**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.

**Теоретический материал.**

**Эволюция звезды-**это последовательность 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. 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.

**1 стадия** жизни звезды подобна солнечной — в ней доминируют реакции водородного цикла. В таком состоянии она пребывает бо́льшую часть своей жизни.

**2 стадия** наступает 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 стадии.

**3 стадия** наступает 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)).



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

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.

### 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).

**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 термоядерных реакций.

### Молодые звёзды промежуточной массы (от 2 до 8 масс Солнца)качественно эволюционируют точно так же, как и их меньшие сестры. 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_%28Ae/Be%29) 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) 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.

## **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 термоядерных 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.

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.

[Средние звезды](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 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.

## **Финальные стадии звёздной эволюции**

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), 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»). 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.

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_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29).

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-например, Солнце);
* [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 уравновесит [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_%28%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%29). Таким образом, взрывы сверхновых объясняют наличие в межзвёздном веществе элементов тяжелее железа.

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)-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 их радиус составляет лишь 10-20 км. 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**  |

**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**](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)

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

**Спасибо.**

**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. Гипотеза происхождения Солнечной системы»,**

**которая рассчитана на 4 урока.**

**Урок 3.**

**Тема урока:** «Происхождение Солнечной системы»

**Цель урока:** познакомиться с происхождением и строением Солнечной системы.

**План урока:**

1. **Повторить теоретический материал по темам «Строение и развитие Вселенной» и «Эволюция звезд».**
2. **Изучить историю открытия строения Солнечной системы.**
3. **Научиться изображать схему строения Солнечной системы.**

**План действий:**

1.Изучить теорию и составить конспект.

2.Выполнить задание

**Теоретический материал.**

**Со́лнечная систе́ма** — [планетная система](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0), которая включает в себя центральную [звезду](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0) — [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5) и все естественные [космические объекты](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%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), вращающиеся вокруг Солнца. Она сформировалась путём [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%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%BF%D1%81) газопылевого облака примерно 4,57 млрд лет назад.

Общая масса Солнечной системы составляет около 1,0014 [*M*☉](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0)(масс Солнца). Бо́льшая часть её приходится на Солнце; оставшаяся часть практически полностью содержится в восьми отдалённых друг от друга [планетах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0), имеющих близкие к круговым [орбиты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B0), лежащие почти в одной плоскости — плоскости [эклиптики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0). Из-за этого наблюдается противоречащее ожидаемому распределение [момента импульса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B0) между Солнцем и планетами (т. н. «проблема моментов»): всего 2 % общего момента системы приходится на долю Солнца, масса которого в ~740 раз больше общей массы планет, а остальные 98 % — на ~0,001 общей массы Солнечной системы.

Четыре ближайшие к Солнцу планеты,- [планеты земной группы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B_%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D1%8B), —([Меркурий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B9), [Венера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0), [Земля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F) [Марс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81) )— состоят в основном из [силикатов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B_%28%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B%29) и [металлов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D1%8B).

Четыре более удалённые от Солнца- планеты-гиганты ([Юпитер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80), [Сатурн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD), [Уран](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) и [Нептун](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD) намного более массивны, чем [планеты земной группы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B_%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D1%8B).

Крупнейшие планеты Солнечной системы, Юпитер и Сатурн, состоят 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); меньшие гиганты, Уран и Нептун, помимо водорода и гелия, содержат в составе своих атмосфер [метан](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD) и [угарный газ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7).

Шесть планет из восьми и четыре [карликовые планеты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) имеют естественные [спутники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%B2_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5). Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун окружены [кольцами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82) пыли и других частиц.

В Солнечной системе существуют две области, заполненные [малыми телами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B0_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B):

-[Пояс астероидов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%B2), находящийся между Марсом и Юпитером, схож по составу с планетами земной группы, поскольку состоит из силикатов и металлов. Крупнейшими объектами пояса астероидов являются [карликовая планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) [Церера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0) и астероиды [Паллада](https://ru.wikipedia.org/wiki/%282%29_%D0%9F%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B0), [Веста](https://ru.wikipedia.org/wiki/%284%29_%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B0) и [Гигея](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2810%29_%D0%93%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D1%8F).

За орбитой Нептуна располагаются [транснептуновые объекты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), состоящие из [замёрзшей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%91%D0%B4) [воды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B0), [аммиака](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D0%B0%D0%BA) и [метана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD), крупнейшим из которых является [Плутон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BD).

В Солнечной системе существуют и другие популяции малых тел, такие как планетные [квазиспутники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA) и [троянцы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B), [околоземные астероиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B%2C_%D1%81%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B6%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5%D1%81%D1%8F_%D1%81_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%91%D0%B9), [кентавры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B%29), [дамоклоиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B), а также перемещающиеся по системе [кометы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0), [метеороиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4) и [космическая пыль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%8B%D0%BB%D1%8C).

[Солнечный ветер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80) (поток [плазмы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B0) от Солнца) создаёт пузырь в [межзвёздной среде](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), называемый [гелиосферой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0), который простирается до края [рассеянного диска](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA). Гипотетическое [облако Оорта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE_%D0%9E%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0), служащее источником долгопериодических комет, может простираться на расстояние примерно в тысячу раз дальше гелиосферы.

Солнечная система входит в состав [галактики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) [Млечный Путь](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C).

Центральным объектом Солнечной системы является [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5) — [звезда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0) главной последовательности [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) G2V, [жёлтый карлик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D1%91%D0%BB%D1%82%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA). В Солнце сосредоточена подавляющая часть всей массы системы (около 99,866 %), оно удерживает своим тяготением планеты и прочие тела, принадлежащие к Солнечной системе. Четыре крупнейших объекта — [газовые гиганты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%8B) — составляют 99 % оставшейся массы (при этом большая часть приходится на Юпитер и Сатурн — около 90 %).

Большинство крупных объектов, обращающихся вокруг Солнца, движутся практически в одной плоскости, называемой [плоскостью эклиптики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0). В то же время кометы и объекты [пояса Койпера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0) часто обладают большими углами наклона к этой плоскости.

Все планеты и большинство других объектов обращаются вокруг Солнца в одном направлении с вращением Солнца (против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса Солнца). Есть исключения, такие как [комета Галлея](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0_%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%8F). Самой большой [угловой скоростью](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) обладает [Меркурий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B9) — он успевает совершить полный оборот вокруг Солнца всего за 88 земных суток. А для самой удалённой планеты — [Нептуна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD) — период обращения составляет 165 земных лет.

Бо́льшая часть планет вращается вокруг своей оси в ту же сторону, что и обращается вокруг Солнца. Исключения составляют [Венера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0) и [Уран](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29), причём Уран вращается практически «лёжа на боку» (наклон оси около 90°).

Многие модели Солнечной системы условно показывают орбиты планет через равные промежутки, однако в действительности, за малым исключением, чем дальше планета или пояс от Солнца, тем больше расстояние между её орбитой и орбитой предыдущего объекта. Например, Венера приблизительно на 0,33 [а.е.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0) дальше от Солнца, чем Меркурий, в то время как Сатурн на 4,3 а.е. дальше Юпитера, а Нептун на 10,5 а.е. дальше Урана. Были попытки вывести корреляции(зависимости) между орбитальными расстояниями (например, [правило Тициуса — Боде](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%BE_%D0%A2%D0%B8%D1%86%D0%B8%D1%83%D1%81%D0%B0_%E2%80%94_%D0%91%D0%BE%D0%B4%D0%B5)), но ни одна из теорий не стала общепринятой.

Орбиты объектов вокруг Солнца описываются [законами 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). Согласно им, каждый объект обращается по [эллипсу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%BF%D1%81), в одном из фокусов которого находится Солнце. У более близких к Солнцу объектов (с меньшей [*большой полуосью*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BE%D1%81%D1%8C)) больше угловая скорость вращения, поэтому короче период обращения ([год](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%B4)). На эллиптической орбите расстояние объекта от Солнца изменяется в течение его года. Ближайшая к Солнцу точка орбиты объекта называется [*перигелий*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9), наиболее удалённая — [*афелий*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%84%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9). Каждый объект движется быстрее всего в своём перигелии и медленнее всего в афелии. Орбиты планет близки к кругу, но многие кометы, астероиды и объекты пояса Койпера имеют сильно вытянутые эллиптические орбиты.

Большинство планет Солнечной системы обладают собственными подчинёнными системами. Многие окружены [спутниками](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%B2_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5), некоторые из спутников по размеру превосходят Меркурий. Большинство крупных спутников находятся в синхронном вращении, одна их сторона постоянно обращена к планете. Четыре крупнейшие планеты — [газовые гиганты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%8B) — обладают также [кольцами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82), тонкими полосами крошечных частиц, обращающимися по очень близким орбитам практически в унисон.

***Солнечную систему разделяют на регионы***:

**1 регион. Внутренняя часть** **Солнечной системы включает четыре планеты земной группы и пояс астероидов. 2 регион. Внешняя часть** **начинается за пределами пояса астероидов и включает четыре газовых гиганта.**

Планеты внутри области астероидов называют *внутренними*, а вне пояса — *внешними*. Однако иногда, эти термины используются для [нижних](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B) (находящихся внутри земной орбиты) и [верхних](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B) (находящихся за пределами земной орбиты) планет соответственно.

**3 регион. Состоит из объектов, расположенных дальше Нептуна.** Транснептуновые объекты, кометы, пояс Койпера.

**4 регион. Наиболее удаленная часть Солнечной системы.**

Все объекты Солнечной системы, обращающиеся вокруг Солнца, делятся на три категории:

***-планеты*,**

***-карликовые планеты***

***-малые тела Солнечной системы***.

[Планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) — любое тело на орбите вокруг Солнца, оказавшееся достаточно массивным, чтобы приобрести [сферическую](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0) форму, но недостаточно массивным для начала термоядерного синтеза и которое очистило пространство своей орбиты от [планетезималей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C). По этому определению у Солнечной Согласно этому определению в Солнечной системе имеется восемь известных планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Плутон (до 2006 года считавшийся планетой) не соответствует этому определению, поскольку не очистил свою орбиту от окружающих объектов пояса Койпера.

[Карликовая планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) — [небесное тело](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), обращающееся по орбите вокруг Солнца, которое достаточно массивно, чтобы под действием собственных сил гравитации поддерживать близкую к округлой форму; но которое не очистило пространство своей орбиты от [планетезималей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C) и не является спутником планеты. По этому определению у Солнечной системы имеется пять признанных карликовых планет: [Церера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0), [Плутон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BD), [Хаумеа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%B0), [Макемаке](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BA%D0%B5) и [Эрида](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%B0) (другие объекты могут быть классифицированы как карликовые планеты, например, [Седна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2890377%29_%D0%A1%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B0), [Орк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2890482%29_%D0%9E%D1%80%D0%BA) и [Квавар](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2850000%29_%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%80)). Карликовые планеты, чьи орбиты находятся в регионе транснептуновых объектов, называют [*плутоидами*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B8%D0%B4). [Малые тела Солнечной системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B0_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B)-оставшиеся объекты, обращающиеся вокруг Солнца.

Термины ***газ*, *лёд* и *камень*** используют, чтобы описать различные классы веществ, встречающихся повсюду в Солнечной системе.

***Камень*** используется, чтобы описать соединения с высокими температурами [конденсации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) или плавления, которые оставались в [протопланетной туманности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BF%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) в твёрдом состоянии при почти всех условиях. Каменные соединения обычно включают [силикаты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B_%28%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B%29) и металлы, такие как железо и никель. Они преобладают во внутренней части Солнечной системы, формируя большинство планет земной группы и [астероидов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4).

***Газы*** — вещества с чрезвычайно низкими температурами плавления и высоким давлением [насыщенного пара](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%8B%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80), такие как молекулярный [водород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4), [гелий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9) и [неон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BE%D0%BD), которые в туманности всегда были в газообразном состоянии. Они доминируют в средней части Солнечной системы, составляя большую часть Юпитера и Сатурна.

***Льды***таких веществ, как [вода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B0), [метан](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD), [аммиак](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D0%B0%D0%BA), [сероводород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) и углекислый газ имеют температуры плавления до нескольких сотен кельвинов, их [термодинамическая фаза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B0%D0%B7%D0%B0) зависит от окружающего давления и температуры. Они могут встречаться как льды, жидкости или газы в Солнечной системе, в туманности же они были в твёрдой или газовой фазе. Большинство спутников планет-гигантов содержат ледяные субстанции, также они составляют большую часть Урана и Нептуна (так называемых «ледяных гигантов») и многочисленных малых объектов, расположенных за орбитой Нептуна.

**Строение Солнечной системы**

**1 регион.** Внутренняя область Солнечной системы.

[Планеты земной группы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B_%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D1%8B):

1. [Меркурий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B9) 2. [Венера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0) 3. [Земля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F)-[Луна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B0) 4. [Марс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81)-[спутники Марса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B0) ([Фобос](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%81) и [Деймос](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%BE%D1%81))

5. [Пояс астероидов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%B2) 6.[Церера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0)

**2 регион.** Внешняя область Солнечной системы.

[Планеты-гиганты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B-%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%8B):

1. [Юпитер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80)-[спутники Юпитера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0), [кольца Юпитера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0) 2. [Сатурн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD)-[спутники Сатурна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0), [кольца Сатурна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0)

3. [Уран](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29)-[спутники Урана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0), [кольца Урана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0) 4. [Нептун](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD)-[спутники Нептуна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%B0), [кольца Нептуна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%B0)

**3 регион.** [Транснептуновые объекты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82).

1.[Кометы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0) 2.[Кентавры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B%29) 3.[Пояс Койпера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0) 4.[Плутон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BD)-[спутники Плутона](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%9F%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0) 5.[Хаумеа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%B0)-[спутники Хаумеа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A5%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%B0) 6.[Макемаке](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BA%D0%B5)-[S/2015 (136472) 1](https://ru.wikipedia.org/wiki/S/2015_%28136472%29_1) 7.[Рассеянный диск](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA) 8.[Эрида](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%B0) 9.[Дисномия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29)

**4регион.** Отдалённые области.

1.[Гелиосфера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0) 2.[Облако Оорта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE_%D0%9E%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0) 3.[Седна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2890377%29_%D0%A1%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B0)

Для облегчения запоминания названий и порядка следования планет и объектов можно применять различные [мнемонические](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0#%D0%9D%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1) приёмы.



[Прохождение Венеры по диску Солнца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%8B_%D0%BF%D0%BE_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B0)

**Солнце** — звезда Солнечной системы и её главный компонент. Его масса (332 900 масс Земли)достаточно велика для поддержания [термоядерной реакции](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) в его недрах, при которой высвобождается большое количество энергии, излучаемой в [пространство](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) в основном в виде [электромагнитного излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), максимум которого приходится на диапазон длин волн 400—700 нм, соответствующий [видимому свету](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). По звёздной классификации Солнце — типичный [жёлтый карлик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D1%91%D0%BB%D1%82%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA) [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) G2. Это название может ввести в заблуждение, так как по сравнению с большинством звёзд в нашей Галактике Солнце — довольно большая и яркая звезда. Класс звезды определяется её положением на [диаграмме Герцшпрунга — Рассела](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86%D1%88%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B0_%E2%80%94_%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B0), которая показывает зависимость между яркостью звёзд и температурой их поверхности. Обычно более горячие звёзды являются более яркими. Бо́льшая часть звёзд находится на так называемой [главной последовательности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) этой диаграммы, Солнце расположено примерно в середине этой последовательности. Более яркие и горячие, чем Солнце, звёзды сравнительно редки, а более тусклые и холодные звёзды ([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)) встречаются часто, составляя 85 % звёзд в Галактике.

Положение Солнца на главной последовательности показывает, что оно ещё не исчерпало свой запас водорода для ядерного синтеза и находится примерно в середине своей эволюции. Сейчас Солнце постепенно становится более ярким, на более ранних стадиях развития его яркость составляла лишь 70 % от сегодняшней.

Солнце — звезда I типа [звёздного населения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), оно образовалось на сравнительно поздней ступени развития Вселенной и поэтому характеризуется бо́льшим содержанием элементов тяжелее [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 астрономии принято называть такие элементы «[металлами](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)»), чем более старые звёзды II типа. Элементы более тяжёлые, чем водород и гелий, формируются в ядрах первых звёзд, поэтому, прежде чем Вселенная могла быть обогащена этими элементами, должно было пройти первое поколение звёзд. Самые старые звёзды содержат мало металлов, а более молодые звёзды содержат их больше. Предполагается, что высокая металличность была крайне важна для образования у Солнца [планетной системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0), потому что планеты формируются [аккрецией](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B8%D1%8F) «металлов». **(Аккре́ция** — процесс приращения массы небесного тела путём гравитационного притяжения материи (обычно газа) на него из окружающего пространства. Для неподвижной относительно тела газовой среды **аккреция** сферически симметрична.)

Наряду со [светом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), Солнце излучает непрерывный поток заряженных частиц (плазмы), известный как [солнечный ветер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80). Этот поток частиц распространяется со скоростью примерно 1,5 млн км в час, наполняя околосолнечную область и создавая у Солнца некий аналог планетарной атмосферы (гелиосферу), которая имеется на расстоянии по крайней мере 100 а.е. от Солнца. Она известна как [межпланетная среда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0). Проявления [активности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) на поверхности Солнца, такие как [солнечные вспышки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D1%81%D0%BF%D1%8B%D1%88%D0%BA%D0%B0) и [корональные выбросы массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D1%8B%D0%B1%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B), возмущают гелиосферу, порождая [космическую погоду](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0). Крупнейшая структура в пределах гелиосферы — [гелиосферный токовый слой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B9)-спиральная поверхность, созданная воздействием вращающегося магнитного поля Солнца на межпланетную среду.

[Магнитное поле Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8) мешает солнечному ветру сорвать [атмосферу Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8). Венера и Марс не имеют магнитного поля, и в результате солнечный ветер постепенно сдувает их атмосферы в космос. Корональные выбросы массы и подобные явления изменяют магнитное поле и выносят огромное количество вещества с поверхности Солнца — порядка 109—1010 тонн в час. Взаимодействуя с магнитным полем Земли, это вещество попадает преимущественно в верхние приполярные слои атмосферы Земли, где от такого взаимодействия возникают [полярные сияния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5), наиболее часто наблюдаемые около [магнитных полюсов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%81).

Гелиосфера и, в меньшей степени, планетарные магнитные поля частично защищают Солнечную систему от внешних воздействий-космических лучей в [межзвёздной среде](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). Сила магнитного поля Солнца изменяется с течением времени, таким образом, уровень космического излучения в Солнечной системе непостоянен.

Межпланетная среда является местом формирования, по крайней мере, двух дископодобных областей [космической пыли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%8B%D0%BB%D1%8C). Первая, зодиакальное пылевое облако, находится во внутренней части Солнечной системы и является причиной, по которой возникает [зодиакальный свет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82). Вероятно, она возникла из-за столкновений в пределах пояса астероидов, вызванных взаимодействиями с планетами. Вторая область простирается приблизительно от 10 до 40 а.е. и, вероятно, возникла после подобных столкновений между объектами в пределах [пояса Койпера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0).

**Внутренняя область Солнечной системы** включает планеты земной группы и астероиды. Состоящие главным образом из [силикатов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B_%28%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B%29) и металлов, объекты внутренней области относительно близки к Солнцу, это самая малая часть системы — её радиус меньше, чем расстояние между орбитами Юпитера и Сатурна.



Слева направо: [Меркурий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B9), [Венера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0), [Земля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F) и [Марс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81).

Четыре ближайшие к Солнцу планеты, называемые планетами земной группы, состоят преимущественно из тяжёлых элементов, имеют малое количество [спутников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%B2_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5), у них отсутствуют [кольца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82). В значительной степени они состоят из тугоплавких минералов, таких как силикаты, которые формируют их [мантию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%8F_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8) и [кору](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0), и металлов, таких как [железо](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BE) и [никель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D1%8C), которые формируют их [ядро](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D1%80%D0%BE_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8). У трёх из этих планет — Венеры, Земли и Марса — имеется [атмосфера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0); у всех есть [ударные кратеры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80) и [тектонические](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) детали рельефа, такие как [рифтовые](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D1%84%D1%82) впадины и [вулканы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD).

1.[***Меркурий***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B9) (0,4 а.е. от Солнца) является ближайшей планетой к Солнцу и наименьшей планетой системы (0,055 массы Земли). У планеты нет спутников. Характерными деталями рельефа его поверхности, помимо ударных кратеров, являются многочисленные лопастевидные уступы, простирающиеся на сотни километров. Считается, что они возникли в результате приливных деформаций на раннем этапе истории планеты во время, когда периоды обращения Меркурия вокруг оси и вокруг Солнца не вошли в резонанс. Меркурий имеет крайне разреженную атмосферу, она состоит из атомов, «выбитых» с поверхности планеты солнечным ветром. Относительно большое железное ядро Меркурия и его тонкая кора ещё не получили удовлетворительного объяснения. Имеется гипотеза, предполагающая, что внешние слои планеты, состоящие из лёгких элементов, были сорваны в результате гигантского столкновения, в результате которого размеры планеты уменьшились. Альтернативно излучение молодого Солнца могло помешать полной аккреции вещества.

2.[***Венера***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0) близка по размеру к Земле (0,815 земной массы) и как Земля, имеет толстую силикатную оболочку вокруг железного ядра и атмосферу (из-за этого Венеру нередко называют «сестрой» Земли). Имеются также свидетельства её внутренней геологической активности. Однако количество воды на Венере гораздо меньше земного, а её атмосфера в 90 раз плотнее. У Венеры нет спутников. Это самая горячая планета нашей системы, температура её поверхности превышает 400 °C. Наиболее вероятной причиной столь высокой температуры является [парниковый эффект](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82), возникающий из-за плотной атмосферы, богатой углекислым газом. Явных признаков современной геологической активности на Венере не обнаружено, но, так как у неё нет магнитного поля, которое предотвратило бы истощение её плотной атмосферы, это позволяет допустить, что её атмосфера регулярно пополняется вулканическими извержениями. 3.[***Земля***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F) является крупнейшей и самой плотной из планет земной группы. У Земли наблюдается [тектоника плит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82). Среди планет земной группы Земля является уникальной (прежде всего, за счёт [гидросферы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0)). [Атмосфера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0) Земли радикально отличается от атмосфер других планет — она содержит свободный [кислород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4). У Земли есть один естественный спутник — [Луна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B0), единственный большой спутник планет земной группы Солнечной системы.

4.[***Марс***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81) меньше Земли и Венеры (0,107 массы Земли). Он обладает атмосферой, состоящей главным образом из [углекислого газа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0), с поверхностным давлением 6,1 [мбар](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80_%28%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29) (0,6 % от земного). На его поверхности есть вулканы, самый большой из которых, [Олимп](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%BF_%28%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%29), превышает размерами все земные вулканы, достигая высоты 21,2 км. Рифтовые впадины наряду с вулканами свидетельствуют о былой геологической активности, которая, по некоторым данным, продолжалась даже в течение последних 2 млн лет. Красный цвет поверхности Марса вызван большим количеством [оксида железа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%82) в его грунте. У планеты есть два спутника — [Фобос](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%81) и [Деймос](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%BE%D1%81). Предполагается, что они являются захваченными астероидами. На сегодняшний день Марс — самая подробно изученная планета Солнечной системы.

5.[***Пояс астероидов***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%B2)



[Пояс астероидов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%B2) (белый цвет) и [троянские астероиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0) (зелёный цвет)

[Астероиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4) — самые распространённые [малые тела Солнечной системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B0_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B).

Пояс астероидов занимает орбиту между Марсом и Юпитером, между 2,3 и 3,3 а.е. от Солнца. Выдвигались [гипотезы о существовании планеты между Марсом и Юпитером](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D1%8B_%D0%BE_%D1%81%D1%83%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%BC_%D0%B8_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC) (например, гипотетической планеты [Фаэтон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D1%8D%D1%82%D0%BE%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29)), которая на ранних этапах формирования Солнечной системы разрушилась так, что её осколки стали астероидами, сформировавшими пояс астероидов. Согласно современным воззрениям, астероиды — это остатки формирования Солнечной системы ([планетозималей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C)), которые были не в состоянии объединиться в крупное тело из-за гравитационных возмущений Юпитера.

Размеры астероидов варьируются от нескольких метров до сотен километров. Все астероиды классифицированы как [малые тела Солнечной системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B0_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B), но некоторые тела, в настоящее время классифицированные как астероиды, например, [Веста](https://ru.wikipedia.org/wiki/%284%29_%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B0) и [Гигея](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2810%29_%D0%93%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D1%8F), могут быть переклассифицированы как карликовые планеты, если будет показано, что они поддерживают [гидростатическое равновесие](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%B8%D0%B5). Пояс содержит десятки тысяч, возможно, миллионы объектов больше одного километра в диаметре. Несмотря на это, общая масса астероидов пояса вряд ли больше одной тысячной массы Земли. [Небесные тела](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82) с диаметрами от 100 мкм до 10 м называют [метеороидами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4). Частицы ещё меньше считаются [космической пылью](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%8B%D0%BB%D1%8C).

Пояс астероидов также содержит кометы основного пояса астероидов, которые, возможно, были источником воды на Земле.

[Троянские астероиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0) расположены в точках Лагранжа [L4 и L5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8_%D0%9B%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B6%D0%B0#L4_%D0%B8_L5) Юпитера (гравитационно устойчивые регионы влияния планеты, перемещающиеся совместно с ней по её орбите).

Также во внутренней Солнечной системе имеются группы астероидов с орбитами, расположенными от Меркурия до Марса. Орбиты многих из них пересекают орбиты внутренних планет.

##### 6.[***Церера***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0) (2,77 а.е.) — [карликовая планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) и крупнейшее тело пояса астероидов. Церера имеет диаметр немногим менее 1000 км и достаточную массу, чтобы под действием собственной гравитации поддерживать сферическую форму. После открытия Цереру классифицировали как планету, однако поскольку дальнейшие наблюдения привели к обнаружению поблизости от Цереры ряда астероидов, в 1850-х её отнесли к астероидам. Повторно она была классифицирована как карликовая планета в 2006 году.

**Внешняя область Солнечной системы** является местом нахождения газовых гигантов и их спутников, а также транснептуновых объектов, астероидно-кометно-газовых пояса Койпера, Рассеянного диска и облака Оорта. Орбиты многих короткопериодических комет, а также астероидов-[кентавров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B%29), также проходят в этой области. Твёрдые объекты этой области из-за их большего расстояния от Солнца, а значит, гораздо более низкой температуры, содержат льды [воды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B0), [аммиака](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D0%B0%D0%BA) и [метана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD). Есть гипотезы о существовании во внешней области планеты [Тюхе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%8E%D1%85%D0%B5_%28%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) и, возможно, каких-либо других «[Планет X](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0_X)», а также звезды-спутника Солнца [Немезиды](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%B4%D0%B0_%28%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0%29).

[***Планеты-гиганты***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%8B-%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82%D1%8B)

Слева направо: [Юпитер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80), [Сатурн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD), [Уран](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) и [Нептун](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD)

Четыре планеты-гиганта, также называемые [газовыми гигантами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0), все вместе содержат 99 % массы вещества, обращающегося на орбитах вокруг Солнца. Юпитер и Сатурн преимущественно состоят из водорода и гелия; Уран и Нептун обладают бо́льшим содержанием льда в их составе. Некоторые астрономы из-за этого классифицируют их в собственной категории — «ледяные гиганты». У всех четырёх планет-гигантов имеются [кольца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82), хотя только кольцевая система Сатурна легко наблюдается с Земли. [***Юпитер***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80) обладает массой в 318 раз больше земной, и в 2,5 раза массивнее всех остальных планет, вместе взятых. Он состоит 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). Высокая внутренняя температура Юпитера вызывает множество полупостоянных вихревых структур в его атмосфере, таких как полосы облаков и [Большое красное пятно](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B5_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE). У Юпитера имеется [79 спутников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%AE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0). Четыре крупнейших — [Ганимед](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%B4_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Каллисто](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Ио](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) и [Европа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) — схожи с планетами земной группы такими явлениями, как вулканическая активность и внутренний нагрев. Ганимед, крупнейший спутник в Солнечной системе, превосходит по размеру Меркурий. [***Сатурн***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD), известный своей обширной [системой колец](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B0_%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0), имеет несколько схожие с Юпитером структуру атмосферы и магнитосферы. Хотя объём Сатурна составляет 60 % юпитерианского, масса (95 масс Земли) — меньше трети юпитерианской; таким образом, Сатурн — наименее плотная планета Солнечной системы (его средняя плотность меньше плотности воды и даже [бензина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D0%BD)). У Сатурна имеется [82 подтверждённых спутника](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A1%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0); два из них — [Титан](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) и [Энцелад](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) — проявляют признаки геологической активности. Активность эта, однако, не схожа с земной, поскольку в значительной степени обусловлена [активностью льда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B2%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC). Титан, превосходящий размерами Меркурий, — единственный спутник в Солнечной системе с существенной атмосферой. [***Уран***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) с массой в 14 раз больше, чем у Земли, является самой лёгкой из планет-гигантов. Уникальным среди других планет его делает то, что он вращается «лёжа на боку»: плоскость экватора Урана наклонена к плоскости его орбиты примерно на 98°. Если другие планеты можно сравнить с вращающимися волчками, то Уран больше похож на катящийся шар. Он имеет намного более холодное ядро, чем другие газовые гиганты, и излучает в космос очень мало тепла. У Урана открыты [27 спутников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0):

крупнейшие — [Титания](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Оберон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BD_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Умбриэль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B8%D1%8D%D0%BB%D1%8C_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Ариэль](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B8%D1%8D%D0%BB%D1%8C_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) и [Миранда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29).

##### [***Нептун***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD), хотя и немного меньше Урана, более массивен (17 масс Земли) и поэтому более плотный. Он излучает больше внутреннего тепла, но не так много, как Юпитер или Сатурн.У Нептуна имеется [14 известных спутников](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%B0). Крупнейший — [Тритон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BD_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), является геологически активным, с [гейзерами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%B7%D0%B5%D1%80) жидкого азота. Тритон — единственный крупный спутник, движущийся в обратном направлении. Также Нептун сопровождается [астероидами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4), называемыми [*троянцы Нептуна*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%B0)*.*

##### [***Девятая планета***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%8F%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0)20 января 2016 года астрономы из Калифорнийского технологического института [Майкл Браун](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D0%B0%D1%83%D0%BD%2C_%D0%9C%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D0%BB_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%29) и [Константин Батыгин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%82%D1%8B%D0%B3%D0%B8%D0%BD%2C_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD) объявили о возможной девятой планете на окраине Солнечной системы, за пределами орбиты Плутона. Планета примерно в десять раз массивнее, чем Земля, удалена от Солнца примерно в 20 раз дальше, чем [Нептун](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD) (90 миллиардов километров), и делает оборот вокруг Солнца за 10 000—20 000 лет. По мнению Майкла Брауна, вероятность того, что эта планета реально существует, «возможно, 90 %». Пока учёные называют эту гипотетическую планету просто «Девятая планета».

#### [**Комет**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0)**ы**



Кометы — малые тела Солнечной системы, обычно размером всего в несколько километров, состоящие главным образом из летучих веществ (льдов). Их орбиты имеют большой [эксцентриситет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82), как правило, с перигелием в пределах орбит внутренних планет и афелием далеко за Плутоном. Когда комета входит во внутреннюю область Солнечной системы и приближается к Солнцу, её ледяная поверхность начинает испаряться и [ионизироваться](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), создавая [кому](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B0_%28%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) — длинное облако из газа и пыли, часто видимое с Земли невооружённым глазом.

Короткопериодические кометы имеют период меньше 200 лет. Период же долгопериодических комет может равняться тысячам лет. Полагают, что источником короткопериодических служит пояс Койпера, в то время как источником долгопериодических комет, таких как [комета Хейла — Боппа](https://ru.wikipedia.org/wiki/C/1995_O1_%28%D0%A5%D0%B5%D0%B9%D0%BB%D0%B0_%E2%80%94_%D0%91%D0%BE%D0%BF%D0%BF%D0%B0%29), считается [облако Оорта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE_%D0%9E%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0). Некоторые кометы с гиперболическими орбитами могут быть из-за пределов Солнечной системы, но определение их точных орбит затруднено. Старые кометы, у которых большая часть их летучих веществ уже испарилась, часто классифицируют как астероиды.

##### [***Пояс Койпера***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0)



Известные объекты пояса Койпера (зелёные), показанные относительно четырёх внешних планет.

#### [**Кентавры (астероиды)**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D1%8B%29) — ледяные кометоподобные объекты с большой полуосью орбиты, большей, чем у Юпитера (5,5 а.е.), и меньшей, чем у Нептуна (30 а.е.). У крупнейшего из известных кентавров, [Харикло](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2810199%29_%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%BE), диаметр приблизительно равен 250 км. Первый обнаруженный кентавр, [Хирон](https://ru.wikipedia.org/wiki/%282060%29_%D0%A5%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%BD), также классифицирован как комета (95P), из-за того что по мере приближения к Солнцу у него возникает кома, как и у комет.

#### [**Транснептуновые объекты**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82)**.**Пространство за Нептуном, или «регион транснептуновых объектов», всё ещё в значительной степени не исследовано. Предположительно, оно содержит только малые тела, состоящие главным образом из камней и льда. Этот регион иногда также включают во «внешнюю Солнечную систему», хотя чаще этот термин используют, чтобы обозначать пространство за поясом астероидов и до орбиты Нептуна.

Пояс Койпера — область реликтов времён образования Солнечной системы, является большим поясом осколков, подобным поясу астероидов, но состоит в основном изо льда. Простирается между 30 и 55 а.е. от Солнца. Составлен главным образом малыми телами Солнечной системы, но многие из крупнейших объектов пояса Койпера, такие как [Квавар](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2850000%29_%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%80), [Варуна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2820000%29_%D0%92%D0%B0%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%B0) и [Орк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%2890482%29_%D0%9E%D1%80%D0%BA), могут быть переклассифицированы в карликовые планеты после уточнения их параметров. По оценкам, более 100 000 объектов пояса Койпера имеют диаметр больше 50 км, но полная масса пояса равна только одной десятой или даже одной сотой массы Земли. Многие объекты пояса обладают множественными спутниками, и у большинства объектов орбиты располагаются вне плоскости эклиптики.

###### Плутон — [карликовая планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0), крупнейший известный объект пояса Койпера. После обнаружения в 1930 году считался девятой планетой; положение изменилось в 2006 году с принятием формального определения планеты. У Плутона умеренный эксцентриситет орбиты с наклонением в 17 градусов к плоскости эклиптики, и он то приближается к Солнцу на расстояние 29,6 а.е., оказываясь к нему ближе Нептуна, то удаляется на 49,3 а.е. Неясна ситуация с крупнейшим спутником Плутона — [Хароном](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BD_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29): продолжит ли он классифицироваться как спутник Плутона или будет переклассифицирован в карликовую планету. Поскольку [центр масс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81) системы Плутон — Харон находится вне их поверхностей, они могут рассматриваться в качестве двойной планетной системы. Четыре меньших спутника — [Никта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%B0_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Гидра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%B0_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29), [Кербер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B5%D1%80_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) и [Стикс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%81_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29) — обращаются вокруг Плутона и Харона.

###### Farout (Далёкий)— [транснептуновый объект](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), расположенный на расстоянии 120 а.е. от [Солнца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5). Открыт в ноябре 2018 года американскими астрономами под руководством доктора [Скотта Шеппарда](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B5%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B4%2C_%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%82%D1%82) из Научного института Карнеги. Является самым дальним объектом солнечной системы: это уже не [пояс Койпера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0), а так называемая [область рассеянного диска](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA). Farout намного меньше Плутона: его диаметр — около 500 км. Обладает достаточной массой, чтобы сила гравитации придала объекту сферическую форму. Все это позволяет претендовать Далёкому на звание [карликовой планеты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0).

###### Хаумеа — [карликовая планета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0). Имеет сильно вытянутую форму и период вращения вокруг своей оси около 4 часов. [Два спутника](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%A5%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%B0) и ещё по крайней мере восемь транснептуновых объектов являются частью семейства Хаумеа, которое сформировалась миллиарды лет назад из ледяных осколков, после того как большое столкновение разрушило ледяную мантию Хаумеа. Орбита карликовой планеты обладает большим наклонением — 28°.

###### Макемаке — первоначально обозначался как 2005 FY9, в 2008 году получил имя и был объявлен карликовой планетой. В настоящее время является вторым по видимой яркости в поясе Койпера после Плутона. Крупнейший из известных [классических объектов пояса Койпера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D0%B9%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0). Имеет диаметр от 50 до 75 % диаметра Плутона, орбита наклонена на 29°[[110]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0#cite_note-Buie-110), [эксцентриситет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) около 0,16. У Макемаке открыт один спутник: [S/2015 (136472) 1](https://ru.wikipedia.org/wiki/S/2015_%28136472%29_1).

##### [***Рассеянный диск***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA) частично перекрывается с поясом Койпера, но простирается намного далее за его пределы и, как предполагают, является источником короткопериодических комет. Предполагают, что объекты рассеянного диска были выброшены на беспорядочные орбиты гравитационным влиянием Нептуна в период его миграции на ранней стадии формирования Солнечной системы: одна из концепций базируется на предположении о том, что Нептун и Уран сформировались ближе к Солнцу, чем они есть сейчас, а затем переместились на свои современные орбиты. Многие объекты рассеянного диска (SDO) имеют перигелий в пределах пояса Койпера, но их афелий может простираться до 150 а.е. от Солнца. Некоторые астрономы полагают, что рассеянный диск — это «рассеянные объекты пояса Койпера».

###### Эрида (68 а.е. в среднем) — крупнейший известный объект рассеянного диска. Так как её диаметр первоначально был оценён в 2400 км, то есть по крайней мере на 5 % больше, чем у Плутона, то её открытие породило споры о том, что именно следует называть планетой. Она является одной из крупнейших известных карликовых планет. У Эриды имеется один спутник — [Дисномия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%28%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%29). Как и у Плутона, её орбита является чрезвычайно вытянутой.

Вопрос о том, где именно заканчивается Солнечная система и начинается межзвёздное пространство, неоднозначен. Ключевыми в их определении принимают два фактора: солнечный ветер и солнечное [тяготение](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). Внешняя граница солнечного ветра — гелиопауза, за ней солнечный ветер и межзвёздное вещество смешиваются, взаимно растворяясь. Гелиопауза находится примерно в четыре раза дальше Плутона и считается началом [межзвёздной среды](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). Однако предполагают, что область, в которой гравитация Солнца преобладает над галактической — [сфера Хилла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%A5%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B0), простирается в тысячу раз дальше.

#### [**Гелиосфера**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0)**.** Межзвёздная среда в окрестностях Солнечной системы неоднородна. Наблюдения показывают, что Солнце движется со скоростью около 25 км/с сквозь [Местное межзвёздное облако](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE) и может покинуть его в течение следующих 10 тысяч лет. Большую роль во взаимодействии Солнечной системы с [межзвёздным веществом](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) играет [солнечный ветер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80). Наша планетная система существует в крайне разреженной «атмосфере» [солнечного ветра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80) — потока заряженных частиц (в основном [водородной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) и [гелиевой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9) [плазмы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B0)), с огромной скоростью истекающих из [солнечной короны](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0). Средняя скорость солнечного ветра, наблюдаемая на Земле, составляет 450 км/с. Эта скорость превышает скорость распространения [магнитогидродинамических волн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B), поэтому при взаимодействии с препятствиями плазма солнечного ветра ведёт себя аналогично сверхзвуковому потоку газа. По мере удаления от Солнца, плотность солнечного ветра ослабевает, и наступает момент, когда он оказывается более не в состоянии сдерживать давление межзвёздного вещества. В процессе столкновения образуется несколько переходных областей.

Сначала солнечный ветер тормозится, становится более плотным, тёплым и [турбулентным](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C). Момент этого перехода называется *границей ударной волны* и находится на расстоянии около 85—95 [а.е.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0) от Солнца. Ещё приблизительно через 40 а.е. солнечный ветер сталкивается с межзвёздным веществом и окончательно останавливается. Эта граница, отделяющая межзвёздную среду от вещества Солнечной системы, называется *гелиопаузой*. По форме она похожа на пузырь, вытянутый в противоположную движению Солнца сторону. Область пространства, ограниченная гелиопаузой, называется *гелиосферой*.

Согласно данным аппаратов «[Вояджер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D1%80)», ударная волна с южной стороны оказалась ближе, чем с северной (73 и 85 астрономических единиц соответственно). Согласно первым предположениям, асимметричность гелиопаузы может быть вызвана действием сверхслабых магнитных полей в межзвёздном пространстве [Галактики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C).

По другую сторону гелиопаузы, на расстоянии порядка 230 а.е. от Солнца, вдоль [*головной ударной волны*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0) происходит торможение с космических скоростей налетающего на Солнечную систему межзвёздного вещества.

Ни один космический корабль ещё не вышел из гелиопаузы, таким образом, невозможно знать наверняка условия в [местном межзвёздном облаке](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE). Ожидается, что «[Вояджеры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D1%80)» пройдут гелиопаузу приблизительно между 2014 и 2027 годами и передадут ценные данные относительно уровней излучения и солнечного ветра. Недостаточно ясно, насколько хорошо гелиосфера защищает Солнечную систему от космических лучей.

В июне 2011 года было объявлено, что благодаря исследованиям «Вояджеров» стало известно, что [магнитное поле](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5) на границе Солнечной системы имеет структуру, похожую на пену. Это происходит из-за того, что намагниченные материя и мелкие космические объекты образуют местные магнитные поля, которые можно сравнить с пузырями.

[***Облако Оорта***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE_%D0%9E%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0)



Рисунок, иллюстрирующий предполагаемый вид облака Оорта

Гипотетическое облако Оорта — сферическое облако ледяных объектов (вплоть до триллиона), служащее источником долгопериодических [комет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0). Предполагаемое расстояние до внешних границ облака Оорта от [Солнца](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5) составляет от 50 000 а.е. (приблизительно 0,75 [светового года](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D0%BE%D0%B4)) до 100 000 а.е. (1,5 св. лет). Полагают, что составляющие облако объекты сформировались около Солнца и были рассеяны далеко в космос гравитационными эффектами [планет-гигантов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0) на раннем этапе развития Солнечной системы. Объекты облака Оорта перемещаются очень медленно и могут испытывать взаимодействия, нехарактерные для внутренних объектов системы: редкие столкновения друг с другом, гравитационное воздействие проходящей рядом звезды, действие галактических [приливных сил](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B). Есть также неподтверждённые гипотезы о существовании у внутренней границы облака Оорта (30 тыс. а.е.) планеты-газового гиганта [Тюхе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%8E%D1%85%D0%B5_%28%D0%B3%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29) и, возможно, каких-либо других «[Планет X](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0_X)» в облаке, в том числе согласно [гипотезе о вытолкнутом пятом газовом гиганте](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0_%D0%BE_%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%BC_%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BC_%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B5). Согласно общепринятой в настоящее время гипотезе, формирование Солнечной системы началось около 4,6 млрд лет назад с гравитационного сжатия небольшой части гигантского межзвёздного [газопылевого облака](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE). Это начальное облако было, вероятно, размером в несколько световых лет и являлось прародителем для нескольких звёзд. В процессе сжатия размеры газопылевого облака уменьшались и, в силу [закона сохранения углового момента](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B0), росла скорость вращения облака. Центр, где собралась большая часть массы, становился всё более и более горячим, чем окружающий диск. Из-за вращения скорости сжатия облака параллельно и перпендикулярно оси вращения различались, что привело к уплощению облака и формированию характерного [протопланетного диска](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA) диаметром примерно 200 а.е. и горячей, плотной [протозвездой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0) в центре. Считается, что на этой стадии [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) Солнце было [звездой 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), окруженное протопланетными дисками с массами 0,001—0,1 [солнечной массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0), с подавляющим процентом массы туманности, сосредоточенным непосредственно в звезде. Планеты сформировались путём [аккреции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%86%D0%B8%D1%8F) из этого диска. В течение 50 млн лет давление и плотность [водорода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) в центре протозвезды стали достаточно высокими для начала [термоядерной реакции](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). Температура, скорость реакции, давление и плотность увеличивались, пока не было достигнуто [гидростатическое равновесие](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%B8%D0%B5) с тепловой энергией, противостоящей силе гравитационного сжатия. На этом этапе Солнце стало полноценной звездой [главной последовательности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C). Солнечная система просуществует, пока Солнце не начнёт развиваться вне главной последовательности [диаграммы Герцшпрунга — Рассела](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86%D1%88%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B0_%E2%80%94_%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B0). Поскольку Солнце сжигает запасы водородного топлива, выделяющаяся энергия, поддерживающая ядро, имеет тенденцию к исчерпанию, заставляя Солнце сжиматься. Это увеличивает давление в его недрах и нагревает ядро, таким образом ускоряя сжигание топлива. В результате Солнце становится ярче примерно на десять процентов каждые 1,1 млрд лет и станет ещё на 40 % ярче в течение следующих 3,5 млрд лет. Приблизительно через 7млрд лет с настоящего времени [водород](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4) в солнечном ядре будет полностью преобразован в [гелий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9), что завершит фазу [главной последовательности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C); Солнце станет [субгигантом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%B1%D0%B3%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%82). Ещё через 600 млн лет внешние слои Солнца расширятся примерно в 260 раз по сравнению с нынешними размерами — Солнце перейдёт на стадию [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). Из-за чрезвычайно увеличившейся площади поверхности она будет гораздо более прохладной, чем при нахождении на главной последовательности (2600 К). Резко увеличившись, Солнце, как ожидается, поглотит ближайшие планеты Меркурий и Венеру. Земля, возможно, избежит поглощения внешними солнечными оболочками, но станет совершенно безжизненной, поскольку [обитаемая зона](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0) сместится к внешним краям Солнечной системы. В конечном итоге, в результате развития термических неустойчивостей, внешние слои Солнца будут выброшены в окружающее пространство, образовав [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%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), в центре которой останется лишь небольшое звёздное ядро — [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), необычно плотный объект в половину первоначальной массы Солнца, но размером только с Землю. Эта туманность возвратит часть материала, который сформировал Солнце, в межзвёздную среду.

[*История исследования Солнечной системы*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B)*.* То обстоятельство, что наблюдать движения небесных светил человек был вынужден с поверхности вращающейся вокруг своей оси и движущейся по орбите Земли, на протяжении многих столетий препятствовало осознанию структуры Солнечной системы. [Видимые движения Солнца и планет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B0_%D0%B8_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%BF%D0%BE_%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5) воспринимались как их истинные движения вокруг неподвижной Земли. На протяжении долгого времени господствующей была [геоцентрическая](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%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_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0) модель Солнечной системы, в соответствии с которой в центре вселенной покоится неподвижная Земля, а вокруг неё по достаточно сложным законам движутся все небесные тела. Наиболее полно эта система была разработана античным математиком и астрономом [Клавдием Птолемеем](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B8%D0%B9_%D0%9F%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B9) и позволяла с весьма высокой точностью описывать наблюдаемые движения светил. Важнейший прорыв в понимании истинной структуры Солнечной системы произошёл в XVI веке, когда великий польский астроном [Николай Коперник](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%2C_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B9) разработал [*гелиоцентрическую* систему мира](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%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_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0). Солнце в гелиоцентрической системе перестало считаться планетой, как и [Луна](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B0), являющаяся [спутником](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%B2_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B5) Земли. Вскоре были открыты [4 спутника Юпитера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D1%8B_%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8), благодаря чему исключительное положение Земли в Солнечной системе было упразднено. Теоретическое описание движения планет стало возможным после открытия [законов 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) в начале [XVII века](https://ru.wikipedia.org/wiki/XVII_%D0%B2%D0%B5%D0%BA), а с формулировкой [законов тяготения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%82%D1%8F%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0) количественное описание движения планет, их спутников и малых тел было поставлено на надёжную основу. История профессионального изучения состава Солнечной системы началась в 1610 году, когда [Галилео Галилей](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B9%2C_%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BE) открыл в свой телескоп 4 крупнейших спутника Юпитера. Это открытие явилось одним из доказательств правильности гелиоцентрической системы. В 1655 году [Христиан Гюйгенс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%8E%D0%B9%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%81%2C_%D0%A5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%B0%D0%BD) открыл Титан — самый крупный спутник Сатурна. До конца XVII века [Кассини](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B8%2C_%D0%94%D0%B6%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B8_%D0%94%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE) были открыты ещё 4 спутника Сатурна. XVIII век ознаменовался важным событием в астрономии — впервые с помощью телескопа была открыта ранее не известная планета Уран. Вскоре Дж. Гершелем, первооткрывателем новой планеты, были открыты 2 спутника Урана и 2 спутника Сатурна. XIX век начался с нового астрономического открытия — был обнаружен первый планетоподобный объект — астероид [Церера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0), в 2006 году переведённый в ранг карликовой планеты. А в 1846 году была открыта восьмая планета — Нептун. Нептун был открыт «на кончике пера», то есть сначала предсказан теоретически, а затем обнаружен в телескоп.В 1930 году [Клайд Томбо](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%BE%2C_%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D0%B4_%D0%A3%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%8F%D0%BC) (США) открыл Плутон, названный девятой планетой Солнечной системы. Однако в 2006 году Плутон потерял статус планеты и «стал» планетой карликовой.

Во второй половине XX века было открыто множество крупных и совсем мелких спутников Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона. Самую значительную роль в этой серии научных открытий сыграли миссии «Вояджеров» — американских [АМС](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F).

На рубеже XX—XXI веков был открыт ряд малых тел Солнечной системы, карликовые планеты, а также спутники некоторых из них и спутники планет-гигантов. Продолжаются инструментальные и расчётные поиски [транснептуновых планет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82), в том числе гипотетических .

С 2013 по 2019 годы учёные проанализировали большое количество данных об источниках инфракрасного излучения, и нашли 316 малых планет из них 139 новых.

[*Проекты колонизации планет Солнечной системы*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B)

Практическое значение колонизации планет Солнечной системы обусловлено необходимостью обеспечить нормальное существование и развитие человечества. С течением времени рост населения Земли, экологические и климатические изменения могут создать ситуацию, когда недостаток пригодной для обитания территории поставит под угрозу дальнейшее существование и развитие земной цивилизации. Также к необходимости заселения других объектов Солнечной системы может привести и деятельность человека: экономическая или геополитическая ситуация на планете; глобальная катастрофа, вызванная применением оружия массового поражения; истощение природных ресурсов планеты и др.

В качестве объектов, наиболее пригодных для заселения их колонистами с Земли, в первую очередь рассматриваются Марс и Луна. Остальные объекты могут быть также преобразованы для проживания на них людей, однако осуществить это будет гораздо труднее ввиду как условий, царящих на этих планетах, так и ряда других факторов (например, отсутствие магнитного поля, чрезмерная удалённость или же приближённость к Солнцу в случае с Меркурием). При колонизации планет необходимо будет учитывать следующее: величина ускорения свободного падения, объём принимаемой солнечной энергии, наличие воды, уровень радиации (радиационный фон), характер поверхности, степень угрозы столкновения планеты с астероидом и другими малыми телами Солнечной системы.

[*Галактическое расположение Солнечной системы*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B)

Солнечная система является частью [Млечного Пути](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C) — спиральной [галактики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), имеющей диаметр около 30 тысяч [парсек](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B5%D0%BA) (или 100 тысяч [световых лет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B3%D0%BE%D0%B4)) и состоящей из приблизительно 200 млрд звёзд. Солнечная система расположена вблизи плоскости симметрии галактического диска на расстоянии около 8 тысяч парсек (27 тысяч световых лет)от галактического центра (практически на равном расстоянии от центра Галактики и её края), на окраине [рукава Ориона](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B2_%D0%9E%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0)— одного из Местных [галактических рукавов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B2), находящегося между рукавами Стрельца и Персея Млечного Пути. Солнце обращается вокруг галактического центра по почти круговой орбите со скоростью около 254 км/с и совершает полный оборот примерно за 230 млн лет. Этот промежуток времени называется [*галактическим годом*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%BE%D0%B4)



**Расположение Солнечной системы обозначено большой жёлтой точкой** Солнечный [апекс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%81_%28%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F%29) (направление пути Солнца через межзвёздное пространство), расположен в [созвездии Геркулеса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D0%BB%D0%B5%D1%81_%28%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B8%D0%B5%29) в направлении текущего положения яркой звезды [Вега](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%B3%D0%B0). Помимо кругового движения по орбите, Солнечная система совершает вертикальные колебания относительно галактической плоскости, пересекая её каждые 30—35 млн лет и оказываясь то в северном, то в южном галактическом полушарии. Местоположение Солнечной системы в галактике, вероятно, влияет на [эволюцию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F) [жизни](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D1%8C) на Земле. Орбита Солнечной системы практически круглая, и скорость примерно равна скорости спиральных рукавов, что означает, что она проходит сквозь них чрезвычайно редко. Это даёт Земле длительные периоды межзвёздной стабильности для развития жизни, так как спиральные рукава обладают значительной концентрацией потенциально опасных [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_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0). Солнечная система также находится на значительном расстоянии от переполненных звёздами окрестностей галактического центра. Около центра гравитационные воздействия соседних звёзд могли возмутить объекты облака Оорта и направить множество комет во внутреннюю Солнечную систему, вызвав столкновения с катастрофическими последствиями для жизни на Земле. Интенсивное излучение галактического центра также могло повлиять на развитие высокоорганизованной жизни. По расчётам учёных через 2 млрд лет галактика [Большое Магелланово облако](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B5_%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE) столкнётся с Млечным Путём, в результате чего Солнечная система может быть вытолкнута из нашей Галактики в межгалактическое пространство.

[*Галактическая окрестность Солнечной системы*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B)известна как [Местное межзвёздное облако](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE). Это более плотный участок области разреженного газа протяжённостью примерно 300 св. лет, имеющей форму песочных часов. Он заполнен высокотемпературной плазмой. В пределах десяти св. лет (95 трлн км) от Солнца звёзд [относительно немного](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B6%D0%B0%D0%B9%D1%88%D0%B8%D1%85_%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4). Ближайшей к Солнцу является тройная звёздная система [Альфа Центавра](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0_%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B0), на расстоянии примерно 4,3 св. года. Крупнейшая звезда в пределах десяти световых лет — [Сириус](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%83%D1%81) (8,6 св. лет), яркая звезда главной последовательности с массой примерно в две массы Солнца. Ближайшая одиночная подобная Солнцу звезда — [Тау Кита](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D1%83_%D0%9A%D0%B8%D1%82%D0%B0), находится на расстоянии 11,9 св. лет. Масса её составляет примерно 80 % массы Солнца, а светимость — только 60 % солнечной.

**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 4.**

**Тема урока:** «Темная материя и темная энергия»

**Цель урока:** познакомиться с понятиями темная материя и темная энергия.

**План урока:**

1. **Повторить теоретический материал по теме «Строение и развитие Вселенной».**
2. **Изучить историю открытия строения Вселенной.**
3. **Познакомиться с понятиями темная материя и темная энергия**

**План действий:**

1.Изучить теорию и составить конспект.

2.Выполнить задание

**Теоретический материал.**

**Тёмная эне́ргия** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *dark energy*) в [космологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F) — [гипотетический](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B0) вид [энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F), введённый в математическую модель [Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F) ради объяснения наблюдаемого её [расширения с ускорением](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%8F%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F%D1%81%D1%8F_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F).

Существует три варианта объяснения сущности тёмной энергии:

* тёмная энергия есть [космологическая константа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0) — неизменная [энергетическая плотность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8), равномерно заполняющая [пространство](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) Вселенной (другими словами, ненулевая энергия и давление [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC));
* тёмная энергия есть некая [квинтэссенция](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%82%D1%8D%D1%81%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29) — динамическое поле, энергетическая плотность которого может меняться в пространстве и [времени](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F).
* тёмная энергия есть модифицированная [гравитация](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) на расстояниях порядка размера видимой части Вселенной.

По состоянию на 2020 год надёжные наблюдательные данные, такие как измерения [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), подтверждают существование тёмной энергии.

Окончательный выбор между вариантами требует очень длительных и высокоточных измерений скорости расширения Вселенной, чтобы понять, как эта скорость изменяется со временем. Темпы расширения Вселенной описываются [космологическим уравнением состояния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%29). Разрешение уравнения состояния для тёмной энергии является одной из самых насущных задач современной наблюдательной космологии.

Согласно опубликованным в марте 2013 года данным наблюдений космической обсерватории «[Планк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%29)», общая [масса-энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0-%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) наблюдаемой Вселенной состоит из тёмной энергии на 68,3 % и [тёмной материи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) на 26,8 %.

На основании проведённых в конце 1990-х годов наблюдений сверхновых звёзд был сделан вывод, что расширение Вселенной ускоряется со временем. Затем эти наблюдения были подкреплены другими источниками:

-измерениями [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5),

-[гравитационного линзирования](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%BE%D0%B5_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5),

-[нуклеосинтеза](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) [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2).

Расстояния до других [галактик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) определяются измерением их [красного смещения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5). По [закону Хаббла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%A5%D0%B0%D0%B1%D0%B1%D0%BB%D0%B0), величина красного смещения света удалённых галактик прямо пропорциональна расстоянию до этих галактик. Соотношение между расстоянием и величиной красного смещения называется [параметром Хаббла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80_%D0%A5%D0%B0%D0%B1%D0%B1%D0%BB%D0%B0) (или, не совсем точно, постоянной Хаббла).

Сравнивая наблюдаемую яркость сверхновых в разных галактиках, можно определить расстояния до этих галактик.

В конце 1990-х годов было обнаружено, что в удалённых галактиках, расстояние до которых было определено по закону Хаббла, сверхновые типа имеют яркость ниже той, которая им полагается. Иными словами, расстояние до этих галактик, вычисленное по методу «стандартных свеч», оказывается больше расстояния, вычисленного на основании ранее установленного значения параметра Хаббла.

***Был сделан вывод, что Вселенная не просто расширяется,***

***она расширяется с ускорением.***

## **Гипотеза о тёмной энергии и скрытой массе.**

Ранее существовавшие космологические модели предполагали, что расширение Вселенной замедляется. Они исходили из предположения, что основную часть массы Вселенной составляет материя — как видимая, так и невидимая. На основании новых наблюдений, свидетельствующих об ускорении расширения, было постулировано существование неизвестного вида энергии с отрицательным давлением. Её назвали **«тёмной энергией».**

Гипотеза о существовании тёмной энергии (чем бы она ни являлась) решает и так называемую «проблему [невидимой массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0)».

Теория [нуклеосинтеза](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) [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2) объясняет формирование в молодой Вселенной лёгких химических элементов, таких как [гелий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9), [дейтерий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9) и [литий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B9). Теория [крупномасштабной структуры Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%88%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9) объясняет образование [звёзд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0), [квазаров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80), [галактик](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и [скоплений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA) галактик.

Обе эти теории предполагают, что плотность барионной материи и тёмной материи составляет около 30 % от критической плотности, требуемой для образования «закрытой» Вселенной, то есть соответствует плотности, необходимой, чтобы [форма Вселенной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D0%92%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9) была плоской.

Измерения **реликтового излучения Вселенной**, недавно проведённые спутником [WMAP](https://ru.wikipedia.org/wiki/WMAP), показывают, что пространство-время во Вселенной действительно имеет глобальную кривизну, очень близкую к нулевой. Следовательно, некая ранее неизвестная форма невидимой энергии должна давать отсутствующие 70 % плотности Вселенной.

## **Природа тёмной энергии**

Сущность тёмной энергии является предметом споров. Известно, что она очень равномерно распределена, имеет низкую плотность и не взаимодействует сколько-нибудь заметно с обычной материей посредством известных фундаментальных типов взаимодействия — за исключением гравитации. Поскольку гипотетическая плотность тёмной энергии невелика (порядка 10−29 г/см³), её вряд ли удастся обнаружить лабораторным экспериментом. Тёмная энергия может оказывать такое глубокое влияние на Вселенную (составляя 70 % всей энергии) только потому, что она однородно наполняет пустое (в иных отношениях) пространство.

### Космологическая постоянная



Диаграмма, представляющая ускоренное расширение Вселенной из-за тёмной энергии.

Самое простое объяснение заключается в том, что тёмная энергия — это просто «стоимость существования пространства»: то есть, любой объём пространства имеет некую фундаментальную, неотъемлемо присущую ему энергию. Её ещё иногда называют энергией вакуума, поскольку она является энергетической плотностью чистого [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC). Это и есть [космологическая постоянная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), иногда называемая «лямбда-член» (от названия греческой буквы {\displaystyle \Lambda }используемой для её обозначения в уравнениях [общей теории 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)). Введение космологической константы в стандартную космологическую модель привело к появлению современной модели космологии, известной как [лямбда-CDM модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%9B%D1%8F%D0%BC%D0%B1%D0%B4%D0%B0-CDM). Эта модель хорошо соответствует имеющимся космологическим наблюдениям.

.

Согласно [общей теории 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), [гравитация](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) зависит не только от [массы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0) (плотности), но и от [давления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), причём давление имеет бо́льший коэффициент, чем плотность. Отрицательное давление должно порождать отталкивание, [антигравитацию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), и поэтому вызывает ускорение расширения Вселенной[[9]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F#cite_note-http://www.astronet.ru/db/msg/1210535/node7.html-9).

Важнейшая нерешённая проблема современной физики состоит в том, что большинство [квантовых теорий поля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F), основываясь на энергии квантового [вакуума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%84%D0%BB%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8), предсказывают громадное значение космологической константы — на многие порядки превосходящее допустимое по космологическим представлениям.

Несмотря на эти проблемы, космологическая константа — это во многих отношениях самое [экономное](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%B0_%D0%9E%D0%BA%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B0) решение проблемы ускоряющейся Вселенной. Единственное числовое значение объясняет множество наблюдений. Поэтому нынешняя общепринятая космологическая модель ([лямбда-CDM модель](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8F%D0%BC%D0%B1%D0%B4%D0%B0-CDM_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C)) включает в себя космологическую константу как существенный элемент.

Были предложены и другие возможные виды тёмной энергии: -[фантомная энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F), для которой энергетическая плотность возрастает со временем.{\displaystyle w<-1}

-так называемая «кинетическая квинтэссенция», имеющая форму нестандартной [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).

Они имеют необычные свойства: например, фантомная энергия может привести к [Большому Разрыву](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)Вселенной.

В 2014 году данные проекта BOSS ([Baryon Oscillation Spectroscopic Survey](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Baryon_Oscillation_Spectroscopic_Survey&action=edit&redlink=1)) показали, что с высокой степенью точности значение тёмной энергии является константой.

### Проявление неизвестных свойств гравитации

Имеется гипотеза, что тёмной энергии нет вообще, а ускоренное расширение Вселенной объясняется неизвестными свойствами сил [гравитации](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), которые начинают проявляться на расстояниях порядка размера видимой части Вселенной.

## **Последствия для судьбы Вселенной**

По имеющимся оценкам, ускоряющееся расширение Вселенной началось приблизительно 5 миллиардов лет назад. Предполагается, что до этого расширение замедлялось благодаря гравитационному действию [тёмной материи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) и [барионной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%BD) материи. Плотность барионной материи в расширяющейся Вселенной уменьшается быстрее, чем плотность тёмной энергии. В конце концов, тёмная энергия начинает преобладать. Например, когда объём Вселенной удваивается, плотность барионной материи уменьшается вдвое, а плотность тёмной энергии остается почти неизменной (или точно неизменной — в варианте с космологической константой).

Если ускоряющееся расширение Вселенной будет продолжаться бесконечно, то в результате [галактики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) за пределами нашего [Сверхскопления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%8B) галактик рано или поздно выйдут за [горизонт событий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%82_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B9) и станут для нас невидимыми, поскольку их относительная скорость превысит [скорость света](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0). Это не является нарушением [специальной теории относительности](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%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). На самом деле невозможно даже определить «относительную скорость» в искривлённом пространстве-времени. Относительная скорость имеет смысл и может быть определена только в плоском пространстве-времени, или на достаточно малом (стремящемся к нулю) участке искривлённого пространства-времени. Любая форма коммуникации далее пределов горизонта событий становится невозможной, и всякий контакт между объектами теряется.

[Земля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F_%28%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B0%29), [Солнечная система](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0), наша [Галактика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C), и наше [Сверхскопление](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%8B) будут видны друг другу и в принципе достижимы путём космических полётов, в то время как вся остальная Вселенная исчезнет вдали. Со временем наше Сверхскопление придёт в состояние [тепловой смерти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%82%D1%8C), то есть осуществится сценарий, предполагавшийся для предыдущей, плоской модели Вселенной с преобладанием материи.

Существуют и более экзотические гипотезы о будущем Вселенной. Одна из них предполагает, что фантомная энергия приведёт к т. н. «расходящемуся» расширению. Это подразумевает, что расширяющая сила действия тёмной энергии продолжит неограниченно увеличиваться, пока не превзойдёт все остальные силы во Вселенной.

По этому сценарию, тёмная энергия со временем разорвёт все гравитационно связанные структуры Вселенной, затем превзойдёт силы электростатических и внутриядерных [взаимодействий](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F), разорвёт атомы, ядра и нуклоны и уничтожит Вселенную в [Большом Разрыве](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2).

С другой стороны, тёмная энергия может со временем рассеяться или даже сменить отталкивающее действие на притягивающее. В этом случае гравитация возобладает и приведёт Вселенную к «[Большому Сжатию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%B6%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B5)».

Некоторые сценарии предполагают «циклическую модель» Вселенной.

Хотя эти гипотезы пока не подтверждаются наблюдениями, они и не отвергаются полностью. Решающую роль в установлении конечной судьбы Вселенной (развивающейся по теории [Большого Взрыва](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9_%D0%92%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2)) должны сыграть точные измерения темпа ускорения.

Ускоренное расширение Вселенной было открыто в [1998 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1998_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) при наблюдениях за [сверхновыми типа Ia](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia). За это открытие [Сол Перлмуттер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BB%D0%BC%D1%83%D1%82%D1%82%D0%B5%D1%80%2C_%D0%A1%D0%BE%D0%BB), [Брайан П. Шмидт](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BC%D0%B8%D0%B4%D1%82%2C_%D0%91%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%B0%D0%BD) и [Адам Рисс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D1%81%D1%81%2C_%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BC) получили [премию Шао по астрономии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%A8%D0%B0%D0%BE) за 2006 год и [Нобелевскую премию по физике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) за 2011 год.

## **Критика**

Регулярно появляются резонансные статьи с критикой тёмной энергии, и хотя в самих работах авторы выражаются обычно сдержанно, в аннотациях и комментариях представляют свои выводы в гипертрофированном виде,к примеру, как ставящие под сомнение само существование тёмной энергии:

* В 2010 году Том Шэнкс из [Даремского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) поставил под сомнение результаты [WMAP](https://ru.wikipedia.org/wiki/WMAP), подтверждающие существование тёмной энергии, в связи с эффектом размытия [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5).
* В 2016 [Николай Горькавый](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D1%8B%D0%B9%2C_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B9_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87) представил гипотезу, в которой место тёмной энергии заняли [гравитационные волны](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%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B).
* В 2019 году Артем Асташёнок и Александр Тепляков выпустили статью, в которой предположили, что данные наблюдений, обычно интерпретируемых как свидетельство ускоренного расширения вселенной, имеют другую природу, в частности из-за влияния [эффекта Казимира](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0).

Часть работ с критикой тёмной энергии основана на том, что было обнаружено, что спектры [сверхновых типа Ia](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_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia), которых считались одинаковыми, на самом деле различны; кроме того, форма сверхновой типа Ia, которая является относительно редкой сегодня, была гораздо более распространенной ранее в истории вселенной:

* В 2015 году команда во главе с исследователями из [Аризонского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) установила что [сверхновые типа Ia](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_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia) делятся на две группы с разными светимостями, что уменьшило оценку скорости разлетания галактик во вселенной.
* В 2016 году Якоб Нильсен выпустил работу, в которой только на основании анализа светимости [сверхновых типа Ia](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_%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B0_Ia) утверждал что вселенная расширяется не ускорено.
* В 2020 году астрономы из [университета Ёнсе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%81%D0%BD%D1%81%D0%B5) совместно с коллегами из [Лионского университета](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82) и [KASI](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%B8_%D0%B8_%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA&action=edit&redlink=1) завершили анализ, который показал, по мнению исследователей, что само предположение о существовании тёмной энергии было сделано на основе, вероятно, ошибочной оценки светимости «стандартных свечей».Отмечается, что в саму работу авторы свои революционные выводы вставлять не стали, возможно из-за небольшой выборки и рассогласованности других вычисленных астрономами космологических параметров с результатами наблюдений в том числе космической обсерватории Планка.

Существуют различные экспериментальные установки, в задачи которых входит обнаружение тёмной энергии (в основном они занимаются поиском WIMP-частиц и по состоянию на 2018 год не получили никаких положительных результатов):

* [SNOLAB](https://ru.wikipedia.org/wiki/SNOLAB) недалеко от Онтарио в Канаде, планируется также Super[CDMS](https://ru.wikipedia.org/wiki/CDMS) и [DEAP](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=DEAP&action=edit&redlink=1)-3600
* [LUX-эксперимент](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=LUX-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82&action=edit&redlink=1) в Лиде, Южная Дакота
* [EDELWEISS-эксперимент](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=EDELWEISS-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82&action=edit&redlink=1) во французских Альпах
* [PandaX](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=PandaX&action=edit&redlink=1) в подземной лаборатории Цзинь-Пин в Китае
* Подземная научная лаборатория [Джадугуда](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%94%D0%B6%D0%B0%D0%B4%D1%83%D0%B3%D1%83%D0%B4%D0%B0&action=edit&redlink=1) в Индии
* [XENON1T](https://ru.wikipedia.org/wiki/XENON_%28%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%29#XENON1T) в итальянских Апеннинах
* [ADMX](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=ADMX&action=edit&redlink=1) Вашингтонского университета, США ([аксионы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B))
* BEST, [Баксанская нейтринная обсерватория](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F), Россия ([стерильное нейтрино](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BE))

Тем не менее, в научном сообществе превалирует мнение, что наличие тёмной энергии является установленным фактом.Хотя нет прямых наблюдений тёмной энергии, наблюдения [реликтового излучения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) [космической обсерваторией Планк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA_%28%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%29)

**ЗАДАНИЕ**

**Составьте план-конспект по теме «Темная материя и темная энергия» -обязательное задание (на «3»)**

**Можно сделать презентацию по данной теме (на «4»).**

**Можно выбрать эту тему в качестве проекта по физике (на «5»).**

**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**](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)

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

**Спасибо.**