

Диаграмма  
Гершпрунга-Рессела  
*(спектр-светимость)*

# Диаграмма Герцшпрунга-Рессела (1910 г.)

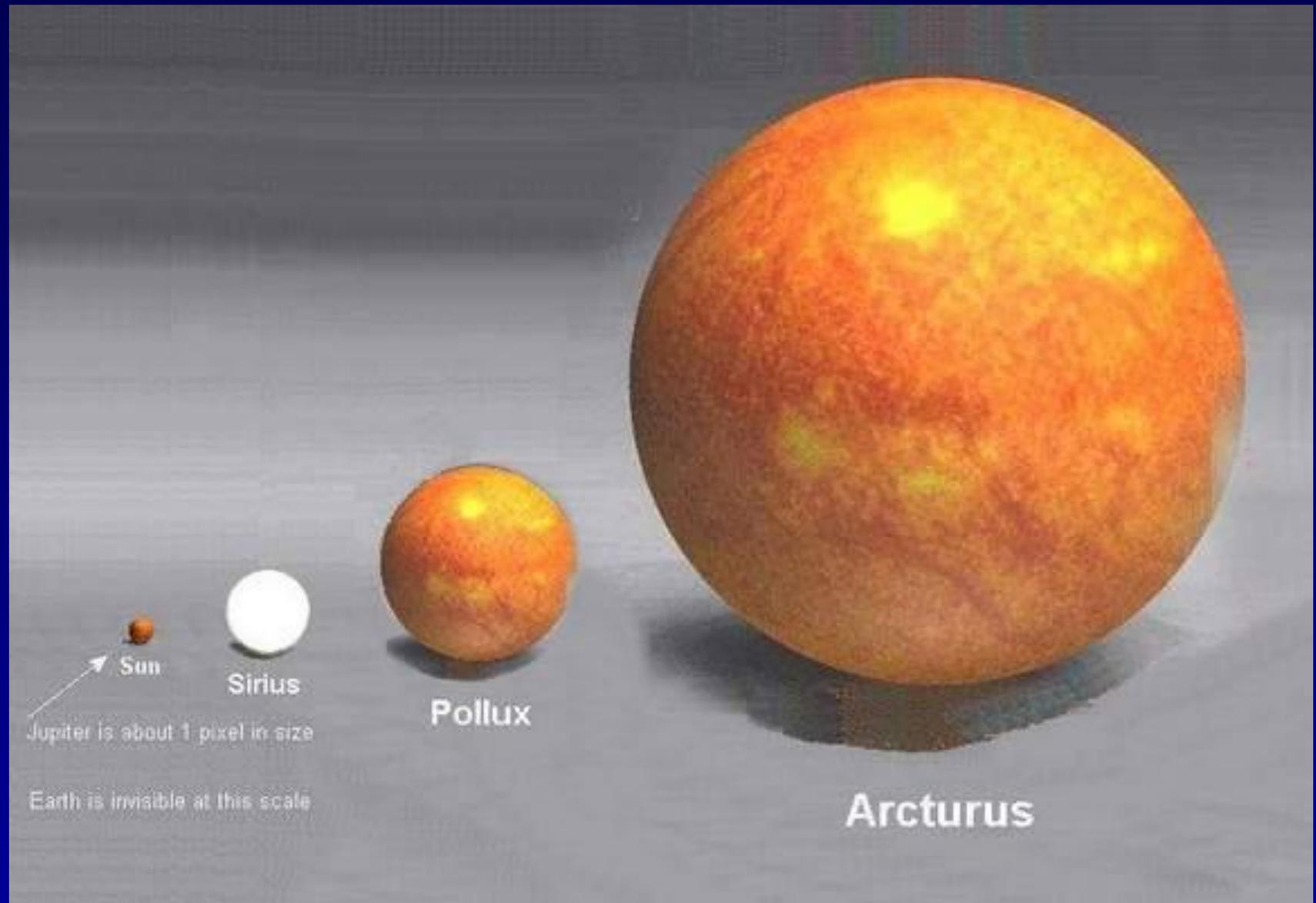


**Эйнар Херцшпрунг**  
(*Ejnar Hertzsprung*)  
1873 — 1967

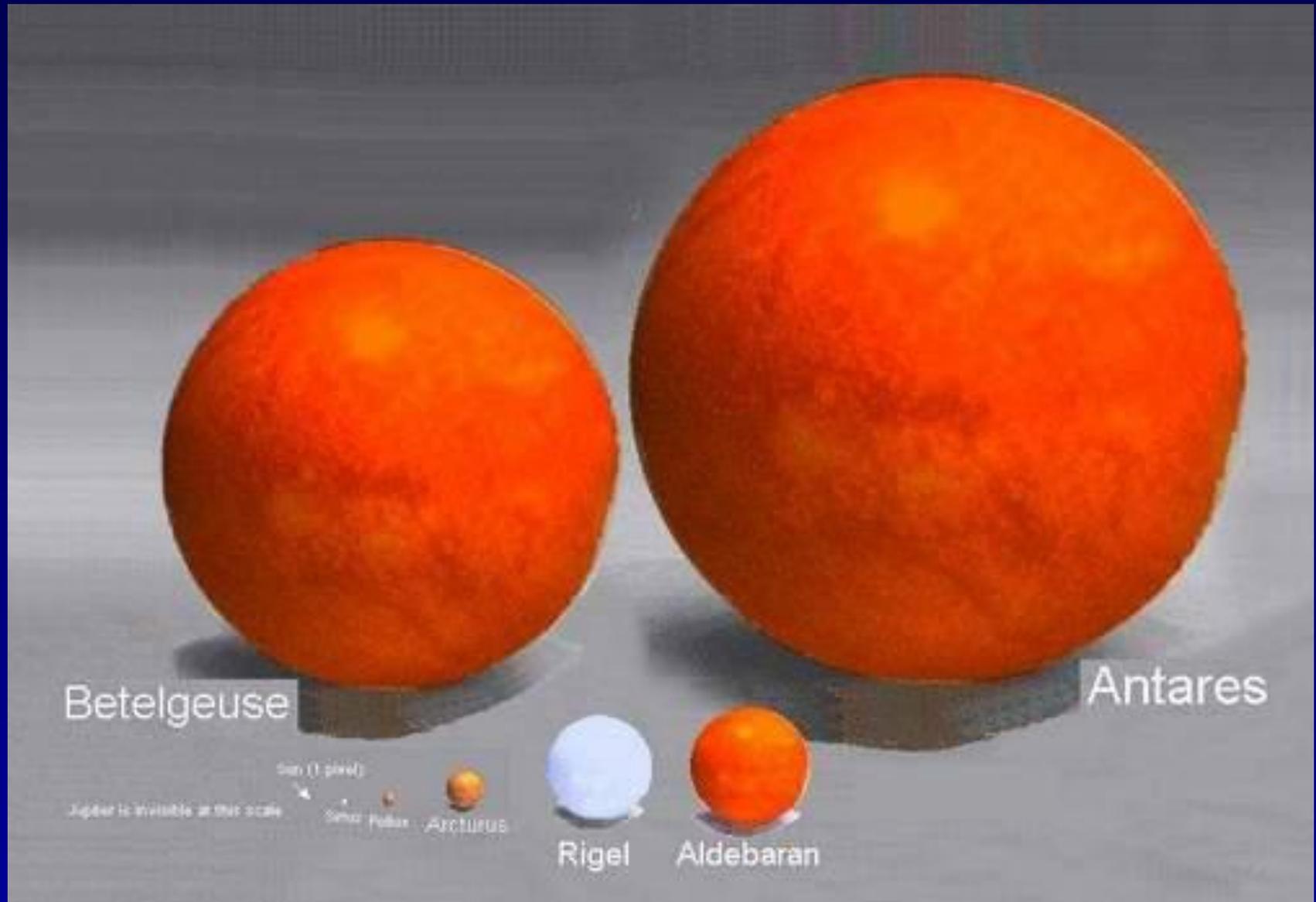


**Генри Рессел**  
(*Henry Norris Russell*)  
1877 — 1957

# Нормальные звезды

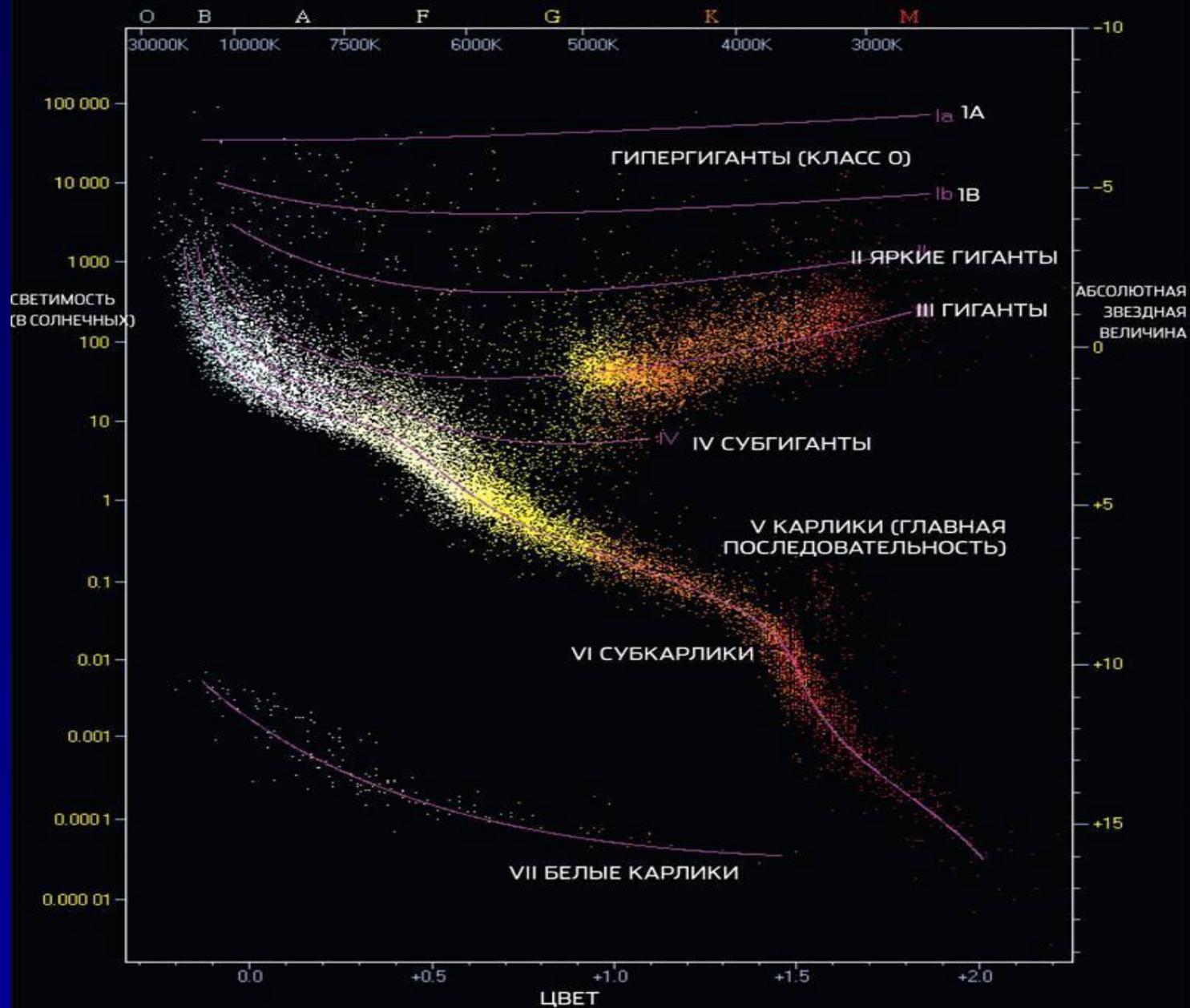


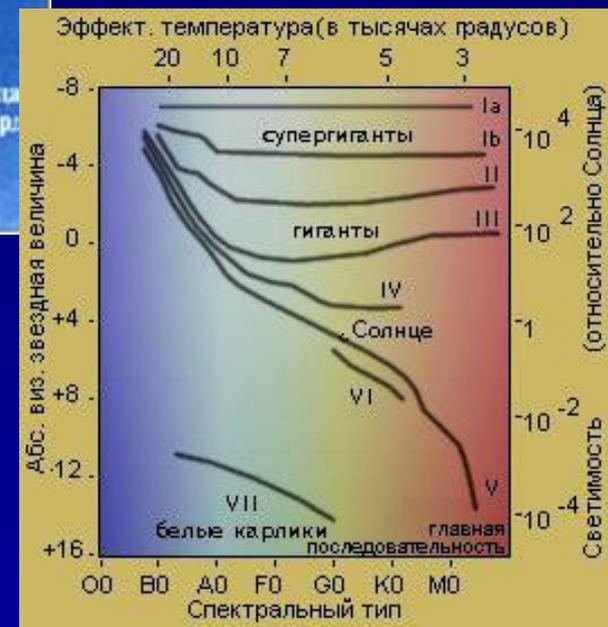
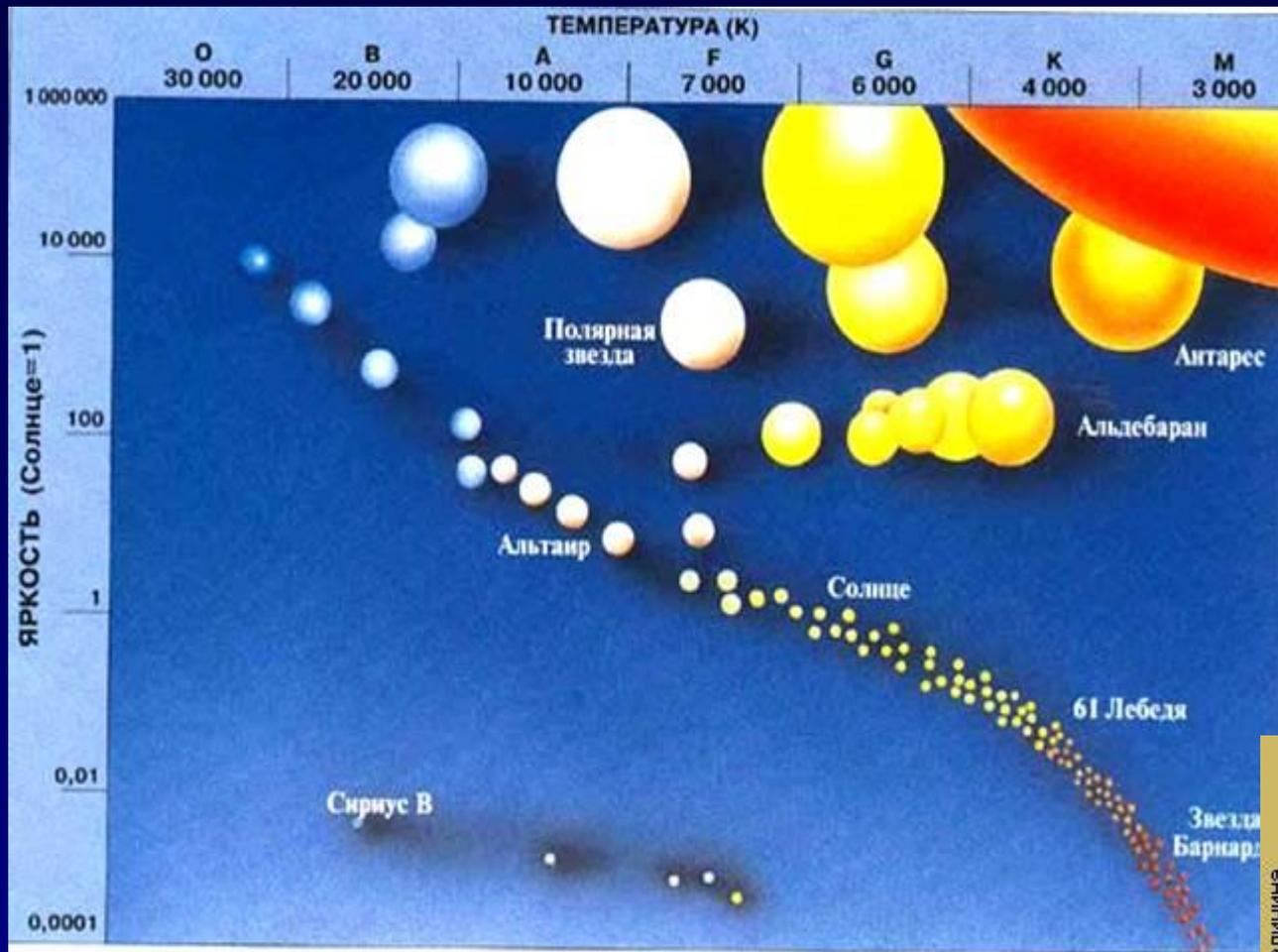
# Нормальные звезды

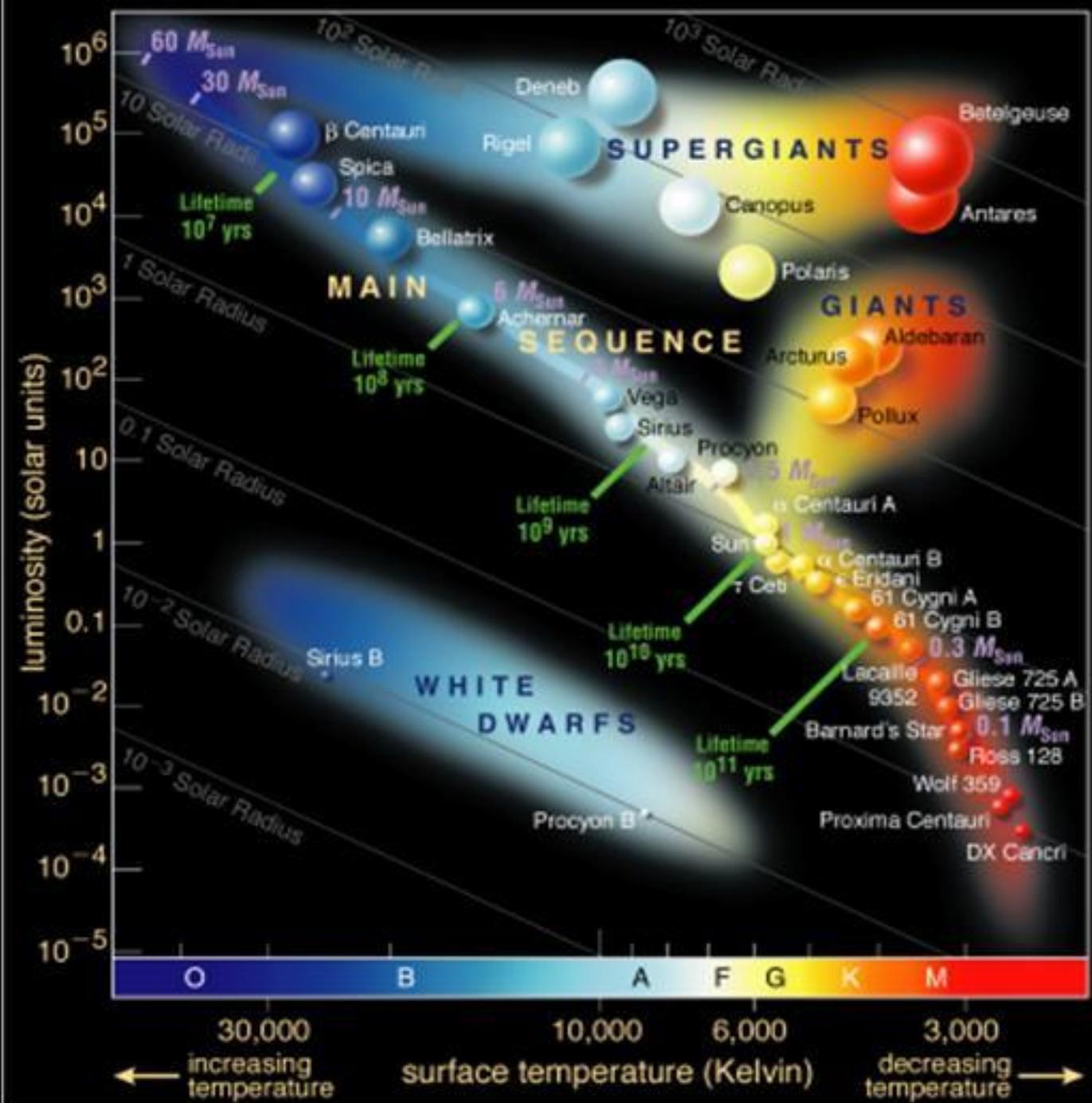


# ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА-РАССЕЛА

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС И ТЕМПЕРАТУРА

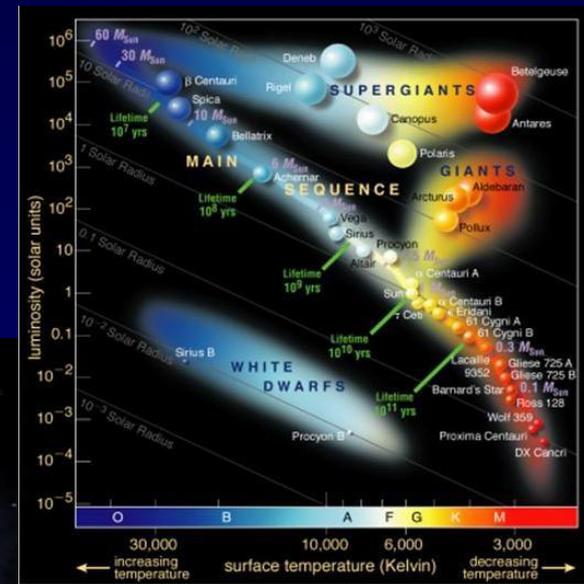
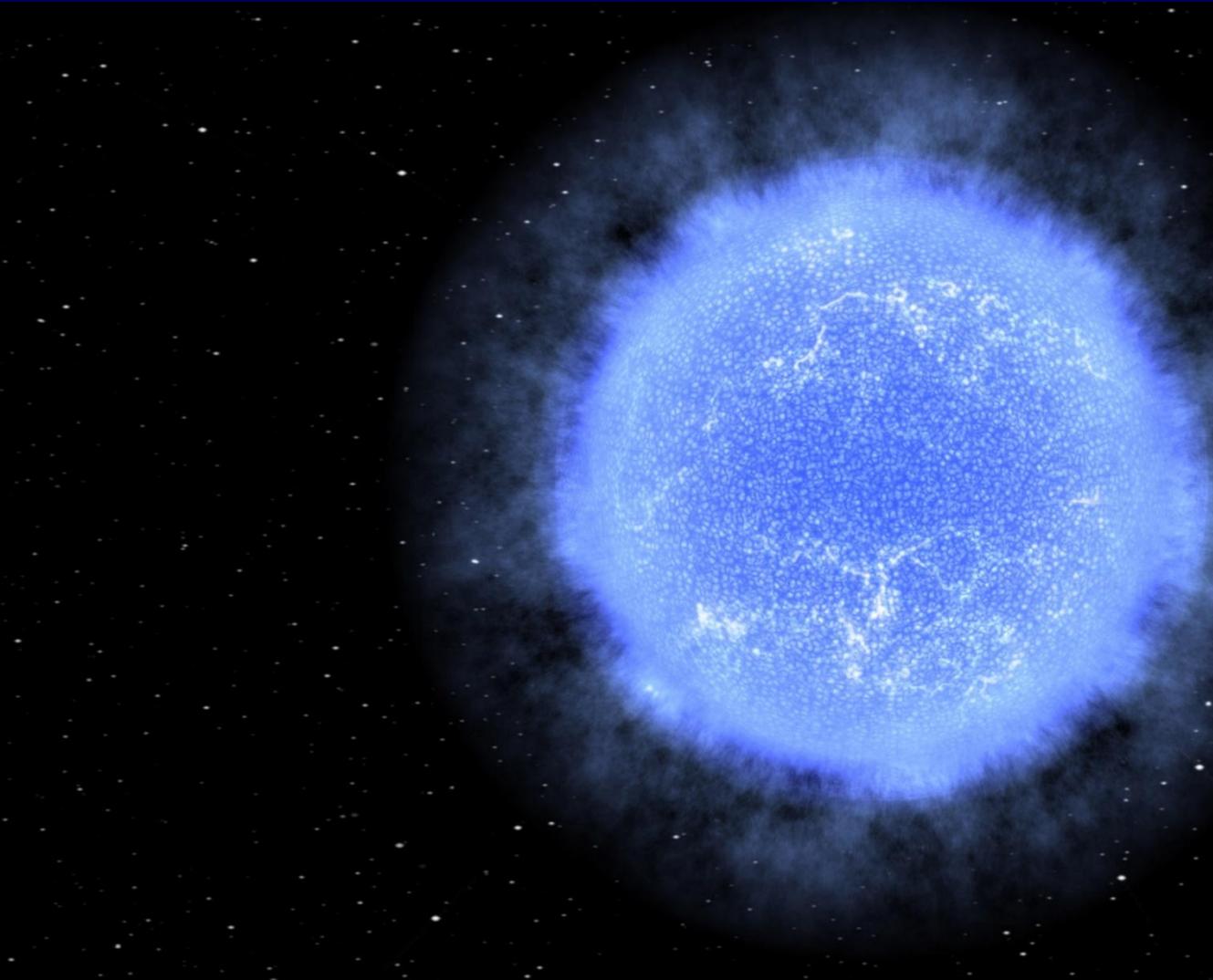






# Модели звезд

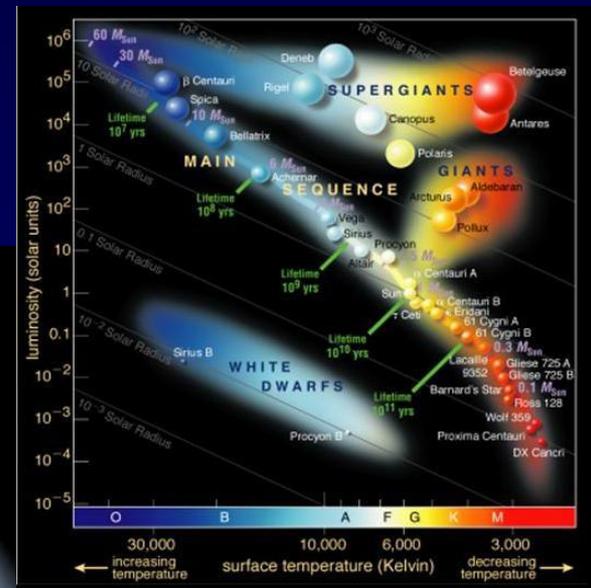
# Голубой гигант



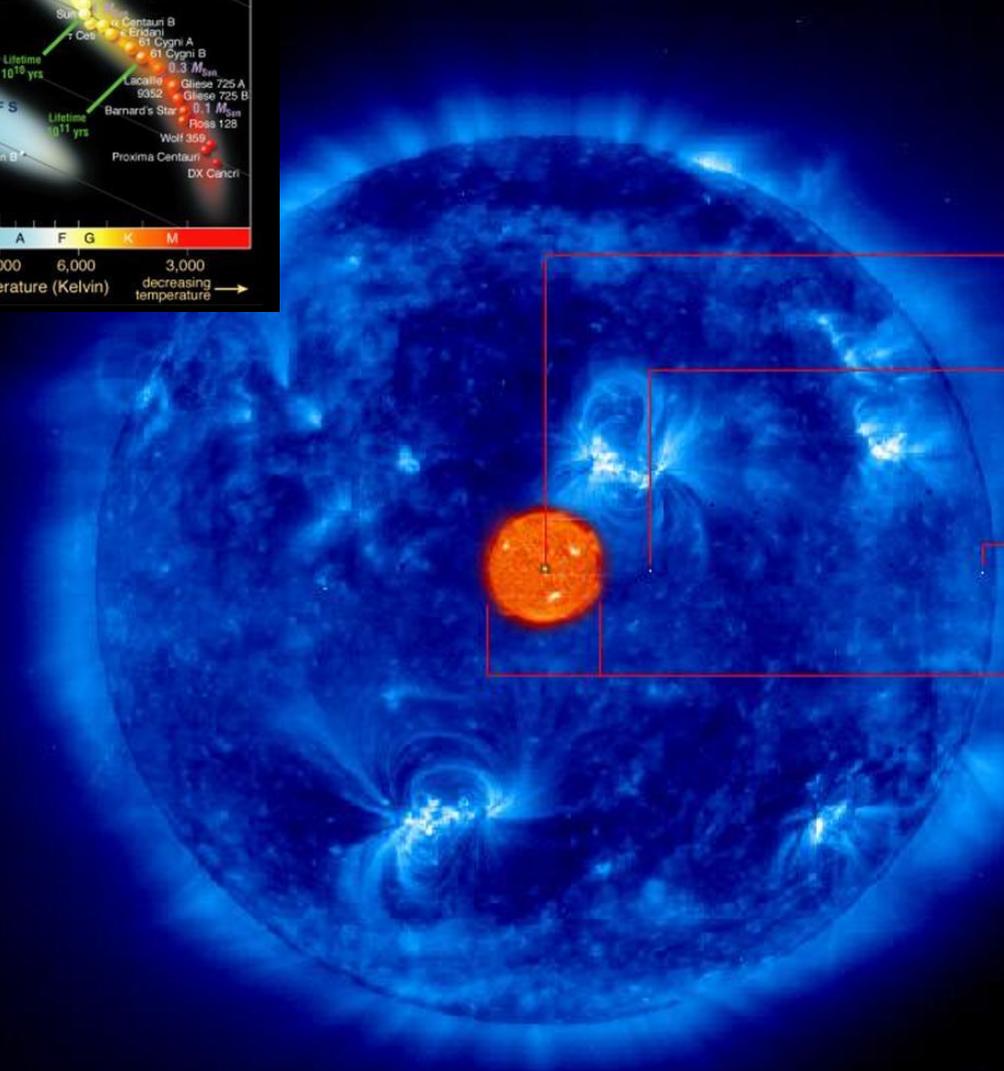
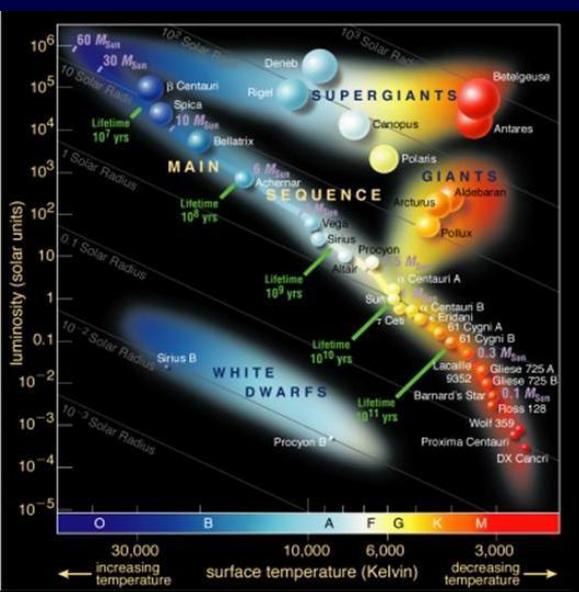
# Голубой гигант

Alnitak ( $\zeta$  Ori)

Sol



# Синий гигант



**THE SUN (MAIN SEQUENCE)  
CURRENT SIZE**

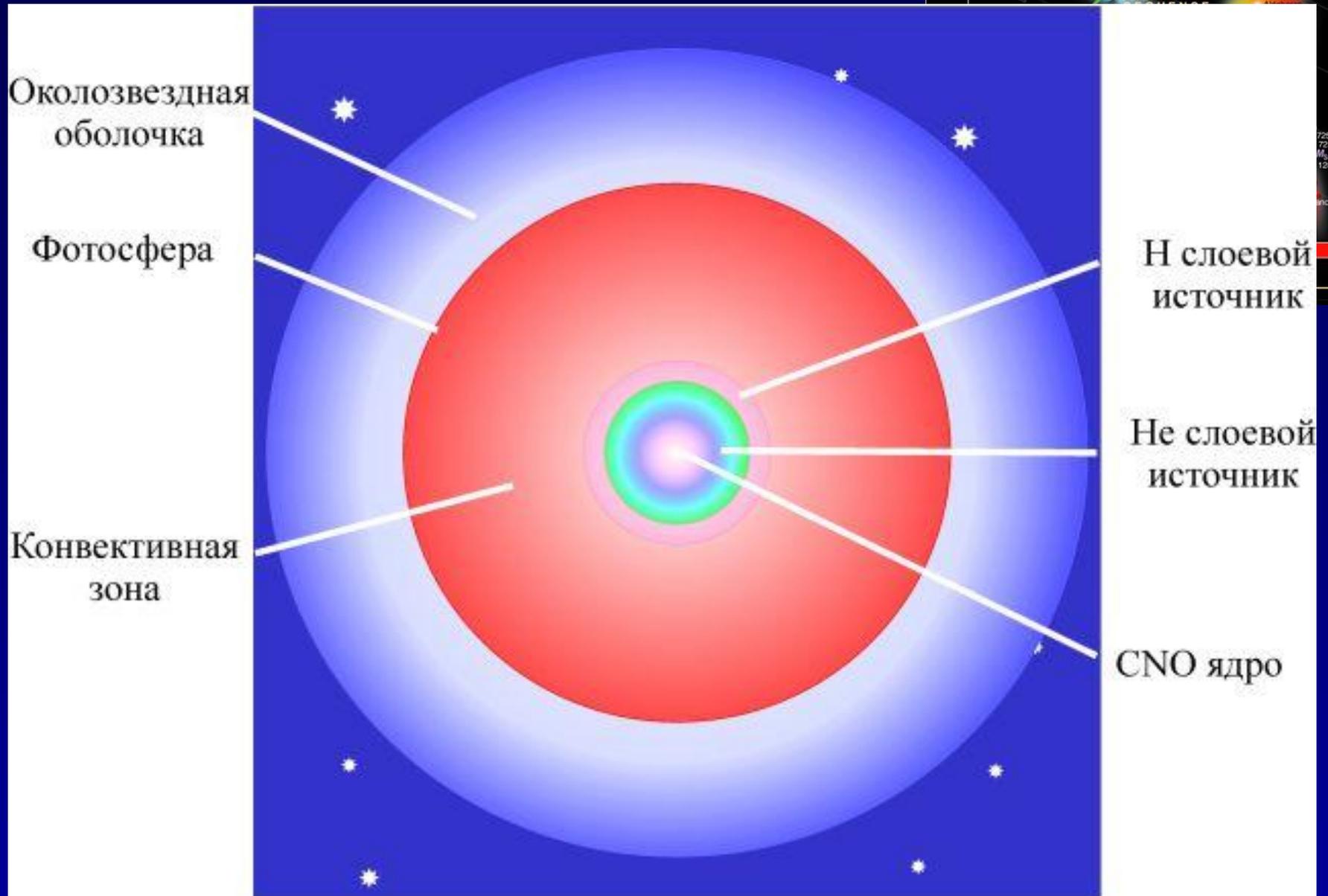
**EARTH'S Orbit**

**JUPITER'S Orbit  
5.2028 A.U.**

**THE SUN (RED GIANT PHASE)  
1 A.U. Diameter**

**BLUE-WHITE  
SUPER GIANT STAR**

# Голубой гигант



# Периодическая система химических элементов

## Группы элементов

Периоды	Группы элементов								VIII		б
	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б	а VI б	а VII б	а			
1	<b>H</b>							<b>Н</b> 1 1,00794:7 ВОДОРОД	<b>He</b> 2 4,002602:2 ГЕЛИЙ	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">                     Атомная масса    Атомный номер  <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <b>U</b>                          238,0289:1                          5f<sup>3</sup>6d<sup>1</sup>7s<sup>2</sup>                          УРАН                     </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                         92                          2                          21                          32                          18                          8                          2                     </div> </div>                     Распределение электронов по застраиваемым и ближайшим подоболочкам    Распределение электронов по оболочкам                 </div>	
2	<b>Li</b> 3 6,941:2 ЛИТИЙ	<b>Be</b> 4 9,012182:3 БЕРИЛЛИЙ	<b>B</b> 5 10,811:7 БОР	<b>C</b> 6 12,0107:8 УГЛЕРОД	<b>N</b> 7 14,00647:7 АЗОТ	<b>O</b> 8 15,9994:3 КИСЛОРОД	<b>F</b> 9 18,9984032:5 ФТОР	<b>Ne</b> 10 20,1797:6 НЕОН			
3	<b>Na</b> 11 22,989770:2 НАТРИЙ	<b>Mg</b> 12 24,3050:6 МАГНИЙ	<b>Al</b> 13 26,981538:2 АЛЮМИНИЙ	<b>Si</b> 14 28,0855:3 КРЕМНИЙ	<b>P</b> 15 30,973761:2 ФОСФОР	<b>S</b> 16 32,066:6 СЕРА	<b>Cl</b> 17 35,4527:9 ХЛОР	<b>Ar</b> 18 39,948:1 АРГОН			
4	<b>K</b> 19 39,0983:1 КАЛИЙ	<b>Ca</b> 20 40,078:4 КАЛЬЦИЙ	<b>Sc</b> 21 44,955910:8 СКАНДИЙ	<b>Ti</b> 22 47,867:1 ТИТАН	<b>V</b> 23 50,9415:1 ВАНАДИЙ	<b>Cr</b> 24 51,9961:6 ХРОМ	<b>Mn</b> 25 54,938049:9 МАРГАНЕЦ	<b>Fe</b> 26 55,845:2 ЖЕЛЕЗО	<b>Co</b> 27 58,933200:9 КОБАЛЬТ	<b>Ni</b> 28 58,6934:4 НИКЕЛЬ	
	<b>Cu</b> 29 63,546:3 МЕДЬ	<b>Zn</b> 30 65,39:2 ЦИНК	<b>Ga</b> 31 69,723:1 ГАЛЛИЙ	<b>Ge</b> 32 72,61:2 ГЕРМАНИЙ	<b>As</b> 33 74,92160:2 МЫШЬЯК	<b>Se</b> 34 78,96:3 СЕЛЕН	<b>Br</b> 35 79,904:1 БРОМ	<b>Kr</b> 36 83,80:1 КРИПТОН			
5	<b>Rb</b> 37 85,4678:3 РУБИДИЙ	<b>Sr</b> 38 87,62:1 СТРОНЦИЙ	<b>Y</b> 39 88,90585:2 ИТРИЙ	<b>Zr</b> 40 91,224:2 ЦИРКОНИЙ	<b>Nb</b> 41 92,90638:2 НИОБИЙ	<b>Mo</b> 42 95,94:1 МОЛИБДЕН	<b>Tc</b> 43 [98] ТЕХНЕЦИЙ	<b>Ru</b> 44 101,07:2 РУТЕНИЙ	<b>Rh</b> 45 102,90550:2 РОДИЙ	<b>Pd</b> 46 106,42:1 ПАЛЛАДИЙ	
	<b>Ag</b> 47 107,8682:2 СЕРЕБРО	<b>Cd</b> 48 112,411:8 КАДМИЙ	<b>In</b> 49 114,818:3 ИНДИЙ	<b>Sn</b> 50 118,710:7 ОЛОВО	<b>Sb</b> 51 121,760:1 СУРЬМА	<b>Te</b> 52 127,60:3 ТЕЛЛУР	<b>I</b> 53 126,90447:3 ИОД	<b>Xe</b> 54 131,29:2 КСЕНОН			
6	<b>Cs</b> 55 132,90545:2 ЦЕЗИЙ	<b>Ba</b> 56 137,327:7 БАРИЙ	<b>La*</b> 57 138,9055:2 ЛАНТАН	<b>Hf</b> 72 178,49:2 ГАФНИЙ	<b>Ta</b> 73 180,9479:1 ТАНТАЛ	<b>W</b> 74 183,84:1 ВОЛЬФРАМ	<b>Re</b> 75 186,207:1 РЕНИЙ	<b>Os</b> 76 190,23:3 ОСМИЙ	<b>Ir</b> 77 192,217:3 ИРИДИЙ	<b>Pt</b> 78 195,078:2 ПЛАТИНА	
	<b>Au</b> 79 196,96655:2 ЗОЛОТО	<b>Hg</b> 80 200,59:2 РТУТЬ	<b>Tl</b> 81 204,3833:2 ТАЛЛИЙ	<b>Pb</b> 82 207,2:1 СВИНЕЦ	<b>Bi</b> 83 208,98038:2 ВИСМУТ	<b>Po</b> 84 [209] ПОЛОНИЙ	<b>At</b> 85 [210] АСТАТ	<b>Rn</b> 86 [222] РАДОН			
7	<b>Fr</b> 87 [223] ФРАНЦИЙ	<b>Ra</b> 88 [226] РАДИЙ	<b>Ac**</b> 89 [227] АКТИНИЙ	<b>Rf</b> 104 [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	<b>Db</b> 105 [262] ДУБНИЙ	<b>Sg</b> 106 [265] СМБОРГИЙ	<b>Bh</b> 107 [261] БОРИЙ	<b>Hs</b> 108 [265] ХАССИЙ	<b>Mt</b> 109 [266] МЕЙТНЕРИЙ		

### ★ лантаноиды

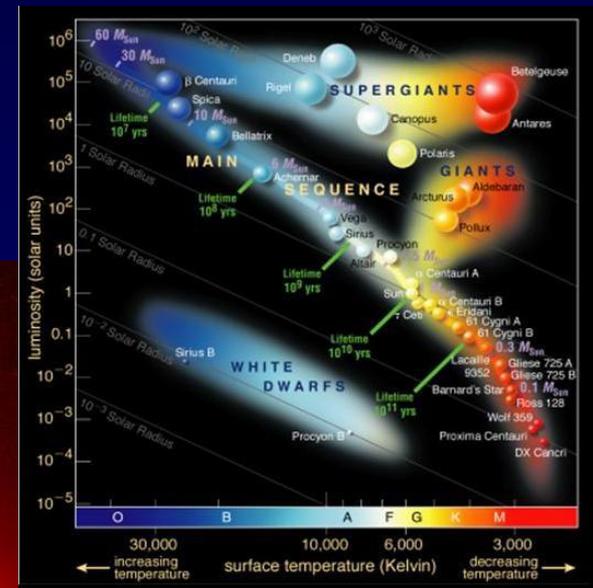
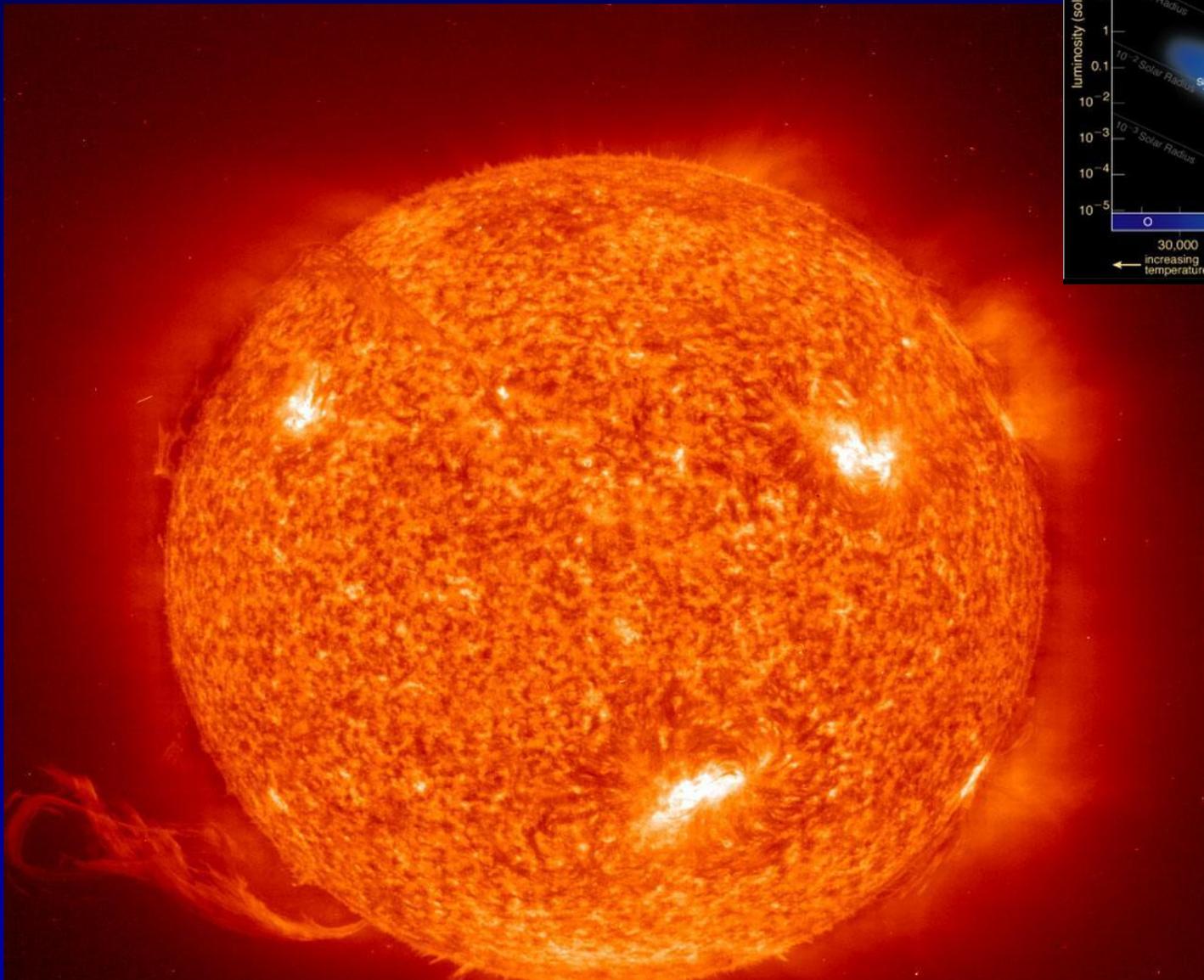
<b>Ce</b> 58 140,116:1 ЦЕРИЙ	<b>Pr</b> 59 140,90765:2 ПРАЗЕОДИЙ	<b>Nd</b> 60 144,24:3 НЕОДИМ	<b>Pm</b> 61 [145] ПРОМЕТИЙ	<b>Sm</b> 62 150,36:3 САМАРИЙ	<b>Eu</b> 63 151,964:1 ЕВРОПИЙ	<b>Gd</b> 64 157,25:3 ГАДОЛИНИЙ	<b>Tb</b> 65 158,92534:2 ТЕРБИЙ	<b>Dy</b> 66 162,50:3 ДИСПРОЗИЙ	<b>Ho</b> 67 164,93032:2 ГОЛЬМИЙ	<b>Er</b> 68 167,26:3 ЭРБИЙ	<b>Tm</b> 69 168,93421:2 ТУЛИЙ	<b>Yb</b> 70 173,04:3 ИТТЕРБИЙ	<b>Lu</b> 71 174,967:1 ЛЮТЕЦИЙ
------------------------------------	------------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

### ★★ актиноиды

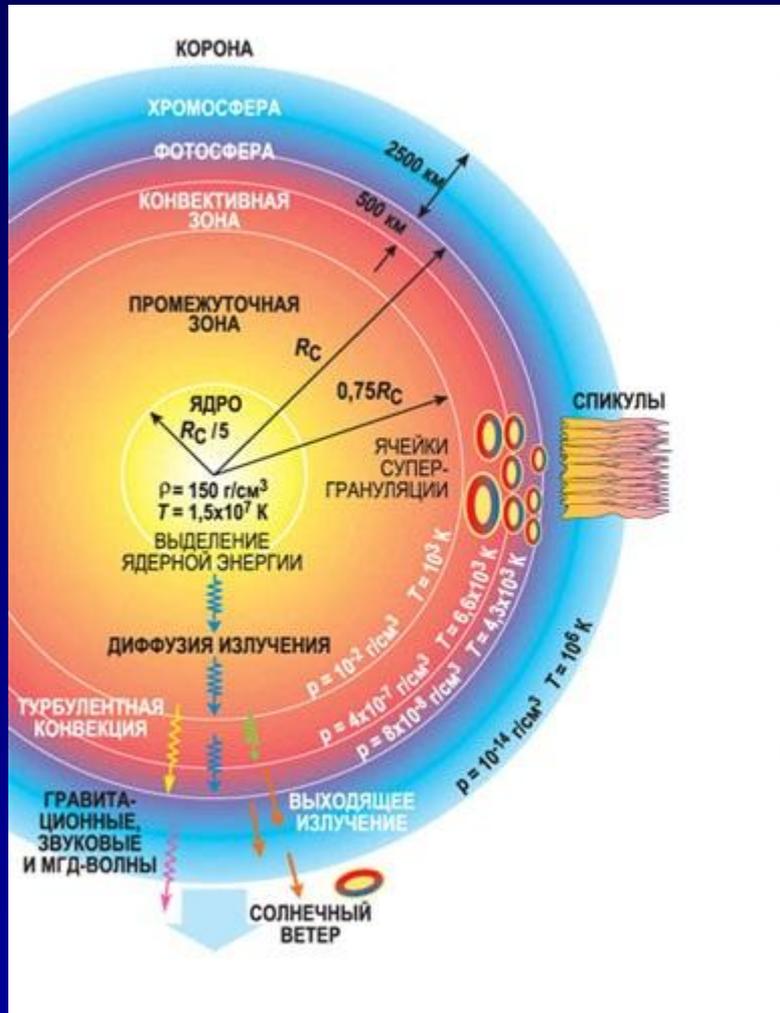
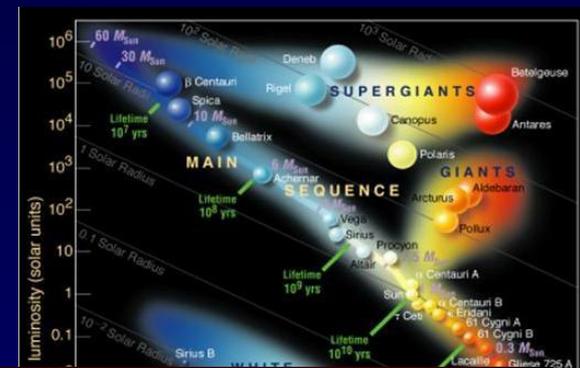
<b>Th</b> 90 232,0381:1 ТОРИЙ	<b>Pa</b> 91 231,03588:2 ПРАКТОЛИЙ	<b>U</b> 92 238,0289:1 УРАН	<b>Np</b> 93 [237] НЕПУНИЙ	<b>Pu</b> 94 [244] ПУТОНИЙ	<b>Am</b> 95 [243] АМЕРИЦИЙ	<b>Cm</b> 96 [247] КЮРИЙ	<b>Bk</b> 97 [247] БЕРКЛИЙ	<b>Cf</b> 98 [251] КАЛИФОРНИЙ	<b>Es</b> 99 [252] ЭЙНШТЕЙНИЙ	<b>Fm</b> 100 [257] ФЕРМИЙ	<b>Md</b> 101 [258] МЕНДЕЛЕВИЙ	<b>No</b> 102 [259] НОБЕЛИЙ	<b>Lr</b> 103 [262] ЛОУРЕНСИЙ
-------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Относительные атомные массы приведены по Международной таблице 1995 года (точность указана для последней значащей цифры). Для элементов, не имеющих стабильных изотопов, приведены массы наиболее распространенных изотопов.

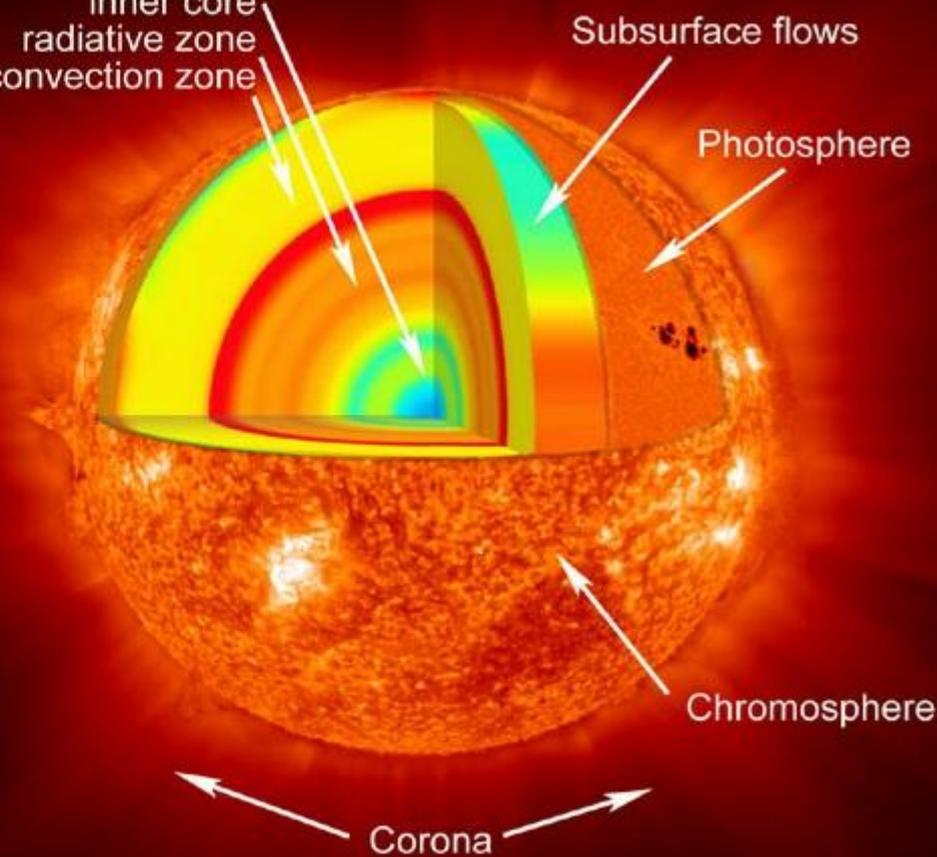
# Звезда Главной последовательности



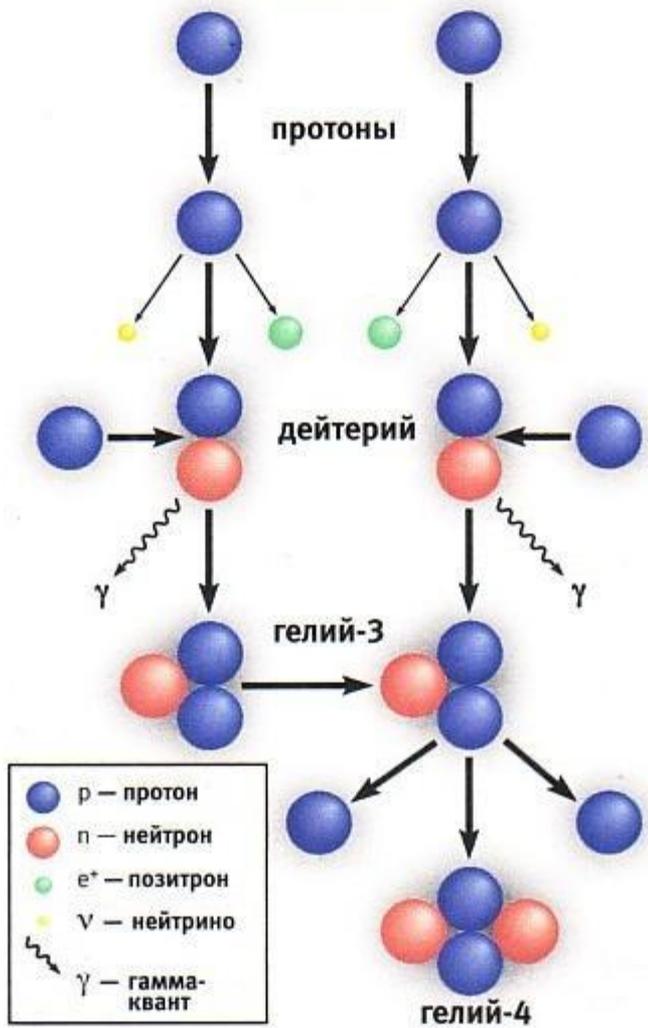
# Звезда Главной последовательности



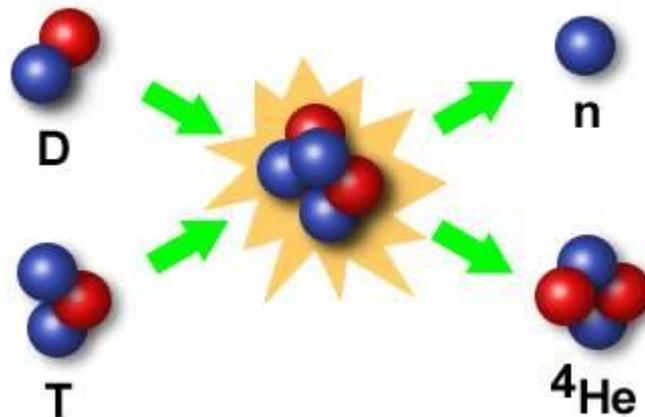
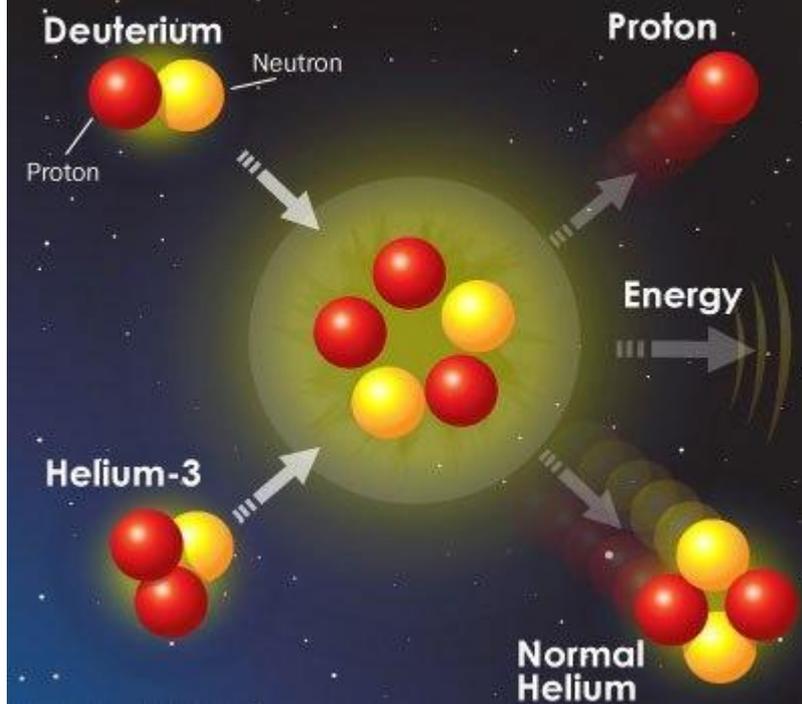
**Internal structure:**  
 inner core  
 radiative zone  
 convection zone



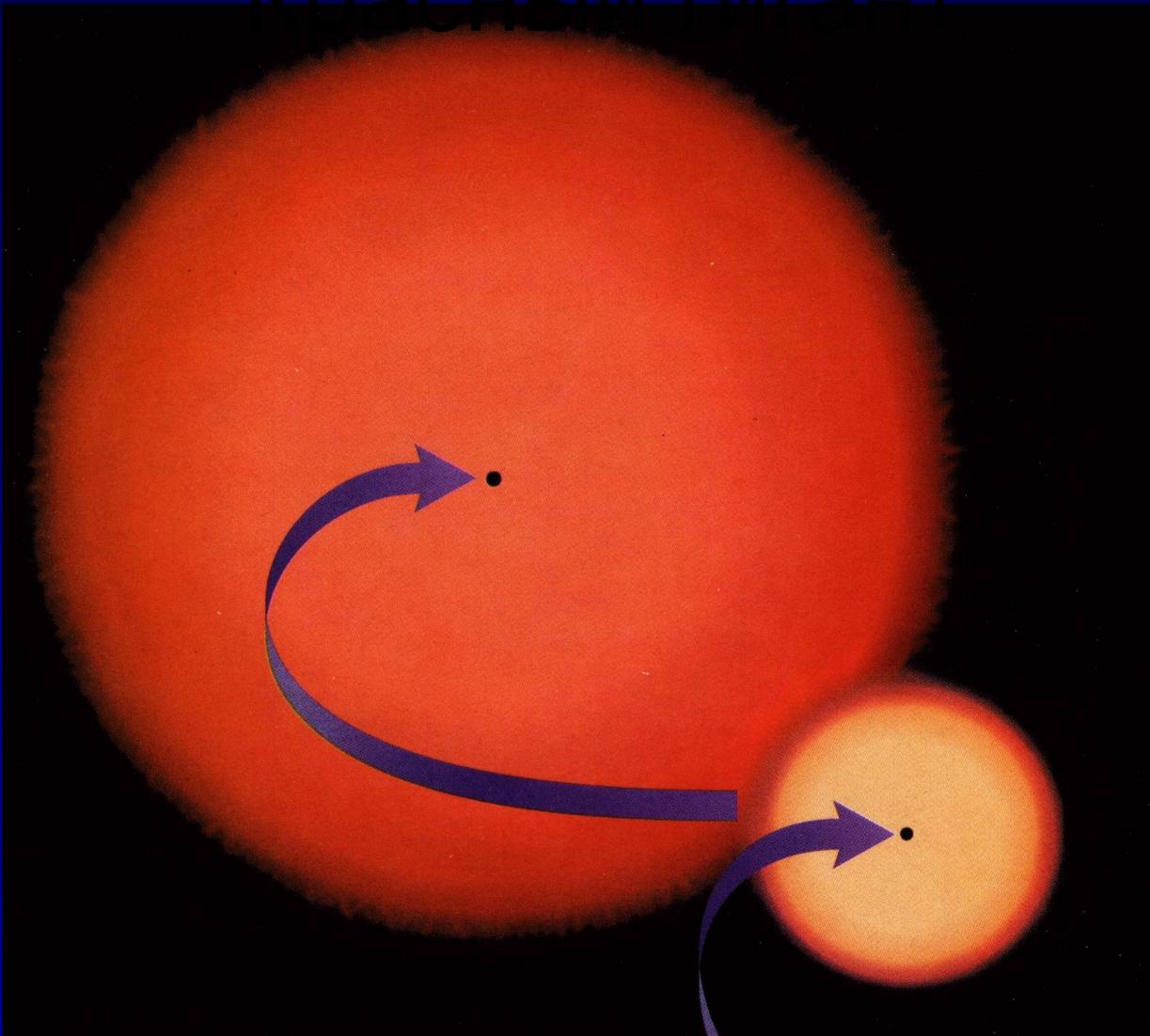
## Протон-протонный цикл синтеза гелия



## Reaction of Helium-3 with Deuterium

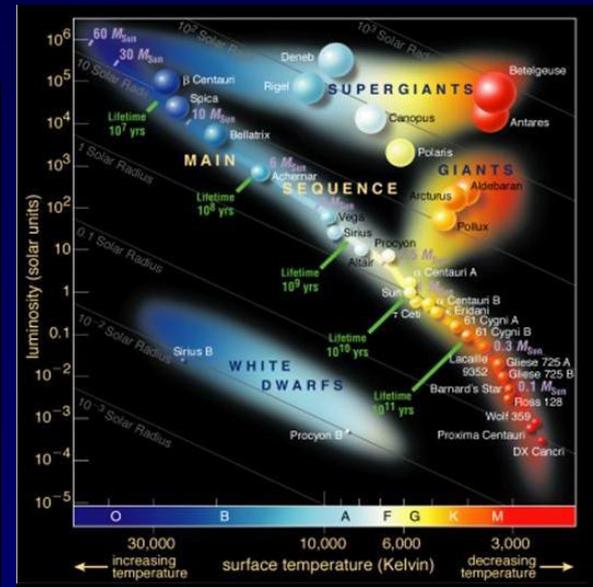


# Красный гигант

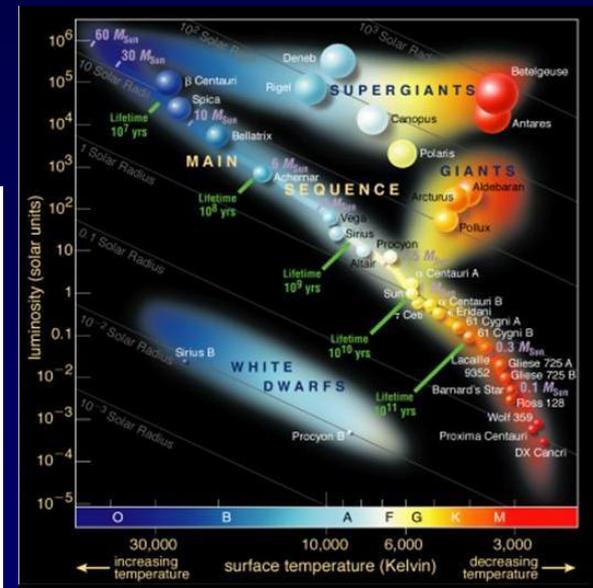
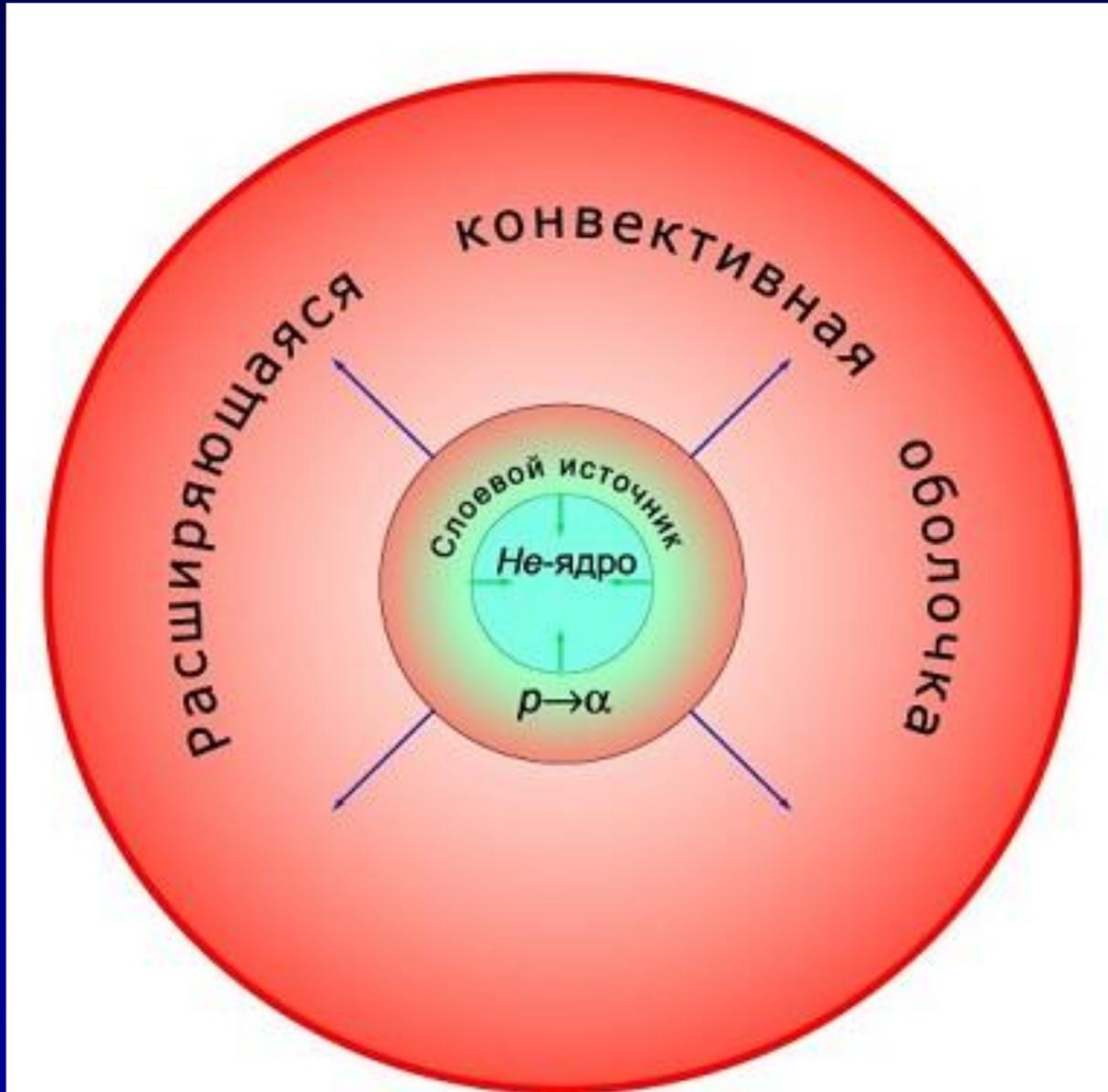


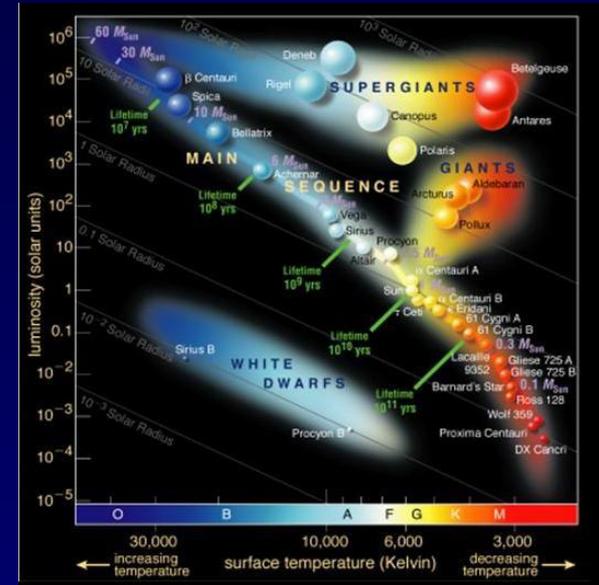
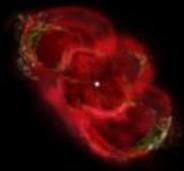
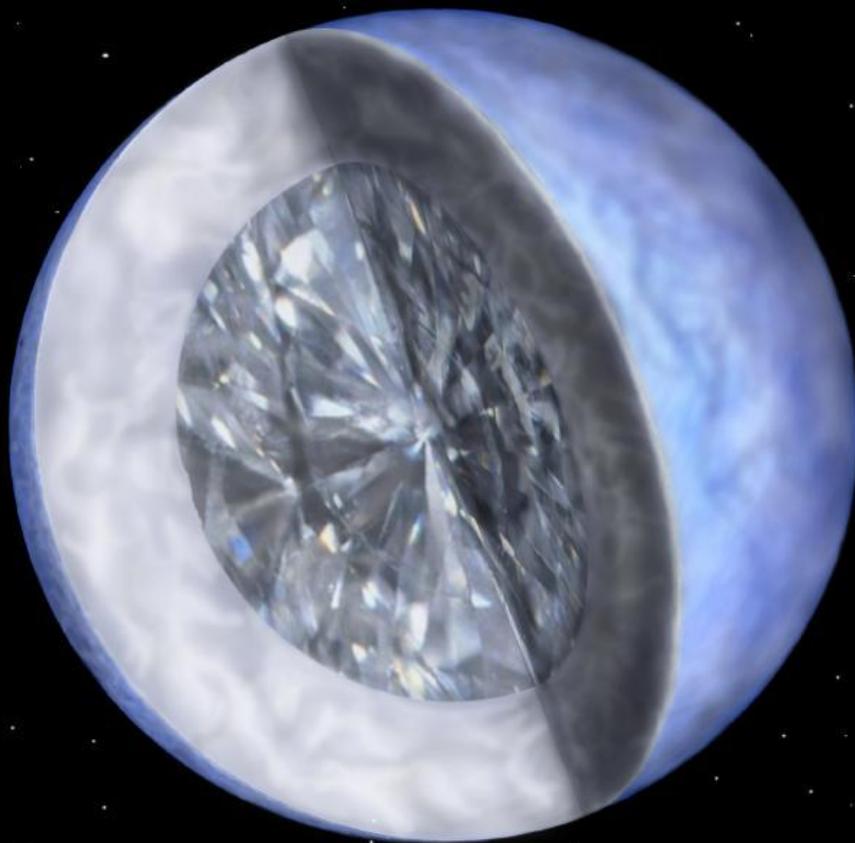
Construction of a giant star

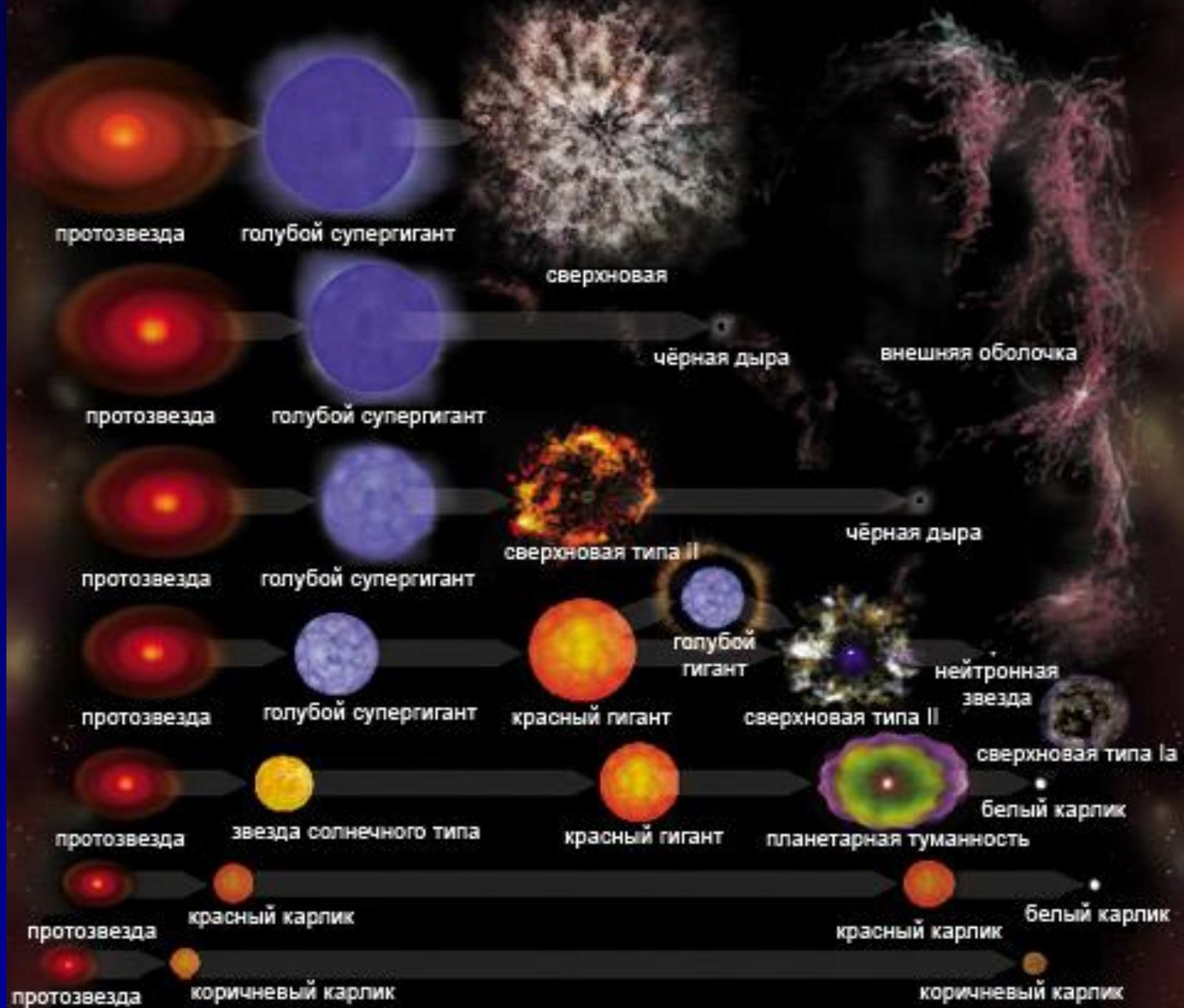
H → He



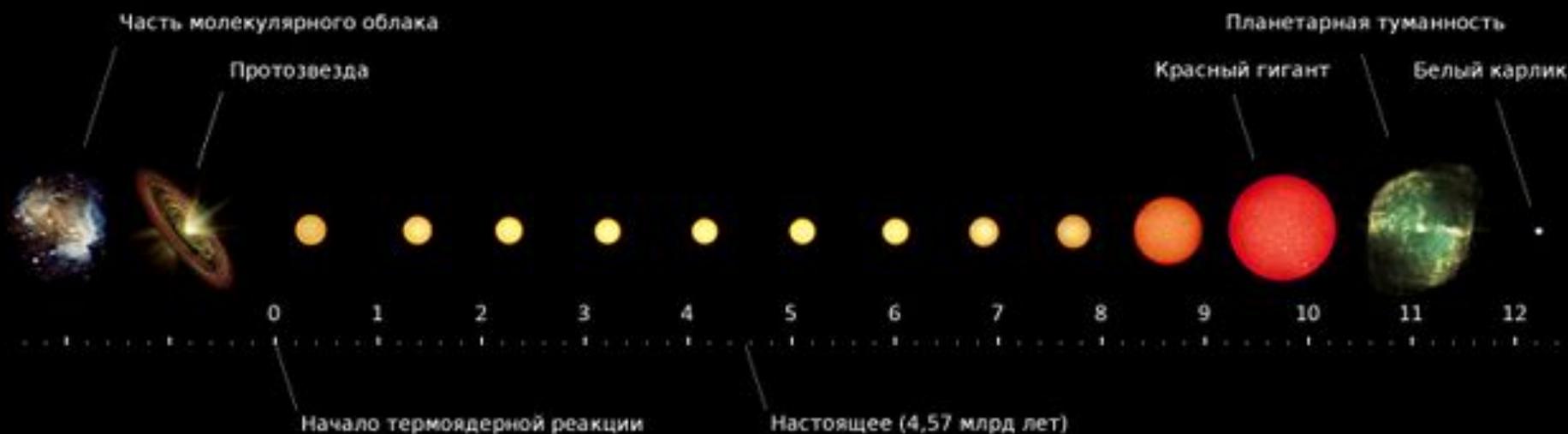
# Красный гигант







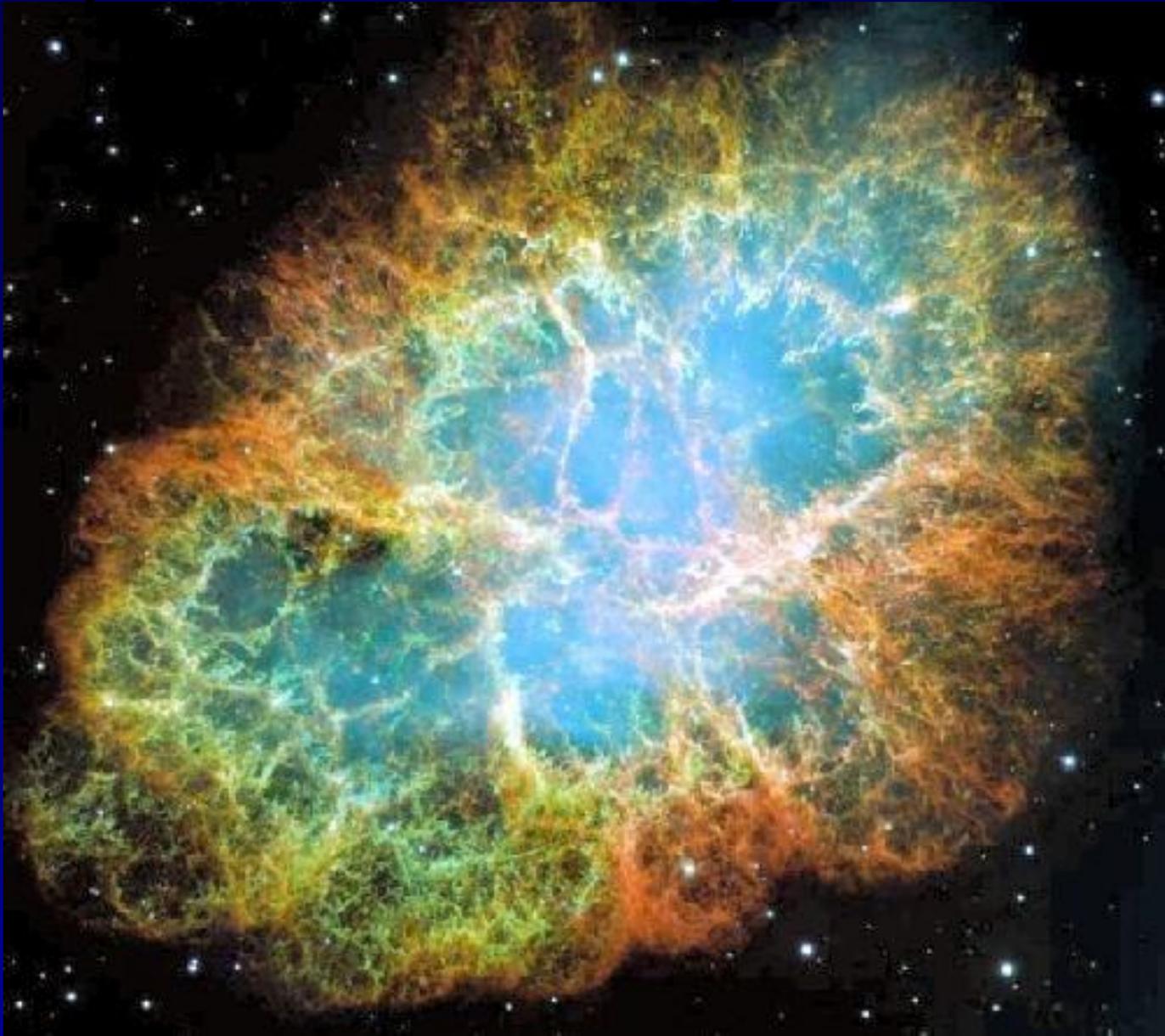
# Эволюция звезды главной последовательности



## Жизненный цикл Солнца

Масштаб и цвета условны. Временная шкала в миллиардах лет (приблизительно)

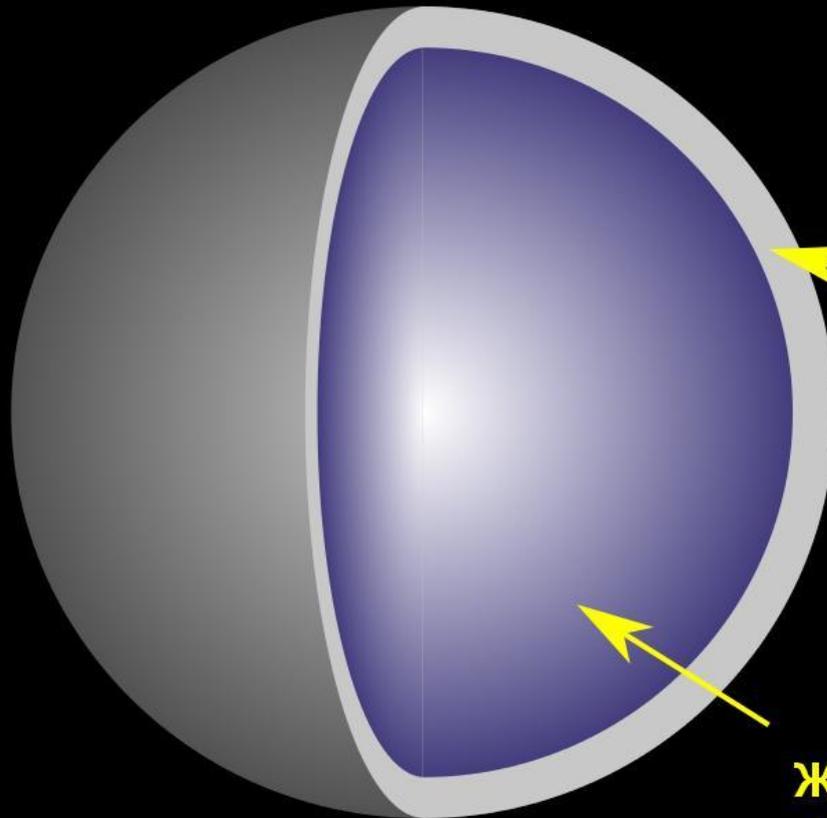
# Крабовидная туманность



# Нейтронная звезда

## Нейтронная звезда

1,5 массы Солнца  
~ 20 км в диаметре



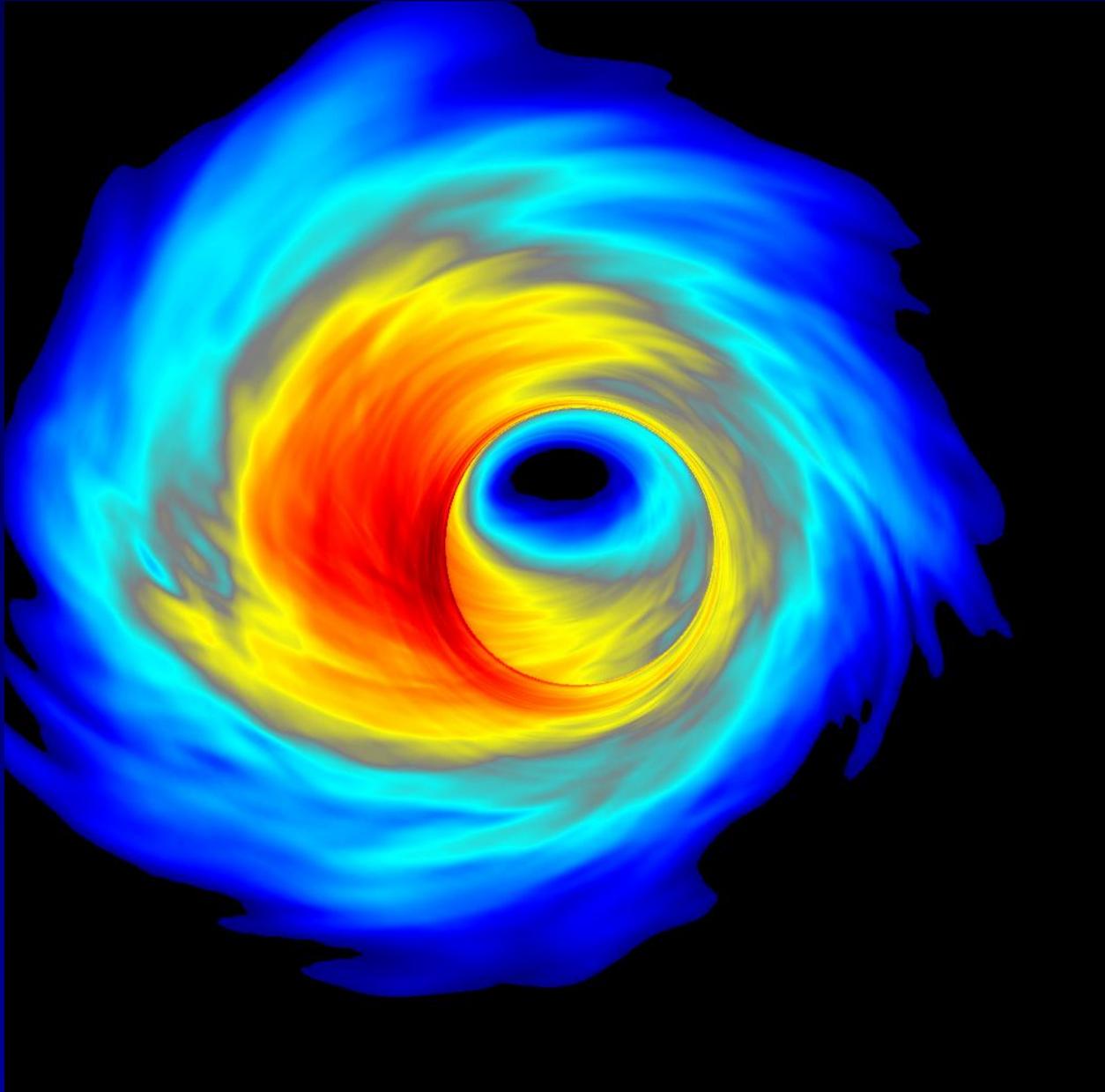
**Твердая оболочка**

~ 2 км

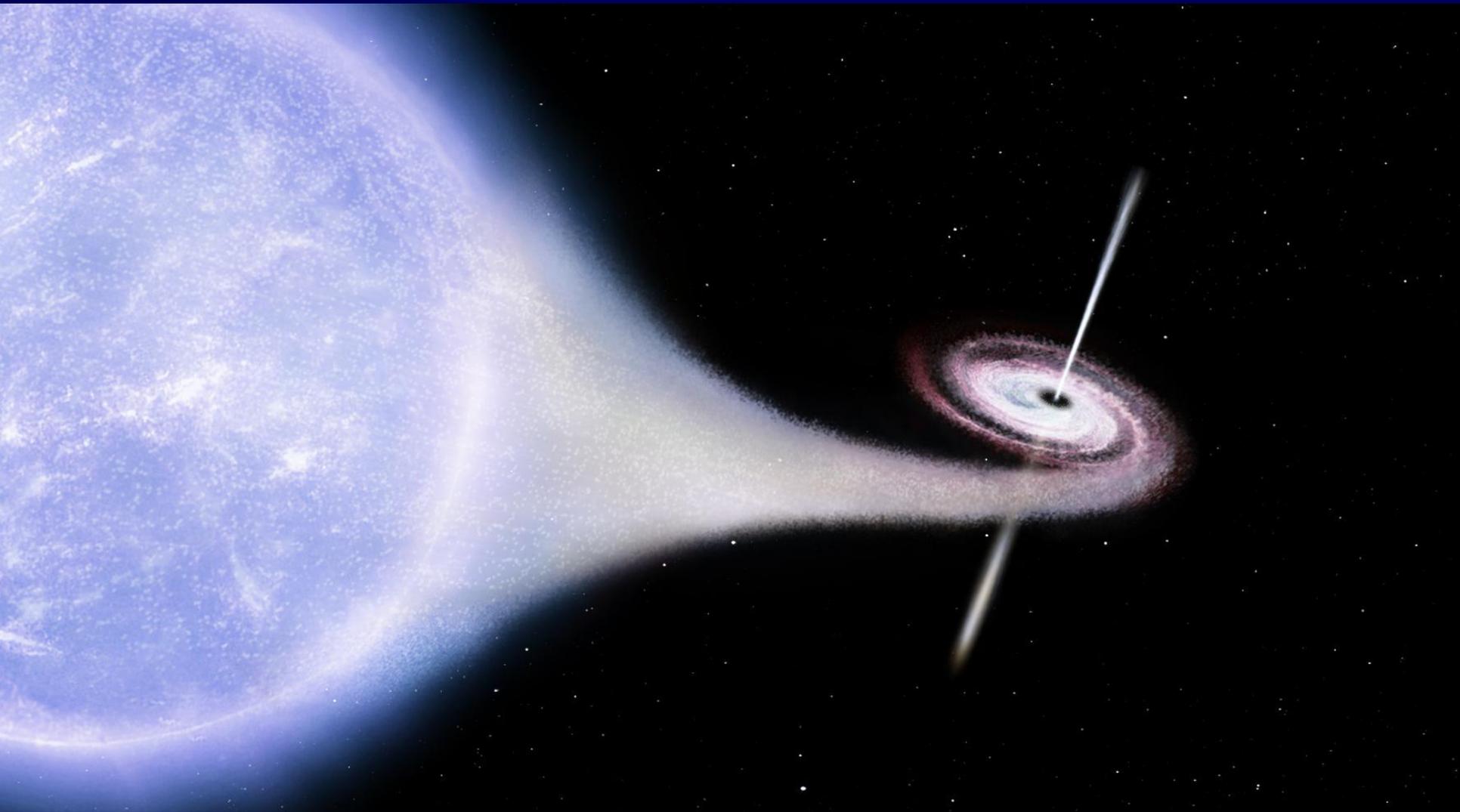
**Жидкая середина**

Состоящая в основном из нейтронов, а также из других частиц

# Черная дыра



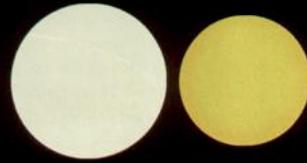
# Черная дыра





Один из видов сверхновых типа Ia — результат внезапной ядерной детонации звезды

**1** Более массивная из двух звезд солнечного типа, исчерпав свое топливо, превращается в белый карлик

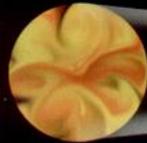


Звезда-соседка

**2** Белый карлик захватывает газ, теряемый соседкой, и приближается к критической массе

Белый карлик

**3** «Пламя» неуправляемых ядерных реакций возгорается в турбулентном ядре карлика

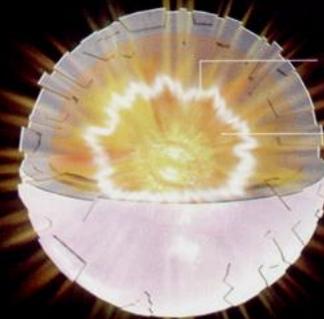


Гелий

Углерод/Кислород

Ядро

**4** Пламя устремляется наружу, превращая углерод и кислород в никель



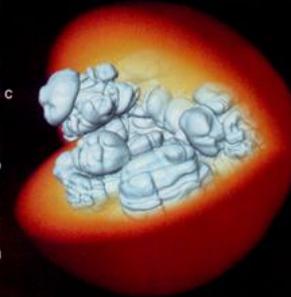
Фронт горения

Никель

**5** За несколько секунд карлик полностью разрушается. Затем еще несколько недель радиоактивный никель распадается, вызывая свечение остатков звезды

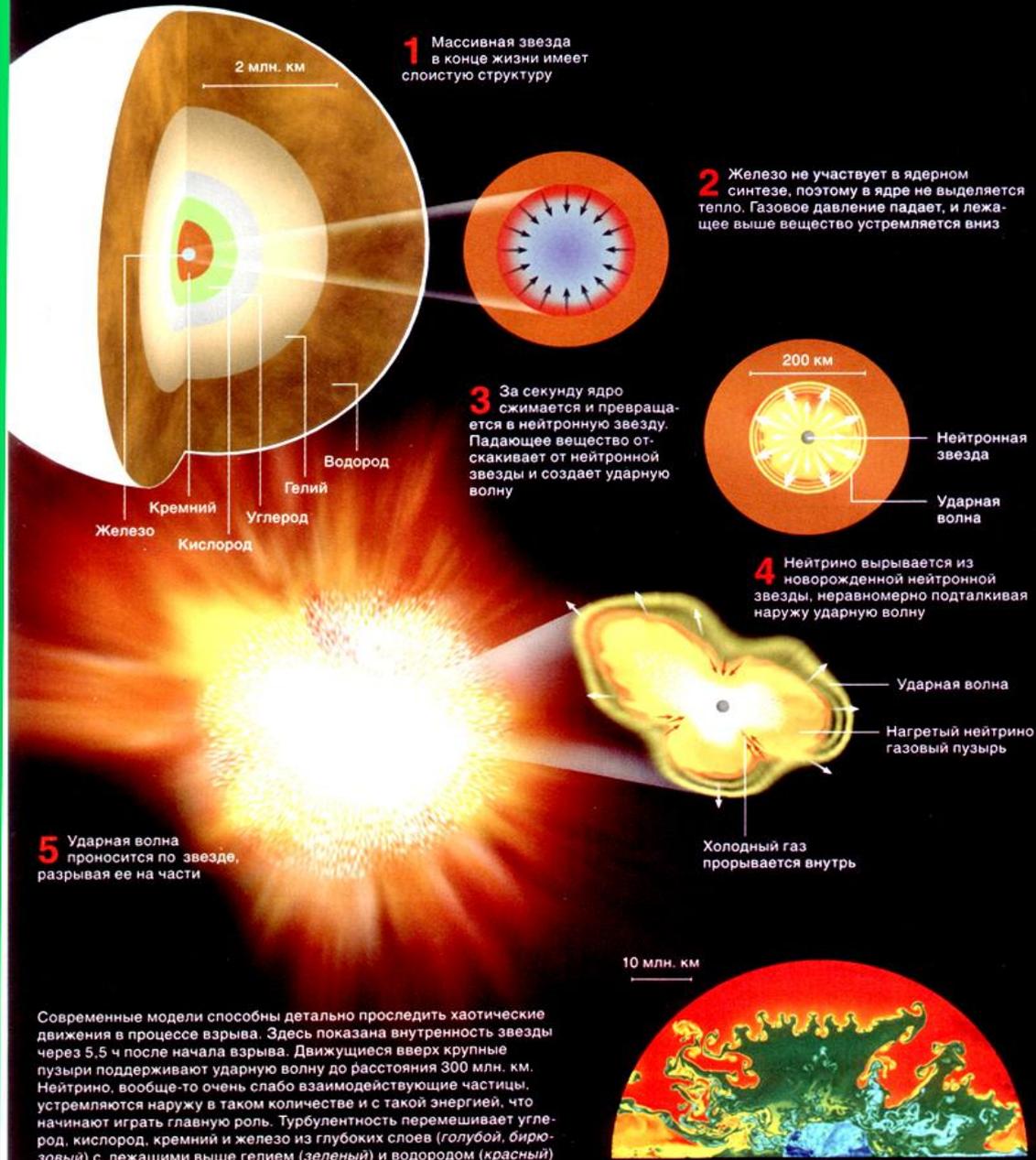


Прорыв в моделировании сверхновых позволил исследовать турбулентность. Здесь показано, что произойдет через 0,6 с после воспламенения. Фронт ядерного горения имеет турбулентную, пузырчатую структуру (голубой). Турбулентность служит причиной быстрого продвижения фронта и подавления стабилизирующих механизмов звезды



# СВЕРХНОВАЯ С КОЛЛАПСОМ ЯДРА

Сверхновые другого рода образуются при сжатии звезд с массами более 8 масс Солнца. Они относятся к типам *Ib*, *Ic* или *II*, в зависимости от наблюдаемых особенностей





# Туманности







