ЗВЕЗДЫ

Сергей Арктурович ЯЗЕВ

Иркутский государственный университет
г. Иркутск

ЗВЕЗДЫ

- **Звезды – массивные горячие газовые шары (А.В.Засов, Э.В.Кононович, 1993)**

- **Звезды – газовые шары (Э. В.Кононович, В.И.Мороз, 2001)**

- **Звезда – гравитационно связанная непрозрачная для излучения масса вещества, светимость которой в основной поддерживается происходящими в ней термоядерными реакциями. (В.В.Иванов, В.Г.Сурдин, 2009)**

- **Звезда – тело массой от 0.1 до 150 масс Солнца (С.А.Ламзин, 2017)**

ЗВЕЗДЫ

Звезды – массивные горячие небесные тела, в недрах которых хотя бы на одном из этапов развития протекают термоядерные реакции

- **Массы – от 0.1 до 150 масс Солнца**
- **Размеры – от 0.01 до 1000 радиусов Солнца**
- **Светимость до 1 млн светимостей Солнца**
- **Температура поверхности – от 3000 до 50000 К**

ЗВЕЗДЫ

- **Звезды – это небесные тела с массой от 0.1 до 150 $M_\odot$**

С.А.Ламзин

- **Объекты с меньшей массой – коричневые карлики и планеты**

- **Звезды с массой > 150 $M_\odot$ пока не найдены**

- **ГИППАРХ**

190 – 120 гг
до нашей эры

Гиппарх предложил систему звездных величин для оценки блеска звезд

1 величина – самые яркие звезды

6 величина – самые слабые звезды, ещё видимые невооруженным глазом

- **ГИППАРХ**

190 – 120 гг
до нашей эры

Солнце – 26.7^{m}

Полная Луна – 12.7^{m}

Венера, МКС – 4^{m}

Самые слабые звёзды 30^{m}

- **Разница в одну звездную величину соответствует отношению видимых яркостей E в 2.512 раз.**

- **Если одна звезда имеет звездную величину на n единиц больше, чем другая, то ее видимая яркость на небе меньше в $2,512^n$ раз**

- **Поскольку $2,512^5 = 100$, то разница на 5 звездных величин соответствует отношению видимых яркостей ровно в 100 раз**

- **Формула Погсона**

$$\frac{E_1}{E_2} = 2{,}512^{m_2 - m_1} \quad \text{или} \quad \lg\frac{E_1}{E_2} = 0{,}4(m_2 - m_1)$$

1 парсек (1 пк) = 206265 а.е. =
$=206265 \times 1{,}496\times10^{8}$ км = $3{,}08\times10^{13}$ км = 3,26 св. года

- **Видимая звездная величина звезды, находящейся на расстоянии r_0 = 10 пк называется ее**
абсолютной звездной величиной

Если звезда находится на расстоянии r,

А ее видимая звездная величина m,

Можно записать:

$$E / E_0 = 2{,}512^{(M - m)}$$

Но видимая яркость меняется обратно пропорционально расстоянию

$$E / E_0 = r_0^2 / r^2, \text{ или } E / E_0 = 10^2 / r^2$$

Поэтому

$$10^2 / r^2 = 2{,}512^{(M - m)}$$

Логарифмируем

$2 - 2\lg r = 0{,}4(M-m)$, откуда $M = m + 5 - 5\lg r$

- Абсолютная звездная величина Солнца

M Солнца = + **4.8^m**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗВЕЗД

ОПЫТЫ С ПЕРВЫМ СПЕКТРОГРАФОМ

ИСААК НЬЮТОН, 1672

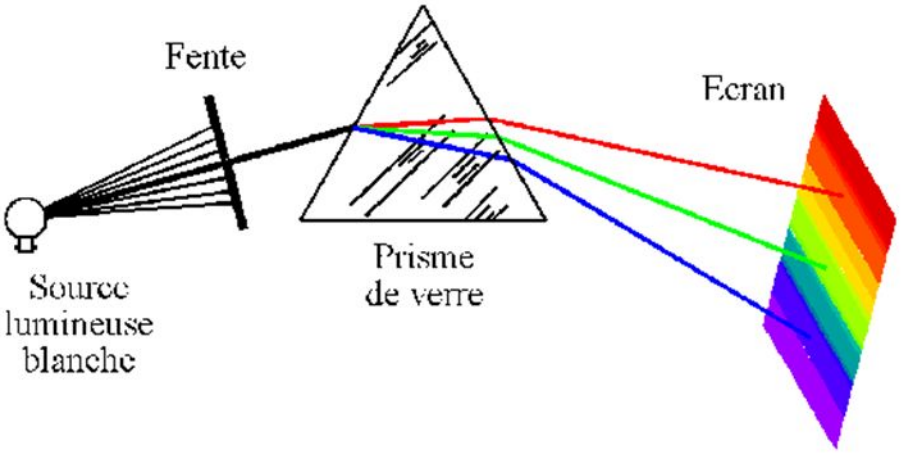
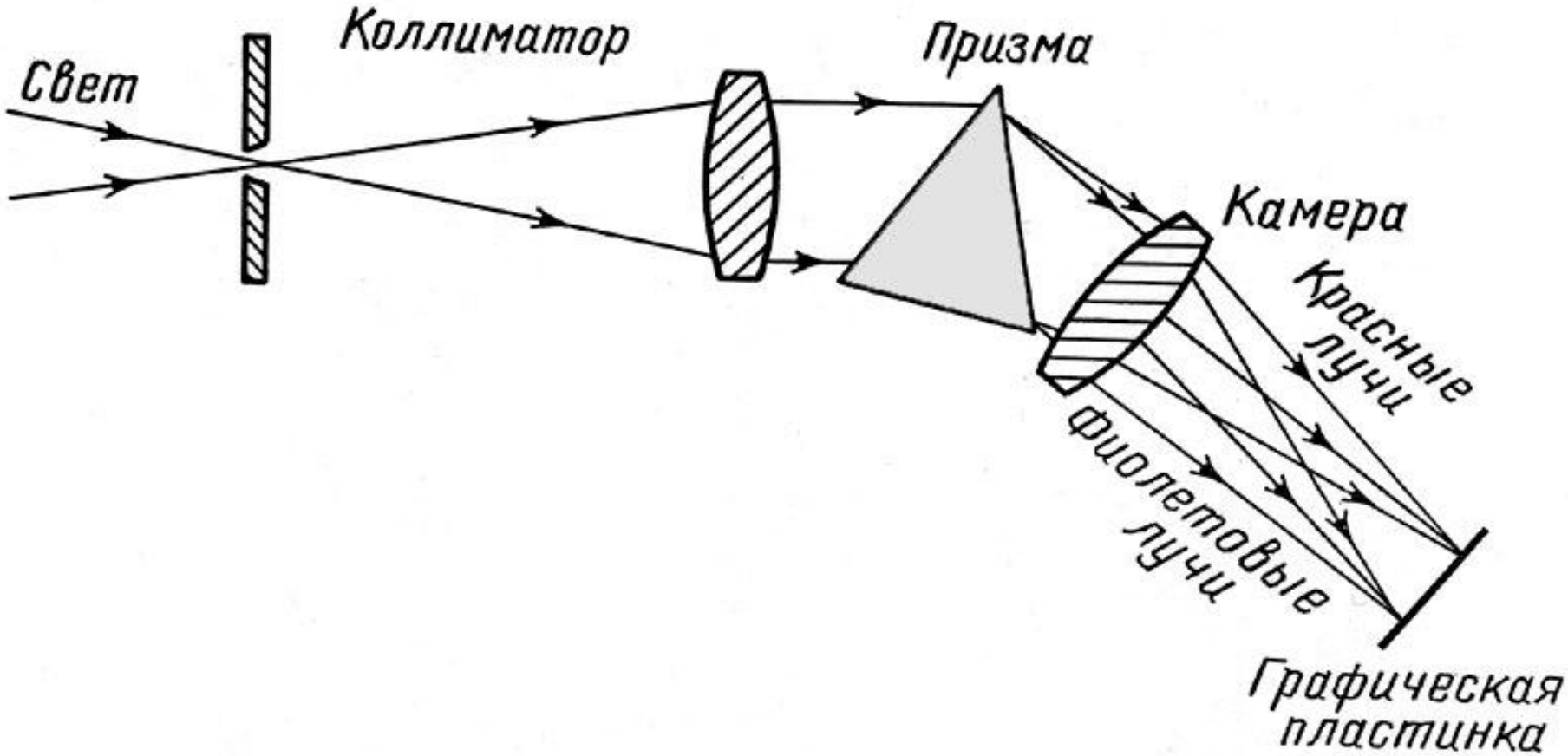
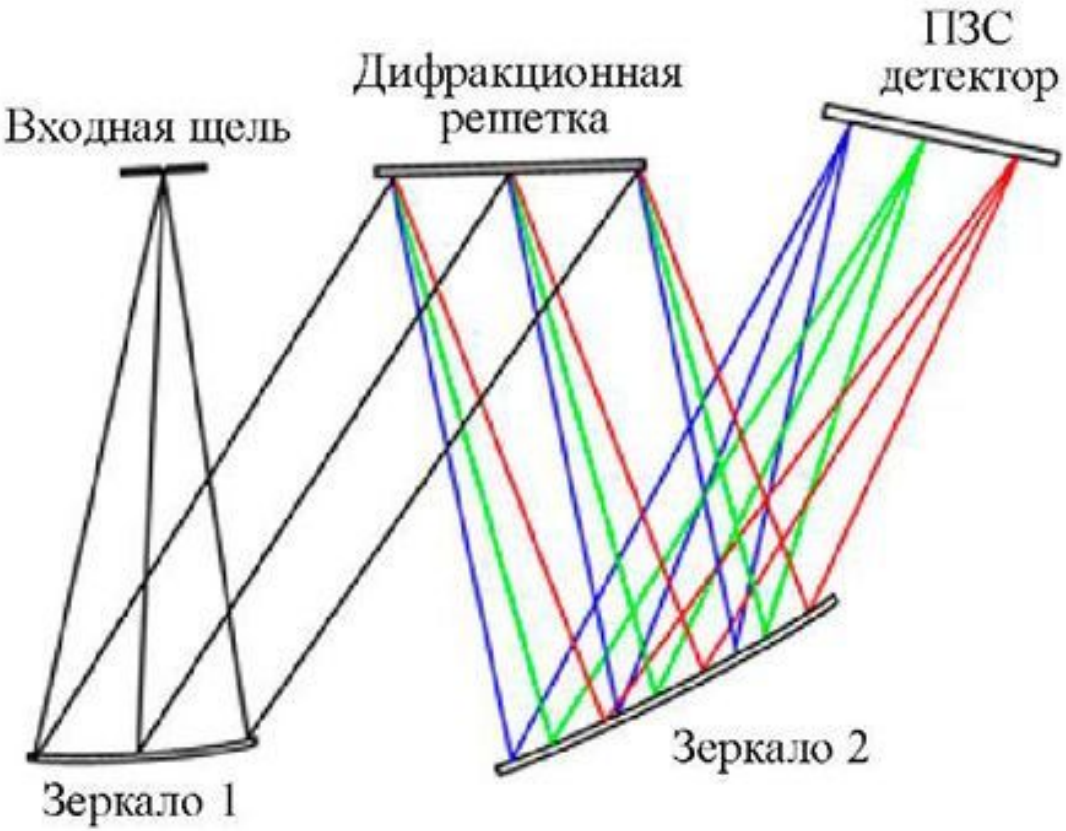


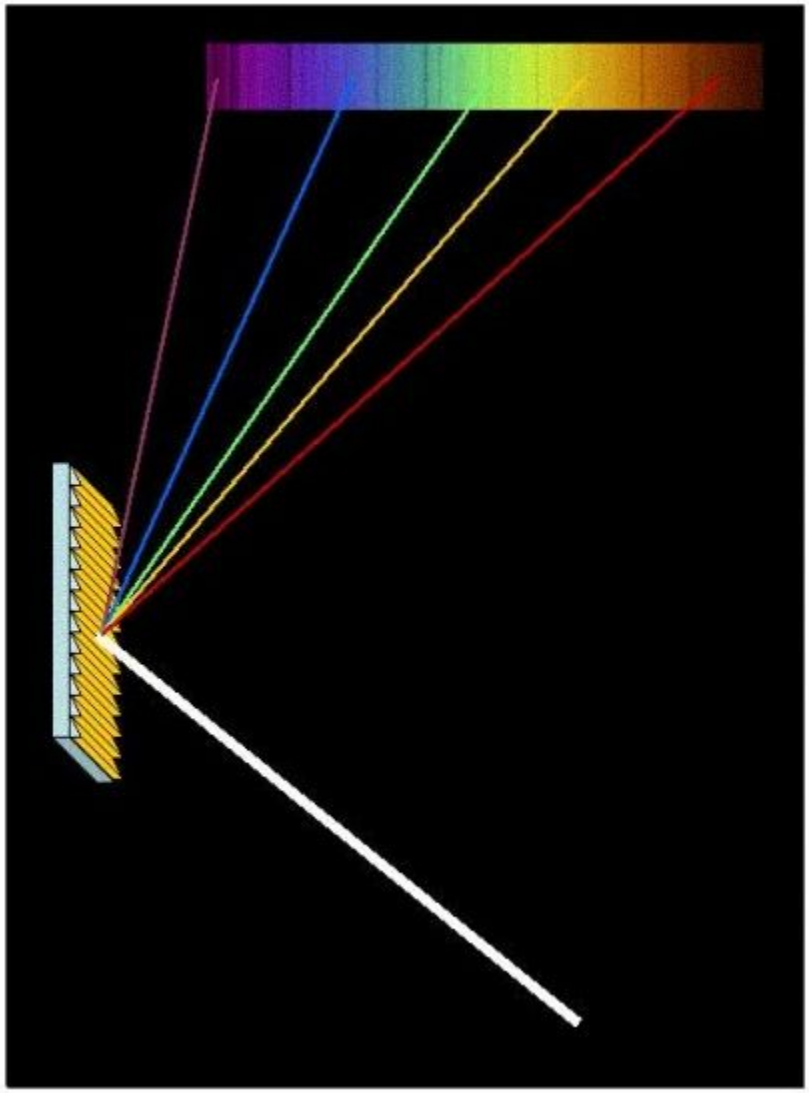
СХЕМА ПРИЗМЕННОГОСПЕКТРОГРАФА



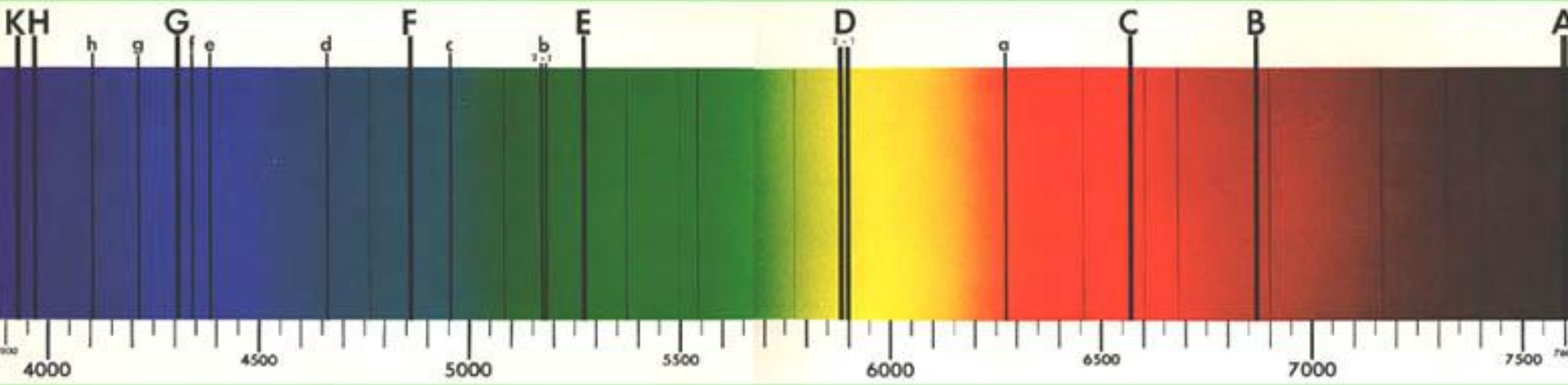
•© Ferlet 2003

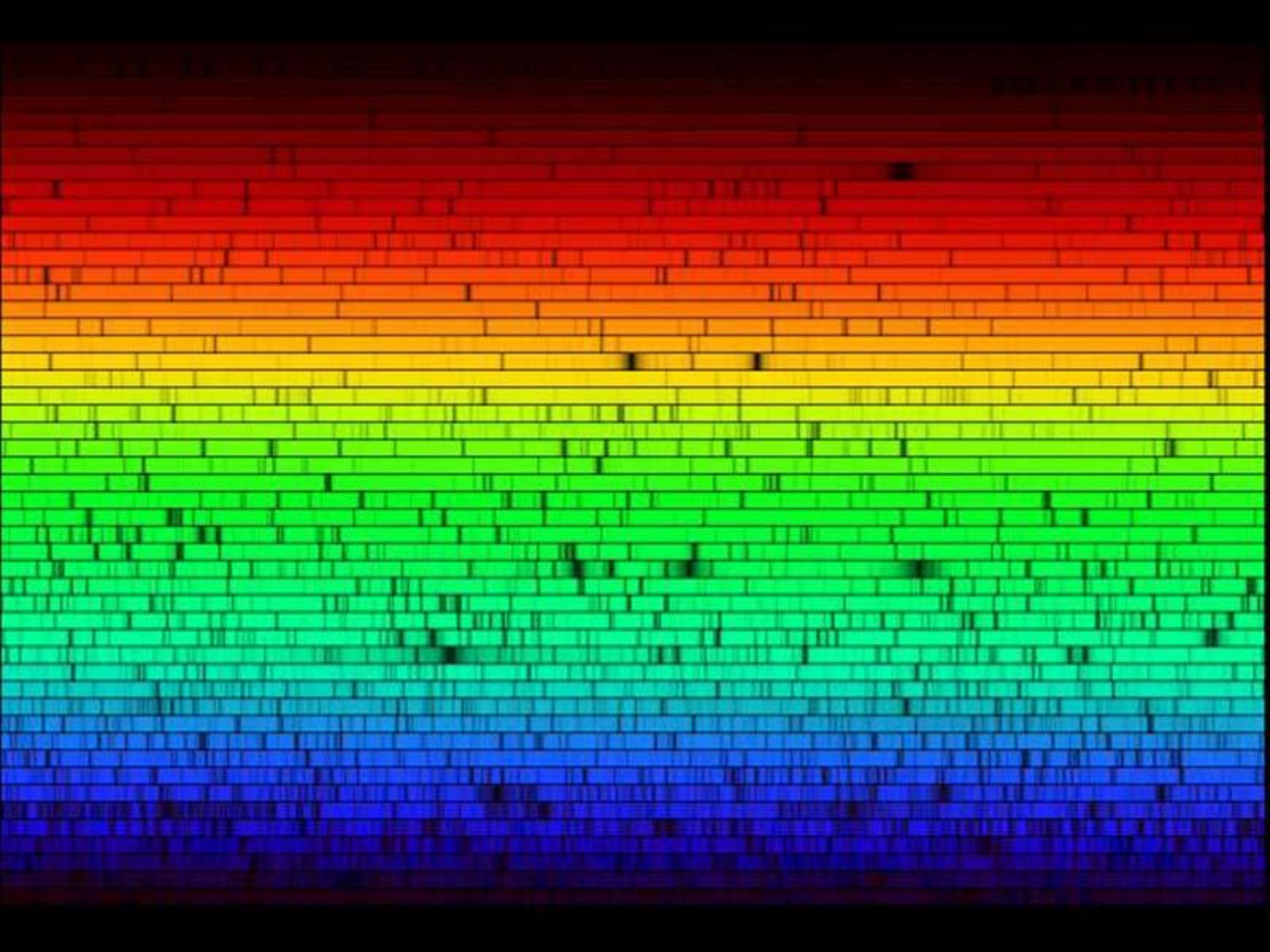
СХЕМА ДИФРАКЦИОННОГО СПЕКТОРГРАФА



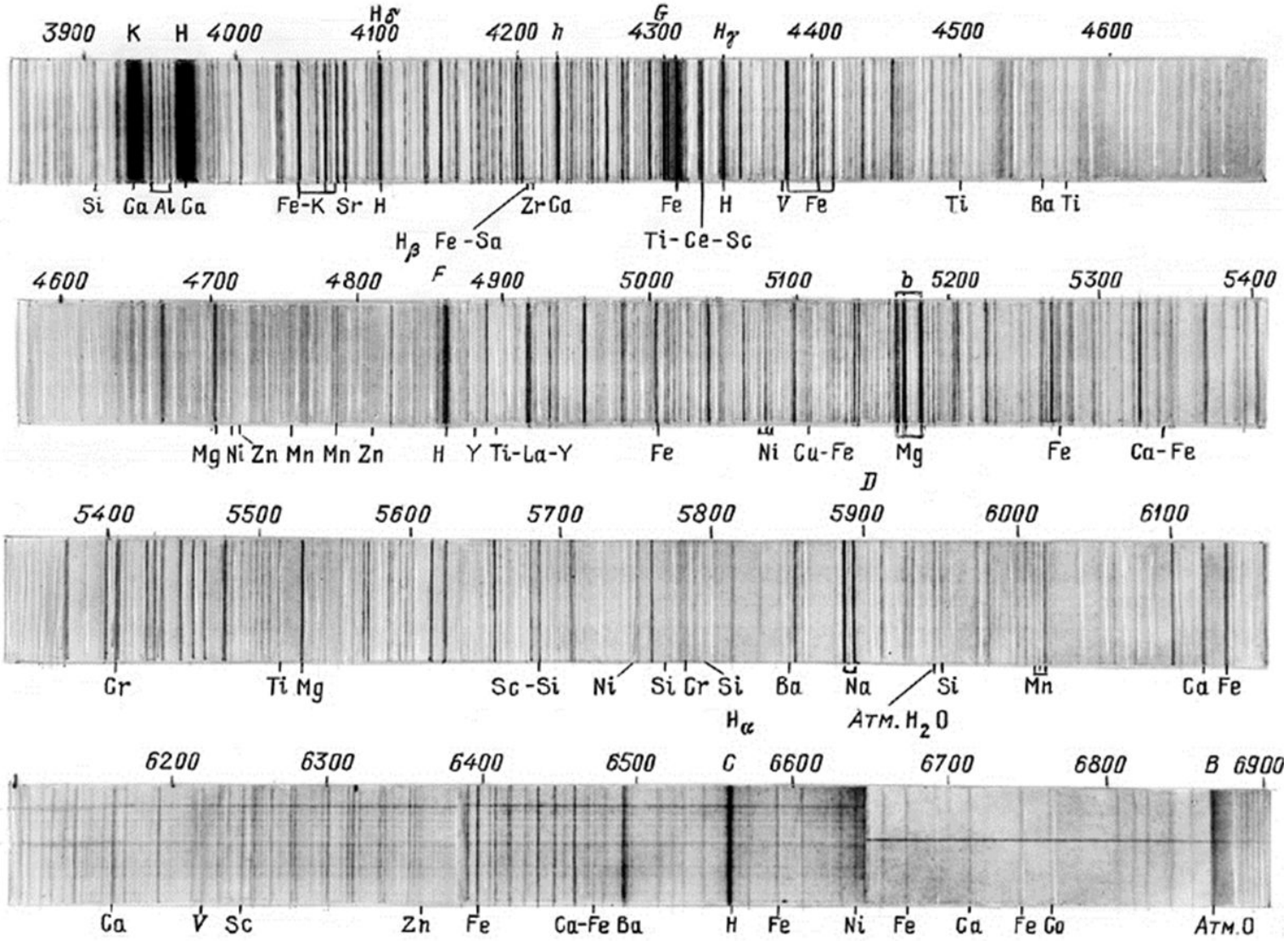


Оптический спектр типичной звезды



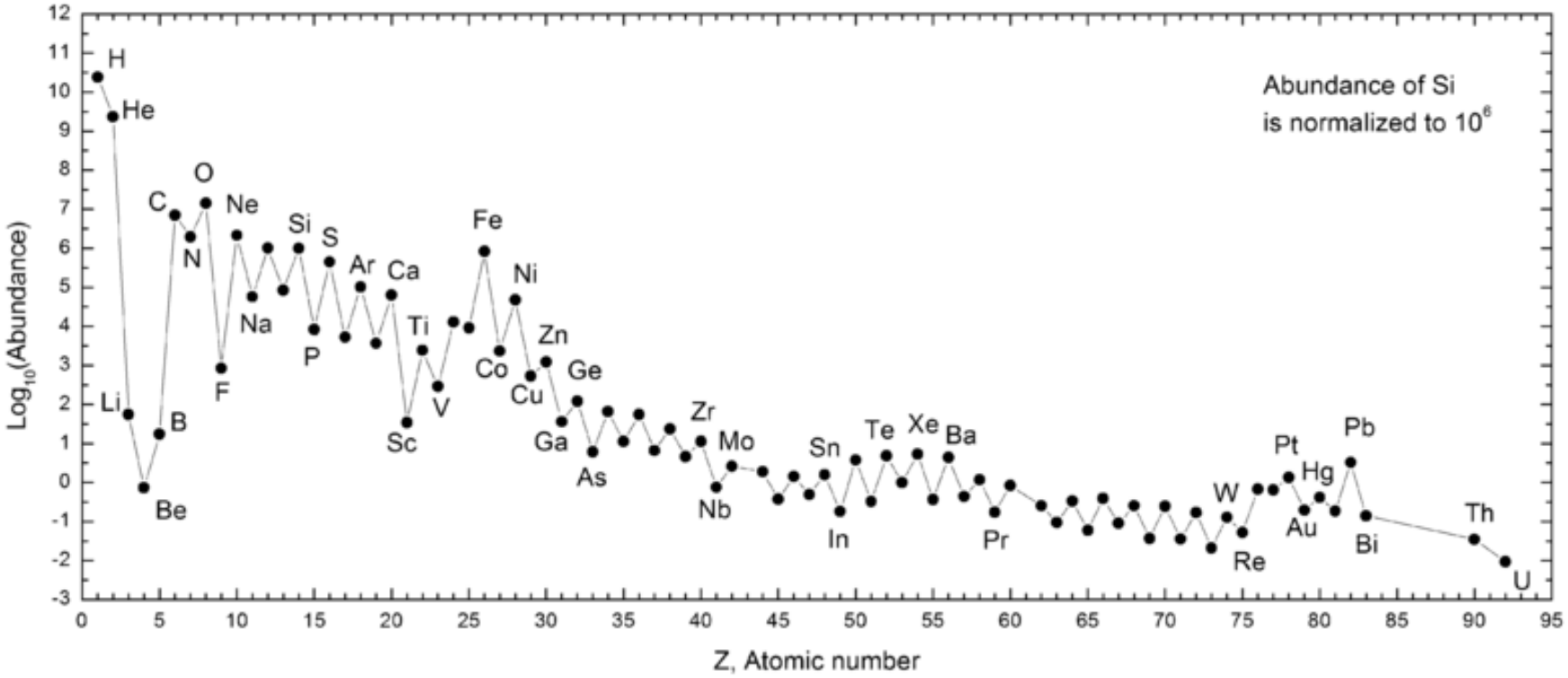


СПЕКТР СОЛНЦА, ИСПЕЩРЕННЫЙ ЛИНИЯМИ ФРАУНГОФЕРА

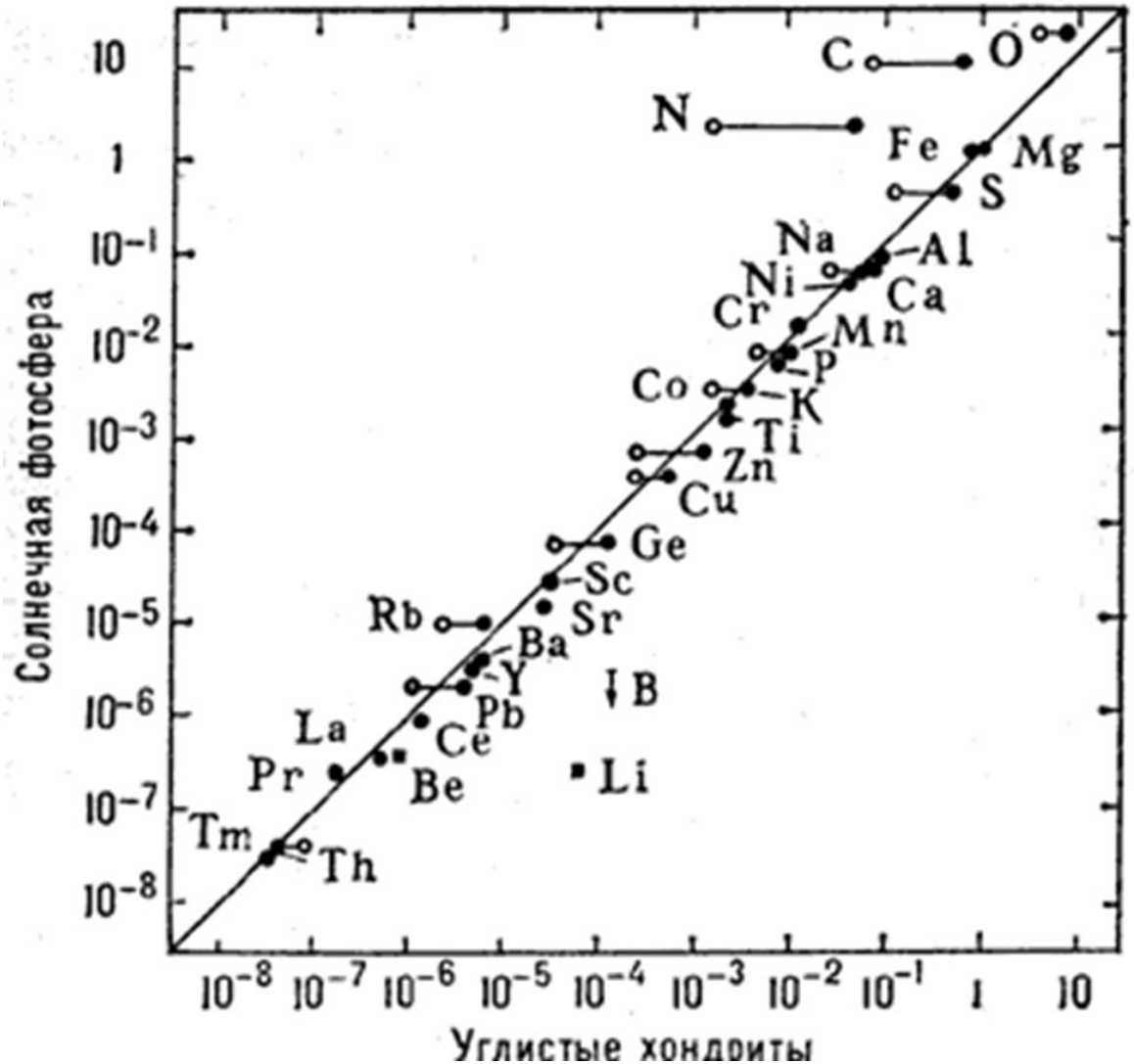


Изучение спектров показало, что поверхностные слои звезд состоят, в основном, из водорода.

Атомов гелия примерно в 10 раз меньше, а всех остальных элементов таблицы Менделеева меньше в тысячи и миллионы раз

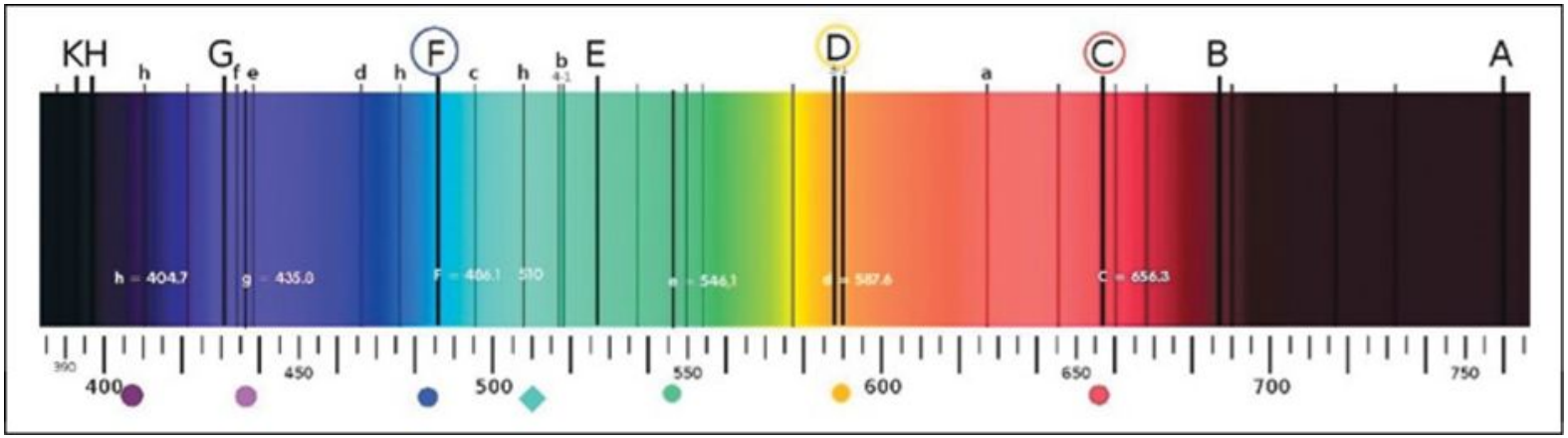


ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОЛНЦА



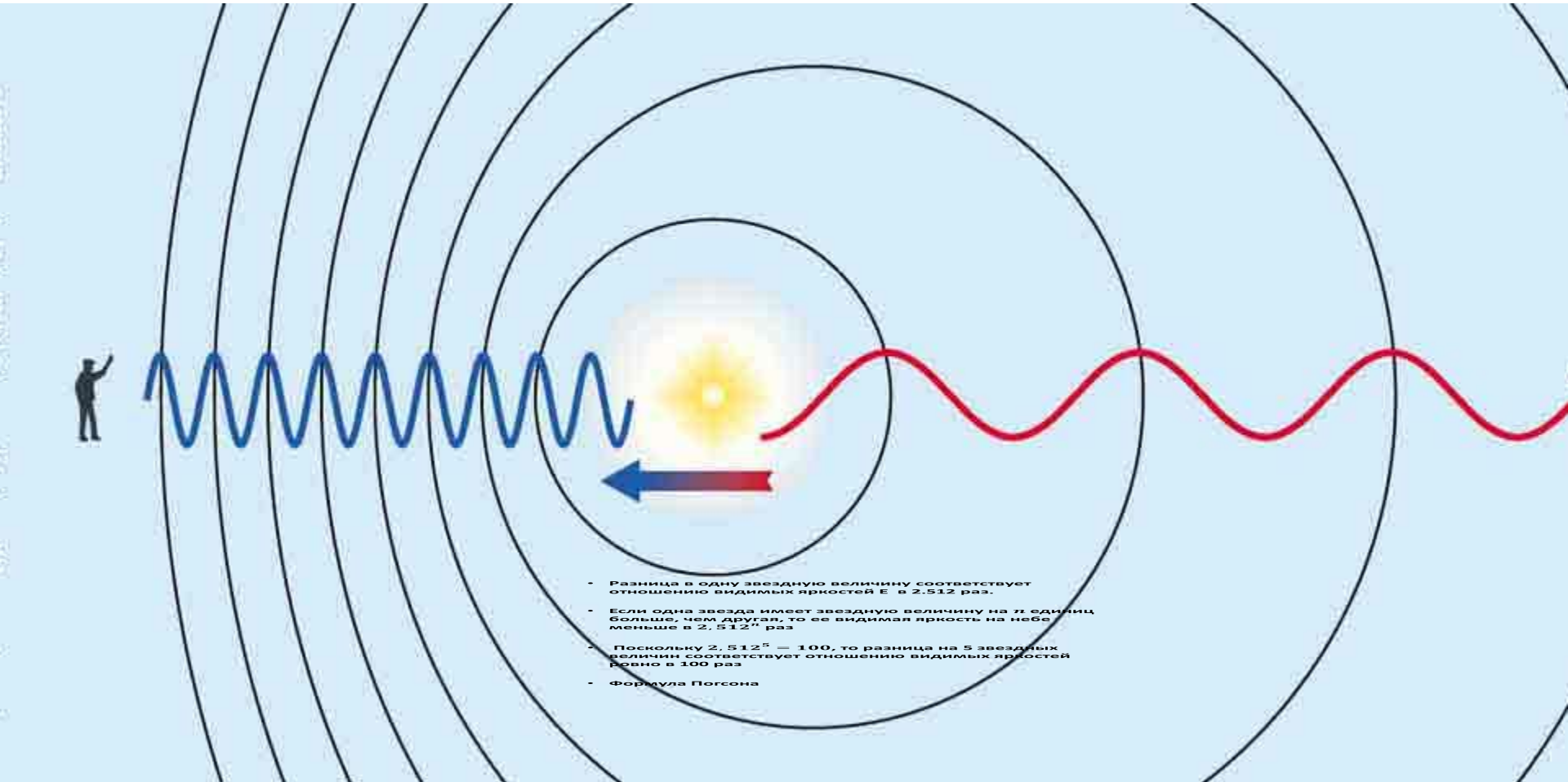
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОЛНЦА

ВОДОРОД	**90.7 %**	**по числу атомов**
	74 %	**по массе**
ГЕЛИЙ	**9.1 %**	**по числу атомов**
	24 %	**по массе**
ОСТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	**0.2 %**	**по числу атомов**
	2 %	**по массе**



Определение лучевых скоростей

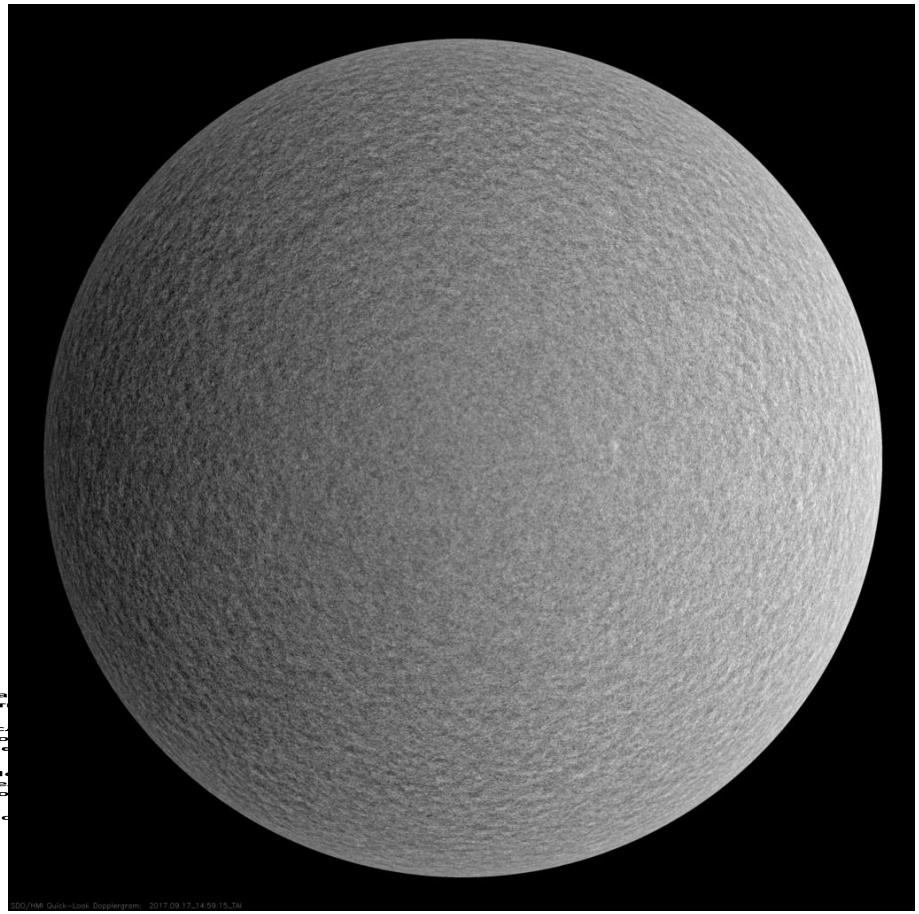
- Эффект Доплера



Определение лучевых скоростей

- Эффект Доплера

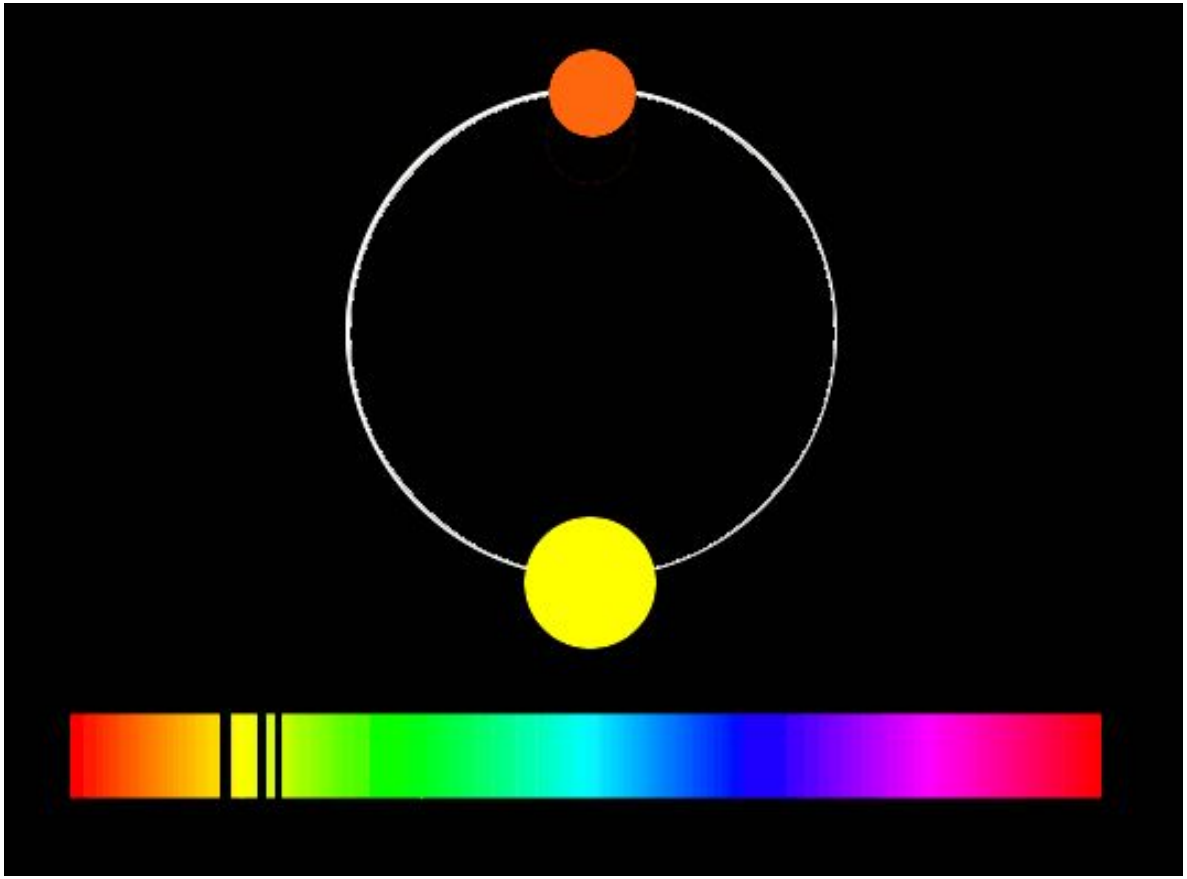
$$v_r = c\,\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$



Определение лучевых скоростей

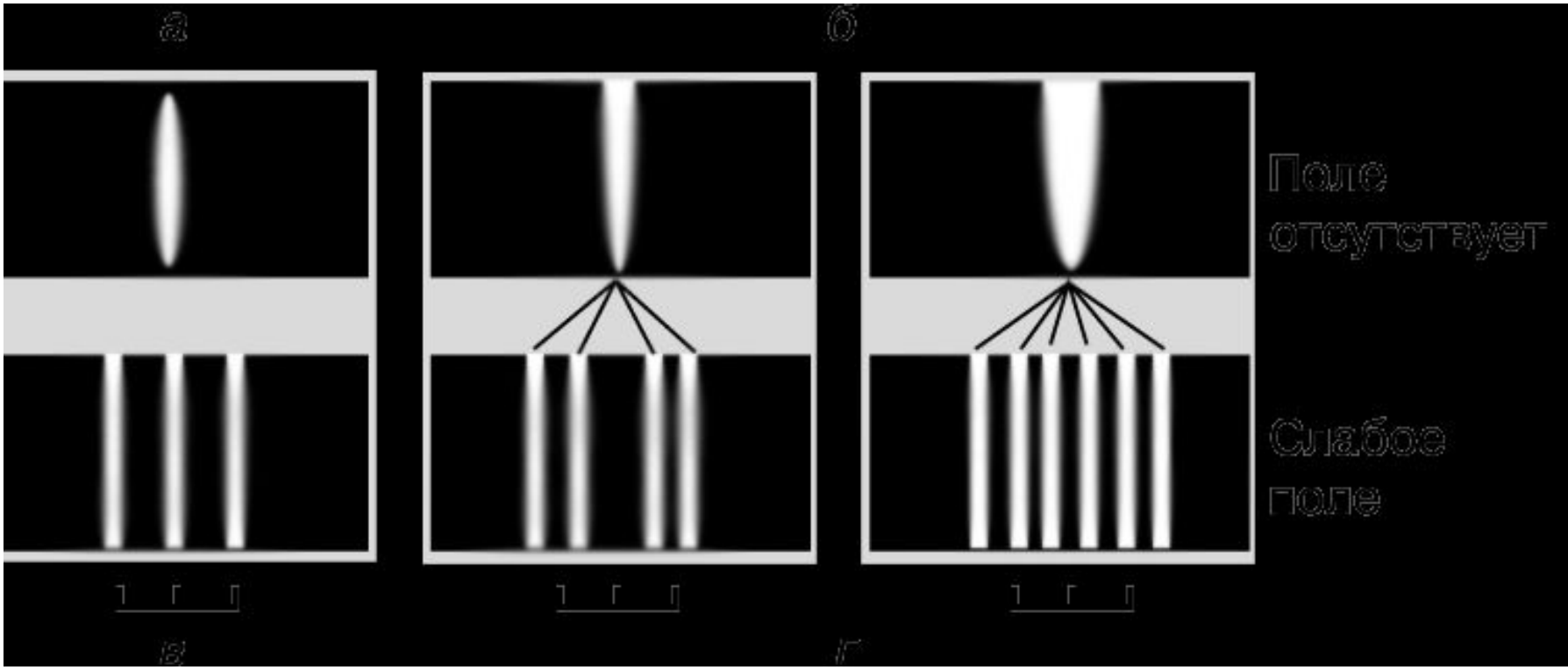
- Эффект Доплера

- Разница в одну звездную величину соответствует отношению видимых яркостей E в 2.512 раз.
- Если одна звезда имеет звездную величину на n единиц больше, чем другая, то ее видимая яркость на небе меньше в $2,512^n$ раз
- Поскольку $2,512^5 = 100$, то разница на 5 звездных величин соответствует отношению видимых яркостей ровно в 100 раз
- Формула Погсона



Определение магнитных полей

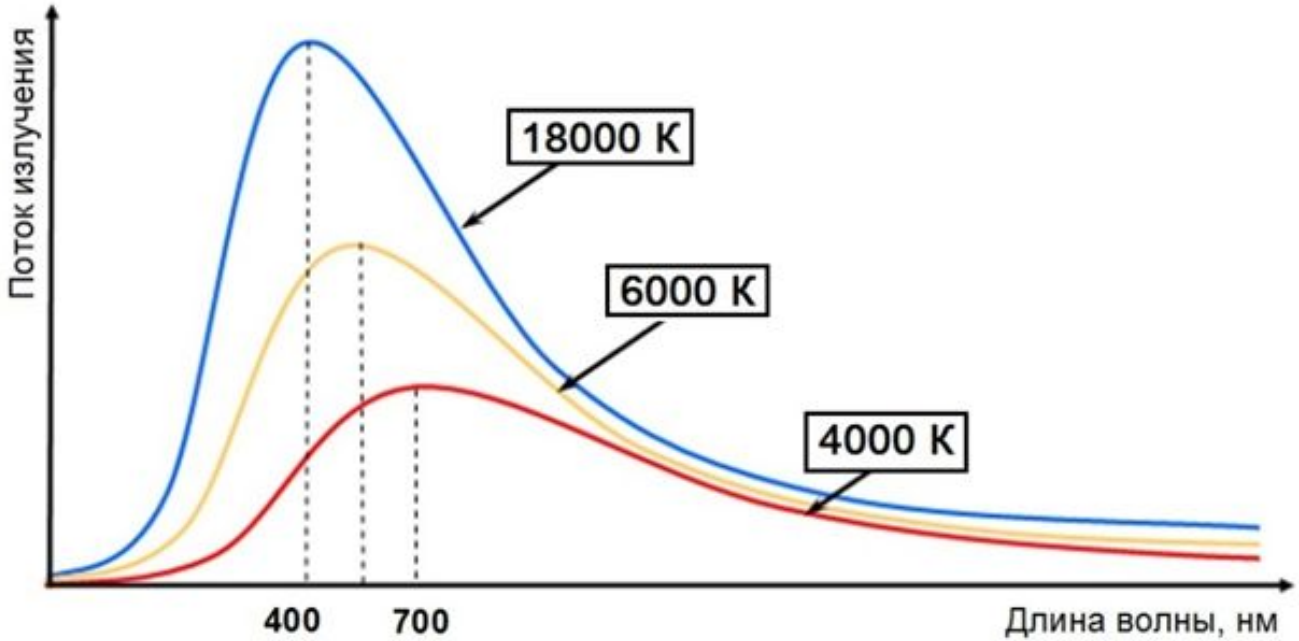
- Эффект Зеемана



Определение температуры

- Закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$



Определение температуры

- Закон Стефана-Больцмана
- $\boldsymbol{\varepsilon = \sigma T^4}$
- $\boldsymbol{\sigma} = 5{,}7\times 10^{-8}$ Вт/(м^2 К^4)

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ЗВЕЗД

- Спектры звезд различаются по числу линий и их интенсивности
- Звезды с одинаковой температурой имеют сходные спектры
- Гарвардская классификация спектров звезд

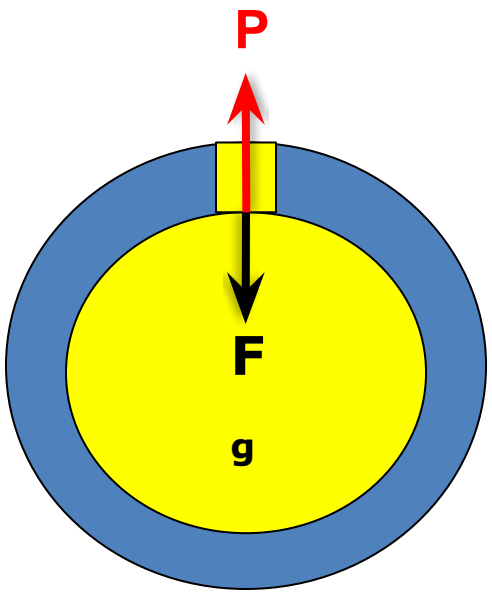
O - B - A - F - G - K – M

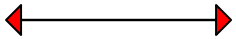
- Правило для запоминания:

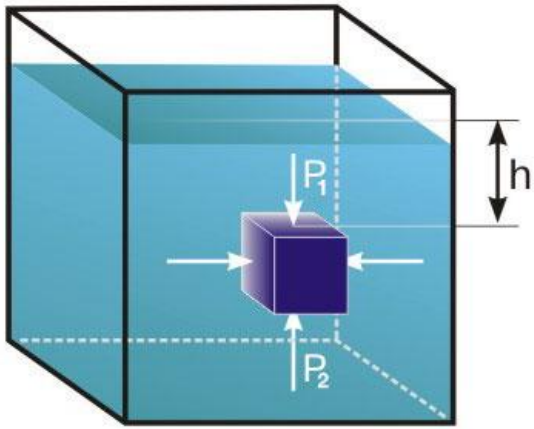
O, **B**e **A** **F**ine **G**irl, **K**iss **M**e

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД

Механическое равновесие звезды – результат баланса сил тяготения и газового давления







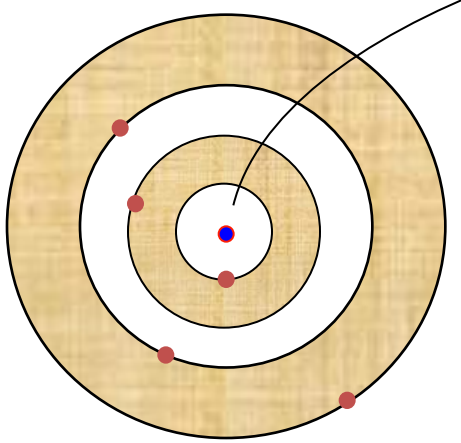
Чем глубже, тем больше вес вышележащих слоев, поэтому давление газа в звезде нарастает от поверхности к центру

Плотность и температура вещества растут по мере приближения к центру

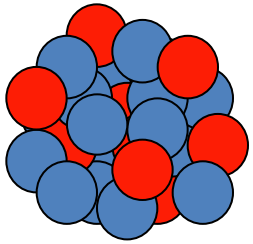
Излучая энергию в окружающее пространство, звезды теряют тепловую энергию.
Эта потеря в основном компенсируется за счет термоядерных реакций.

Что такое термоядерные реакции?

СТРОЕНИЕ АТОМА



Ядро



+ -- протон

-- нейтрон

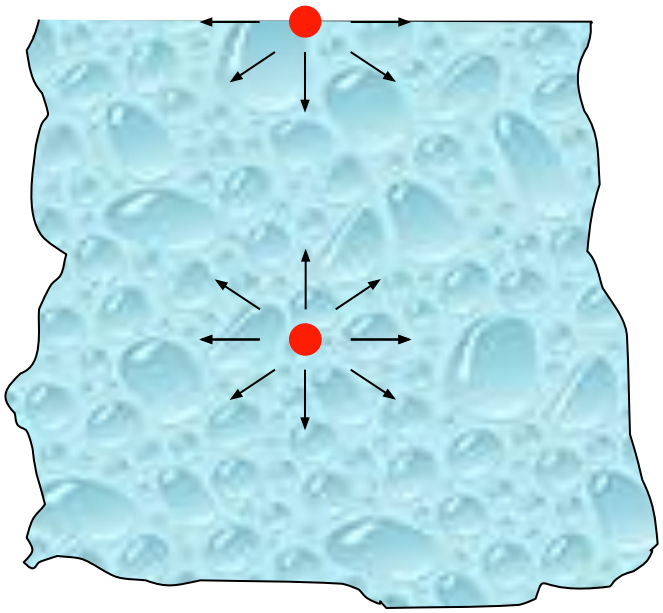
нуклоны

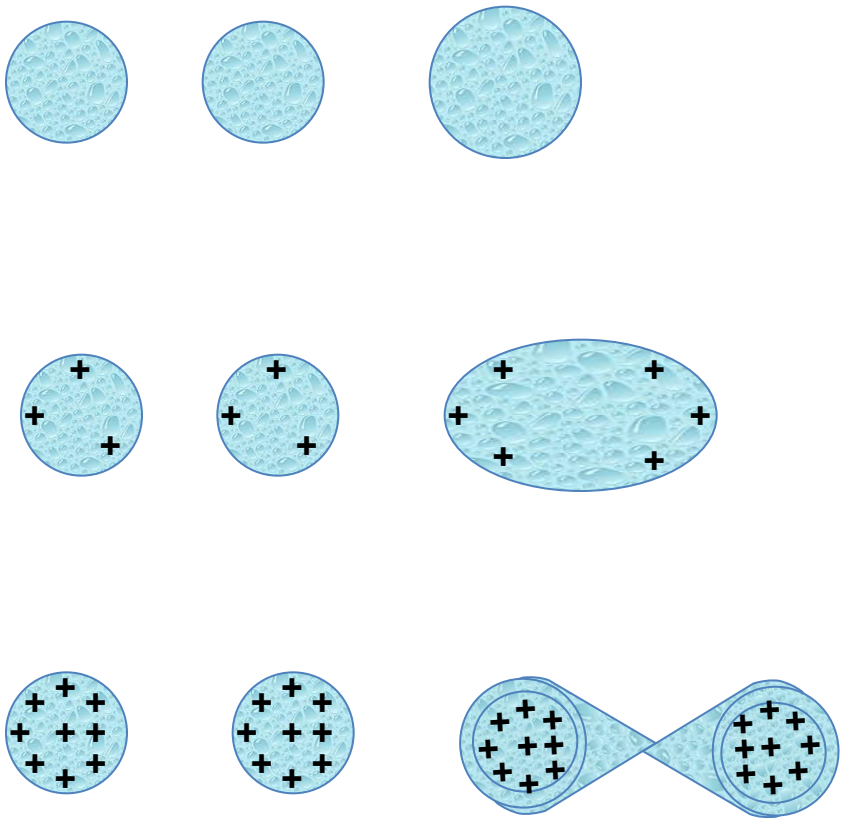
-- электрон

-- ядро

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

КАПЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА





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

У элементов тяжелее свинца нет устойчивых изотопов !

Ядерные силы притяжения начинают преобладать над силами электростатического отталкивания на расстояниях менее 10^{-15} м.

Чтобы сблизить ядра на такое расстояние газ нужно нагреть

Чем больше заряд сталкивающихся ядер, тем сильнее надо нагреть газ

СЛЕДОВАТЕЛЬНО:

1) термоядерные реакции протекают в центральных областях звезд, т.е. там, где самая высокая температура

2) в данный момент может «гореть» только один вид ядерного топлива. Например, в центре Солнца 4 H □ He, но нет 3 He □ C.

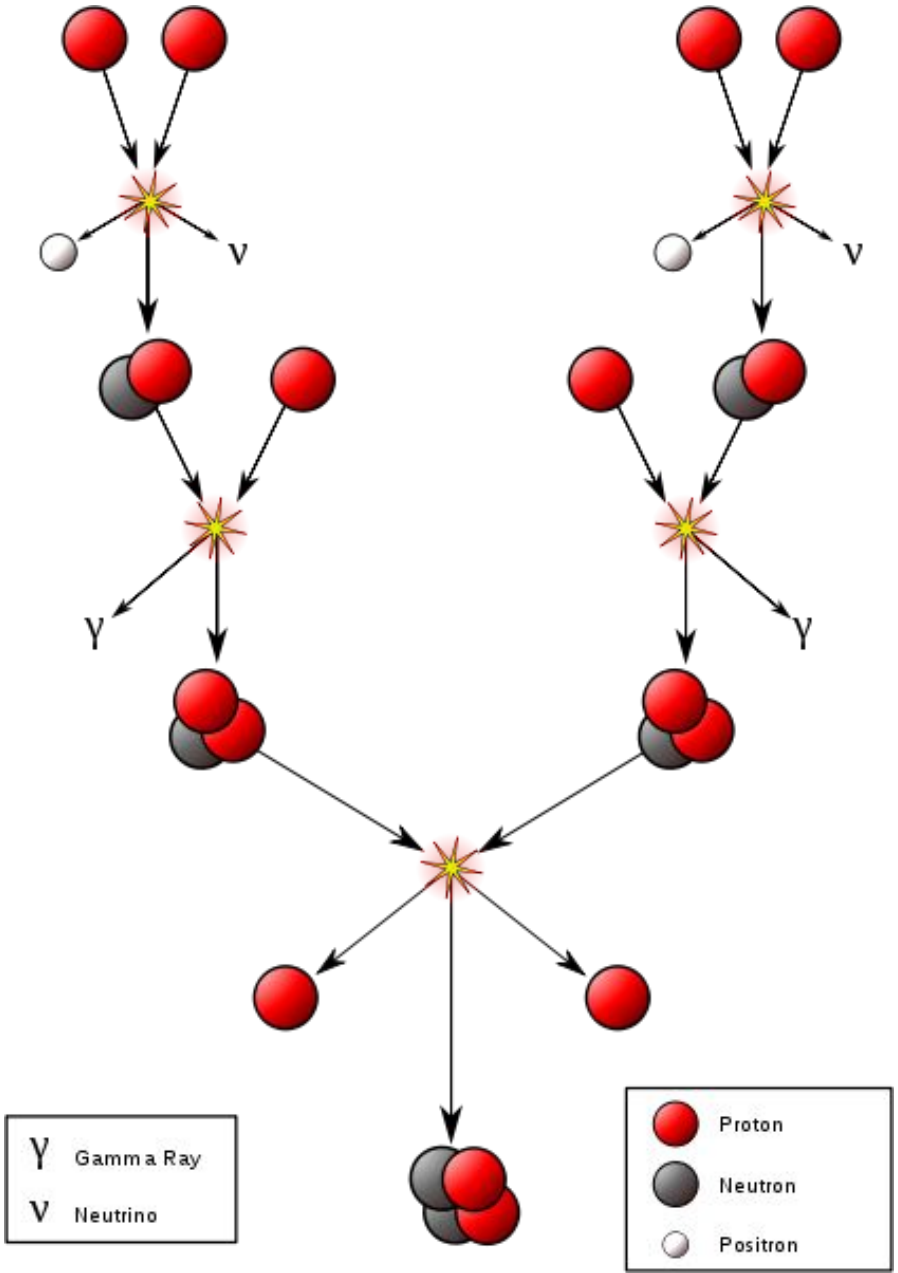
ПРОТОН-ПРОТОННАЯ ЦЕПОЧКА В ЯДРЕ СОЛНЦА

$p + p \rightarrow {}^{2}D + e^{+} + \nu_{e}$

${}^{2}D + p \rightarrow {}^{3}He + 5.49$ Мэв

${}^{3}He + {}^{3}He \rightarrow$
${}^{4}He + 2p + 12.85$ Мэв

Дефект массы - 0.007



ПОЧЕМУ СВЕТЯТ ЗВЕЗДЫ?

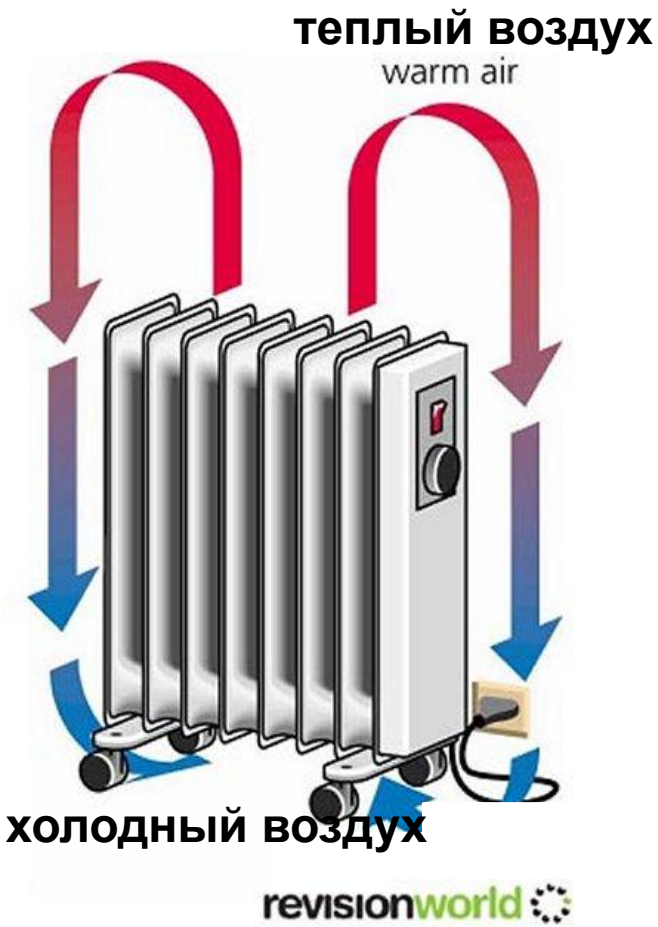
•ЕЖЕСЕКУНДНО
4 МИЛЛИОНА ТОНН ВОДОРОДА В ЯДРЕ СОЛНЦА
ПРЕВРАЩАЮТСЯ В ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ,
СОГЛАСНО ФОРМУЛЕ ЭЙНШТЕЙНА

$$E = mc^2$$

ЭТО И ЕСТЬ
ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ СОЛНЦА И ДРУГИХ ЗВЁЗД

ВЫДЕЛЯЮЩЕЕСЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДЫ ТЕПЛО ПЕРЕНОСИТСЯ К ЕЁ ПОВЕРХНОСТИ

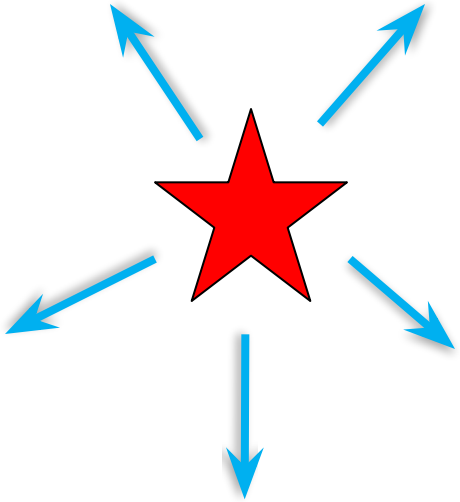
В звездах перенос тепла происходит либо излучением, либо конвекцией.



Конвекция не только переносит тепло, но и перемешивает вещество звезды, вынося продукты ядерных превращений на ее поверхность

ЗВЕЗДА - ЭТО ХОЛОДИЛЬНИК НАОБОРОТ !

Звезда излучает энергию в окружающее пространство. Если у нее нет источников ядерной энергии, то для того, чтобы скомпенсировать уносимую излучением энергию звезда должна сжиматься.



Из-за того, что при сжатии сохраняется механическое равновесие звезды, только половина работы сил тяготения идет на компенсацию потерь на излучение, а вторая половина – на нагрев вещества звезды.

Это приводит к тому, что если у звезды нет источников ядерной энергии, то с течением времени ее центральные области становятся все более плотными и горячими.

ПРИ ЭТОМ ВНЕШНИЕ СЛОИ, КАК ПРАВИЛО, РАСШИРЯЮТСЯ !!!

Звезды эволюционируют,
т.е. меняют свою структуру,
Химический состав, светимость и температуру
только потому что излучают,
т.е. теряют тепловую энергию

ЗВЕЗДА – НЕЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА !!!!

Что известно о звездах и как это узнали ?

Информация о звездах получена путем сравнения наблюдений с результатами расчета их внутреннего строения

- **Наблюдения:**
  - Поверхностные слои
    температура, светимость и химический состав
  - Внутренние области
    астросейсмология, нейтринное излучение

- **Расчеты моделей звезд:**

  - внутреннее строение и эволюция звезд разной массы

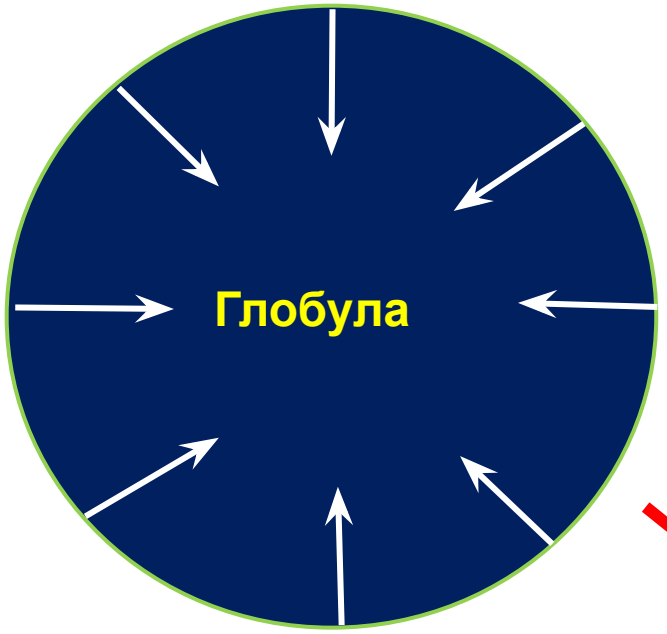
Млечный путь

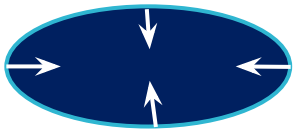
ГЛОБУЛЫ – ЗАРОДЫШИ ЗВЕЗД

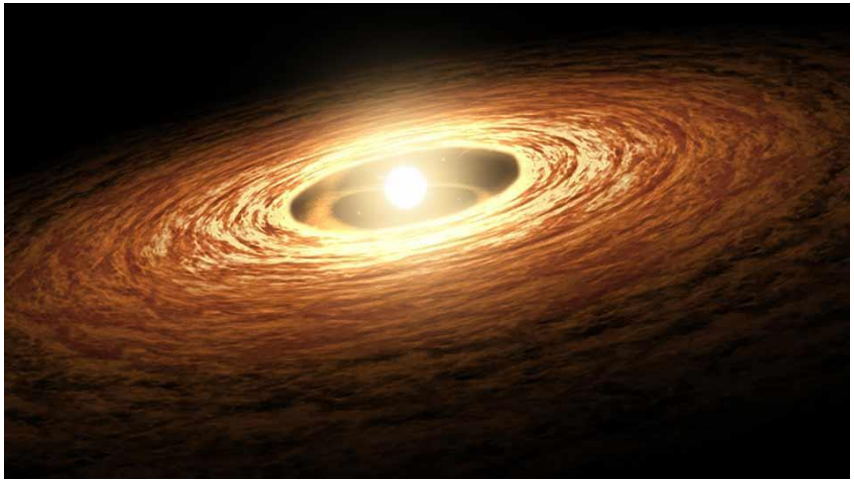
Pre-Collapse Black Cloud B68 (visual view)
(VLT ANTU + FORS 1)

ESO PR Photo 02a/01 (10 January 2001)

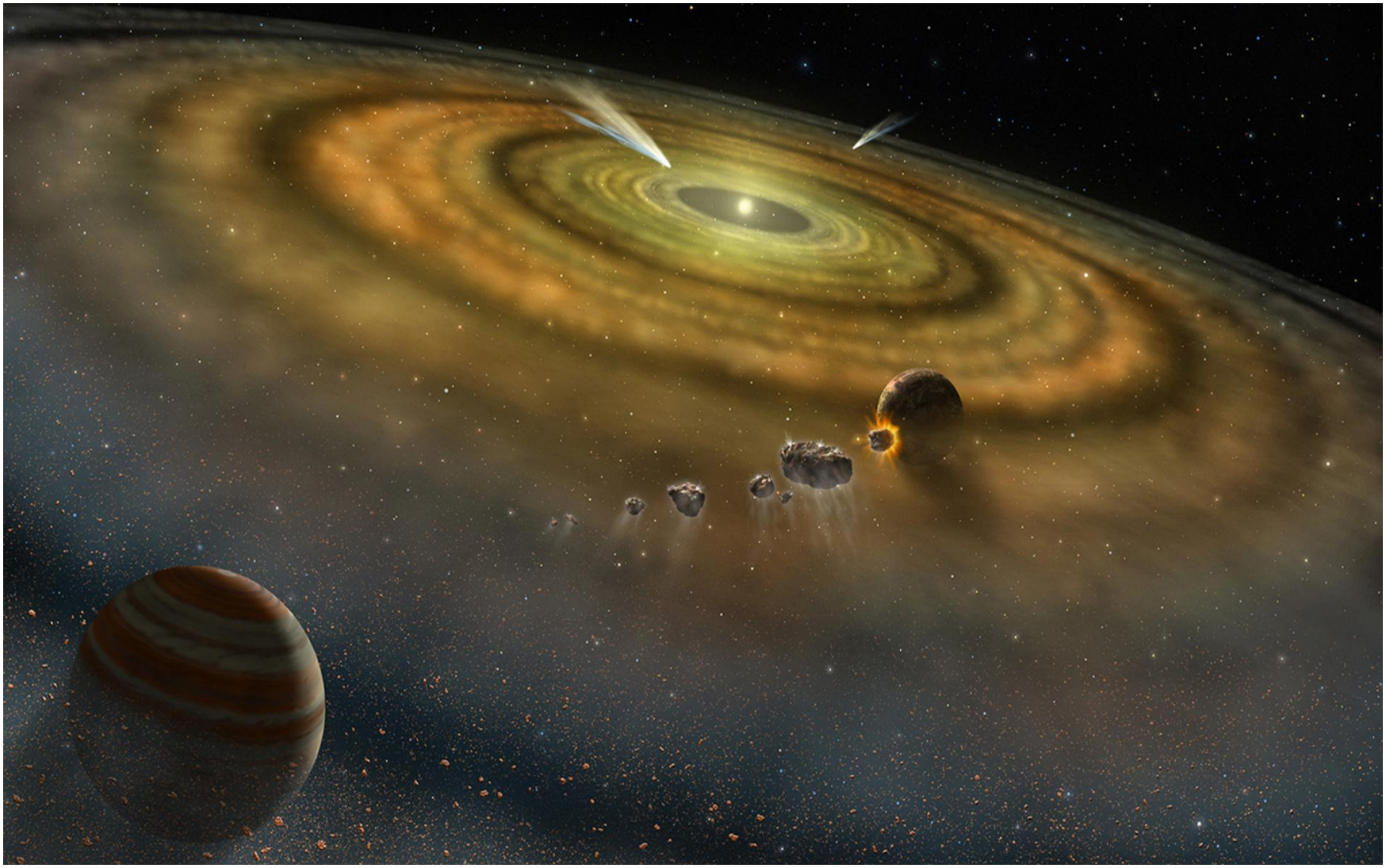
© European Southern Observatory


Глобула

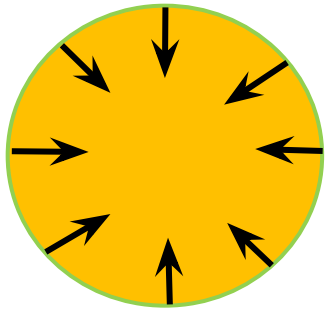




ФОРМИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ХУДОЖНИКА



**Протозвездное облако теряет энергию,
излучая ее с поверхности в окружающее пространство,
и поэтому вынуждено сжиматься**



**По мере сжатия зародыша звезды
температура в ее центральной области растет
и когда достигает ≈ 5 млн К, начинаются термоядерные реакции.
Сжатие прекращается и возникает
звезда главной последовательности.**

**У протозвездных облаков с M < 0.1 Mo
температура никогда не поднимается
выше 3 млн К и они будут сжиматься вечно.**

**Такие объекты - не звезды,
а коричневые карлики**

Рост Тс у коричневых карликов ограничивает «вырождение» электронного газа.

Любая частица имеет свойство волны, длина которой $\lambda = h / mv$
(длина волны де Бройля),
где h – постоянная Планка, m – масса частицы, v – скорость частицы.

В центре Солнца у электронов $\lambda \ll$ расстояния между ними **r** .
Электрону «все равно», точечный его сосед или имеет размер **λ**.

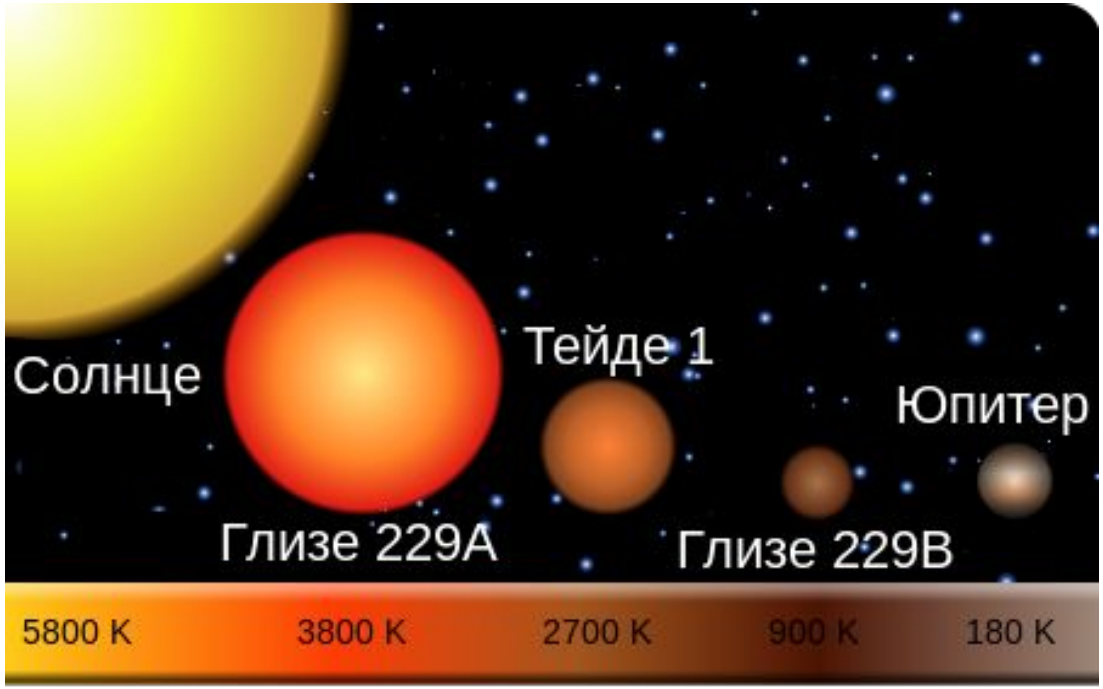
Чем меньше Т газа, тем меньше скорость его частиц **v** и больше **λ**,
а чем выше плотность газа, тем меньше **r.**

Поэтому если при данной температуре повышать плотность газа,
то в какой-то момент окажется, что **r < λ.**
Газ станет «вырожденным» -- квантовым

У вырожденного газа давление сильно зависит от плотности, почти не зависит от температуры и не равно нулю даже при T = 0

В результате при сжатии коричневого карлика из-за вырождения электронного газа растет только плотность, а не температура

Т.к. Тс < 3 млн К, в центре этих объектов может гореть только дейтерий, но его мало и он быстро кончается.



У объектов с $M<0.01\ M_\odot$ не загорается даже дейтерий – это планеты

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ЗВЕЗД

- Спектры звезд различаются по числу линий и их интенсивности
- Звезды с одинаковой температурой имеют сходные спектры
- Гарвардская классификация спектров звезд

O - B - A - F - G - K – M

- Правило для запоминания:

O, **B**e **A** **F**ine **G**irl, **K**iss **M**e

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

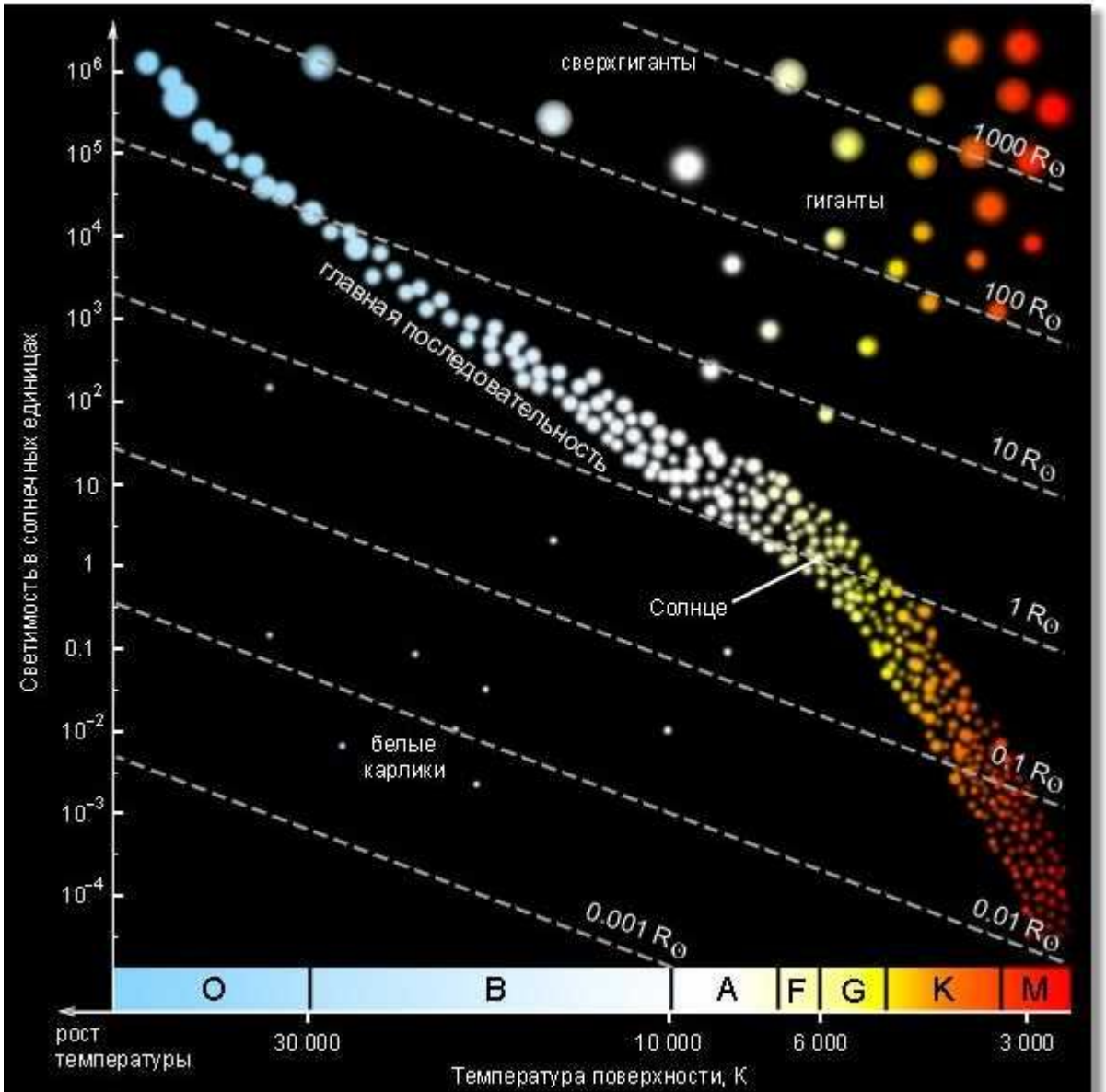


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

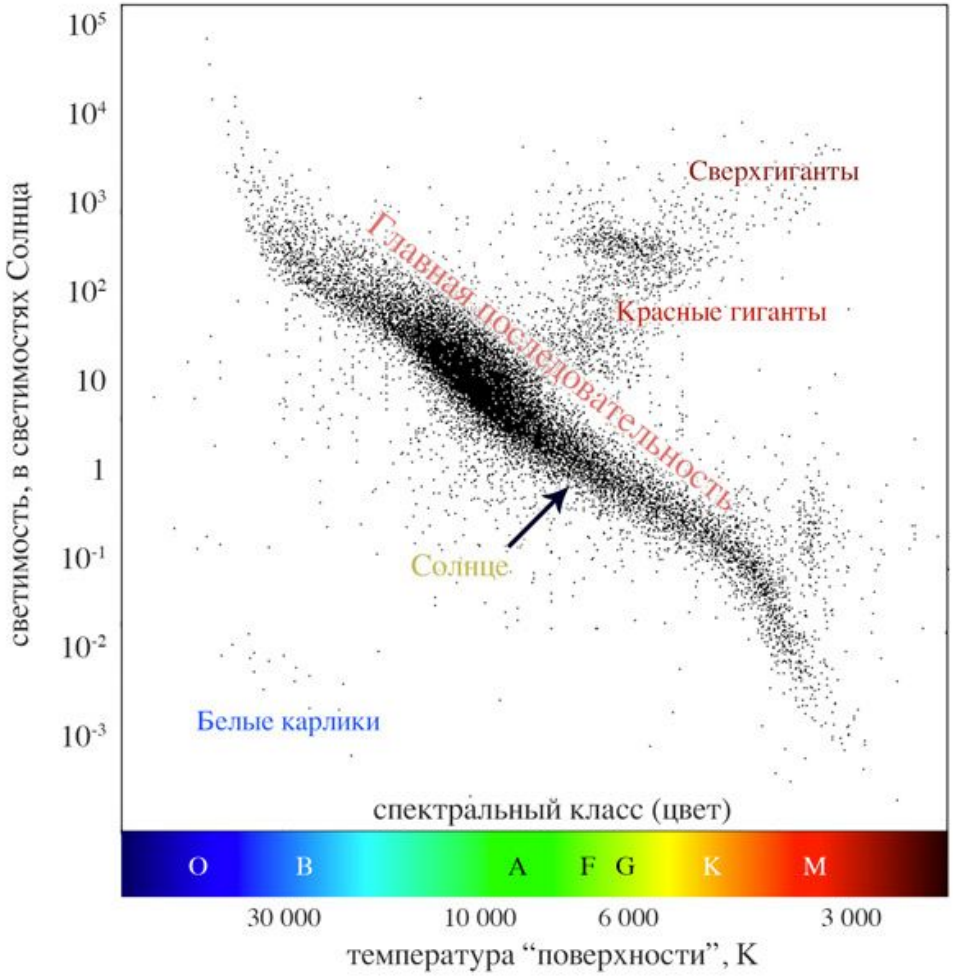


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

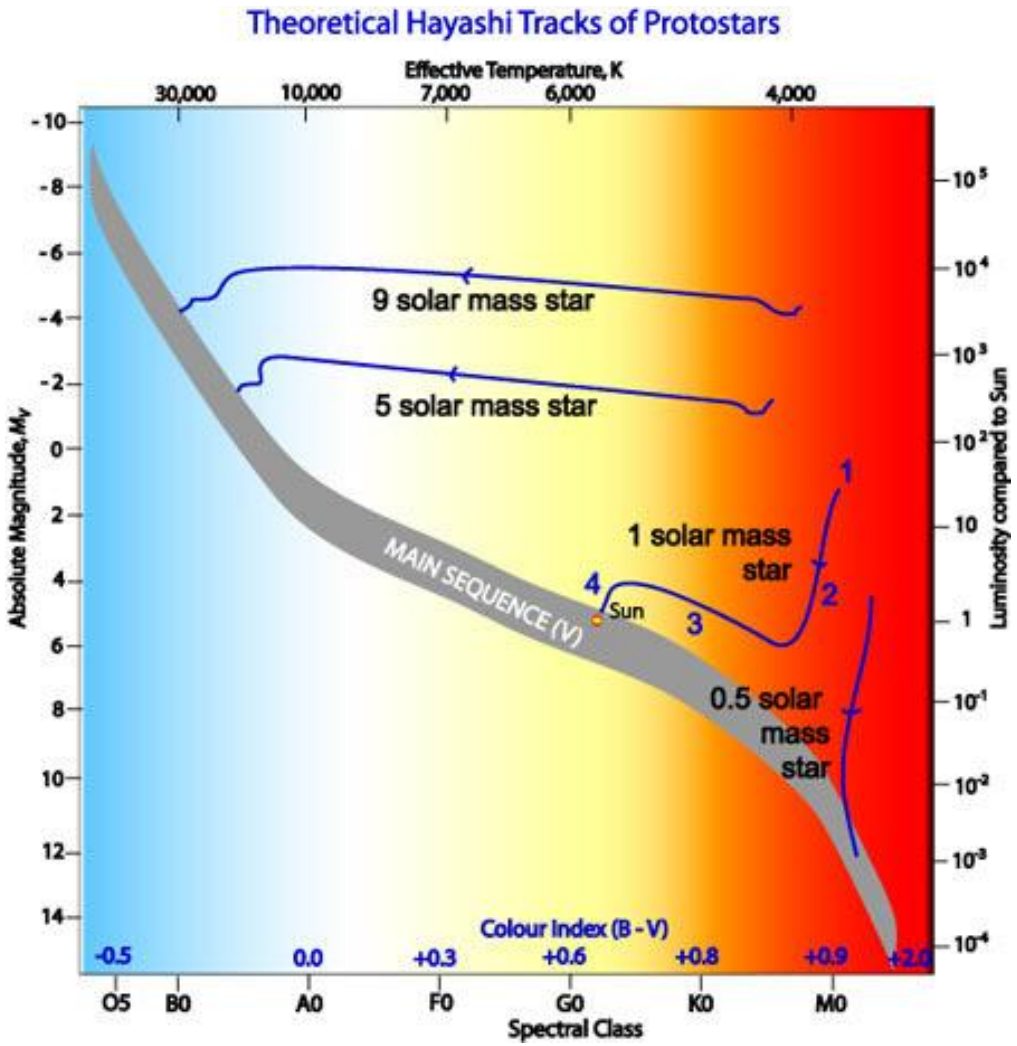


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

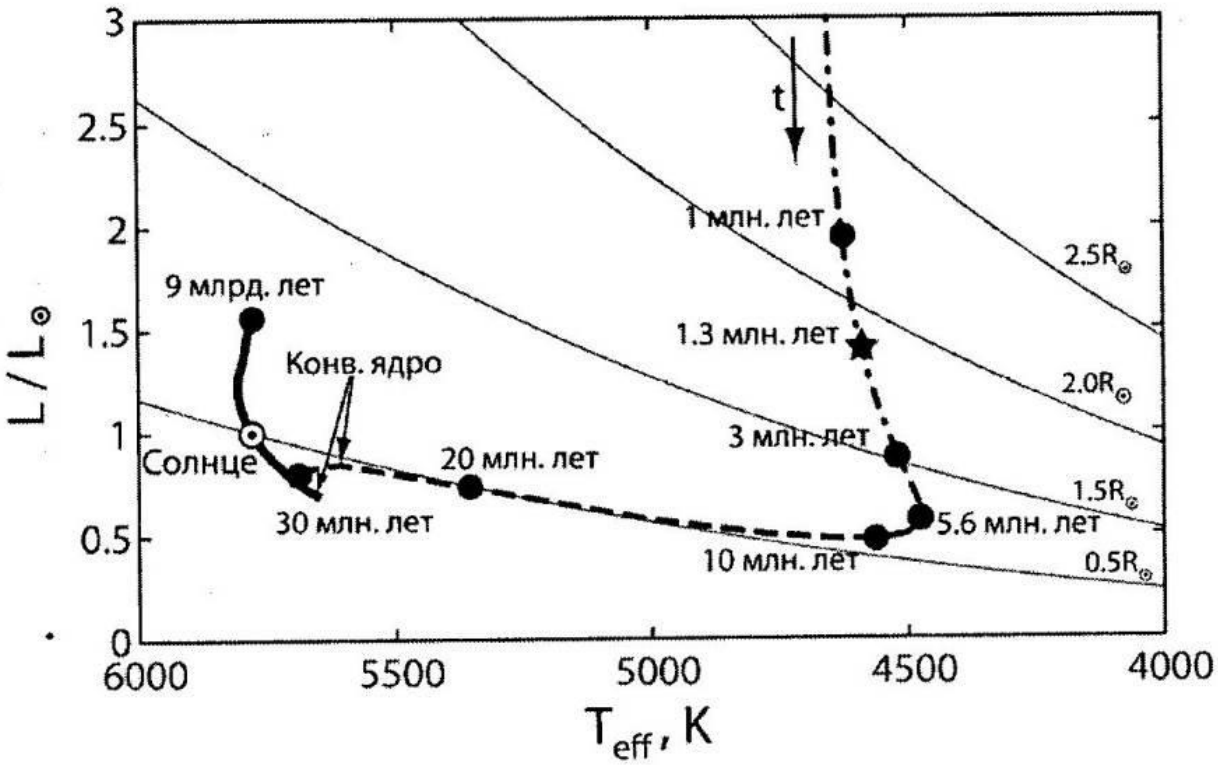


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

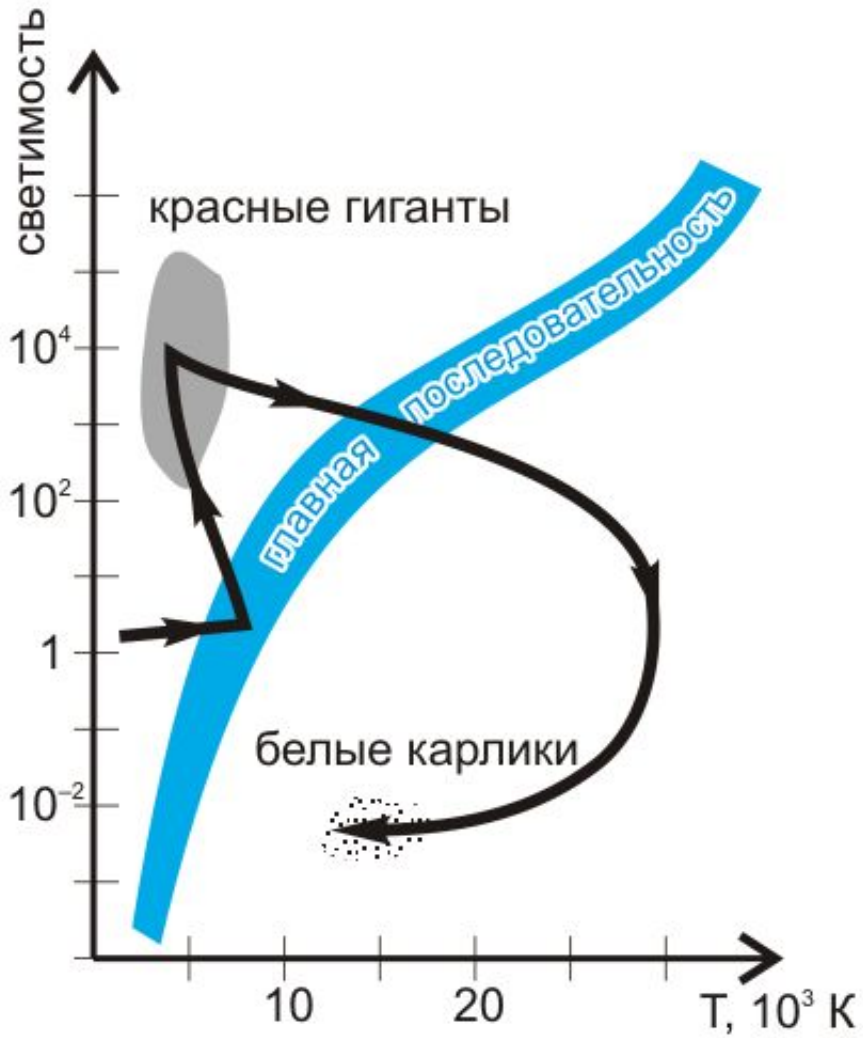


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

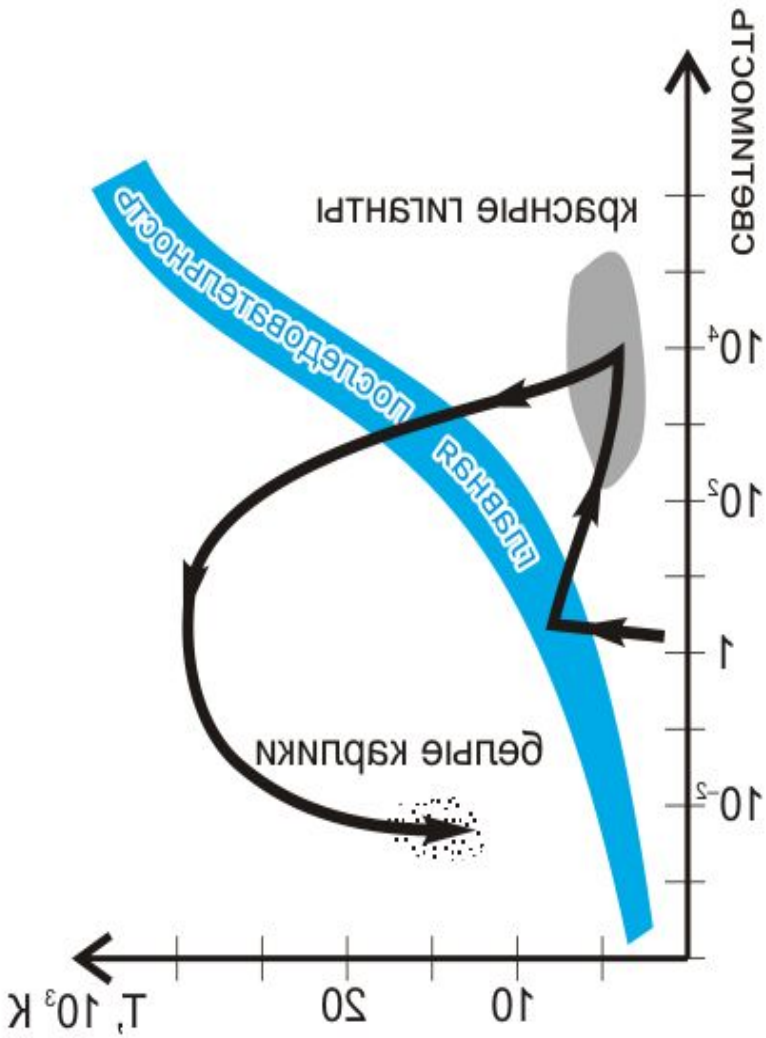


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

спектр-светимость

цвет-светимость

температура-светимость

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗВЕЗД

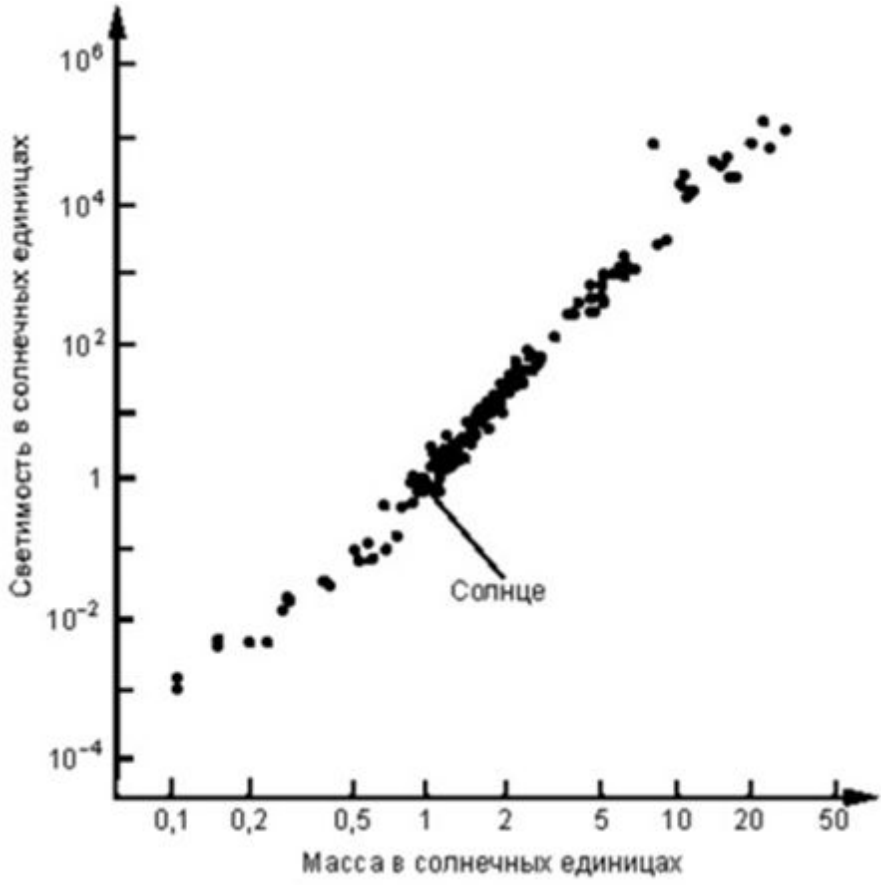
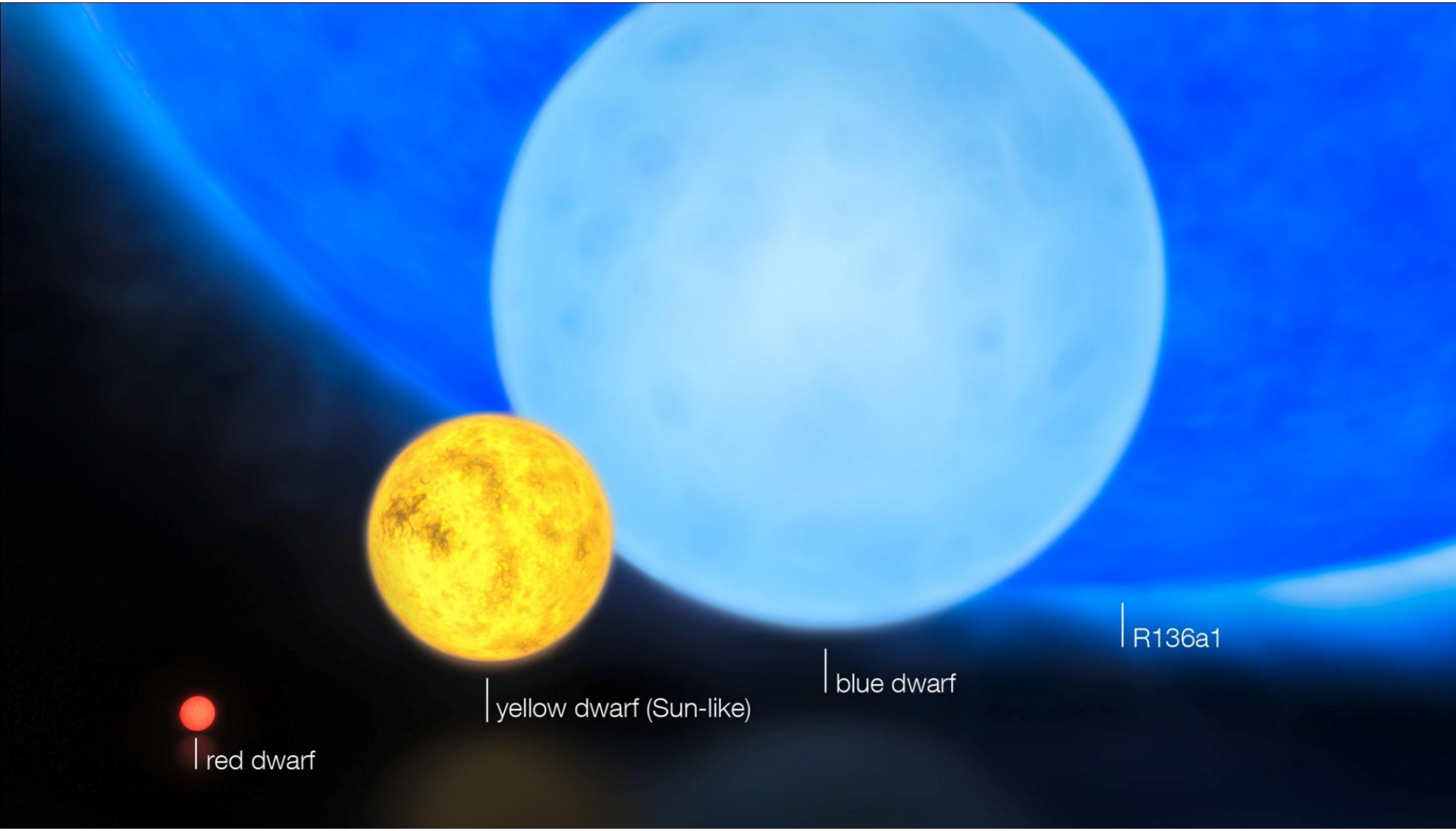


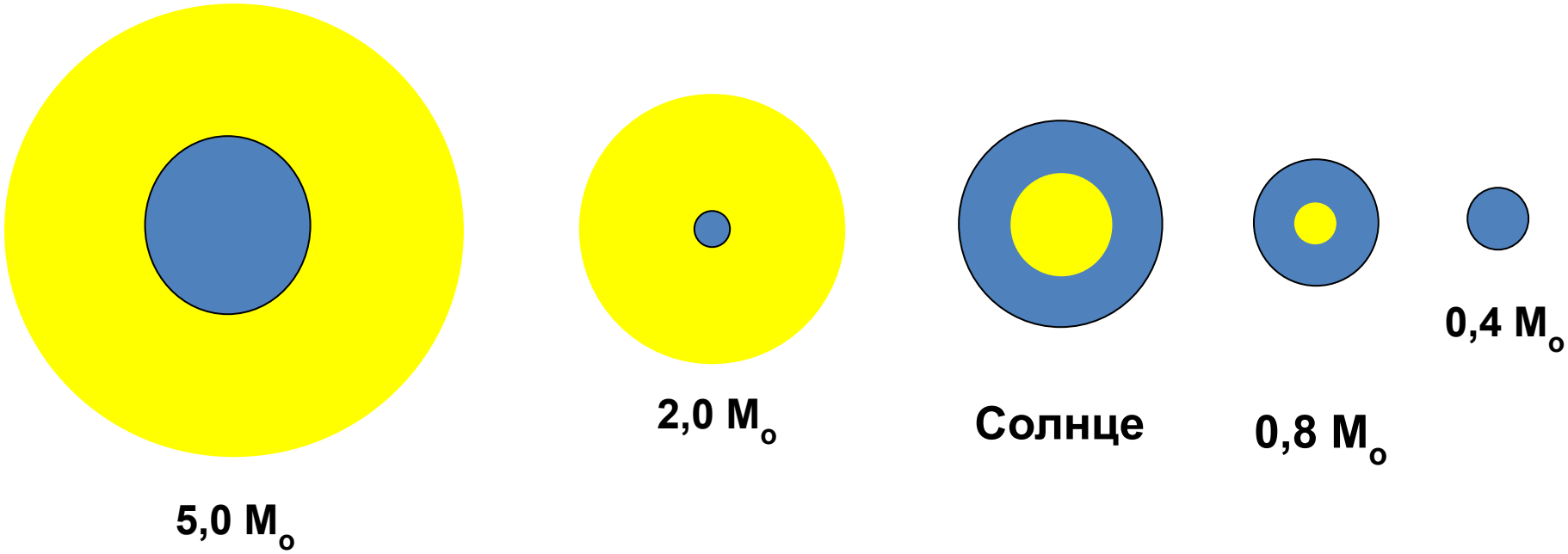
Диаграмма масса-светимость

$$L = M^{3,9}$$

Солнце – средняя по всем параметрам звезда Галактики…



ПОЛОЖЕНИЕ И РАЗМЕРЫ ЗОН ЛУЧИСТОГО И КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА ТЕПЛА У ЗВЕЗД ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАЗНЫХ МАСС



Светимость $L \sim M^{3,9}$

ЧТО ПРОИСХОДИТ СО ЗВЕЗДАМИ РАЗНОЙ МАССЫ ПОСЛЕ ТОГО, КАК ОНИ ПОКИДАЮТ ГЛАВНУЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ?

Начнем со звезд с $M <$ примерно 10 M_o
(включая Солнце !).

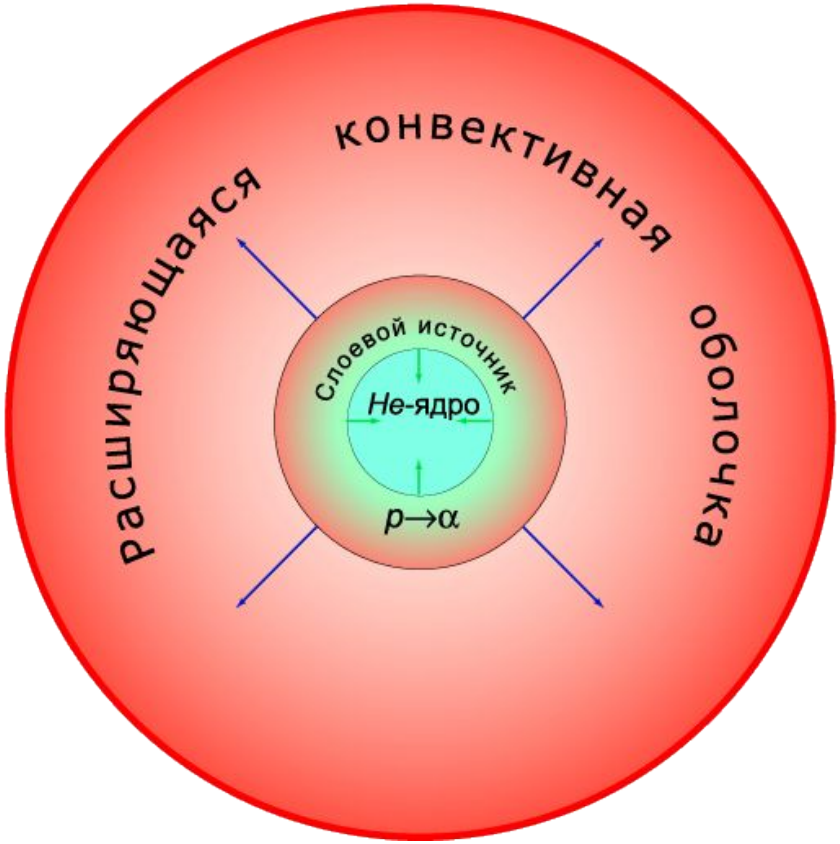
После того как водород в центральных областях звезды превратился в гелий, эти области начинают сжиматься, а внешние, наоборот, расширяться и становиться все холоднее и холоднее.

Когда T ядра достигает величины ≈ 200 млн. K, начинает гореть гелий. К этому моменту звезда увеличивает свой первоначальный радиус примерно в 10 раз, а T_{ef} падает до ≈ 2000-3000 K

ЗВЕЗДА СТАНОВИТСЯ КРАСНЫМ ГИГАНТОМ

ЧТО ПРОИСХОДИТ СО ЗВЕЗДАМИ РАЗНОЙ МАССЫ ПОСЛЕ ТОГО, КАК ОНИ ПОКИДАЮТ ГЛАВНУЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ?

Строение красного гиганта



Красный гигант состоит из гелиевого ядра, окруженного тонким слоем, в котором «горит» водород, над которым располагается протяженная оболочка

При более высоких температурах в ядре звезды реализуется тройной альфа-процесс (гелиевый цикл)

$^{4}He + {}^{4}He \leftrightarrow {}^{8}Be + \gamma$

$^{8}Be + {}^{4}He \rightarrow {}^{12}C + \gamma$

Температура ядра растет до 200 млн К

$$_{6}C^{12} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{16} + \gamma$$

$$_{8}O^{16} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{10}Ne^{20} + \gamma$$

Температура ядра растет до 600 млн К

Когда He_4 кончается, С-О ядро сжимается и нагревается, но не настолько, чтобы эти элементы «загорелись» !

МЕШАЕТ ВЫРОЖДЕНИЕ ГАЗА ЭЛЕКТРОНОВ

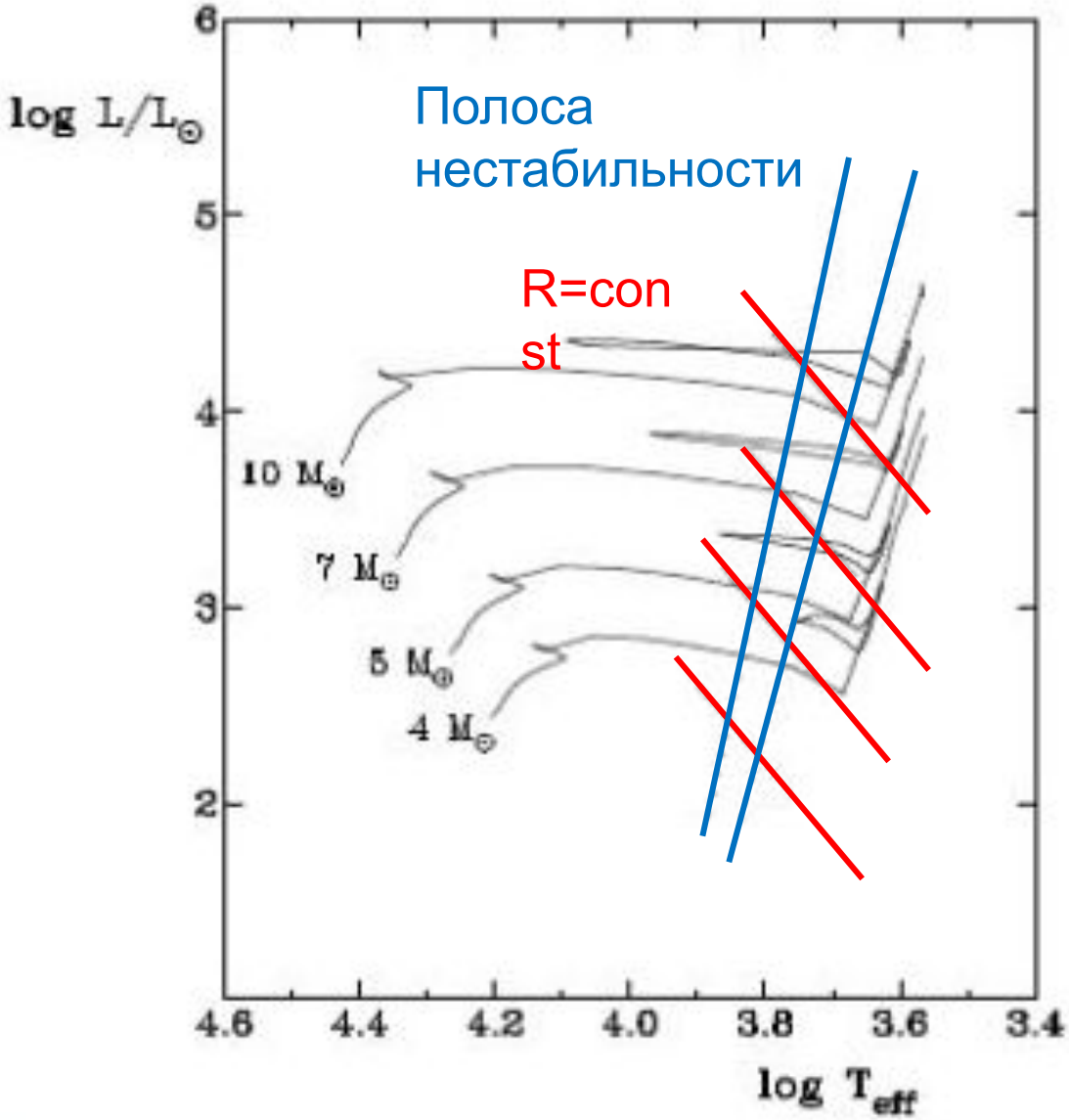
- Образуется плотное (~ 1 т/см^3) ядро, оболочка улетает
- Остается горячий белый карлик, который остывает

Загадка красного Сириуса…

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ – СБРОС ОСТАТКОВ ОБОЛОЧКИ ЗВЕЗДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЭЛЕМЕНТАМИ НЕ, С, О

От звезды остается горячее компактное сверхплотное С-О ядро, которое остывает и превращается в белый карлик

Пересекая полосу нестабильности цефеиды могут как увеличивать, так и уменьшать радиус (период!)



СХЕМАТИЧЕСКИ ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗДЫ С МАССОЙ 10-60 M_O

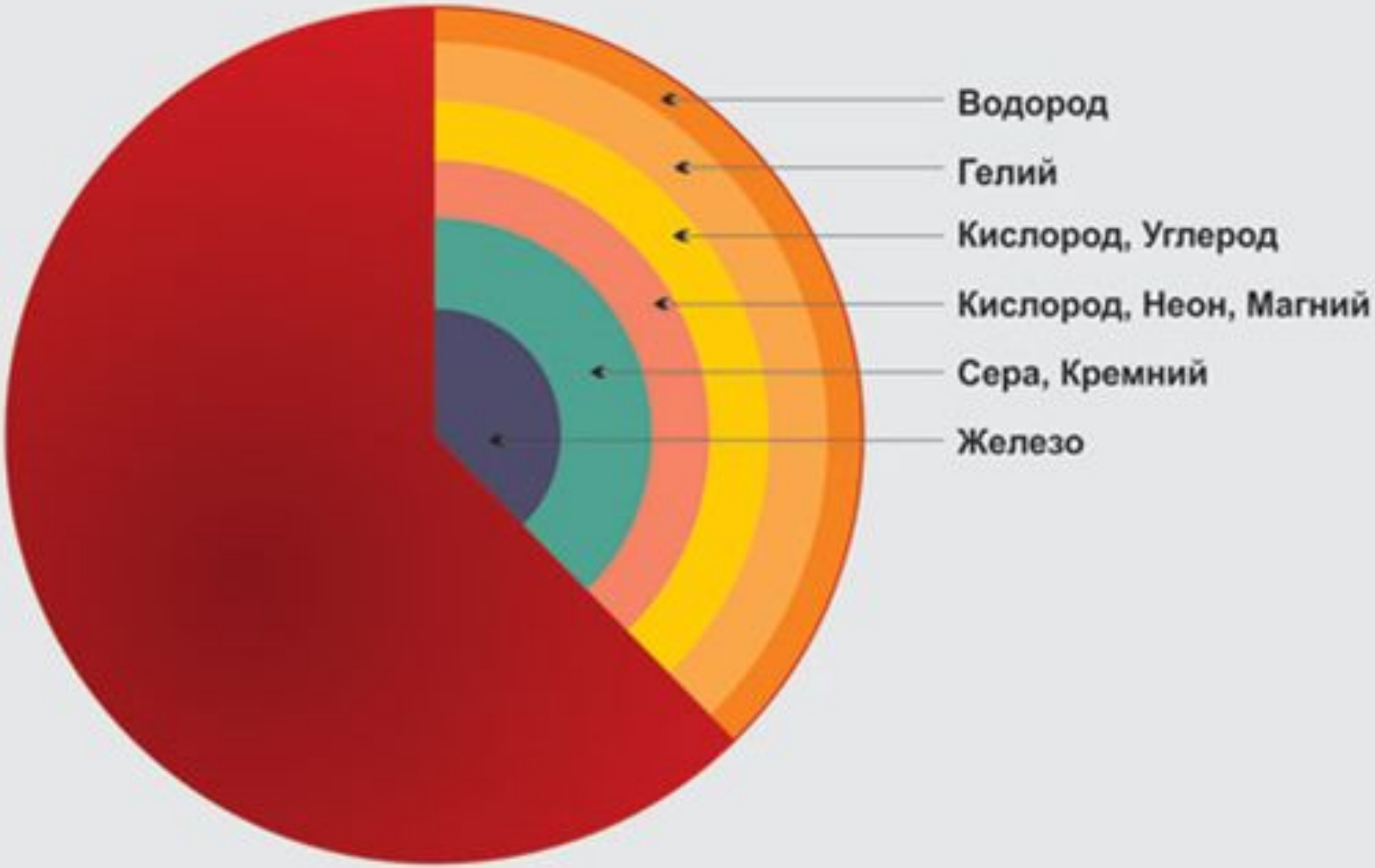
- $4\ H_1$ ----> He_4 : формируется гелиевое ядро
- водород кончается, гелиевое ядро сжимается и нагревается;
- при T~100 млн K начинает гореть гелий:

  $3\ He_4$ ----> C_{12} , $He_4 + C_{12}$ ----> O_{16}

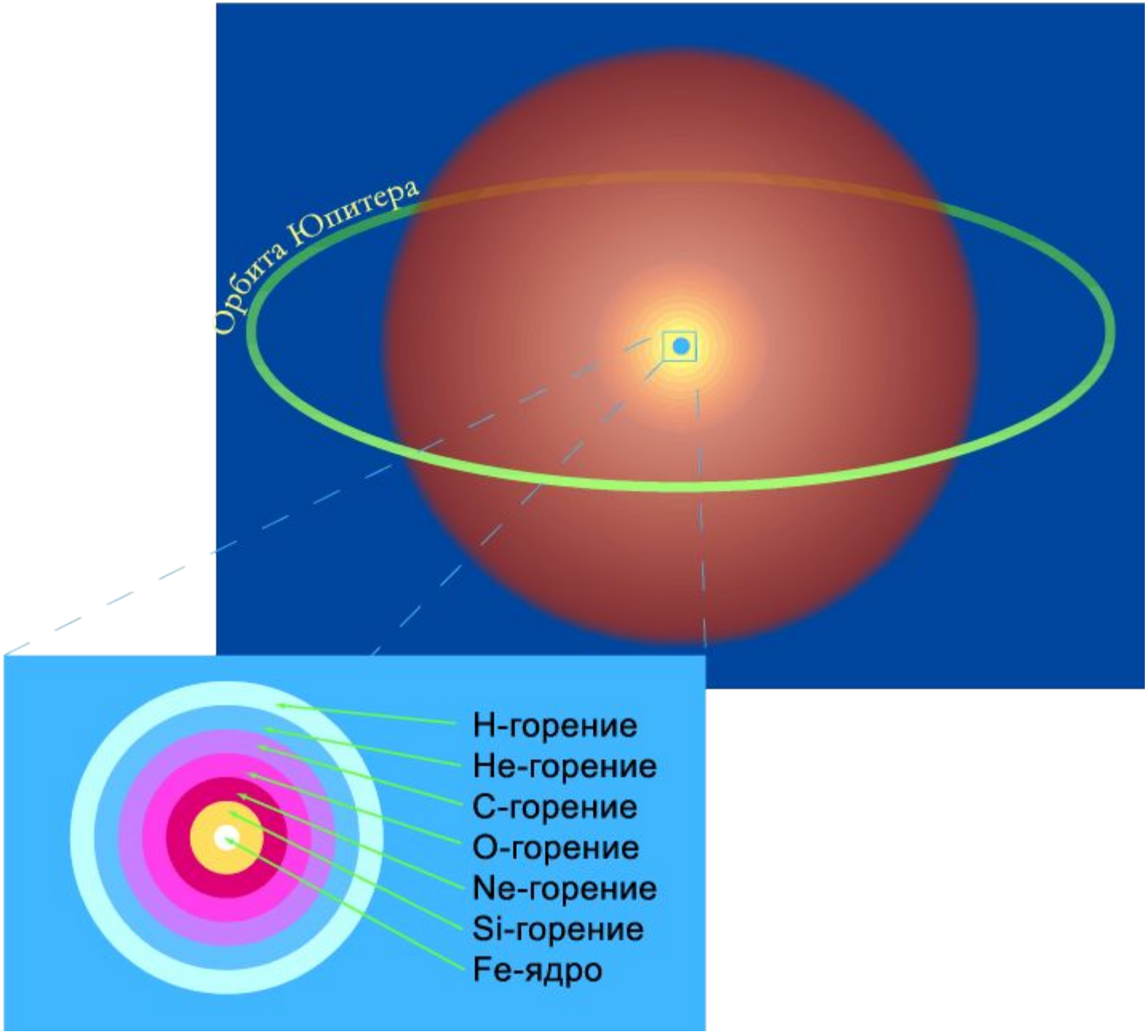
  формируется углеродно-кислородное ядро;
- гелий кончается, углеродное ядро сжимается, нагревается и при T ~ 10^9 K загорается C и O:

  $C_{12} + C_{12}$ ----> Mg_{24} , $O_{16} + O_{16}$ ----> S_{32}
- и т. д. вплоть до образования ядра из Fe_{56}

Строение звезды



Строение сверхгиганта



.Синтез элементов тяжелее железа происходит с поглощением тепла, поэтому при сжатии ядра его температура растет довольно медленно.

В результате давление газа в центре звезды больше не может противостоять гравитации, механическое равновесие нарушается, ядро начинает стремительно сжиматься.

За 0.001 с железное ядро превращается либо в нейтронную звезду ($M \approx 1\ M_o$, $R \approx 10$ км, плотность ~ 10^9 т/см^3), либо в черную дыру.

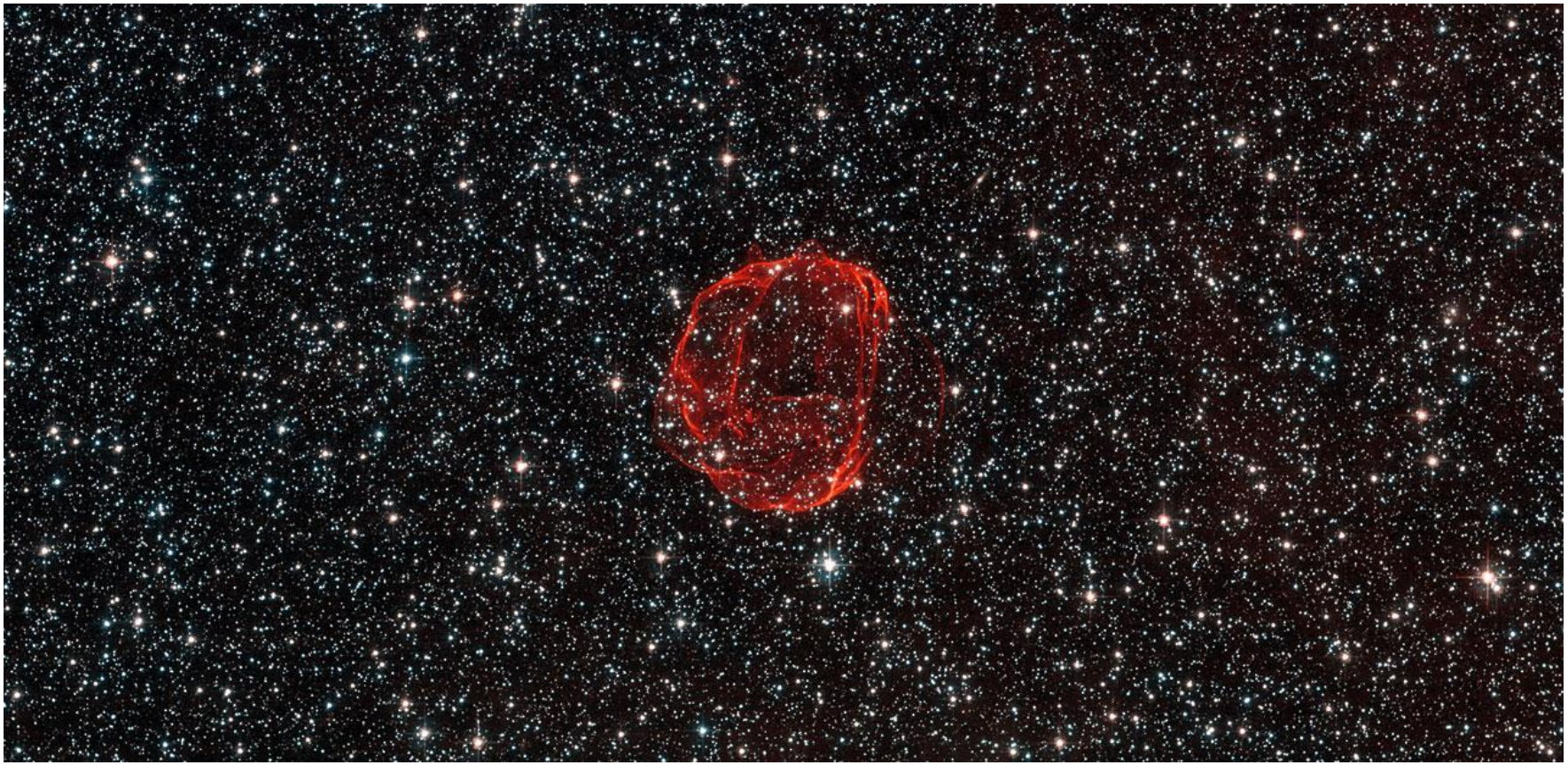
Падающее на ядро вещество, богатое ядерным топливом, оказывается в области очень высокой температур, мгновенно «сгорает» – происходит термоядерный взрыв.

Звезды являются фабриками химических элементов в нашей Вселенной

Элементы тяжелее железа генерируются во время взрывов сверхновых звезд и столкновений в тесных двойных системах

КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ – ОСТАТОК ВСПЫШКИ СВЕРХНОВОЙ. ВНУТРИ ТУМАННОСТИ РАСПОЛОЖЕНА НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА.

СТАРЫЙ ОСТАТОК ВСПЫШКИ СВЕРХНОВОЙ



При взрыве сверхновой выделяется огромное количество тепла, часть которого тратится на синтез элементов тяжелее железа

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H 1 1.00794 ВОДОРОД						(H)	2 He 4.002602 ГЕЛИЙ		
2	Li 3 6,941 ЛИТИЙ	Be 4 9,012182 БЕРИЛЛИЙ	5 B 10,811 БОР	6 C 12,011 УГЛЕРОД	7 N 14,00674 АЗОТ	8 O 15,9994 КИСЛОРОД	9 F 18,9984032 ФТОР	10 Ne 20,1797 НЕОН		
3	Na 11 22,989768 НАТРИЙ	Mg 12 24,3050 МАГНИЙ	13 Al 26,981539 АЛЮМИНИЙ	14 Si 28,0855 КРЕМНИЙ	15 P 30,973762 ФОСФОР	16 S 32,066 СЕРА	17 Cl 35,4527 ХЛОР	18 Ar 39,948 АРГОН		
4	K 19 39,0983 КАЛИЙ	Ca 20 40,078 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,955910 СКАНДИЙ	Ti 22 47,88 ТИТАН	V 23 50,9415 ВАНАДИЙ	Cr 24 51,9961 ХРОМ	Mn 25 54,93805 МАРГАНЕЦ	Fe 26 55,847 ЖЕЛЕЗО	Co 27 58,93320 КОБАЛЬТ	Ni 28 58,69 НИКЕЛЬ
	29 Cu 63,546 МЕДЬ	30 Zn 65,39 ЦИНК	31 Ga 69,723 ГАЛЛИЙ	32 Ge 72,61 ГЕРМАНИЙ	33 As 74,92159 МЫШЬЯК	34 Se 78,96 СЕЛЕН	35 Br 79,904 БРОМ	36 Kr 83,80 КРИПТОН		
5	Rb 37 85,4678 РУБИДИЙ	Sr 38 87,62 СТРОНЦИЙ	Y 39 88,90585 ИТТРИЙ	Zr 40 91,224 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92,90638 НИОБИЙ	Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН	Tc 43 97,9072 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101,07 РУТЕНИЙ	Rh 45 102,90550 РОДИЙ	Pd 46 106,42 ПАЛЛАДИЙ
	47 Ag 107,8682 СЕРЕБРО	48 Cd 112,411 КАДМИЙ	49 In 114,82 ИНДИЙ	50 Sn 118,710 ОЛОВО	51 Sb 121,75 СУРЬМА	52 Te 127,60 ТЕЛЛУР	53 I 126,90447 ИОД	54 Xe 131,29 КСЕНОН		
6	Cs 55 132,90543 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,327 БАРИЙ	La 57 – Lu 71 *	Hf 72 178,49 ГАФНИЙ	Ta 73 180,9479 ТАНТАЛ	W 74 183,85 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,207 РЕНИЙ	Os 76 190,2 ОСМИЙ	Ir 77 192,22 ИРИДИЙ	Pt 78 195,08 ПЛАТИНА
	79 Au 196,96654 ЗОЛОТО	80 Hg 200,59 РТУТЬ	81 Tl 204,3833 ТАЛЛИЙ	82 Pb 207,2 СВИНЕЦ	83 Bi 208,98037 ВИСМУТ	84 Po 208,9824 ПОЛОНИЙ	85 At 209,9871 АСТАТ	86 Rn 222,0176 РАДОН		
7	Fr 87 223,0197 ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0254 РАДИЙ	Ac 89 – (Lr) 103 **	(Ku) 104 261,11 (КУРЧАТОВИЙ)	(Ns) 105 262,114 (НИЛЬСБОРИЙ)	106 263,118	107 262,12			

Li 3 — Атомный номер
6,941 — Относительная атомная масса
ЛИТИЙ

– s-элементы
– p-элементы
– d-элементы
– f-элементы

Относительные атомные массы приведены по Международной таблице 1985 года

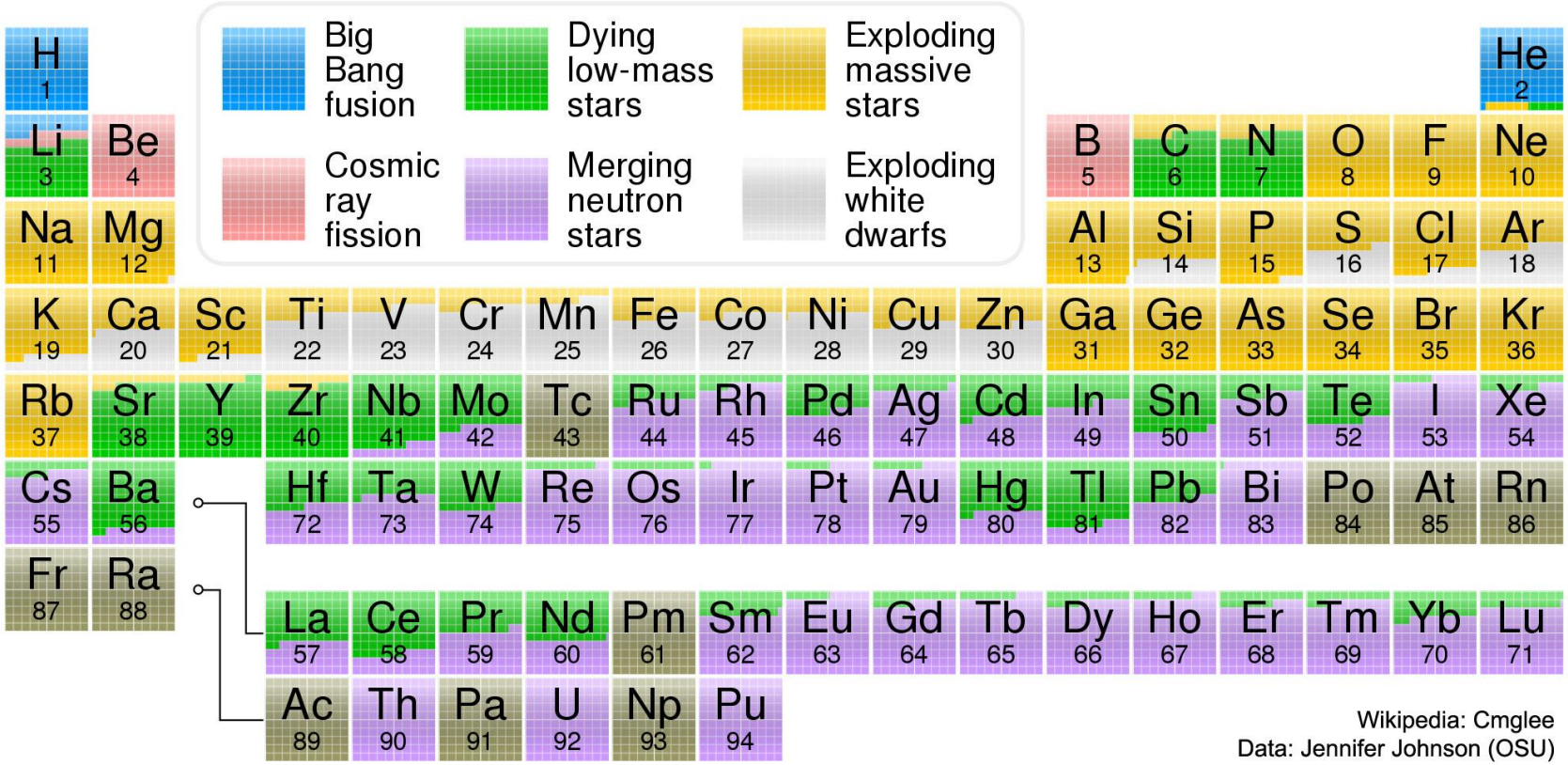
Периодический закон открыт Д.И.МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году

* ЛАНТАНОИДЫ

La 57 138,9055 ЛАНТАН	Ce 58 140,115 ЦЕРИЙ	Pr 59 140,90765 ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,24 НЕОДИМ	Pm 61 144,9127 ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,36 САМАРИЙ	Eu 63 151,965 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,92534 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,93032 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,26 ЭРБИЙ	Tm 69 168,93421 ТУЛИЙ	Yb 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,967 ЛЮТЕЦИЙ

** АКТИНОИДЫ

Ac 89 227,0278 АКТИНИЙ	Th 90 232,0381 ТОРИЙ	Pa 91 231,03588 ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238,0289 УРАН	Np 93 237,0482 НЕПТУНИЙ	Pu 94 244,0642 ПЛУТОНИЙ	Am 95 243,0614 АМЕРИЦИЙ	Cm 96 247,0703 КЮРИЙ	Bk 97 247,0703 БЕРКЛИЙ	Cf 98 242,0587 КАЛИФОРНИЙ	Es 99 252,083 ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 257,0951 ФЕРМИЙ	Md 101 258,10 МЕНДЕЛЕВИЙ	(No) 102 259,1009 (НОБЕЛИЙ)	(Lr) 103 260,105 (ЛОУРЕНСИЙ)


Big Bang fusion
Dying low-mass stars
Exploding massive stars
Cosmic ray fission
Merging neutron stars
Exploding white dwarfs
H 1
He 2
Li 3
Be 4
B 5
C 6
N 7
O 8
F 9
Ne 10
Na 11
Mg 12
Al 13
Si 14
P 15
S 16
Cl 17
Ar 18
K 19
Ca 20
Sc 21
Ti 22
V 23
Cr 24
Mn 25
Fe 26
Co 27
Ni 28
Cu 29
Zn 30
Ga 31
Ge 32
As 33
Se 34
Br 35
Kr 36
Rb 37
Sr 38
Y 39
Zr 40
Nb 41
Mo 42
Tc 43
Ru 44
Rh 45
Pd 46
Ag 47
Cd 48
In 49
Sn 50
Sb 51
Te 52
I 53
Xe 54
Cs 55
Ba 56
Hf 72
Ta 73
W 74
Re 75
Os 76
Ir 77
Pt 78
Au 79
Hg 80
Tl 81
Pb 82
Bi 83
Po 84
At 85
Rn 86
Fr 87
Ra 88
La 57
Ce 58
Pr 59
Nd 60
Pm 61
Sm 62
Eu 63
Gd 64
Tb 65
Dy 66
Ho 67
Er 68
Tm 69
Yb 70
Lu 71
Ac 89
Th 90
Pa 91
U 92
Np 93
Pu 94
Wikipedia: Cmglee
Data: Jennifer Johnson (OSU)

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД С МАССОЙ >60 M_O

- **$4\ H_1$ ----> He_4** : формируется гелиевое ядро;

- H кончается, He-ядро сжимается и нагревается;

- при T~100 млн K начинает «гореть» гелий:

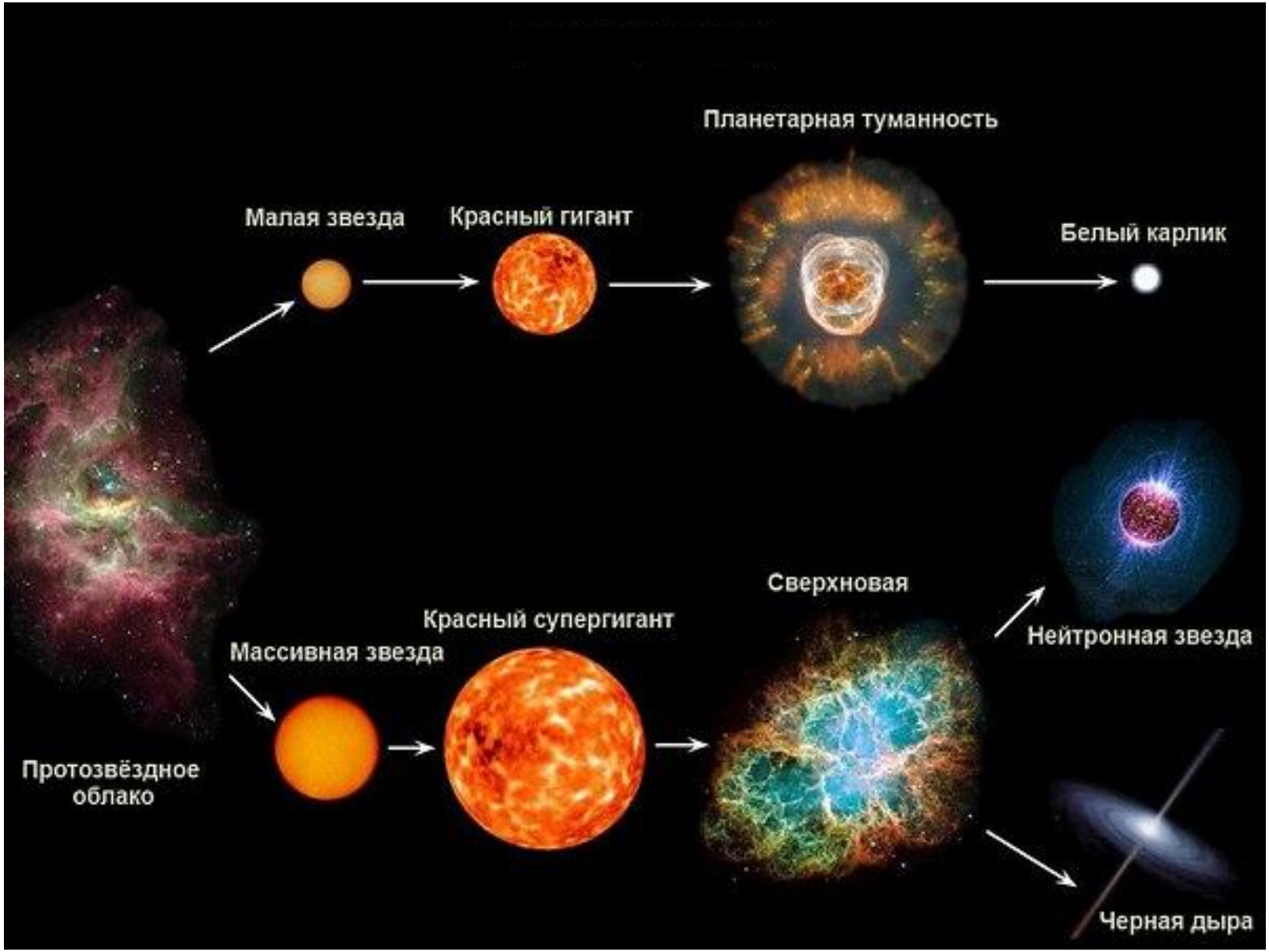
  $3\ He_4$ ----> C_{12} , $He_4 + C_{12}$ ----> O_{16}

  формируется углеродно-кислородное ядро;

- в центре звезды формируются электрон-позитронные пары, что понижает упругость газа. Из-за этого ядро звезды коллапсирует и быстро нагревается;

- «загораются» C,O - происходит взрыв – вспышка сверхновой, возникает черная дыра (и гамма-всплеск ?)

СХЕМА ЭВОЛЮЦИИ ОДИНОЧНЫХ ЗВЕЗД РАЗНЫХ МАСС

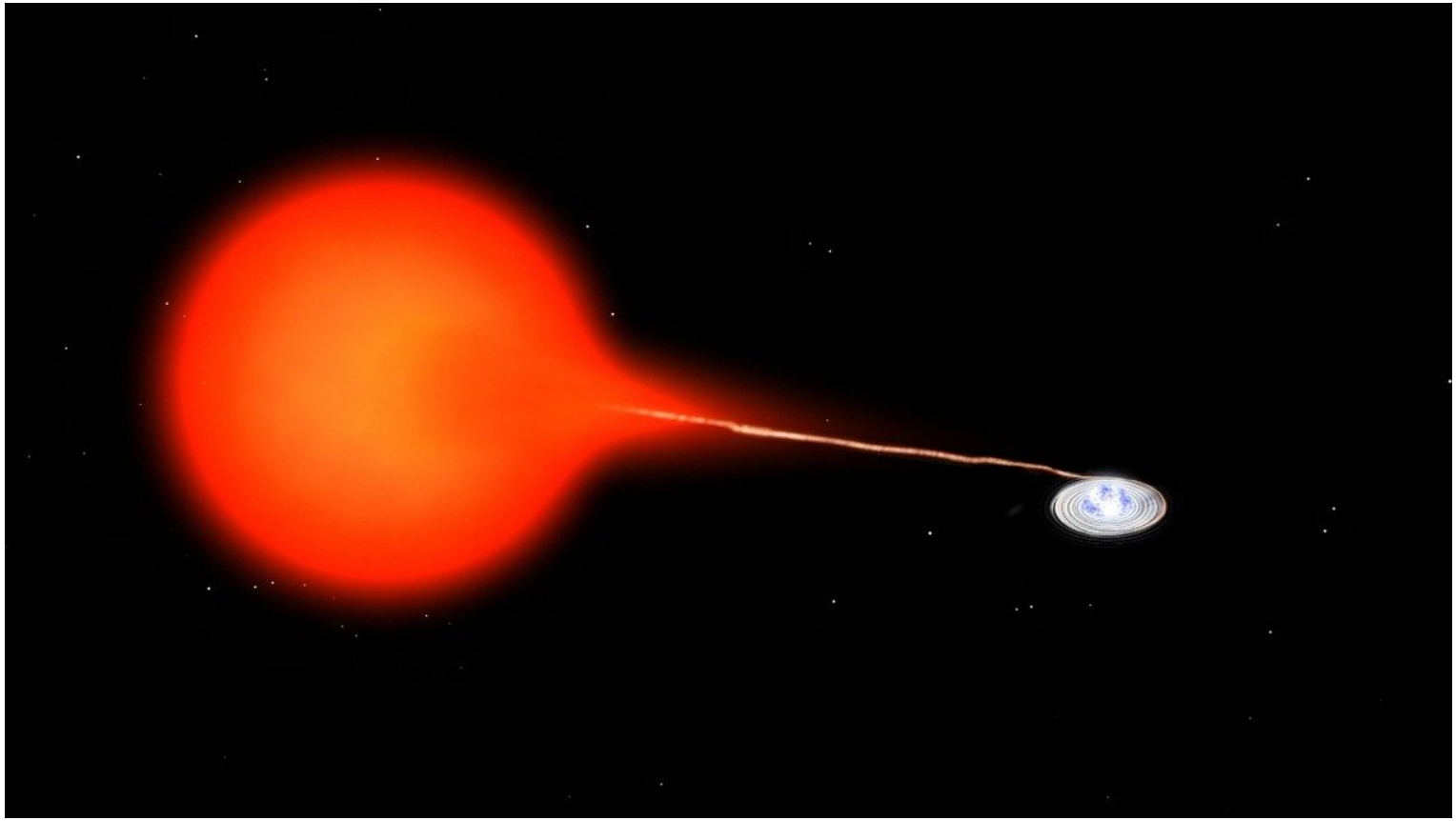


Эволюция двойных звезд

ЗВЕЗДЫ РАЗНООБРАЗНЫ

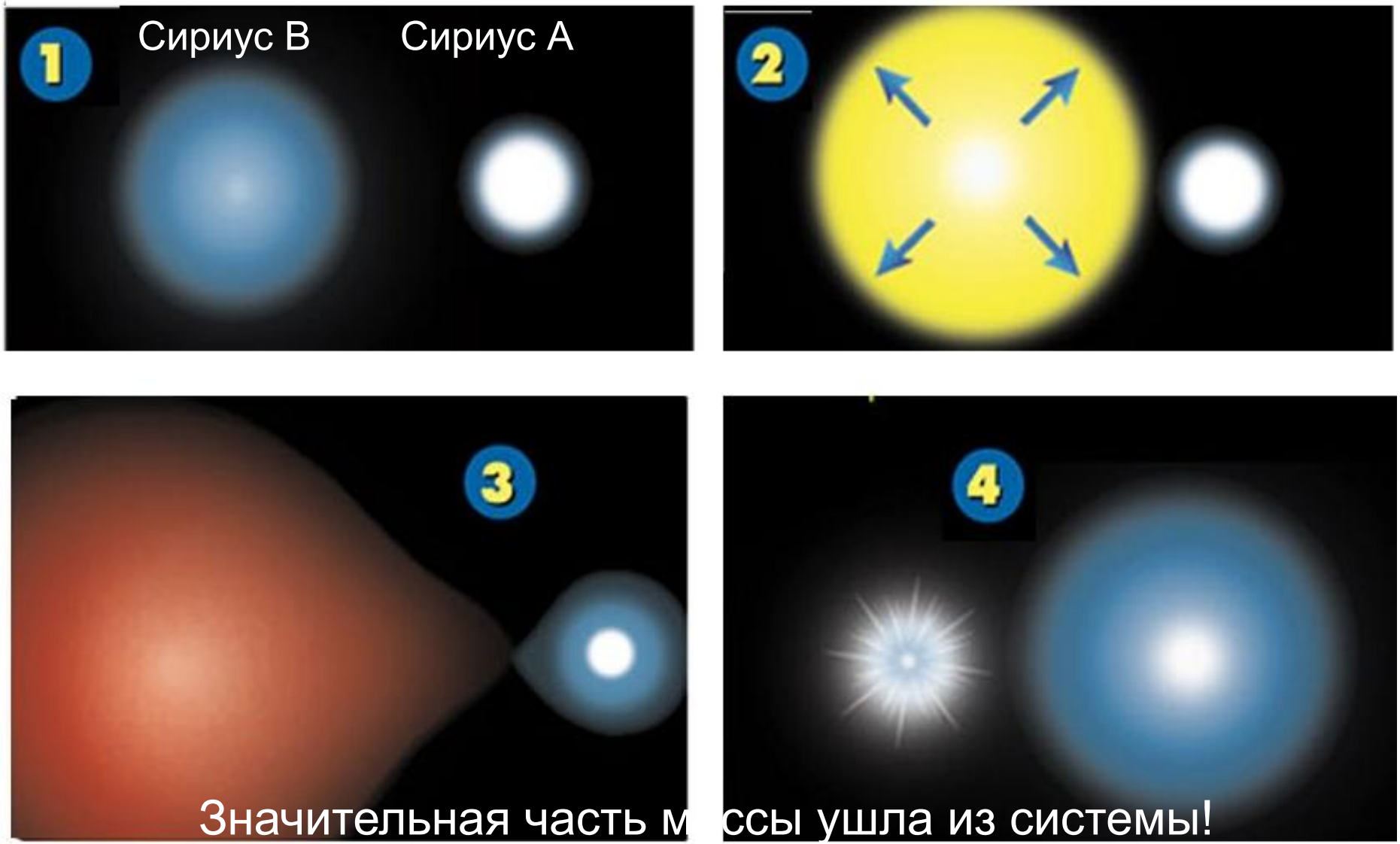
- Кратные звезды
- Переменные звезды - более 100 различных типов
- Вспыхивающие звезды

ЗВЕЗДЫ РАЗНООБРАЗНЫ

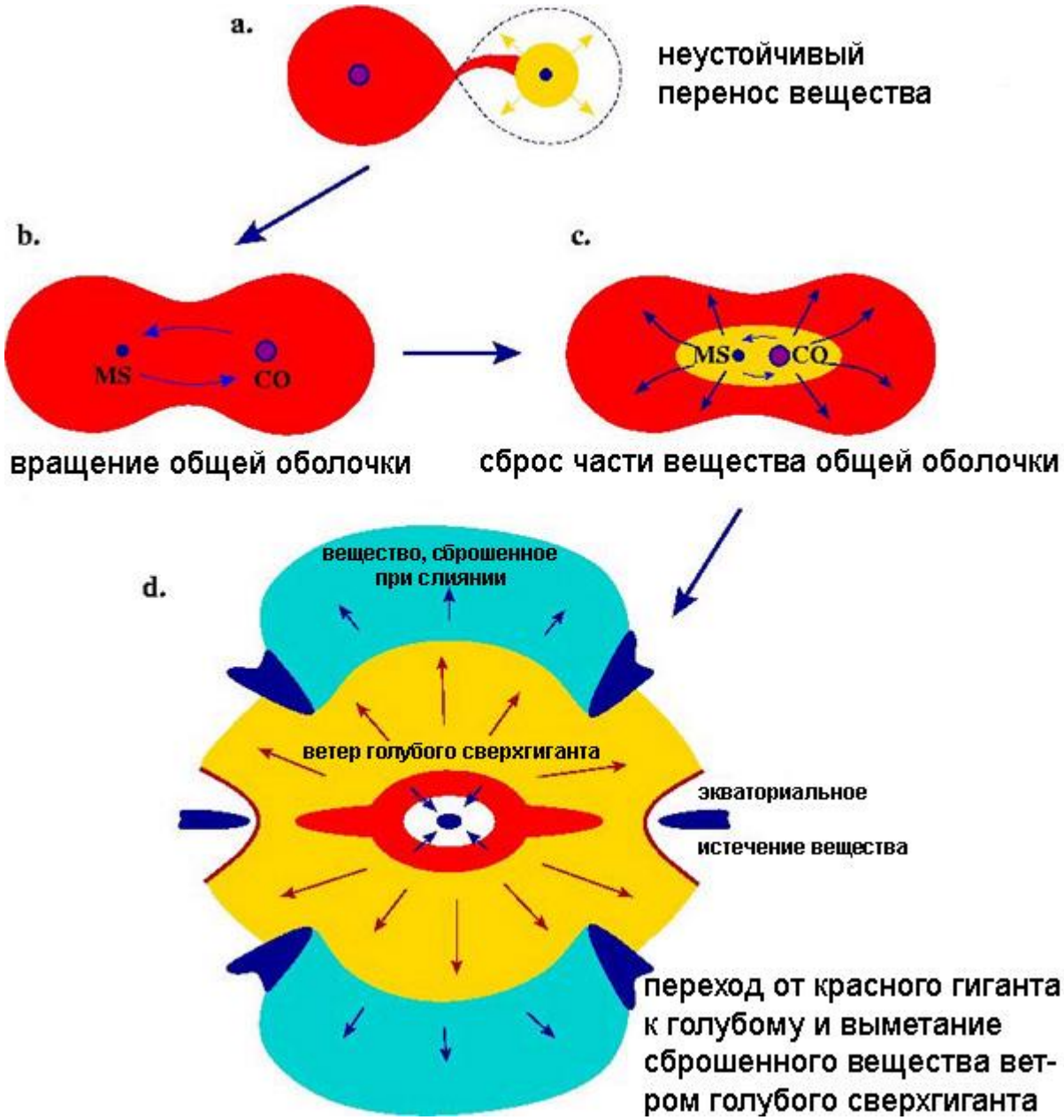


ЗВЕЗДЫ РАЗНООБРАЗНЫ

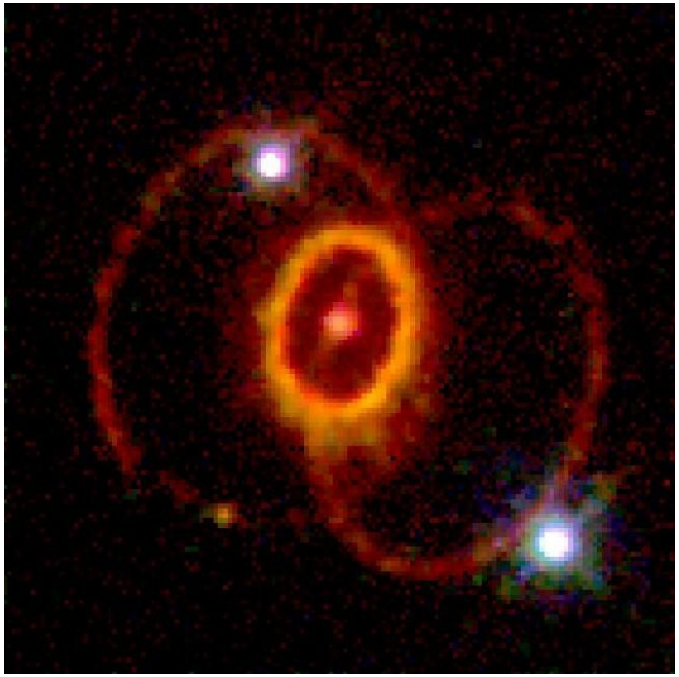
ОБМЕН МАССОЙ В ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЕ – ОБЪЯСНЕНИЕ ПАРАДОКСА СИРИУСА А/В



Значительная часть массы ушла из системы!


a.
неустойчивый
перенос вещества
b.
MS
CO
вращение общей оболочки
c.
MS
CO
сброс части вещества общей оболочки
d.
вещество, сброшенное
при слиянии
ветер голубого сверхгиганта
экваториальное
истечение вещества
переход от красного гиганта
к голубому и выметание
сброшенного вещества вет-
ром голубого сверхгиганта

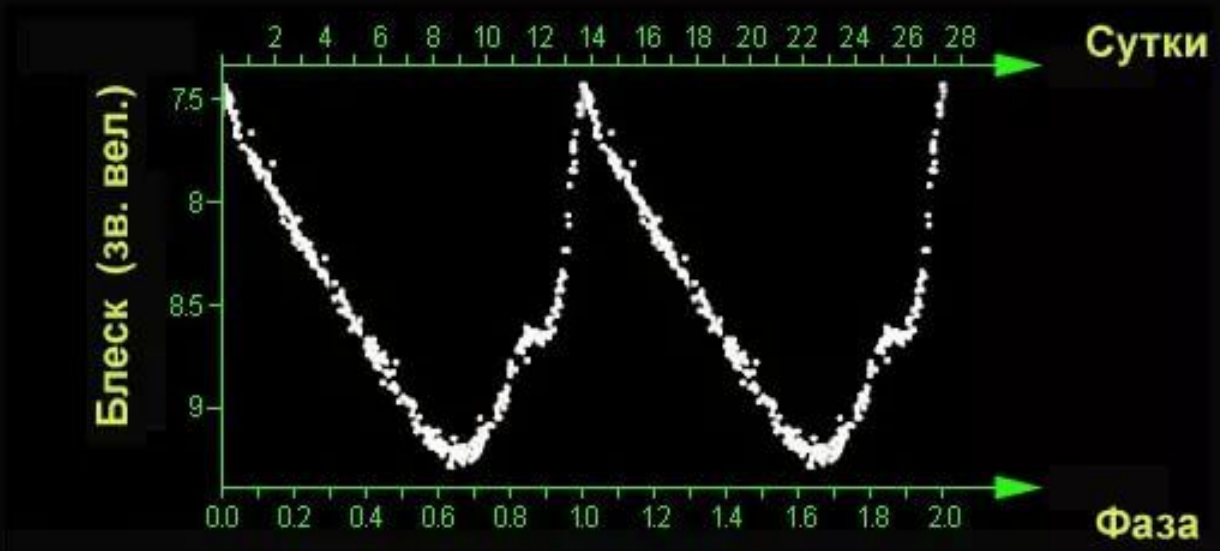
SN 1987 A

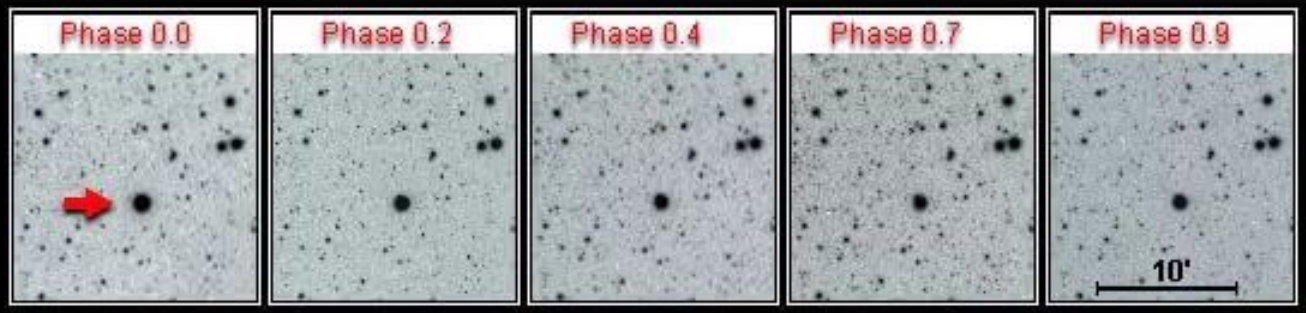


ЗВЕЗДЫ РАЗНООБРАЗНЫ

- **η (эта) Киля**
- Туманность «Гомункул»
- Звезда- гипергигант со сброшенной оболочкой

Цефеида TT Орла (TT Aql)





Когда возраст Вселенной достиг трех минут нуклеосинтез закончился. При этом элементы тяжелее гелия практически, отсутствовали.

Эти элементы, включая C, N, O, Fe и другие, из которых состоят органические молекулы родились в недрах звезд.

Затем эти элементы попали в межзвездную среду. Из них сформировались новые звезды, которые после своей гибели еще больше обогатили межзвездный газ тяжелыми элементами.

За 9 млрд. лет этот процесс повторялся многократно.

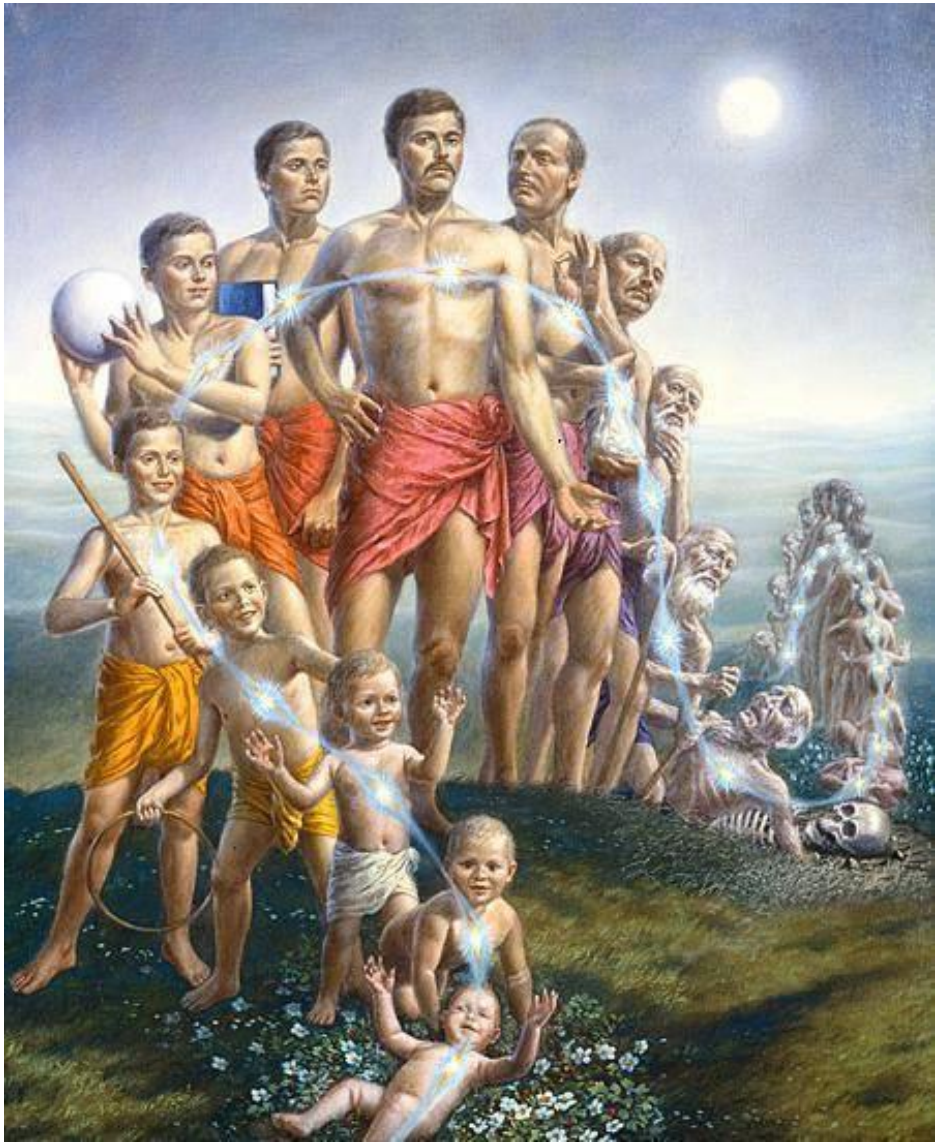
Примерно 5 млрд. лет назад из облака межзвездного газа сформировалось Солнце и окружающие его планеты, включая Землю. К этому моменту доля элементов тяжелее гелия составляла примерно 2%.

Большинство из этих элементов попало в межзвездную среду при вспышках сверхновых, но основная масса углерода вынесена ветром из красных сверхгигантов.

Элементы тяжелее гелия стали основой для зарождения жизни на Земле

Мы – звездные люди !!!

Один из основных результатов астрофизики XX века – вывод о том, что звезды, как и люди, рождаются, живут и умирают.



Спасибо за внимание!
С.А.Язев 2018