

Europska Unija  
Ulaganje u budućnost  
Projekt je sufinancirala Europska Unija iz  
Europskog socijalnog fonda



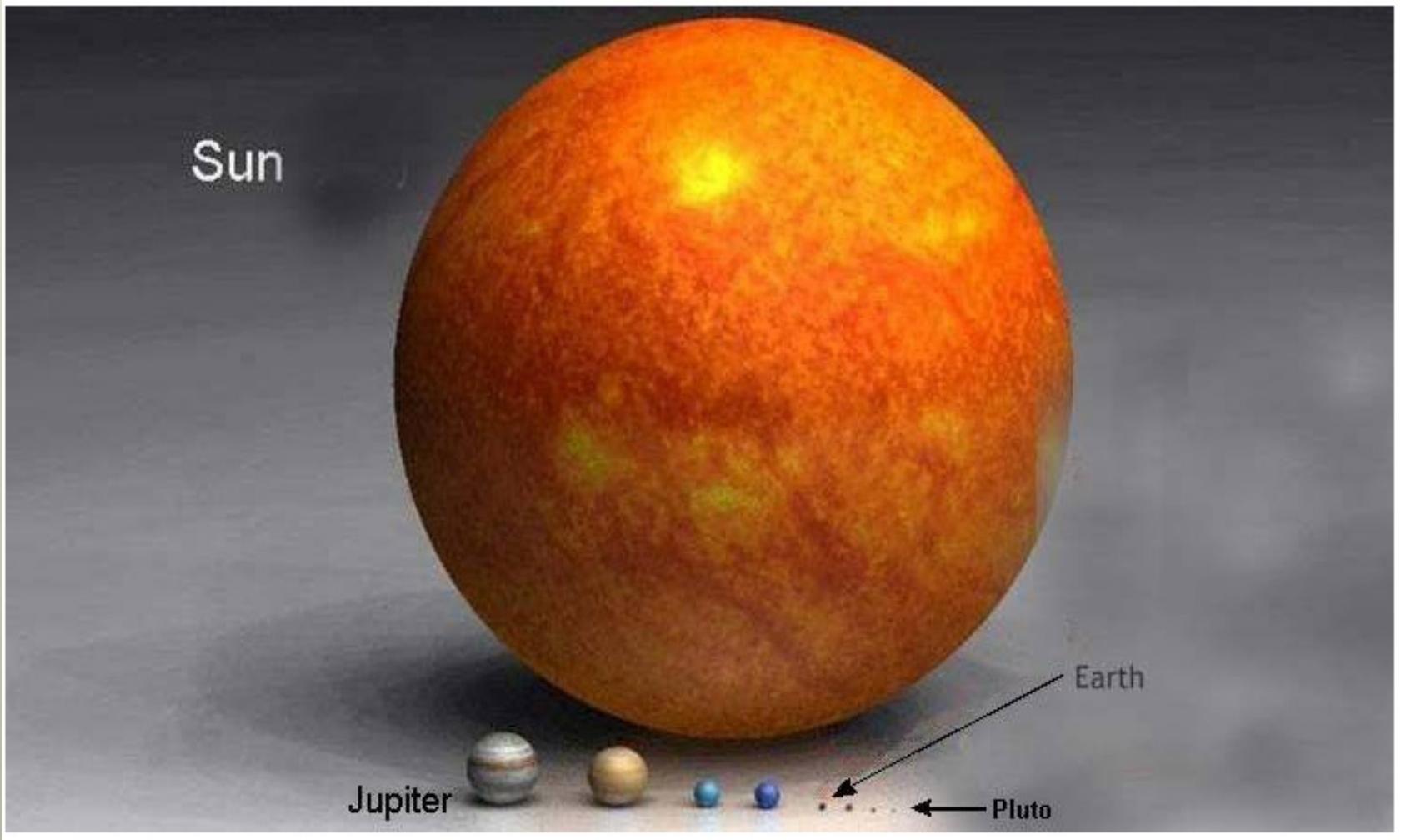
# ZVIJEZDE - NASTANAK I EVOLUCIJA

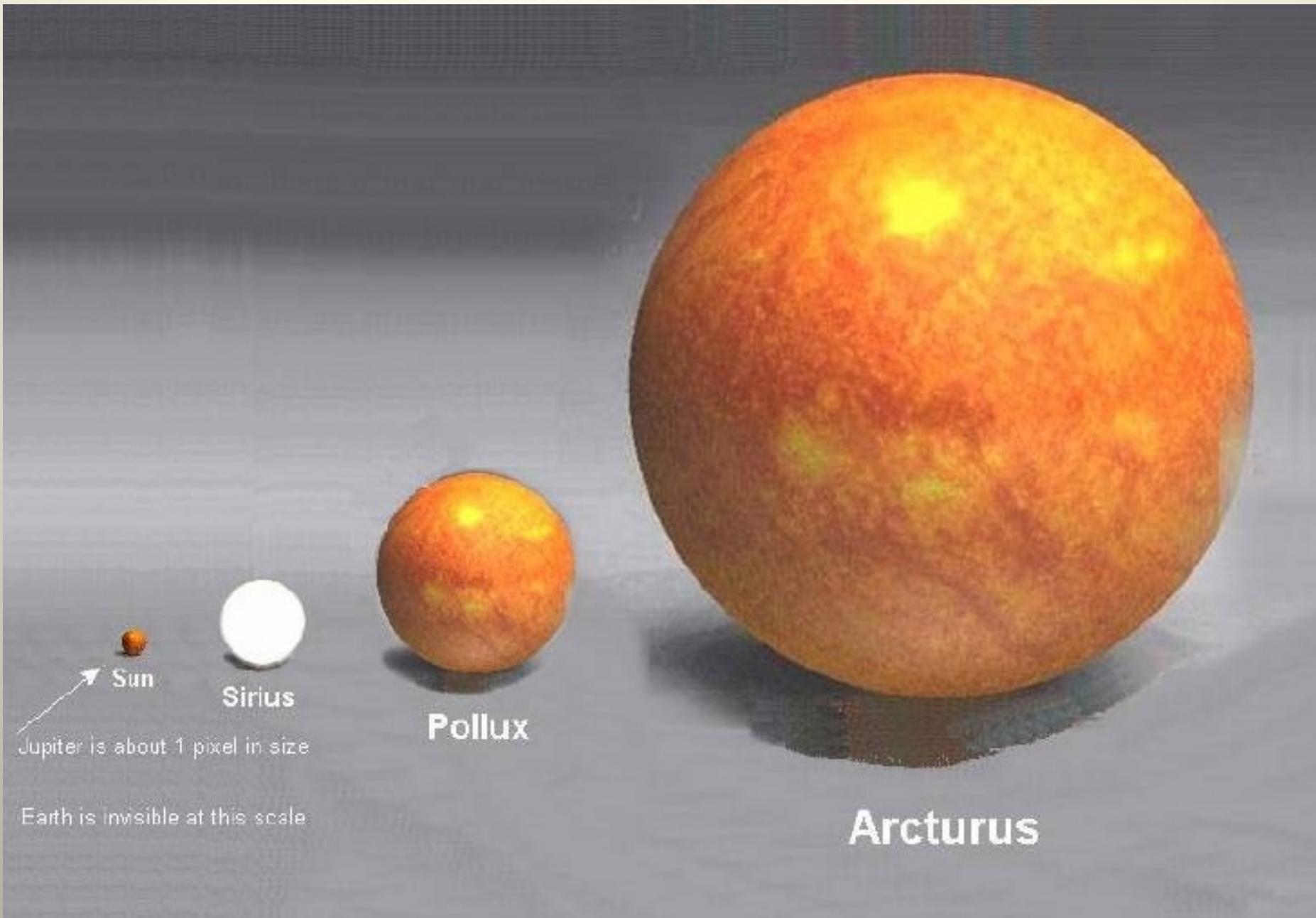


Lulić Slaven, dipl. ing.

# Što je zvijezda?

- Možemo reći da su zvijezde vruće svijetleće kugle plina koje nastaju u nebulama (“maglicama”) i u kojima se energija oslobađa nuklearnim reakcijama.
- Svojstva zvijezda variraju unutar vrlo širokog opsega:
  - polumjer im može biti  $\approx$ 500 puta manji od Sunčevog, ali i  $\approx$ 1000 puta veći. ( $R=696\ 342\ km$ )
  - masa im je između 1/20 i 150 masa Sunca ( $M=1,9E30\ kg$ )
  - površinska temperatura od 3000 do 50000 K ( $T=5778K$ )
  - vruće zvijezde su plave, a hladne crvene. Sunce između tih ekstrema i čini se žutim.





- Postoje objekti koji odstupaju od dosada navedenog, a ipak se nazivaju zvijezdama.
- “neutronske zvijezde” nisu plinovite
- “smeđi patuljci” nemaju vlastiti izvor energije
- Energija kojom zvijezde zrače stvara se u njihovom središtu nuklearnim reakcijama
- Evolucija svake zvijezde ponajprije ovisi o tim reakcijama, načinu i brzini trošenja nuklearnog goriva.
- Drugi važni (ne nužno nezavisni) parametri su masa i polumjer zvijezde, te njihova temperatura i intenzitet zračenja.

# NASTANAK SVEMIRA

- Veliki prasak (engl. Big Bang)
  - nastaje iz singularnosti
  - temperatura  $10^{33}$  K,
  - gustoća  $10^{96}$  kg/m<sup>3</sup>
  - kvantni zakoni
- Iz energije spontano nastaje materija
- Svemir se širi i hlađi
  - 0.01 s nakon početka temperatura pada na 100 milijardi K i javljaju se p i n
  - počinju se formirati prve jezgre budućih atoma

# PROTOZVIJEZDA

- Protozvijezda je zvijezda u nastajanju
- Nastanak je obično povezan sa nekim silovitim svemirskim događajem
- Takav događaj proizvede dovoljno energije da bi udarni valovi koji nastaju komprimirali međuzvjezdalu prašinu u dovoljnoj mjeri da grav. sila postaje dominantna

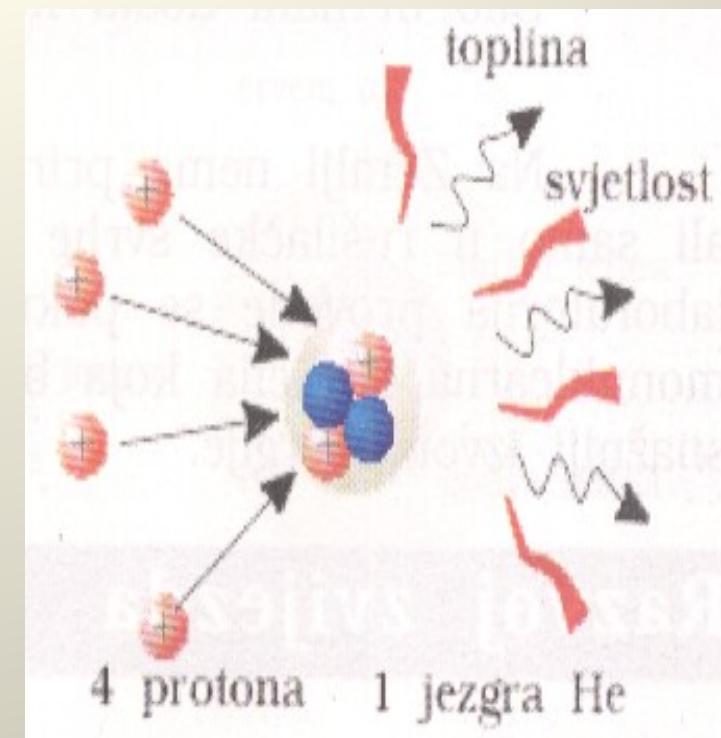
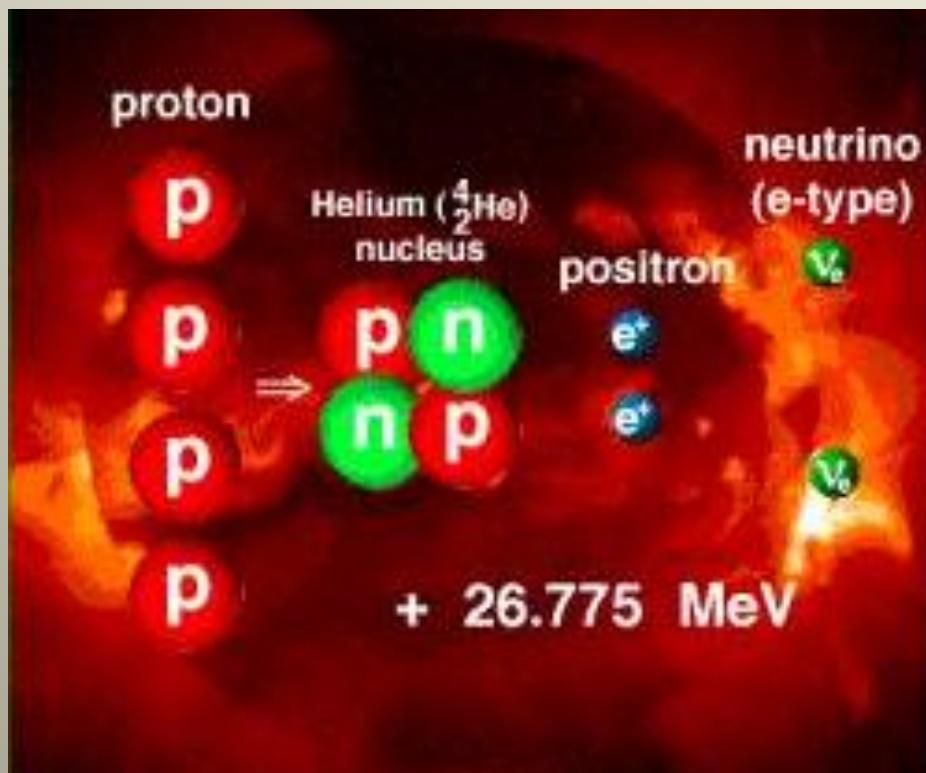
# PRVA FAZA RAZVOJA ZVIJEZDE

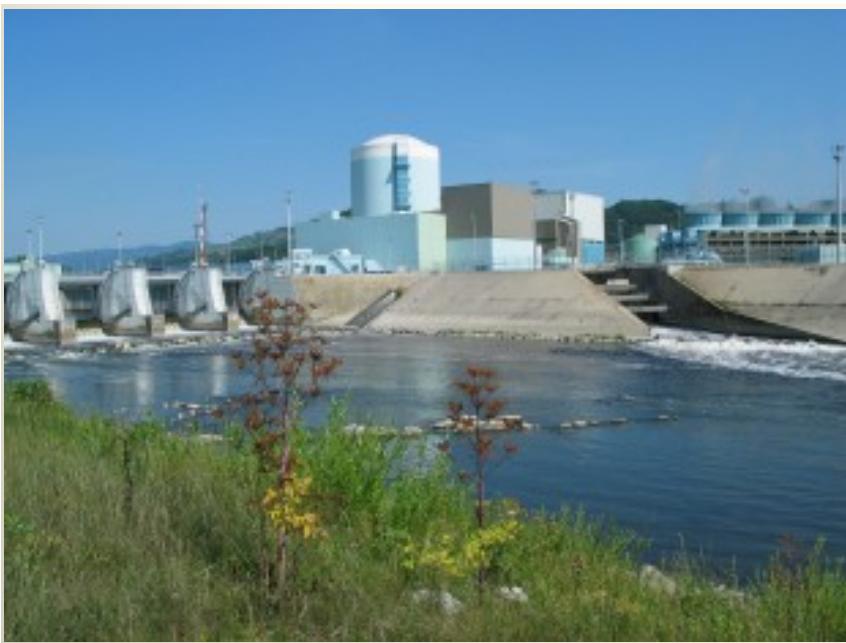
- Djelovanjem grav. sile počinje daljnje zgušnjavanje materije
- Zgušnjavanjem raste temperatura
- $T=10^7$  K započinje termonuklearna fuzija
- Počinje nuklearno sagorijevanje vodika u helij uz oslobođanje energije

- Kada se vodik u središtu pretvori u helij, u tom dijelu prestaju nuklearni procesi
- Nastala je središnja jezgra helija, nuklearne reakcije se odvija u ljudi oko nje
- Sunce će u tu fazu stići za oko 6 milijardi godina

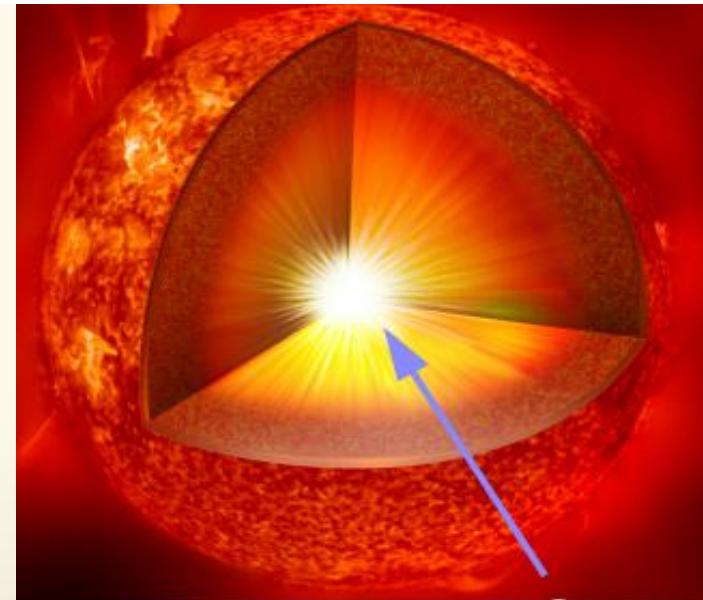
# TERMONUKLEARNA FUZIJA

- Općenito kod termonuklearne fuzije, na visokim temperaturama, lakše jezgre se spajaju u teže uz oslobođanje energije .
- $\Delta E = c^2 \cdot \Delta m$

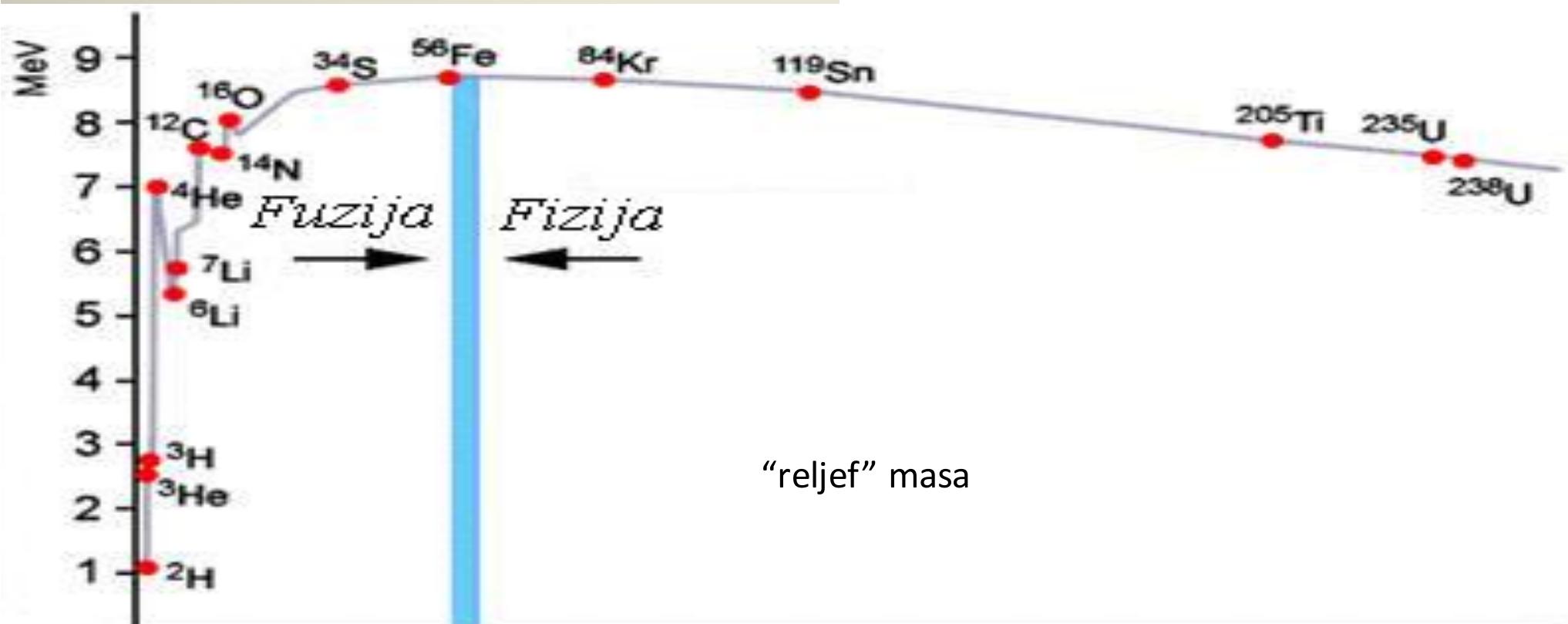




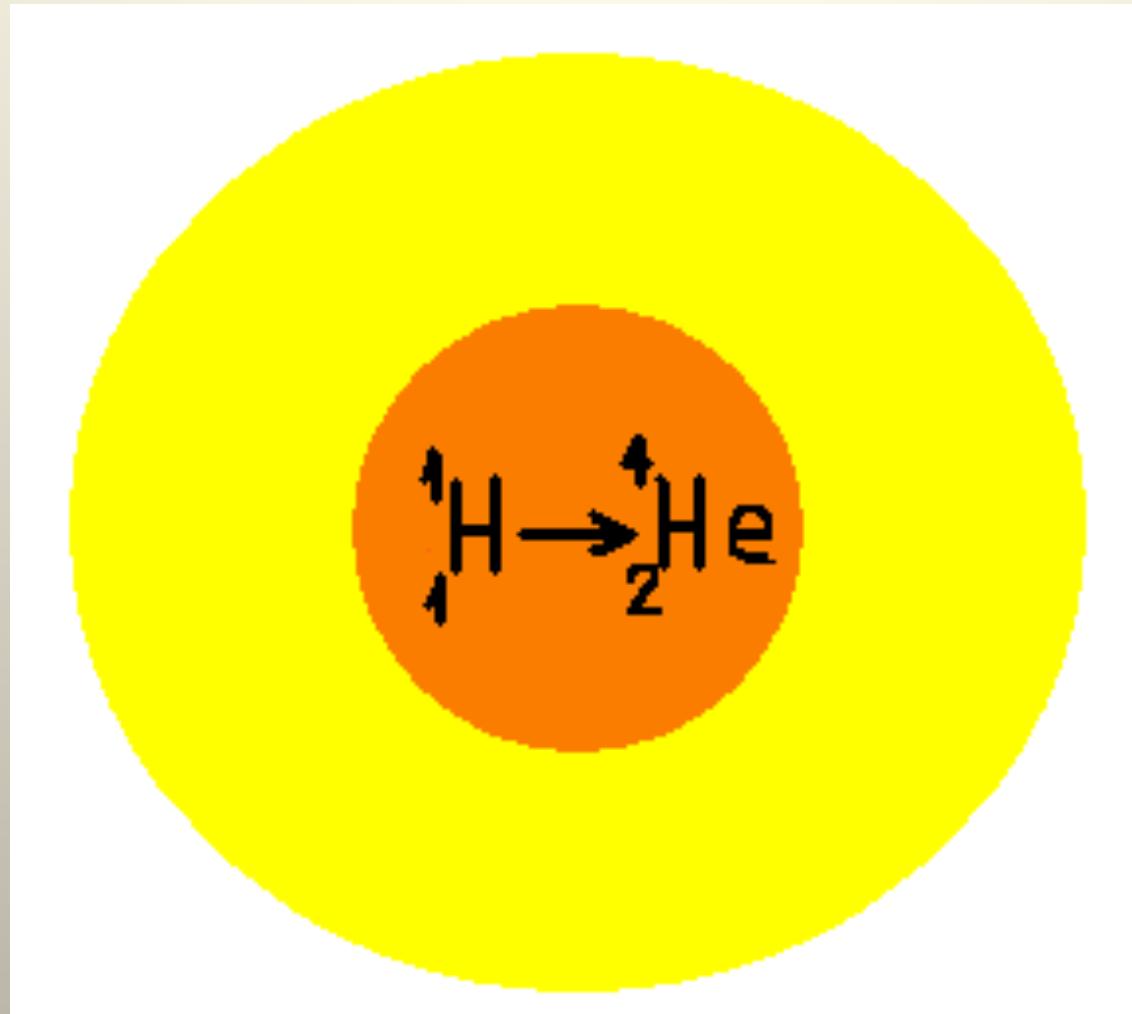
fisija



fuzija

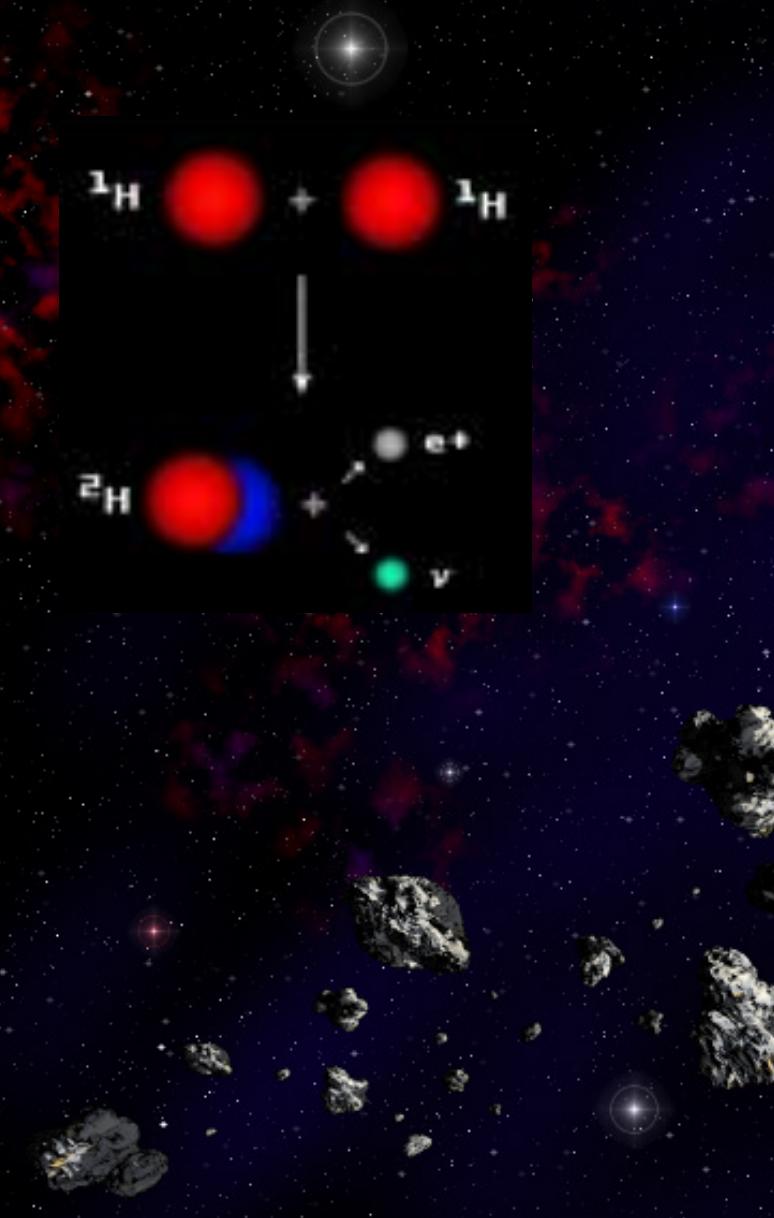


# FUZIJA VODIKA U 1. FAZI RAZVOJA ZVIJEZDE

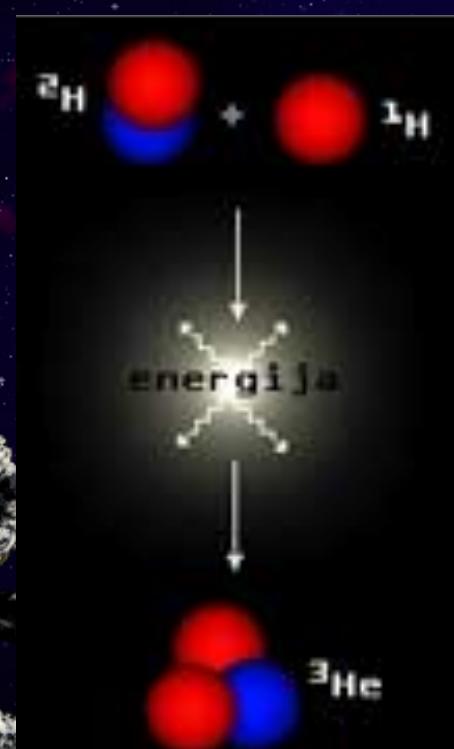


# Pojednostavljeni prikaz p - p ciklusa

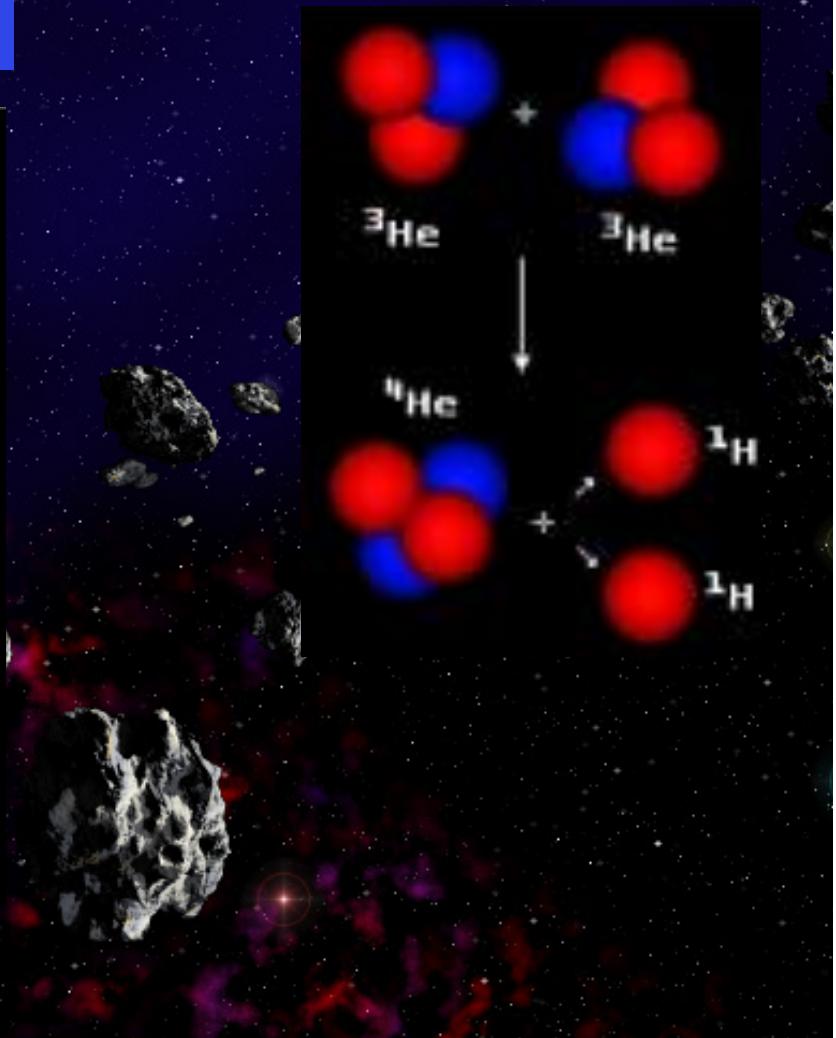
1. KORAK



2. KORAK



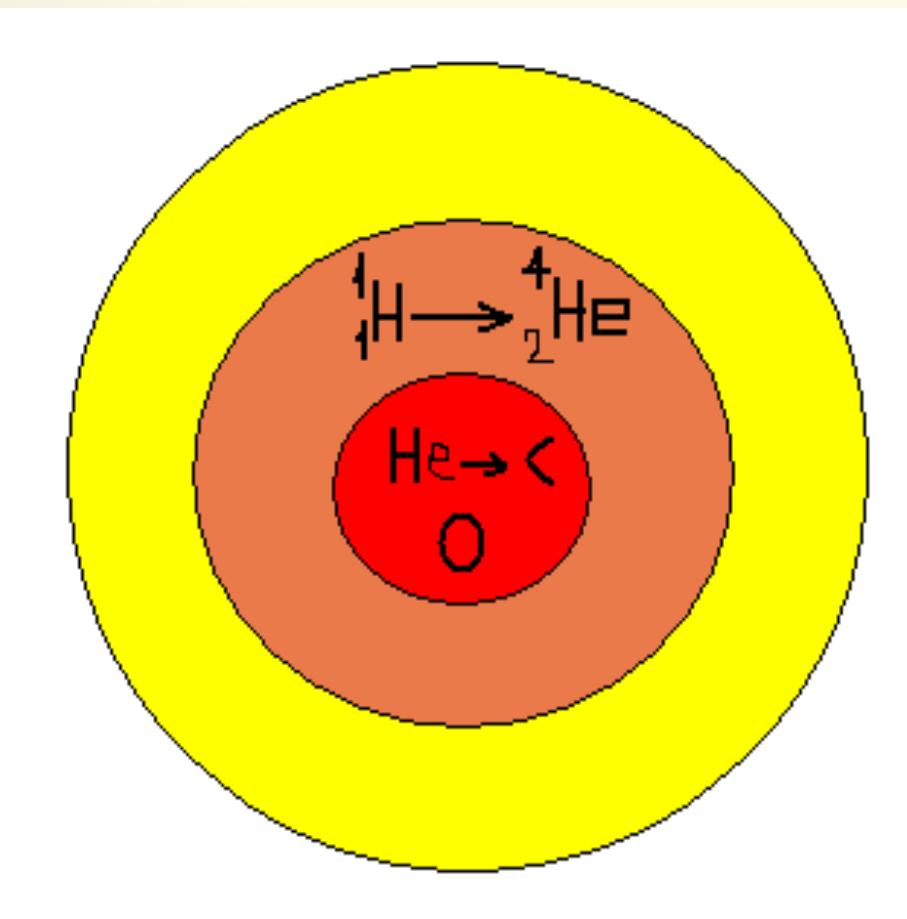
3. KORAK



# DRUGA FAZA RAZVOJA ZVIJEZDE

- Kada se u jezgri zvijezde iscrpi vodik pretvorivši se u helij, nastupa druga faza.
- U jezgri zvijezde više se ne odvijaju nuklearni procesi, jezgra se gravitacijski steže.
- Zbog toga raste temperatura.

- Kad temperatura u jezgri zvijezde dovoljno poraste,  $10^8\text{K}$ , započinje fuzija triju jezgara helija u jezgru ugljika, uz emisiju gama zračenja.
- Odvija se fuzija ugljika i helija u kisik itd.
- Preostaje vanjska ljsuska u kojoj nije iscrpljen vodik, pa u njemu i dalje teče fuzija vodika u helij.



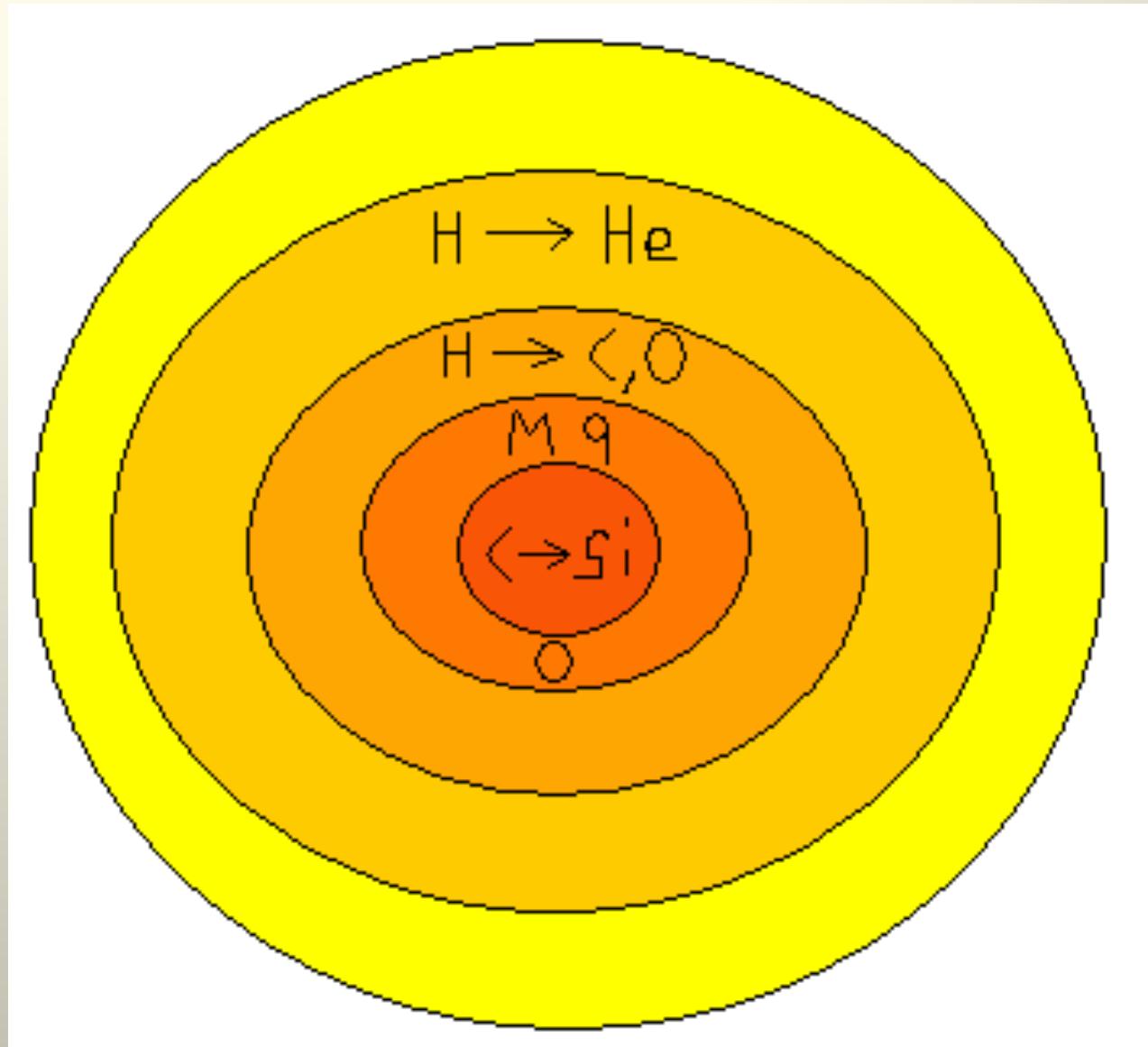
- Pri prijelazu iz 1. u 2. fazu zvijezda se uvelike širi.
- To će se za nekoliko milijardi godina dogoditi sa Suncem.
- Ono će se pritom toliko povećati da će progutati najbliže planete i spržiti Zemlju.

# TREĆA FAZA RAZVOJA ZVIJEZDE

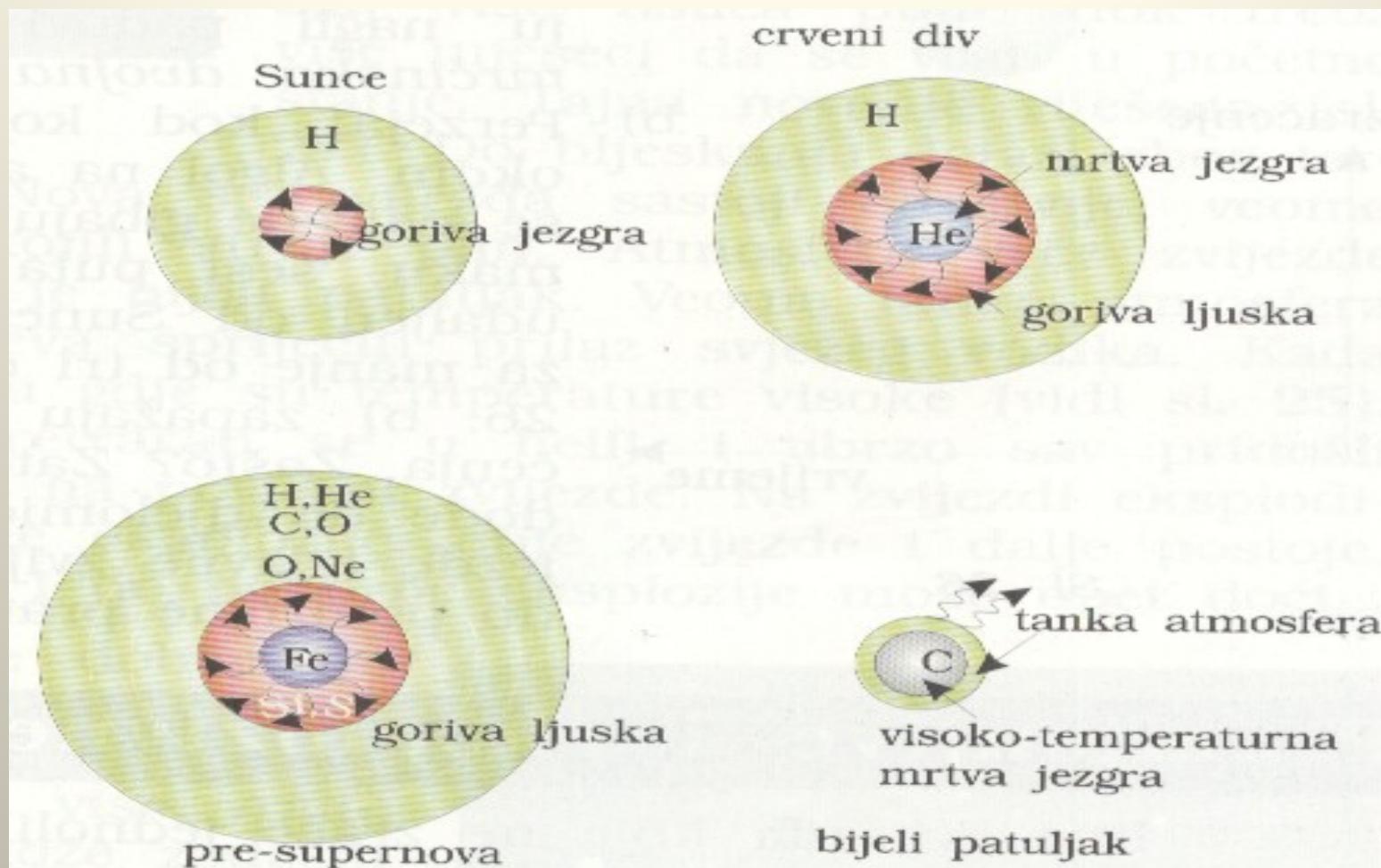
- Kada se u središnjem dijelu zvijezde potroši sav ugljik , središnji se dio ponovno gravitacijski steže i temperatura opet raste. Kada temperatura dovoljno poraste nastupa treća faza.
- Dalnjom fuzijom u središnjem dijelu nastaju magnezij , silicij .... Oko te središnje jezgre nalazi se prva ljska u kojoj i dalje fuzijom helija nastaje ugljik, pa sljedeća ljska u kojoj fuzijom vodika nastaje helij. U idućim fazama nastaje fuzija sve težih i težih jezgara, sve dok u središnjem dijelu zvijezde ne nastane željezo. Stvara se jezgra pretežno građena od atomskih jezgri željeza i drugih jezgri slične mase. Oko toga oblikuju se ljske koje sadrže redom sve lakše i lakše jezgre što su bliže površini zvijezde.

Dalje dolazi do fuzije u  
sve teže elemente....

itd..... sve do  $_{26}^{56}\text{Fe}$ .

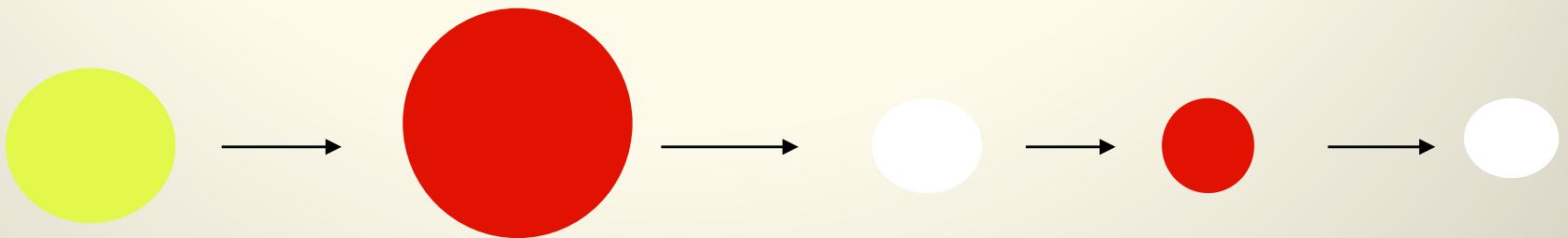


# Razvoj zvijezde ovisi o njenoj masi



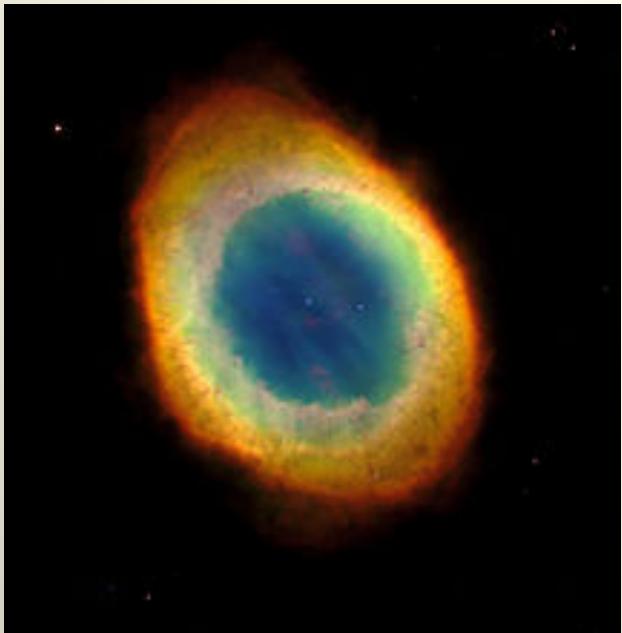
Sl. 25. Grada Sunca, crvenog diva, presupernove i bijelog patuljka (veličine zvijezda nisu u ispravnom mjerilu)

- MALE I SREDNJE ZVIJEZDE ( poput Sunca ) nakon što se sav vodik u njihovim središta pretvori u helij, dospijevaju u fazu crvenog diva .
- U takvim zvijezdama ne može, zbog manje mase, započeti novo gravitacijsko stezanje jezgre.
- Gusta masivna jezgra od vrućeg ugljika naziva se bijeli patuljak, a najveći dio materije bivše zvijezde, koji se već ranije počeo širiti, nastavlja se sferno širiti međuzvjezdanim prostorom u obliku planetarne maglice.
- Nakon  $10^7$  godina bijeli patuljak će se ohladiti i postati smeđi patuljak .



## ZVIJEZDA MALE MASE

1. Žuti patuljak – emitira žućastu svjetlost
2. Crveni div – sjaji crvenim sjajem
3. Bijeli patuljak – izgorio je sav helij
4. Crveni patuljak
5. Smeđi patuljak  
=>vjerojatno ovakva sudbina očekuje i naše Sunce



M57\_The\_Ring\_Nebula

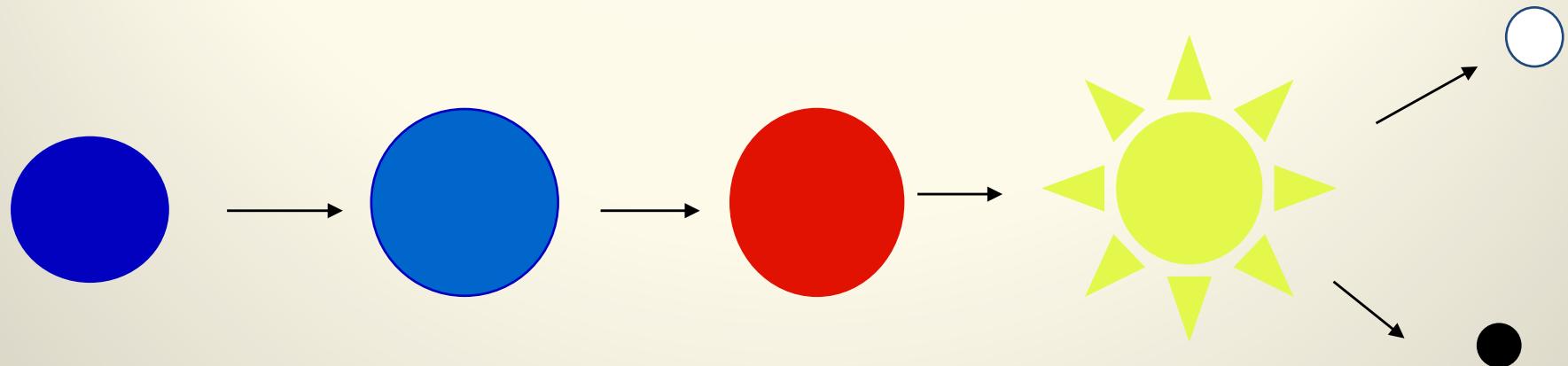


NGC2392 (Eskim)



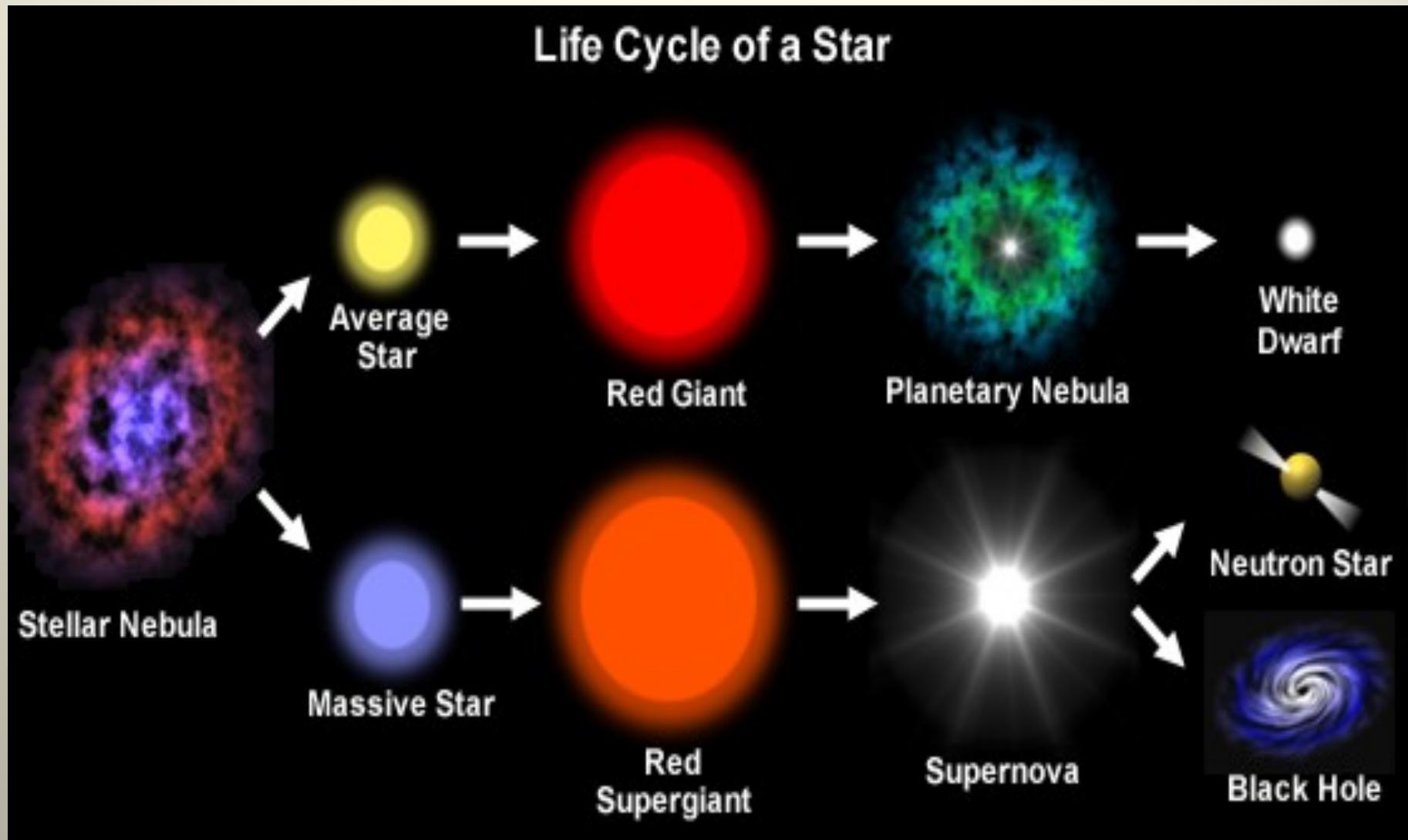
NGC7293

- MASIVNE ZVIJEZDE ( s masom 10 puta većom od Sunčeve mase ) nastavljaju u svojim jezgrama fuziju u teže elemente , sve do željeza .
- Daljnje stezanje jezgre dovodi do urušavanja i eksplozije koja se naziva supernova, pri čemu se skoro cjelokupna materija zvijezde razleti u međuvjezdani prostor.
- Ako jezgra preostale zvijezde nakon eksplozije ima masu između 1,4 i 3 Sunčeve mase pretvoriti će se u neutronsku zvijezdu, a ako je jezgra zvijezde masivnija od 3 Sunčeve mase pretvoriti će se u crnu rupu.



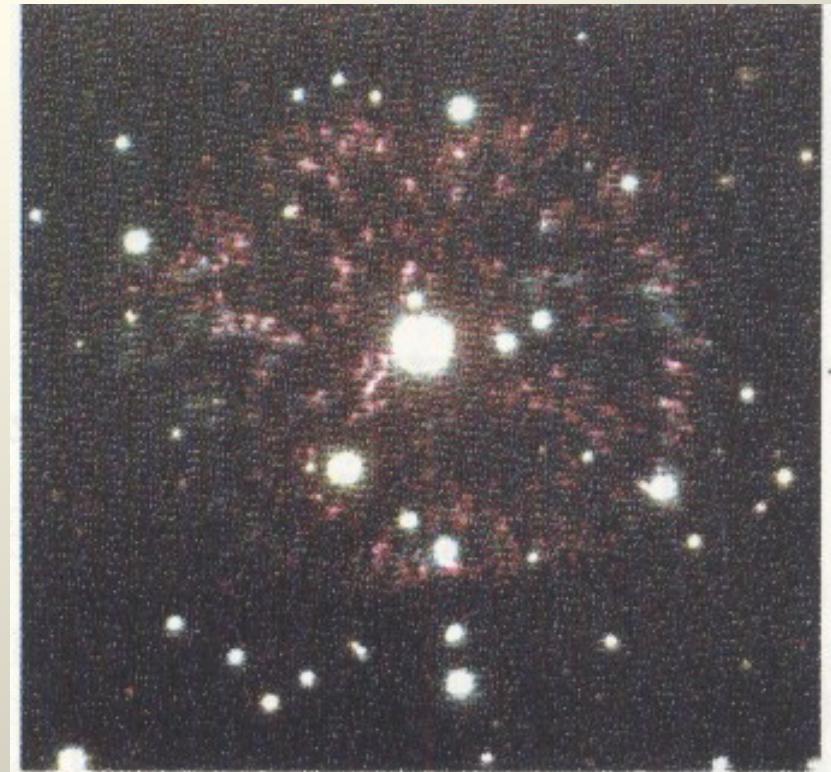
## ZVIJEZDA VELIKE MASE

1. Plava zvijezda – temperatura na površini  
je  $25\,000^{\circ}\text{C}$
1. Plavi superdiv
2. Crveni div – jezgra  $600\text{ milijuna }^{\circ}\text{C}$
3. Supernova a) neutronska zvijezda  
b) crna rupa



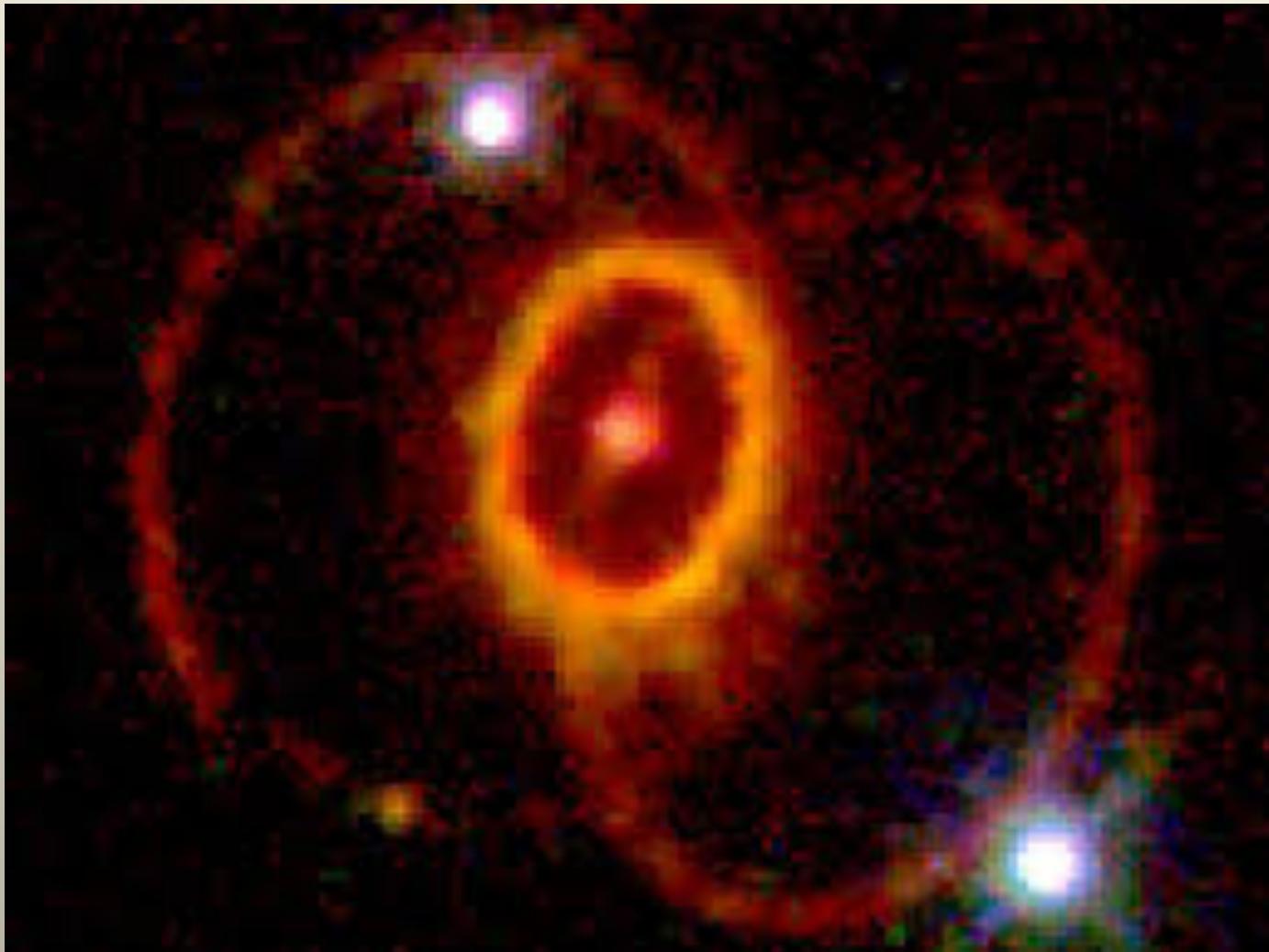
# SUPERNOVE

- sjaj im se poveća mnogo više nego kod galaksija.
- javljaju se rjeđe nego nove
- ako je u jezgri jako masivne zvijezde u termonuklearnoj fuziji došlo do željeza, tlak u jezgri pada, središte zvijezde se uruši, a atmosfera odlijeće u svemir. Od atmosfere preostaje samo maglica



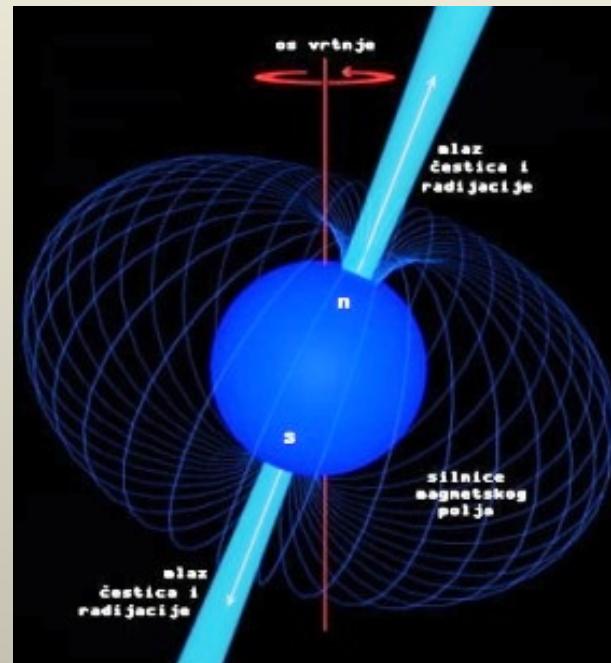
Sl. 28. Nova u Perzeju, pojavila se 1901. god.

- 1987A - u Velikom Magelanovom oblaku



# Što ostaje nakon eksplozije supernove ?

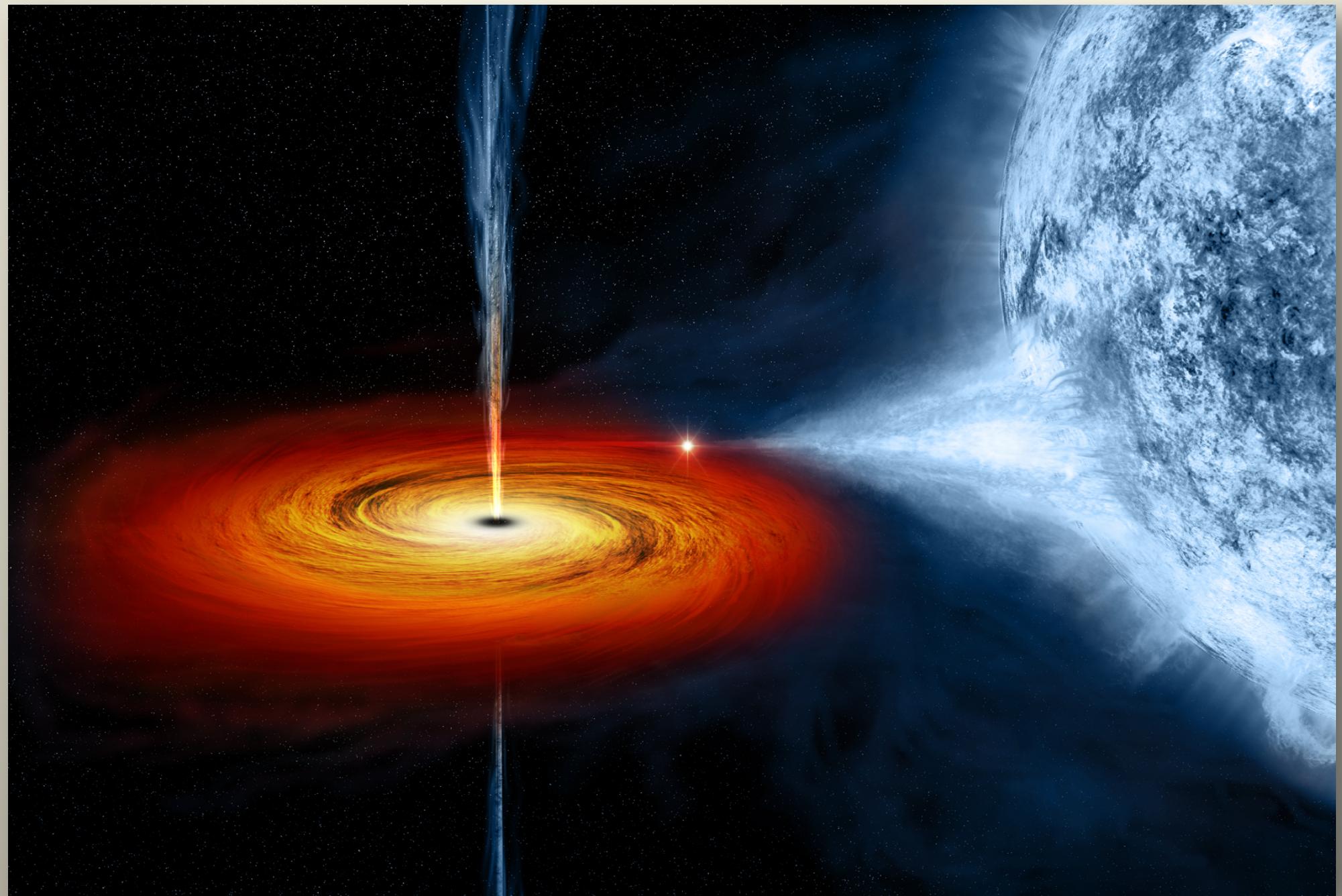
1. Neutronska zvijezda – polumjera 10-ak kilometara koja brzo rotira ( stotinjak puta u sekundi). Neke neutronske zvijezde se vide kao pulsari.



2. Crna rupa

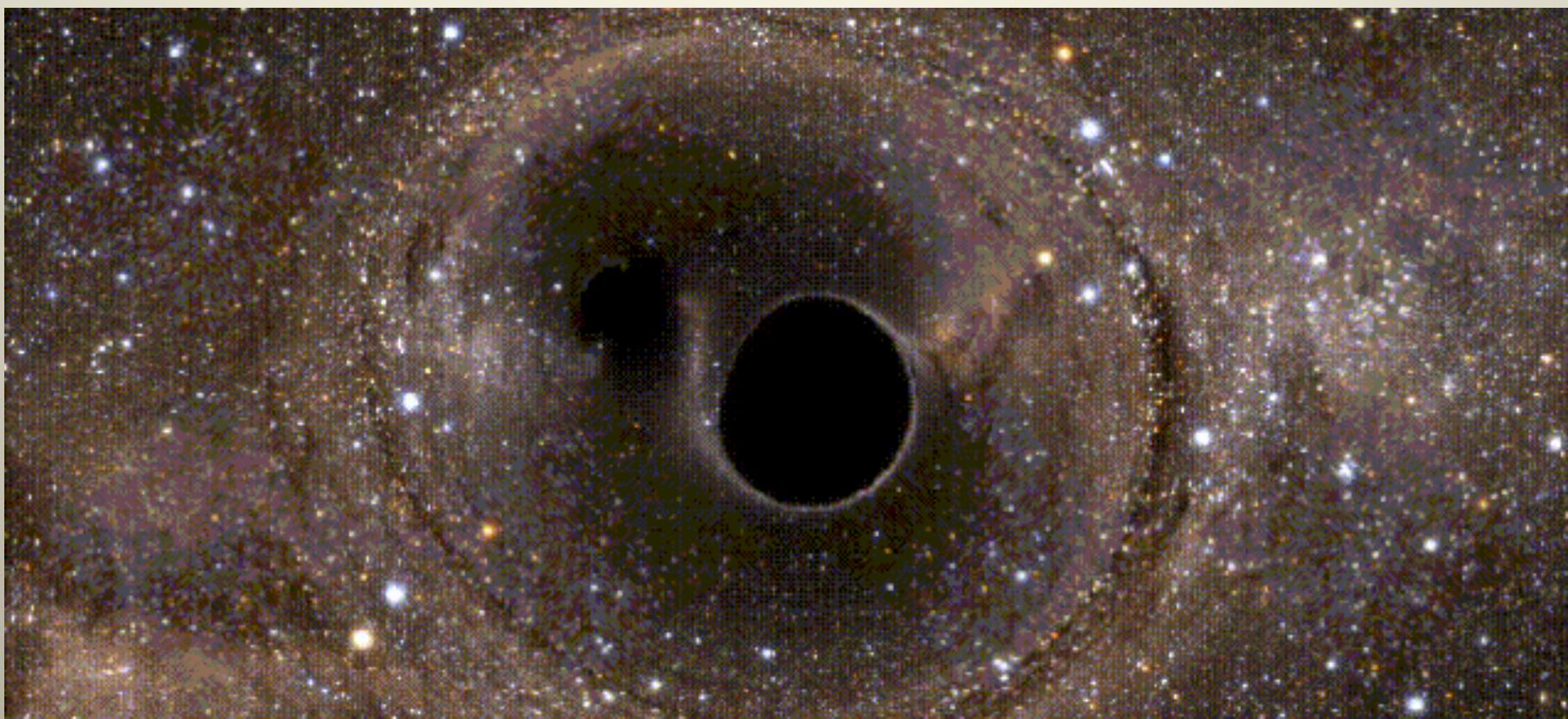
- Crna rupa je prostor u kojem je velika masa zbijena u malom prostoru. Gravitacijsko polje je toliko jako da niti svjetlost ne može izaći van. Otuda i naziv ***crna rupa***.
- Teoretski crne rupe mogu biti bilo koje veličine, od mikroskopskih do onih veličine Svemira.



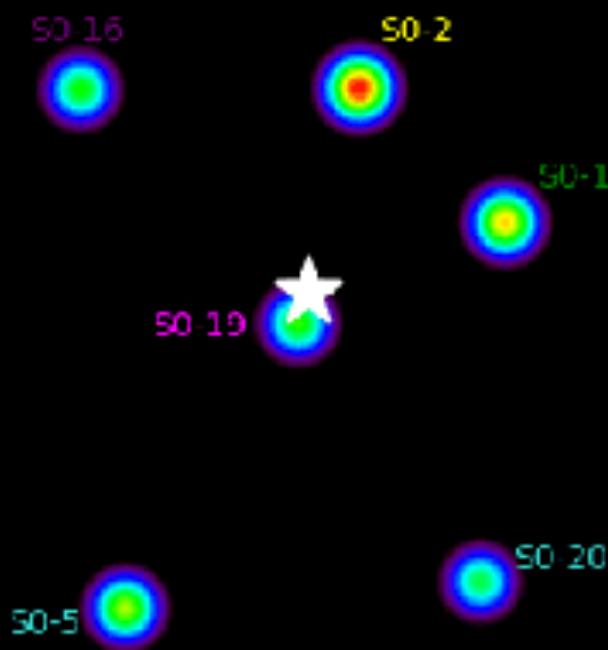




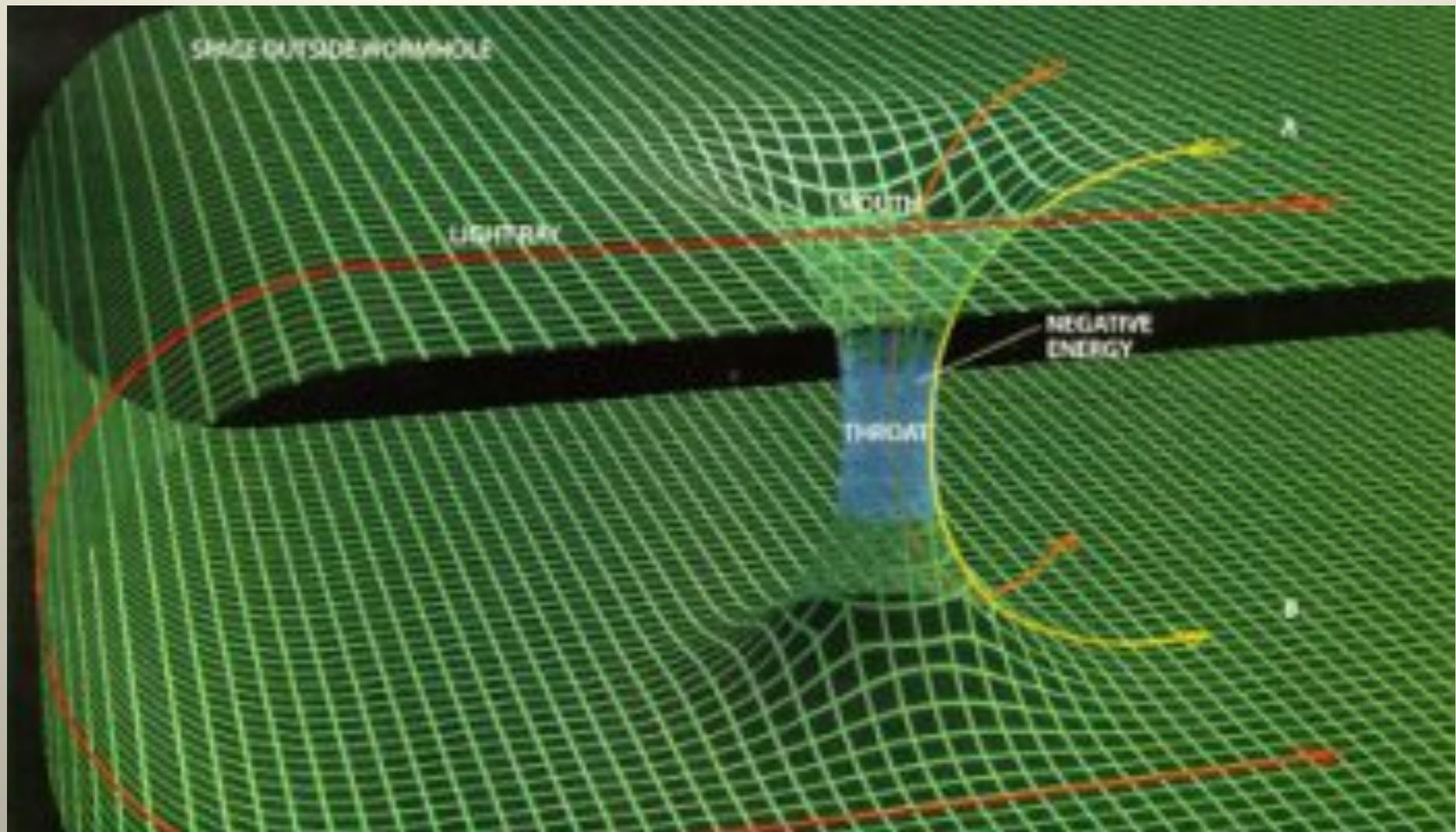
SPL



**1995.5**



Keck/UCLA Galactic  
Center Group



HVALA NA PAŽNJI