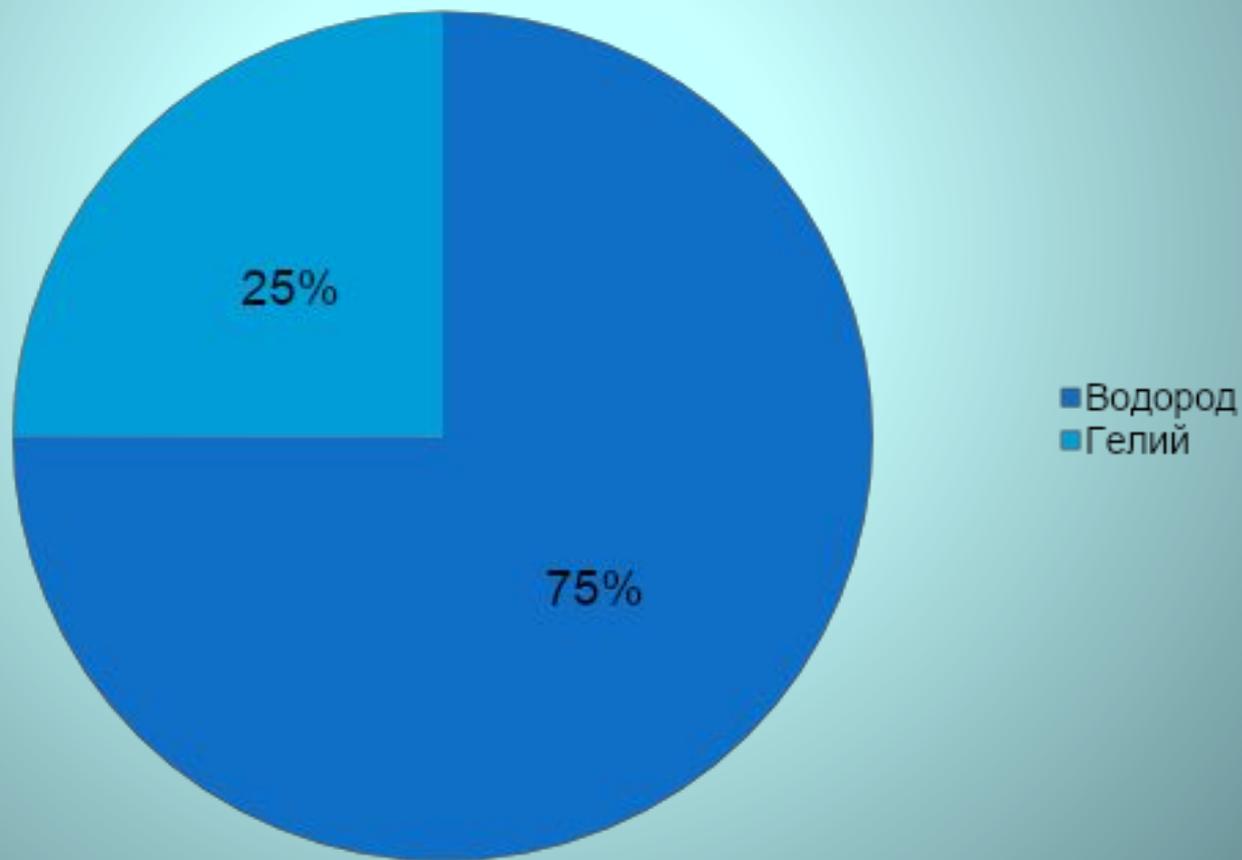


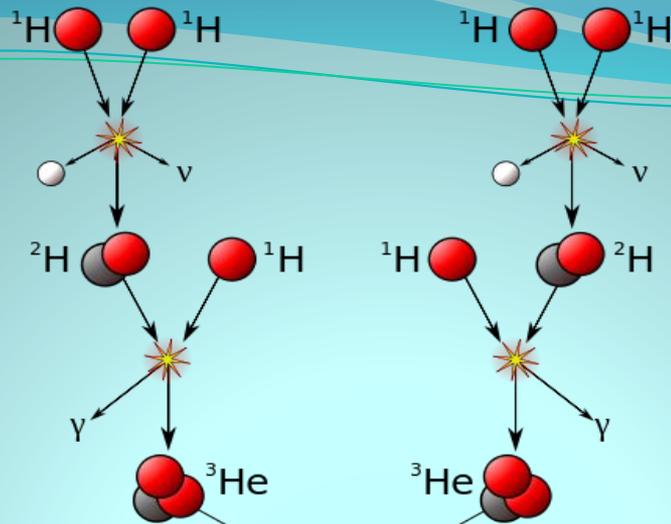
# РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД

## Основные вопросы

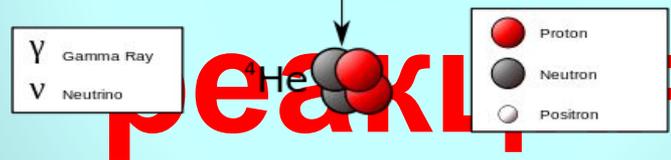
- Как возникают звезды?
- Откуда берется огромная энергия, излучаемая звездами?
- Что происходит со звездой, когда иссякает источник ее энергии?

# Состав Вселенной





# Термоядерная реакция



# Протон-протонный ЦИКЛ

# Термоядерная реакция

## Протон-протонный цикл

- Конечным продуктом цепочки ppI, доминирующей при температурах от 10 до 14 миллионов градусов, является ядро атома гелия, возникшее в результате слияния четырех протонов с выделением энергии, эквивалентной 0,7 % массы этих протонов. Цикл включает в себя три стадии. Вначале два протона, имеющие достаточно энергии, чтобы преодолеть кулоновский барьер, сливаются, образуя дейтрон, позитрон и электронное нейтрино; затем дейтрон сливается с протоном, образуя ядро  $^3\text{He}$ ; наконец, два ядра атома гелия-3 сливаются, образуя ядро атома гелия-4. При этом высвобождаются два протона.
- $p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e + 0,4 \text{ МэВ}$
- ${}^2\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,49 \text{ МэВ.}$
- ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p + 12,85 \text{ МэВ.}$
- Последовательность этих трех реакций, которые начинают идти при температуре
- $(1,0 - 1,5) \cdot 10^7 \text{ К}$  носит название протон-протонный цикл (цикл Бете) .
-

## БЕЛЫЕ КАРЛИКИ



Если масса центрального ядра звезды не превышает 1,4 массы Солнца, то после окончания процессов термоядерного горения она сжимается за счет сил гравитации до тех пор, пока это сжатие не будет уравновешено специфическими силами отталкивания, обусловленными давлением вырожденного газа нерелятивистских электронов. Сжатие останавливается, когда плотность вещества достигает  $10^9 \text{ кг/м}^3$ .

# БЕЛЫЕ КАРЛИКИ



*Белый карлик*- звезда размером с Землю и светимостью в тысячу раз меньше, чем светимость Солнца. Белый карлик светит за счет остатков своей тепловой энергии. По оценкам, белые карлики составляют примерно 10% всех звезд.

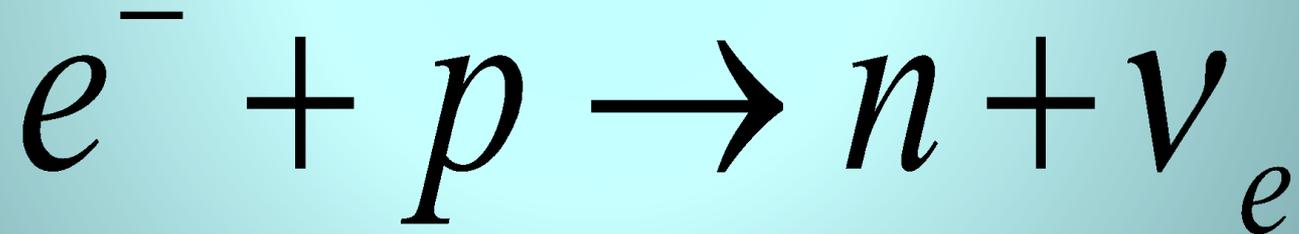
# ЗВЕЗДЫ



Если масса исходной звезды находится в интервале (1,4 -3) ·Масса Солнца, то при сжатии звезды электроны плазмы становятся релятивистскими, а давление вырожденного газа релятивистских электронов уже не способно удержать звезду от дальнейшего сжатия.

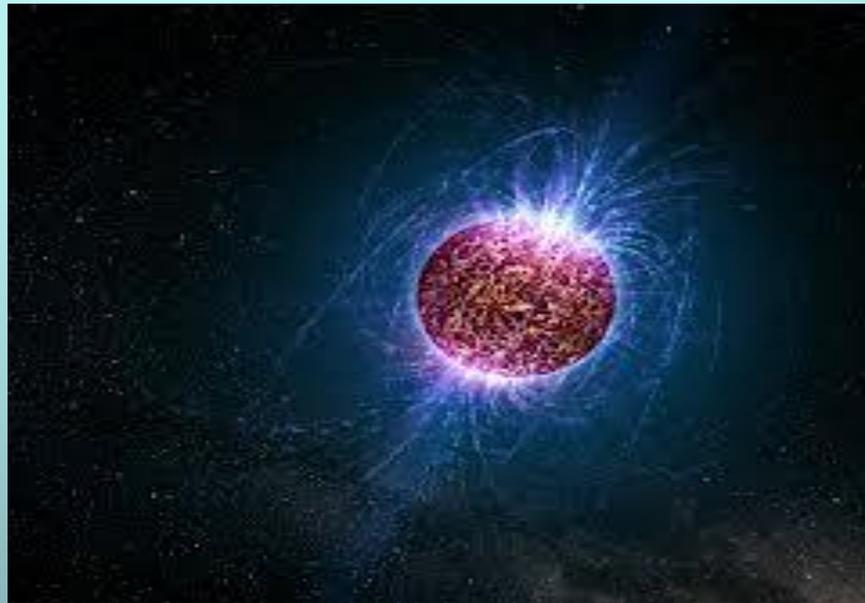
## НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

На этом этапе, когда энергия электронов превышает разность масс нейтрона и протона, становится возможной реакция



# НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Электроны как бы вдавливаются в протоны, образуя нейтроны. В результате в самом центре сжимающейся звезды образуется ядро, состоящее из нейтронов, окруженное оболочкой из железа. Весь этот процесс носит взрывной характер и происходит очень быстро, за доли секунды.



# НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ



В результате взрыва рождается *сверхновая*, состоящая из крохотной, размером порядка 10 км, центральной звезды, т. н. пульсара, и сброшенной взрывом расширяющейся оболочки. Плотность нейтронной звезды составляет примерно  $10^{18}$  кг/ м<sup>3</sup>.

# ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Если масса исходной звезды превышает тройную массу Солнца, то уже нет сил, которые могли бы остановить неуклонное сжатие ядра звезды под действием собственного тяготения. Стремительное сжатие приводит к гравитационному коллапсу, в результате которого образуется объект с удивительными свойствами, получивший название **черной дыры**.



# ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Сила тяготения на поверхности черной дыры столь велика, что даже свет не может оторваться от нее и излучиться в пространство. Поэтому с точки зрения внешнего наблюдателя черная дыра невидима. История поиска черных дыр пока не завершена, хотя следует подчеркнуть, что к настоящему времени открыто около **200 массивных и чрезвычайно компактных объектов, свойства которых очень похожи на свойства черных дыр.**

