**Физика 2 курс.**

**Преподаватель С.А. Радобенко.**

**Тема 8 «Эволюция Вселенной».**

**Добрый день! Уважаемые студенты, предлагаю вашему вниманию теоретический материал по теме 8.2 «Эволюция звезд»,**

**которая рассчитана на 4 урока.**

**Урок 1.**

**Тема урока:** «Термоядерный синтез. Энергия Солнца и звезд»

**Цель урока:** познакомиться с развитием взглядов науки на строение звезд.

**План урока:**

1. **Повторить теоретический материал по темам: «Наша звездная система- Галактика. Другие Галактики», «Ядерные реакции», «Тепловое излучение»**
2. **Изучить законы термоядерного синтеза Солнца и звезд.**
3. **Познакомиться с современными научными теориями и гипотезами о происхождении и эволюции звезд.**

**План действий:**

1.Изучить теорию и составить конспект.

2.Выполнить задание.

**Литература:** А.В. Фирсов Физика для СПО М. Академия 2014

**https://obuchalka.org/20180622101330/istoriya-dlya-professii-i-specialnostei-tehnicheskogo-estestvenno-nauchnogo-socialno-ekonomicheskogo-profilei-chast-1-artemov-v-v-lubchenkov-u-n-2012.html**

**Теоретический материал.**

**Звезда́** — массивный [газовый](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7) шар, излучающий [свет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82) и удерживаемый в состоянии равновесия силами собственной гравитации и внутренним давлением, в недрах которого происходят (или происходили ранее) реакции термоядерного синтеза[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0#cite_note-1). Ближайшей к [Земле](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F) звездой является [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5) — типичный представитель [спектрального класса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B_%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4) G.

Звёзды образуются из газово-пылевой среды (главным образом из [водорода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) и [гелия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9)) в результате [гравитационного сжатия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C). Температура вещества в недрах звёзд измеряется миллионами [кельвинов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B8%D0%BD), а на их поверхности — тысячами кельвинов.

Энергия подавляющего большинства звёзд выделяется в результате [термоядерных реакций](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) превращения водорода в гелий, происходящих при высоких температурах во внутренних областях.

Звёзды часто называют главными телами [Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), поскольку в них заключена основная масса светящегося вещества в природе. Примечательно, что звёзды имеют отрицательную [теплоёмкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%91%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0#cite_note-2).

**Масса звезд**

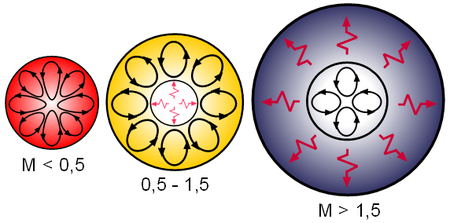
### Достоверно определить массу звезды можно, только если она является компонентом [двойной звезды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0). В этом случае массу можно вычислить, используя обобщённый [третий закон Кеплера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%8B_%D0%9A%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B0). Но даже при этом оценка погрешности составляет от 20 % до 60 % и в значительной степени зависит от погрешности определения расстояния до звезды. Во всех прочих случаях приходится определять массу косвенно, например, из зависимости масса — светимость. Наиболее массивной из известных является [R136a1](https://ru.wikipedia.org/wiki/R136a1), массой в 265 солнечныхмасс.

### Химический состав звезд

Несмотря на то, что доля элементов тяжелее [гелия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9) в химическом составе звёзд исчисляется не более чем несколькими процентами, они играют важную роль в жизни звезды. Благодаря им ядерные реакции могут замедляться или ускоряться, а это отражается как на яркости звезды, так и на цвете и на продолжительности её жизни. Так, чем больше [металличность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C" \o "Металличность) массивной звезды, тем меньше будет остаток при взрыве сверхновой. Наблюдатель, зная химический состав звезды, может довольно уверенно судить о времени образования звезды.

Химический состав звёзд очень сильно зависит от типа звёздного населения и отчасти от массы — у массивных звёзд в недрах полностью отсутствуют элементы тяжелее гелия (в молодом возрасте этих звёзд), жёлтые и красные карлики сравнительно богаты тяжёлыми элементами — они помогают зажечься звёздам при небольшой массе газопылевого облака.

### Структура звезд

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Estrellatipos.png?uselang=ru)

Расположение лучистой зоны и конвекционной в звёздах разной массы

В общем случае у звезды, находящейся на главной последовательности, можно выделить три внутренние зоны: ядро, конвективную зону и зону лучистого переноса.

**Ядро** — это центральная область звезды, в которой идут ядерные реакции.

### Звёздный ветер

Звёздный ветер — процесс истечения [вещества](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) из звёзд в [межзвёздное пространство](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0). Звёздный ветер может играть важную роль в [звёздной эволюции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F): так как в результате этого процесса происходит уменьшение массы звезды, то от его интенсивности зависит срок жизни звезды.

Звёздный ветер является способом переноса вещества на значительные расстояния в космосе. Помимо того, что он сам по себе состоит из вещества, истекающего из звёзд, он может воздействовать на окружающее межзвёздное вещество, передавая ему часть своей [кинетической энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F).

**Физика 2 курс.**

**Преподаватель С.А. Радобенко.**

**Тема 8 «Эволюция Вселенной».**

**Добрый день! Уважаемые студенты, предлагаю вашему вниманию теоретический материал по теме 8.2 «Эволюция звезд»,**

**которая рассчитана на 4 урока.**

**Урок 2.**

**Тема урока:** «Эволюция звезд»

**Цель урока:** познакомиться с развитием взглядов науки на теорию происхождения и эволюцию звезд..

**План урока:**

1. **Повторить теоретический материал по темам: «Наша звездная система- Галактика. Другие Галактики», «Ядерные реакции», «Тепловое излучение», «Энергия Солнца и звезд**»
2. **Изучить законы термоядерного синтеза Солнца и звезд.**
3. **Познакомиться с современными научными теориями и гипотезами о происхождении и эволюции звезд.**

**План действий:**

1.Изучить теорию и составить конспект.

2.Выполнить задание.

**Литература:** А.В. Фирсов Физика для СПО М. Академия 2014

**https://obuchalka.org/20180622101330/istoriya-dlya-professii-i-specialnostei-tehnicheskogo-estestvenno-nauchnogo-socialno-ekonomicheskogo-profilei-chast-1-artemov-v-v-lubchenkov-u-n-2012.html**

**Теоретический материал.**

**Эволюция звезды**

**П**оследовательность изменений, которым [звезда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0) 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7), сжимающееся под действием [гравитационной неустойчивости](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) и постепенно принимающее шаровидную форму. При сжатии энергия [гравитационного поля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) переходит в основном в [тепло](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE) и излучение, и температура объекта возрастает. Когда температура в центре достигает 15—20 миллионов [К](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B8%D0%BD), начинаются [термоядерные реакции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) и сжатие прекращается. Объект становится полноценной звездой.

**1.Первая стадия** жизни звезды подобна солнечной — в ней доминируют реакции водородного цикла[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F#cite_note-1). В таком состоянии она пребывает бо́льшую часть своей жизни.

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar-evolution.png?uselang=ru)

Эволюция звезды класса G на примере [Солнца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5)

**2**.Когда в центре звезды весь [водород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) превращается в [гелий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9), образуется гелиевое ядро, а термоядерное горение водорода продолжается на периферии ядра. В этот период структура звезды начинает меняться. Её светимость растёт, внешние слои расширяются, а температура поверхности снижается — звезда становится одним из [красных гигантов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82). В этом состоянии звезда проводит значительно меньше времени, чем на первой стадиии.

**3**. 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9) — в [углерод](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4), [углерод](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4) — в [кислород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4), [кислород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) — в [кремний](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9), и наконец — [кремний](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9) в [железо](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE)).

Изучение звёздной эволюции невозможно наблюдением лишь за одной звездой — многие изменения в звёздах протекают настолько медленно, что не могут быть замеченными даже по прошествии тысячелетий. Поэтому учёные изучают множество звёзд, каждая из которых находится на определённой стадии жизненного цикла. За последние несколько десятилетий широкое распространение в [астрофизике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0) получило [моделирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) структуры звёзд с использованием [вычислительной техники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

### Образование звёзд

Наиболее массивные звёзды живут сравнительно недолго — несколько миллионов лет. Факт существования таких звёзд означает, что процессы звёздообразования не завершились миллиарды лет назад, а имеют место и в настоящую эпоху.

Звёзды, масса которых многократно превышает массу Солнца, большую часть жизни обладают огромными размерами, высокой светимостью и температурой. Из-за высокой температуры они имеют голубоватый цвет, и поэтому их называют [голубыми сверхгигантами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82). Такие звёзды, нагревая окружающий межзвёздный газ, приводят к образованию газовых туманностей. За свою сравнительно короткую жизнь массивные звёзды не успевают сместиться на значительное расстояние от места своего возникновения, поэтому светлые газовые туманности и голубые сверхгиганты могут рассматриваться в качестве индикаторов тех областей Галактики, где недавно происходило или происходит и сейчас образование звёзд.

Молодые звёзды распределены в пространстве неслучайным образом. Существуют обширные области, где они совсем не наблюдаются, и районы, где их сравнительно много. Больше всего голубых сверхгигантов наблюдается в области Млечного Пути, то есть вблизи плоскости Галактики, там, где концентрация газопылевого межзвёздного вещества особенно высока.

Но и вблизи плоскости Галактики молодые звёзды распределены неравномерно. Они почти никогда не встречаются поодиночке. Чаще всего эти звёзды образуют рассеянные скопления и более разреженные звёздные группировки больших размеров, названные [звёздными ассоциациями](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), которые насчитывают десятки, а иногда и сотни голубых сверхгигантов. Самые молодые из звёздных скоплений и ассоциаций имеют возраст менее 10 млн лет. Почти во всех случаях эти молодые образования наблюдаются в областях повышенной плотности межзвёздного газа. Это указывает на то, что процесс звёздообразования связан с межзвёздным газом.

Примером области звёздообразования является гигантский газовый комплекс в созвездии Ориона. Он занимает на небе практически всю площадь этого созвездия и включает в себя большую массу нейтронного и молекулярного газа, пыли и целый ряд светлых газовых туманностей. Образование звёзд в нём продолжается и в настоящее время.

Процесс формирования звёзд можно описать единым образом, но последующие стадии эволюции звезды почти полностью зависят от её массы, и лишь в самом конце эволюции звезды свою роль может сыграть её химический состав.

### Молодые звёзды малой массы

**Молодые звёзды малой массы (до трёх масс Солнца)** полностью конвективны — процесс [конвекции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) 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. Объекты такого типа ассоциируются со [звёздами типа T Тельца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_T_%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0).

**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.

По мере сжатия звезды начинает расти давление [вырожденного электронного газа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7) 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 масс Солнца** этого не происходит: выделяющейся в ходе ядерных реакций энергии никогда не хватит, чтобы вместе с внутренним давлением газа уравновесить гравитационное сжатие. Такие «недозвёзды» излучают энергии больше, чем ее образуется в процессе термоядерных реакций, их относят к так называемым [коричневым карликам](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA). 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

Молодые звёзды промежуточной массы (от 2 до 8 масс Солнца)качественно эволюционируют точно так же, как и их меньшие сестры и братья. Объекты этого типа ассоциируются с т. н. звёздами [Ae\Be Хербига](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D1%8B_%D0%A5%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%B3%D0%B0_(Ae/Be)" \o "Звёзды Хербига (Ae/Be)) неправильными переменными спектрального класса B—F0.Скорость истечения вещества с поверхности, светимость и [эффективная температура](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) существенно выше, чем для [T Тельца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_T_%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0), поэтому они эффективно нагревают и рассеивают остатки протозвёздного облака.

### Молодые звёзды с массой больше 8 солнечных масс

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 **300масс Солнца**.

## **Середина жизненного цикла звезды**

Среди звёзд встречается широкое многообразие цветов и размеров.

По [спектральному классу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81) они варьируются от горячих голубых до холодных красных, по массе — от 0,0767до около 300Солнечных масс по последним оценкам.

Светимость и цвет звезды зависят от температуры её поверхности, которая в свою очередь определяется её массой.

Маленькие и холодные [красные карлики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA) медленно сжигают запасы [водорода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) и остаются на главной последовательности десятки миллиардов лет.

Массивные [сверхгиганты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82) 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) в ядре, она покидает главную последовательность.

## **Зрелость**

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 прекращению термоядерной реакции.

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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B8%D0%BD) не начнутся термоядерные реакции с участием [гелия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9).

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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82), а фаза горения гелия продолжается около нескольких миллионов лет. Практически все красные гиганты являются [переменными звёздами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0).

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

## **Финальные стадии звёздной эволюции**

### Старые звёзды с малой массой

В настоящее время достоверно неизвестно, что происходит с лёгкими звёздами после истощения запаса водорода в их недрах. Поскольку [возраст Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9) 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9) лишь в некоторых активных зонах, что вызывает их нестабильность и сильные [звёздные ветры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80). В этом случае образования [планетарной туманности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) не происходит, и звезда лишь испаряется, становясь даже меньше, чем [коричневый карлик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA)

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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA), такие как [Проксима Центавра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B0_%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B0" \o "Проксима Центавра), срок пребывания которых на главной последовательности составляет от десятков миллиардов до десятков [триллионов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D0%BD) лет. После прекращения в их ядрах термоядерных реакций, они, постепенно остывая, будут продолжать слабо излучать в инфракрасном и микроволновом диапазонах [электромагнитного спектра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80).

При достижении звездой средней величины (от 0,4 до 3,4 солнечных масс) фазы [красного гиганта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82) в её ядре заканчивается водород, и начинаются реакции синтеза [углерода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4) из [гелия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9). 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 нестабильности, 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»), *OH*или [Мира-подобных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D1%80%D0%B0_(%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0)) звёзд, в зависимости от их точных характеристик. Выбрасываемый газ относительно богат производимыми в недрах звезды тяжёлыми элементами, такими как [кислород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) и [углерод](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4). 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80) [мазеров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80).

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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8). В центре такой туманности остаётся оголенное ядро звезды, в котором прекращаются термоядерные реакции, и оно, остывая, превращается в гелиевый [белый карлик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA), как правило, имеющий массу до 0,5—0,6 солнечных масс и диаметр порядка диаметра [Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F_(%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0)).

Вскоре после [гелиевой вспышки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D1%81%D0%BF%D1%8B%D1%88%D0%BA%D0%B0) «загораются» [углерод](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4) и [кислород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4); каждое из этих событий вызывает серьёзную перестройку тела звезды. Размер атмосферы звезды увеличивается ещё больше, и она начинает интенсивно терять газ в виде разлетающихся потоков [звёздного ветра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80). Судьба центральной части звезды полностью зависит от её исходной массы, — ядро звезды может закончить свою эволюцию как:

* [белый карлик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA) (маломассивные звёзды);
* [нейтронная звезда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0) ([пульсар](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B0%D1%80)), если масса звезды на поздних стадиях эволюции превышает [предел Чандрасекара](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB_%D0%A7%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B0) (1,38 - 1,44 массы Солнца);
* [чёрная дыра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%91%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D1%8B%D1%80%D0%B0), если масса звезды превышает [предел Оппенгеймера — Волкова](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB_%D0%9E%D0%BF%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B3%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0_%E2%80%94_%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0) (2,01 - 2,17 массы Солнца).

В двух последних ситуациях эволюция звёзды завершается катастрофическим событием — вспышкой [сверхновых](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F).

Подавляющее большинство звёзд, и [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5) в том числе, завершают свою эволюцию, сжимаясь до тех пор, пока давление [вырожденных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7) [электронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) не равновесит [гравитацию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F). В этом состоянии, когда размер звезды уменьшается в сотню раз, а плотность становится в миллион раз выше плотности [воды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B0), звезду называют [белым карликом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA). Она лишена источников энергии и, постепенно остывая, становится невидимым [чёрным карликом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%91%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA).

У звёзд более массивных, чем [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5), давление [вырожденных](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7) [электронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) не может остановить дальнейшее сжатие ядра, и электроны начинают «вдавливаться» в [атомные ядра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE), что превращает [протоны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) в [нейтроны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0); его равновесие поддерживается давлением [вырожденного](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7) нейтронного вещества.

После того как звезда с массой большей, чем пять Солнечных масс, входит в стадию красного [сверхгиганта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82), 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2), из [кремния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9) синтезируется [железо-56](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE-56&action=edit&redlink=1). На этой стадии дальнейший экзотермический термоядерный синтез становится невозможен, поскольку ядро [железа-56](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE-56&action=edit&redlink=1) обладает максимальным [дефектом массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B) 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) его вещества.

То, что происходит далее, пока до конца не ясно, но, в любом случае, происходящие процессы в считанные секунды приводят к взрыву [сверхновой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F) звезды невероятной мощности.

Сильные струи нейтрино и вращающееся магнитное поле выталкивают большую часть накопленного звездой материала— 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82)). 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](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0" \o "Технециевая звезда).

Взрывная волна и струи нейтрино уносят вещество прочь от умирающей звезды 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.

#### [Нейтронная звезда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0)

Нейтронная звезда — астрономический объект, являющийся одним из конечных продуктов эволюции звёзд, состоящий, в основном, из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (∼1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов.

Массы нейтронных звёзд сравнимы с массой Солнца, но типичный радиус составляет лишь 10—20 километров. Поэтому средняя плотность вещества такой звезды в несколько раз превышает плотность атомного ядра (которая для тяжёлых ядер составляет в среднем 2,8·1017 кг/м³). Многие нейтронные звёзды обладают чрезвычайно высокой скоростью вращения, до тысячи оборотов в секунду. Считается, что нейтронные звёзды рождаются во время вспышек сверхновых звёзд.

#### [Чёрная дыра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%91%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D1%8B%D1%80%D0%B0)

У звёзд более массивных, чем предшественники нейтронных звёзд, ядра испытывают полный гравитационный коллапс. По мере сжатия такого объекта сила тяжести на его поверхности возрастает настолько, что никакие частицы и даже свет не могут её покинуть, — объект становится невидимым. В его окрестностях существенно изменяются свойства пространства-времени, что описывается [общей теорией относительности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8). Такие объекты называют [чёрными дырами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%91%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D1%8B%D1%80%D0%B0).

**Задание**

**Составьте таблицу «Эволюция звезд»**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Рождение звезды** | **Молодые звезды** | **Середина**  **(зрелость)** | **Старые звезды** | **Новые**  **Сверхновые** |
|  |  |  |  |  |

**Готовую работу отправляйте на электронную почту radobenko.sveta@yandex.ru**

**Спасибо.**