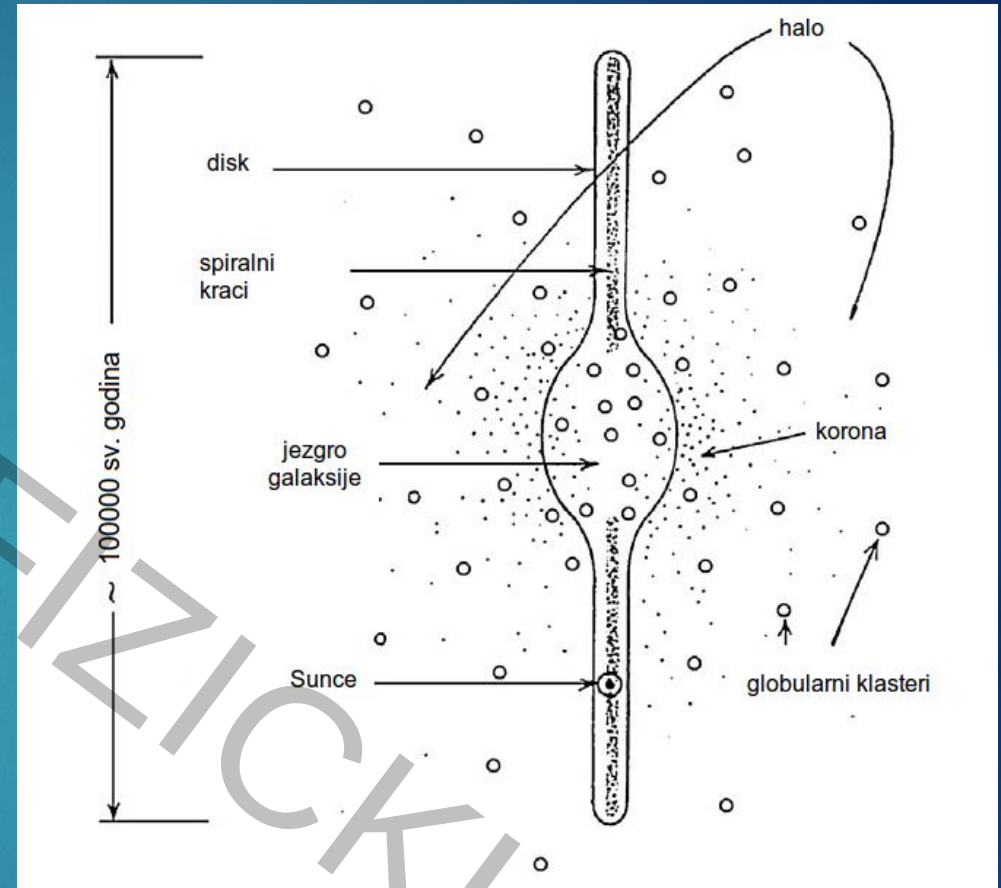


Нуклеосинтеза



Галаксија Млечни пут



□ $200 \cdot 10^9$ звезда

□ Маса Сунца ($M_{\odot}$) = $1,99 \cdot 10^{30}$ kg

□ Маса Млечног пута $> 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$

□ Процењени број галаксија у свемиру 10^{10}

Тамна материја и тамна енергија

- ❖ Оно што непосредно детектујемо чини свега 5 % масе свемира.
- ❖ Остатак...
- ❖ 20 % “тамна” материја
 - ❖ Међузвездана и интергалактичка материја
 - ❖ Неутронске звезде
 - ❖ Браон патуљци
 - ❖ “Црне рупе”
- ❖ 75 % “тамна” енергија

Сјајност звезде

- ▶ Податке о звездама добијамо
 - ▶ Спектроскопским мерењима (састав површине звезде)
 - ▶ Мерењима континуалног зрачења (температура)
 - ▶ Болометријска мерења (сјајност звезде)
- ▶ Привидни сјај звезде

$$F = \frac{L^*}{4\pi d^2}$$

- ▶ Нова мера сјајности звезде је привидна магнитуда

$$m^* = -2,5 \log \left(\frac{F}{F_0} \right)$$

Хаблов закон и старост свемира

- ❖ Црвени померај у емисији звезда указује да се свемир шири
- ❖ Црвени померај

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = H \frac{d}{c}$$

- ❖ УЗ $v_r \ll c$ $Z = \frac{v_r}{c} = H \frac{d}{c}$

- ❖ Hable-ов закон $v_r = Hd$

- ❖ $v_r = \frac{d}{t_0} \Rightarrow t_0 = \frac{1}{H}$

$$t_0 = 13,75 \cdot 10^9 \text{ година}$$

Старост Соларног система

► Сунце

► $T_s = 5780 \text{ K}$

► $T_c = 1,5 \cdot 10^7 \text{ K}$

► $E_{\text{prod}} = 3,76 \cdot 10^{26} \text{ Js}^{-1}$

► Укупна реакција у Сунцу је



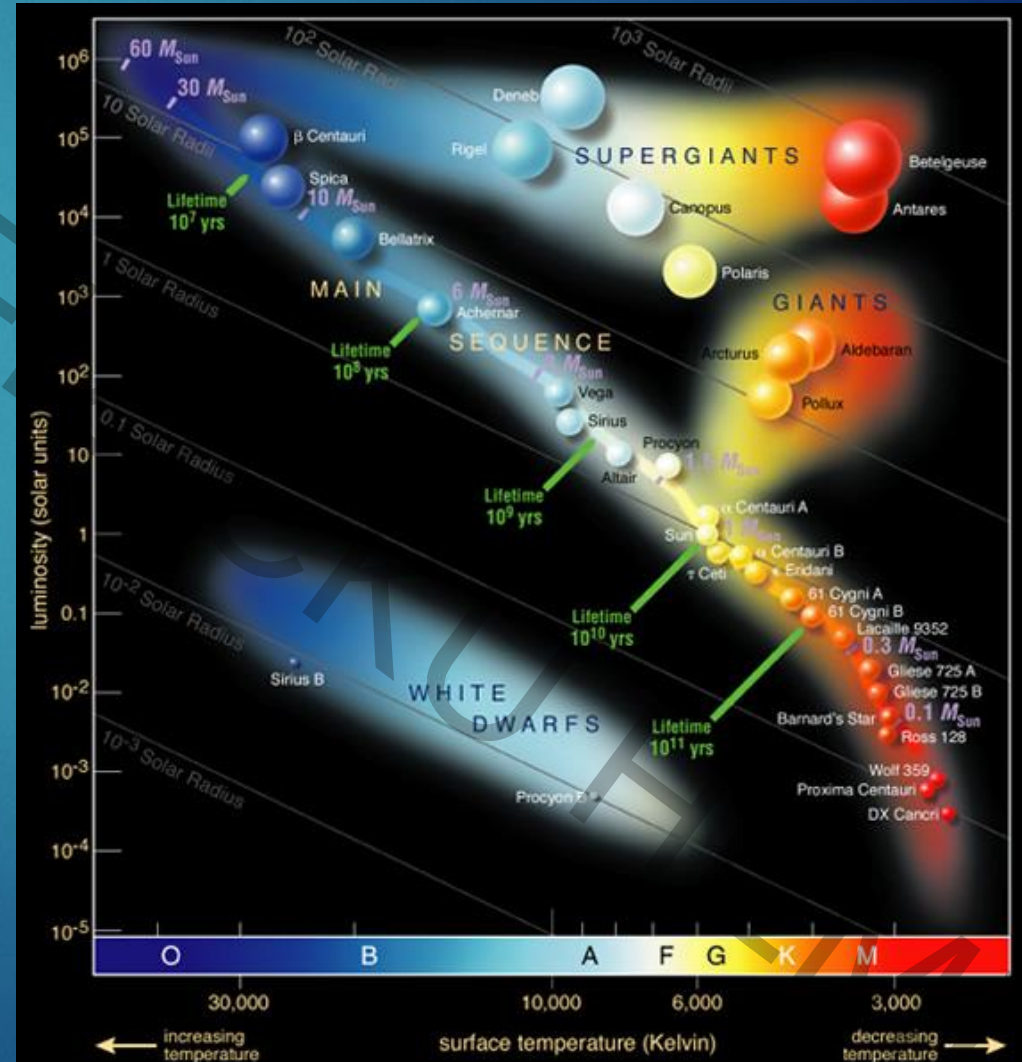
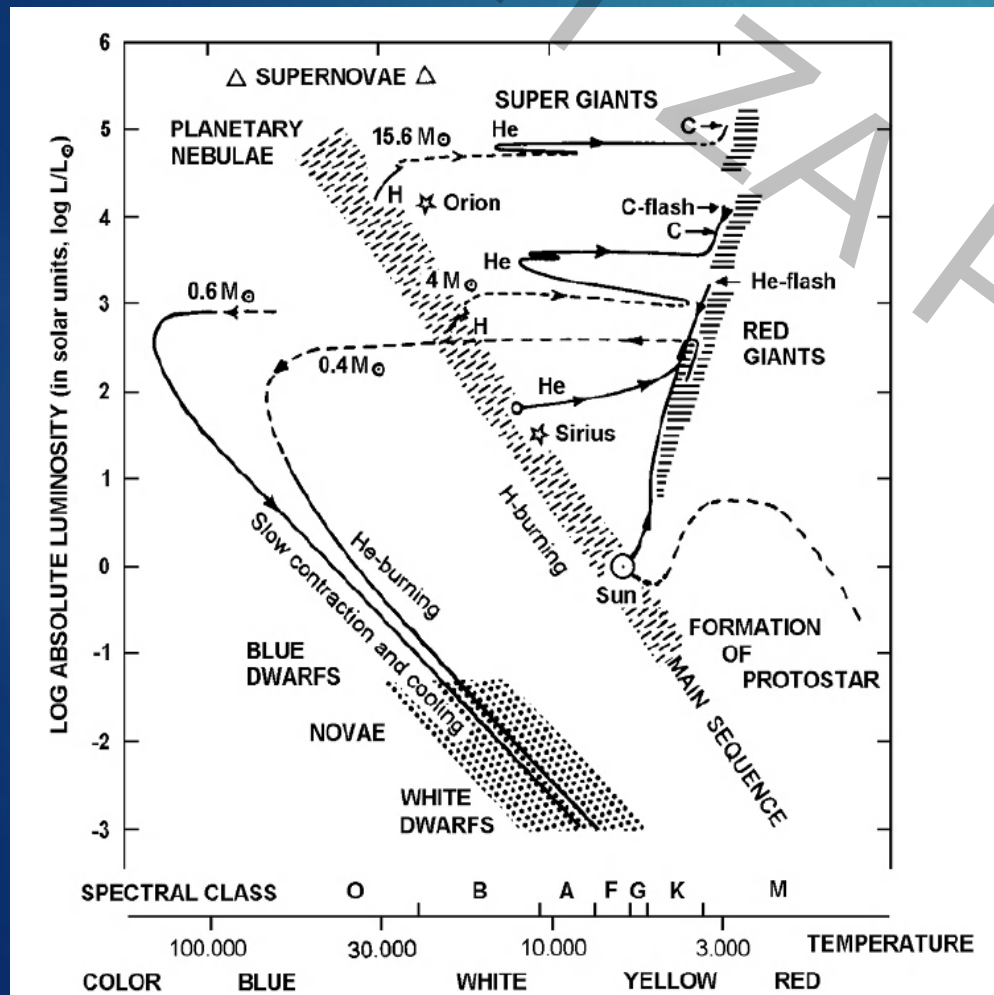
► 0,7 % водоника се конвертује у енергију и 10 % водоника се потроши до преласка на нови механизам фузије. Стога је

животни век Сунца

$$t_n = \frac{0,0070 \cdot 0,10 \cdot mc^2}{E_{\text{prod}}} \sim 1 \cdot 10^{10} \text{ god}$$

Главна секвенца нултог доба (Zero Age Main Sequence)

- Herzprung & Russel дијаграм за звезде $0,7 - 70 M_{\odot}$

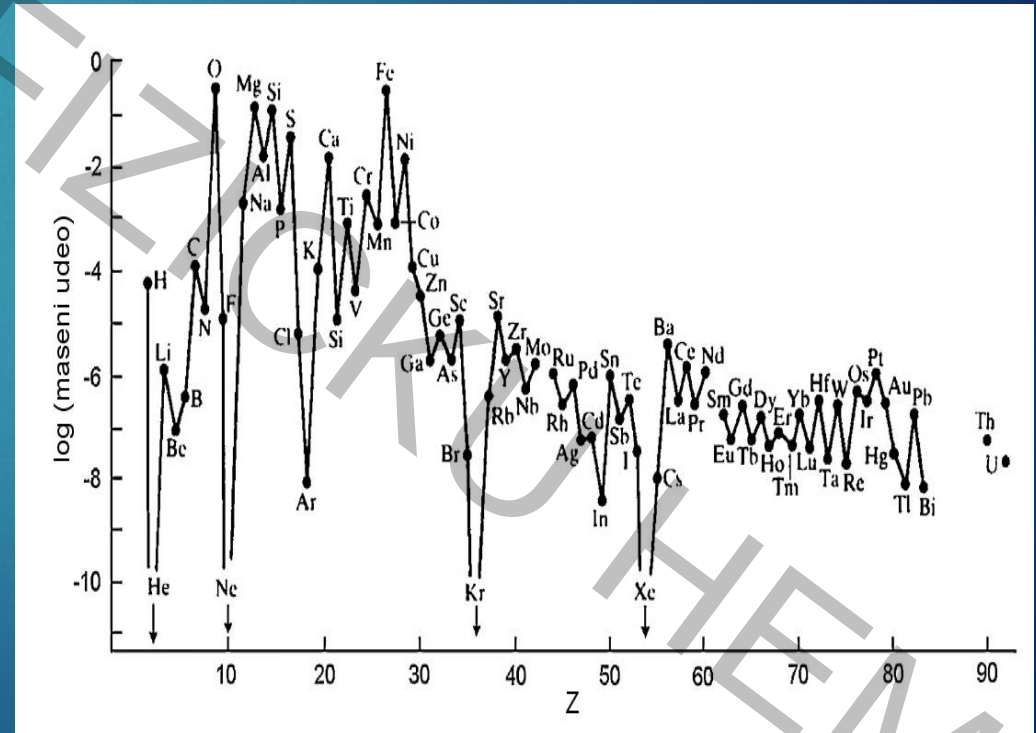
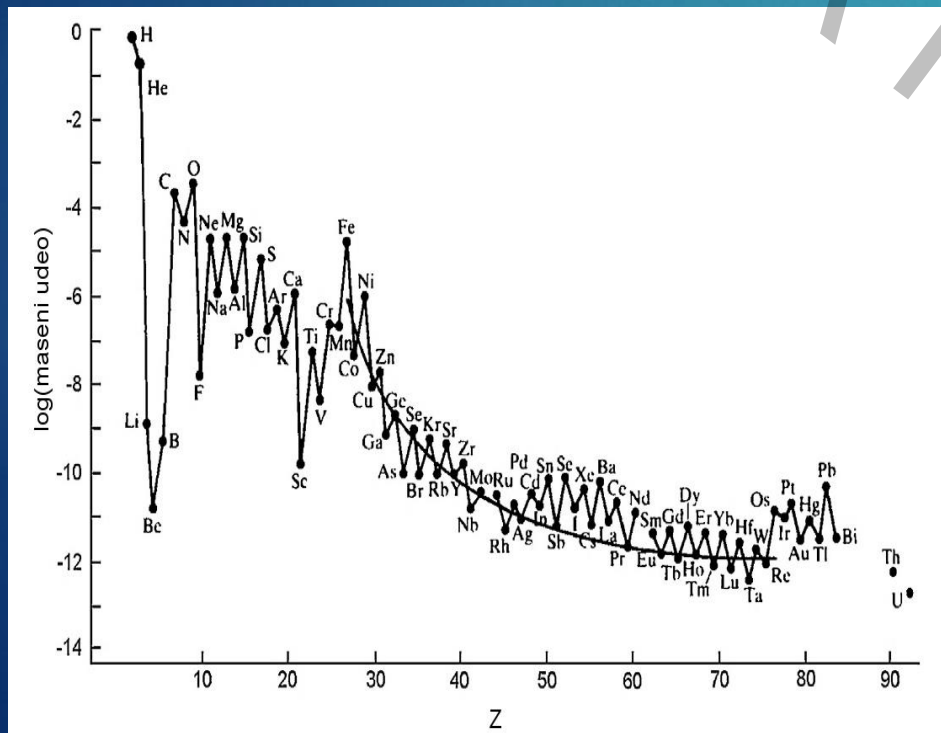


Класификација звезда према хемијском саставу/температури површине

- О $\text{He}^+ \text{N}^{2+} \text{Si}^{3+}$ слабе линије H
- В $\text{He} \text{Si}^+ \text{O}^+ \text{Mg}$; више H него у класи О
- А јака линија H; $\text{Mg}^+ \text{Si}^+ \text{Fe}^+ \text{Ti}^+ \text{Ca}^+$ и остали метали
- Ф линија H слабија него у класи А; $\text{Ca}^+ \text{Fe}^+ \text{Cr}^+$ и остали метали
- Г линије јонизиваних метала; мање H; CH и угљоводоници
- К линије неутралних метала; CH
- М линије неутралних метала; молекулске траке C_2 , CN, Ch, TiO, ZrO

Хемијски састав свемира

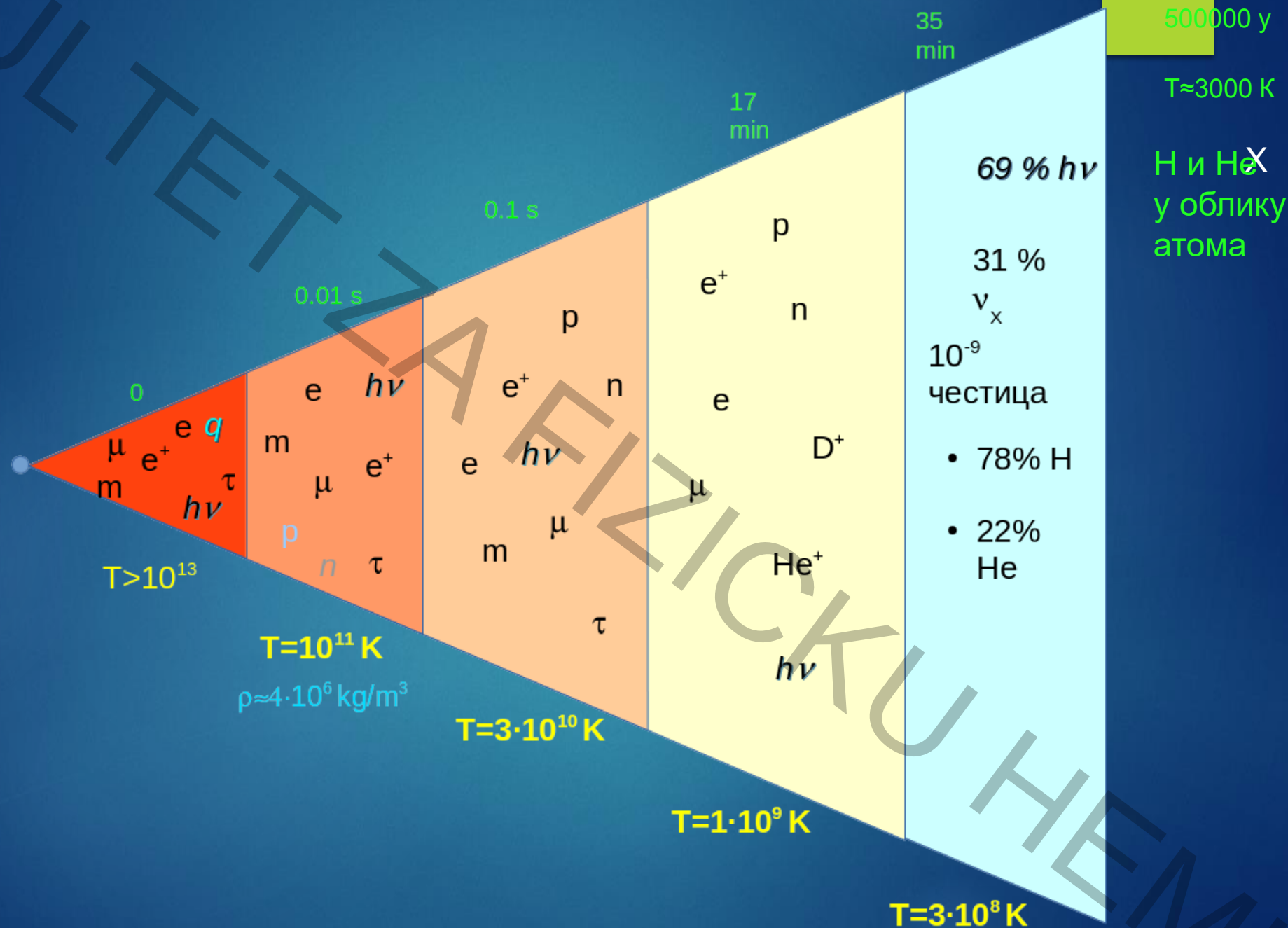
- ❖ Доминирају водоник и хелијум (99 %)
- ❖ Засупљеност осталих елемената опада експоненцијално са порастом атомског броја
- ❖ Изузетак су угљеник, кисеоник и гвожђе



Микроталасно зрачење из свемира

- ▶ $\lambda = 7,35 \text{ cm}$ позадинско зрачење
- ▶ $T = 2,725 \text{ K}$
- ▶ 400 фотона/cm^3
- ▶ Температура и таласна дужина се слажу са моделом настанка космоса у Великом праску (Big Bang) Gamow-а и стандардним моделом еволуције звезда (Bethe & Weizsaker)

Велики прасак



“Паљење” звезда

- ❖ Неједнако избачена материја у простор – формирање облака гаса
- ❖ Гравитационе силе доводе до сажимања облака
- ❖ На око 160000 K сви атоми потпуно јонизовани –Чандрасекаров лимит
- ❖ Даља контракција облака – температурски градијент – у центру висока на периферији нижа температура -протозвезда
- ❖ У центру започиње реакција фузије водоника у хелијум-звезда се “пали”



Рађање и живот звезда

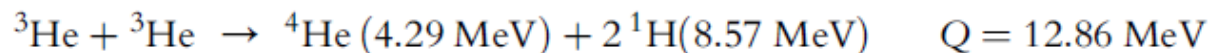
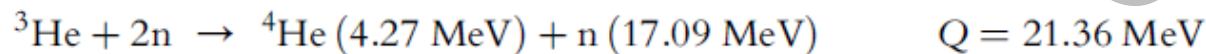
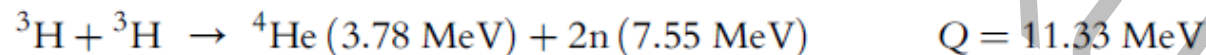
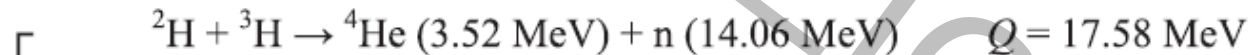
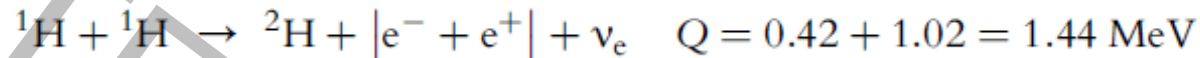
Ако облак има масу $m < 0,08 M_{\odot}$ неће се формирати звезда. Овакав објекат се назива **браон патуљак**

Процеси који ће се одвијати у звездама директно зависе од њихове масе

Процес фузије водоника у хелијум не одвија се директно већ у процесима



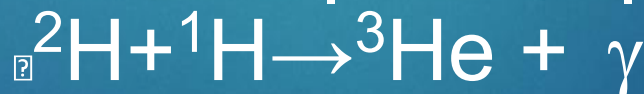
Могући процеси у фузији ВОДОНИКА у ЗВЕЗДАМА



❖ У звездама са масом $0,08 M_{\odot} < M < 0,26 M_{\odot}$ одвија се искључиво фузија водоника у хелијум. Када се водоник потроши, звезда се сажима и постаје бели патуљак

❖ Еволуција звезда за масом већом од $0,26 M_{\odot}$ директно зависи од њихове масе

❖ Звезде са масом $0,26 M_{\odot} < m < 1,4 M_{\odot}$ главна секвенца реакција формирања He је

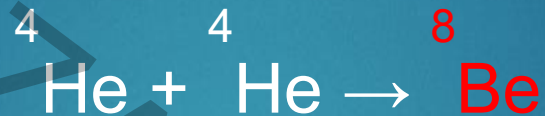


❖ и назива се p-p ланац

-Када водоник у језгру потроши долази до ширења омотача звезде и његовог хлађења

-настаје **црвени џин**

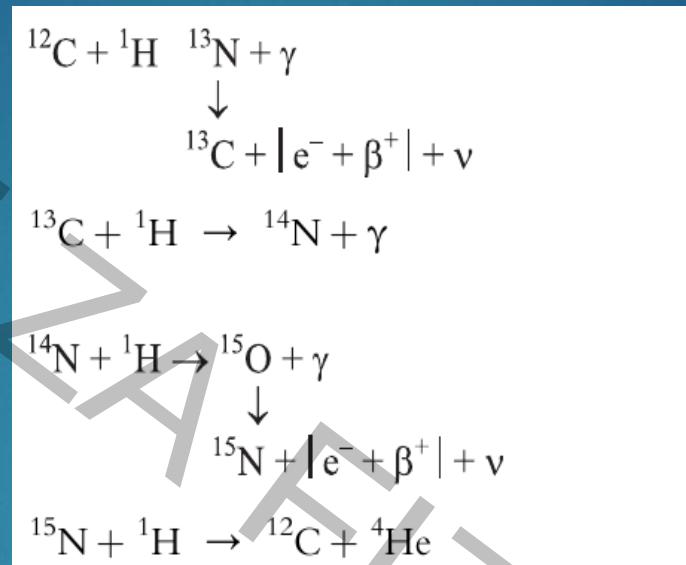
-Почиње фузија хелијума



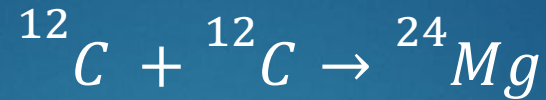
-
Након што се потроши He звезда губи материјал-формирање **небуле** и белог патуљка



CNO процес у звездама $m > 1,5 M_{\odot}$

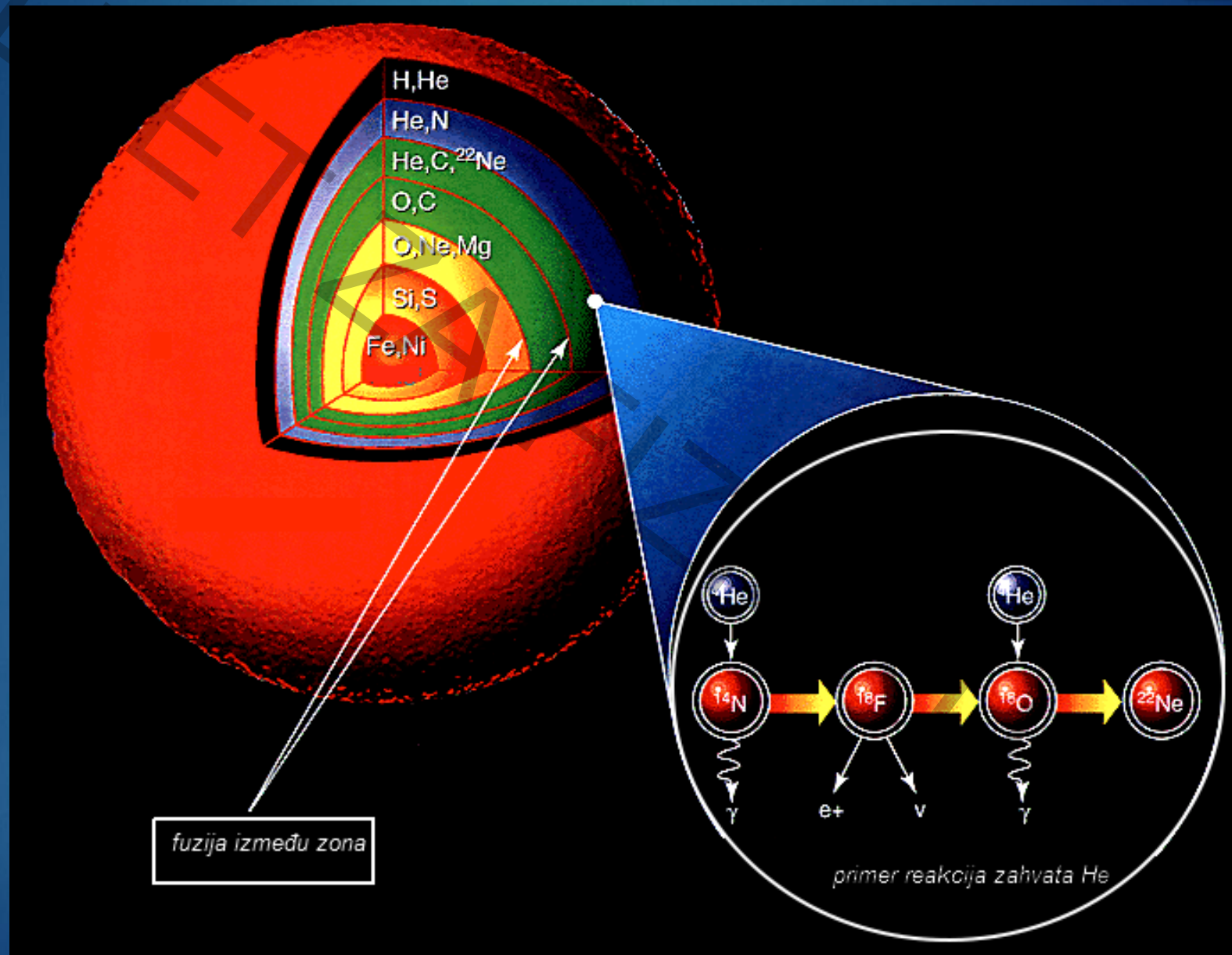


- ❖ Код звезда са масом $3 M_{\odot} < m < 15 M_{\odot}$ долази до реакција
- ❖ ${}^{12}\text{C}({}^4\text{He}, g){}^{16}\text{O}({}^4\text{He}, g){}^{20}\text{Ne}({}^4\text{He}, g){}^{24}\text{Mg}({}^4\text{He}, g){}^{28}\text{Si}$
- ❖ Ако је $m > 7,5 M_{\odot}$ могућа и реакција фузије ${}^{12}\text{C}$



- ❖ Код екстремно тешких звезда $m > 15M_{\odot}$ започиње реакција фузије ^{28}Si .
- ❖
 - ❖ $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni} (b^+) ^{56}\text{Co} (b^+) ^{56}\text{Fe}$
- ❖ Када се фузиони материјал у језгру звезде потроши долази до њеног колапса и експлозије **супернове**

Састав звезде пре експлозије

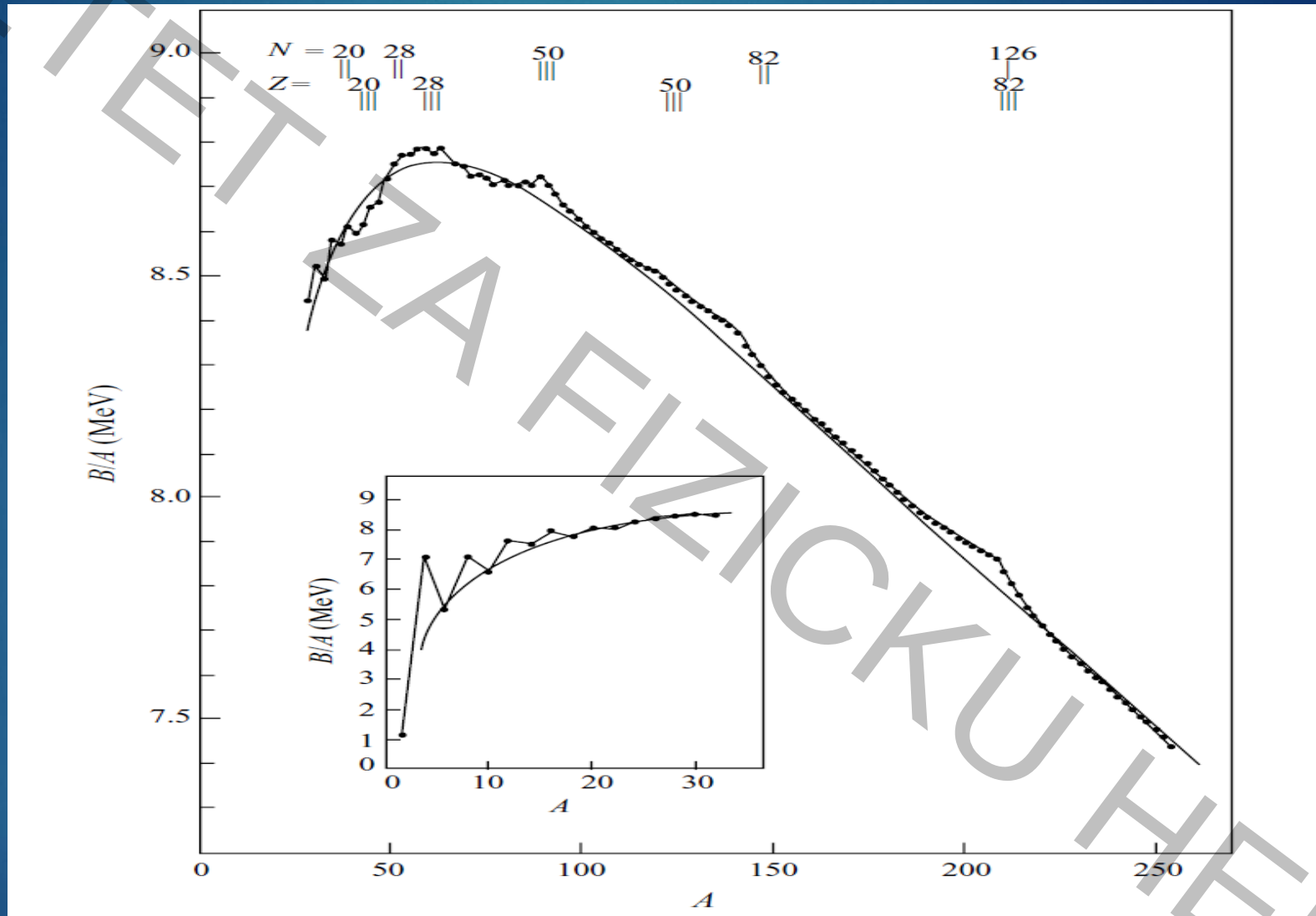




Time since the Big Bang: 2.9 billion years

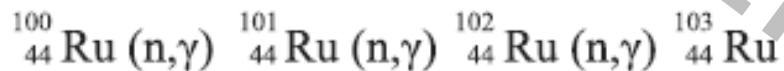
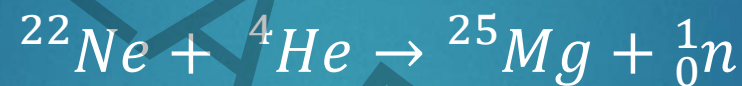
ILLUSTRIS

Зашто фузија иде само до ^{56}Ni (^{56}Fe)?

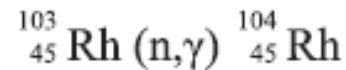


Настанак тешких језгара у спором s процесу

- ❖ Захват нейтрона
- ❖ Спори – језгра до Bi
- ❖ Порекло нейтрона – из процеса фузије



$\beta \downarrow 39 \text{ d}$



стабилан

$\beta \downarrow 42 \text{ s}$

стабилан

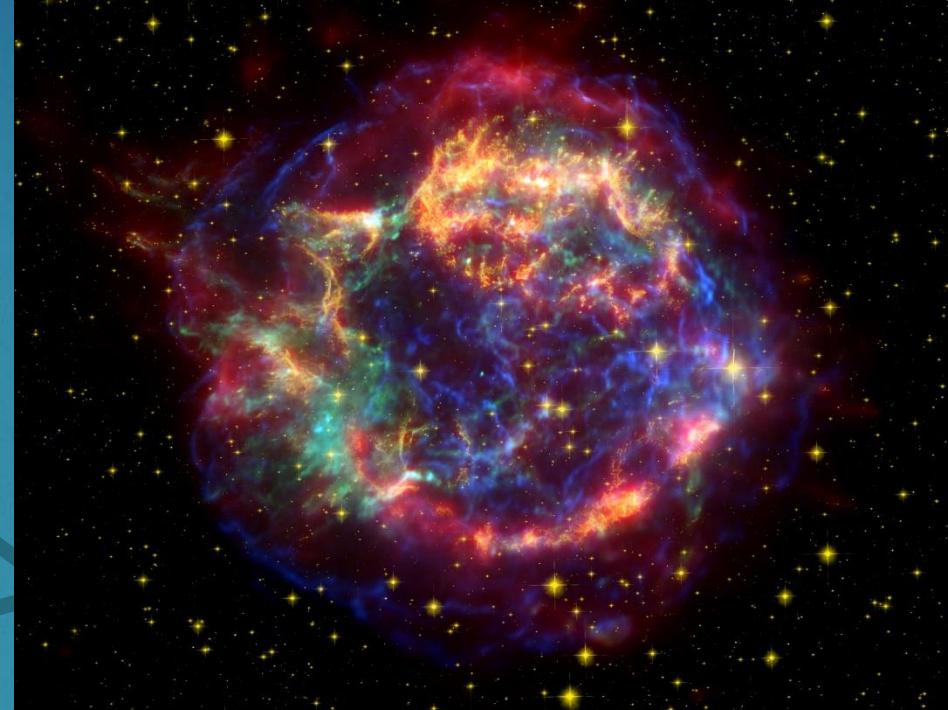


Супернова

- По заврштеку процеса фузије долази до хлађења звезде услед емисије фотона и неутрина
- Језгро се даље сажима док му густина не порасте толико да долзи до колапса језгара гвожђа



- Хелијум нагло сагорева што се преноси на спољашње слојеве и доводи до експлозије супернове



У околину се емитује велика количина материјала која формира небулу, док се остатак контрахује и формира црну рупу

Брзи r процес

- ▶ Формирања језгара тежих од бизмута
- ▶ Доминантан процес је сукцесивни захват неутрона који је фаворизован над β^- распадом због брзог ослобађања огромног броја неутрона у експлозији супернове

