

Vybrané paradoxy hvězdného vývoje

Michal Švanda

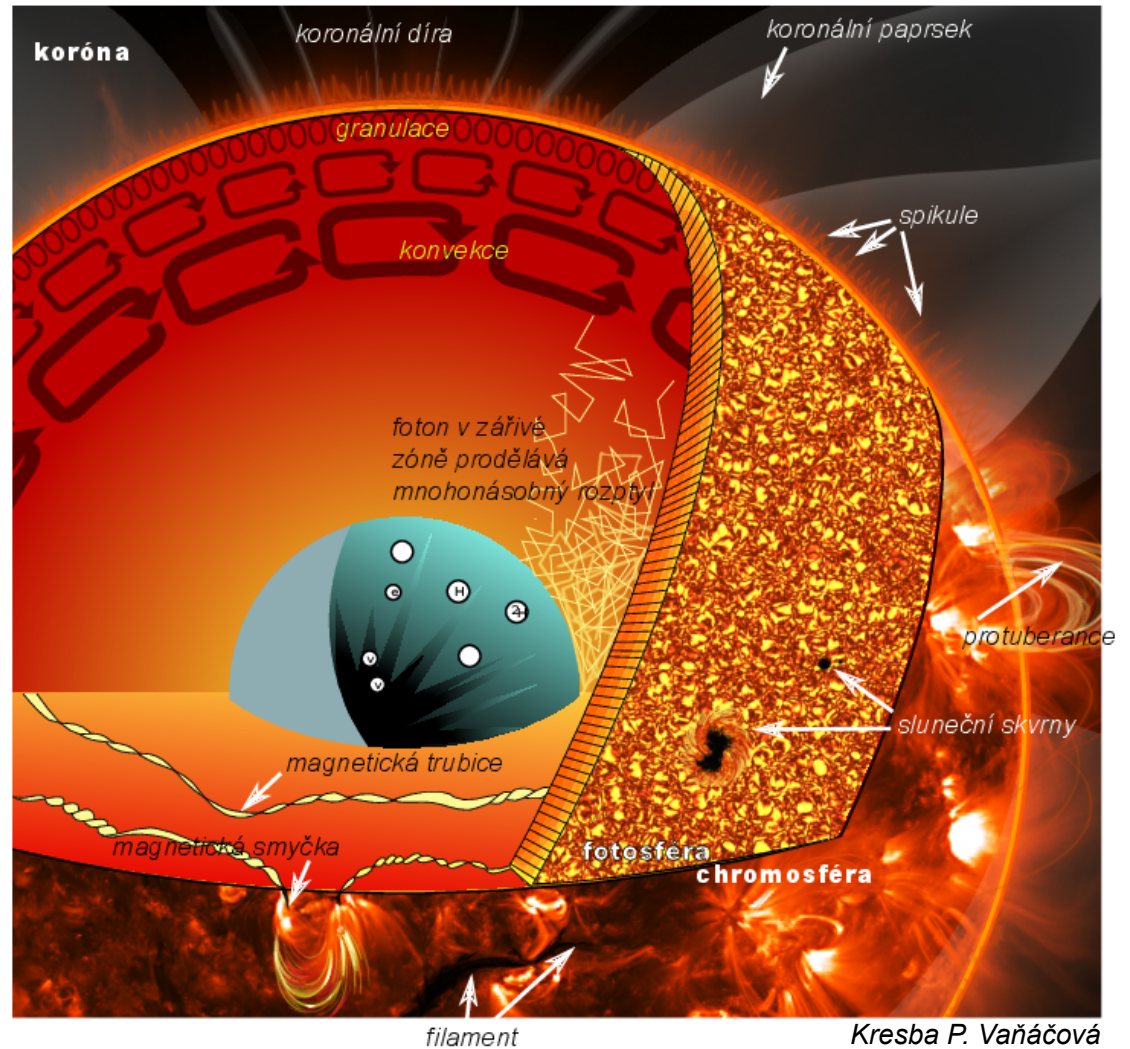
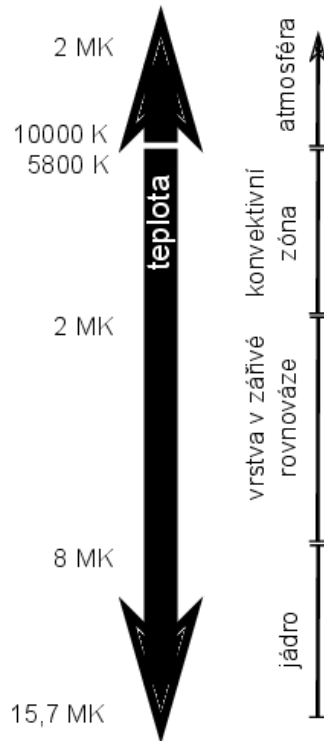
*Astronomický ústav AV ČR, v.v.i., Ondřejov
Astronomický ústav UK, Praha*

Hvězdy, kořeni vesmíru

- Pouhá 4,9% hmoty a energie vesmíru baryonické hmotě
- Z toho 95 % koncentrováno v plynu, 5,6 % ve hvězdách a zbytek ve smetí
 - Fukugita&Peebles, ApJ 616 (2004) 643 – inventura
- Hvězda – astrofyzikální objekt, který je po většinu času v hydrostatické rovnováze a po značnou část života si vyrábí energii termojadernou fúzí v nitru
- Hmotnost 0,01 – 100 Sluncí
- Teploty 2500 – 100 000 K
- Poloměr 10 km – 1000 Sluncí
- Svítivost až 100 000 Sluncí



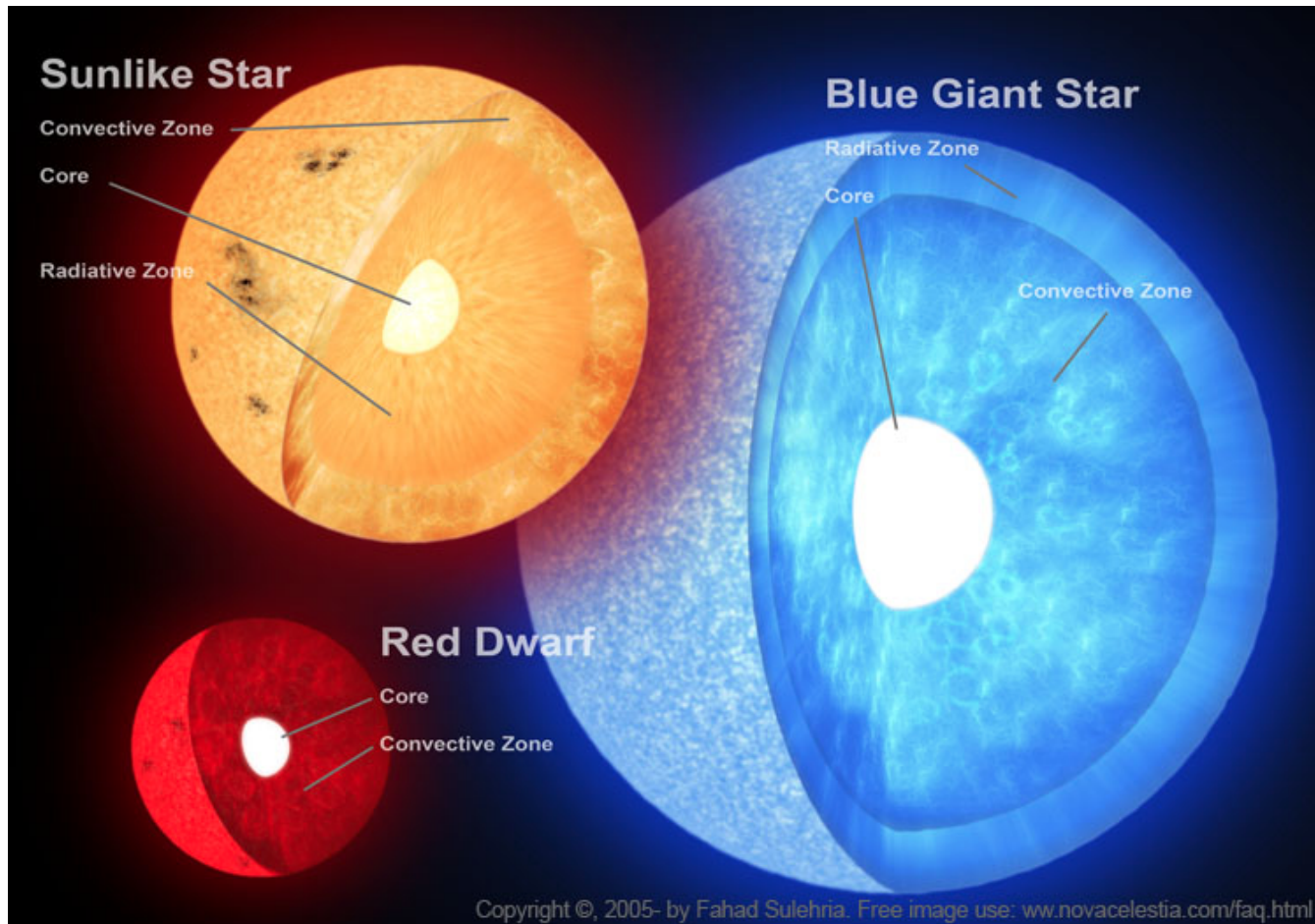
Slunce: naše nejbližší hvězda



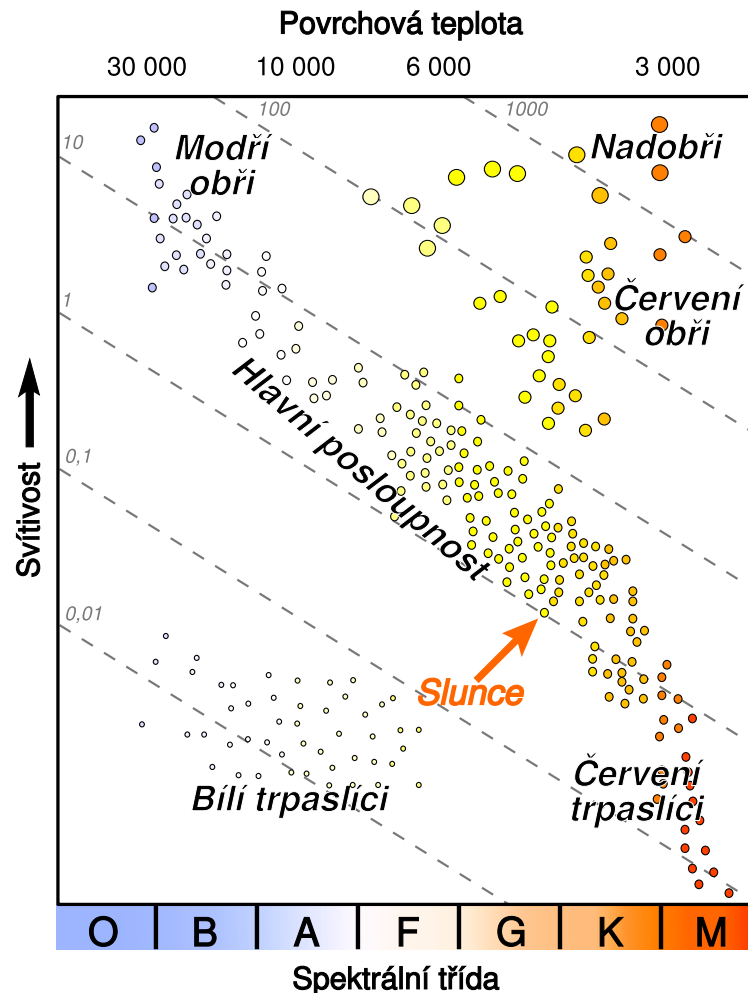
Kresba P. Vaňáčková

Vnitřní struktura jiných hvězd

- Velmi silná funkce počáteční hmotnosti (hmotnější hvězdy mají strmější průběh stavových veličin)



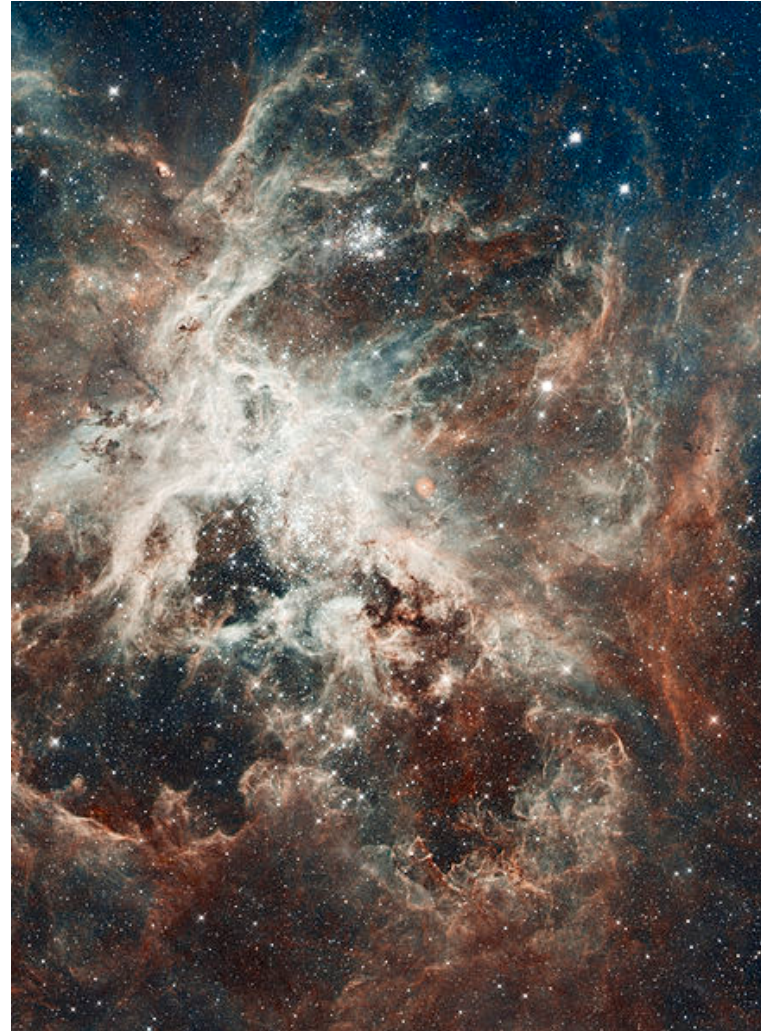
Hertzsprungův–Russelův diagram



- Vznik na počátku 20. století na základě spektroskopických přehlídek
- Základní diagnostický nástroj pro určování vlastností hvězd
- Hlavní posloupnost
- Hvězda během života po H-R diagramu cestuje (“vývojová stopa”)

Hvězda se rodí

- Hvězdy vznikají gravitačním kolapsem (samovolným nebo indukovaným) obřího molekulového oblaku
 - $M \sim 6 \times 10^5$ Sluncí
 - $R \sim 100$ ly
 - $\rho \sim 100 \text{ cm}^{-3}$
 - $T \sim 10 \text{ K}$
- Kolaps hierarchický, *globule* hmotnosti hvězdné
- Rychlá ($\sim 10\,000$ let) počáteční fáze, pak ustavení rovnováhy, další kolaps řídí prach (60-100 K), centrální teplota roste
- Hustota 10^{-10} kg/m^3 , stomiliardkrát původní

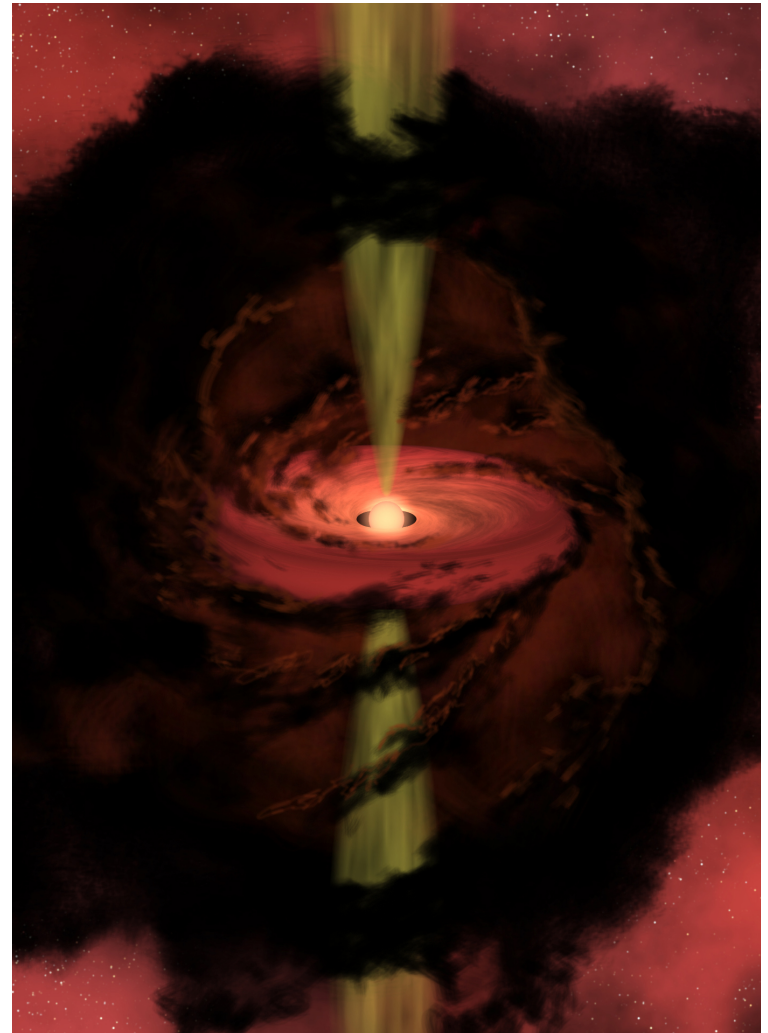


Paradox č. 1

- Hvězdy svítí, protože jsou horké
- Ve vesmíru je množství plynu různých teplot, horkého i chladného
- **Hvězdy však vznikají pouze z toho nejchladnějšího plynu!**
 - Vhodný materiál jen někde

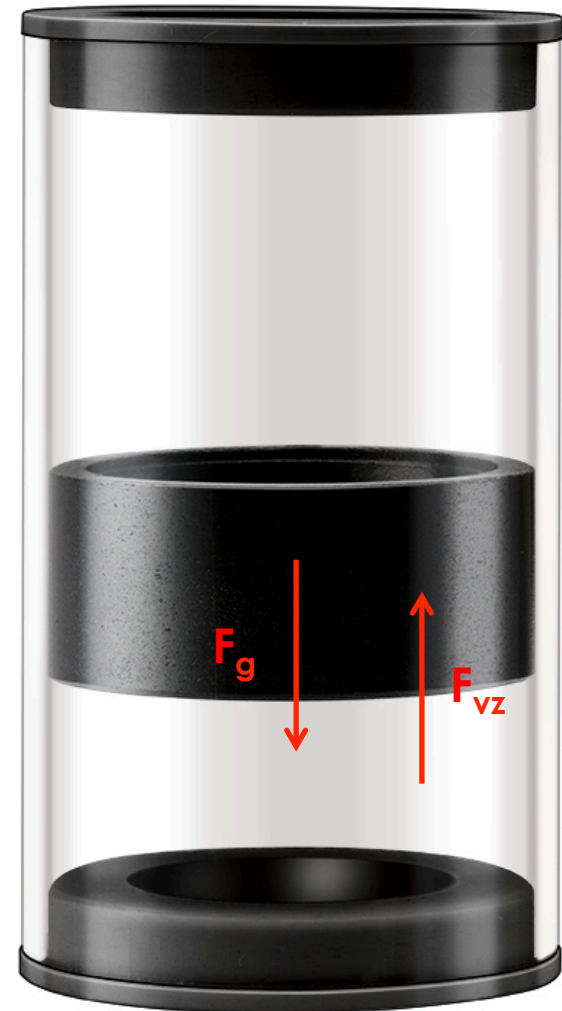
Protohvězda

- Překročení hranice 2000 K, rozpad molekul vodíku a záhy jeho ionizace – spotřebuje se energie, následuje rychlý kolaps
- Centrální hustota nyní 10^{-5} kg/m^3
- Akrece z disku
- Centrální teplota nad 1 MK, zapalují se první termojaderné reakce, aby se udržela hydrostatická rovnováha



Hydrostatická rovnováha

- ▣ Píst s pracovní náplní: rovnováha sil
 - ▣ Gravitace dolů
 - ▣ Vztlková síla nahoru
 - ▣ Přitlačením pístu dolů se ustanoví nová rovnováha, pracovní látka se zahřeje, vztlková síla se zvětší
 - ▣ Píst nepadne



Paradox č. 2

- ❑ Slunce by se mělo vlastní gravitací zhroutit za 27 minut
- ❑ Nezhrouťí se, protože proti gravitaci působí vnitřní síly, zejména gradient tlaku plynu (vztlaková síla) a tlaku záření – hydrostatická rovnováha
- ❑ Smršťování: viriálový teorém – půlka potenciální energie na ohřev, půlka musí pryč (zářením)
- ❑ Záření z povrchu (se 4. mocninou teploty) – ochlazování
 - ❑ Tedy čím více se hvězda z povrchu ochlazuje, tím více se ohřívá uvnitř (až se zažehnou termojaderné reakce)
- ❑ **Termojaderné reakce** kontrakci i ohřev nitra zastaví!
 - ❑ **Jsou tu proto, aby se hvězda příliš neohřála!**

Dospělost hvězdy

- Hvězda na tzv. hlavní posloupnosti
- V jádře probíhají vodíkové termojaderné reakce
- Mění se chemické složení v jádře – roste hustota i teplota a tedy zářivý výkon jádra
 - Hvězda se pomalu rozpíná, obal řídne
- Až v jádře dojde vodík, bude dále hořet ve slupce kolem – hvězda se rozepne, ještě zřídne, výkon reakcí roste
 - Červený obr



Paradox č. 3

- Tempo reakcí v nitru je právě takové, aby se kompenzovaly ztráty energie obalem hvězdy
- **Výkon reaktoru je regulován nikoli stavem nitra, ale stavem obalu!**
- Červení trpaslíci – husté a neprůhledné obaly – reaktory “doutnají” – žijí desítky miliard let
- Horké hvězdy – řídké obaly – energie uniká – překotné tempo reakcí – žijí max. miliardy let
- Vyžilé hvězdy – nafouknuté a tudíž řídké obaly – rychlé tempo reakcí – vývoj se zrychluje (Slunce hlavní posloupnost cca 11 miliard let, jako rudý obr jen miliardu)

Rudý obr

- ❑ Vodík hoří ve slupce, v nitru se hromadí héliový popel
- ❑ Slupka se prokusuje k povrchu, má dost čerstvého materiálu, zabírá větší objem, výkon veliký, hvězda nazřízeně expanduje
- ❑ Héliové nitro však kolabuje vlastní gravitací, jeho teplota roste, je to elektronově degenerovaný plyn (=nemá teplotní rozvrstvení)
- ❑ Centrální teplota 10^8 K, heliový záblesk
 - ❑ V celém nitru najednou se zapálí héliová reakce



Paradox č. 4

- Héliový záblesk: během několika sekund naroste produkce jádra na 10^{11} -násobek normální energetické produkce hvězdy
- Je to výbuch!
- Vzniká rázová vlna šířící se nitrem do obálky
- Obálka je však řídká a rázovou vlnu ztlumí
 - Na povrchu není zprvu výbuch v nitru vůbec vidět, **héliový záblesk hvězdu nerozmetá!**
 - Odsune se však hořící vodíková slupka dále od nitra – nižší teplota – nižší výkon
- Nitro překoná elektronovou degeneraci (na to je též spotřebována značná část explozivní energie) a zahájí se klidová termojaderná fúze hélia.
- Hvězda se v důsledku detonace v jádře smrští

Asymptotická větev obrů

- Héliový záblesk sníží svítivost, hvězda dočasně splaskne
- Vnitřní struktura slupková, opětovná expanze (Slunce v nitru C,N,O, obří hvězdy až Fe, Ni)
- Termální nestability, odhazování obálek
 - Hvězdy slunečního typu vytvářejí planetární mlhoviny
- Vývoj se ještě zrychluje
 - Miliony let



Závěrečná stádia života hvězd

- Málo hmotné hvězdy
 - Odhalené C,N,O jádro – bílý trpaslík
+ krátce planetární mlhovina
- Hmotné hvězdy (cca 2 až 10 hmotností Slunce)
 - Neutronová hvězda
 - Kolaps rychlý – výbuch supernovy
- Velmi hmotné hvězdy
 - Výbuch supernovy
 - Kolaps na černou díru



Paradox č. 5

- Astrologie (=osud člověka je dán při jeho narození) je obecně vzato nesmysl a astronomové proti ní všemožně bojují
- Pro hvězdu lze však stanovit její “horoskop” již krátce po jejím zrození
- Všechny děje ve hvězdách jsou popsány fyzikálními zákony, rovnice umíme řešit, současné modely hvězd jsou vysoce spolehlivé
 - Stále nějaké problémy (rotace, konvekce, hvězdný vítr)
- *Základní paradigma: život hvězdy je dán její hmotností*