

# Звёздная эволюция

**Эволюция звезд** - последовательность изменений, которым звезда подвергается в течение её жизни, то есть на протяжении сотен тысяч, миллионов или миллиардов лет, пока она излучает свет и тепло.

Звезда начинает свою жизнь как холодное разряжённое облако межзвёздного газа (разряженная газовая среда, заполняющая всё пространство между звёздами), сжимающееся под действием собственного тяготения и постепенно принимающее форму шара. При сжатии, энергия гравитации (универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами) переходит в тепло, и температура объекта возрастает. Когда температура в центре достигает 15-20 миллионов К, начинаются термоядерные реакции и сжатие прекращается. Объект становится полноценной звездой. Первая стадия жизни звезды, подобна солнечной - в ней доминируют реакции водородного цикла. В таком состоянии он пребывает большую часть своей жизни, находясь на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга - Расселла. Пока не закончатся запасы топлива в его ядре. Когда в центре звезды весь водород превращается в гелий, образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на его периферии. В этот период структура звезды начинает меняться.

Её светимость растёт, внешние слои расширяются, а температура поверхности снижается -- звезда становится красным гигантом, которые образуют ветвь на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Когда накопленная масса гелиевого ядра становится значительной, оно не выдерживает собственного веса и начинает сжиматься; если звезда достаточно массивна, возрастающая при этом температура может вызвать дальнейшее термоядерное превращение гелия в более тяжёлые элементы.

# Середина жизненного цикла звезды

- Среди звёзд встречается широкое многообразие цветов и размеров. По спектральному классу они варьируются от горячих голубых до холодных красных, по массе -- от  $0,0767$  до более чем  $200$  солнечных масс. Светимость и цвет звезды зависит от температуры её поверхности, которая, в свою очередь, определяется массой.
- Фактически, перемещение звезды по диаграмме отвечает лишь изменению параметров звезды. Маленькие, холодные красные карлики медленно сжигают запасы водорода и остаются на главной последовательности сотни миллиардов лет, в то время как массивные сверхгиганты уйдут с главной последовательности уже через несколько миллионов лет после формирования. Звёзды среднего размера, такие как Солнце, остаются на главной последовательности в среднем  $10$  миллиардов лет

- Температура и давление снова повышаются, но, в отличие от стадии протозвезды, до более высокого уровня. Коллапс продолжается до тех пор, пока при температуре приблизительно в 100 миллионов К не начнутся термоядерные реакции с участием гелия. Возобновившееся на новом уровне термоядерное горение вещества становится причиной чудовищного расширения звезды. Звезда «разрыхляется», и её размер увеличивается приблизительно в 100 раз. Таким образом, звезда становится красным гигантом, а фаза горения гелия продолжается около нескольких миллионов лет. Практически все красные гиганты являются переменными звёздами. То, что происходит в дальнейшем, вновь зависит от массы звезды.

# Поздние годы и гибель звезд

- Старые звёзды с малой массой
- На сегодняшний день достоверно неизвестно, что происходит с лёгкими звёздами после истощения запаса водорода. Поскольку возраст вселенной составляет 13,7 миллиардов лет, что недостаточно для истощения запаса водородного топлива в таких звёздах, современные теории основываются на компьютерном моделировании процессов, происходящих в таких звёздах. Некоторые звёзды могут синтезировать гелий лишь в некоторых активных зонах, что вызывает их нестабильность и сильные звёздные ветры. В этом случае образования планетарной туманности не происходит, а звезда лишь испаряется, становясь даже меньше, чем коричневый карлик.

Глобула

Коричневый карлик

Пылевое облако

Звездой главной последовательности

Туманность

# Жизненный цикл звезд

Красные гиганты

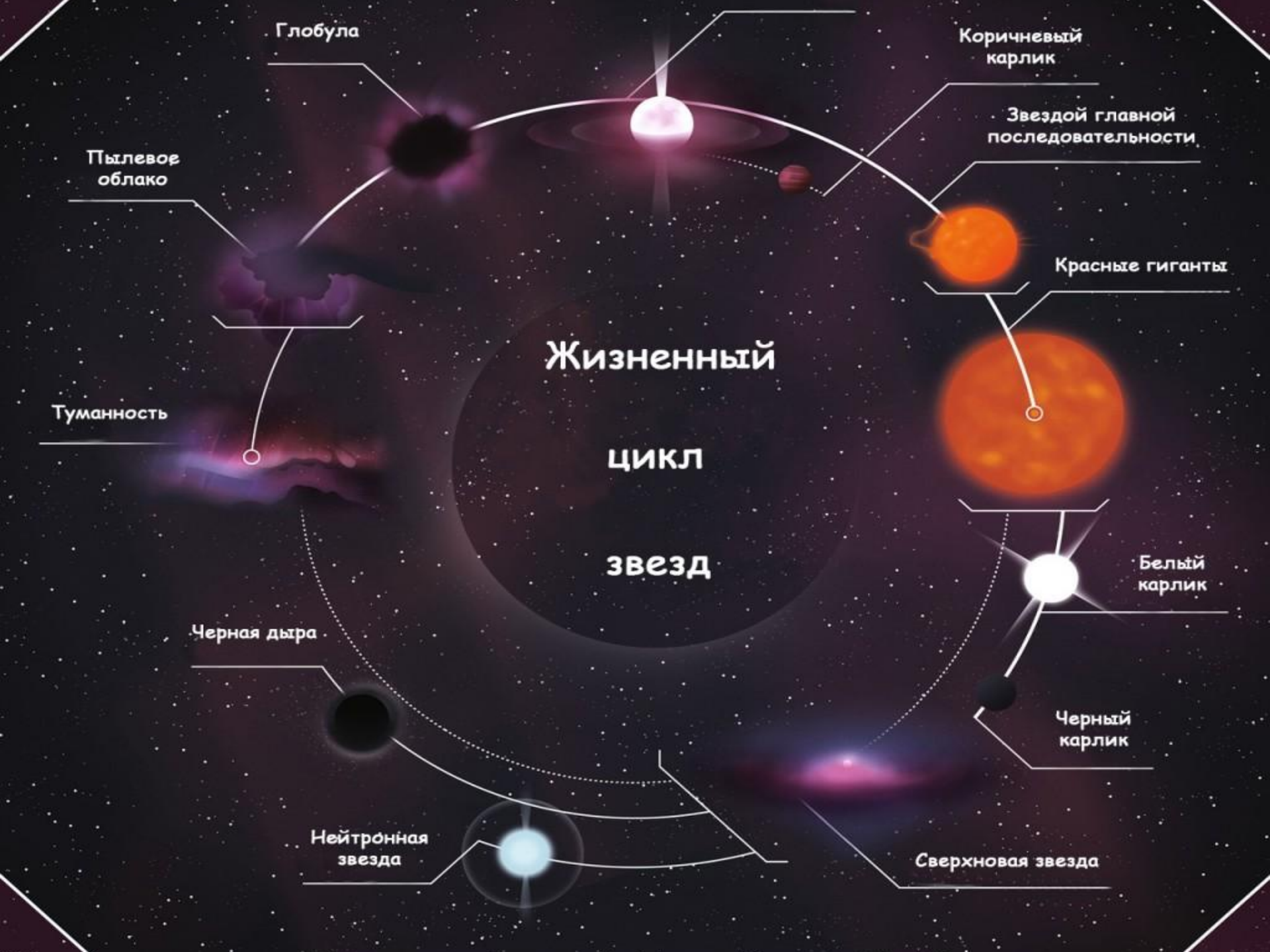
Белый карлик

Черная дыра

Черный карлик

Нейтронная звезда

Сверхновая звезда



## Старые звёзды с малой массой

Поскольку возраст вселенной составляет **13,7** миллиардов лет, что недостаточно для истощения запаса водородного топлива в таких звёздах, современные теории основываются на компьютерном моделировании процессов, происходящих в таких звёздах. Некоторые звёзды могут синтезировать гелий лишь в некоторых активных зонах, что вызывает их нестабильность и сильные звёздные ветры. Звезды с массой менее **0,5** солнечной не в состоянии преобразовывать гелий даже после того, как в ядре прекратятся реакции с участием водорода -- их масса слишком мала для того, чтобы обеспечить новую фазу гравитационного сжатия до той степени, которая инициирует «возгорание» гелия.



## Звёзды среднего размера

При достижении звездой средней величины (от 0,4 до 3,4 солнечных масс) фазы красного гиганта в ее ядре заканчивается водород и начинаются реакции синтеза углерода из гелия. Этот процесс идет при более высоких температурах и поэтому поток энергии от ядра увеличивается, что приводит к тому, что внешние слои звезды начинают расширяться. Начавшийся синтез углерода знаменует новый этап в жизни звезды и продолжается некоторое время. Для звезды по размеру схожей с Солнцем, этот процесс может занять около миллиарда лет. Изменения в величине испускаемой энергии заставляют звезду пройти через периоды неустойчивости, включающие в себя перемены в размере, температуре поверхности и выпуске энергии.

## Белые карлики

Вскоре после гелиевой вспышки «загораются» углерод и кислород; каждое из этих событий вызывает серьезную перестройку звезды и её быстрое перемещение по диаграмме Герцшпрунга -- Рассела. Размер атмосферы звезды увеличивается ещё больше, и она начинает интенсивно терять газ в виде разлетающихся потоков звёздного ветра.

## Сверхмассивные звёзды

После того, как звезда с массой большей, чем пять солнечных, входит в стадию красного сверхгиганта, ее ядро под действием сил гравитации начинает сжиматься. По мере сжатия увеличиваются температура и плотность, и начинается новая последовательность термоядерных реакций. В таких реакциях синтезируются все более тяжёлые элементы: гелий, углерод, кислород, кремний и железо, что временно сдерживает коллапс ядра.

## Нейтронные звёзды

Известно, что в некоторых сверхновых сильная гравитация в недрах сверхгиганта заставляет электроны поглотиться атомным ядром, где они, сливаясь с протонами, образуют нейтроны. Этот процесс называется нейтронизацией.

Электромагнитные силы, разделяющие близлежащие ядра, исчезают. Ядро звезды теперь представляет собой плотный шар из атомных ядер и отдельных нейтронов. Такие звёзды, известные, как нейтронные звёзды, чрезвычайно малы -- не более размера крупного города, и имеют невообразимо высокую плотность. Период их обращения становится чрезвычайно мал, по мере уменьшения размера звезды.

## Чёрные дыры

Далеко не все сверхновые становятся нейтронными звёздами. Если звезда обладает достаточно большой массой, то коллапс звезды продолжится, и сами нейтроны начнут обрушиваться внутрь, пока её радиус не станет меньше Шварцшильдовского. После этого звезда становится чёрной дырой.

Существование чёрных дыр было предсказано общей теорией относительности. Согласно этой теории, материя и информация не может покидать чёрную дыру ни при каких условиях. Тем не менее, квантовая механика, вероятно, делает возможными исключения из этого правила.