



# Эволюция звёзд

Выполнил курсант  
Группы 21-СМ-31  
Лебедев Алексей



# Определение ЭВОЛЮЦИИ ЗВЁЗД

---

Эволюция звёзд (звёздная эволюция) в астрономии — изменение со временем физических и наблюдаемых параметров звезды из-за идущих в ней термоядерных реакций, излучения ею энергии и потери массы. Часто говорят об эволюции как о «жизни звезды», начинающейся когда единственным источником энергии звезды становятся ядерные реакции, и заканчивающейся когда реакции прекращаются — у различных звёзд эволюция идет по-разному. Согласно астрофизическим моделям, срок жизни звезды, в зависимости от начальной массы, продолжается от нескольких миллионов до десятков триллионов лет

# Как появляются звёзды?

Звёзды образуются из холодных разреженных облаков межзвёздного газа, которые сжимаются из-за гравитационной неустойчивости, в процессе сжатия разогреваются настолько, что в их недрах начинаются термоядерные реакции синтеза гелия из водорода. В момент начала термоядерных реакций протозвезда становится звездой главной последовательности (исключение могут составлять субкарлики и коричневые карлики), на которой будет находиться большую часть своей жизни — Солнце также находится на этой стадии звезды главной последовательности.

Дальнейшая эволюция звёзд различается также в зависимости от начальной массы и химического состава (металличности) звезды.

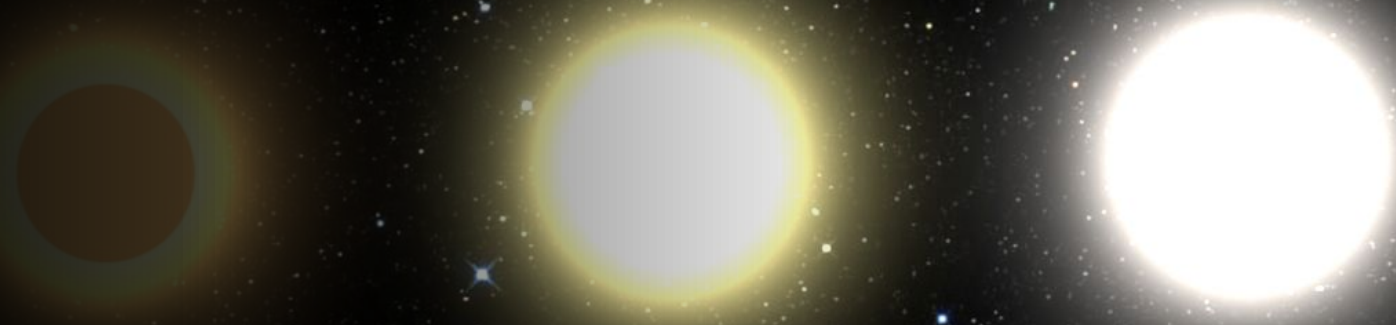
## Как происходит переход на главную последовательность?

Когда сжатие заканчивается и термоядерные реакции синтеза гелия из водорода становятся единственным источником энергии, протозвезда становится звездой главной последовательности. Возраст звезды принято отсчитывать именно с этого момента. Перейдя на главную последовательность, звезда остаётся на ней большую часть времени жизни — около 90 %. Это обусловлено тем, что светимость звёзд на стадии главной последовательности низка по сравнению с другими стадиями, а удельное энерговыделение при синтезе гелия выше, чем при других термоядерных реакциях. Длительность стадии главной последовательности соответствует ядерной временной шкале для горения водорода, то есть, времени, за которое звезда излучает всю энергию, которая выделяется в реакциях превращения водорода в гелий. У самых тяжёлых звёзд, по разным оценкам, она составляет от одного до нескольких миллионов лет, а у самых маломассивных — порядка 10 триллионов лет, что превышает возраст Вселенной. Для Солнца срок нахождения на главной последовательности составит 10—13 миллиардов лет. Большая часть дальнейших стадий эволюции также идёт по ядерной временной шкале, но уже не для водорода, а для других элементов, поэтому занимают меньше времени.

# Главная последовательность

ь

После перехода звезды на главную последовательность в ней постоянно идёт превращение водорода в гелий. Гелий накапливается в ядре, а водорода остаётся всё меньше, что замедляет скорость синтеза гелия. Поэтому ядро по мере исчерпания водорода сжимается под давлением внешних слоёв, его плотность увеличивается, и в итоге скорость реакций возрастает. Это приводит к заметному изменению характеристик звезды: к примеру, светимость Солнца, когда оно попало на главную последовательность, составляла 70 % от современной, а ко времени окончания стадии будет в 2,2 раза больше неё — то есть светимость меняется более чем в три раза. В дальнейшем эти изменения приводят к настолько существенным изменениям в звезде, что она окончательно сходит с главной последовательности.



# Интересный факт

Разная длительность стадии главной последовательности у звёзд разной массы позволяет по наблюдениям вычислять возраст звёздных скоплений. В них звёзды образовались практически одновременно, и чем старше скопление, тем меньшую массу имеют те звёзды, которые ещё остались на главной последовательности. Возраст скопления рассчитывается как длительность нахождения на главной последовательности звёзд, которые начали отходить от неё по их известным массам.



# Эволюция после стадии главной последовательности

## Звёзды малой массы:

Исследование эволюции звёзд малой массы осложняется тем, что длительность стадии главной последовательности для них больше возраста Вселенной — среди звёзд малой массы ещё нет таких, которые сошли с главной последовательности. Однако некоторые данные получены теоретическими расчётами: звёзды с массами менее  $0,2 M_{\odot}$  не станут красными гигантами

## Звёзды, не более 2,3 Массы солнца:

В конце стадии субгигантов гелиевое ядро у звезды становится достаточно массивным и начинает сжиматься, но то, как проходит этот процесс, зависит от массы звезды. В звёздах с массой более  $2,3 M_{\odot}$  сжатие ядра начинается из-за того, что в какой-то момент его масса превышает предел Шёнберга — Чандрасекара, при этом вещество ядра остаётся в состоянии, близком к идеальному газу. В звёздах с меньшей массой гелиевое ядро начинает сжиматься после того, как станет вырожденным. На прохождение стадии красного гиганта это не влияет, но от состояния гелиевого ядра зависит, как именно эта стадия окончится. Происходит быстрый рост радиуса и светимости, хотя температура снижается. Ядро, не имея источника энергии в центре, становится изотермическим, возникает сильный звёздный ветер, приводящий к некоторой потере массы звездой. Солнце пробудет на ветви красных гигантов около 600 миллионов лет.



# Звёзды большой массы

Эволюционные стадии звёзд большой начальной массы (более  $8 M_{\odot}$ ) имеют сходства с таковыми для менее массивных звёзд, однако есть и отличия. Так, например, горение гелия в таких звёздах начинается ещё до того, как звезда переходит на ветвь красных гигантов, поэтому самые массивные звёзды становятся сверхгигантами, постепенно увеличиваются и охлаждаются

Эволюция звёзд с массами  $8—10 M_{\odot}$  проходит так же, как и для менее массивных, однако на завершающих стадиях эволюции они способны зажечь углерод в своих недрах. Запуск этого процесса получил название «углеродная детонация»; он происходит взрывообразно, как и гелиевая вспышка. При углеродной детонации выделяется очень много энергии, что не только снимает вырождение газа ядра, но и способно привести к взрыву звезды как сверхновой типа II. Если же звезда не взрывается, то в ядре начинает накапливаться неон, и, возможно, более тяжёлые элементы. Рано или поздно ядро становится вырожденным, после чего возможны две ситуации: либо звезда сбрасывает оболочку после фазы температурных пульсаций, либо взрывается как сверхновая.

В звёздах с массами более  $10 M_{\odot}$  углеродно-кислородное ядро, которое в ней образуется, не вырождено и углеродная детонация не происходит — углерод загорается постепенно, когда заканчивается горение гелия в ядре. Аналогичный процесс происходит и с более тяжёлыми элементами, и в звезде образуется несколько слоевых источников и слоёв разного химического состава, которые распространяются от центра звезды.

Железо образуется в звёздах с начальной массой более  $10—15 M_{\odot}$ , но в любом случае в звезде появляется ядро, в котором не идут термоядерные реакции, а его масса увеличивается. В какой-то момент происходит коллапс ядра с нейтронизацией вещества, и сама звезда взрывается как сверхновая типа II. В зависимости от массы остатка после взрыва звезды, он становится либо нейтронной звездой, либо чёрной дырой.





# Заключение

---

Во вселенной огромное множество различных звёзд. Изучение звёздной эволюции невозможно наблюдением лишь за одной звездой - многие изменения в звёздах протекают слишком медленно, чтобы быть замеченными даже по прошествии многих веков. Поэтому учёные изучают множество звёзд, каждая из которой находится на определённой стадии жизненного цикла.

На протяжении многих веков астрономия накапливала данные о звездах. На основании этих данных строятся различные классификационные системы звёзд, их характеристики и закономерности.



Спасибо за внимание