



Реферат по теме:  
**«ЗВЕЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ»**

**Г.Терновка**  
**2018\_Г**

Ученика 11-И класса  
СШ №4: абдулина  
максима

# держание:

- Термоядерный синтез внутри звезд-
- Рождение звезд-
- Молодые звезды-
- Середина жизненного цикла звезды-
- Зрелость-
- Финальные стадии-

# ЗВЁЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ:

**Звёздная эволюция** в [астрономии](#) — последовательность изменений, которым [звезда](#) подвергается в течение её жизни, то есть на протяжении миллионов или миллиардов лет, пока она излучает свет и тепло. В течение таких колоссальных промежутков времени изменения оказываются весьма значительными.

Звезда начинает свою жизнь как холодное разреженное облако [межзвёздного газа](#), сжимающееся под действием [гравитационной неустойчивости](#) и постепенно принимающее форму шара. При сжатии энергия [гравитационного поля](#) переходит в основном в [тепло](#) и излучение, 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<sup>[1]</sup>. В таком состоянии она пребывает большую часть своей жизни, находясь на [главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Расселла](#), пока не закончатся запасы топлива в её ядре. Когда в центре звезды весь [водород](#) превращается в [гелий](#), образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на периферии ядра.



Жизненный цикл Солнца

Масштаб и цвета условны. Временная шкала в миллиардах лет (приблизительно)

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. На этой ветви звезда проводит значительно меньше времени, чем на главной последовательности. 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 (гелий — в [углерод](#), [углерод](#) — в [кислород](#), кислород — в кремний, и наконец — [кремний](#) в [железо](#)).

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 которых находится на определённой стадии жизненного цикла. За последние несколько десятилетий широкое распространение в [астрофизике](#) получило [моделирование](#) структуры звёзд с использованием [вычислительной техники](#).

# ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ В ЗВЕЗДАХ

К 1939 году было установлено, что источником звёздной энергии является происходящий в недрах звёзд термоядерный синтез<sup>[2]</sup>. Большинство звёзд испускают излучение потому, что в их недрах четыре протона соединяются через ряд промежуточных этапов в одну альфа-частицу. Это превращение может идти двумя основными путями, называемыми протон-протонным, или p-p-циклом, и углеродно-азотным, или C-N-циклом. В маломассивных звёздах энерговыделение, в основном, обеспечивается первым циклом, в тяжёлых — вторым. Запас ядерного топлива в звезде ограничен и постоянно тратится на излучение. Процесс термоядерного синтеза, выделяющий энергию и изменяющий состав вещества звезды, в сочетании с гравитацией, стремящейся сжать звезду и тоже высвобождающей энергию, а также с излучением с поверхности, уносящим выделяемую энергию, являются основными движущими силами звёздной эволюции

# РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД

Эволюция звезды начинается в гигантском молекулярном облаке, также называемом звёздной колыбелью. Большая часть «пустого» пространства в галактике в действительности содержит от 0,1 до 1 молекулы на см<sup>3</sup>. Молекулярное облако же имеет плотность около миллиона молекул на см<sup>3</sup>. Масса такого облака превышает массу Солнца в 100 000—10 000 000 раз благодаря своему размеру: от 50 до 300 световых лет в поперечнике.

Пока облако свободно обращается вокруг центра родной галактики, ничего не происходит. Однако из-за неоднородности гравитационного поля в нём могут возникнуть возмущения, приводящие к локальным концентрациям массы. Такие возмущения вызывают гравитационное сжатие облака. Один из сценариев, приводящих к этому — столкновение двух облаков. Другим событием, вызывающим коллапс, может быть прохождение облака через плотный рукав спиральной галактики. Также критическим фактором может стать взрыв близлежащей сверхновой звезды, ударная волна которого столкнётся с молекулярным облаком на огромной скорости. Кроме того, возможно столкновение галактик, способное вызвать всплеск звёздообразования, по мере того, как газовые облака в каждой из галактик сжимаются в результате столкновения. В общем, любые неоднородности в силах, действующих на массу облака, могут запустить процесс звёздообразования.

По теореме [вириала](#) половина высвобождающейся гравитационной энергии уходит на нагрев облака, а половина — на световое излучение. В облаках же давление и плотность нарастают к центру, и коллапс центральной части происходит быстрее, нежели периферии. По мере сжатия длина свободного пробега фотонов уменьшается и облако становится всё менее прозрачным для собственного излучения. Это приводит к более быстрому росту температуры и ещё более быстрому росту давления. В конце концов градиент давления уравнивает гравитационную силу, образуется гидростатическое ядро, массой порядка 1 % от массы облака. Этот момент невидим, — [глобула](#) прозрачна в оптическом диапазоне. Дальнейшая эволюция [протозвезды](#) — это [аккреция](#) продолжающего падать на «поверхность» ядра вещества, которое за счёт этого растёт в размерах. В конце концов масса свободно перемещающегося в облаке вещества исчерпывается и звезда становится видимой в оптическом диапазоне. Этот момент считается концом протозвёздной фазы и началом фазы молодой звезды.

Вышеописанный сценарий правомерен только в случае, если молекулярное облако не вращается, однако все они в той или иной мере обладают вращательным моментом. Согласно [закону сохранения импульса](#), по мере уменьшения размера облака растёт скорость его вращения, и в определённый момент вещество перестает вращаться как одно тело и разделяется на слои, продолжающие коллапсировать независимо друг от друга. Число и массы этих слоёв зависят от начальных массы и скорости вращения молекулярного облака. В зависимости от этих параметров формируются различные системы небесных тел: [звёздные скопления](#), [двойные звёзды](#), звёзды с [планетами](#).

# МОЛОДЫЕ ЗВЁЗДЫ

Молодые звёзды малой массы (до трёх масс Солнца) <sup>[источник не указан 1561 день]</sup>, находящиеся на подходе к [главной последовательности](#), полностью конвективны, — процесс [конвекции](#) охватывает все тело звезды. Это ещё по сути протозвёзды, в центрах которых только-только начинаются ядерные реакции, и всё излучение происходит, в основном, из-за гравитационного сжатия. До тех пор пока гидростатическое равновесие не установится, светимость звезды убывает при неизменной эффективной температуре. На [диаграмме Герцшпрунга-Рассела](#) такие звёзды формируют почти вертикальный трек, называемый [треком Хаяши](#). По мере замедления сжатия молодая звезда приближается к главной последовательности. Объекты такого типа ассоциируются со [звёздами типа Т Тельца](#).

В это время у звёзд массой больше 0,8 масс Солнца ядро становится прозрачным для излучения, и лучистый перенос энергии в ядре становится преобладающим, поскольку конвекция все больше затрудняется всё большим уплотнением звездного вещества. Во внешних же слоях тела звезды превалирует конвективный перенос энергии.

О том, какими характеристиками в момент попадания на главную последовательность обладают звёзды меньшей массы, достоверно неизвестно, так как время нахождения этих звёзд в разряде молодых превышает [возраст Вселенной](#) <sup>[источник не указан 1142 дня]</sup>. Все представления об эволюции этих звёзд базируются только на численных расчётах и математическом моделировании.

По мере сжатия звезды начинает расти давление [вырожденного электронного газа](#) и при достижении определённого радиуса звезды сжатие останавливается, что приводит к остановке дальнейшего роста температуры в ядре звезды, вызываемого сжатием, а затем и к её снижению. Для звёзд меньше 0,0767 <sup>[3][4]</sup> масс Солнца это не происходит: выделяющейся в ходе ядерных реакций энергии никогда не хватит, чтобы уравновесить внутреннее давление и гравитационное сжатие. Такие «недозвёзды» излучают энергии больше, чем образуется в процессе термоядерных реакций, и относятся к так называемым [коричневым карликам](#). Их судьба — постоянное сжатие, пока давление вырожденного газа не остановит его, и, затем, постепенное остывание с прекращением всех начавшихся термоядерных реакций.



Молодые звёзды промежуточной массы (от 2 до 8 масс Солнца) <sup>[источник не указан 1561 день]</sup> качественно эволюционируют точно так же, как и их меньшие сестры и братья, за тем исключением, что в них нет конвективных зон вплоть до главной последовательности.

Объекты этого типа ассоциируются с т. н. звёздами Ae\Ve Хербига неправильными переменными спектрального класса B—F0. У них также наблюдаются диски и биполярные джеты. Скорость истечения вещества с поверхности, светимость и эфффективная температура существенно выше, чем для T Тельца, поэтому они эффективно нагревают и рассеивают остатки протозвёздного облака.

Звезды с такими массами уже обладают характеристиками нормальных звезд, поскольку прошли все промежуточные стадии и смогли достичь такой скорости ядерных реакций, которая компенсировала потери энергии на излучение, пока накапливалась масса для достижения гидростатического равновесия ядра. У этих звёзд истечение массы и светимость настолько велики, что не просто останавливают гравитационный коллапс ещё не ставших частью звезды внешних областей молекулярного облака, но, наоборот, разгоняют их прочь. Таким образом, масса образовавшейся звезды заметно меньше массы протозвёздного облака. Скорее всего, этим и объясняется отсутствие в нашей галактике звёзд с массой больше, чем около 300 <sup>[5][6]</sup> масс Солнца.

Среди звёзд встречается широкое многообразие цветов и размеров. По спектральному классу они варьируются от горячих голубых до холодных красных, по массе — от 0,0767<sup>[3][4]</sup> до около 300<sup>[5][6]</sup> Солнечных масс по последним оценкам. Светимость и цвет звезды зависят от температуры её поверхности, которая, в свою очередь, определяется её массой. Все новые звёзды «занимают своё место» на главной последовательности согласно своему химическому составу и массе. Речь, естественно, идёт не о физическом перемещении звезды — только о её положении на указанной диаграмме, зависящем от параметров звезды. Фактически, перемещение звезды по диаграмме отвечает лишь изменению параметров звезды.

Маленькие и холодные красные карлики медленно сжигают запасы водорода и остаются на главной последовательности десятки миллиардов лет, в то время как массивные сверхгиганты сходят с главной последовательности уже через несколько десятков миллионов (а некоторые спустя всего несколько миллионов) лет после формирования.

Звёзды среднего размера, такие как Солнце, остаются на главной последовательности в среднем 10 миллиардов лет. Считается, что Солнце все ещё на ней, так как оно находится в середине своего жизненного цикла. Как только звезда истощает запас водорода в ядре, она покидает главную последовательность.

По прошествии определённого времени — от миллиона до десятков миллиардов лет (в зависимости от начальной массы) — звезда истощает водородные ресурсы ядра. В больших и горячих звёздах это происходит гораздо быстрее, чем в маленьких и более холодных. Истощение запаса водорода приводит к остановке термоядерных реакций.

Без давления, возникавшего в ходе этих реакций и уравновешивавшего внутреннюю гравитацию в теле звезды, звезда снова начинает сжиматься, как уже было ранее в процессе её формирования. Температура и давление снова растут, но, в отличие от стадии протозвезды, до гораздо 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 «распухает», становясь очень «рыхлой», и её размер увеличивается приблизительно в 100 раз. Так звезда становится красным гигантом, а фаза горения гелия продолжается около нескольких миллионов лет. Практически все красные гиганты являются переменными звёздами.

То, что происходит далее, также зависит от массы звезды.

В настоящее время достоверно неизвестно, что происходит с лёгкими звёздами после истощения запаса водорода в их недрах. 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, и звезда лишь испаряется, становясь даже меньше, чем коричневый карлик <sup>[источник не указан 1561 день]</sup>.

Звезда с массой менее 0,5 солнечной не в состоянии преобразовывать гелий даже после того, как в её ядре прекратятся реакции с участием водорода, — масса такой звезды слишком мала для того, чтобы обеспечить новую фазу гравитационного сжатия до степени, достаточной для «поджига» гелия. К таким звёздам относятся красные карлики, такие как Проксима Центавра, срок пребывания которых на главной последовательности составляет от десятков миллиардов до десятков триллионов лет<sup>[4]</sup>. После прекращения в их ядрах термоядерных реакций, они, постепенно остывая, будут продолжать слабо излучать в инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра.

При достижении звездой средней величины (от 0,4 до 3,4 солнечных масс) <sup>[источник не указан 1561 день]</sup> фазы красного гиганта в её ядре заканчивается водород, и начинаются реакции синтеза углерода из гелия. Этот процесс идет при более высоких температурах и поэтому поток энергии от ядра увеличивается и, как следствие, внешние слои звезды начинают расширяться. Начавшийся синтез углерода знаменует новую стадию в жизни звезды и продолжается некоторое время. Для звезды, по размеру близкой к Солнцу, этот процесс может занять около миллиарда лет.

Изменения в величине излучаемой энергии заставляют звезду пройти через периоды неустойчивости, включающие в себя изменения размера, температуры поверхности и выпуск энергии. Выпуск энергии смещается в сторону низкочастотного излучения. Все это сопровождается нарастающей потерей массы вследствие сильных звёздных ветров и интенсивных пульсаций. Звёзды, находящиеся в этой фазе, получили название «звёзд позднего типа» (также «звезды-пенсионеры»),  $\text{OH}_{-IR}$  звёзд или Мира-подобных звёзд, в зависимости от их точных характеристик.

Выбрасываемый газ относительно богат производимыми в недрах звезды тяжёлыми элементами, такими как кислород и углерод. Газ образует расширяющуюся оболочку и охлаждается по мере удаления от звезды, делая возможным образование частиц пыли и молекул. При сильном инфракрасном излучении звезды-источника в таких оболочках формируются идеальные условия для активации космических мазеров.

Реакции термоядерного сжигания гелия очень чувствительны к температуре. Иногда это приводит к большой нестабильности. Возникают сильнейшие пульсации, которые в результате сообщают внешним слоям достаточное ускорение, чтобы быть сброшенными и превратиться в планетарную туманность. В центре такой туманности остаётся оголенное ядро звезды, в котором прекращаются термоядерные реакции, и оно, остывая, превращается в гелиевый белый карлик, как правило, имеющий массу до 0,5—0,6 солнечных масс и диаметр порядка диаметра Земли.

Вскоре после гелиевой вспышки «загораются» углерод и кислород; каждое из этих событий вызывает серьезную перестройку тела 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. Судьба центральной части звезды полностью зависит от её исходной массы, — ядро звезды может закончить свою эволюцию как:

белый карлик (маломассивные звёзды);

как нейтронная звезда (пульсар), если масса звезды на поздних стадиях эволюции превышает предел Чандрасекара

как чёрная дыра, если масса звезды превышает предел Оппенгеймера — Волкова.

В двух последних ситуациях эволюция звёзды завершается катастрофическим событием — вспышкой сверхновых.

Подавляющее большинство звёзд, и Солнце в том числе, завершают свою эволюцию, сжимаясь до тех пор, пока давление вырожденных электронов не уравнивает гравитацию. В этом состоянии, когда размер звезды уменьшается в сотню раз, а плотность становится в миллион раз выше плотности воды, звезду называют белым карликом. Она лишена источников энергии и, постепенно остывая, становится невидимым чёрным карликом.

У звёзд более массивных, чем Солнце, давление вырожденных электронов не может остановить дальнейшее сжатие ядра, и электроны начинают «вдавливаться» в атомные ядра, что превращает протоны в нейтроны, между которыми не существуют силы электростатического отталкивания. Такая нейтронизация вещества приводит к тому, что размер звезды, которая теперь, фактически, представляет собой одно огромное атомное ядро, измеряется несколькими километрами, а плотность в 100 млн раз превышает плотность воды. Такой объект называют нейтронной звездой; его равновесие поддерживается давлением вырожденного нейтронного вещества.

После того как звезда с массой большей, чем пять Солнечных масс, входит в стадию красного [сверхгиганта](#), её ядро под действием сил гравитации начинает сжиматься. По мере сжатия растут температура и плотность, и начинается новая последовательность термоядерных реакций. В таких реакциях синтезируются всё более тяжёлые элементы: гелий, углерод, кислород, кремний и железо, что временно сдерживает коллапс ядра.

В результате по мере образования всё более тяжёлых элементов [Периодической системы](#), из [кремния](#) синтезируется [железо-56](#). На этой стадии дальнейший экзотермический термоядерный синтез становится невозможен, поскольку ядро [железа-56](#) обладает максимальным [дефектом массы](#) и образование более тяжёлых ядер с выделением энергии невозможно. Поэтому когда железное ядро звезды достигает определённого размера, то давление в нём уже не в состоянии противостоять весу вышележащих слоёв звезды, и происходит незамедлительный коллапс ядра с [нейтронизацией](#) его вещества.

То, что происходит далее, пока до конца не ясно, но, в любом случае, происходящие процессы в считанные секунды приводят к взрыву [сверхновой](#) звезды невероятной мощности<sup>[7]</sup>.

Сильные струи нейтрино и вращающееся магнитное поле выталкивают большую часть накопленного звездой материала <sup>[источник не указан 1561 день]</sup> — так называемые [рассадочные элементы](#), включая железо и более лёгкие элементы. Разлетающаяся материя бомбардируется вылетающими из звездного ядра нейтронами, захватывая их и тем самым создавая набор элементов тяжелее железа, включая радиоактивные, вплоть до [урана](#) (а возможно, даже до [калифорния](#)). Таким образом, взрывы сверхновых объясняют наличие в межзвёздном веществе элементов тяжелее железа, но это не есть единственно возможный способ их образования, что, к примеру, демонстрируют [технециевые звёзды](#).

Взрывная волна и струи нейтрино уносят вещество прочь от умирающей звезды <sup>[источник не указан 1561 день]</sup> в межзвёздное пространство. В последующем, остывая и перемещаясь по космосу, этот материал сверхновой может столкнуться с другим космическим «утилем» и, возможно, участвовать в образовании новых звёзд, планет или спутников.

Процессы, протекающие при образовании сверхновой, до сих пор изучаются, и пока в этом вопросе нет ясности. Также под вопросом остаётся момент, что же на самом деле остаётся от изначальной звезды. Тем не менее, рассматриваются два варианта: нейтронные звезды и чёрные дыры.

# Вывод

**Звёздная эволюция** в астрономии — последовательность изменений, которым звезда подвергается в течение её жизни, то есть на протяжении миллионов или миллиардов лет, пока она излучает свет и тепло. В течение таких колоссальных промежутков времени изменения оказываются весьма значительными.

Звезда начинает свою жизнь как холодное разреженное облако межзвёздного газа, сжимающееся под действием гравитационной неустойчивости и постепенно принимающее форму шара. При сжатии энергия гравитационного поля переходит в основном в тепло и излучение, 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<sup>[1]</sup>. В таком состоянии она пребывает большую часть своей жизни, находясь на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Расселла, пока не закончатся запасы топлива в её ядре. Когда в центре звезды весь водород превращается в гелий, образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на периферии ядра.



# ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ:

-развитие звезд:

1) <https://ru.wikipe>