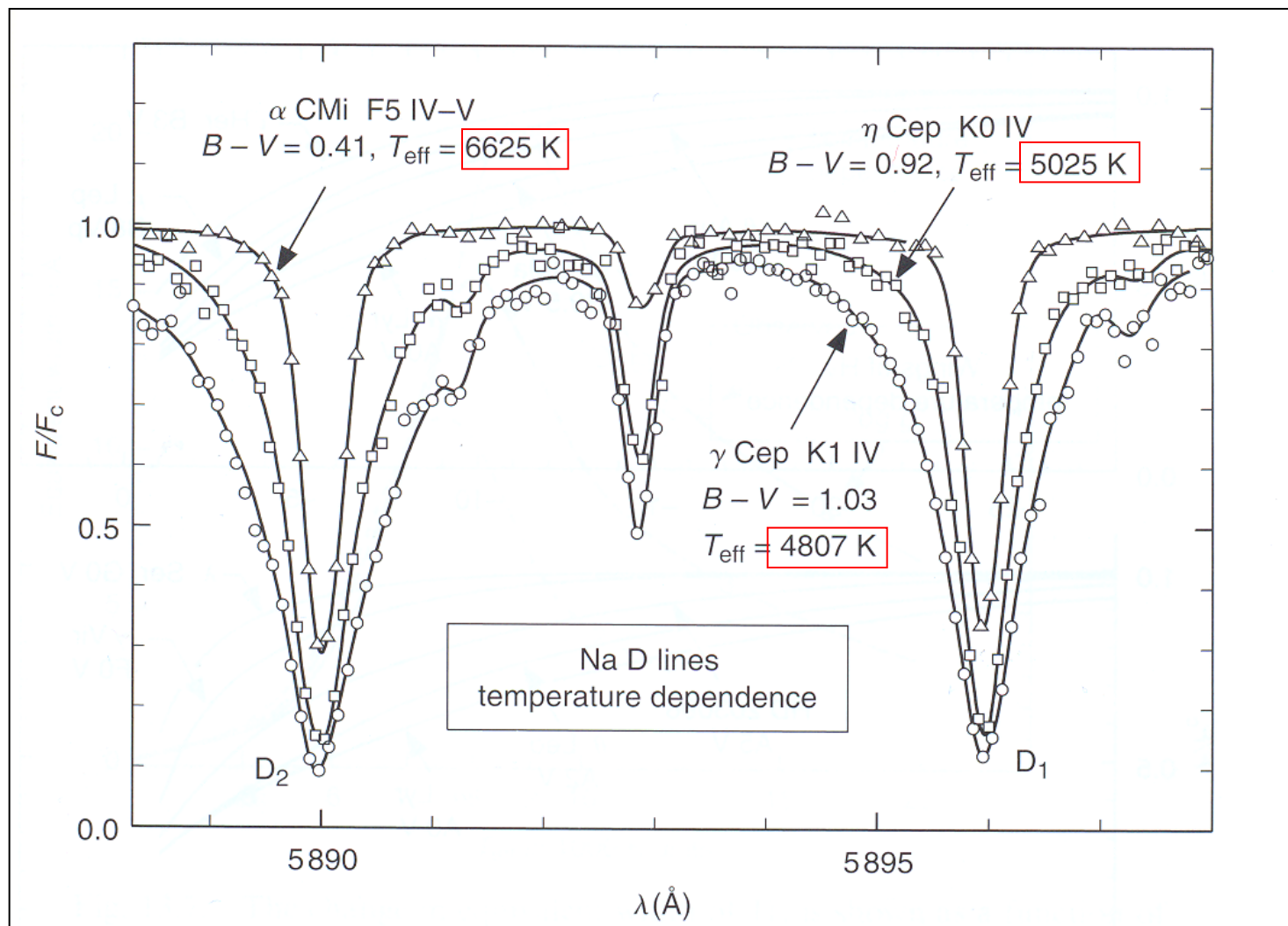


Kod zvezda tipa Sunca koriste se linije neutralnih metala jer nisu osetljive na pritisak (osim linija OI).

Kod toplijih zvezda koriste se linije jonizovanih metala.

Obično se koriste odnosi centralnih dubina dve bliske linije u spektru.

Temperaturska zavisnost Na D linija



Merenje efektivne temperature

1) Iz jednačine

$$T_{\text{ef}} = \frac{(\int_0^\infty (f_\nu d\nu / \sigma)^{1/4}}{(R/r)^{1/2}}$$

merenjem ugaonog radijusa zvezde i ukupnog merenog fluksa u celom spektru.

2) Pomoću kalibracione krive

$$T_{ef} = f(B - V)$$

iz spektralne klase, indeksa boje ili nekog drugog empirijskog parametra

3) Modeliranjem zvezdane fotosfere