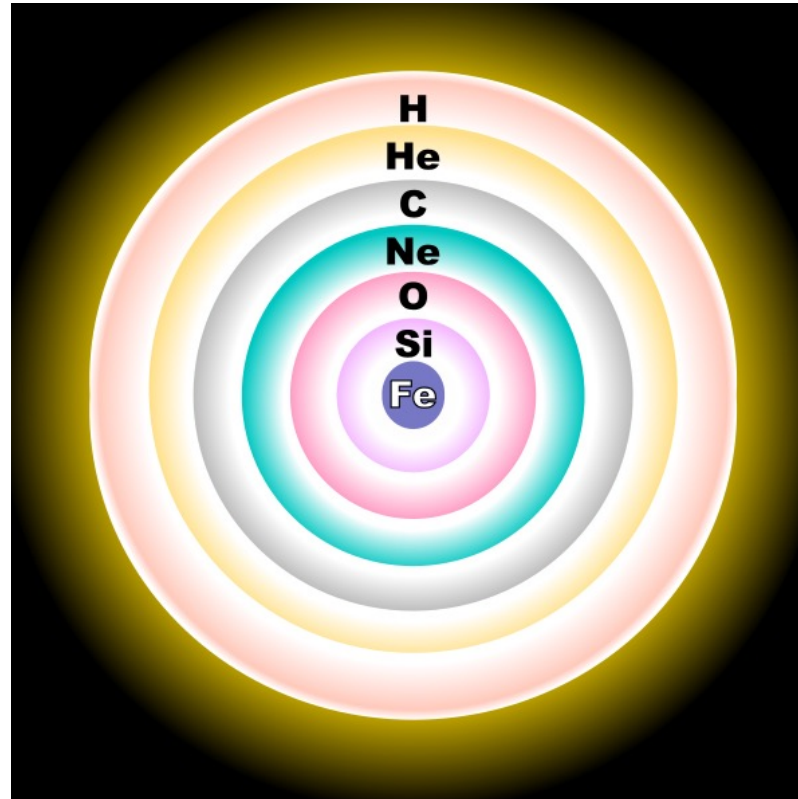


BUDOWA I EWOLUCJA GWIAZD



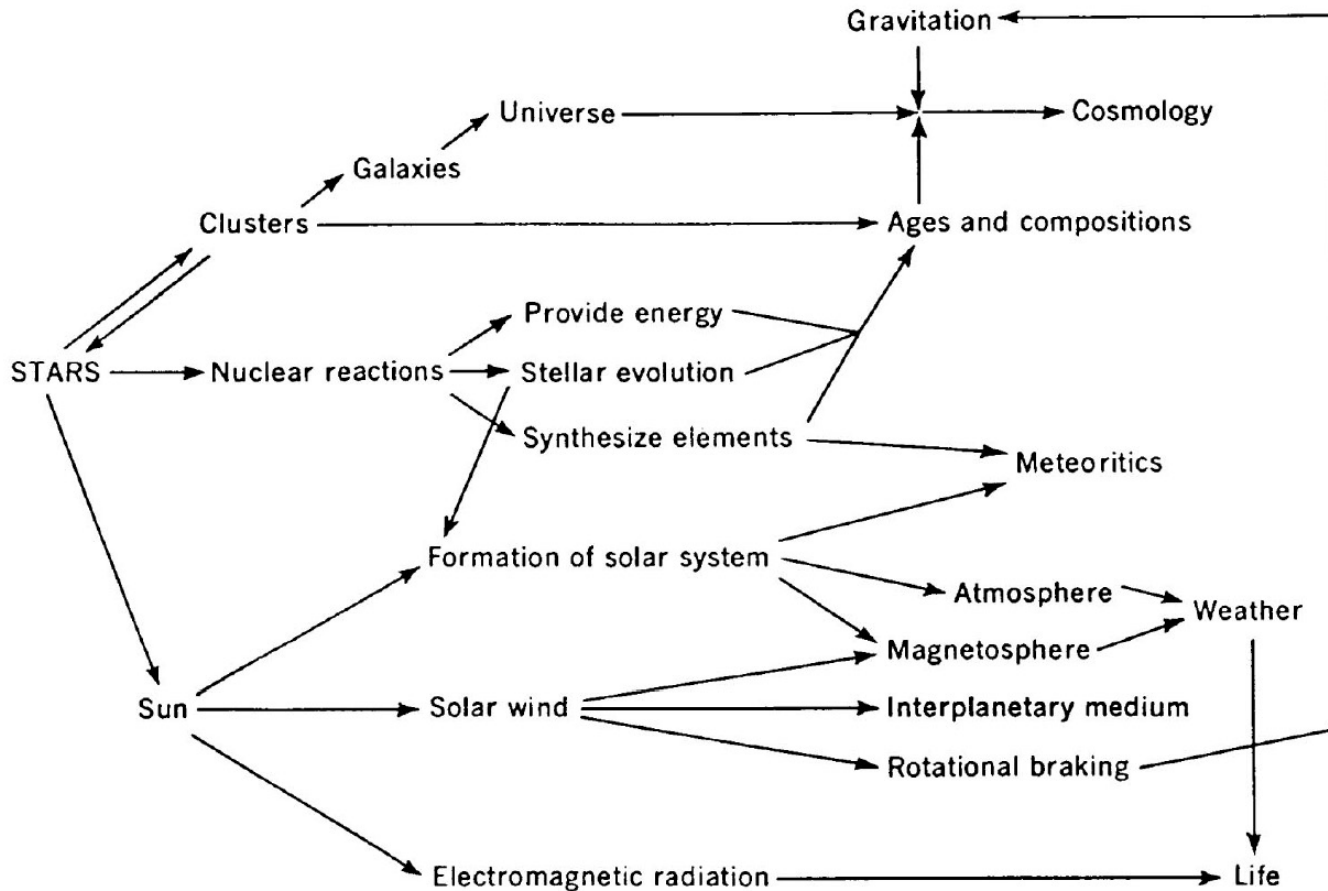
Jadwiga Daszyńska-Daszkiewicz

Semestr letni, 2020/2021

LITERATURA

- 1) Joergen Christensen-Dalsgaard, *Stellar Structure and Evolution*
http://astro.phys.au.dk/~jcd/evolnotes/LN_stellar_structure.pdf
- 2) R. Kippenhahn, A. Weigert, A. Weiss, *Stellar Structure and Evolution*
- 3) O. Pols, *Stellar Structure and Evolution*
http://www.astro.ru.nl/~onnop/education/stev_utrecht_notes/
- 4) B. Paczyński, *Budowa i Ewolucja Gwiazd*
- 5) D. Prialnik, *Theory of stellar structure and evolution*
- 6) M. Salaris & S. Cassisi, *Evolution of Stars and Stellar Population*
http://cfas.org/data/uploads/astronomy-ebooks/evolution_of_stars_and_stellar_populations.pdf

Teoria budowy i ewolucji gwiazd odgrywa centralną rolę we współczesnej astrofizyce



GWIAZDA

Ciało niebieskie zbudowane z gazu (plazmy), spełniające dwa warunki:

1) jest związane samograwitacją

2) wyświeca energię, która jest dostarczana ze źródeł wewnętrznych

Ad. 1

Kształt gwiazdy jest sf. –sym. (bo grawitacja jest polem sił sf.-sym.)

Np. Słońce, $P \approx 27$ d, $\omega = 2\pi/P \approx 2.7 \cdot 10^{-6}$, $B = 0.1$ T

En. kinet/en. graw.wiązania = $M\omega^2 R^2 / GM^2/R = \omega^2 R^3 / GM \approx 2 \cdot 10^{-5}$

$\sigma_{\text{mag}} / \sigma_{\text{graw}}$ = $B^2 / \mu_0 / GM^2/R^4 \approx 10^{-11}$

~~rotacja
pole magnetyczne
siły pływowe~~

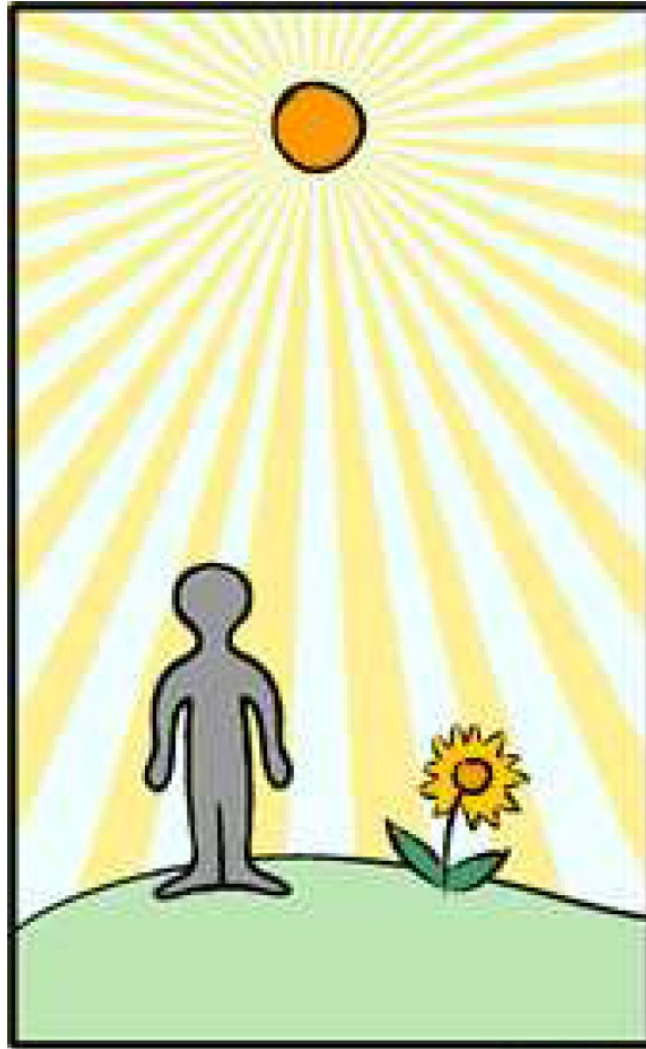


symetria sferyczna

Ad. 2

Źródłem energii jest en. nuklearna uwalniana podczas reakcji syntezy (+ en. grawitacyjna)

Dlaczego Słońce świeci?



How the Sun Shines, John N. Bahcall

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/fusion/

dłaczego święci =ile ma lat

1854 – Hermann von Helmholtz, kontrakcja grawitacyjna
30 000 000 lat

1859– Charles Darwin, min. 300 000 000 lat

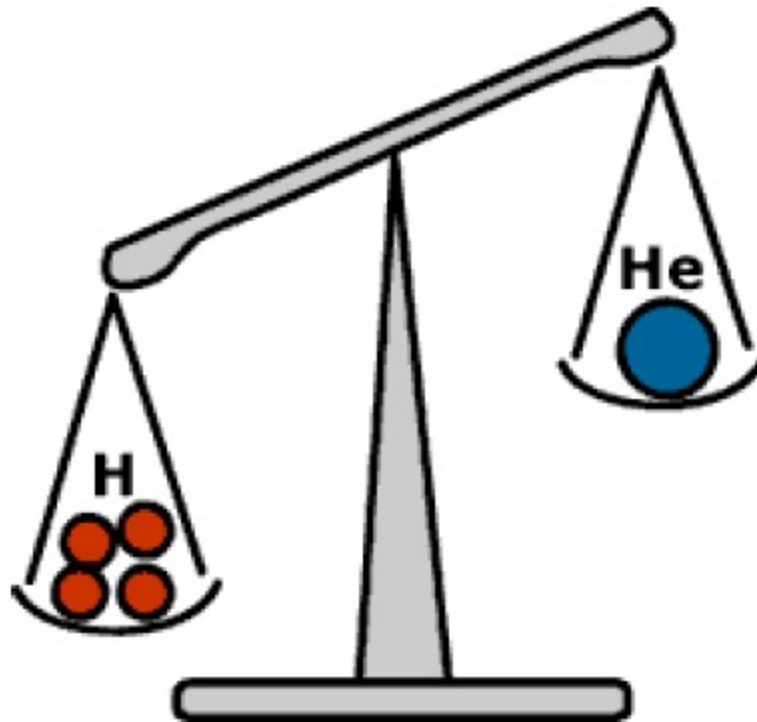
1854-1862 – William Thomson (Lord Kelvin),
kontrakcja graw. + uderzenia meteorów

1896 – odkrycie promieniotwórczości naturalnej,
H. Becquerel

1905 – Einstein, $E=mc^2$

1919 – Russell, wysoka T we wnętrzach gwiazd

1920 - Aston, defekt masy



1920 – Arthur Eddington, Słońce może świecić dzięki przemianie wodoru w hel

1928– George Gamow, niezerowe prawdop. zbliżenia się dwóch cząstek o tym samym znaku ładunku elek.

1934 – F. Joliot, Irena Joliot-Curie, pierwsza reakcja jądrowa

1938 – C.F. Weizsäcker, cykl CNO

1939 –H. Bethe, cykl p-p, *Energy production in Stars*

Czego możemy dowiedzieć się z obserwacji?

- **Odległość**
- **Jasność obserwowana**
- **Moc promieniowania**
- **Temperatura efektywna**
- **Masa**
- **Promień**
- **Skład chemiczny**

Odległość – paralaksa trygonometryczna

- **Misja Hipparcos (1989-1993)**

High Precision PARallax COLlecting Satellite

dokładność 0.002 arcsec

około 100 000 gwiazd

- **Misja Gaia od 2013**

Global Astrometric Interferometer for Astrophysics

dokładność 0.00002 arcsec

około 1 000 000 000 gwiazd

jasność obserwowana i absolutna

$$m = -2.5 \log f + \text{const}$$

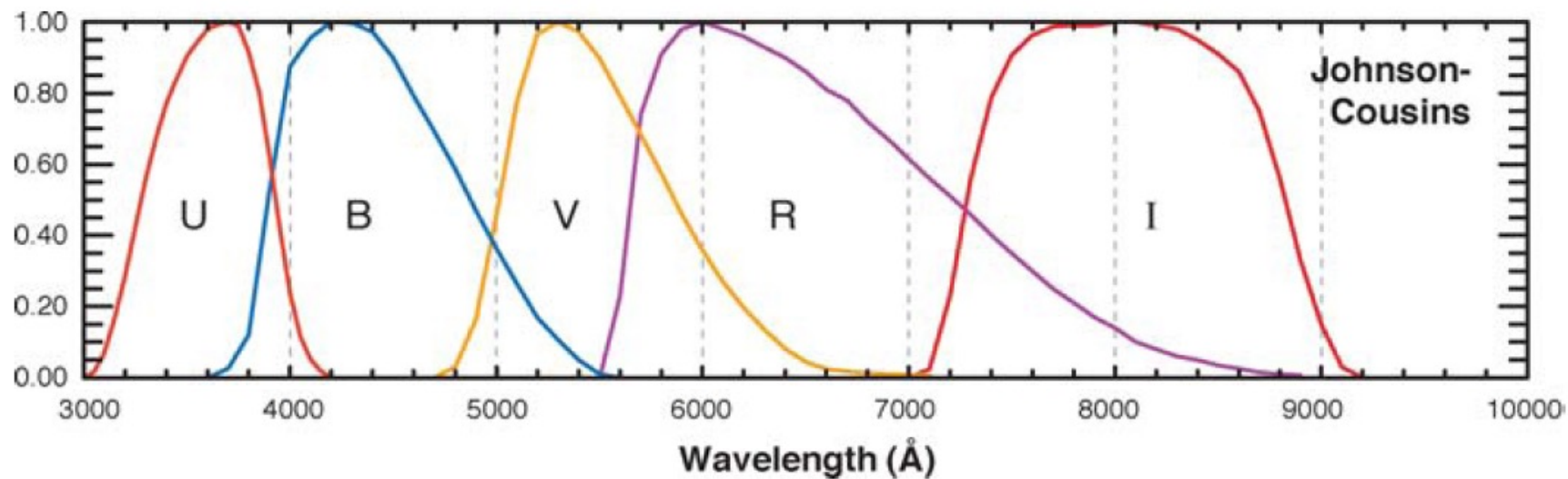
$$m_1 - m_2 = -2.5 \log f_1 / f_2$$

$$m - M = -2.5 \log f / f(10\text{pc})$$

$$m - M = 5 \log r - 5 + A$$

$$f_s = \int_{x_1}^{x_2} S_x f_x dx$$

$$U - B = 2.5 \log f_B / f_U + C_U - C_B$$



UBVRI		
	λ_{eff}	$\Delta\lambda$
<i>U</i>	3663	650
<i>B</i>	4361	890
<i>V</i>	5448	840
<i>R</i>	6407	1580
<i>I</i>	7980	1540

Sp	M_V	$B - V$	B.C.	$\log T_{\text{eff}}$ (K)
O5	-5.6	-0.32	-4.15	4.626
O7	-5.2	-0.32	-3.65	4.568
B0	-4.0	-0.30	-2.95	4.498
B3	-1.7	-0.20	-1.85	4.286
B7	-0.2	-0.12	-0.80	4.107
A0	0.8	+0.00	-0.25	3.982
A5	1.9	+0.14	0.02	3.924
F0	2.8	+0.31	0.02	3.863
F5	3.6	+0.43	-0.02	3.813
G0	4.4	+0.59	-0.05	3.774
G2	4.7	+0.63	-0.07	3.763
G8	5.6	+0.74	-0.13	3.720
K0	6.0	+0.82	-0.19	3.703
K5	7.3	+1.15	-0.62	3.643
M0	8.9	+1.41	-1.17	3.591
M5	13.5	+1.61	-2.55	3.491

moc promieniowania

$$L = 4\pi R^2 F = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

T_{eff} – temperatura ciała doskonale czarnego, które wypromieniowuje taki sam strumień energii jak rozważana gwiazda

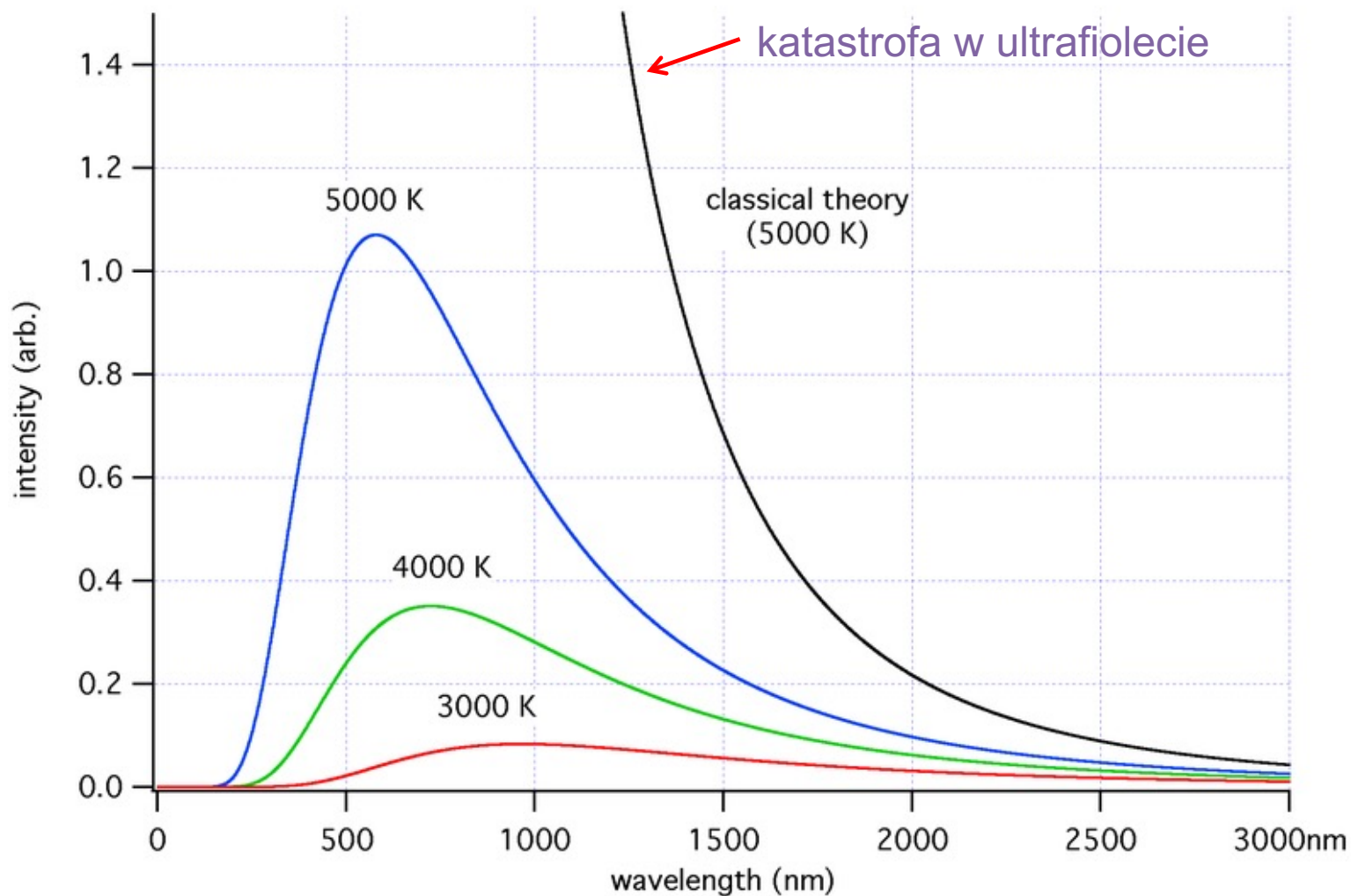
Jasność bolometryczna

$$M_{\text{bol}} = -2.5 \log L + \text{const}$$

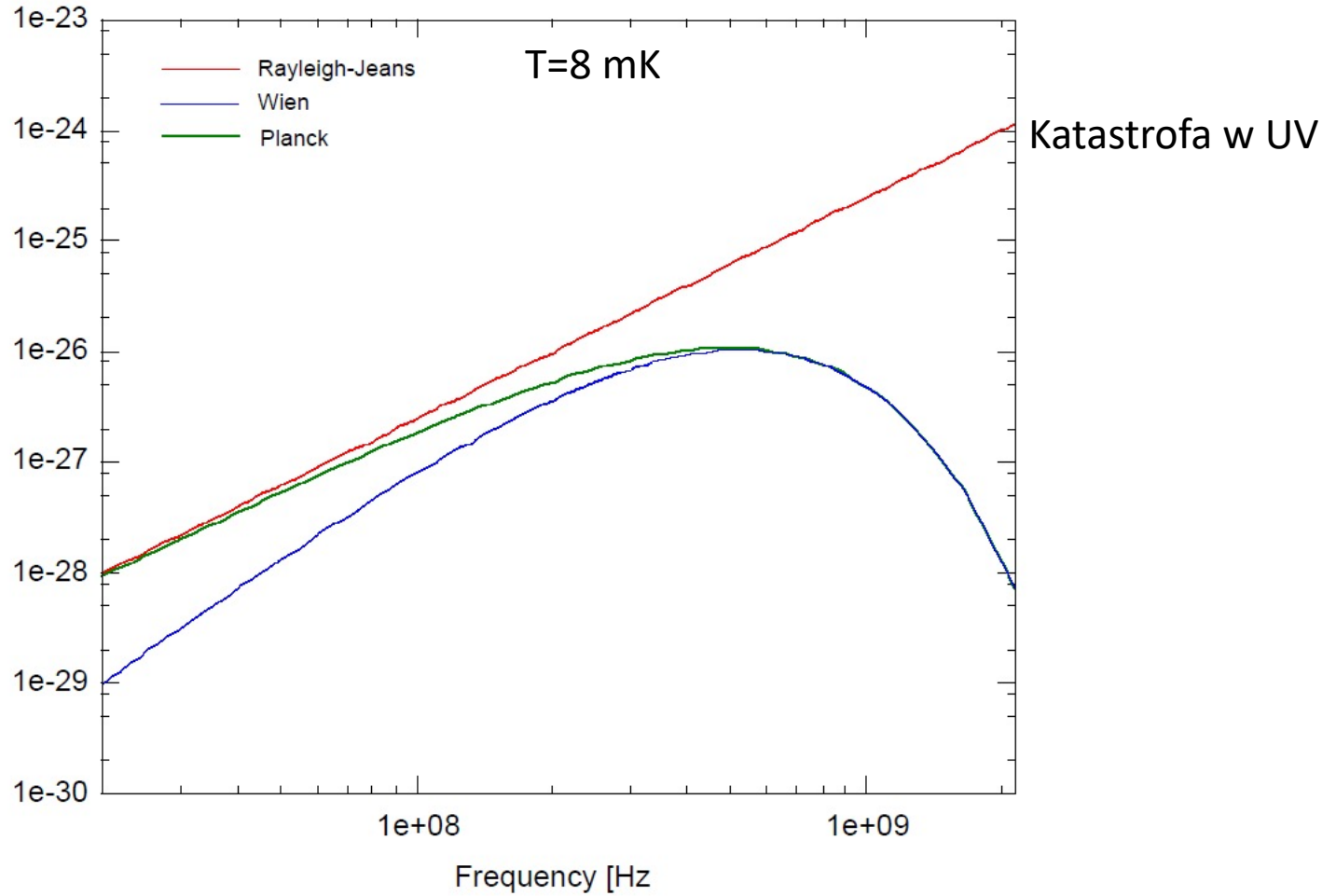
$$BC = m_{\text{bol}} - m_V = M_{\text{bol}} - M_V$$

$$M_{\text{bol}} = -2.5 \log L/L_{\odot} + 4.75$$

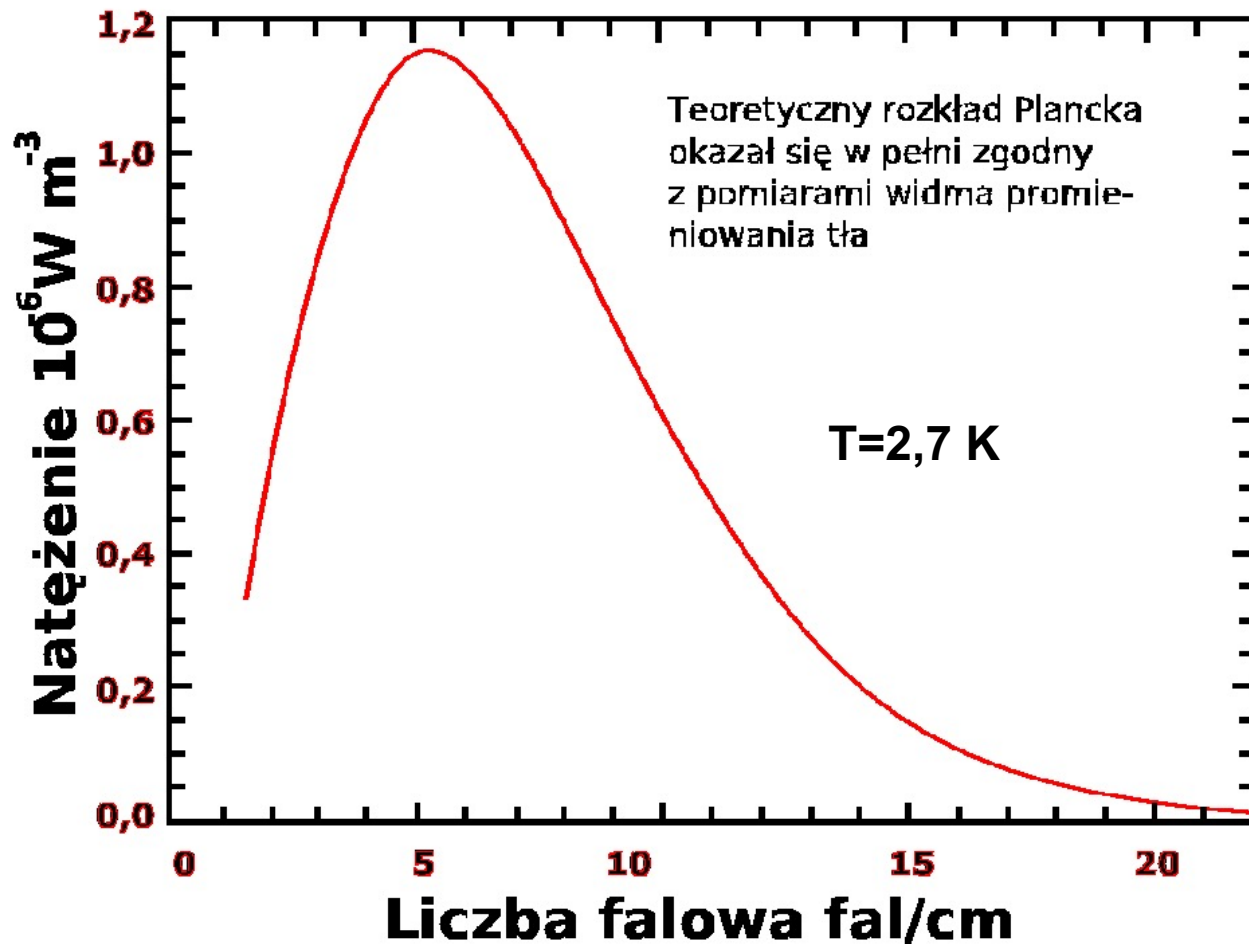
Czarna krzywa - teoretyczny rozkład Rayleigha–Jeansa: natężenie rośnie do nieskończoności gdy długość fali dąży do zera (tzw. katastrofa w ultrafiolecie).



Porównanie prawa Rayleigha-Jeansa, rozkładu Wiena i prawa Plancka dla ciała o temperaturze 8 mK.



Widmo promieniowania tła uzyskane z satelity COBE



masa

Dla Słońca znamy GM z dokładności 10^{-9}

Trzecie prawo Keplera

$$M_1 + M_2 = a^3 / P^2$$

Układy podwójne gwiazd \rightarrow (M,R)

skład chemiczny

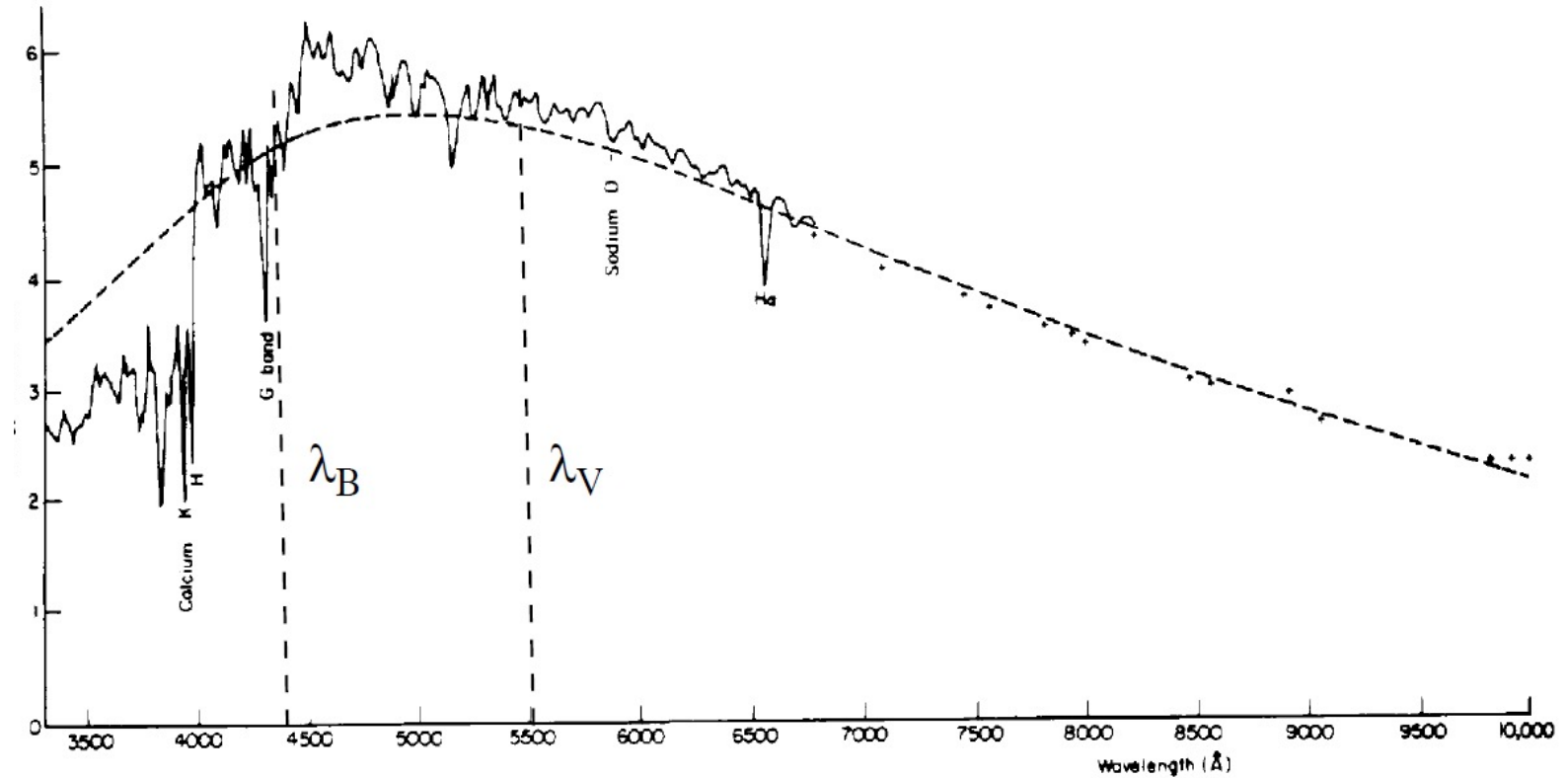
X, Y, Z obfitości masowe wodoru, helu i metali

$$X_i = \frac{N_i m_i}{\rho}$$

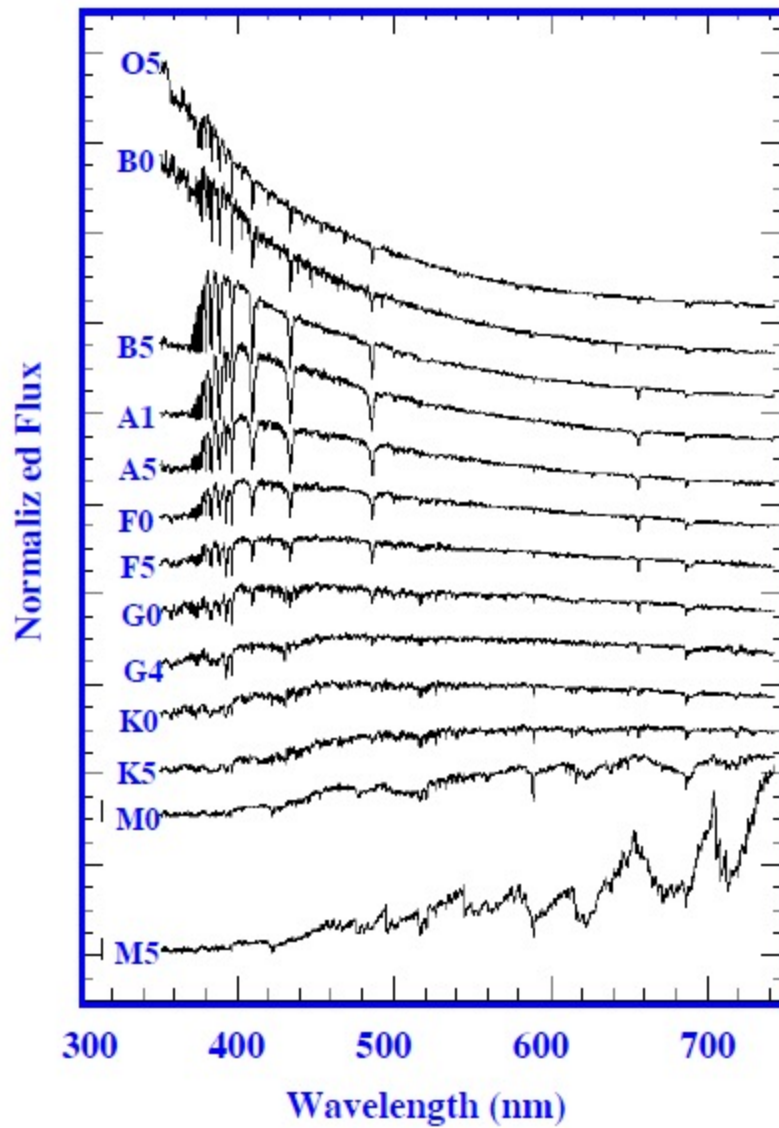
$$m_i = A_i m_H$$

$$X_i = \frac{N_i A_i}{\sum N_i A_i}$$

Widmo Słońca w porównaniu z rozkładem dla ciała doskonale czarnego o $T_{\text{eff}}=T_{\text{eff}}(\odot)$

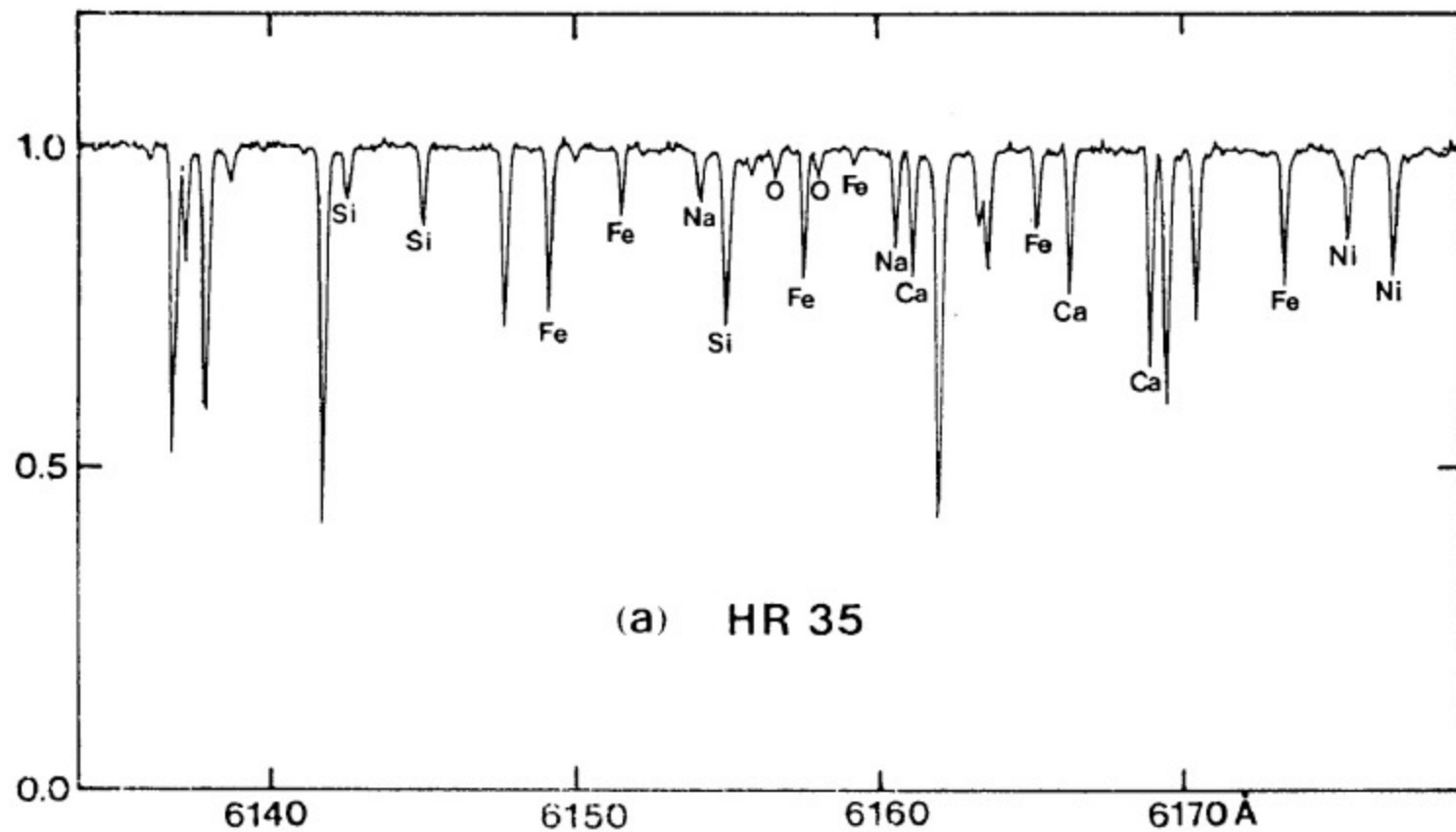


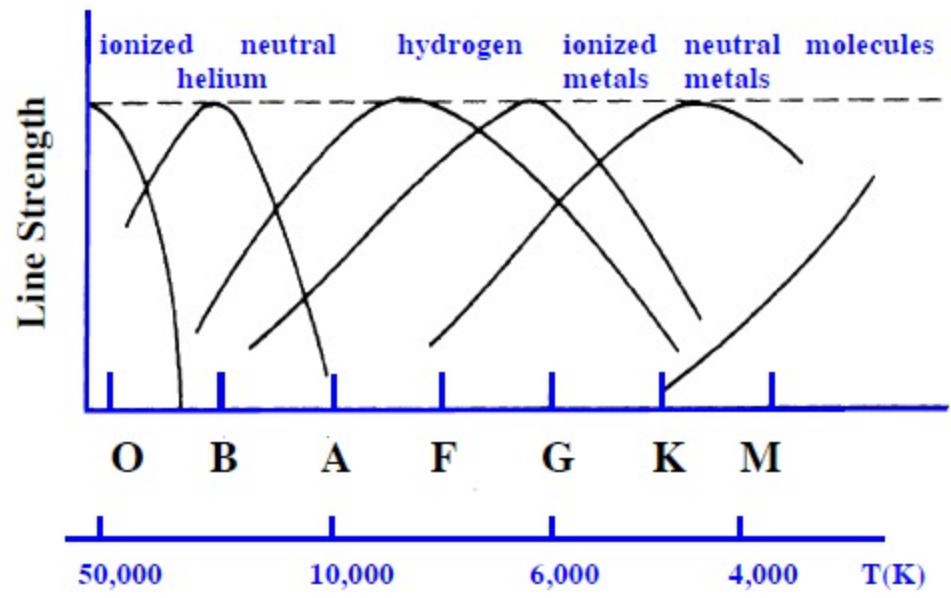
Widma gwiazd ciągu głównego



Source	X	Y	Z	Z/X
Present-day photosphere:				
Anders & Grevesse (1989) ^a	0.7314	0.2485	0.0201	0.0274
Grevesse & Noels (1993) ^a	0.7336	0.2485	0.0179	0.0244
Grevesse & Sauval (1998)	0.7345	0.2485	0.0169	0.0231
Lodders (2003)	0.7491	0.2377	0.0133	0.0177
Asplund, Grevesse & Sauval (2005)	0.7392	0.2485	0.0122	0.0165
Lodders, Palme & Gail (2009)	0.7390	0.2469	0.0141	0.0191
Present work	0.7381	0.2485	0.0134	0.0181

Asplund, Grevesse, Sauval, Scott 2009
 ARA&A 47,481





Co obserwujemy?

$$L=10^{-5}-10^6 L_{\odot}$$

$$M=0.08 - 300 M_{\odot}$$

$$R=10^{-2} R_{\odot} \text{ (białe karły)}$$

$$R=10^3 R_{\odot} \text{ (czerwone olbrzymy)}$$

$$T_{\text{eff}}=2500 \text{ K}$$

$$T_{\text{eff}}=50\ 000 \text{ K (max MS)}$$

$$T_{\text{eff}}=300\ 000 \text{ K (max WD)}$$

$$Z=10^{-6} - 0.05$$

diagram Hertzsprunga-Russlla dla gwiazd z sąsiedztwa Słońca

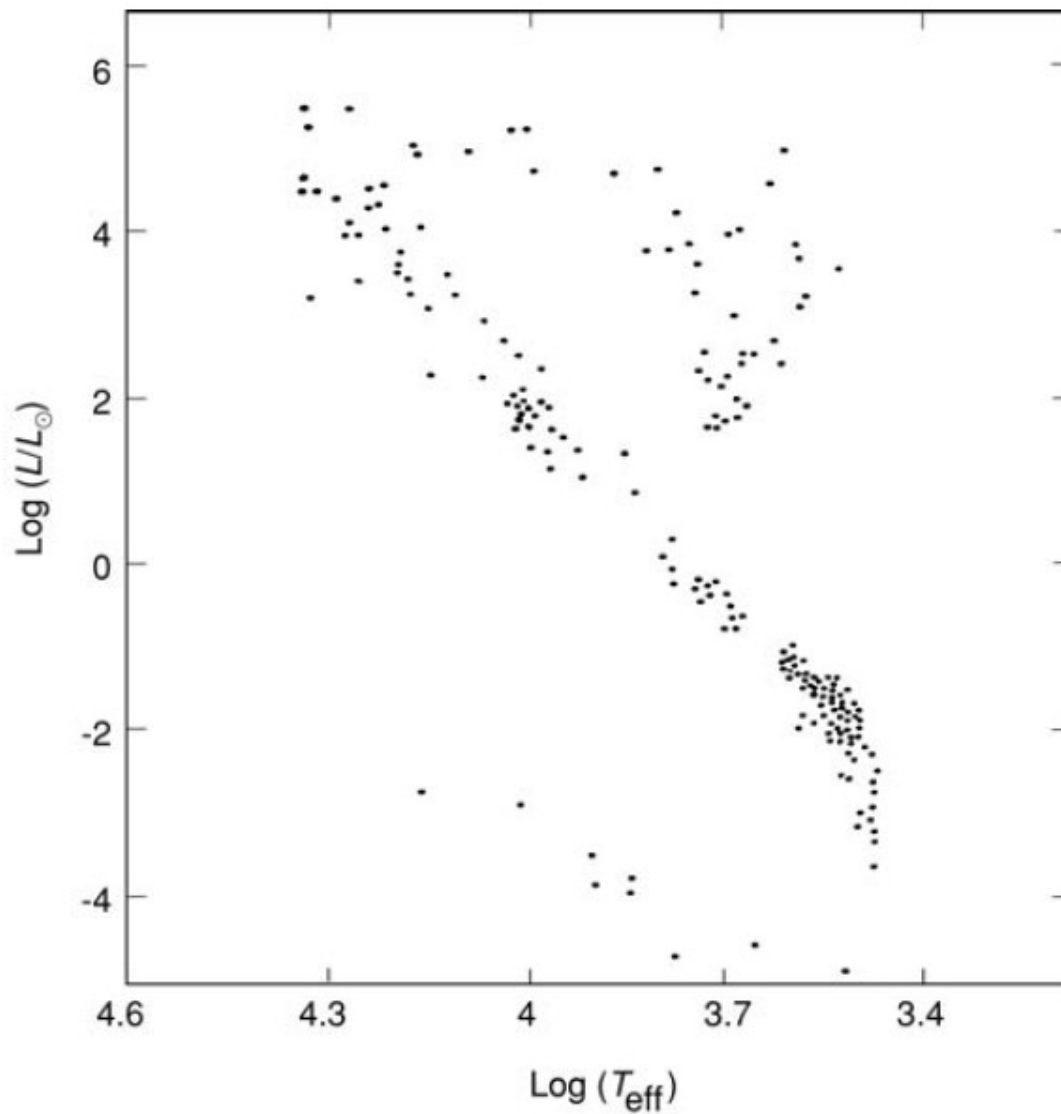
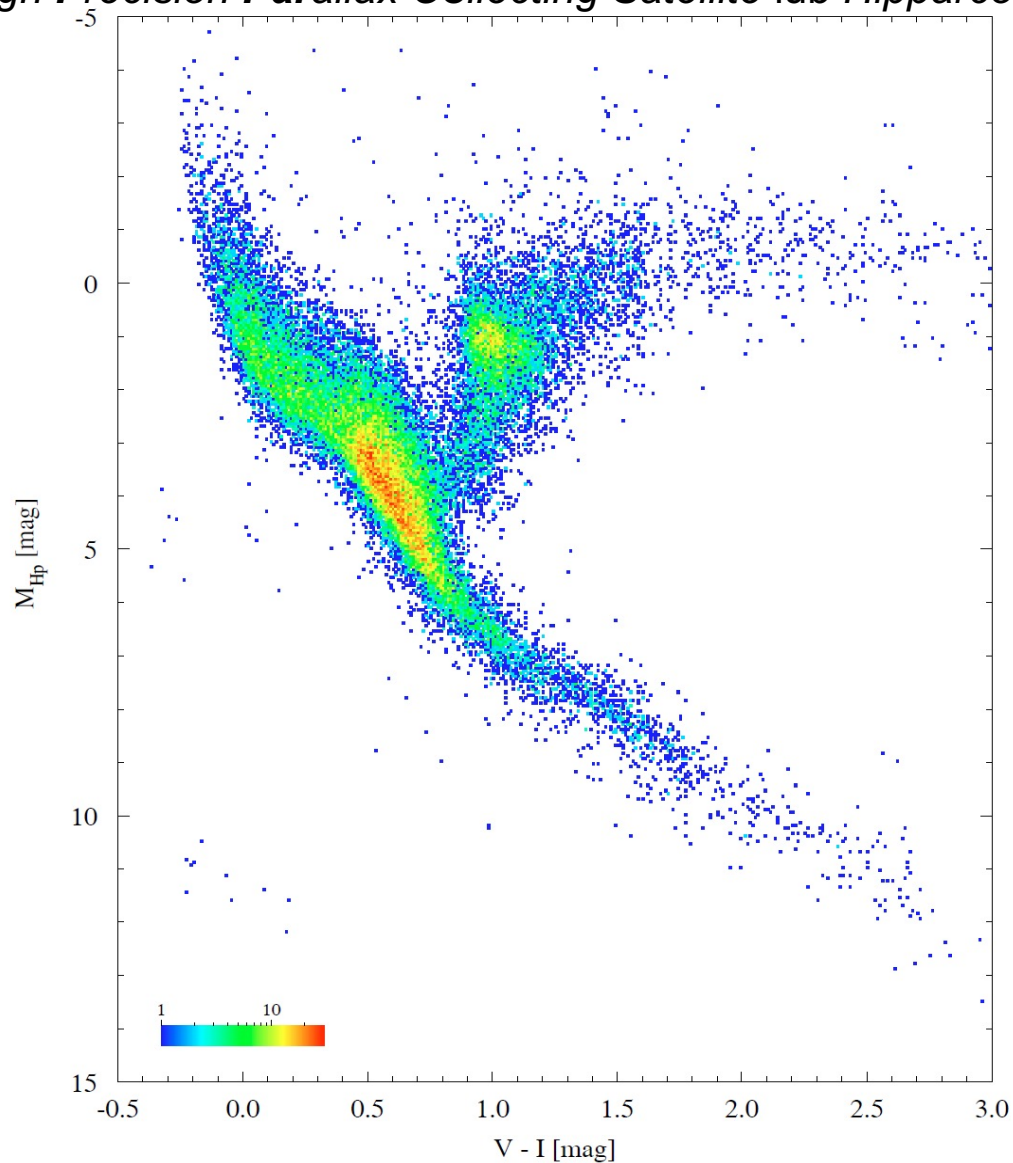
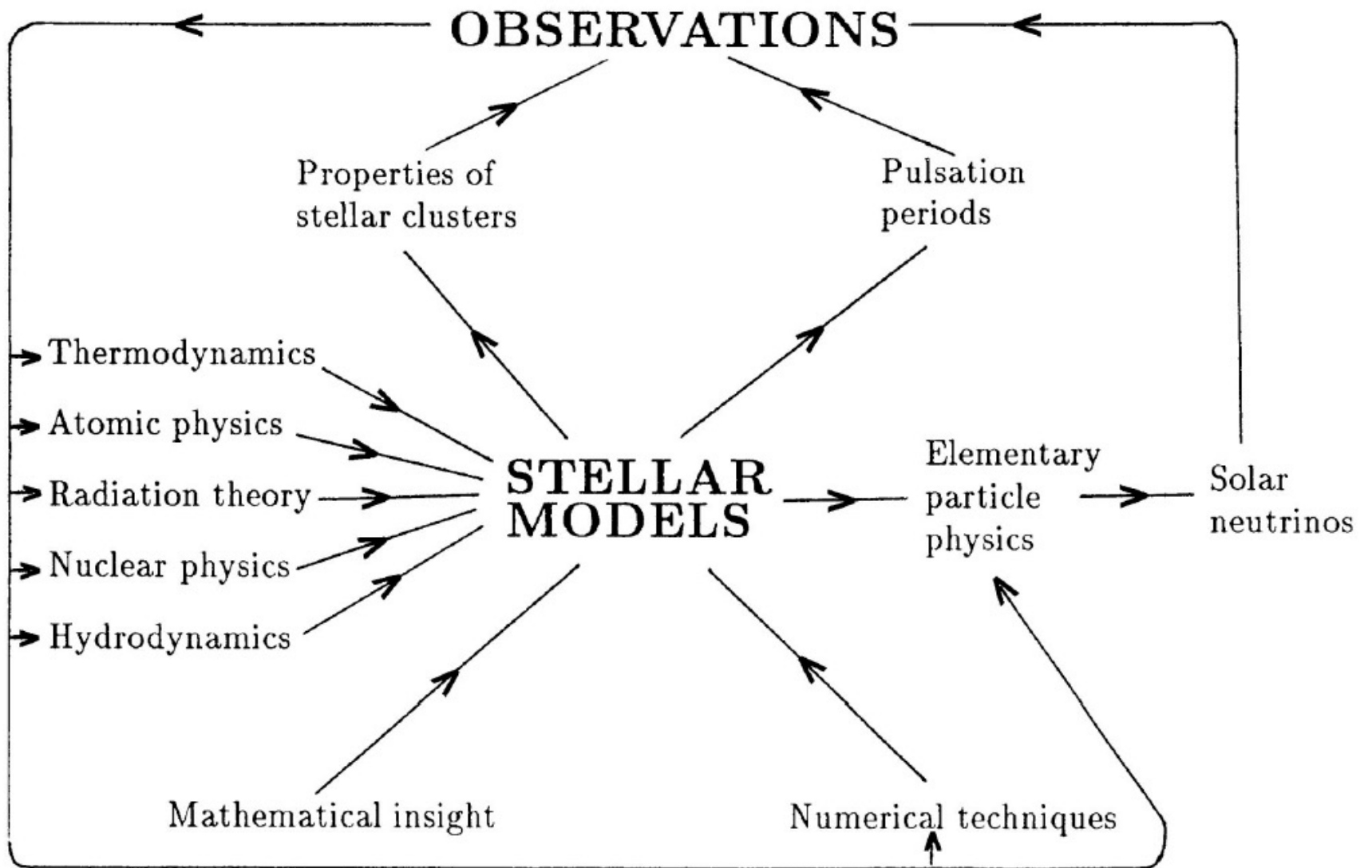


Diagram Hertzsprunga-Russella dla 41453 gwiazd z katalogu Hipparcosa (*High Precision Parallax Collecting Satellite* lub *Hipparcos Space Astrometry Mission*)



Kolory oznaczają liczbę gwiazd w „komórce” 0.01 mag w ($V - I$) i 0.05 mag w Hp (M_{Hp}).



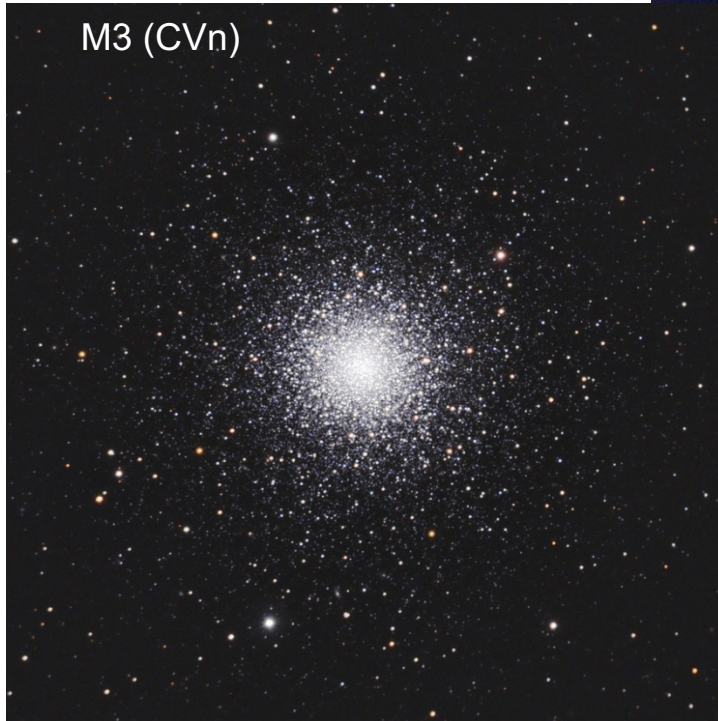
Plejady



Hiady



M3 (CVn)



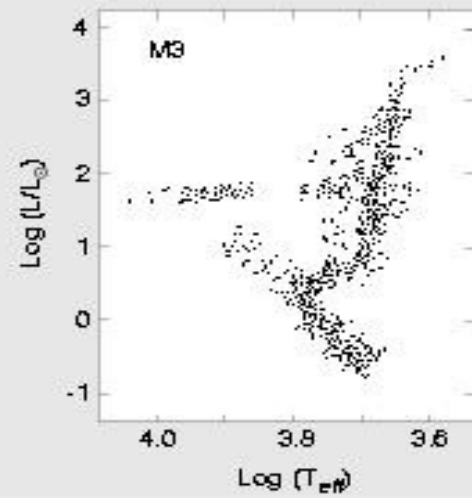
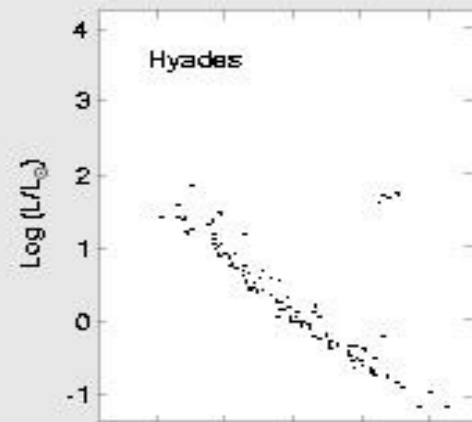
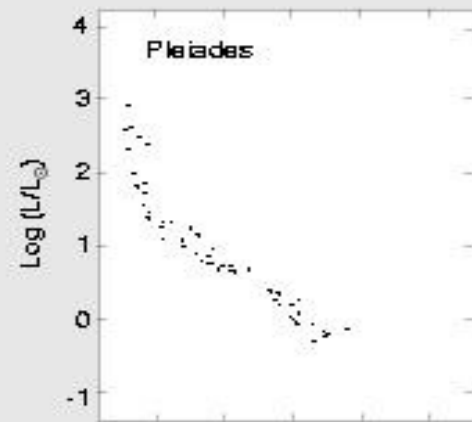
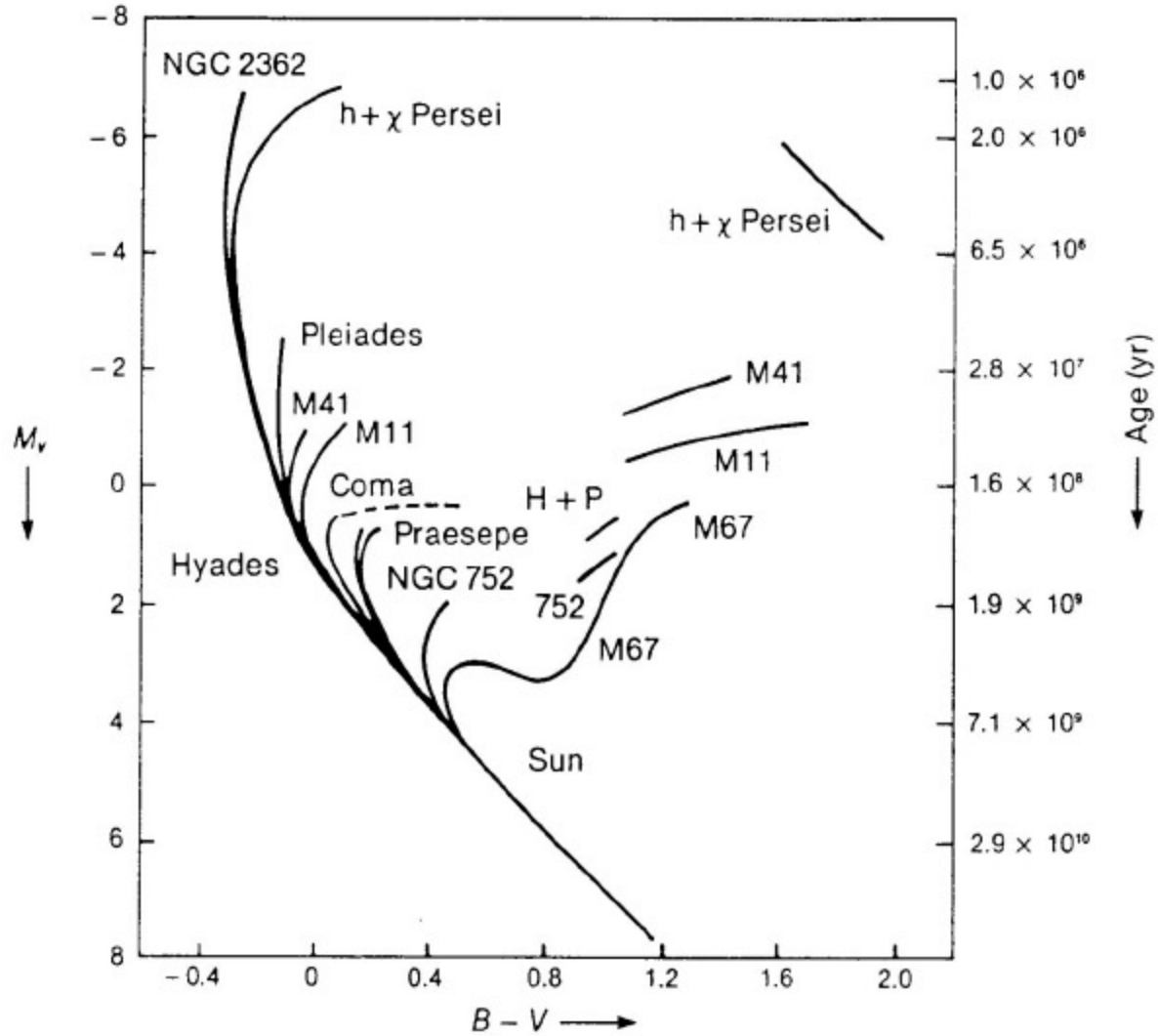
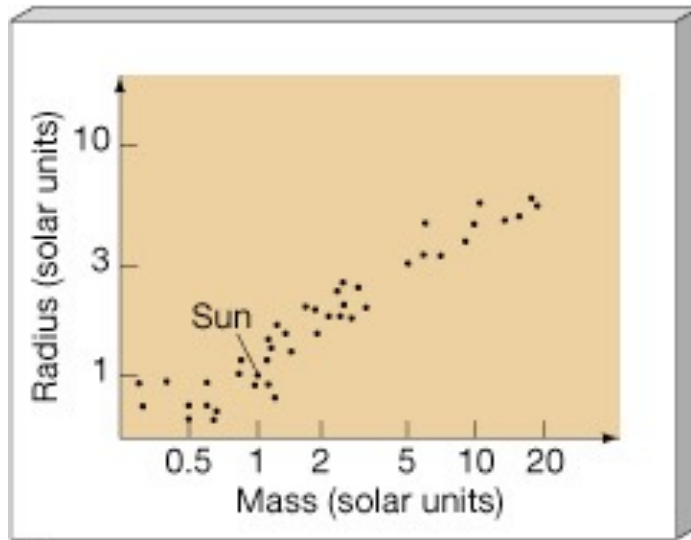


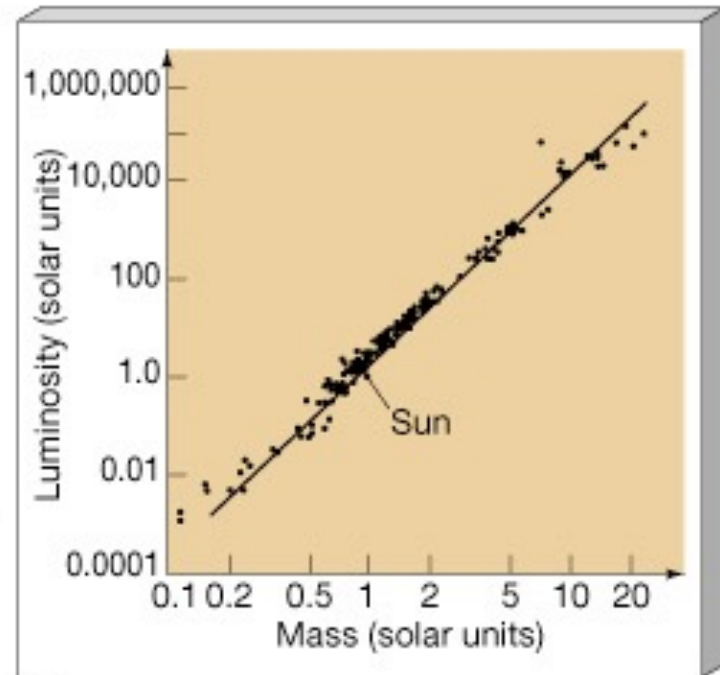
diagram kolor-jasność dla kilku galaktycznych gromad otwartych



Zależność masa-promień i masa-jasność dla gwiazd ciągu głównego



(a)



(b)