

OPT/AST

L11

# Úvod do astrofyziky: Struktura a vývoj hvězd

## *pozorovatelné charakteristiky hvězd*

### všechny hvězdy

- zdánlivá jasnost (magnituda)
- spektrální třída  $O-B-A-F-G-K-M$  a povrchová teplota  $T$
- třída svítivosti (trpaslík, obr, veleobr)
- chemické složení/metalicita

### dostatečně blízké hvězdy

- průměr
- vzdálenost
- zdánlivá jasnost + vzdálenost  $\rightarrow$  absolutní svítivost  $L$

### hmotnost

- blízké (astrometrické) binární systémy
- zákrytové dvojhvězdy

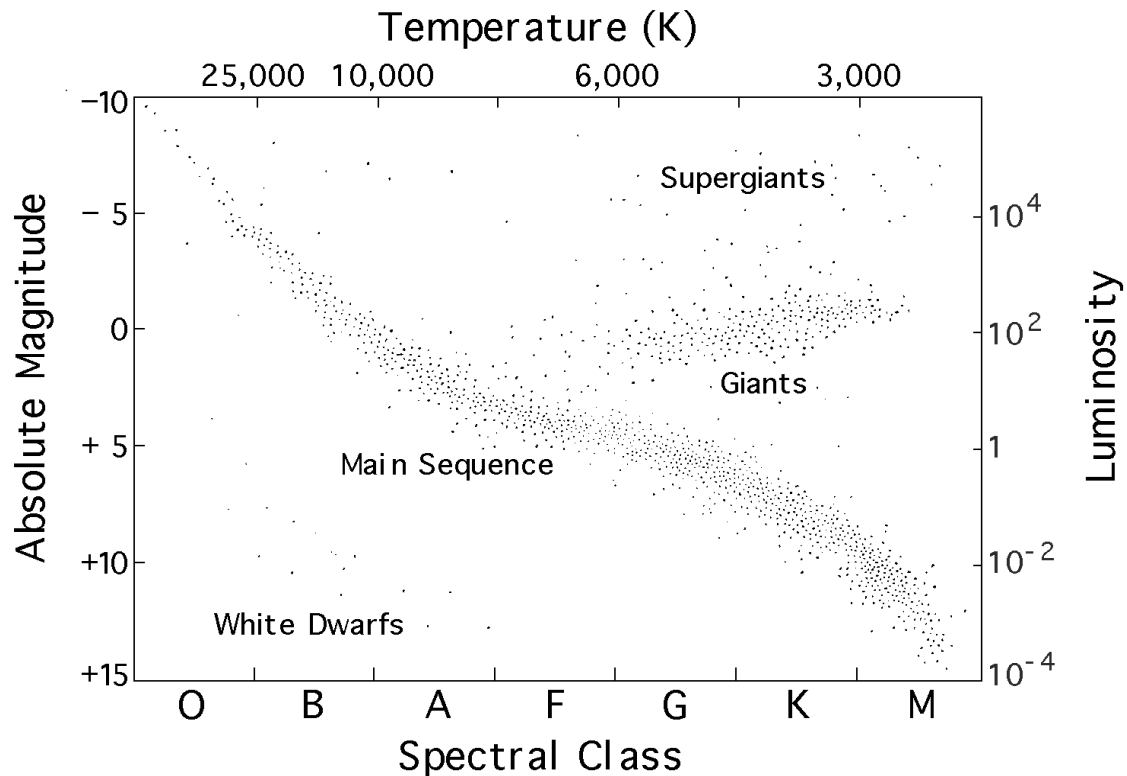
extenzivní veličiny hvězd měříme ve slunečních jednotkách

$$M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$R_{\odot} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$$

$$L_{\odot} = 3,83 \times 10^{26} \text{ W}$$

## Hertzsprungův–Russellův diagram (HR diagram)



absolutní magnituda – magnituda hvězdy přemístěné do vzdálenosti **10 pc** od pozorovatele

shlukování hvězd podle tříd svítivosti

**V** – hlavní posloupnost

**IV** – podobr

**III** – obr

**II** – jasný obr

**Ia, Ib** – veleobr

**VI** – bílý trpaslík

průměr hvězd roste z levého dolního do pravého horního rohu

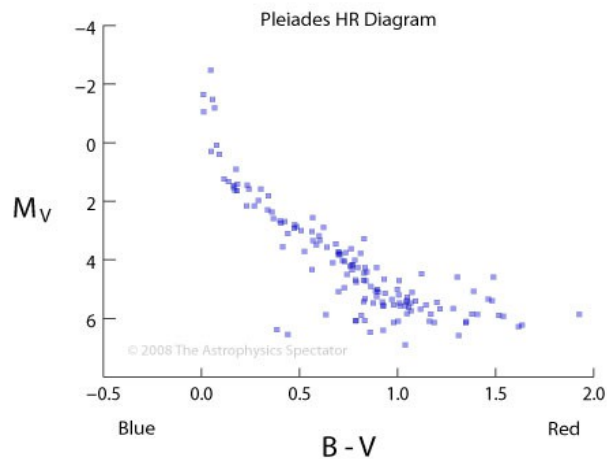
Slunce – **G2V**

## evoluce vs genetika

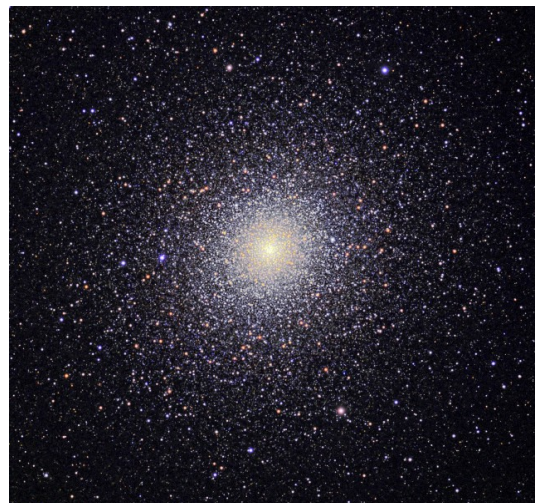
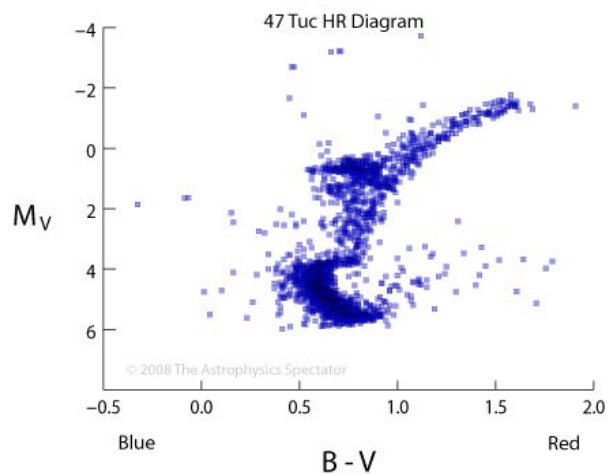
jsou rozdíly mezi hvězdami způsobeny různým stářím nebo různou počáteční hmotností?

př. výška/barva pleti – pomůže sledovat skupiny lidí stejného stáří – obdobně studujeme HR diagramy hvězdokup

### typická otevřená hvězdokupa



### typická kulová hvězdokupa



*poloha na hlavní posloupnosti* je zděděna (hmotnost, chemické složení), zatímco *třída svítivosti* závisí na vývojové fázi (vnitřní stavba, zdroj energie)

## *úvod do teorie hlavní posloupnosti*

model hvězdy

struktura – homogenní koule

stav – ideální plyn

zdroj energie – přeměna **H** na **He** protonovým nebo CNO cyklem

přenos energie – zářením nebo konvekcí

základní rovnice

diferenciální rovnice

- rovnice kontinuity
- hydrostatická rovnováha
- termodynamická rovnováha
- transport energie
- změna chemického složení

algebraické rovnice

- stavová rovnice
- opacita
- rychlost generace energie nukleárními procesy

okrajové a počáteční podmínky

hledáme tlak, hustotu, chemické složení atd. jako funkce vzdálenosti od středu hvězdy a času

obvykle nelze získat řešení v uzavřeném tvaru – numerické řešení

## kvalitativní analýza

hustota  $\rho \propto M/R^3$

tlak  $P \propto M^2/R^4$

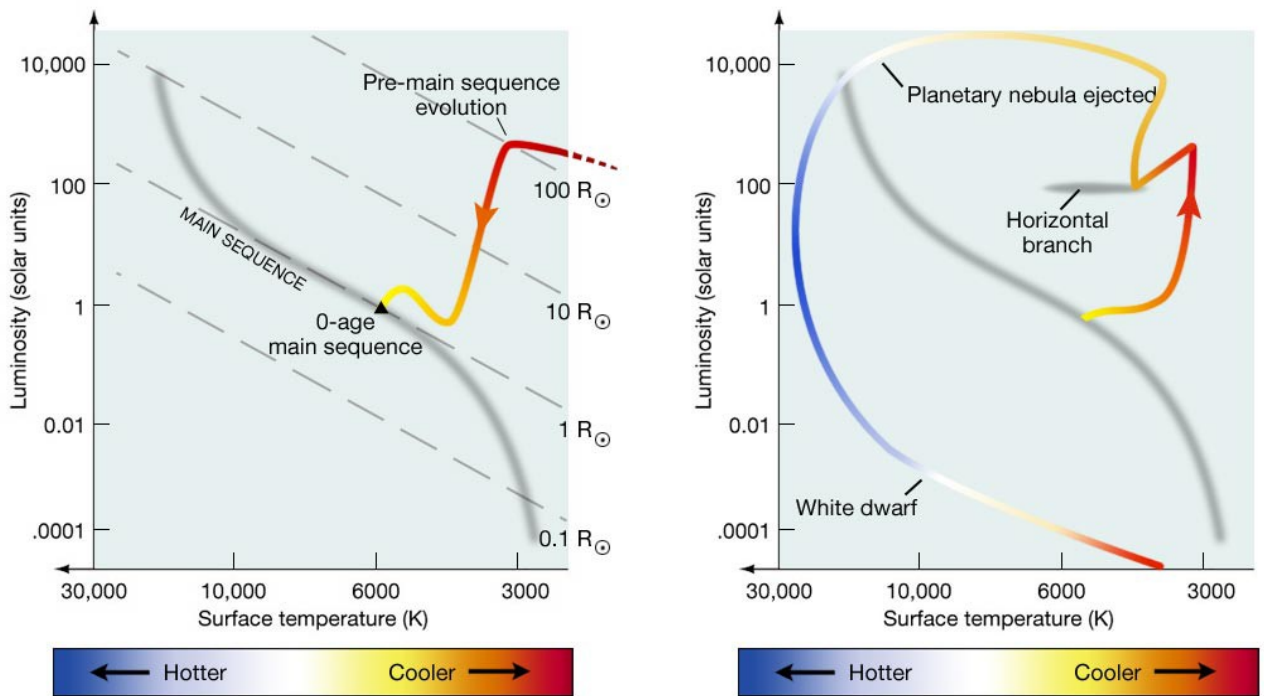
teplota  $T \propto M/R$

svítivost  $L \propto M^3$

doba strávená na hlavní posloupnosti

$$\tau \approx M/L \propto M^{-2}$$

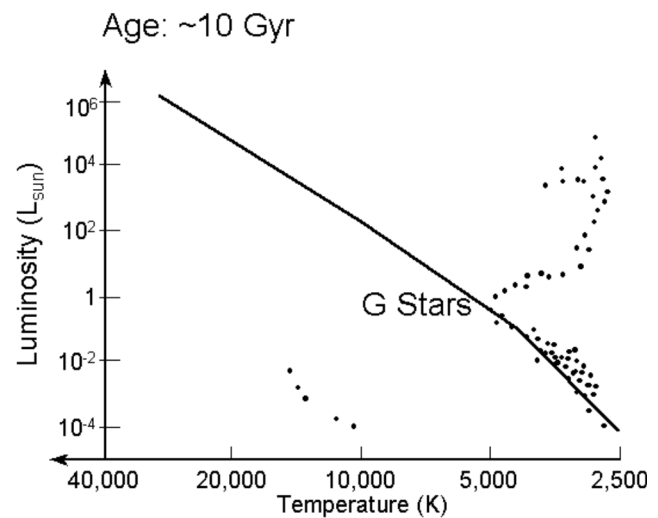
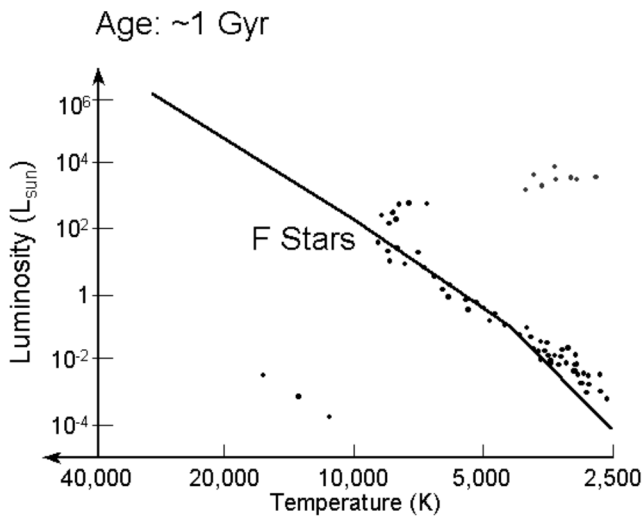
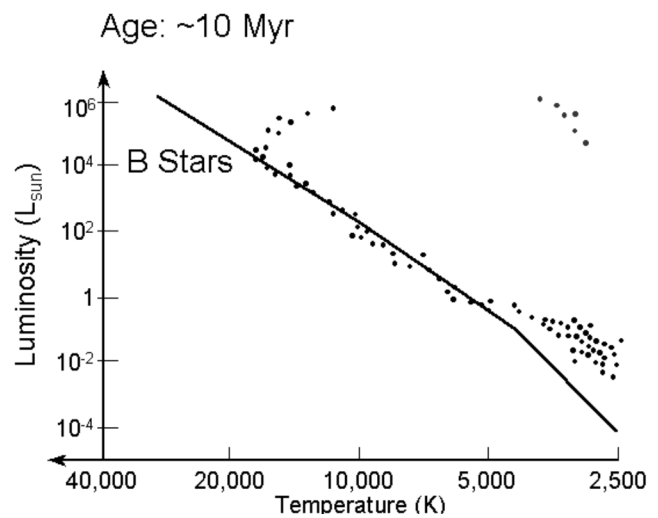
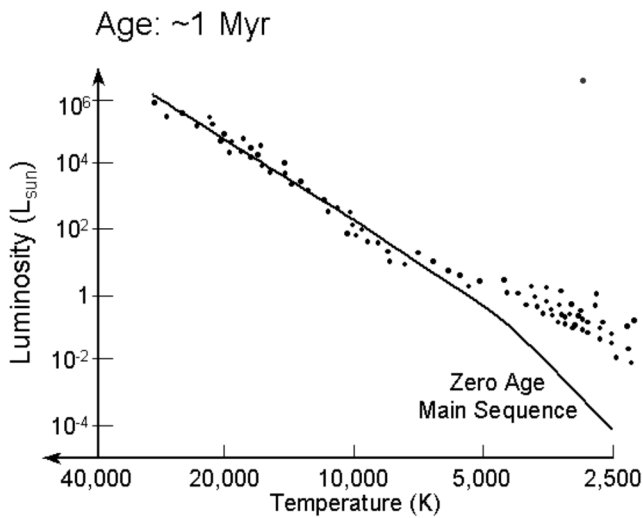
## stručný vývoj hvězdy slunečního typu



- gravitační kontrakce z mlhoviny
- zapálení jaderných reakcí v jádře (p – p cyklus)
- spalování vodíku ve slupce; hvězda opouští hlavní posloupnost a stoupá po větví obrů

- hoření He v jádře (  $3\alpha$  proces), usazení na horizontální větvi
- hoření He ve slupce, hvězda stoupá po asymptotické větvi obrů, nestabilita
- vyčerpání zásob  $\rightarrow$  gravitační kontrakce a degenerace látky uvnitř hvězdy  $\rightarrow$  bílý trpaslík, postupné chladnutí

vypočtené HR diagramy – test teorie



dobrá shoda teorie s pozorováním

konec hlavní posloupnosti umožňuje datovat hvězdokupy, galaxie

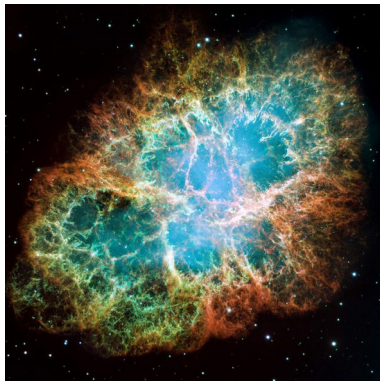
podle obsahu těžkých prvků (kovů) se hvězdy řadí k I nebo II populaci

podle teorie svítivost Slunce od vzrostla o 1/3 – paradox mladého slabého Slunce

Slunce opustí hlavní posloupnost přibližně za 5 mld. let

## *Supernovy*

hvězdné exploze způsobené nestabilitou hvězdy



### supernovy Ia

- ve všech typech galaxií
- nestabilita v důsledku explozivního hoření uhlíku v degenerované látce při kolapsu bílého trpaslíka po dosažení Chandrasekharovy meze
- progenitor je binární systém s bílým trpaslíkem a výměnou hmoty
- žádný pozůstatek

### supernovy ostatních typů (Ib, II, ...)

- pouze v ramenech spirálních galaxií
- nestabilita v důsledku zhroucení železného jádra masivní hvězdy (obrácený beta rozpad, fotodisociace)

- potenciální energie se uvolňuje ve formě mechanické (rozpínání obálky) a neutrin (endotermické procesy v obálce, vznik nestabilních izotopů Ni ...)
- progenitor je masivní hvězda s počáteční hmotností  $M > 8 M_{\odot}$
- typický pozůstatek je neutronová hvězda

světelná křivka supernovy má výrazné maximum, následuje obvykle exponenciální rozpad (56Ni - 6 dní, 56Co – 77 dní)

supernovy Ia se využívají jako tzv. standardní svíčky pro určování vzdáleností galaxií

poslední zazámenaná supernova v naší Galaxii – 1604 Oph

poslední okem pozorovatelná supernova – 1987 LMC  $\sim 3^m$