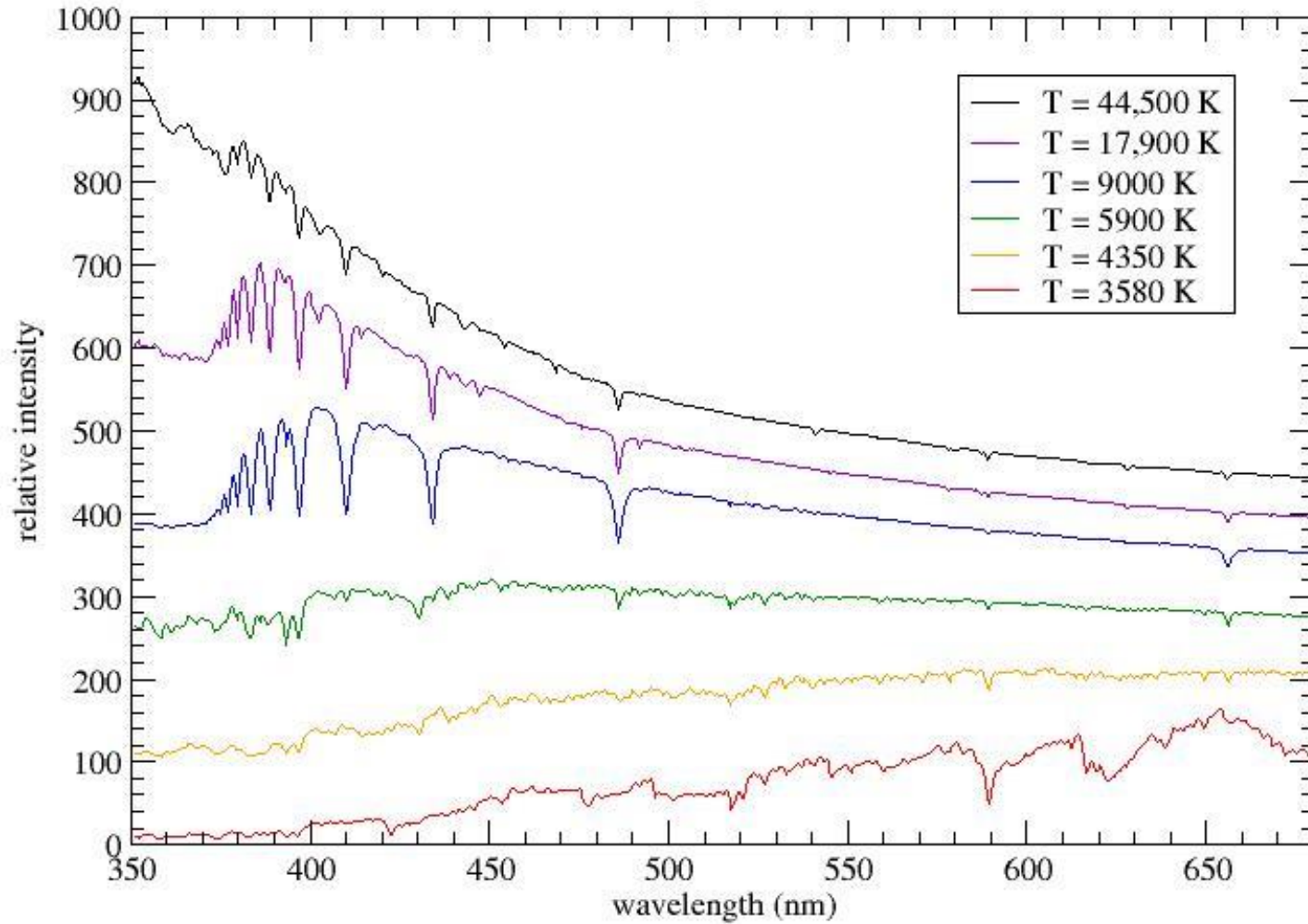


# **Stellar Spectral Classification**

# Stellar Spectra

main sequence stars



# Literature

- The bible: „**Stellar Spectral Classification**“, R.O. Gray, C. J. Corbally, 2009, Princeton Series in Astrophysics
- Older, but a good overview: „**The Classification of Stars**“, C. Jaschek & M. Jaschek, 1987, Cambridge University Press



„Pickering's Harem“ (Harvard, 1870 to 1920): O-B-A-F-G-K-M

# Basic Classification

- Parameters to estimate:

1. Spectral type (temperature)
2. Luminosity class (log g, age)
3.  $v \sin i$  (rotation)
4. [metallicity]

- How?

1. Line strengths
2. Line ratios
3. Equivalent widths

- Why?

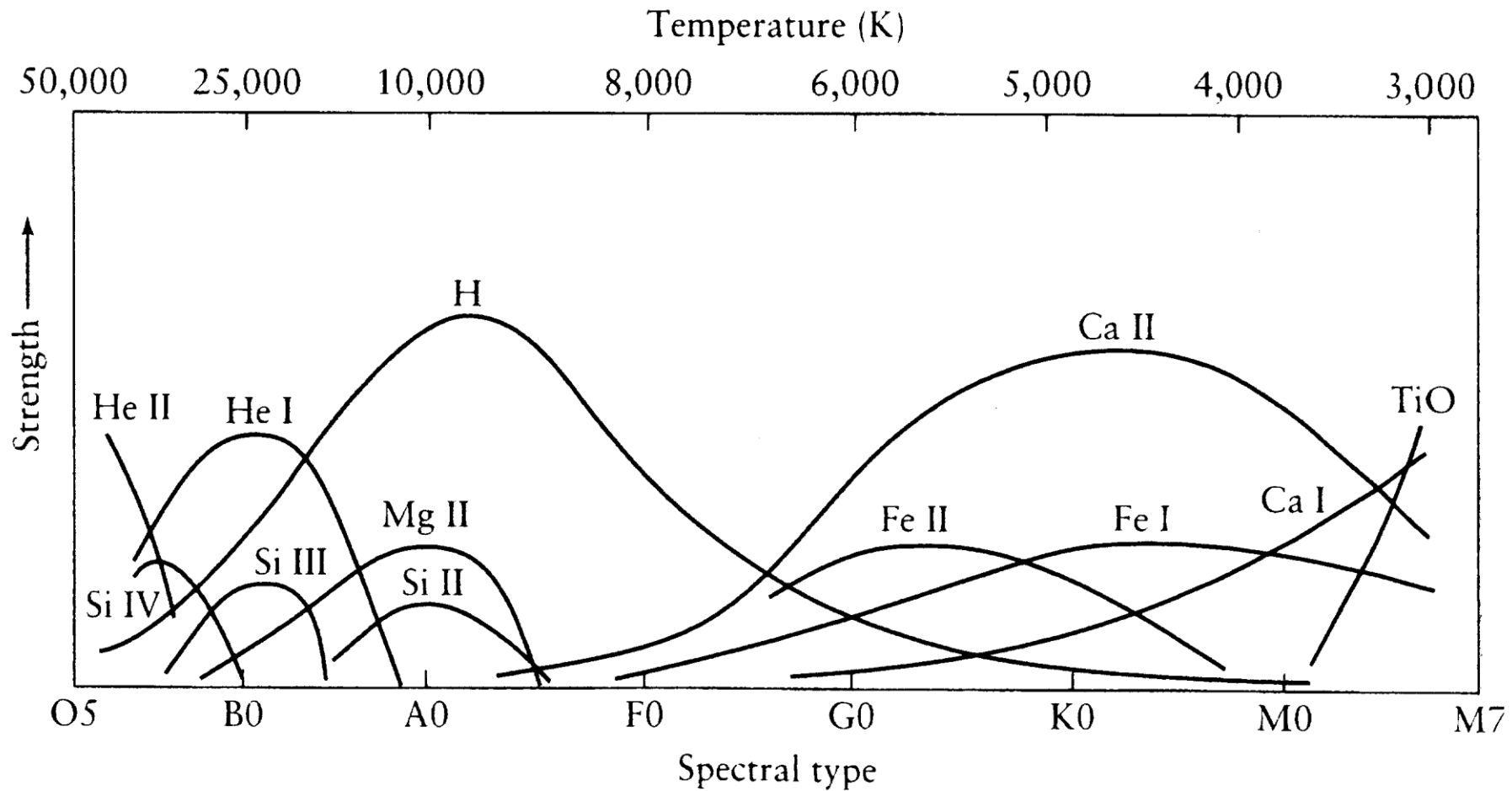
1. Very efficient
2. Well tested

# Used Notation I

- O-B-A-F-G-K-M-(-R-N), Yerkes = MKK Classification
- „Official subclasses“
  - O: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9.5
  - B: 0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9.5
  - A: 0, 2, 3, 5, 7
  - F: 0, 2, 3, 5, 7, 8, 9
  - G: 0, 2, 5, 8
  - K: 0, 2, 3, 4, 5
  - M: 0, 1, 2, 3, 4, 7, 8
- For these subclasses you will find also “official” standard stars

# Used Notation II

- These subclasses were extended during time, see for example Gray (1989, AJ 89, 1049)
- Additional suffices: n, nn, e, weak, st...
- Especially for B/A/F stars: i.e. hA0kA5mA3 V  
this means that the hydrogen lines (h) have the characteristics as in a A0 star, CaH&K (k) A5 and the metallic lines (m) A3



Freedman & Kaufmann, 2002, Universe, Sixth Edition, Freeman Company



- Resolution:  $R = \lambda/\Delta\lambda$

1. Photometry: U (3600Å, 700Å, 5), B (4350, 1000, 4), V (5550, 900, 6), u (3500, 340, 10), v (4100, 200, 21), b (4700, 160, 29), y (5500, 240, 23)

2. Classification spectroscopy:

- „Very low“:  $2000 - 400\text{Å/mm} = 30 - 6\text{Å/pixel}$  (140 - 700)
- „Low“:  $400 - 120\text{Å/mm} = 6 - 1.8\text{Å/pixel}$  (700 - 2330)
- „Classification“:  $120 - 80\text{Å/mm} = 1.8 - 1.2\text{Å/pixel}$  (2330 - 3500)
- „Intermediate“:  $80 - 20\text{Å/mm} = 1.2 - 0.3\text{Å/pixel}$  (3500 - 14000)

To calculate Å/mm:

Typical pixel size of a CCDs

$$15 \text{ } \mu\text{m} = 0.015 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Å/mm} = 0.015 \text{ Å/pixel}$$

Here, a wavelength of 4200Å was used

# Broadening of Lines I

- Instrumental profile determined by the resolution:

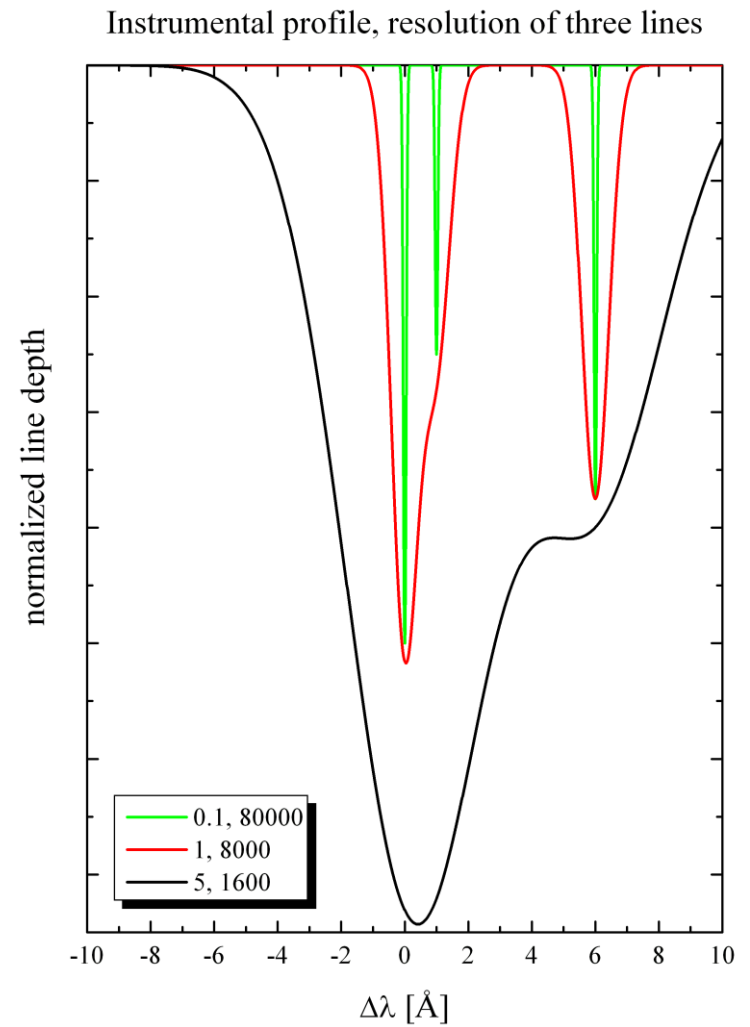
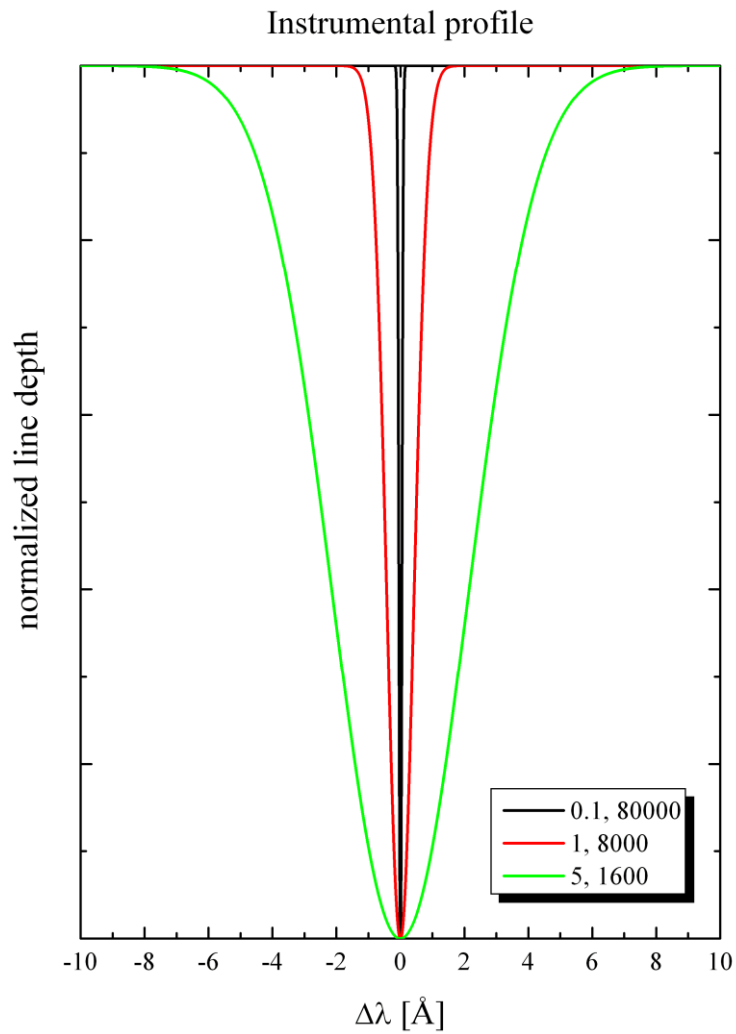
$$IP(\Delta\lambda) = \exp\left[-0.5\left(\frac{(\lambda - \Delta\lambda)}{\sigma}\right)^2\right] \text{ mit } \sigma = \frac{FWHM}{2.355}$$

- Rotational broadening:

$$RP(\Delta\lambda) = c_1 \sqrt{x} + c_2 x \text{ with } x = 1 - \left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_L}\right)^2$$

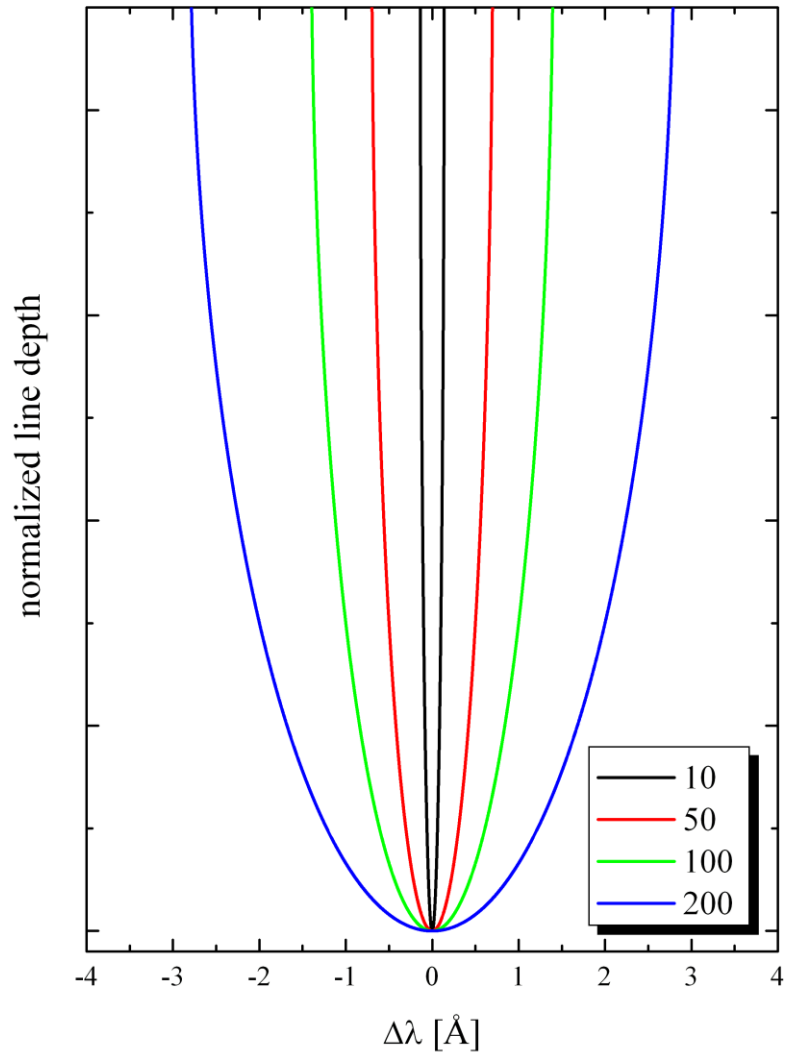
$$\Delta\lambda_L = \lambda \frac{v \sin i}{c}$$

# Broadening of Lines II

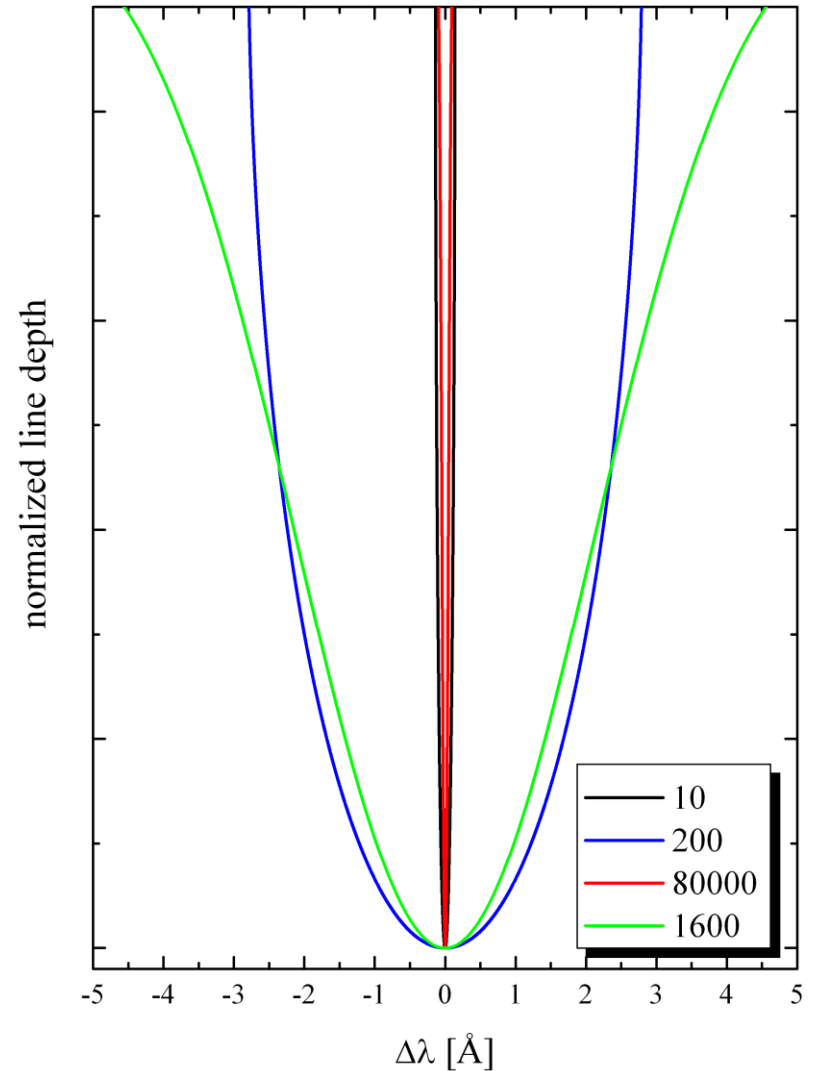


# Broadening of Lines III

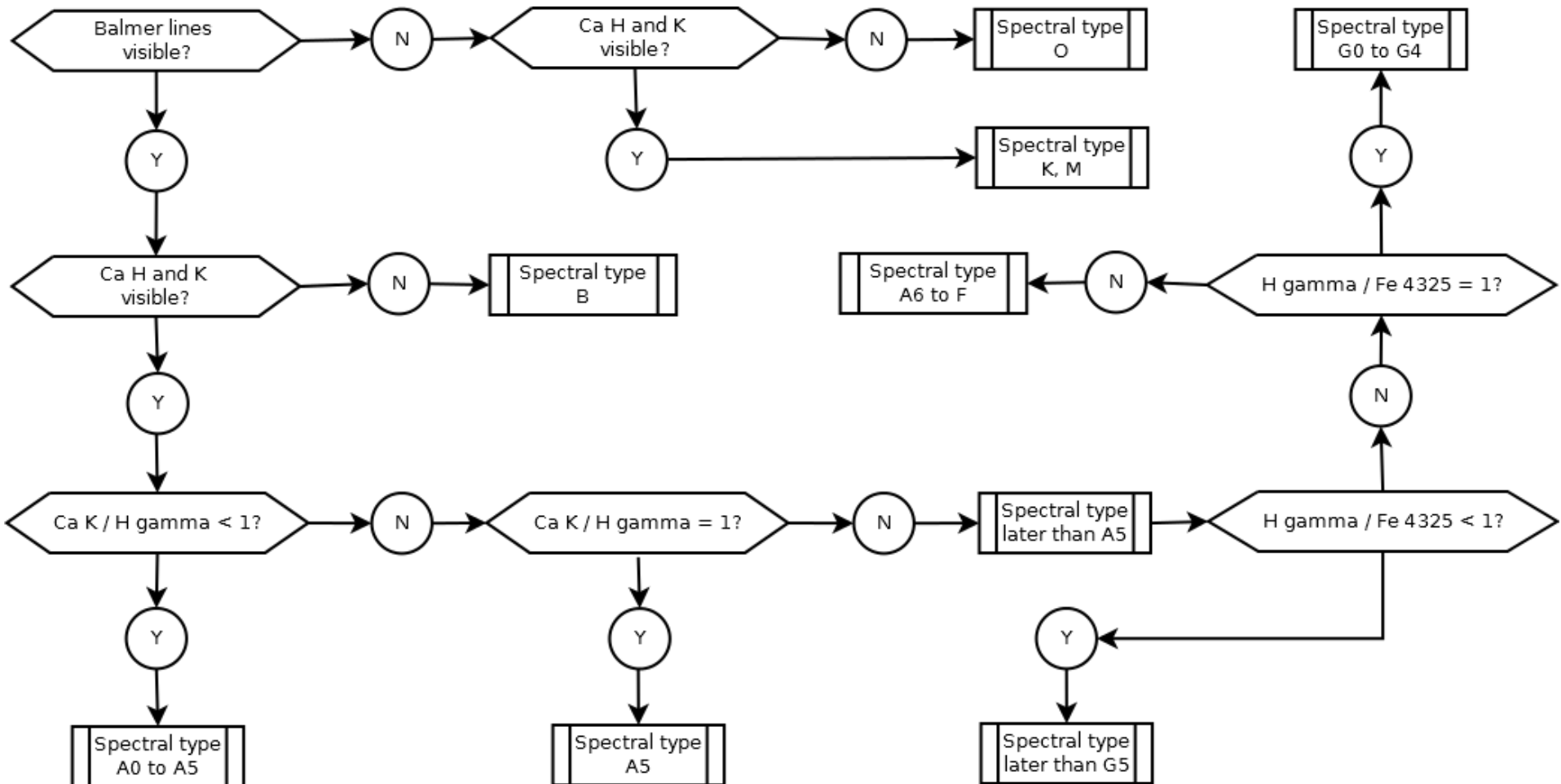
Rotational profile



Rotational- and instrumental profile



# Classification spectroscopy I



# Classification spectroscopy II

## B-Sterne

Keine Linien von Hell, Hel hat Maximum bei B2.

Spektraltyp	B0-B2 B3 B5-B8 B8-B9	Verhältnis SiIII $\lambda 4552$ / SiIV $\lambda 4089$ SiII $\lambda 4128-30$ / Hel $\lambda 4121$ SiII $\lambda 4128-30$ / Hel $\lambda 4144$ MgII $\lambda 4481$ / Hel $\lambda 4471$
Leuchtkraftklasse	B0 B2  B5 B6-B9	SiIII+Hel $\lambda 4119$ / Hel $\lambda 4144$ NII $\lambda 3995$ / Hel $\lambda 4009$ Hel $\lambda 4121$ / Hel $\lambda 4144$ MgII $\lambda 4481$ / Hel $\lambda 4471$ Profile der Balmerlinien (z.B. H $\gamma$ $\lambda 4340$ )

## A-Sterne

Keine Linien von Hel, Balmerreihe sehr stark (Maximum bei A2), viele Metalllinien (z.B. FeI, FeII, CrI, CrII, TiI, TiII), CaII H+K  $\lambda\lambda 3968, 3934$  nehmen mit abnehmender Temperatur an Stärke zu.

Spektraltyp	A0-A7 A5-A7 A3-F0	Verhältnis MgII $\lambda 4481$ / FeI $\lambda 4385$ MgII $\lambda 4481$ / FeI $\lambda 4416$ CaI $\lambda 4227$ / MgII $\lambda 4481$ FeI $\lambda 4045$ / Hel $\lambda 4471$
Leuchtkraftklasse	A0-A2 A3 A5-A7 A7-F0	Profile der Balmerlinien und von FeII $\lambda\lambda 4173-78, 4233$ FeII $\lambda 4416$ / MgII $\lambda 4481$ FeII $\lambda 3451$ / MgII $\lambda 4481$ SrII $\lambda 4215$ / CaI $\lambda 4226$

## F-Sterne

CaII H+K ( $\lambda\lambda 3968, 3934$ ) werden stärker als die Balmerlinien, Anzahl der Metalllinien weiterhin verstärkt, das "G-Band" bei ca. 4300 Å (CH) taucht auf. Klassifikationskriterien sind sehr von der Auflösung der Spektren abhängig, da oft Linien nicht getrennt sind. Die Typen F1, F4 und F9 sind selten besetzt.

Spektraltyp	Verhältnis FeII $\lambda 4045$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ MnI $\lambda 4030-34$ / SiII $\lambda 4128-32$ CaI $\lambda 4226$ / H $\gamma$ $\lambda 4340$ CaI $\lambda 4226$ / MgII $\lambda 4481$
Leuchtkraftklasse	SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4045$ SrII $\lambda 4077$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeII $\lambda 4179$ / FeI $\lambda 4144$ SrII $\lambda 4216$ / CaI $\lambda 4227$ TiII $\lambda 4444$ / MgII $\lambda 4481$ BaII $\lambda 4554$ / MgII $\lambda 4481$

## G-Sterne

Metalllinien weiterhin bezüglich Anzahl und Intensität verstärkt (teilweise so stark wie die schwächer werdenden Balmerlinien). CN-Banden ( $\lambda\lambda 4216, 3883$ ) tauchen auf. Die Typen G1, G3, G4, G6, G7 und G9 sind selten besetzt.

Spektraltyp	G0-G4  ab G5	Verhältnis FeI $\lambda 4045$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeI $\lambda 4143$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ FeI $\lambda 4384$ / H $\gamma$ $\lambda 4340$ FeI $\lambda 4921$ / H $\beta$ $\lambda 4861$ CaI $\lambda 4226$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ CrI $\lambda 4254$ / FeI $\lambda 4250$
Leuchtkraftklasse		YII $\lambda 3983$ / FeI $\lambda 4005$ SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4063$ SrII $\lambda 4077$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ SrII $\lambda 4216$ / CaI $\lambda 4226$ SrII $\lambda 4216$ / FeI $\lambda 4250$

# Classification spectroscopy III

## K-Sterne

CaII H+K sehr stark, Balmerlinien schwach, Metallinien stark und zahlreich, CH sehr stark, CN verschwindet. Banden von TiO ( $\lambda\lambda 4954, 4761, 4626, 4584, 4422$ ) und MgH ( $\lambda 4780$ ) tauchen auf. Die Typen K1 und K8 sind selten bestz.

Spektraltyp	Verhältnis CrI $\lambda 4254$ / FeI $\lambda 4260$ TiI $\lambda 3999$ / FeI $\lambda 4005$ FeI $\lambda 4144$ / H $\delta$ $\lambda 4101$ CaI $\lambda 4226$ / FeI $\lambda 4250$
Leuchtkraftklasse	SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4063$ SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4071$ SrII $\lambda 4216$ / FeI $\lambda 4271$ TiII $\lambda 4400$ / FeI $\lambda 4405$

## M-Sterne

Metallinien stark und zahlreich, starke Absorption von TiO.

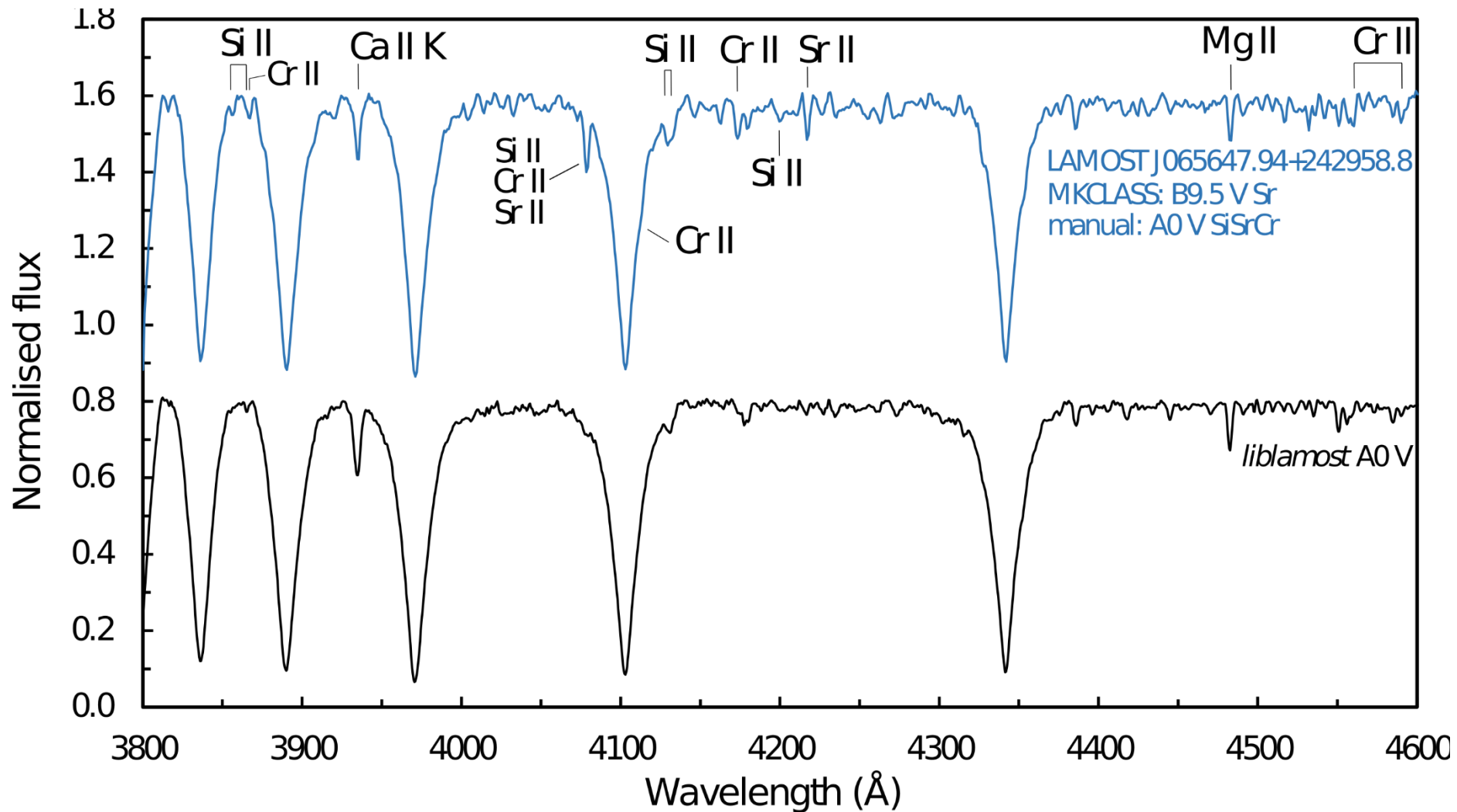
Spektraltyp	Intensitäten von TiO Banden bei $\lambda\lambda 4954, 5167, 7054, 7126$ ab M2 TiO Banden bei $\lambda\lambda 4584, 4761, 5448, 6158$ ab M3 TiO Banden bei $\lambda 4761$ saturiert ab M4 CaOH Band bei $\lambda 5500-5560$
Leuchtkraftklasse	Verhältnis SrII $\lambda 4077$ / FeI $\lambda 4263$ YII+FeI $\lambda 4376$ / FeI $\lambda 4383$ YII+FeI $\lambda 4376$ / CaI $\lambda 4226$ YII+FeI $\lambda 4376$ / CrI $\lambda\lambda 4254, 4274, 4290$



# MKCLASS

- Gray et al., 2016, AJ, 151, 13: „**LAMOST Observations in the Kepler Field: Spectral Classification with the MKCLASS Code**”
- <http://www.appstate.edu/~grayro/mkclass/>
- Command line tool for Linux and Windows
- Libraries included
- Normalization not needed
- Huemmerich et al., 2020, A&A, 640, A40: “**A plethora of new, magnetic chemically peculiar stars from LAMOST DR4**”

# Our stars



# Our stars

