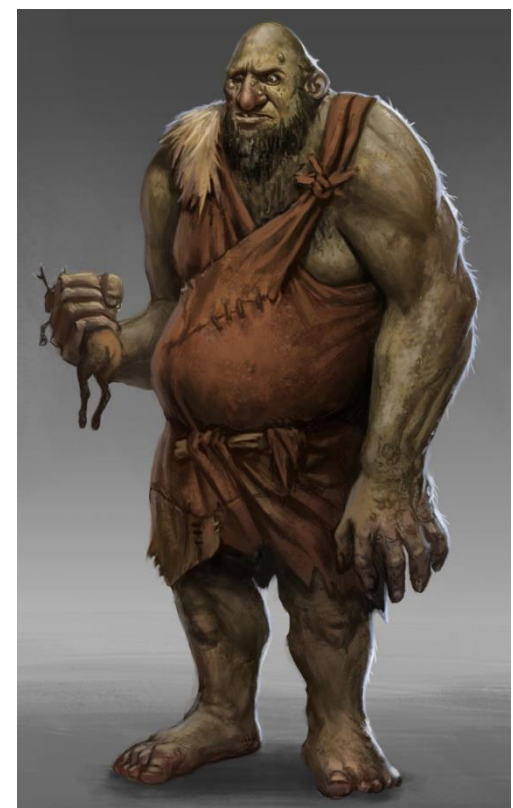


Trpaslíci a obři ve světě hvězd

Miloslav Zejda

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky,
Přírodovědecká fakulta,
Masarykova univerzita

Ve světě obrů a trpaslíků



HR diagram

Počátek 20. st. – studie závislosti zářivého výkonu hvězd na jejich spektrální třídě

Nejznámější práce: Einar Hertzsprung (1905, 1911)

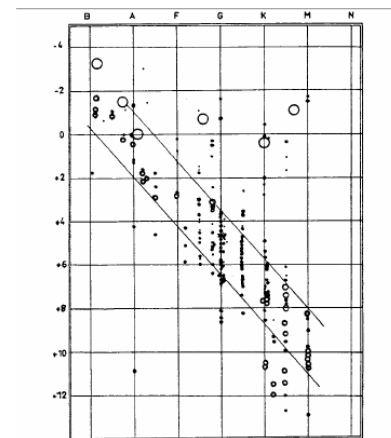


Henry Norris Russell (1913)

Russellova přednáška (1913) – tiskem The Observatory 36, str. 324-329

“Giant” and “Dwarf” Stars

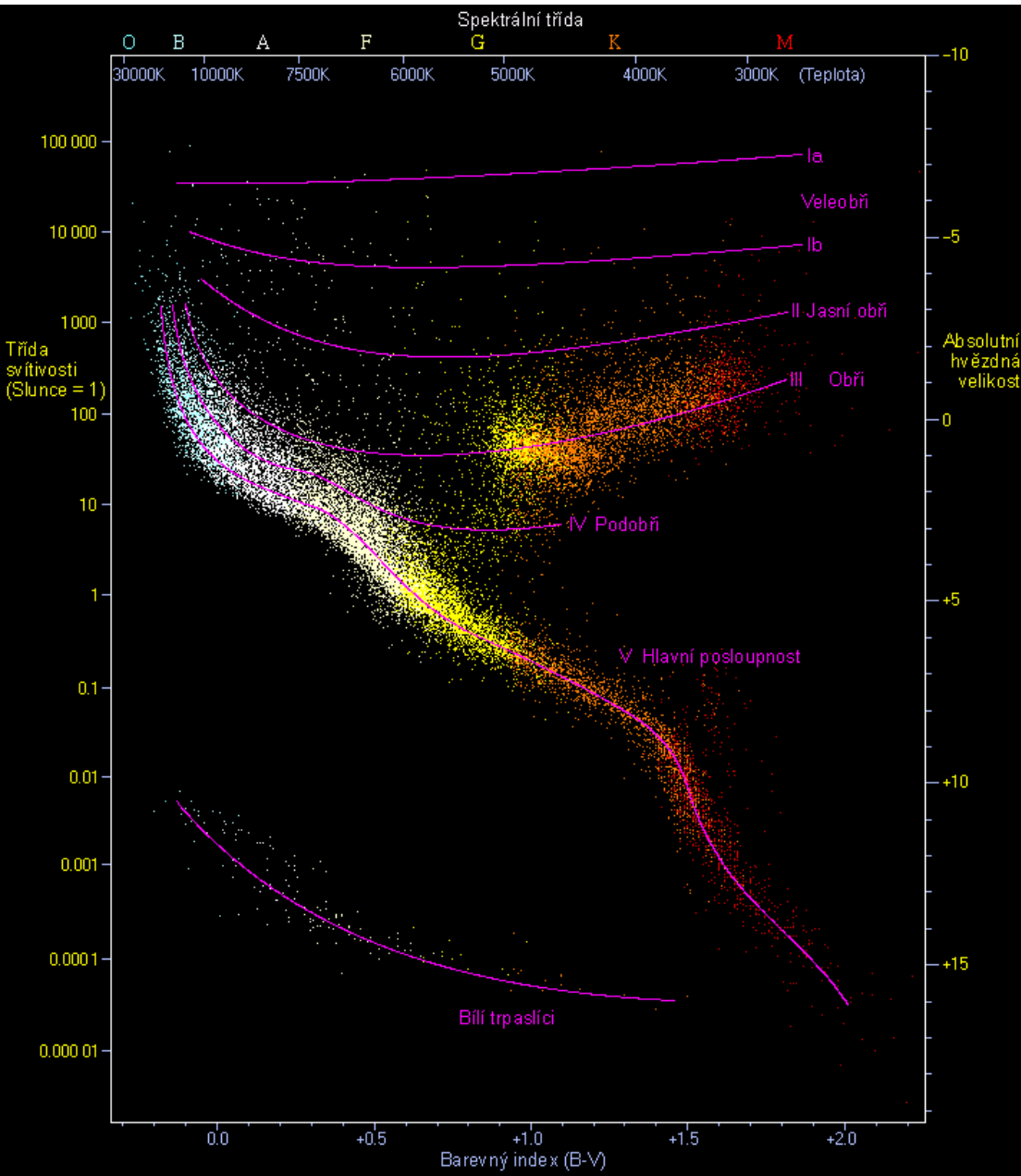
probably not really separated in Class F. These series were first noticed by Dr. Hertzsprung, of Potsdam, and called by him “giant” and “dwarf” stars. All I have done in this diagram is to use more extensive observational material. The dwarf stars,



RUSSELL'S ERSTES DIAGRAM (veröffentlicht in Popular Astronomy, 1914)

Abzisse: Spektraltyp. System MITTS CANNON.
Ordinate: Absolute Helligkeit.

- • Sterne mit einem Fehler der Parallaxe < 42%
- • Sterne mit einem Fehler der Parallaxe > 42%
- • Parallaxe mindestens zweimal gemessen
- • Parallaxe nur einmal gemessen
- • Mittelwert für eine große Zahl einzelner Sterne, deren Eigenbewegungen und Parallaxen an der Grenze der Meßbarkeit liegen.



0 – extrémně zářiví veleobří

Ia – jasní veleobří - Beteleuse

Ib – (normální) veleobří - Antares

II – jasní obří (nadobří) - Canopus

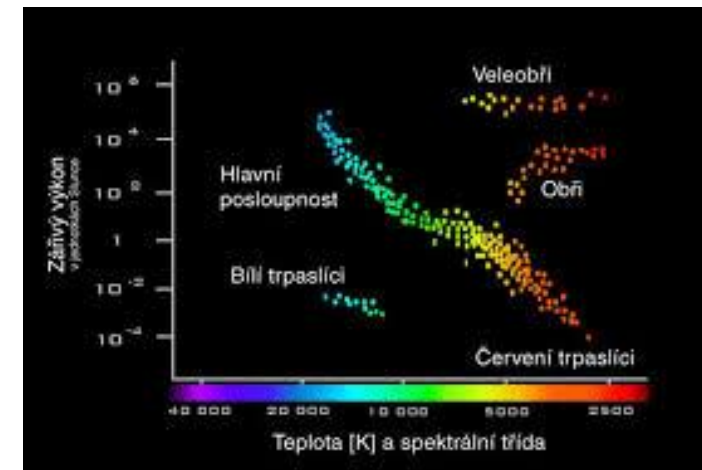
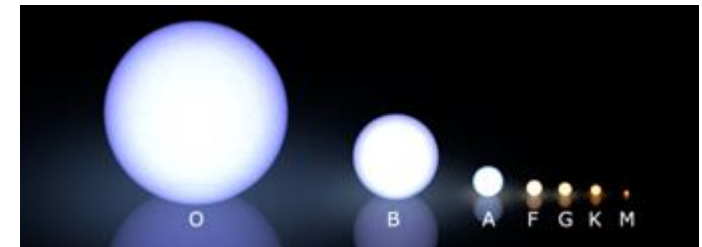
III – (normální) obří - Aldebaran

IV – podobří - Procyon

V – hvězdy hlavní posloupnosti - Slunce

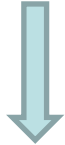
VI (sd) – podtrpaslíci – Kapteynova hvězda

VII (D) – bílí trpaslíci – Síríus B (např.)

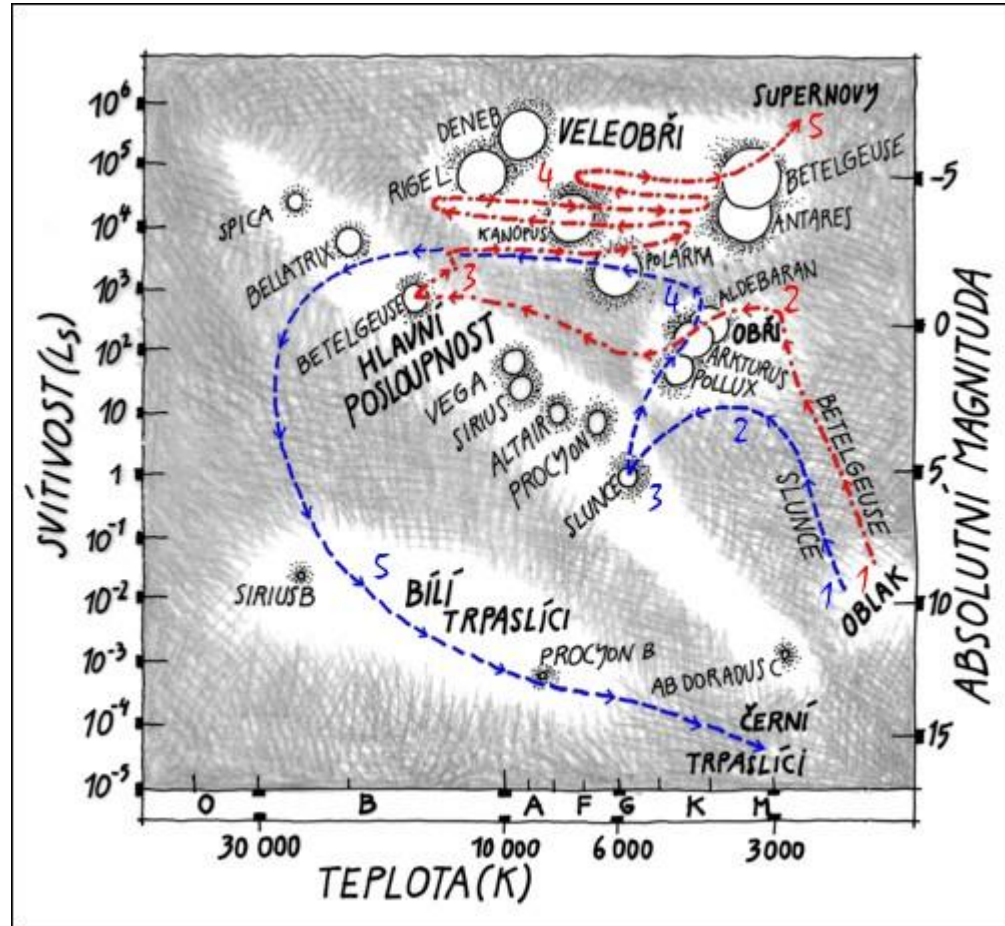


HR diagram – nejen statický obraz

Vývoj hvězd = změna vlastností (parametrů) hvězdy



změna polohy v HRD



Hvězdné porodnice

hvězdné porodnice = GMCs (obří molekulová mračna) nebo části - neforemná oblaka chladného, hustého molekulárního vodíku

- rozměry – 10 - 200 pc
- teploty – kolem 15 K
- hmotnosti – řádově M_{\odot} až $10^7 M_{\odot}$
- hustoty – 10^2 - 10^3 částic/cm³, zhustky až 10^6 částic/cm³
- složení – až 99 % H₂, 1-10 % prach

=> z jednoho oblaku desítky až tisíce nových hvězd

závislost velikosti fragmentů na metalicitě

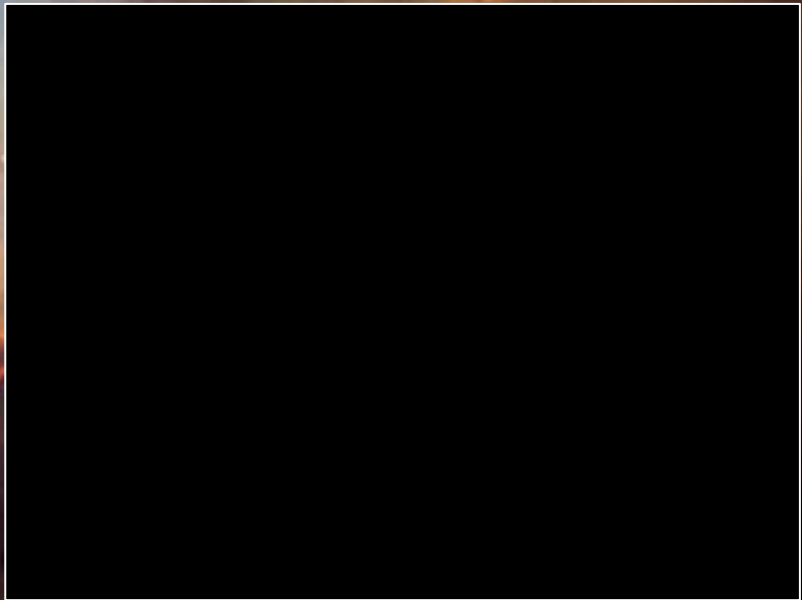
vnější působení => změna podmínek, gravitace vítězí => začíná kolaps

možné příčiny kolapsu:

- srážka s jiným mračnem
- výbuch blízké supernovy (rázová vlna)
- blízký vznik hmotné hvězdy typu O nebo B
- průchod mračna spirálními rameny Galaxie

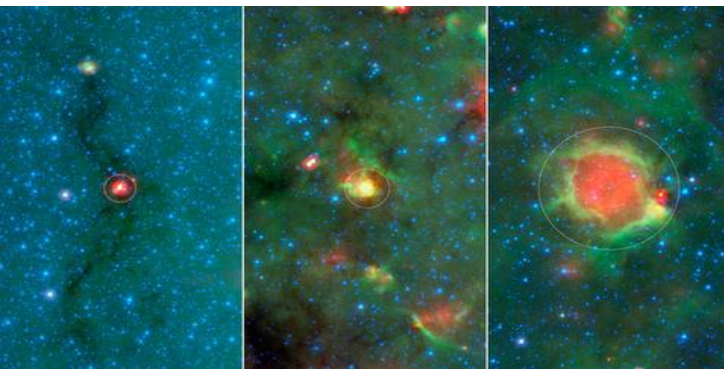
Tarantula, 30 Dor





Do vzniku hvězdy

- fragment – chomáč, plynná koule – **velikost (hmotnost) rozhoduje o osudu budoucí hvězdy**
- (pro budoucí Slunce) fragment 100x větší než Sluneční soustava
 - smršťování => zvyšuje se hustota => roste tlak a teplota (vyzáří se jen ½ energie)
 - až je fragment velikostí srovnatelný s rozměry Sluneční soustavy
 - v centru se vytvoří hustá neprůhledná oblast => fragment se začíná podobat hvězdě – **protohvězda**
 - ❖ ukryta v zárodečném materiálu & velmi krátká etapa (10^4 - 10^5 let) => velmi málo pozorovaných protohvězd x lze pozorovat bubliny v mezihvězdné látce, příznak vznikající hvězdy



Do vzniku hvězdy

místo vzniku zahalené opticky tlustým diskem

Visible

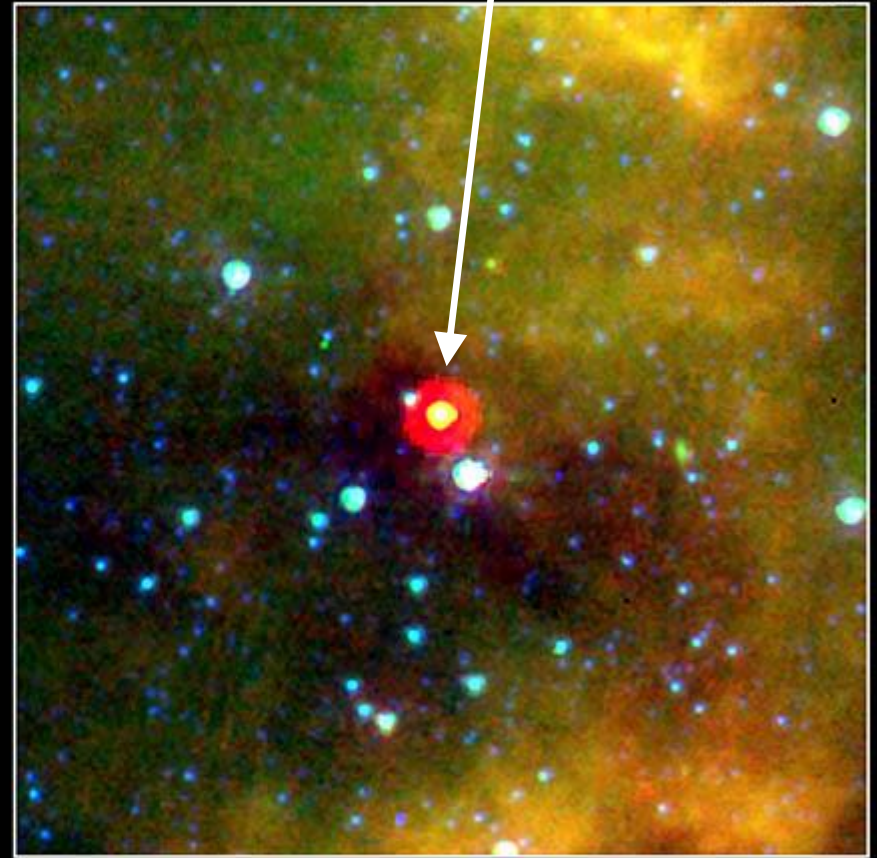


"Starless" Core L1014

NASA / JPL-Caltech / N. Evans (Univ. of Texas at Austin)

formující se hvězda

Infrared



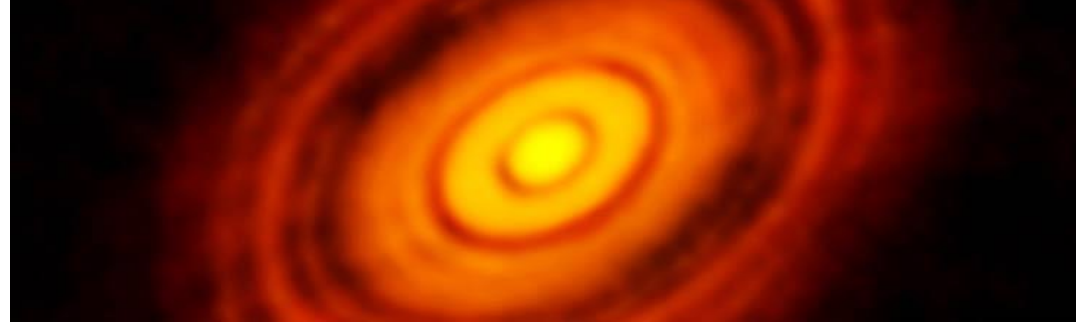
Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS

Visible: DSS

ssc2004-20a

Do vzniku hvězdy

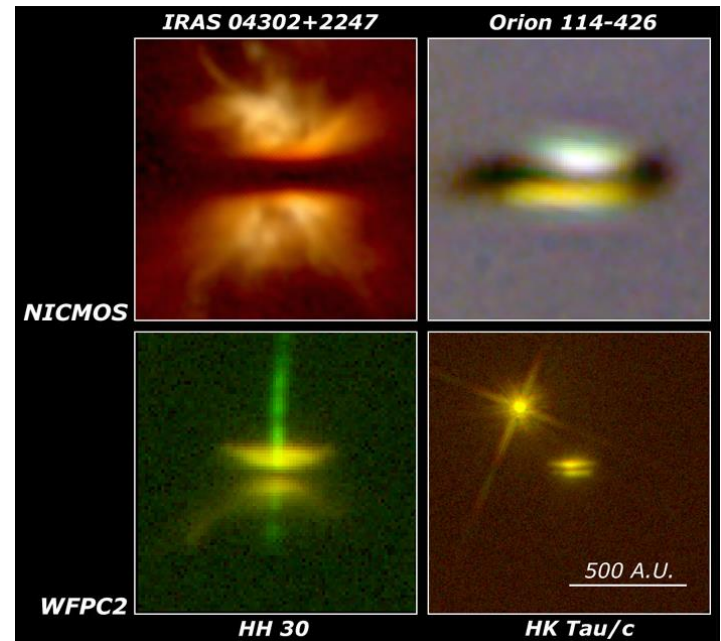
Protohvězdy s disky



- původní chomáč plynu se smršťuje, ale také rotuje => zplošťuje se → disk kolem rovníku protohvězdy
- **úklid disku** po zformování protohvězdy (plyn „zmizne“ do 6 mil. let)
 - část materiálu spadne na protohvězdu
 - část poslouží ke zformování planet
(část je odvanuta z okolí hvězdy později po zapálení jaderných reakcí)

Výtrysky (jety)

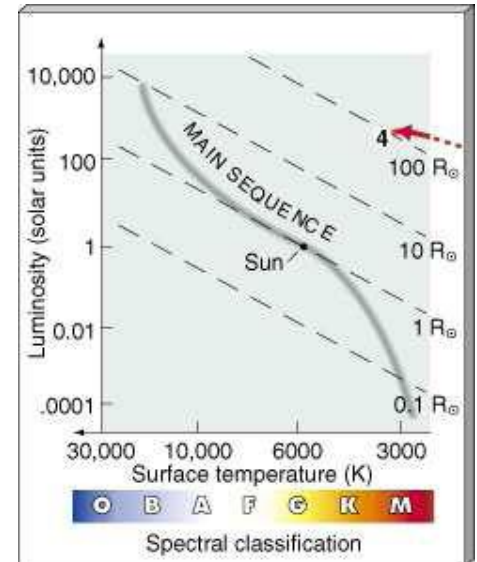
- v polárních oblastech – odklizení přebytečné hmoty a energie

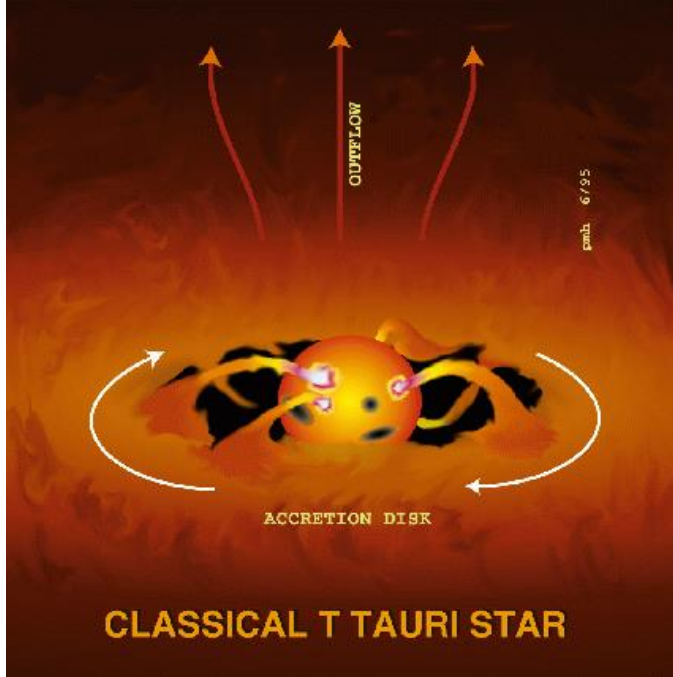


Do vzniku hvězdy

- rychlé smršťování → růst hustoty
- růst teploty v jádru (až na 10^6 K) i na povrchu (na cca 3000 K)
- dosažení velké hustoty a teploty v centru vede ke zpomalení smršťování
- velikost protohvězdy > Slunce (\approx trajektorie Merkuru) – protoslunce jako obr
- zářivý výkon až $1000 L_{\odot}$, i když $T_{\text{eff}} = \frac{1}{2} T_{\text{eff}} \text{ Slunce}$
- teplota v jádru nestačí na zapálení jaderných reakcí => zářivý výkon je krytý z potenciální energie
- pro hvězdu typu Slunce cca $3 \cdot 10^7$ let
- poprvé lze objekt zakreslit do HR diagramu => začátek vývojové dráhy hvězdy v HRD

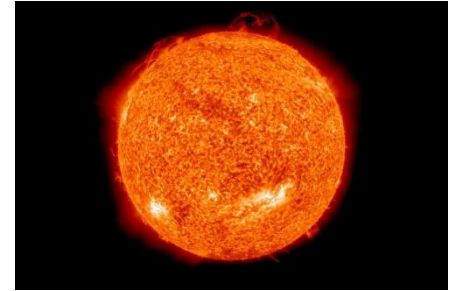
- ❖ smršťování pokračuje, protohvězda plně konvektivní
 - => hvězda je chemicky stejnorodá, dokonale promíchaná
 - => silná povrchová aktivita, silný hvězdný vítr (fáze T Tauri)





Zrození nové hvězdy (Slunce)

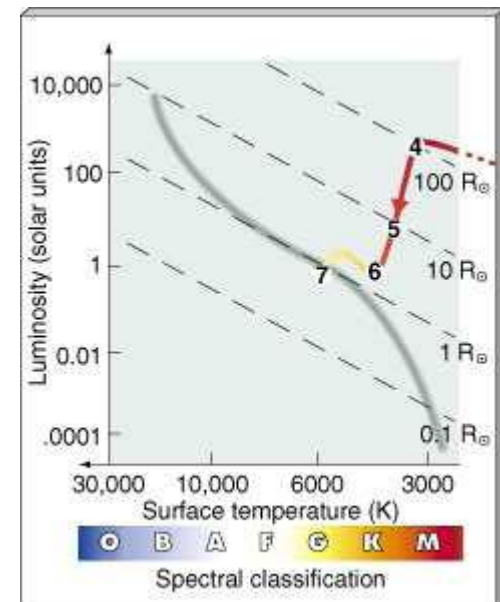
v nitru se zapalují jaderné reakce!



- hmotnost – cca sluneční
- teplota v jádře dosáhla mez pro zapálení jaderných reakcí ($10-15 \cdot 10^6$ K)
- povrchová teplota – menší než sluneční
- velikost – mírně větší než Slunce
- zářivý výkon – menší než Slunce (chladnější fotosféra)
- hvězda na hlavní posloupnosti HRD

*pro hvězdu typu Slunce trval popsán vznik
40-50 miliónů let*

*z celkové doby života Slunce (10 mld let)
méně než 1 %!*



„Život“ na hlavní posloupnosti

hvězdné „období klidu“ - řádově $10^6 - 10^{10}$ let

$$\text{čas na hlavní posloupnosti } t_{HP} = 10^{10} \left(\frac{1}{M}\right)^{2.5} \text{ let} \quad (M \text{ v } M_{\odot})$$

čím má hvězda větší hmotnost, tím rychleji se vyvíjí!

větší hmotnost

vyšší tlak
a teplota

rychlejší
jaderné reakce

KRATŠÍ ŽIVOT

menší hmotnost

menší tlak
a teplota

pomalejší
jaderné reakce

DELŠÍ ŽIVOT

Konec klidu na HP

aneb

Bude ze Slunce obr nebo trpaslík?

až začne docházet palivo - v centru jen cca 5 % H

-> výrazné snížení výroby energie

⇒ smrštění jádra

⇒ místa s více H poklesnou hlouběji do teplejších míst

⇒ může se zapálit H ve slupce kolem jádra - *slupkové hoření vodíku*

Důsledky:

- jádro hvězdy - nadále se smršťuje a zahřívá

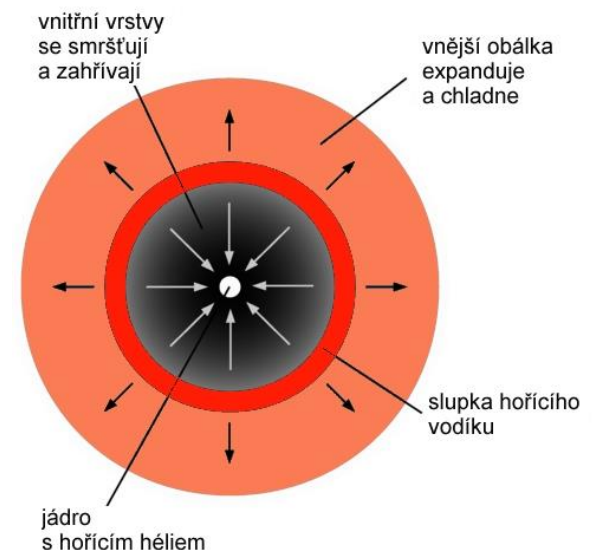
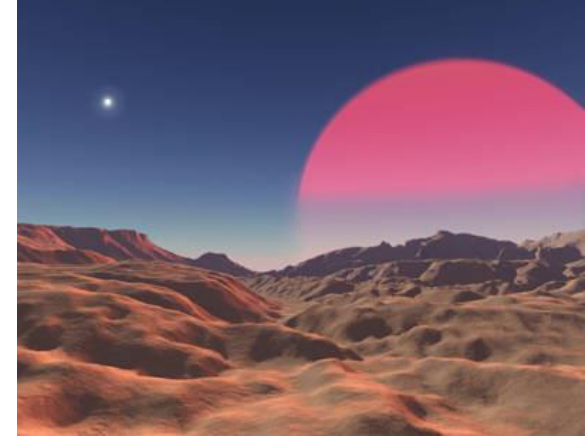
-> vyšší produkce energie ve slupce

- obálka hvězdy – zvýšený tok energie zdola

⇒ rozpíná se a chladne

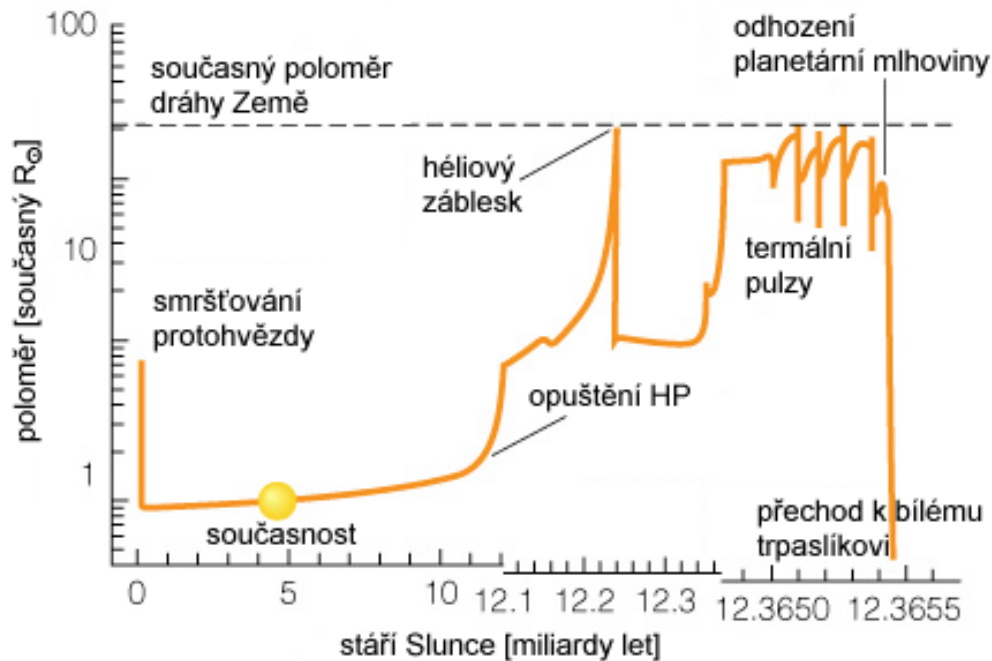
⇒ **červený obr** nebo **veleobr**

⇒ stěhování v HRD

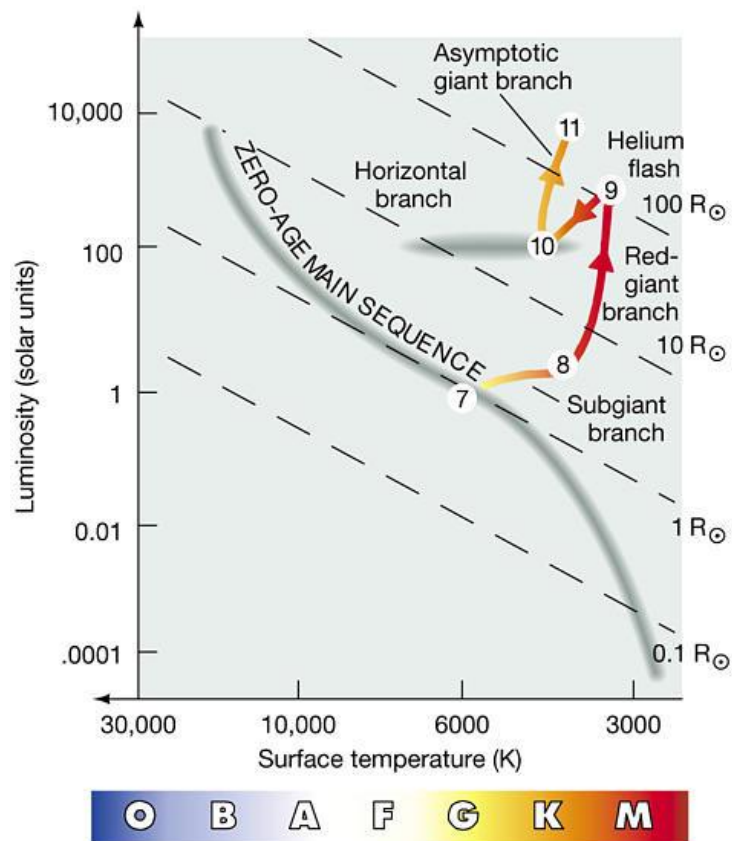


Hvězdní obři a veleobři

- ve fázi obra nebo veleobra - vývoj prudce zrychlí
- výrazné změny parametrů
- smršťování nitra hvězdy x rozpínání obálky
- při centrální teplotě $\sim 100 \cdot 10^6$ K – zažehnutí He \rightarrow C (3α proces) – He záblesk (pro hvězdy $M < 2.3 M_{\odot}$)
- v obálce silná konvekce – silný hvězdný vítr – hvězda nestabilní (ztráty 30 - 85 % hmoty) – planetární mlhovina

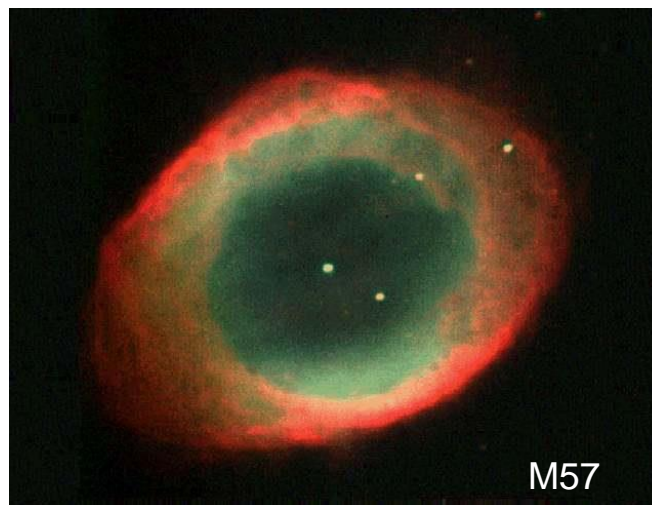


Změny velikosti Slunce v průběhu vývoje.

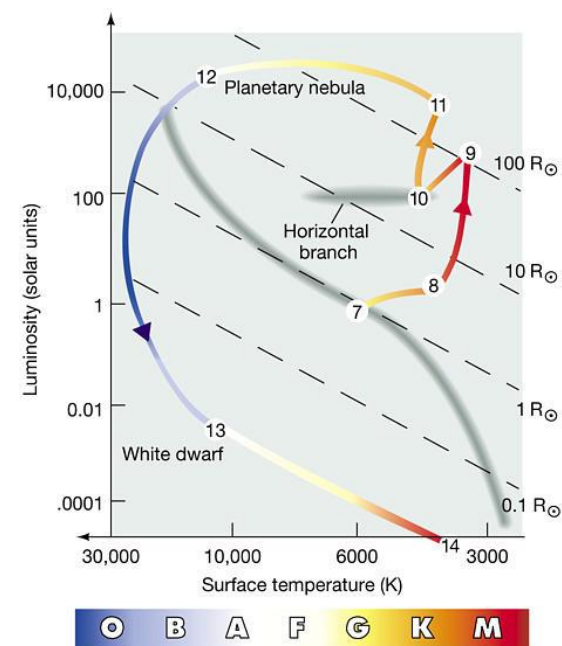


V naší Galaxii – jen asi 1500 planetárních mlhovin

Proč tak málo? je to velmi krátké vývojové období



M 27

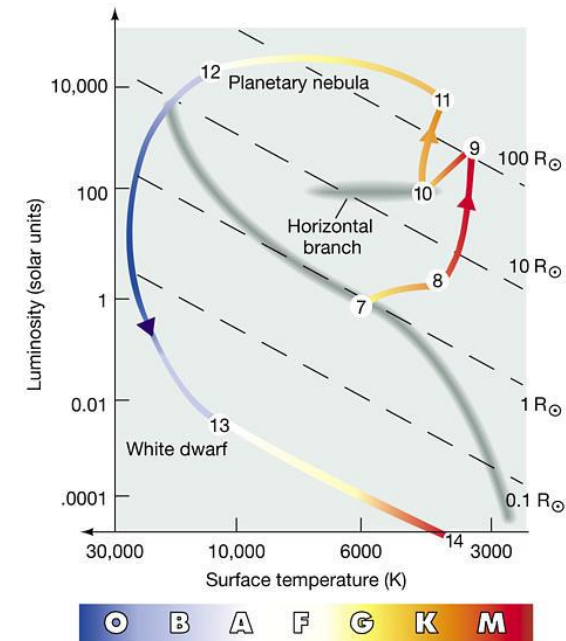


Slunce se nakonec z **červeného obra** změní na **bílého trpaslíka** ...

Ale pohádka ještě nekončí

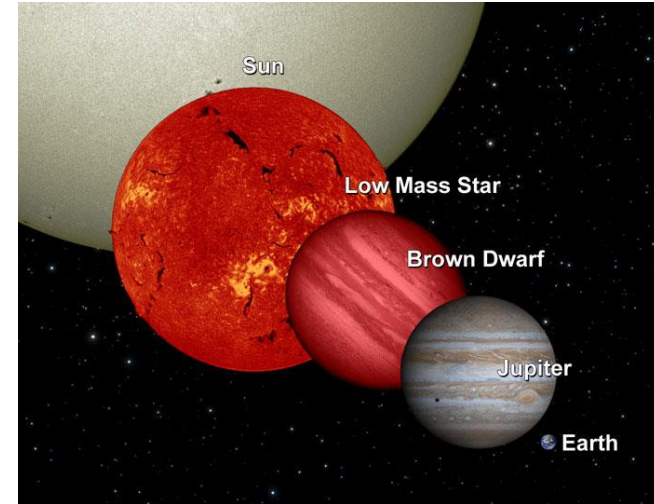
Z bílého trpaslíka se stane?

uhlíkokyslíkový černý trpaslík



Osudy hvězd různé hmotnosti

Vývoj hvězdy závisí na „porodní“ hmotnosti



Subtilní hvězdy – červení trpaslíci

- počáteční gravitační kolaps pomalejší než pro Slunce a hmotnější hvězdy
 $1 M_{\odot}$ asi 30 milionů let x $0.2 M_{\odot}$ až 1 miliarda let
- $0.075 < M_{\text{poč}} < 0.5 M_{\odot}$ – po vyhoření H v jádře -> **héliový černý trpaslík**

Objekty pod míru – hnědí trpaslíci

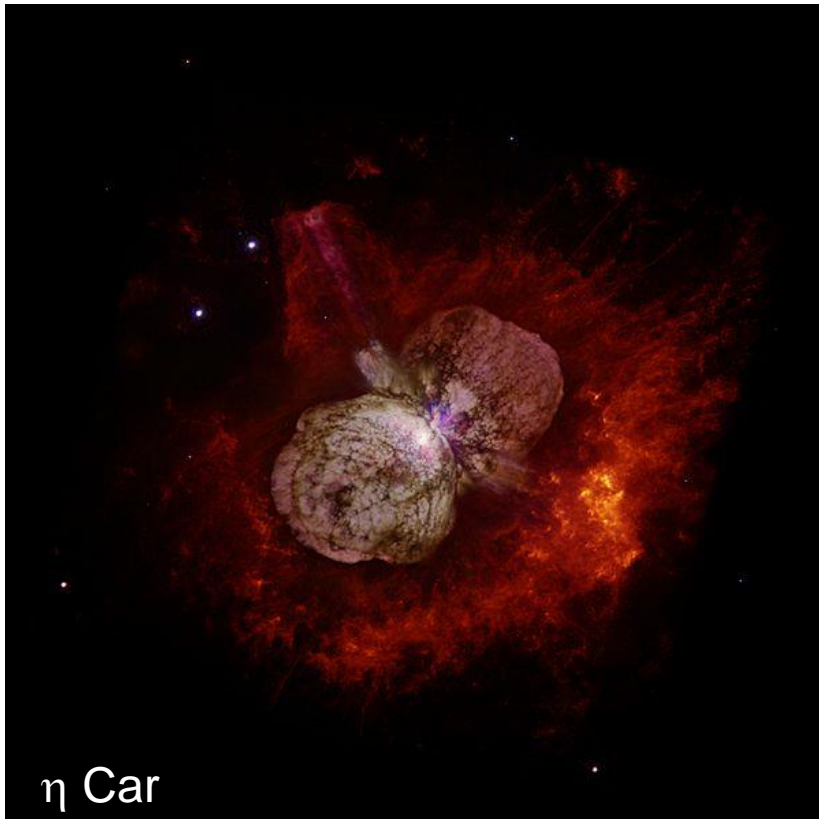
- hmotnost $13-80 M_J$ ($0.012-0.076 M_{\odot}$)
- v jádru se nikdy nezapálí trvalé jaderné reakce
- energie z gravitačního kolapsu
- 1. HT objeven v r. 1995, známo jen několik set, detekce v IR
- nejbližší HT Luhman 16 (6.5 ly)
- skončí jako **vodíkový černý trpaslík**



Jill Corner Tarter - autorka pojmu „hnědý trpaslík“

Protohvězdy s nadváhou

nejhmotnější známá R136a1 (v LMC) – 315 M_{\odot} !, v Galaxii HD 15558 152 M_{\odot}
velmi hmotné hvězdy velmi vzácné – jen několik v Galaxii, LMC



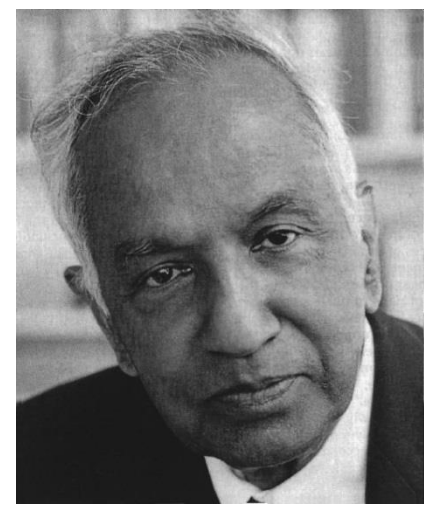
počáteční gravitační kolaps rychlejší

1 M_{\odot} asi 30 milionů let

0.2 M_{\odot} až 1 miliarda let

30 M_{\odot} kratší než 10 000 let !

Konečný osud hmotných hvězd



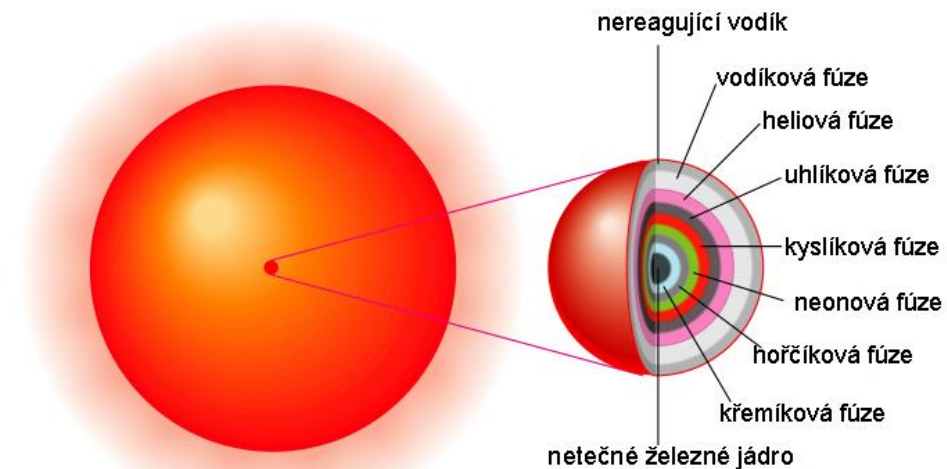
Subrahmanyan Chandrasekhar

$0.5 < M_{\text{poč}} < 11 M_{\odot}$ – zapálí se H a později i He

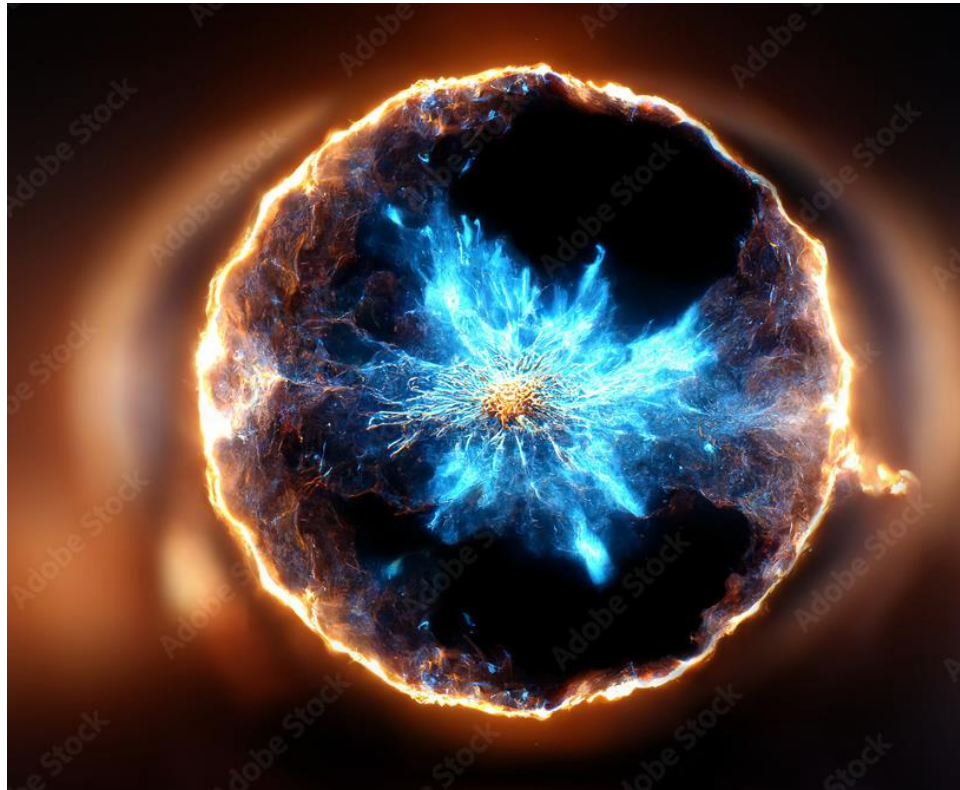
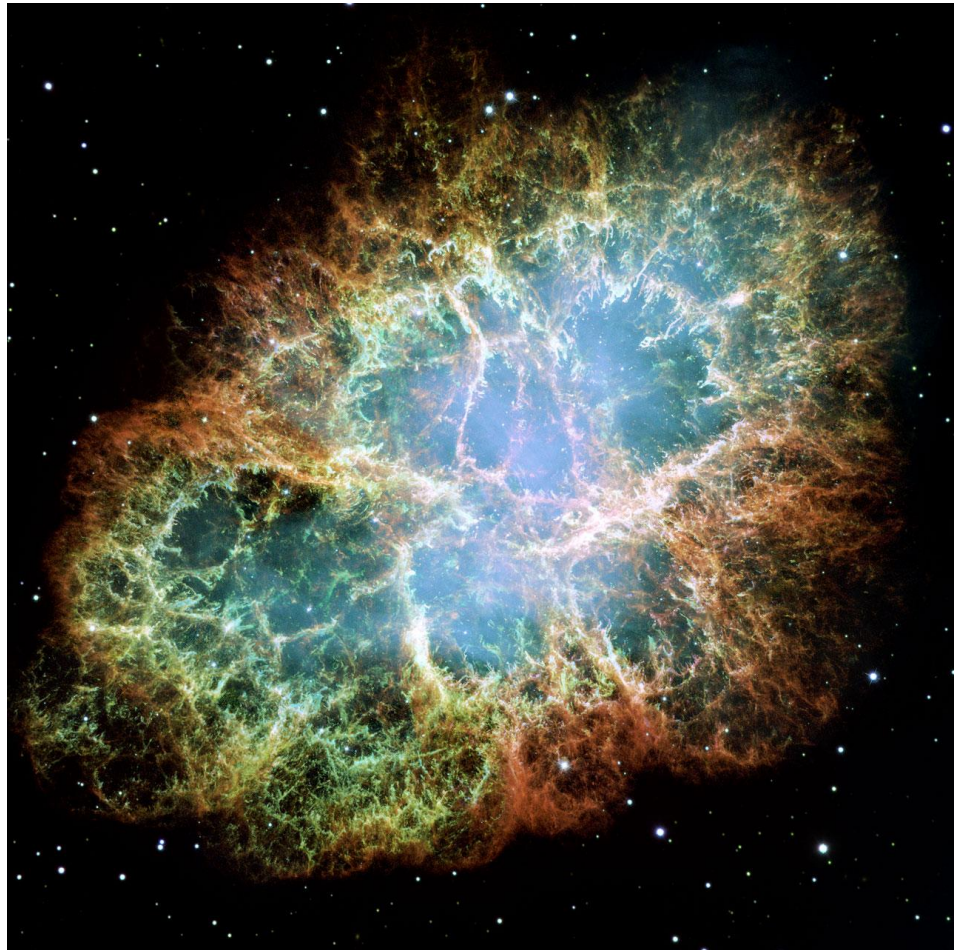
- hvězdný vítr odnese obal, zůstává žhavé hutné CO jádro, $M_j < 1.4 M_{\odot}$
- obálka – rozpínání - řádově km/s
- za 10 000 až 50 000 let - *planetární mlhovina*
- jádro – BT chladne -> **černý CO trpaslík**

$M_{\text{poč}} > 11 M_{\odot}$ (ve stadiu obra $M > 8 M_{\odot}$)

- v jádru a ve slupkách se postupně zapalují další jaderné reakce až po Fe ($1.4 M_{\odot} < M_j < 3 M_{\odot}$)
- centrální oblasti zhroucení -> **neutronová hvězda**, pulsar (řádově 10 km, M_{\odot})
- uvolněná energie => výbuch *supernovy* – většina energie v neutrinech
- supernova II



Konečný osud hmotných hvězd



$M_{\text{poč}} > \text{cca } 50 M_{\odot} - \text{Fe jádro } M_j > 3 M_{\odot} \Rightarrow \text{kolaps se nezastaví} - \text{vzniká černá díra}$
- uvolněná energie – výbuch *hypernovy* - SN1998bw

Historické supernovy

supernovy viditelné pouhýma očima
- jen šest během n.l.

383 - Sco

1006 - Lup - nejjasnější

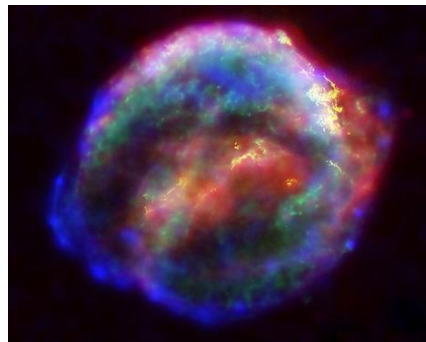
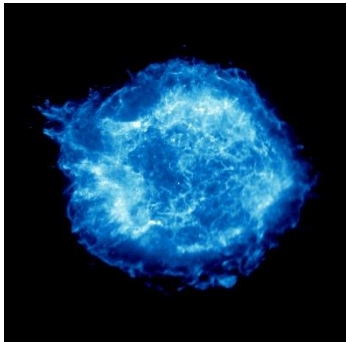
1054 - Tau – nejslavnější - Krabí mlhovina
s pulsarem

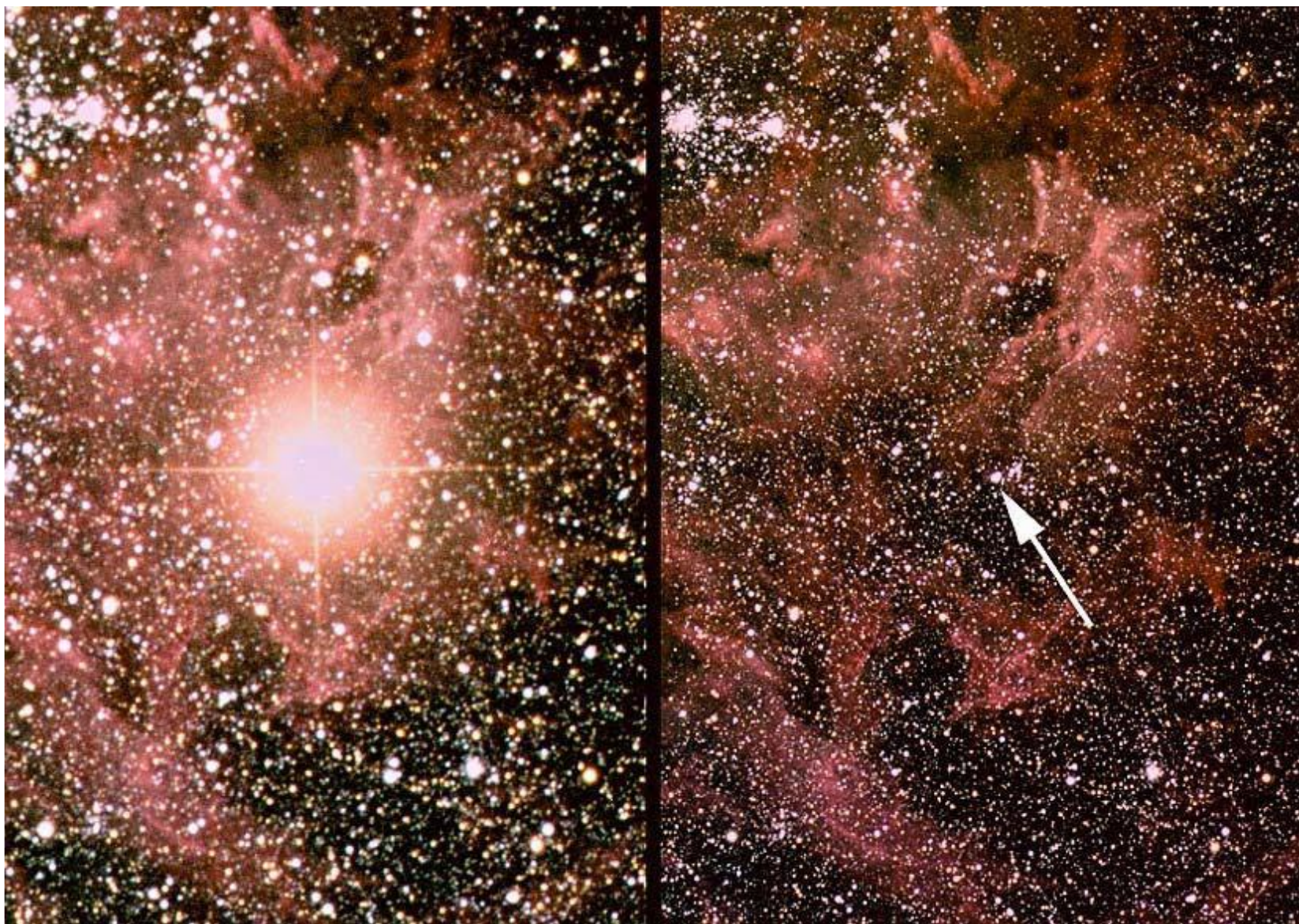
1572 - Cas - Tychova supernova

1604 - Oph - Keplerova supernova

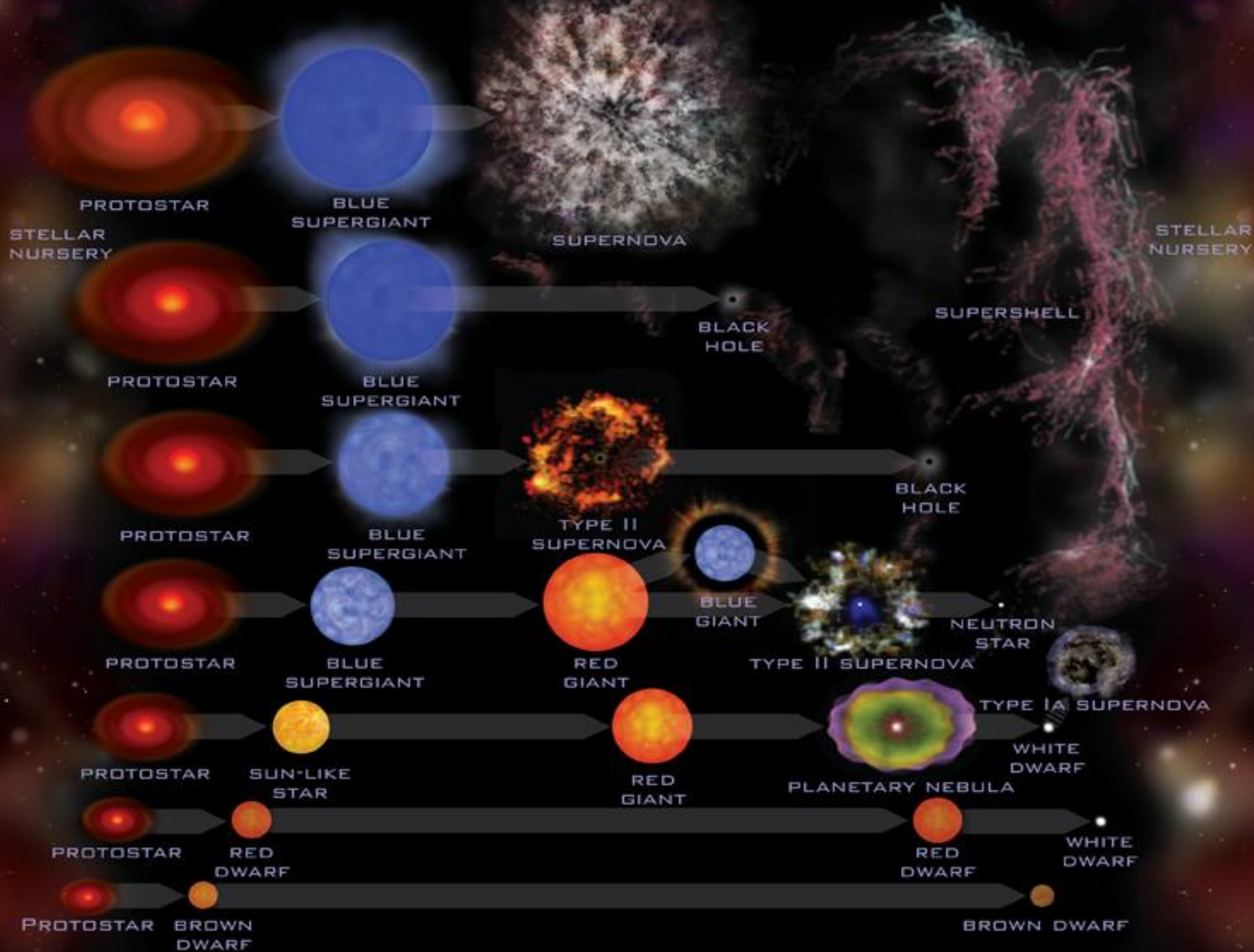
24. II. 1987 – Dor – LMC - v maximu 4 mag

kdy vybuchne další supernova,
kterou uvidíme pouhýma očima?






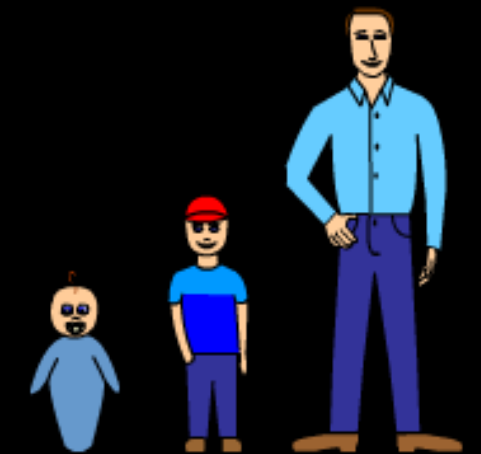

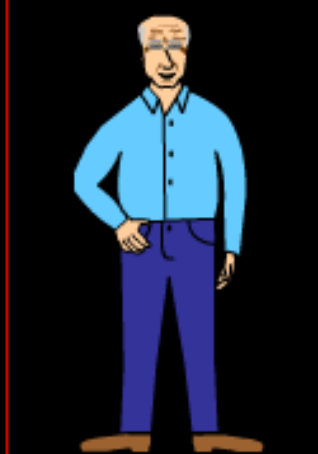




Supernova z února 1987 LMC (vpravo je snímek téže oblasti před výbuchem).



Vývoj hvězd x život člověka

protohvězda	počátek jad. hoření - hl. posloupnost	červený obr / veleobr	bílý trpaslík/černá díra
			
plod	od plenek k dospělosti	střední věk	stáří - smrt
			



Děkuji za pozornost!