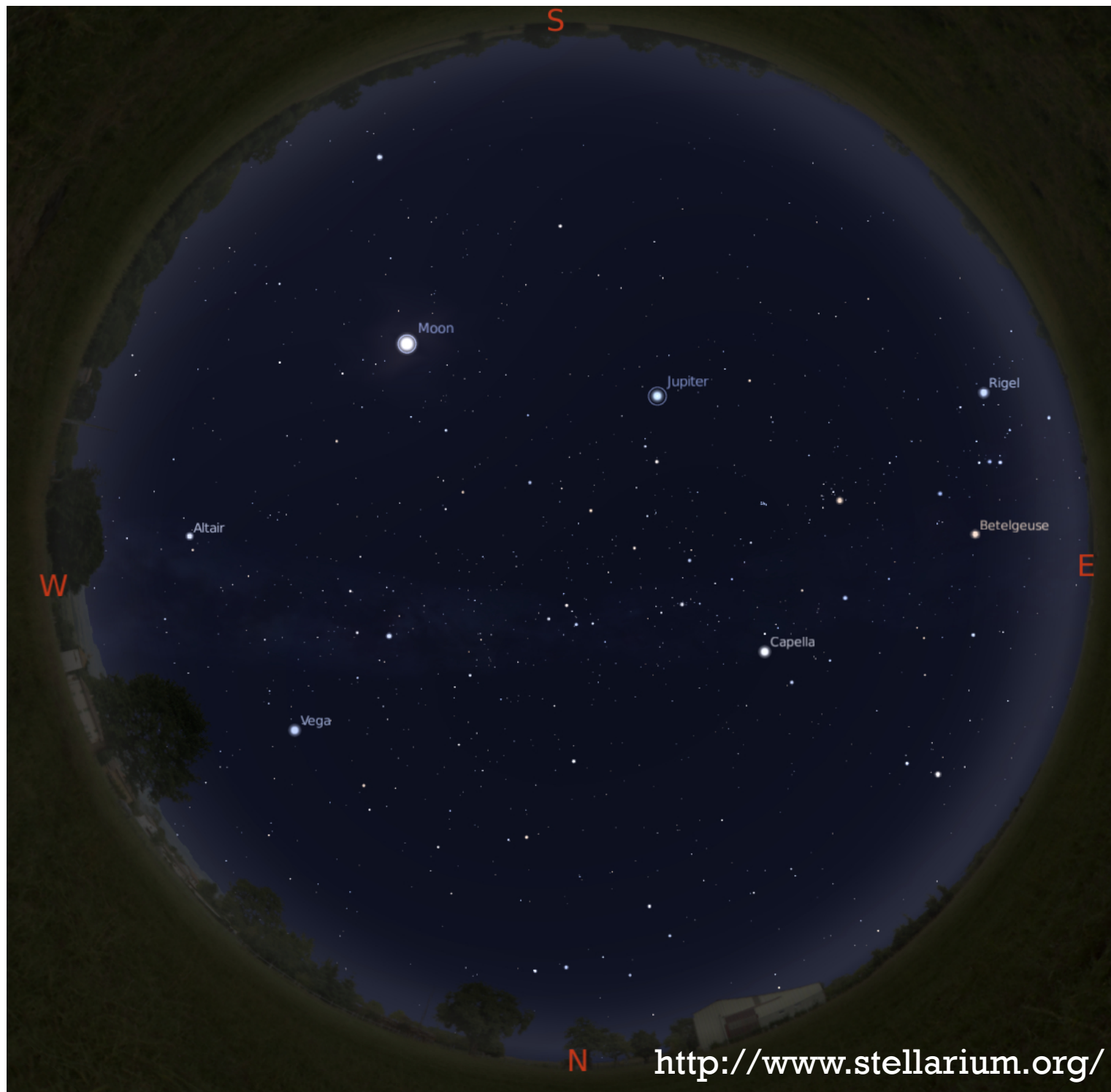


Pogled v nočno nebo



Rimska cesta

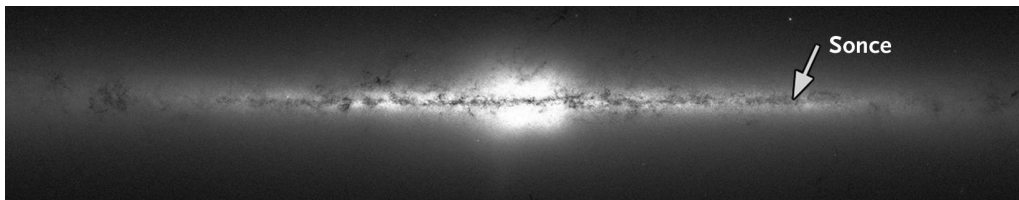
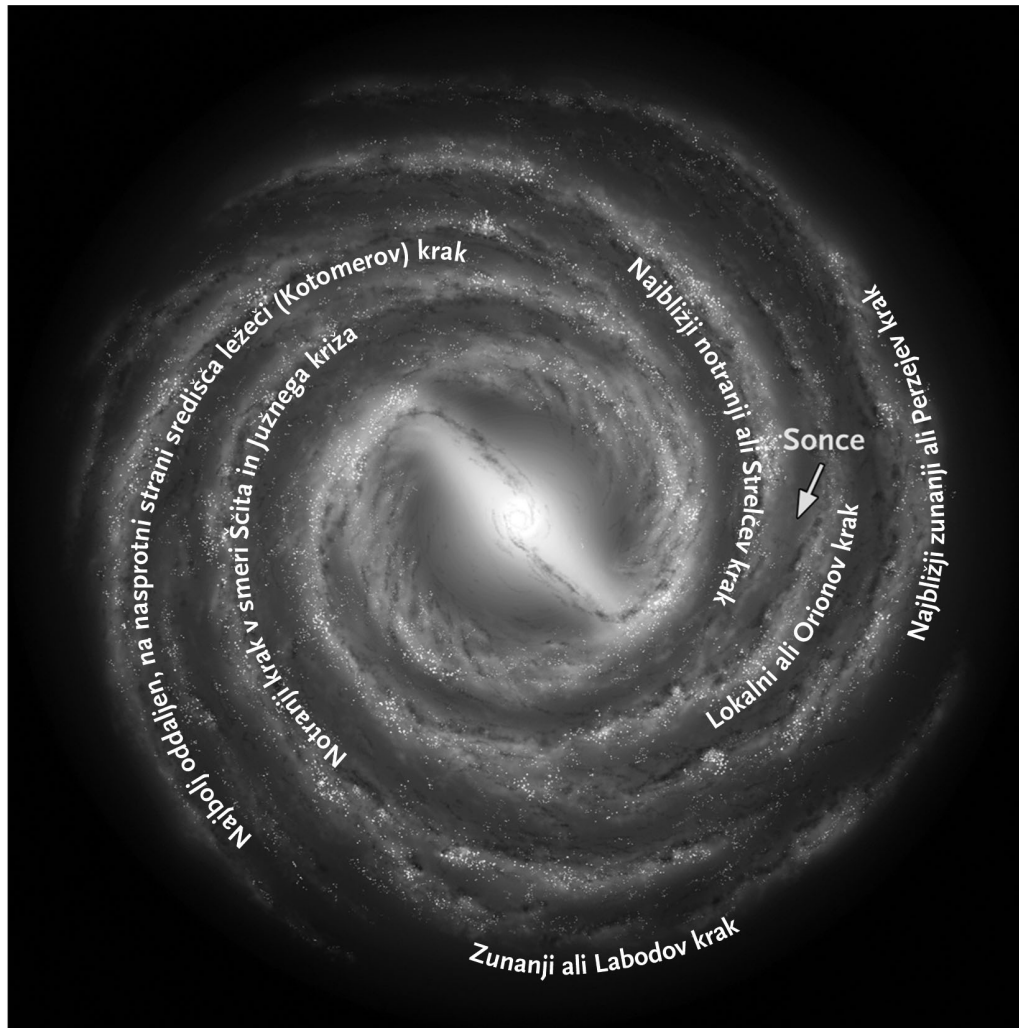


- stari Grki: Demokrit (460-370 pr.n.št.)
– sestavljena iz zvezd?
- Klavdij Ptolomej (83-161):” ... trak, bel kot mleko...”
- “galaxias”= mlečen: Milky way, Rimska cesta
- Galileo Galilei (1564 – 1642)
1. 1610 s teleskopom videl posamezne zvezde
- Herschel, Argelander, Kapteyn, Shapley
- 1920: Shapley – Curtis debata
- 1924 : Hubble izmeri razdaljo do M31



Galaksija

spiralna galaksija s prečko



galaksije



- 10^{11} galaksij;
- 10^7 do 10^{12} zvezd;
- 10.000 do nekaj 100.000 sv. let velike;
- običajno milijone sv. let narazen
- eliptične, spiralne, lečaste, nepravilne,
- se združujejo v jate, nadjate in large scale structure

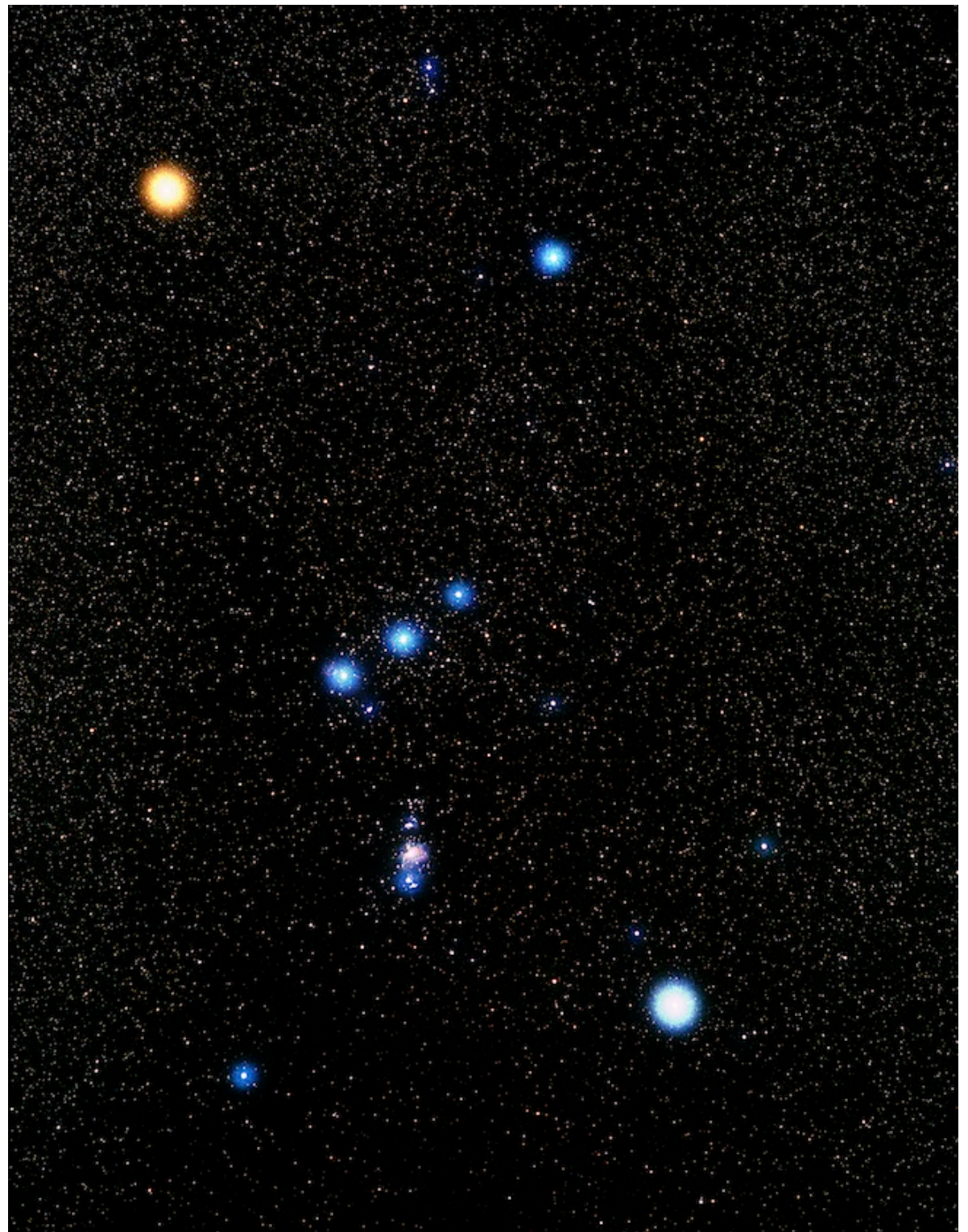
galaksije

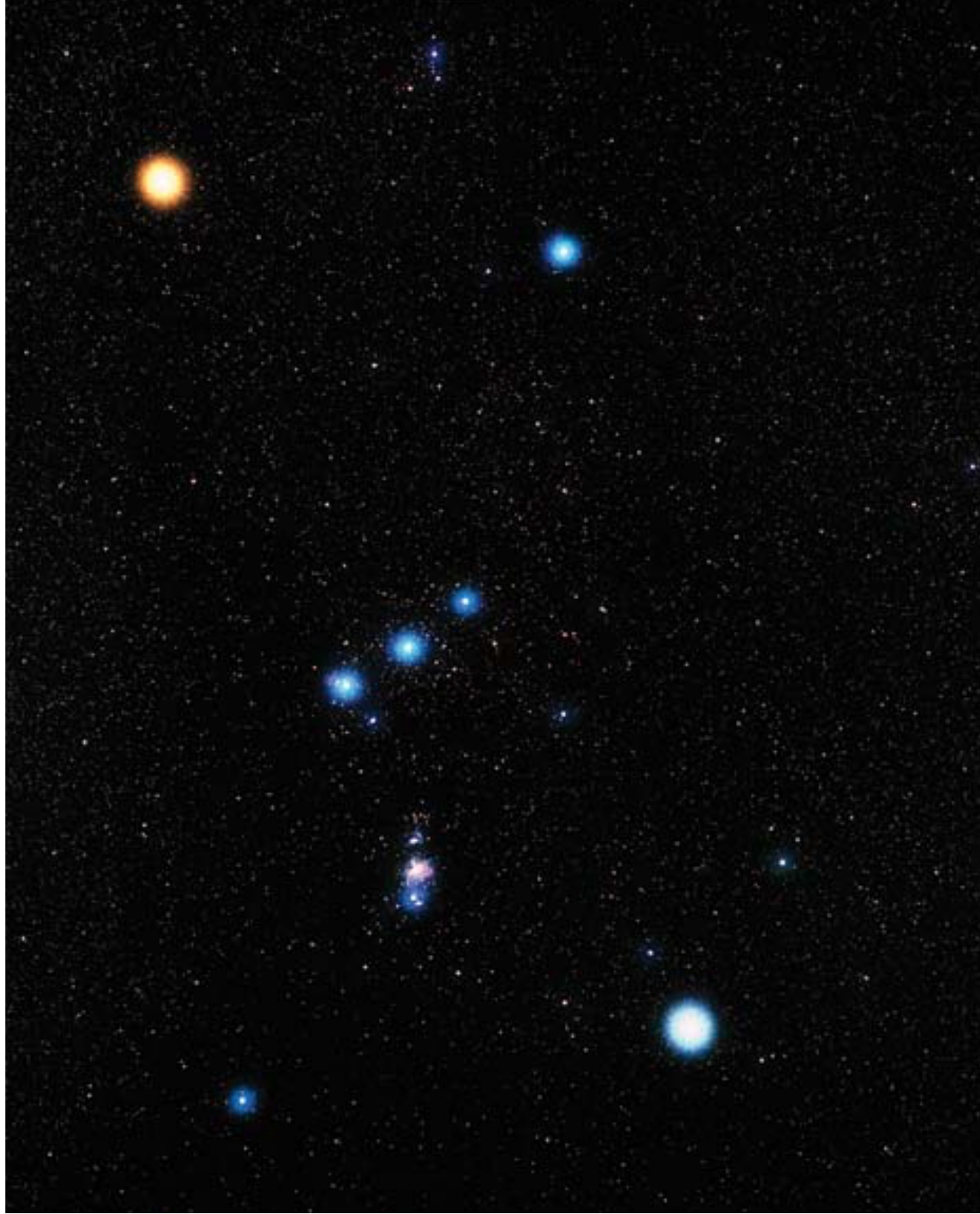
- kako so nastale, kako se razvijajo ipd.?
- so gravitacijsko vezan sistem **temne snovi, zvezd, plina in prahu**;
- svetloba večine galaksij prihaja od **zvezd**
- izjeme: aktivne galaksije imajo ogromen izsev iz majhnih središč

vesolje

- nekaj 100 milijard galaksij
- ima končno starost – okrog 14 milijard let
- se širi vse od prapoka
- v začetku je bilo vroče in gosto; zelo, a ne popolnoma, homogeno
- v prvih minutah po prapoku so nastali elementi: 76 (masnih)% H, 24% He in sled Li

Razvoj zvezd





Kaj so zvezde?

1. zvezde veže lastna gravitacija:

sferične ali sferoidne

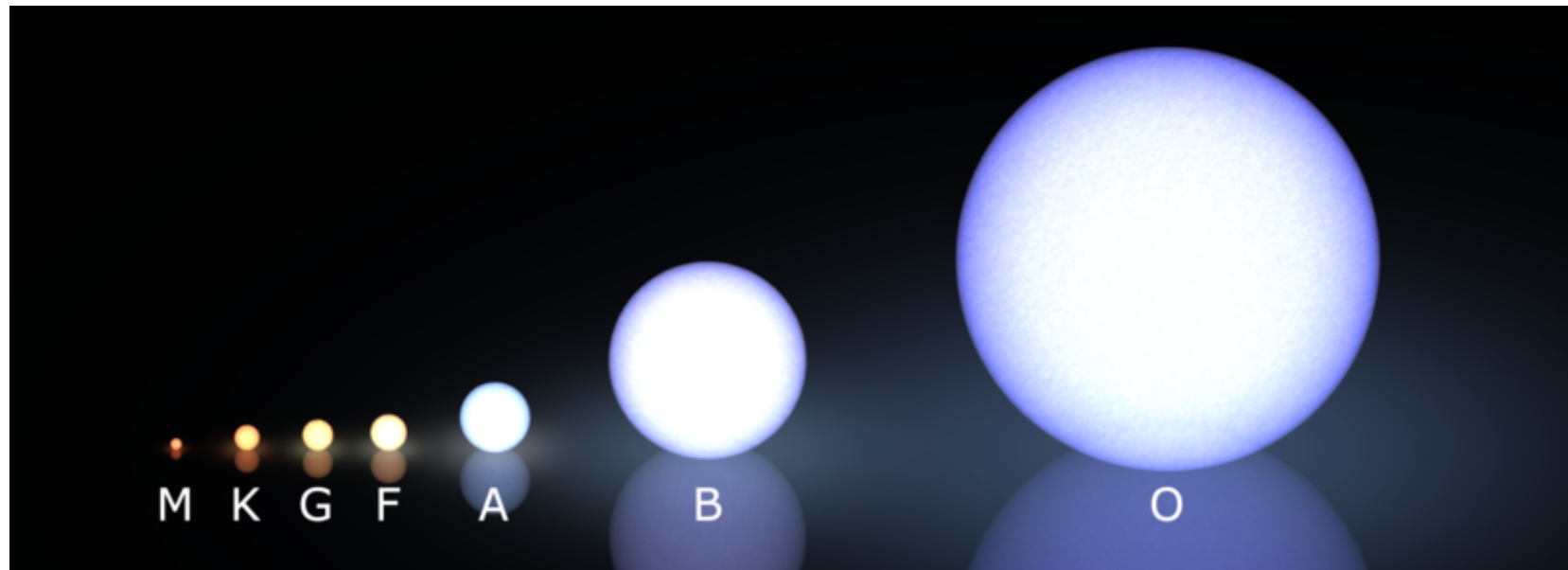
2. proizvajajo energijo:

v jedrskih reakcijah, včasih tudi gravitacijsko
krčenje

zvezda umre, ko ne velja 1. ali 2. ali oboje

Kakšne so?

- izsev L : $(10^{-5} L_S - 10^5 L_S)$, $L_S = 3.85 \times 10^{26} \text{ W}$
- površina T_{eff} : $T_S = 5800 \text{ K}$; $3000 - 40.000 \text{ K}$
- masa : $0.1 - 150 M_S$
- radij : $0.01 - 1000 R_S$



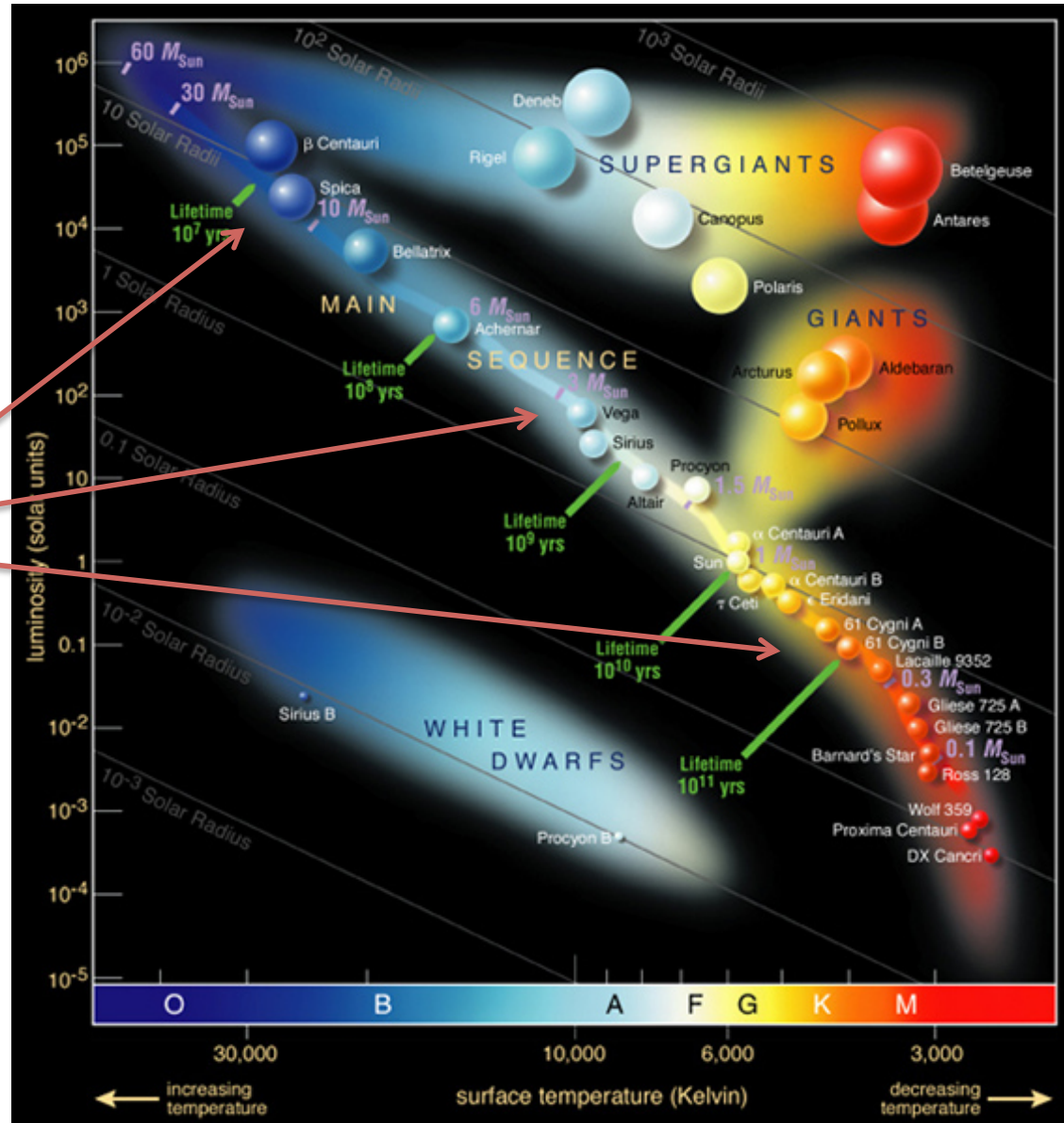
HR diagram

okrog 1910:
Ejnar **H**ertzsprung in
Henry Norris **R**ussel

glavna veja
HR diagrama

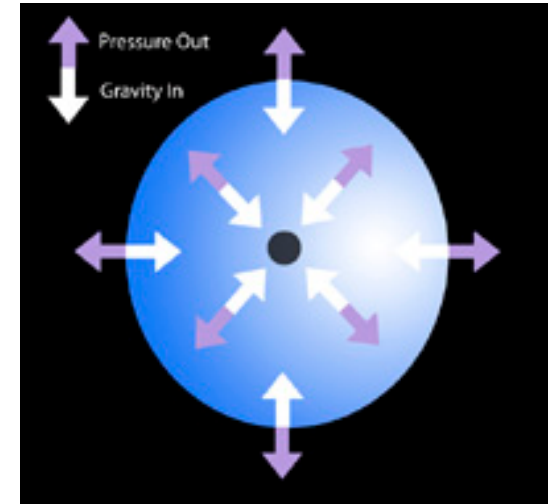
glavni parameter,
ki določa zvezdo
je masa!

v grobem velja:
 $L \propto M^{3.8}$



Nastanek zvezd

- življenje zvezd v enem stavku:
boj gravitacije proti tlaku



- oblak medzvezdnega plina – molekularni vodik, helij (oglikov monoksid, amoniak...)

stebri stvarjenja,
meglica Orel



Vesoljski
teleskop
Hubble

Krčenje oblaka

- stabilnost oblaka
- virialni teorem: $E_{\text{gravitacijska}} = -2 E_{\text{notranja}}$
- pogoj za krčenje:

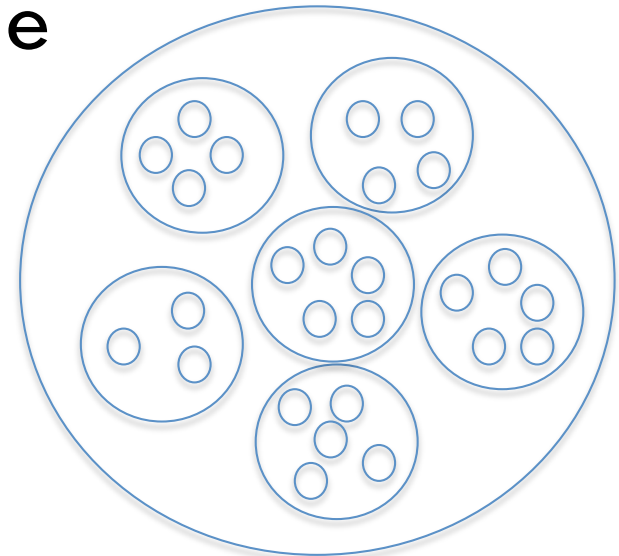
$$M > M_{\text{Jeans}} \propto T^{3/2} / \rho^{1/2}$$

tipična $M \gg M_{\text{Sonca}}$:

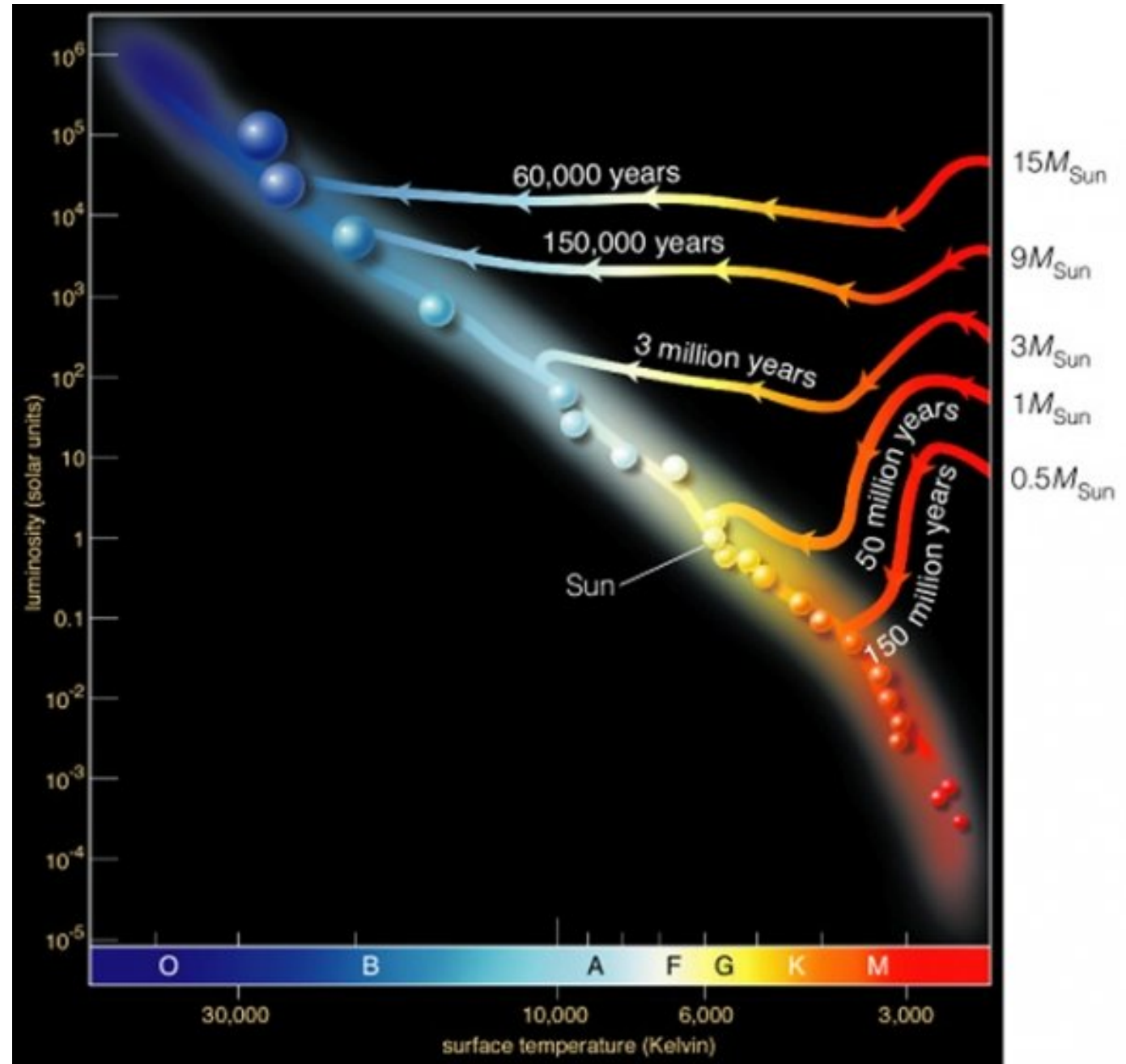
iz enega oblaka nastane večje število zvezd

Fragmentacija oblaka

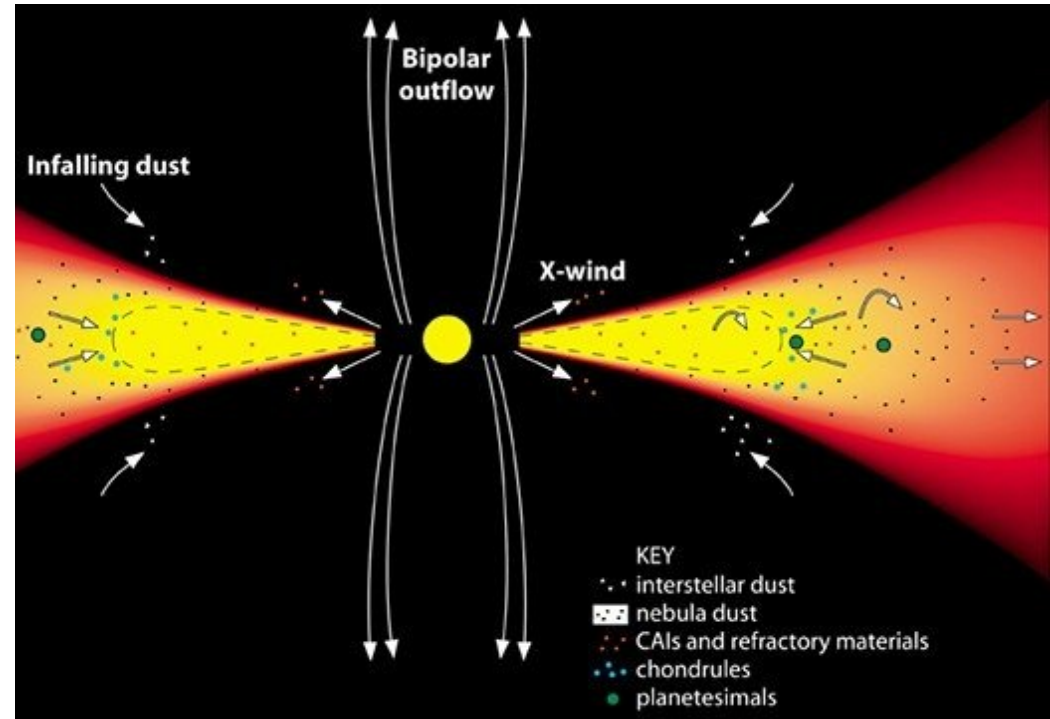
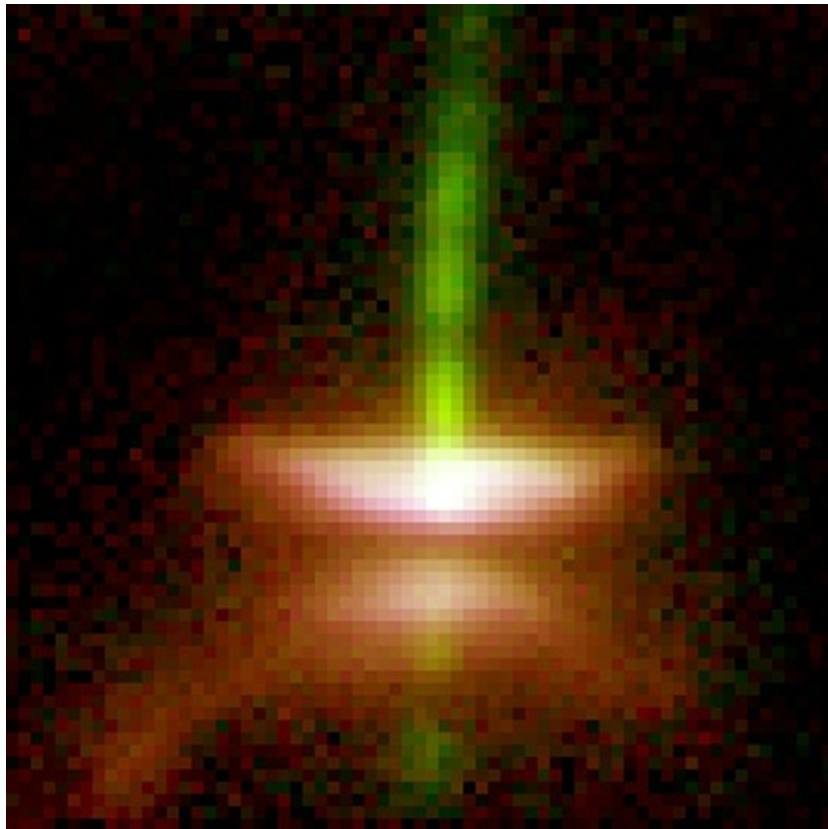
- izotermno krčenje – M_{Jeans} **pada** – fragmenti
- gosti, postaja neprozoren $M > M_{\text{Jeans}} \propto T^{3/2}/\rho^{1/2}$
- T narašča – M_{Jeans} **narašča**
- fragmentacija se ustavi – zametki zvezd
- krčenje protozvezd se nadaljuje
- še naprej segrevajo...



- vir energije
– krčenje
- energija se prenaša s konvekcijo, nato tudi s sevanjem – T na površini narašča
- T narašča tudi v sredici
– stečejo jedrske reakcije zlivanja H v He – **zvezda!**



plin in prah okoli mladih zvezd

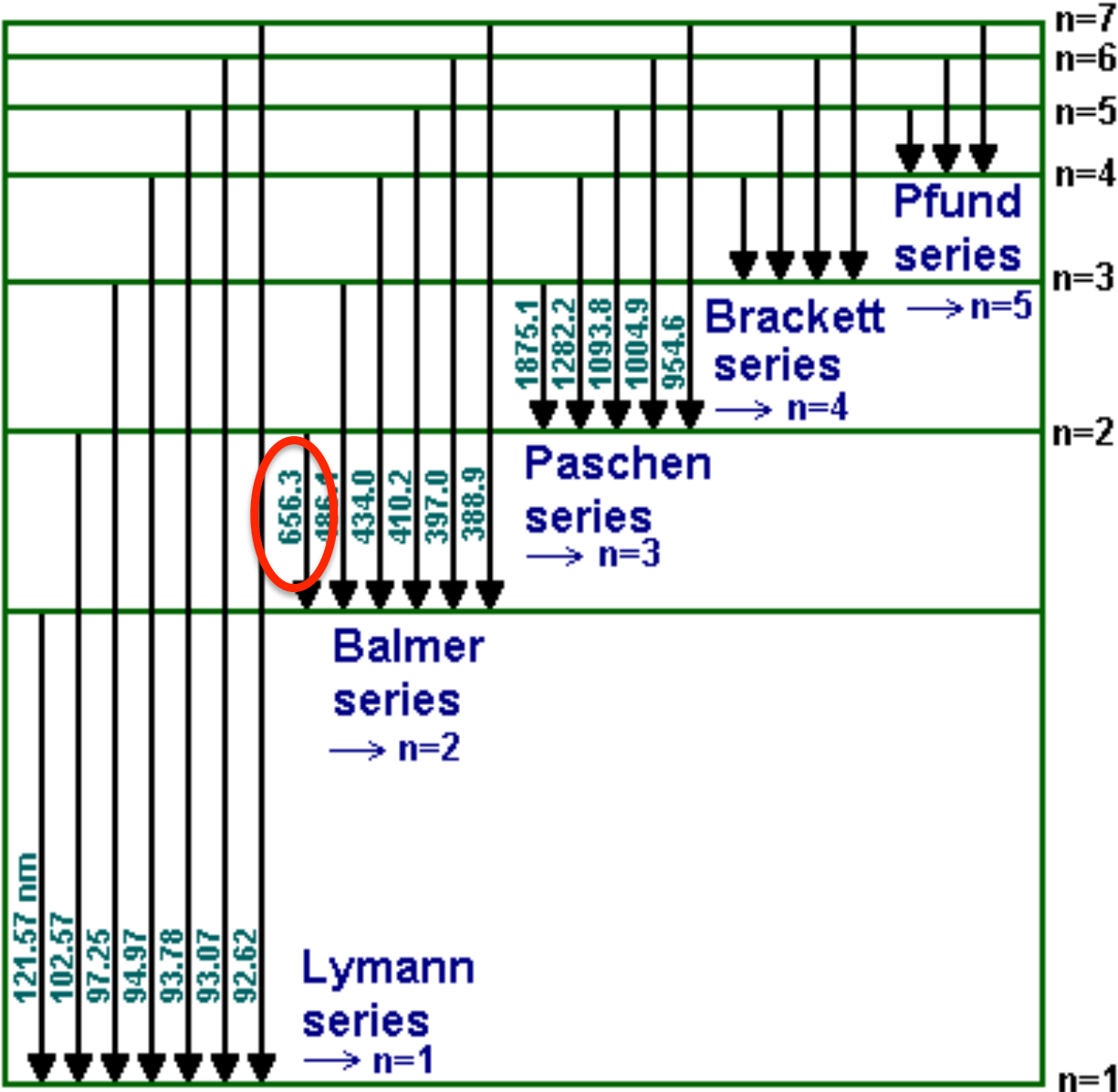


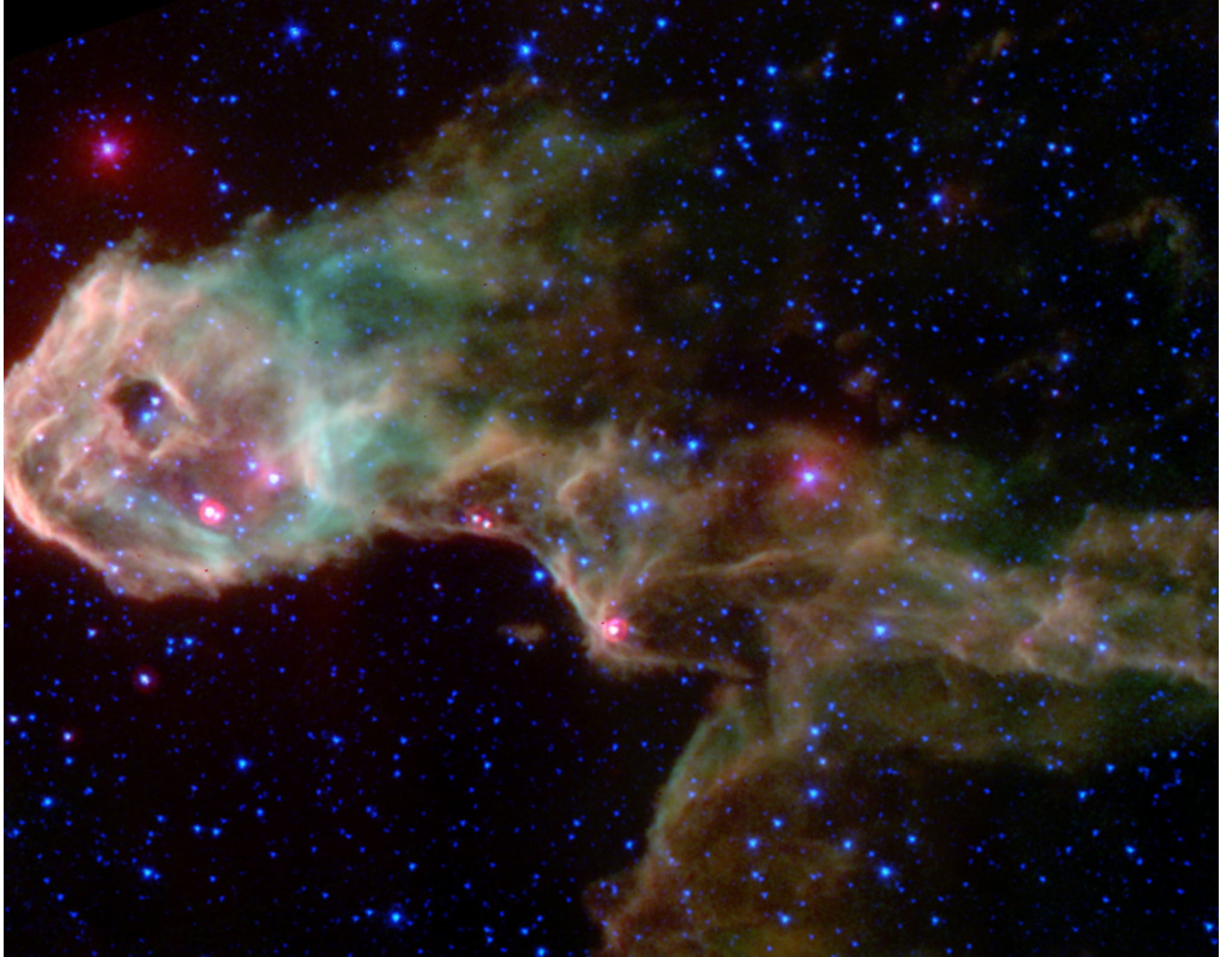
(PSRD graphic by Nancy Hurlbirt, based on a conceptual drawing by Edward Scott, Univ. of Hawaii.)





Vodikov atom





meglica Orion

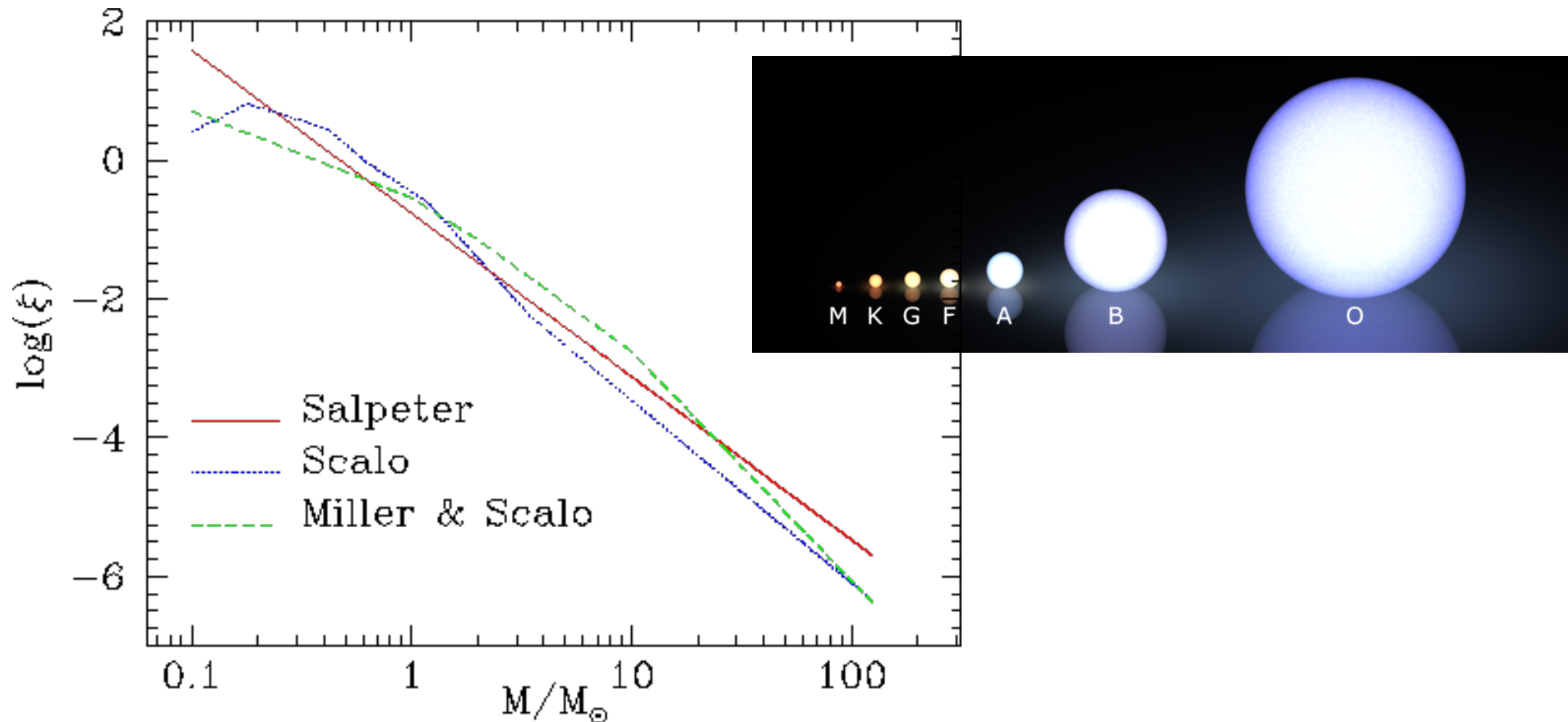


UV
Strömgren
nova sfera

meglica
Rozeta



skupina zvezd, ki se v ≈ 100 Mlet razsuje (kroglaste dalj)
v skupini so zvezde z različnimi masami:
 $0.08 M_{\odot}$ (rjava pritlikavka)- $150 M_{\odot}$
veliko manj masivnih, malo masivnih:

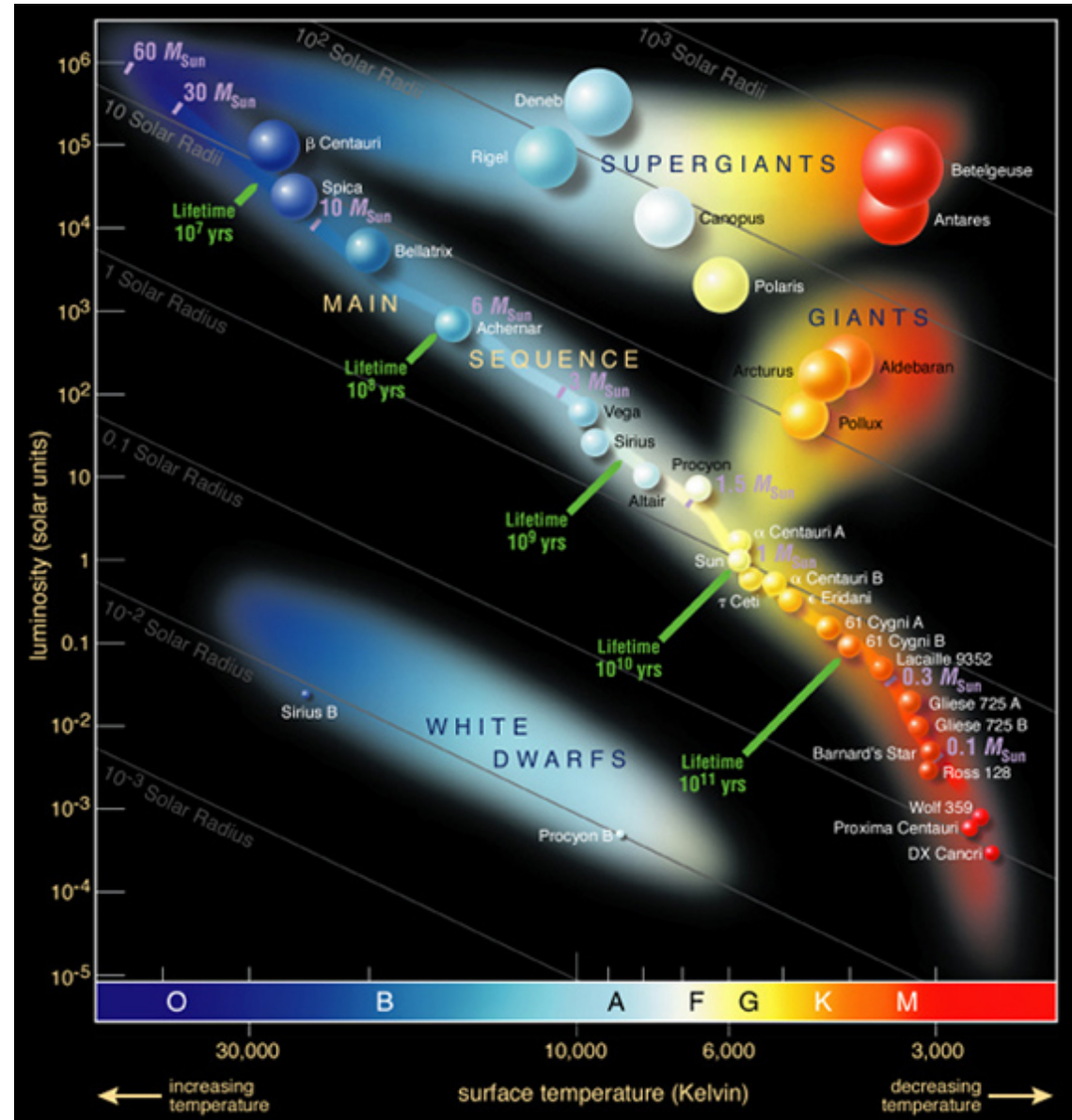


Glavna veja HR diagrama

najbolj mirna faza
življenja zvezde

glavni parameter,
ki določa zvezdo je
masa

v grobem velja:
 $L \propto M^{3.8}$



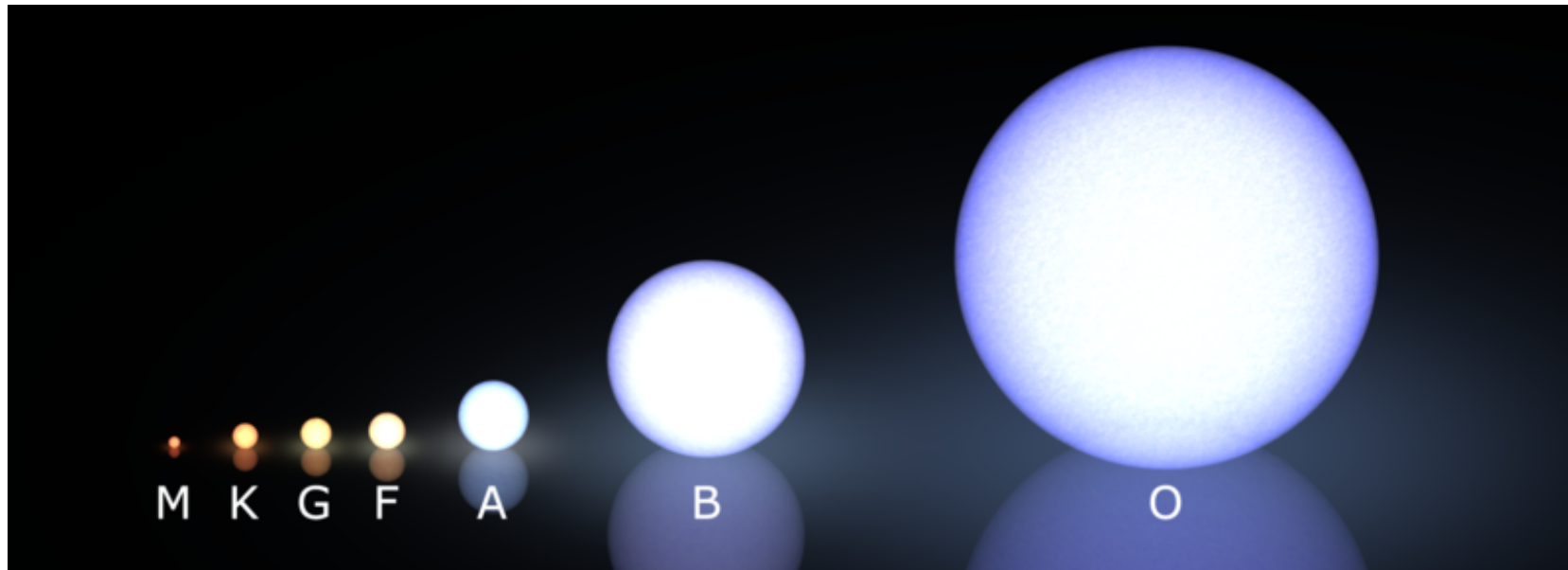
Spektralni tipi

Spectral Class Characteristics

Data from J. C. Evans, George Mason University

Spectral Class	Intrinsic Color	Temperature (K)	Prominent Absorption Lines
O	Blue	41,000	He ⁺ , O ⁺⁺ , N ⁺⁺ , Si ⁺⁺ , He, H
B	Blue	31,000	He, H, O ⁺ , C ⁺ , N ⁺ , Si ⁺
A	Blue-white	9,500	H(strongest), Ca ⁺ , Mg ⁺ , Fe ⁺
F	White	7,240	H(weaker), Ca ⁺ , ionized metals
G	Yellow-white	5,920	H(weaker), Ca ⁺ , ionized & neutral metal
K	Orange	5,300	Ca ⁺ (strongest), neutral metals strong, H(weak)
M	Red	3,850	Strong neutral atoms, TiO

Spektralni tipi



Izsevni razredi (Luminosity classes)

- Ia najsvetlejše nadorjakinje
- Ib manj svetle nadorjakinje
- II svetle orjakinje
- III normalne orjakinje
- IV podorjakinje
- V zvezde glavne veje (pritlikavke)
- VI, sd (subdwarfs) podpritlikavke
- D bele pritlikavke

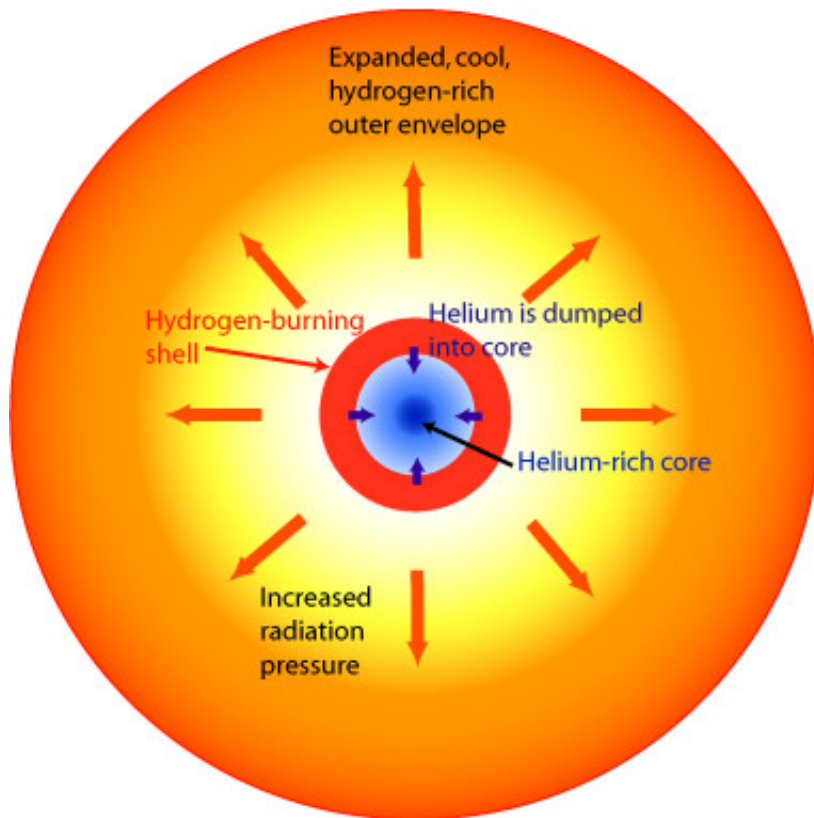
masivne zvezde svetijo veliko močnejše in hitreje izčrpajo zalogo goriva:

<u>Spectral Class:</u>	<u>Solar Masses:</u>	<u>Solar Luminosity:</u>	<u>Temperature:</u>	<u>Solar Radii</u>	<u>Time on Main Sequence (million years):</u>
O5	40	400,000	40,000 K	13	1.0
B0	15	13,000	28,000 K	4.9	11
A0	3.5	80	10,000 K	3.0	440
F0	1.7	6.4	7,500 K	1.5	2,700
G0	1.1	1.4	6,000 K	1.1	8,000
K0	0.8	0.46	5,000 K	0.9	17,000
M0	0.5	0.08	3,500 K	0.8	56,000

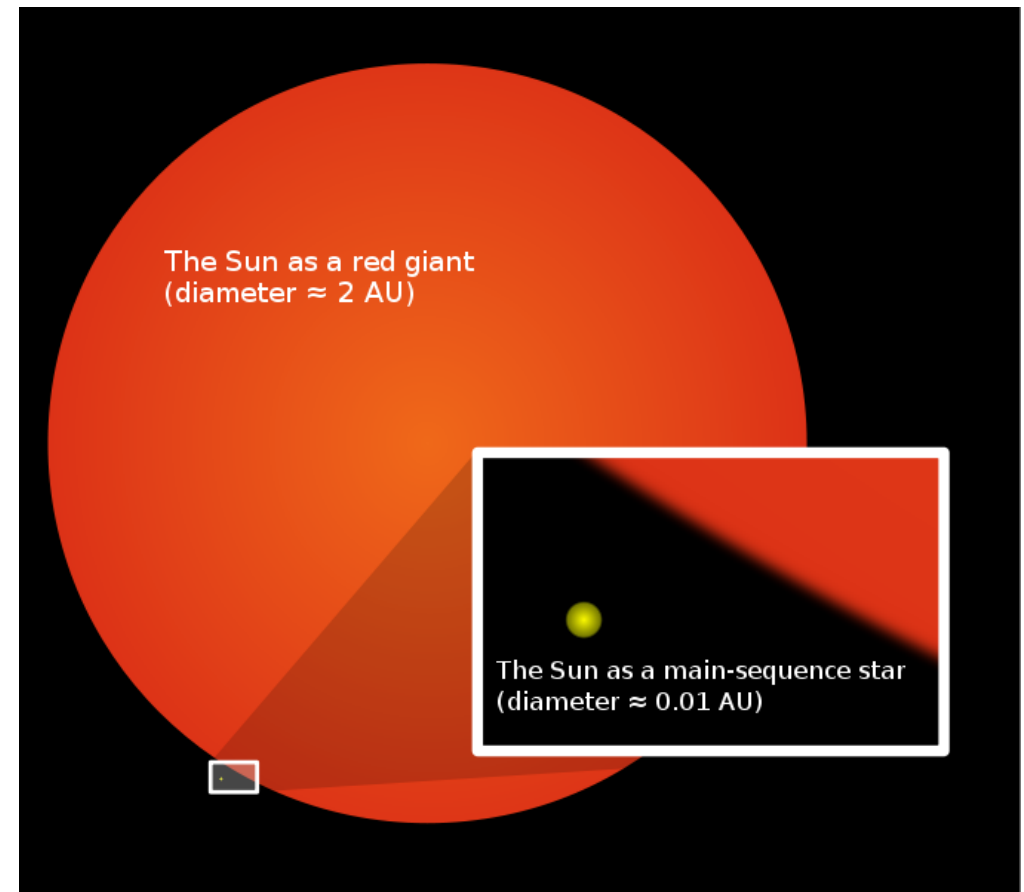
masivne zvezde živijo na glavni veji kratek čas!

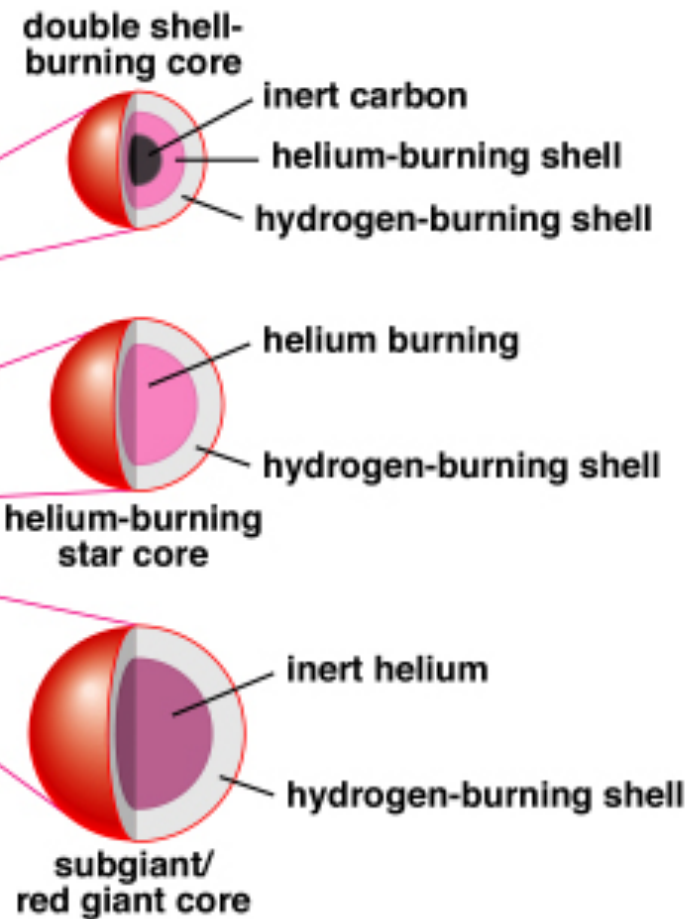
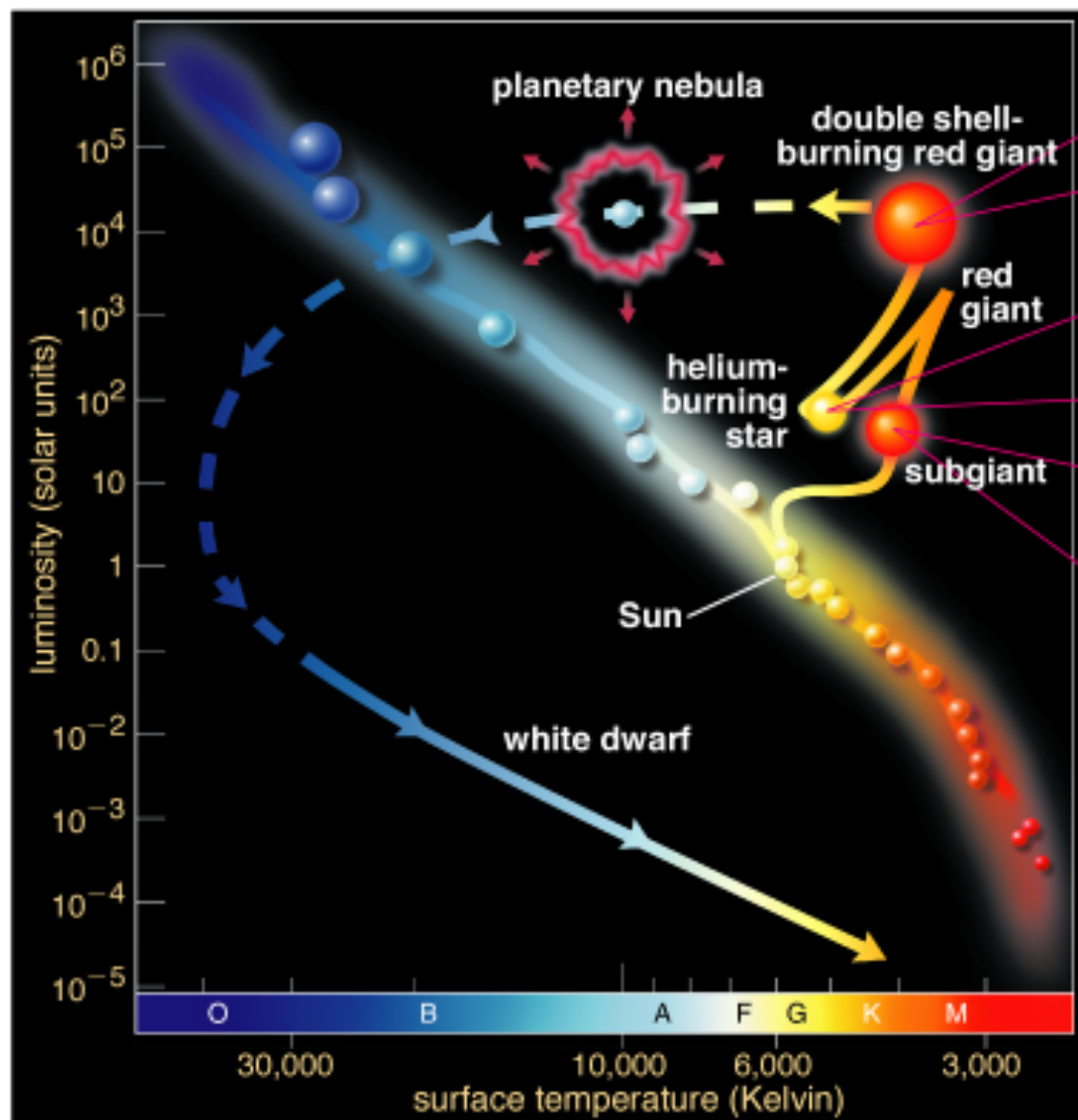
ko zmanjka vodika....

- sredica krči, T narašča, gorenje vodika v ovojnici, zunanje plasti napihujejo – rdeča orjakinja



Hydrogen Shell Burning on the Red Giant Branch







planetarna
meglica
sredica – bela
pritlikavka

končno stanje
manj masivnih
zvezd

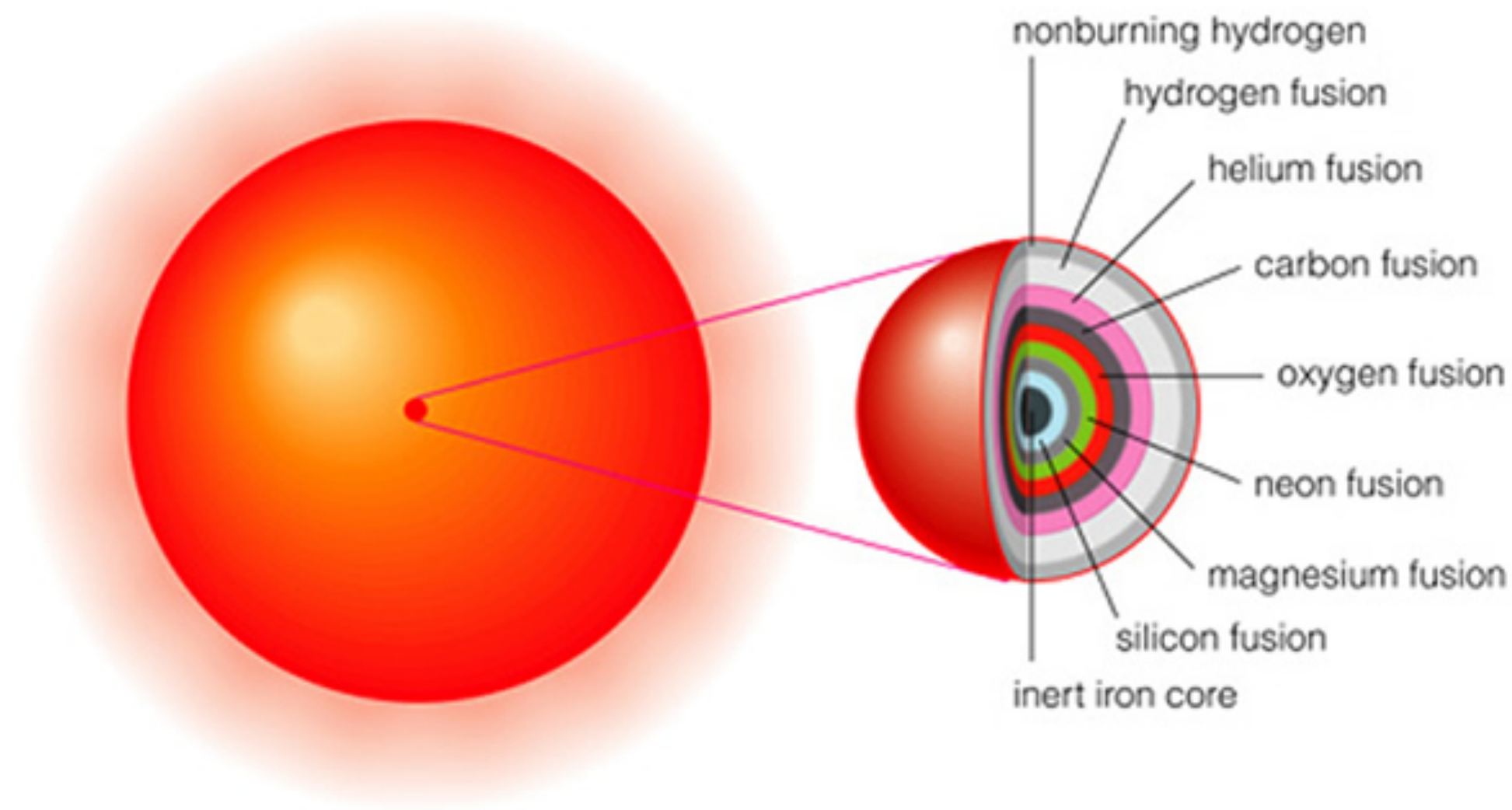
$$M \leq 1.4 M_{\odot}$$

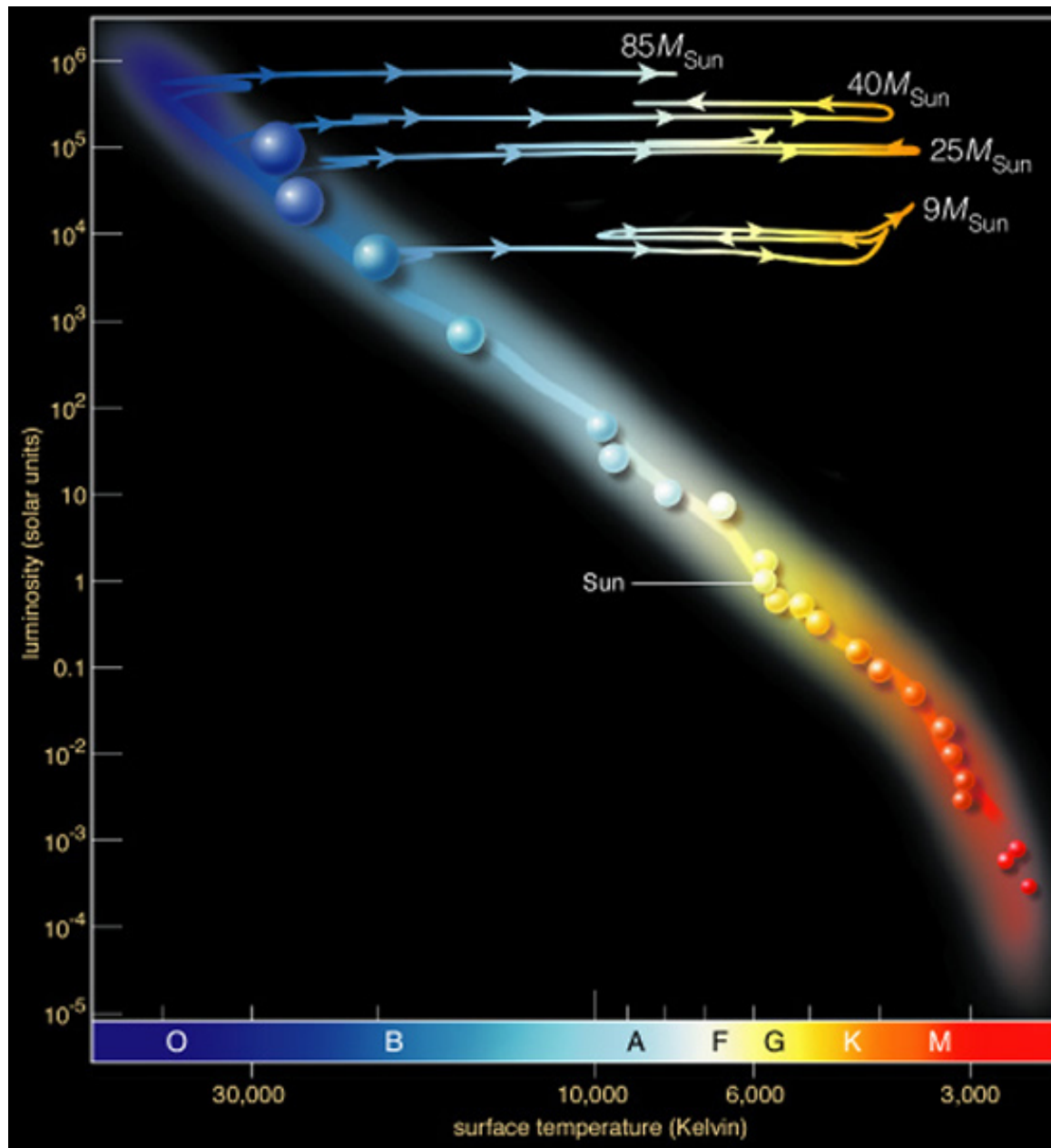
masivne zvezde

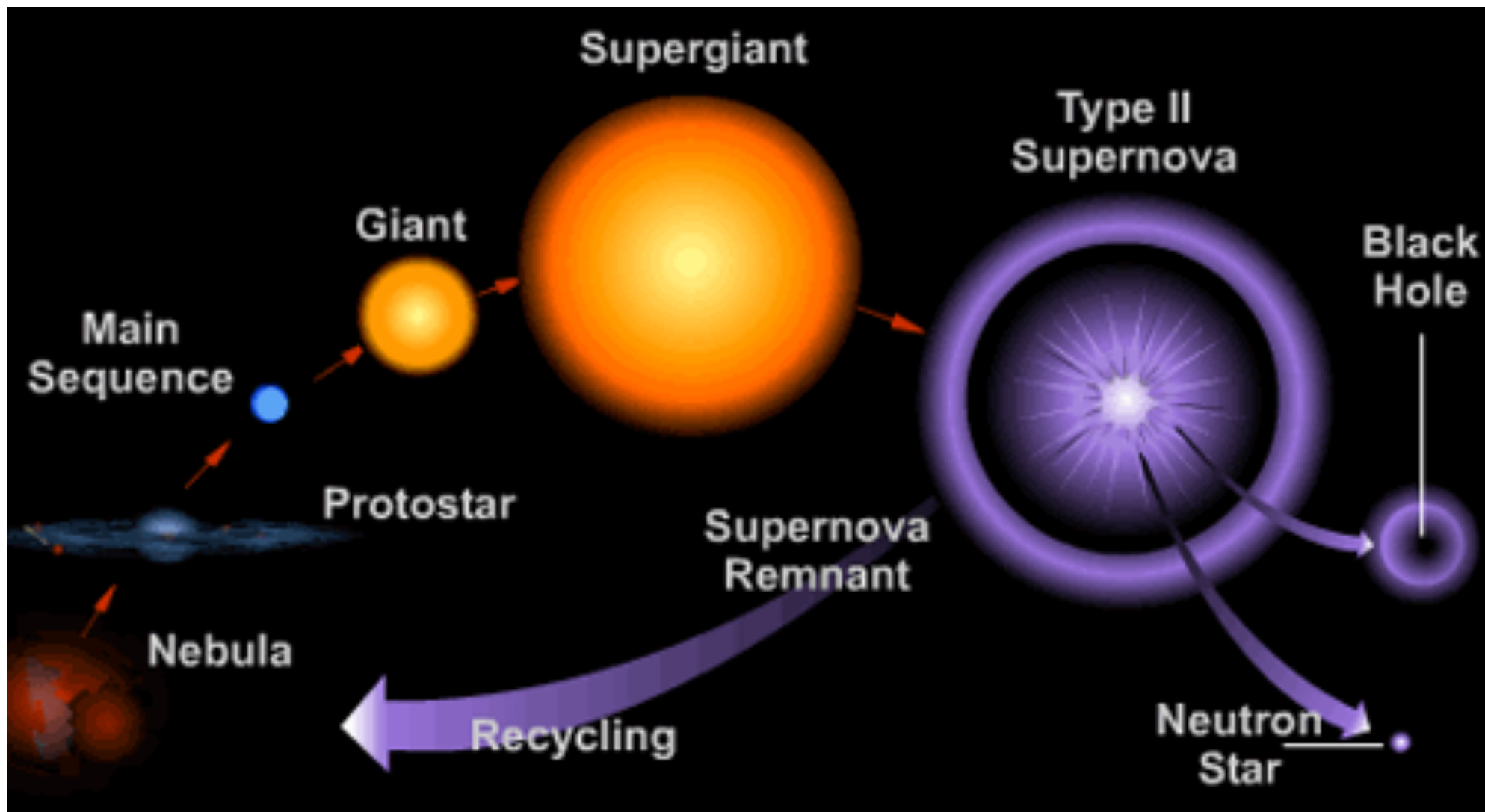
- grede skozi višje cikle gorenja – ogljik, neon, kisik, silicij
- višja T in ρ , višja M
- krajši čas

- zlivanje se ustavi pri železu
- končni produkt:

^{56}Ni : β razpad z $\tau=6.02$ dni \rightarrow ^{56}Co z $\tau=77.3$ dni \rightarrow ^{56}Fe





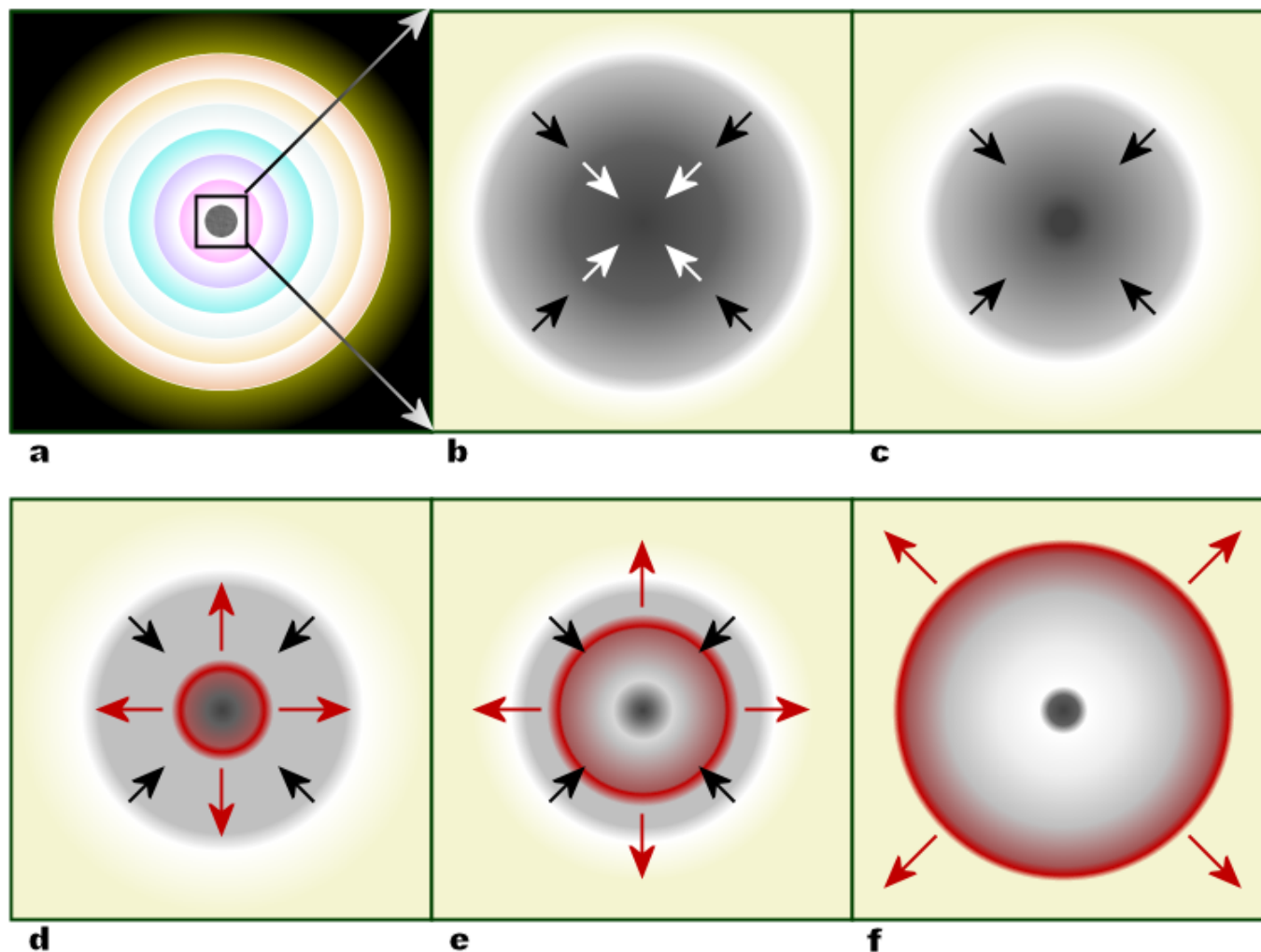


Eksplozija supernove

- goriva zmanjka, sredica se skrči na nekaj 10 km → ogromna gravitacijska energija

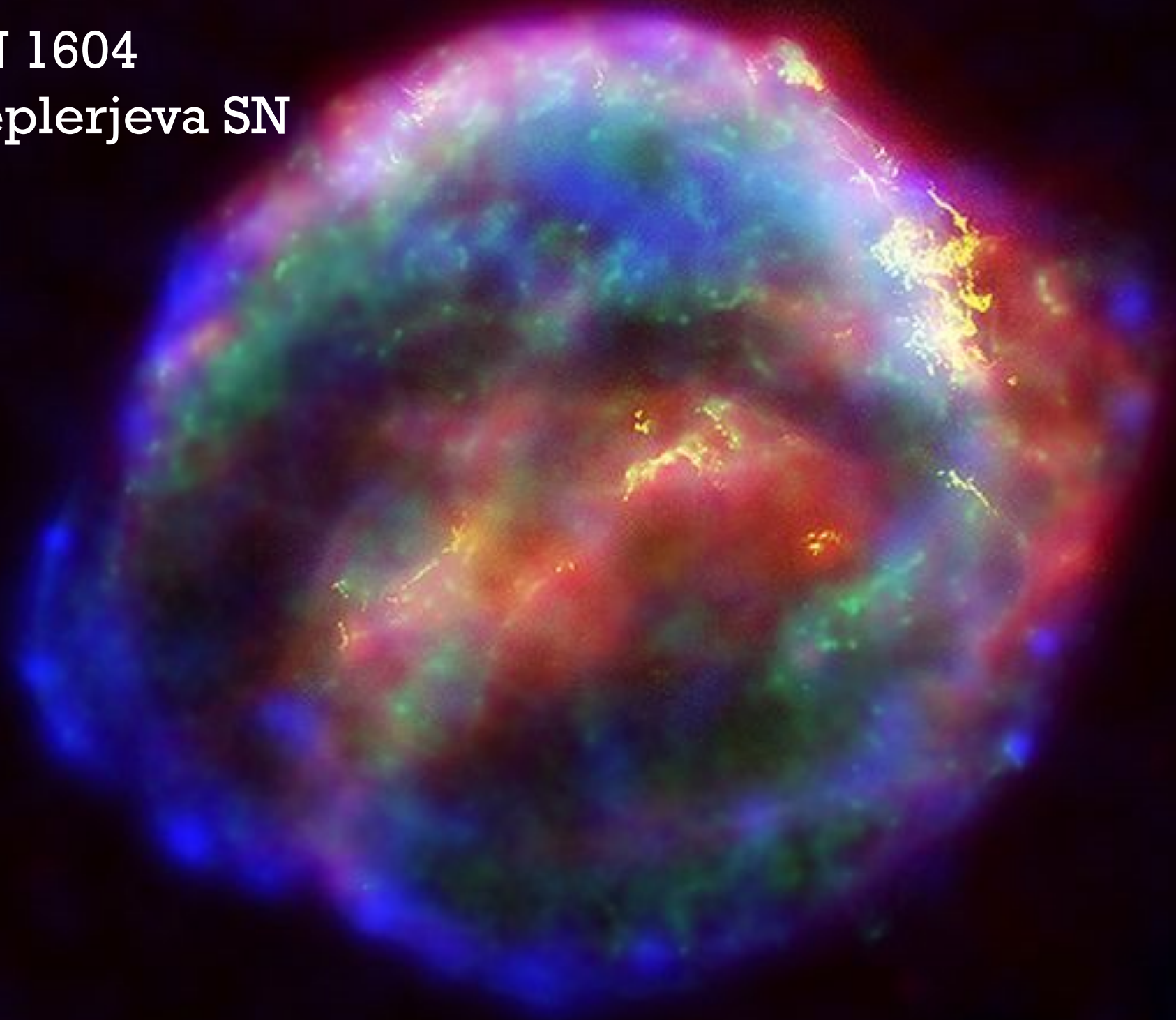
- eksplozija supernove:
Tip II, Tip Ib, Ic

- sredica –
nevtronska
zvezda ali
črna luknja –
končni stanji
masivnih zvezd

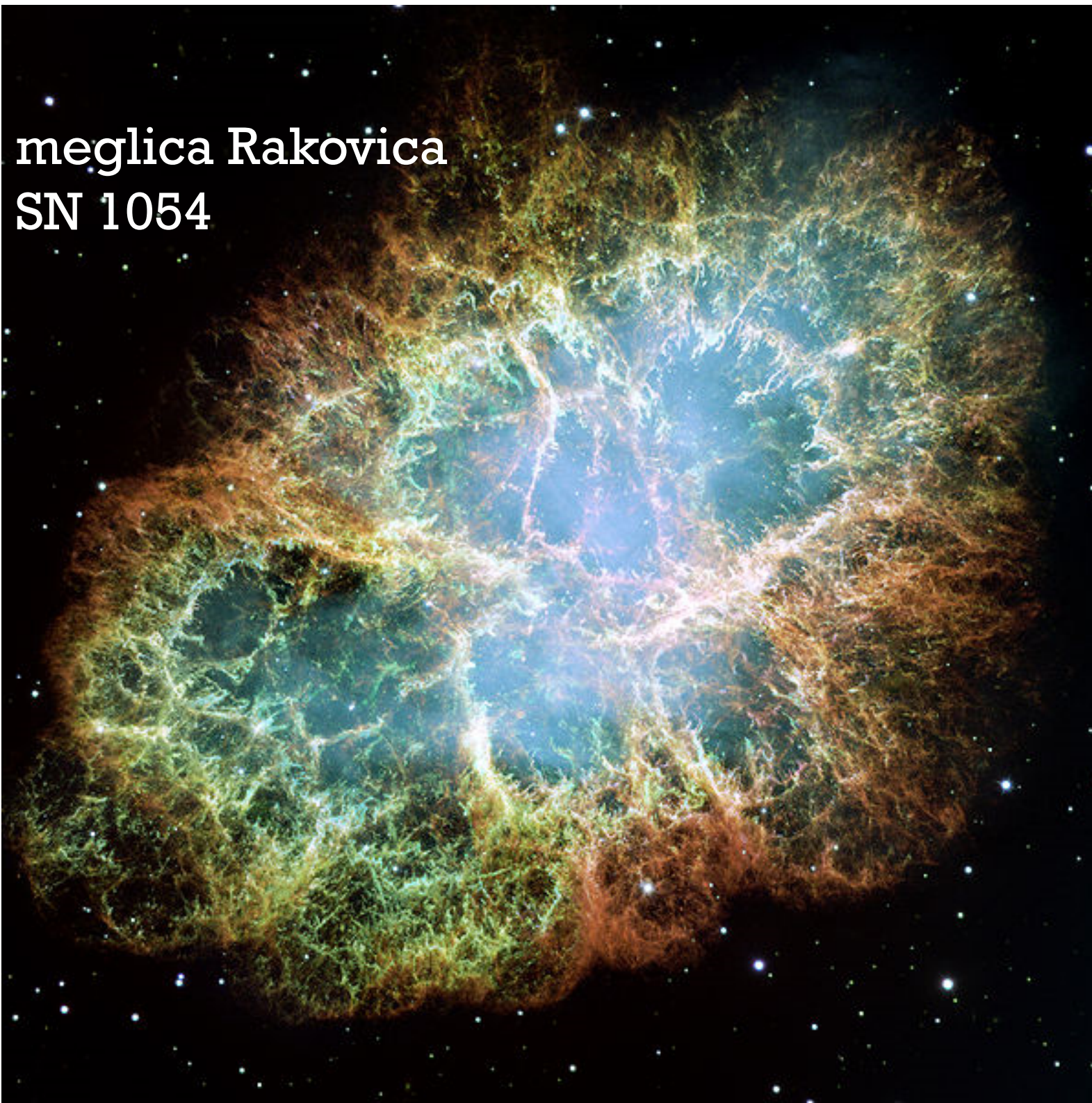


SN 1604

Keplerjeva SN

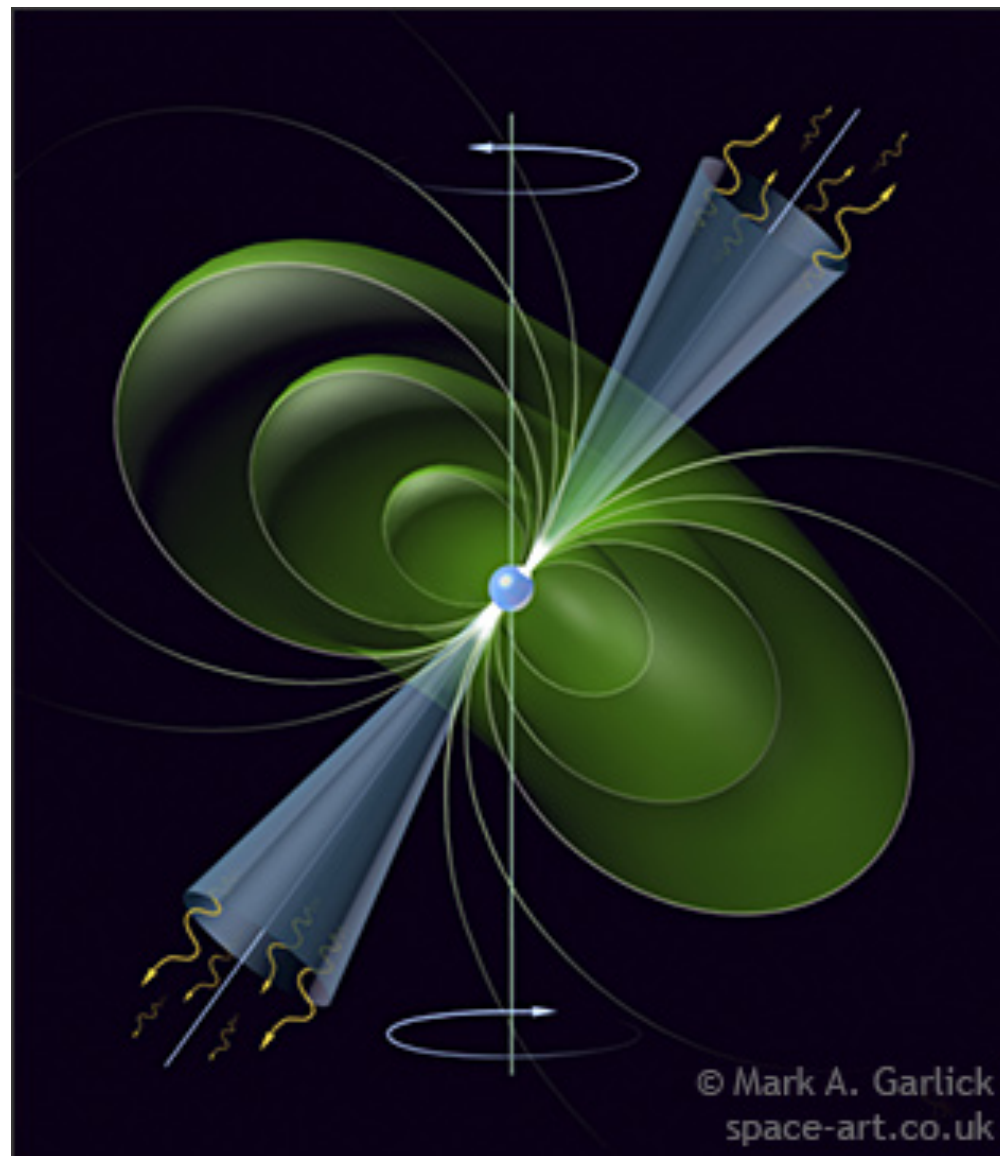


meglica Rakovica
SN 1054



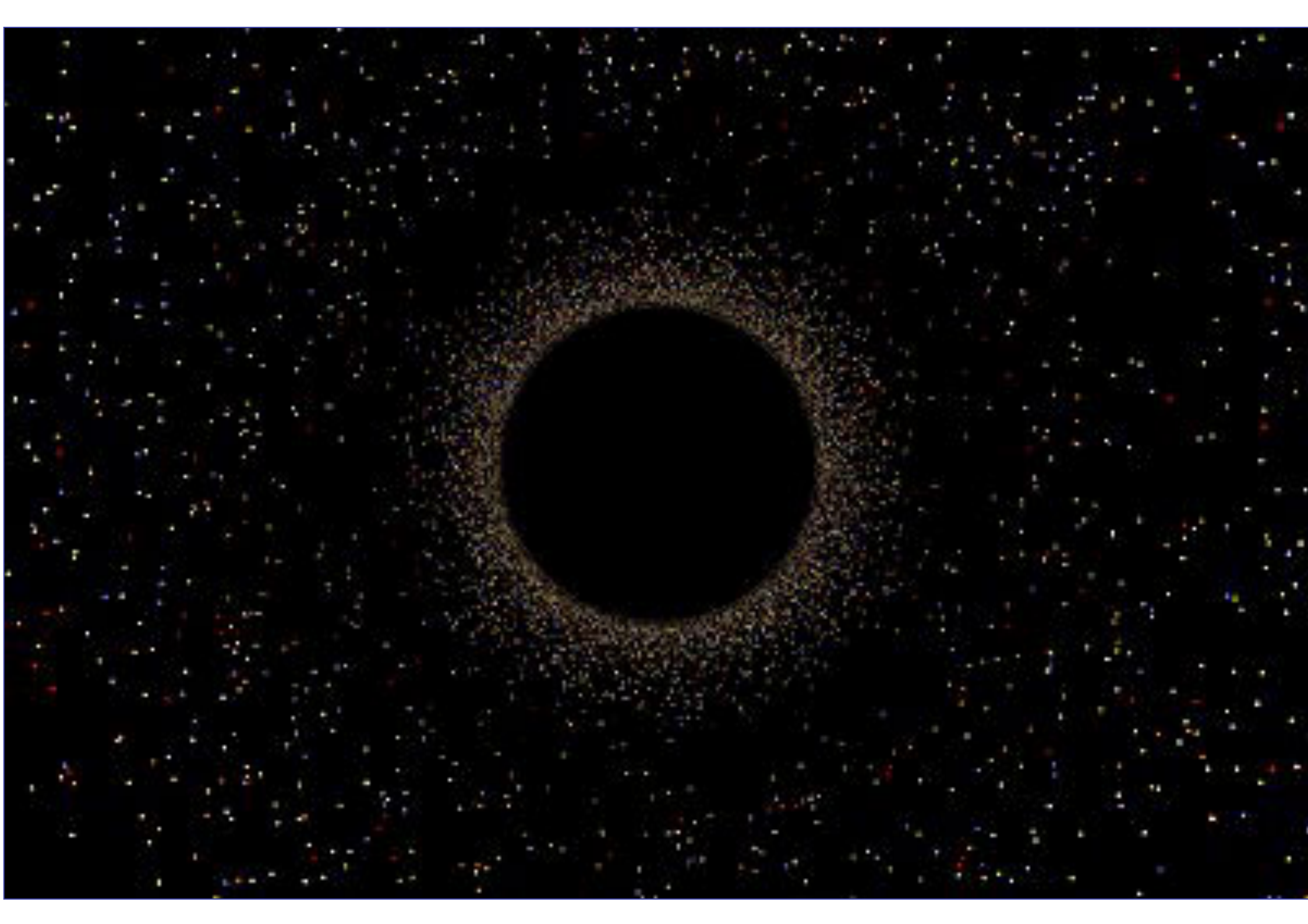
nevtronska zvezda

- mlada nevtronska zvezda z močnim magnetnim poljem – pulzar
- $1.4 M_{\odot} < M \leq \approx 2 M_{\odot}$

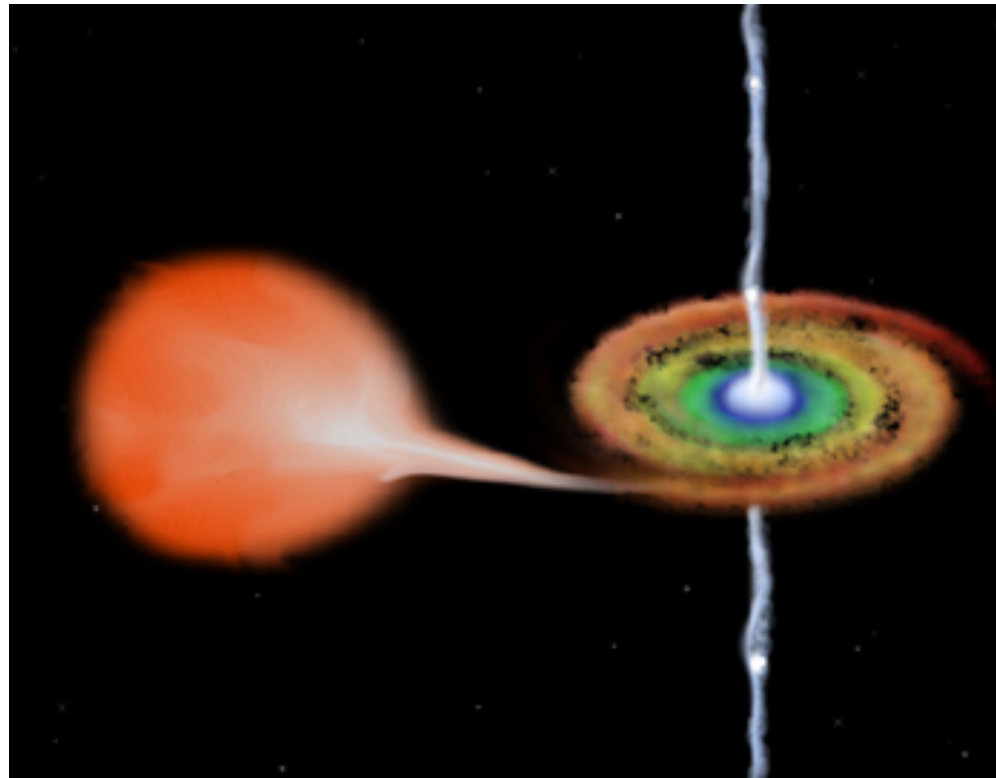


črna luknja

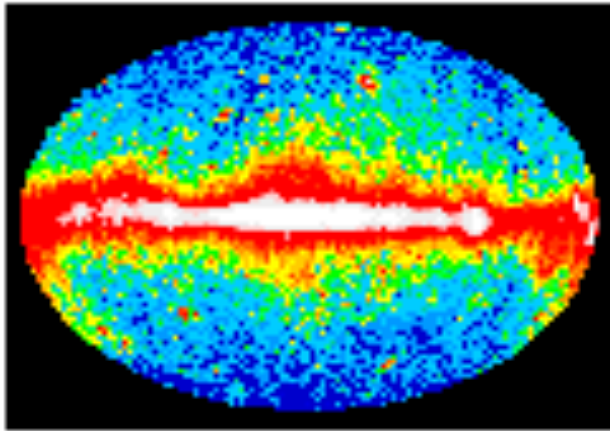




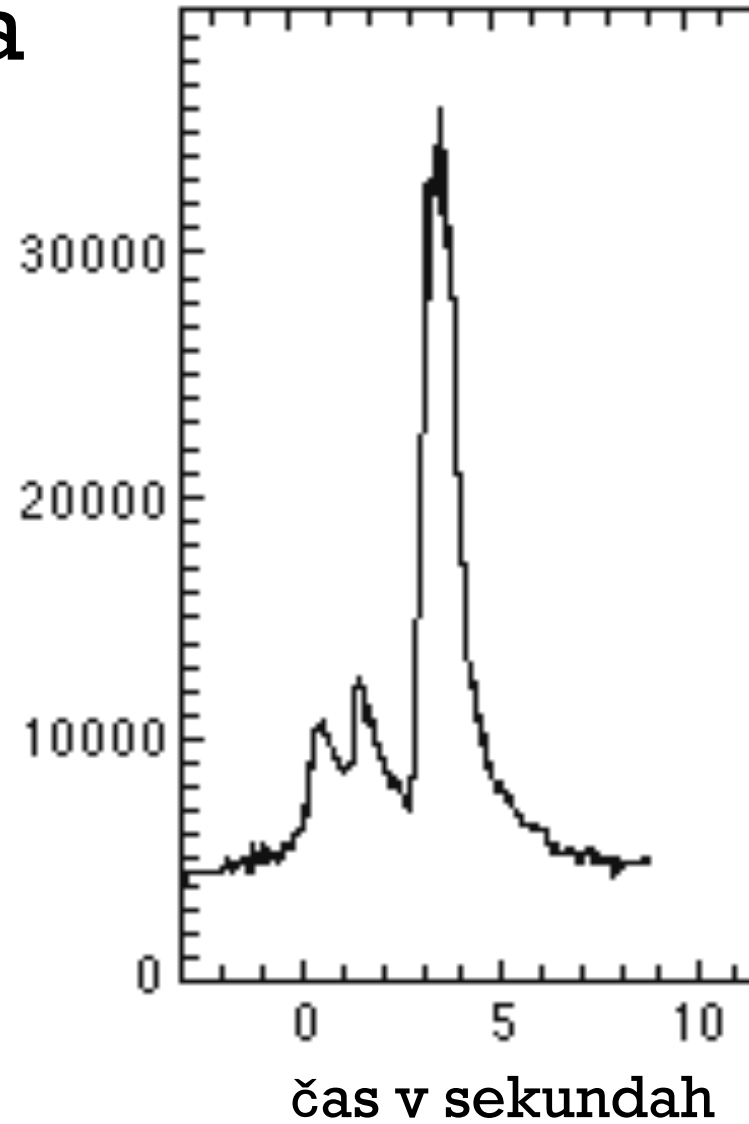
rentgenske dvojnice



Izbruhi sevanja gama



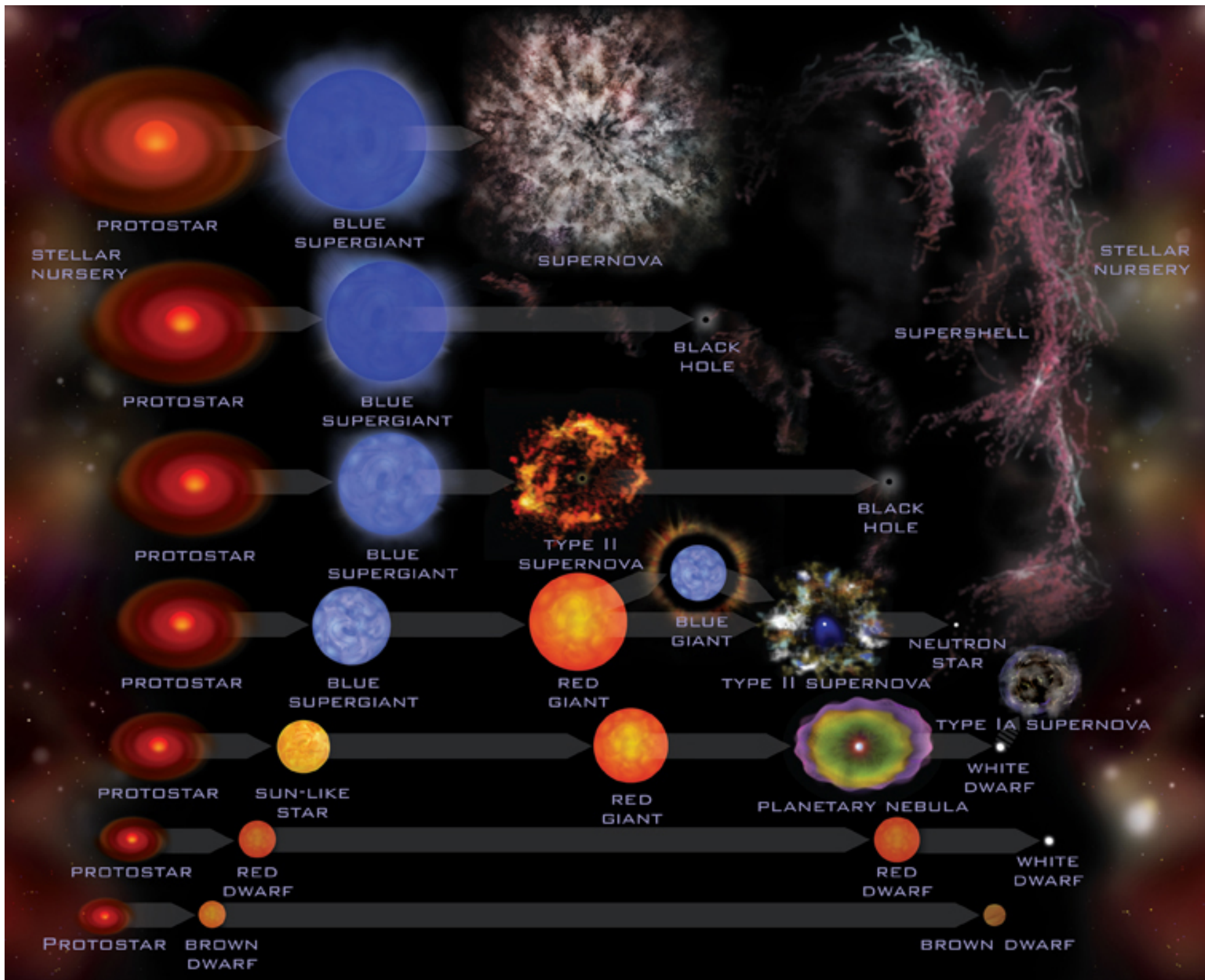
sunki na sekundo



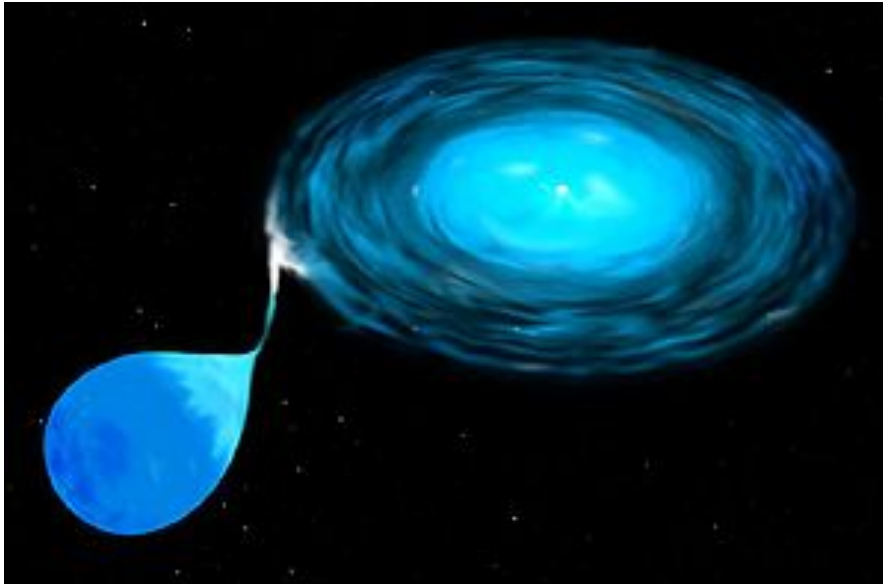
kolaps zvezde



http://www.nasa.gov/mpg/69479main_collapsar.mpg



supernova Tip Ia



standardni svetilniki – merjenje
razdalj v vesolju

Nobelova nagrada za fiziko 2011

