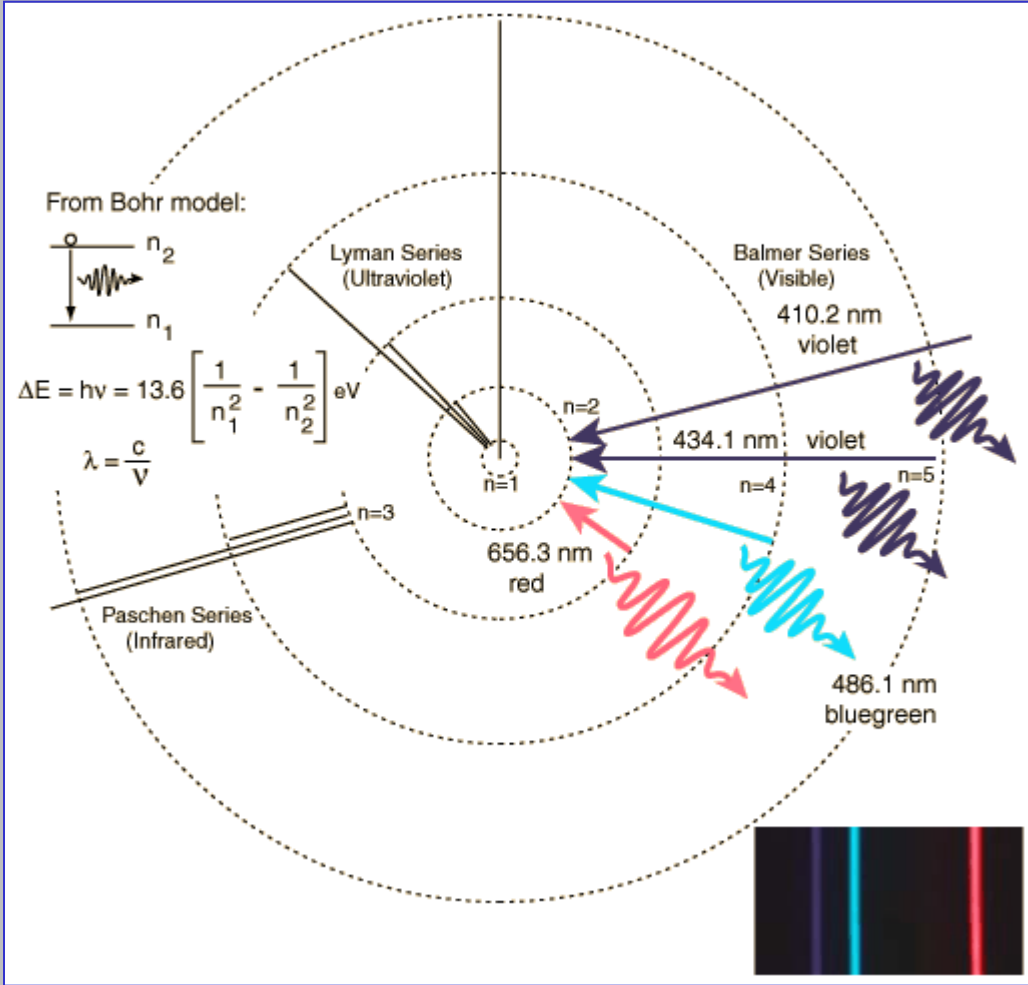
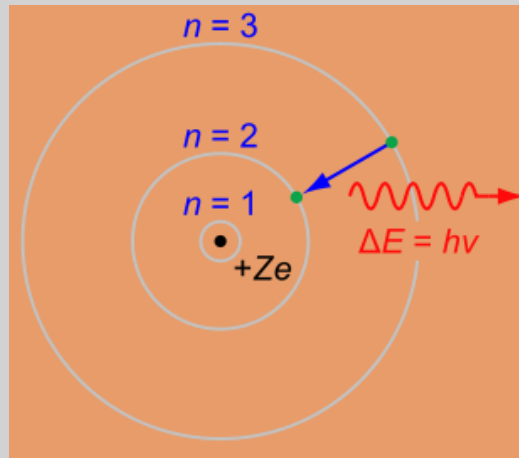


# Атом водорода

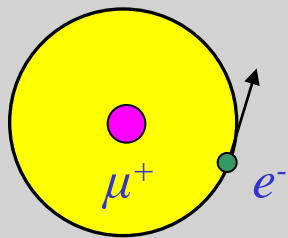
$^1\text{H}$



# Мезоатомы, мюоний и позитроний

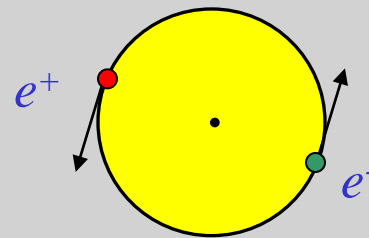


## Мезорентгеновские спектры



мюоний

$$r = r_B$$



позитроний

$$r = 2r_B$$

# Атомное ядро

Число нуклонов  $A$  в ядре называется **массовым числом ядра**. Радиус ядра  $r$  должен быть пропорционален  $A^{1/3}$ , (эмпирическая формула:  $r = 1.2 A^{1/3} \times 10^{-13} \text{см}$ ).

Число протонов  $Z$  определяет общий заряд ядра, равный  $Ze$ , и порядковый номер химического элемента в периодической таблице элементов. В природе встречаются элементы с порядковыми номерами от **1** до **92** (кроме технеция **Tc** и прометия **Pm**).

Для обозначения ядер принята символика  ${}^A_Z\text{X}$ , где **X** - химический символ элемента. Нижний индекс иногда опускают. Например,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{15}\text{N}$  и т. п. Ядра с одинаковым числом  $Z$ , но разными  $A$ , называются **изотопами** ( ${}^{16}\text{O}$  и  ${}^{17}\text{O}$  и др.), с одинаковым  $A$ , но разными  $Z$  - **изобарами** ( ${}^{10}\text{Be}$  и  ${}^{10}\text{B}$ ). Существуют ядра с одинаковыми  $Z$  и  $A$ , но различными периодами полураспада  $\tau$  ( ${}^{80}\text{Br}$  с  $\tau=4.4$  ч. и  ${}^{80}\text{Br}$  с  $\tau=18$  мин.). Такие ядра называют **изомерами**.

Полный момент количества движения ядра принято называть спином ядра  $I$ . Он равен векторной сумме орбитальных и спиновых моментов нуклонов, составляющих ядро.

$Z$  и  $A$  четные -  $I=0$ : ( ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ).

$Z$  нечетное,  $A$  четное -  $I$ -целое:  ${}^2\text{H}$ ,  ${}^{14}\text{N}$  ( $I=1$ );  ${}^{10}\text{B}$  ( $I=3$ ).

$A$  нечетное -  $I$  – полуцелое, не превышающее значения  $9/2$ :  ${}^1\text{H}$ ,  ${}^{15}\text{N}$  ( $I=1/2$ ).

## Ядерный магнитный резонанс

# Устойчивость атомных ядер

Дефект массы:

$$M(A, Z) = Z m_p + (A - Z) m_n - \Delta M$$

Удельная энергия связи:

$$B = \frac{\Delta M c^2}{A}$$

Наименьшую величину  $B$  имеют легкие ядра, а наибольшую - элементы от хрома до цинка ( $A \sim 50-60$ ).

В обычных условиях слиянию легких ядер препятствуют кулоновские силы отталкивания между ядрами. Для преодоления этих сил ядрам необходимо сообщить дополнительную кинетическую энергию, соответствующую температуре  $T \sim 10^8 \text{K}$ . Такие условия реализуются на Солнце, где активно происходит синтез ядер. Реакции подобного типа называют **термоядерными реакциями**.

Наличие в природе стабильных ядер с  $A > 60$  объясняется тем, что для их деления необходимо затратить дополнительную энергию, называемую **энергией активации**. Тяжелое ядро может получить такую энергию, захватив нейтрон. Этот процесс используется в ядерных реакторах.

**Магические числа:** 2, 8, 20, 28, 50...



## Устойчивость атомных ядер

Дефект массы:

$$M(A, Z) = Z m_p + (A - Z) m_n - \Delta M$$

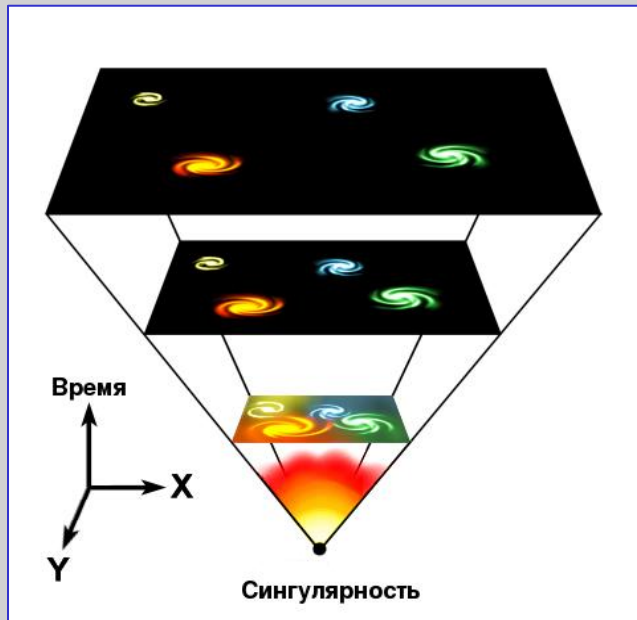
Удельная энергия связи:

$$B = \frac{\Delta M c^2}{A}$$

Наименьшую величину  $B$  имеют легкие ядра, а наибольшую - элементы от хрома до цинка ( $A \sim 50-60$ ).

Использование одного грамма делящегося элемента типа урана в качестве источника энергии эквивалентно использованию 10 т химического топлива. Средняя энергия связи, приходящаяся на один нуклон, равна 8 МэВ и не превышает 1% энергии, соответствующей массе покоя нуклона.

# Возникновение Вселенной



**Большой взрыв** — космологическая модель, описывающая раннее развитие Вселенной.

По современным представлениям, наблюдаемая нами сейчас Вселенная возникла  $13,7 \pm 0,13$  млрд лет назад из некоторого начального «сингулярного» состояния и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается.

По одной из гипотез предполагается, что конец Вселенной (Большой разрыв) наступит приблизительно через 22 миллиарда лет.

# Возникновение и распространение химических элементов

## 1. Космологический (первичный) нуклеосинтез.

Синтез ядер на раннем этапе эволюции Вселенной (до образования звезд).

$\text{H} — 75\%$ ,  ${}^4\text{He} — 25\%$ ,  $\text{D} — 3 \cdot 10^{-5}$ ,  ${}^3\text{He} — 2 \cdot 10^{-5}$ ,  ${}^7\text{Li} — 10^{-9}$ .

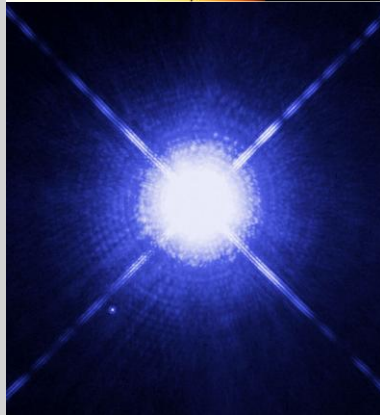
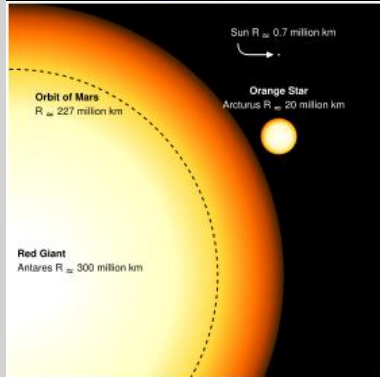
## 2. Синтез ядер в звездах и во время взрывов звезд

Ядра элементов **C - N** образуются в недрах звезд при реакциях термоядерного синтеза. Ядра более тяжелых элементов появляются в массивных звездах и при взрывах звезд в результате реакций захвата нейтронов.

## 3. Нуклеосинтез под действием космических лучей

Взаимодействие галактических космических лучей с межзвездной средой: быстрые протоны и **альфа-частицы** (ядра атомов гелия) бомбардируют ядра **C**, **N** и **O** межзвездной среды, вызывая их расщепление на более легкие ядра ( ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  и  ${}^{11}\text{B}$ ). В результате, в космических лучах содержание этих элементов приблизительно на пять порядков больше, чем в звездах.

# Эволюция звезд

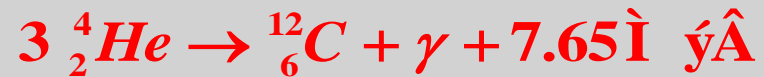


Превращение водорода в гелий-4  
(водородный цикл,  $T \sim 10^7 \text{K}$ )



( $m=0.1-0.4M$ )

Взрыв внешней оболочки звезды и  
ее превращение в красный гигант

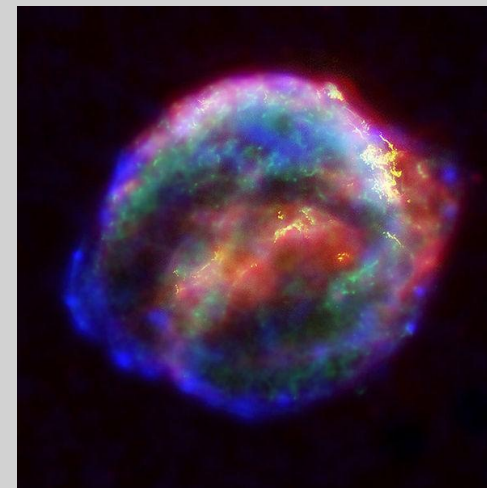
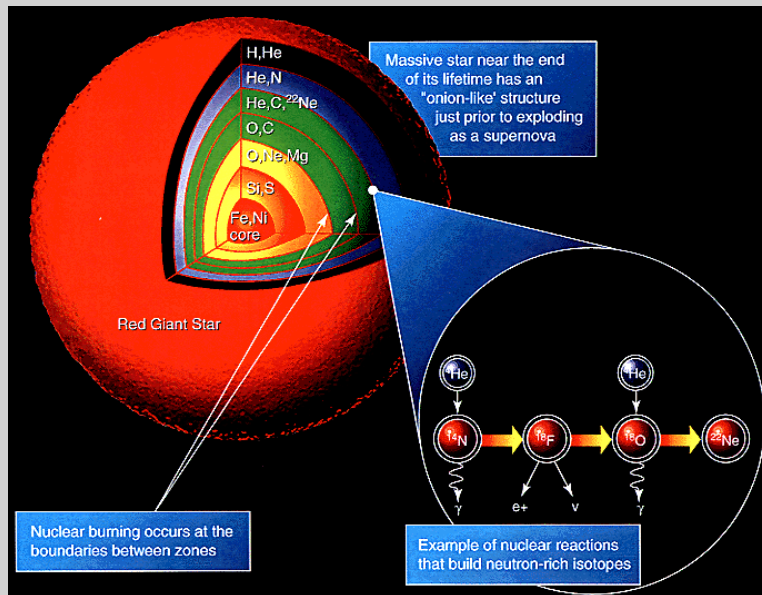
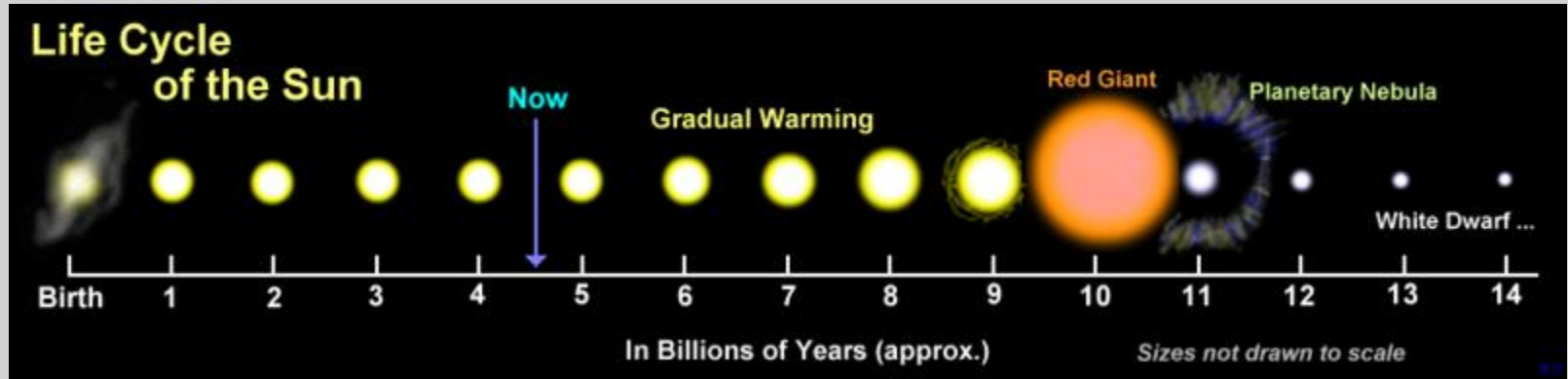


$R \sim 100-800 r$

$\rho = 10^6 - 10^7 \text{ г/см}^3 \rightarrow$  белый карлик



# Эволюция звездной материи



$T \sim 10^{10} \text{K}$

$m > 1.4 M$

Сверхновая звезда

# Нейтронные звезды и черные дыры

## Нейтронная звезда



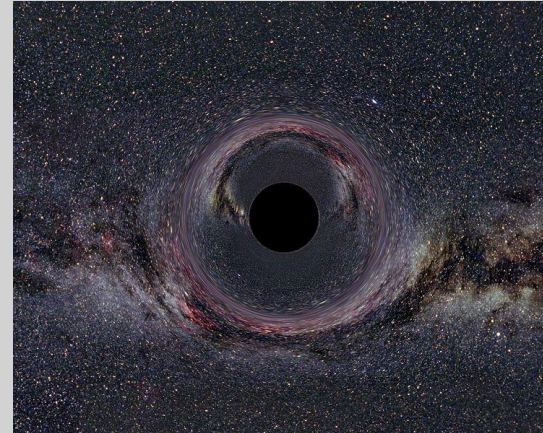
$$m < 1.7 M, \rho \sim 10^{15} \text{ г/см}^3$$

(плотность ядерной материи)

## Кварковая звезда

(разрушение нуклонов при высоких давлениях и температуре)

## Черная дыра



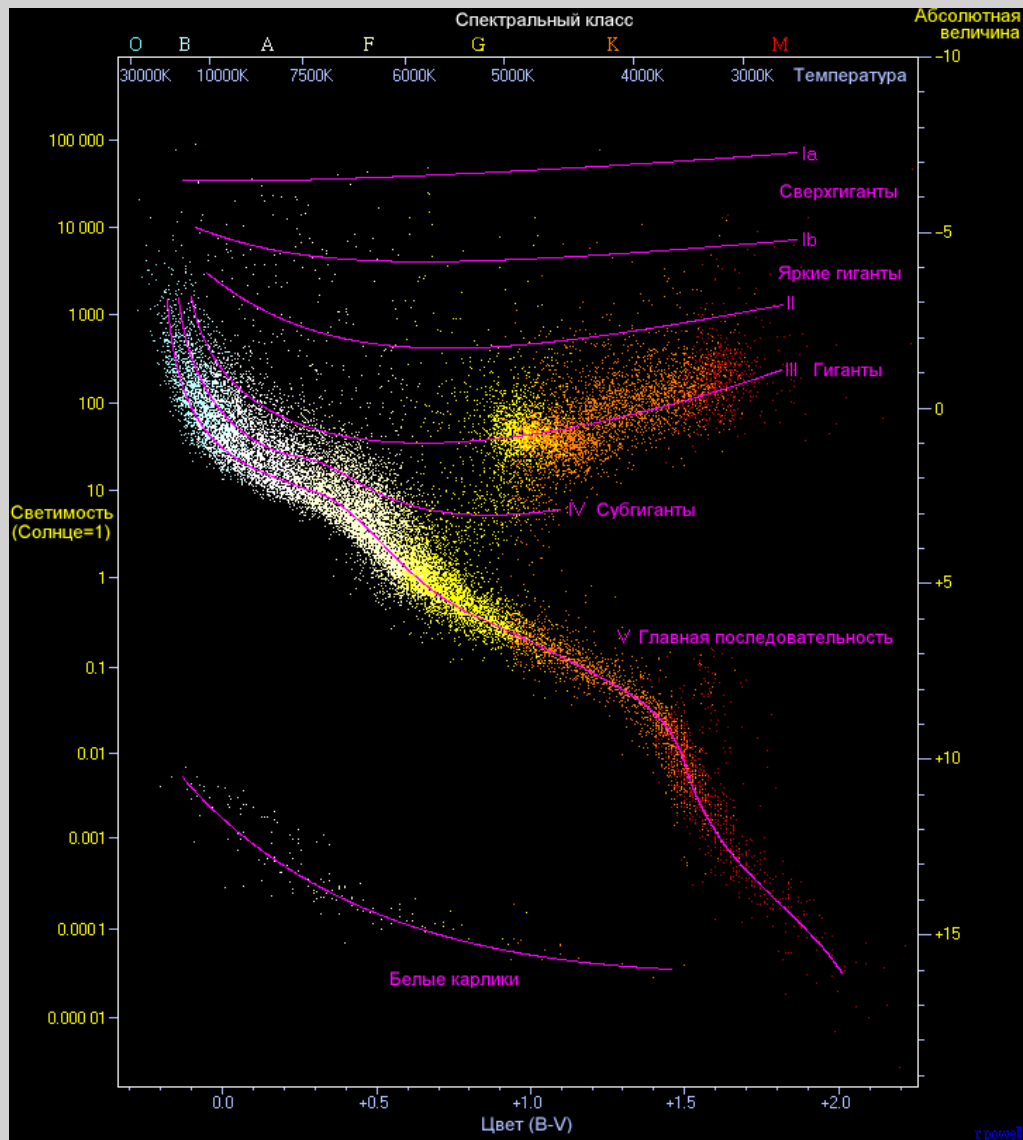
$$m \geq 1.7 M, \rho \rightarrow \infty$$

К. Шварцшильд (1916 г.)

$$R = 2Gm / c^2$$

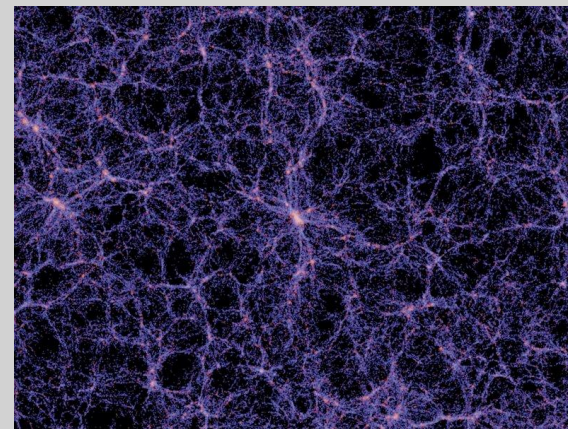
(Черные дыры в основном расположены в центрах галактик)

# Звезды и галактики



**Туманность Андромеды**

**$10^{12}$  звезд,  $2.6 \times 10^5$  световых лет.**



**Великая стена**

**(500 x 15 млн. световых лет)**

## Состав Вселенной

Теория крупномасштабной структуры Вселенной предполагает наличия темной материи, а ускорение ее расширения - существование неизвестного вида энергии - темной энергии

