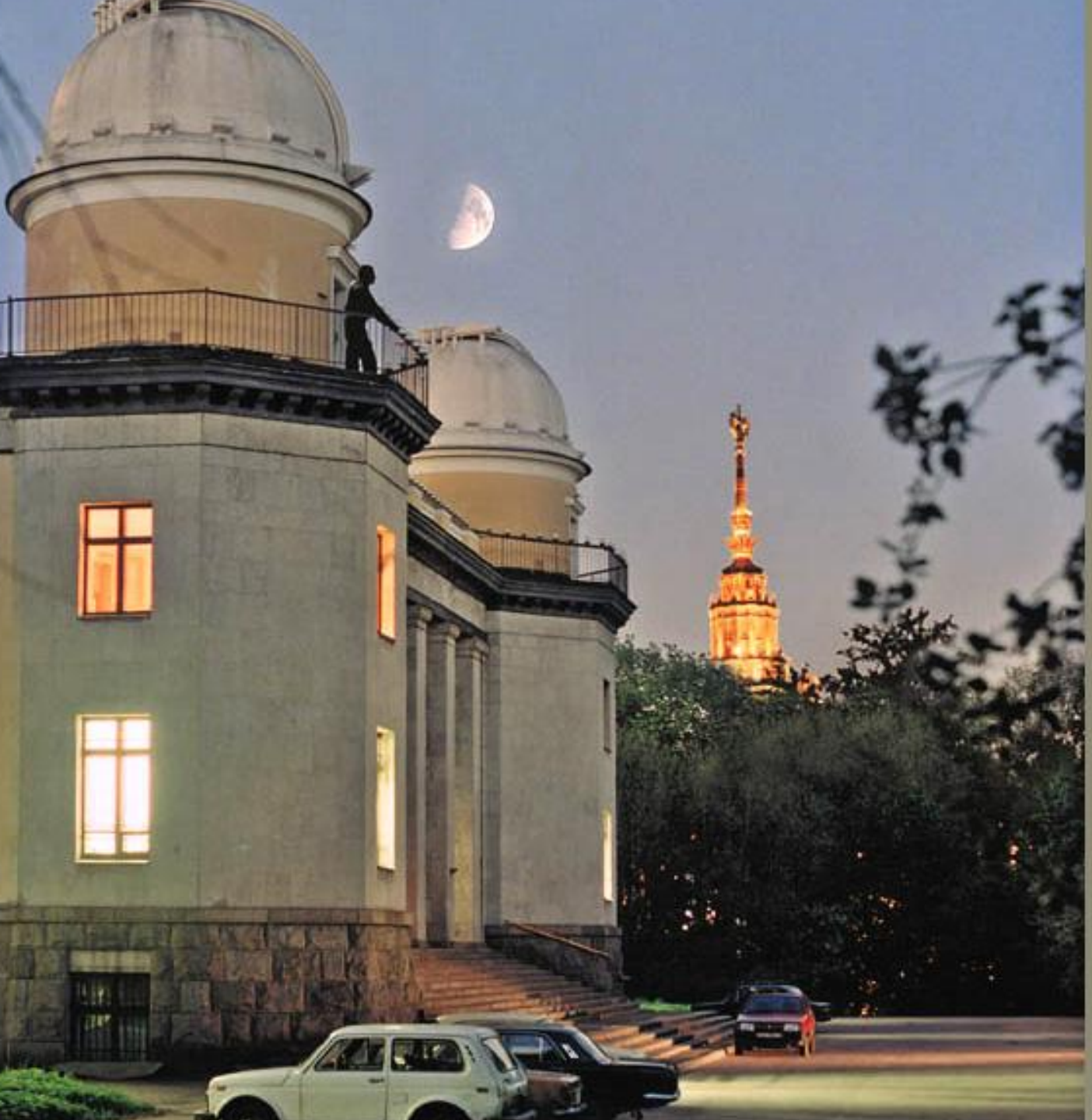


ГАИШ МГУ

Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга

175 лет

Цикл лекций

Звезды и галактики

А. М. Черепащук
Ю. Н. Ефремов
В. М. Липунов
С. А. Ламзин
Н. Н. Самусь
С. Б. Попов
и др.

Источники энергии в звездах

Ламзин С.А.

- Гравитационное энерговыделение
- Термоядерные реакции
- Звезды и люди

Что может поддерживать светимость Солнца и звезд ?

Светимость Солнца $L_o = 4\ 10^{26}$ Дж/с, возраст Солнца $4.6\ 10^{9}$ лет
масса Солнца $2\ 10^{30}$ кг

$q = L\,t / M \sim 3\ 10^{13}$ Дж/кг – это в 10^5 раз более калорийное топливо, чем химическое

Лорд Кельвин (конец XIX в) : выделение тепла при сжатии Солнца

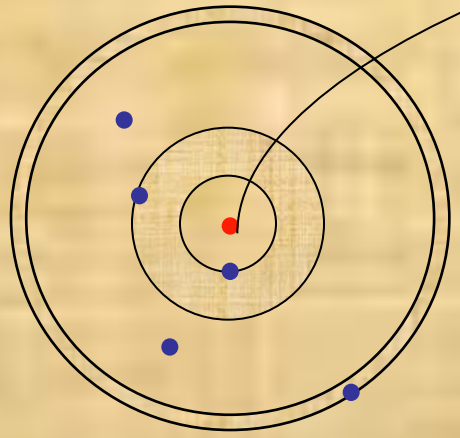
Чтобы поддерживать свою светимость Солнце должно сжиматься со скоростью всего 30 метров в год!

$R_o = 7\ 10^{5}$ км

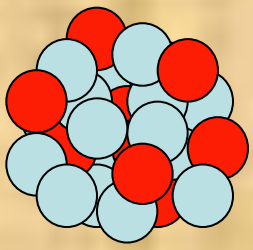
Позволяет поддерживать светимость на протяжении 30 млн. лет

Совпадает с возрастом Земли?

Строение атома



Ядро



+ -- протон

-- нейтрон

нуклоны

• -- электрон • -- ядро

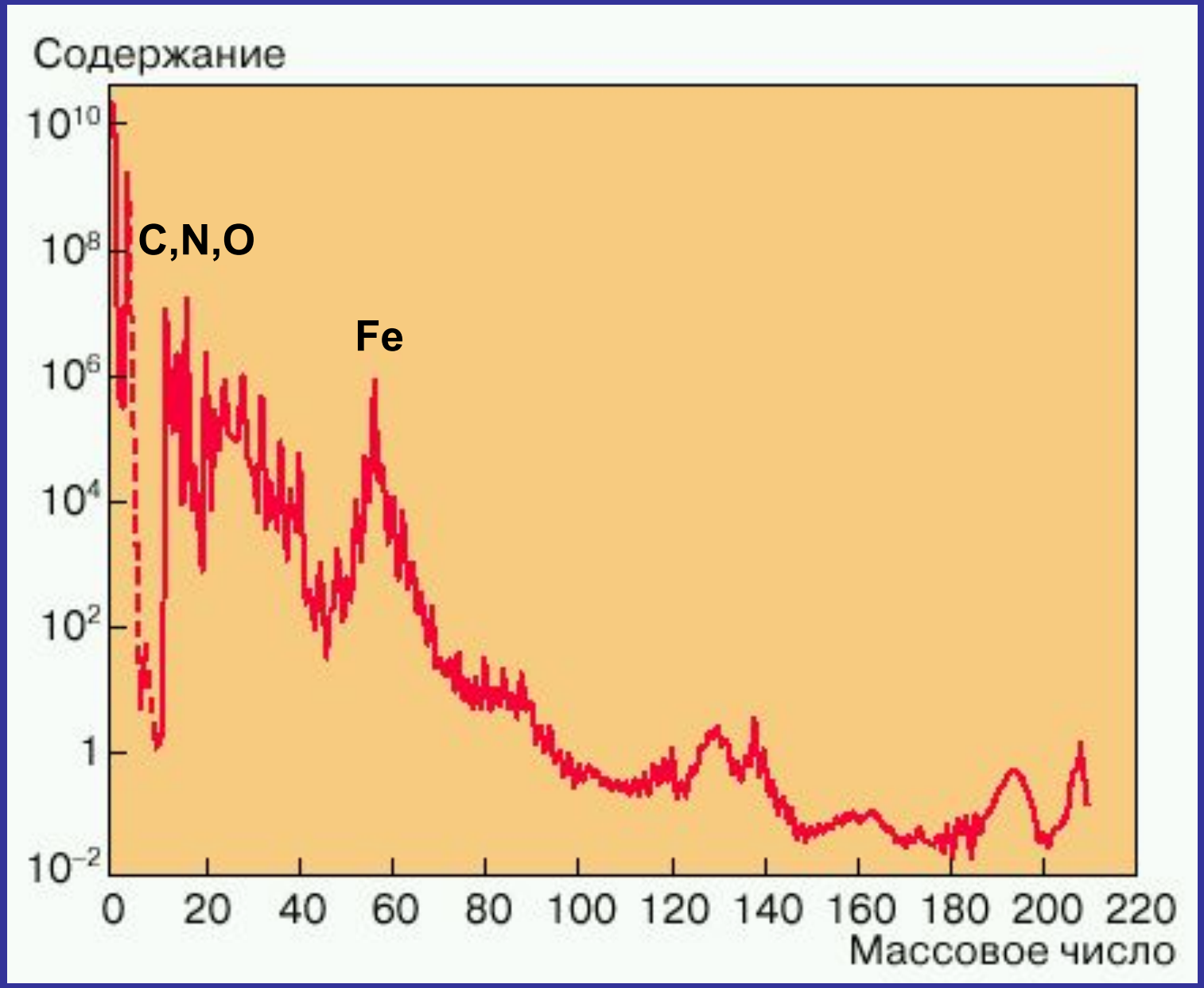
При $r < 10^{-15}$ м. $F_{nuc} >> F_e$

Периодическая таблица элементов Д.И.Мендеелеева

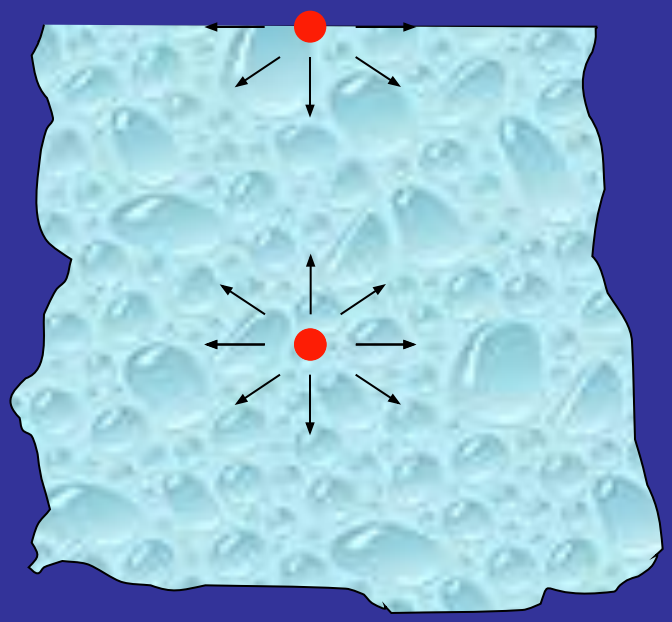
				1 H													2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 to 71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Ti	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 to 103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub		114 Uuq		116 Uuh		118 Uuo

Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

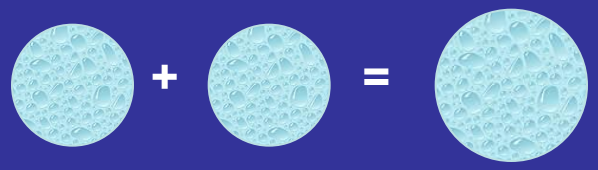
Обилие химических элементов ($N_{Si} = 10^6$)



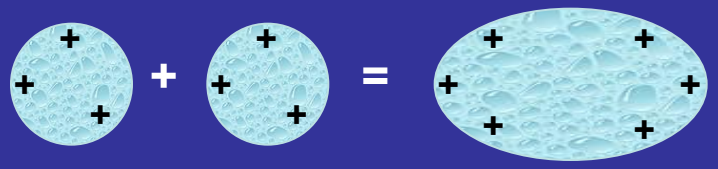
Капельная модель ядра



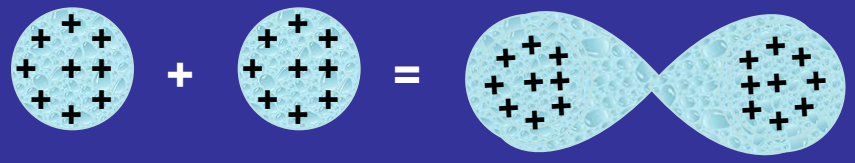
a) $q = 0$



b) $q < q_{cr}$



c) $q \square q_{cr}$



Слияние ядер вплоть до ядра $^{56}Fe_{26}$ происходит с выделением энергии, т.е. железо – ядерная зола !

Оценка времени жизни Солнца за счет термоядерного горения водорода

$$4H \longrightarrow He$$

H: 1.008 а.е.
He: 4.03 а.е.

Протон-протонная цепочка

$$^{1}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}D + e^{+} + \nu$$

$$^{2}D + {}^{1}H \rightarrow {}^{3}He + \gamma$$

pp1

$$^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2p$$

$$^{3}He + {}^{4}He \rightarrow {}^{7}Be + \gamma$$

pp2

$$^{7}Be + e^{-} \rightarrow {}^{7}Li + \nu$$

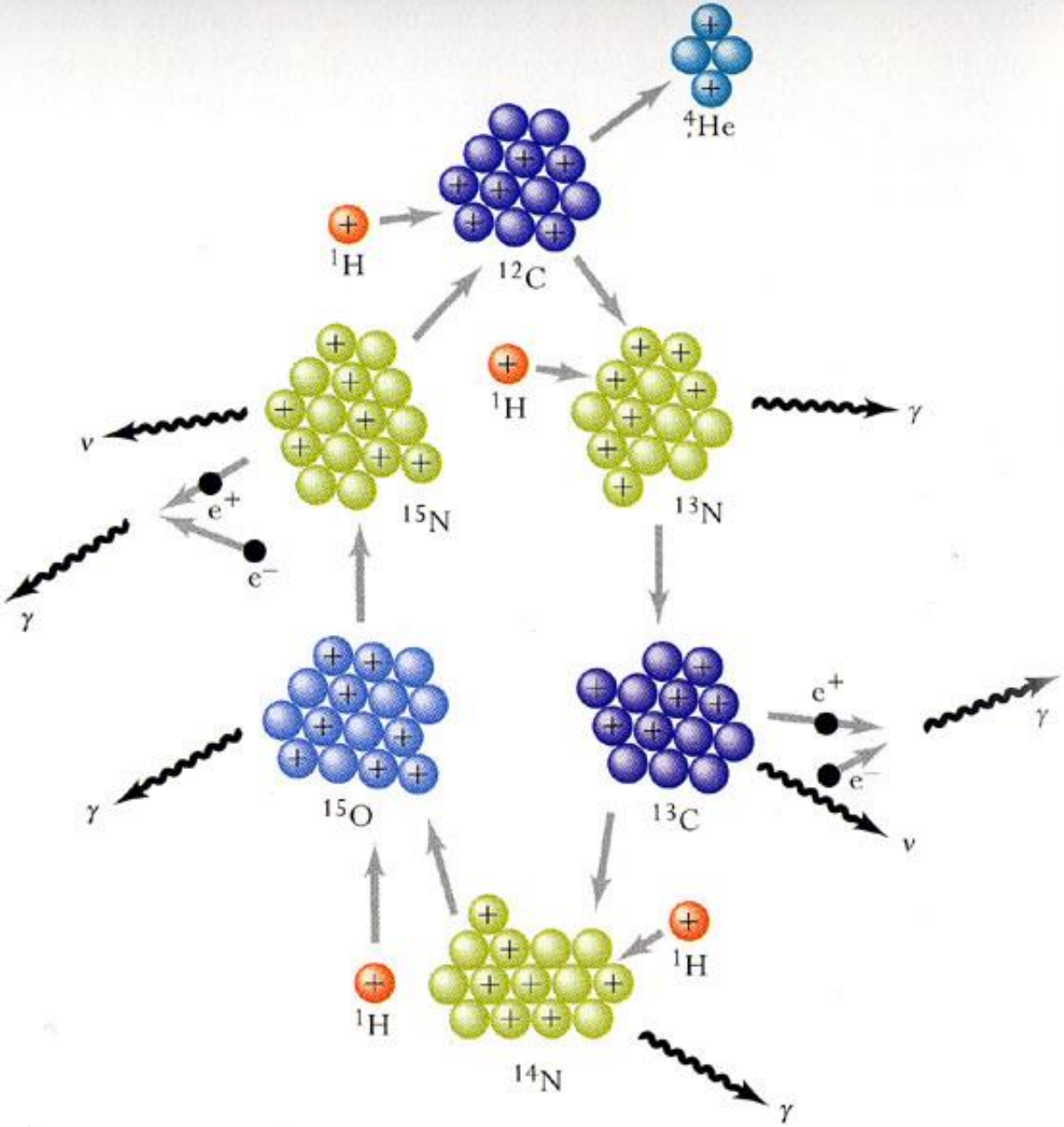
$$^{7}Li + {}^{1}H \rightarrow 2\,{}^{4}He$$

pp3

$$^{7}Be + {}^{1}H \rightarrow {}^{8}B + \gamma$$

$$^{8}B \rightarrow {}^{8}Be + e^{+} + \nu$$

$$^{8}Be \rightarrow 2\,{}^{4}He$$

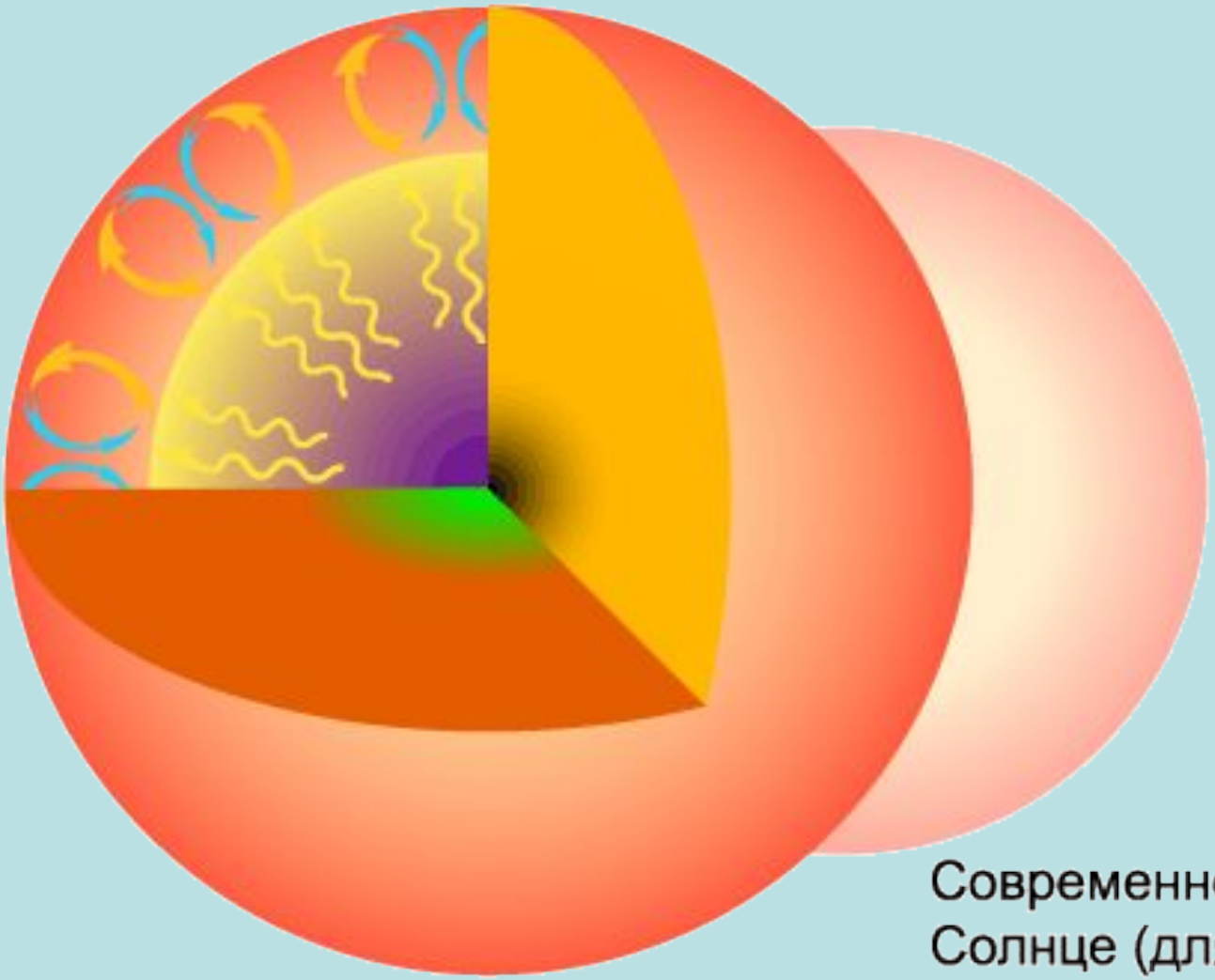


Углеродно-азотный цикл

CNO-цикл

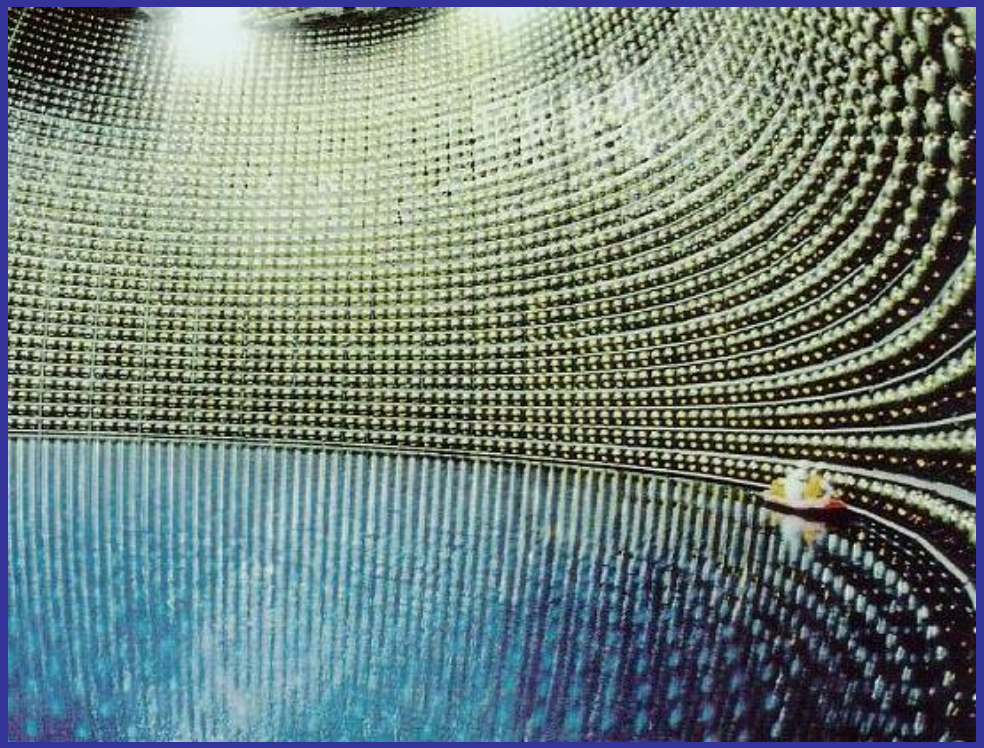
Carbon cycle

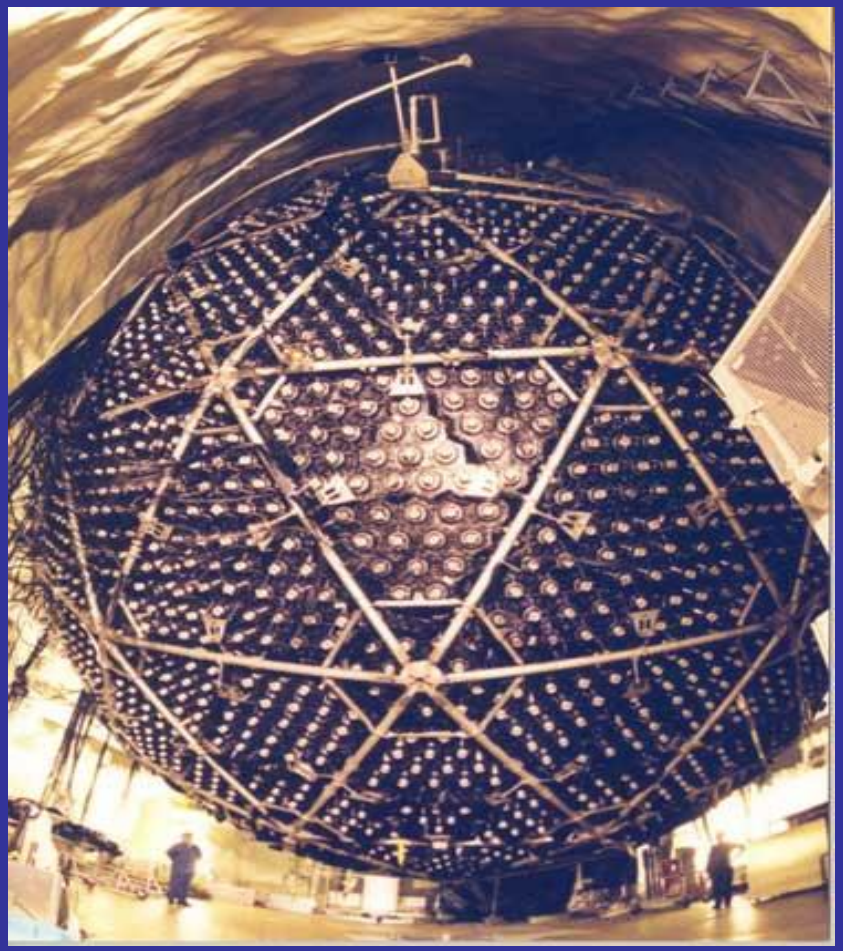
Солнце в конце главной последовательности



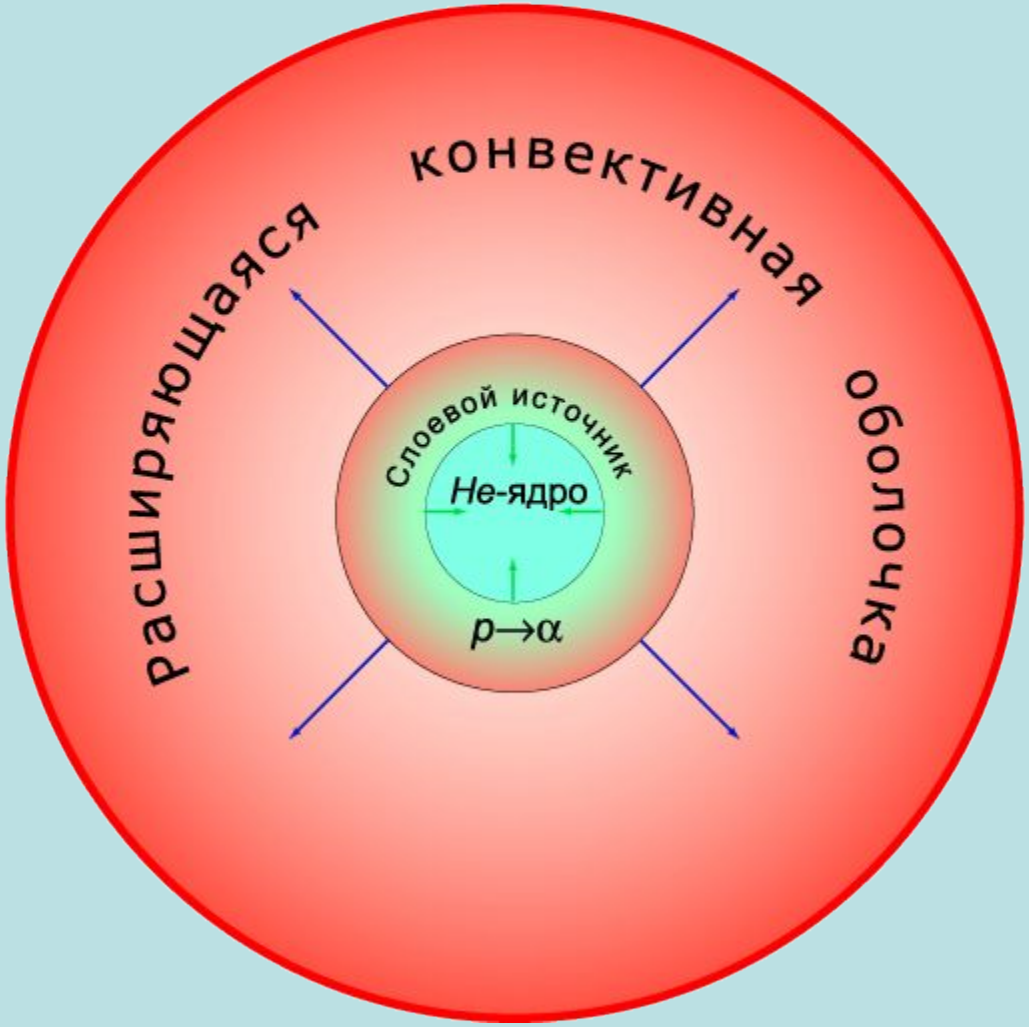
Современное Солнце (для сравнения)

Нейтринная астрономия

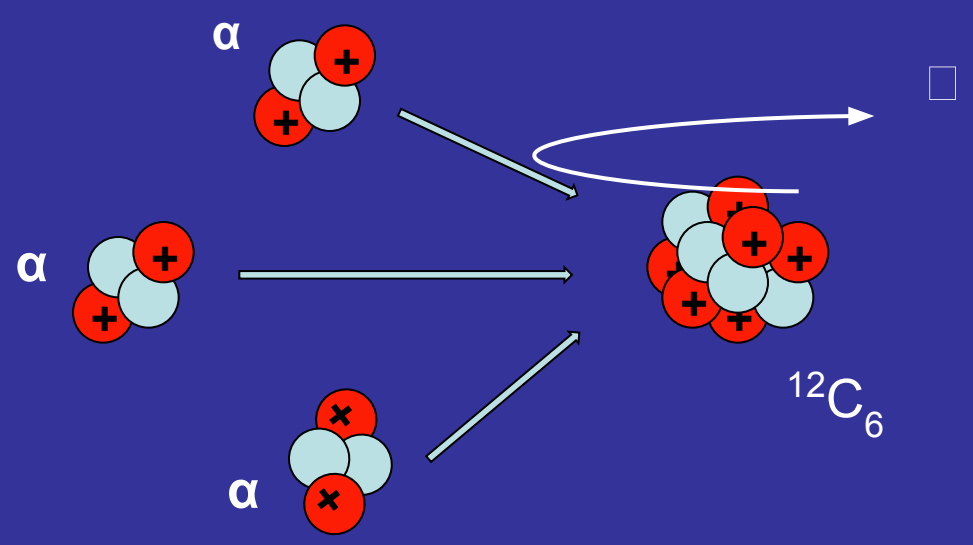




Строение красного гиганта



Горение гелия

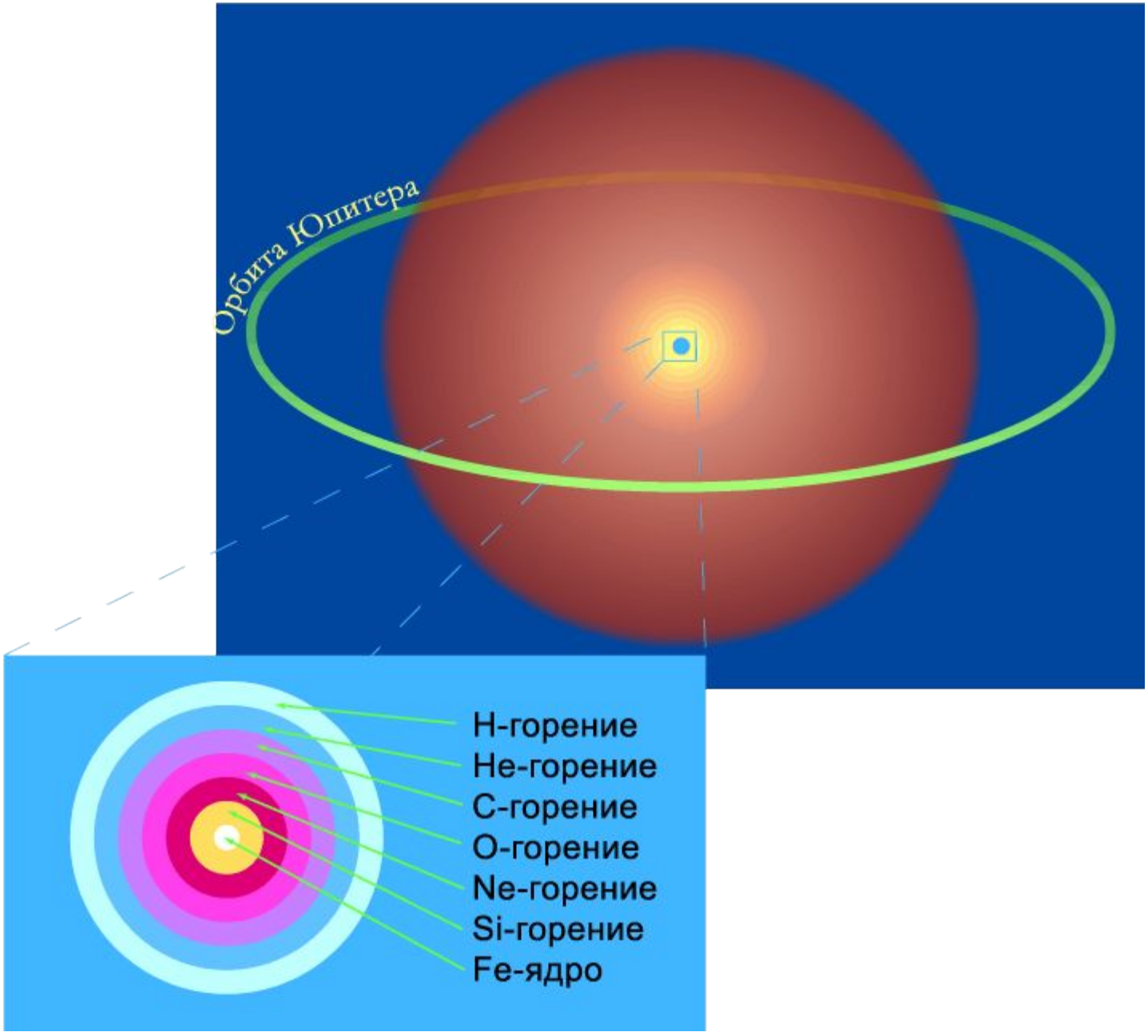


$$^{2}He_{4} + {}^{2}He_{4} + {}^{2}He_{4} \longrightarrow {}^{12}C_{6} + \square$$

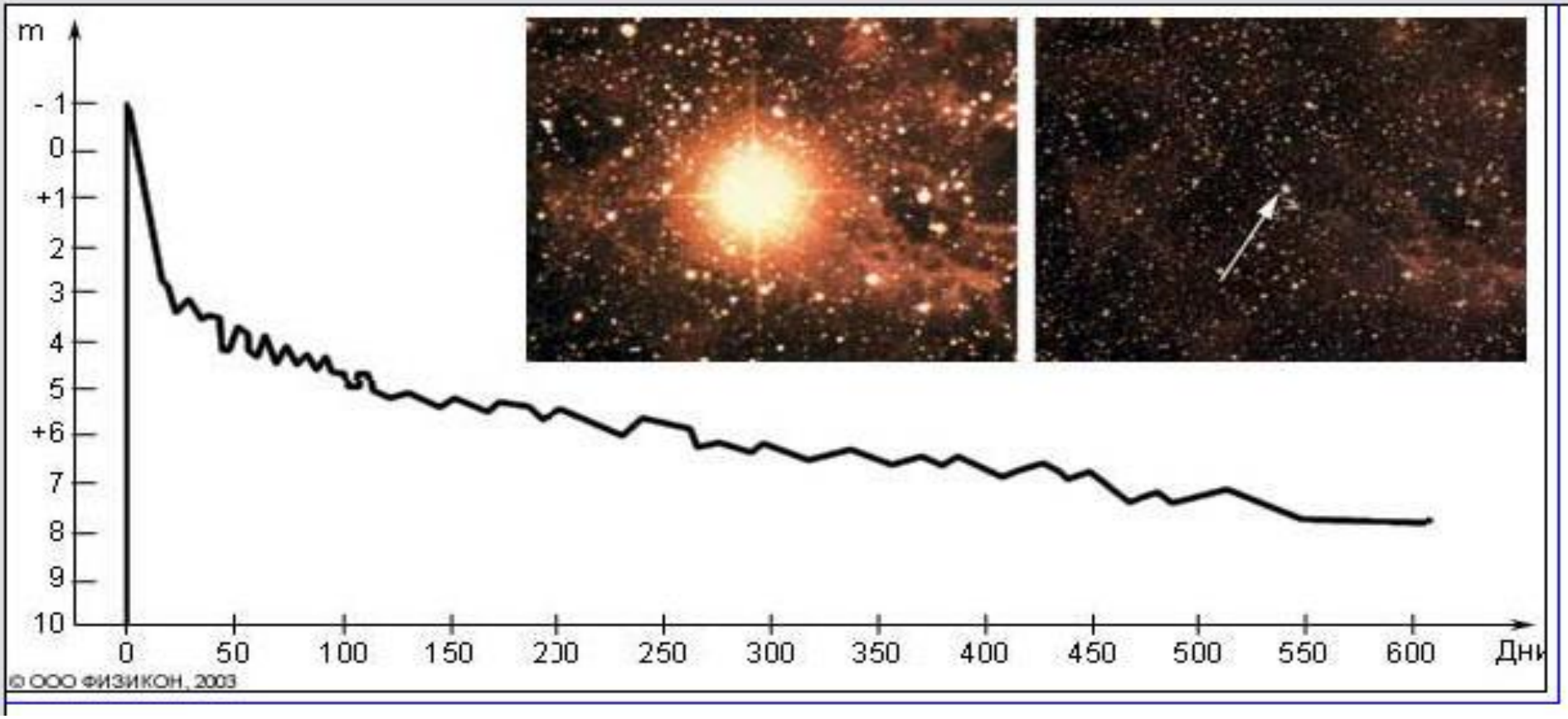
Стадии генерации ядерной энергии

Процесс	Топливо	Продукты реакции	Примерная температура
Горение водорода	Водород	Гелий	$(1\text{-}3) \times 10^{7}$
Горение гелия	Гелий	Углерод, кислород	2×10^{8}
Горение углерода	Углерод	Кислород, неон, натрий, магний	8×10^{8}
Горение неона	Неон	Кислород, магний	$1{,}5 \times 10^{9}$
Горение кислорода	Кислород	От магния до серы	2×10^{9}
Горение кремния	От магния до серы	Элементы, близкие к железу	3×10^{9}

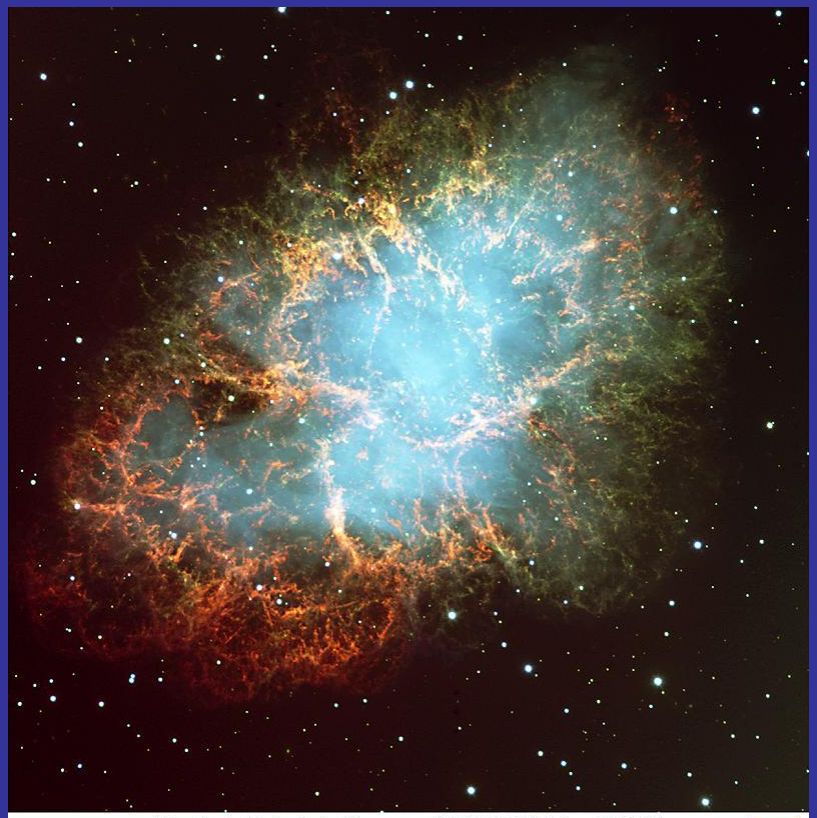
Строение сверхгиганта



Планетарные туманности – сброс внешней оболочки звезды


m
- 1
0
+1
2
3
4
5
+6
7
8
9
10
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
Дни
© ООО ФИЗИКОН, 2003

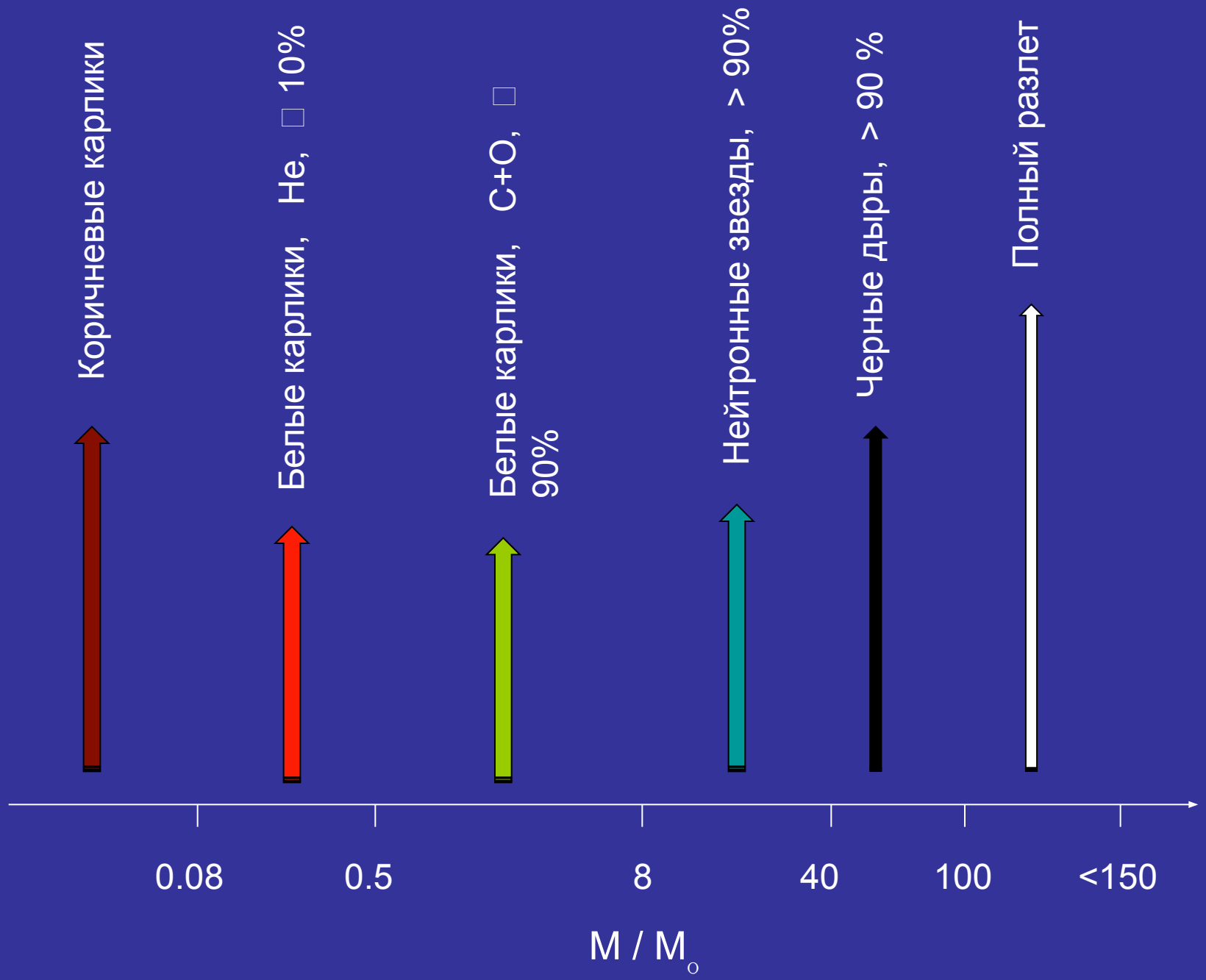
Ni → **Co** →
Fe

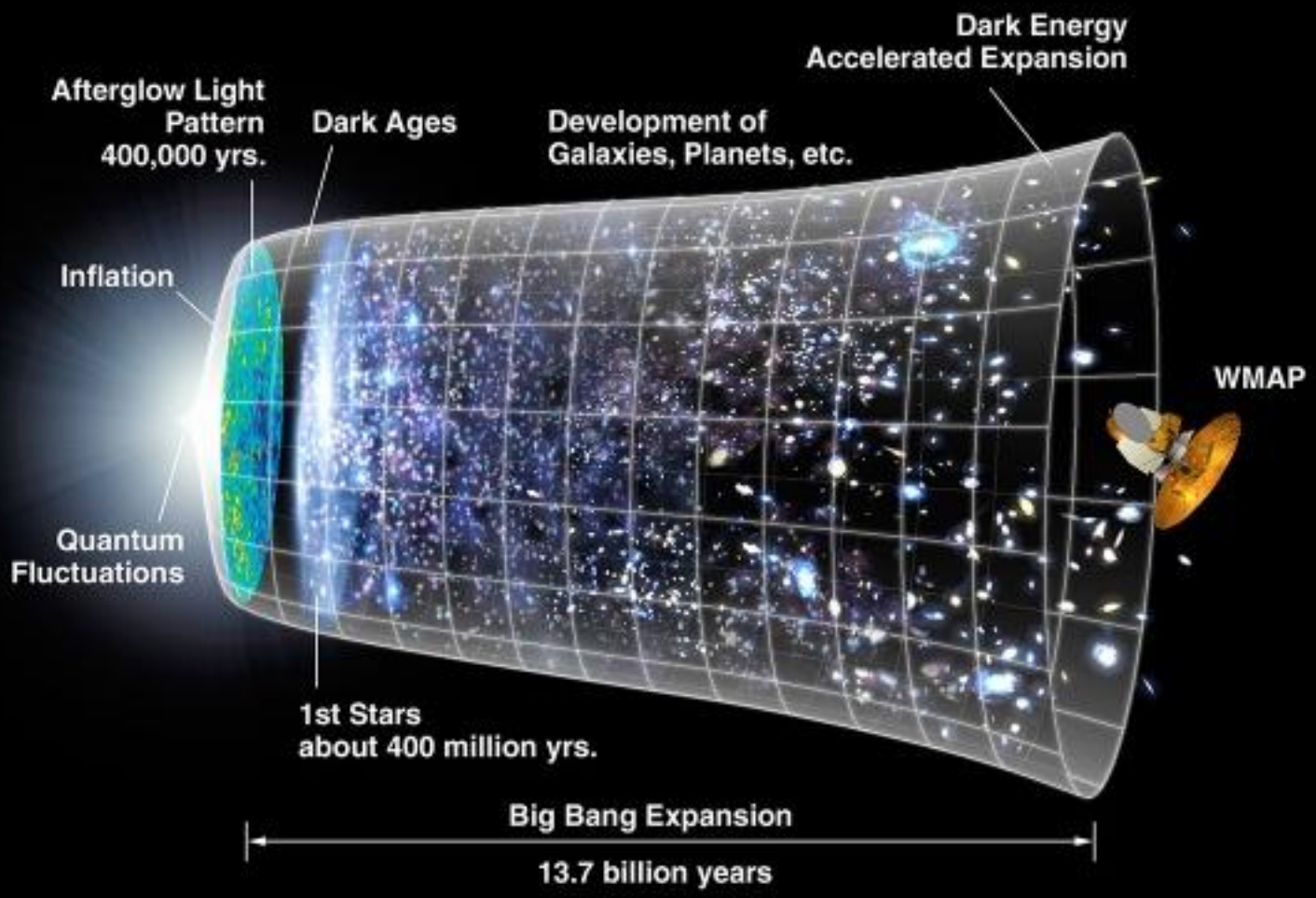


The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 40f/99 (17 November 1999)

© European Southern Observatory


Коричневые карлики
Белые карлики, He, □ 10%
Белые карлики, C+O, □ 90%
Нейтронные звезды, > 90%
Черные дыры, > 90 %
Полный разлет
0.08
0.5
8
40
100
<150
M / M$_o$

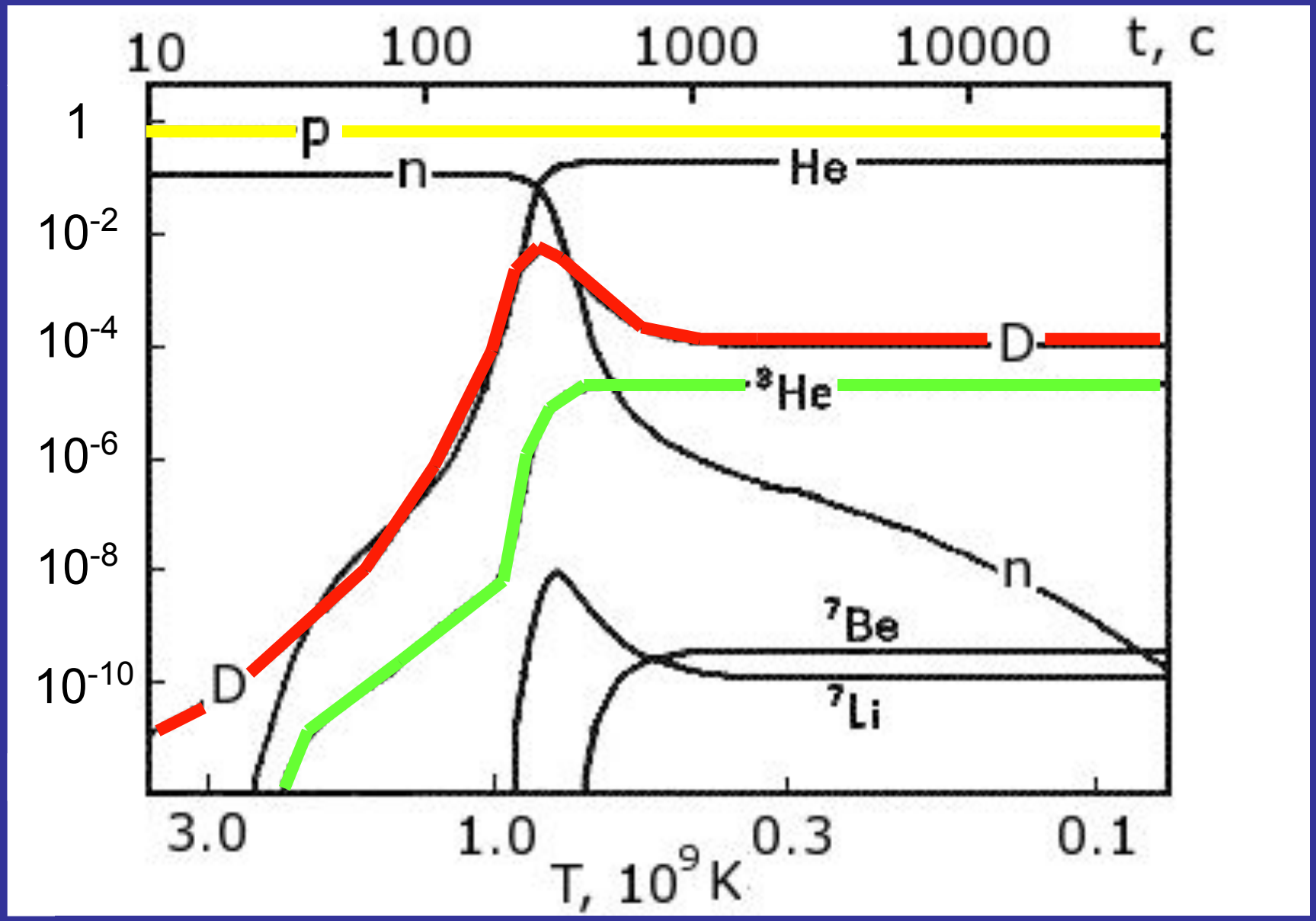


NASA/WMAP Science Team

Реакции первичного нуклеосинтеза

$$p + n \rightarrow D + \gamma \quad \begin{cases} D + p \rightarrow {}^{3}He \\ D + D \rightarrow {}^{3}He + n \\ D + D \rightarrow T + p \end{cases} \qquad T + D \rightarrow {}^{4}He + n$$

$${}^{4}He + D \rightarrow {}^{6}Li \quad \text{или} \quad {}^{4}He + T \rightarrow {}^{7}Li \quad \text{или} \quad {}^{3}He + {}^{4}He \rightarrow {}^{7}Be$$

Не существует устойчивых ядер с A=5 и A=8 !!!

Первичный нуклеосинтез