

## Карликовые планеты

Карликовой планетой называют небесный объект, который:

- вращается вокруг Солнца;
- имеет достаточную массу, чтобы стать почти круглым;
- но не может очистить свой орбитальный путь.

Если коротко, то так именуют любой объект с планетарной массивностью, но не выступающим планетой или лунной. Но тело должно вращаться вокруг Солнца и обладать сферической формой.

**Церера** - единственная карликовая планета в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Это самая маленькая и самая близкая к Земле планета. Ей требуется около пяти лет, чтобы обернуться вокруг Солнца. Церера имеет сплюснутую сферу, ее диаметр — 950 км. С помощью Хаббла были получены снимки, на которых карлик был испещрен кратерами и горами. Поверхность объекта покрыта льдом, а под ним может находиться океан.

**Плутон**. Крупнейшая известная карликовая планета СС. Плутон весит в пять раз меньше Земли, а его диаметр составляет две трети диаметра Луны. Скалистая поверхность объекта покрыта слоем льда. Сутки на Плутоне длятся 153 часа. Температура планеты равна минус 223. Чтобы приблизиться к Солнцу, Плутону требуется двадцать лет. Орбита тела имеет вытянутую форму, она не соприкасается с орбитой соседа - Нептуна. В то время как Плутон совершает два оборота вокруг Солнца, Нептун успевает обернуться три раза.

**Хаумеа** - относится к новому классу карликовых планет, вращается за пределами орбиты Нептуна. Вращается планета очень быстро, за четыре часа совершая оборот вокруг своей оси, а оборот вокруг солнца за 283 года. У Хаумеа есть два спутника: Хииака и Намака. Исследования показали, что поверхность планеты состоит из заиндевевшей воды, точно такой же, как в морозилке.

**Макемаке**. Карликовая планета, плутоид. Вращается вокруг Солнца по очень вытянутой орбите. Полный оборот вокруг Солнца делает за 310 лет. Диаметр около 1500 км, следовательно, Макемаке является третьей по величине карликовой планетой. Поверхность состоит из замерзших метана и этана, и имеет в своем составе небольшое количество азота. Макемаке не имеет спутников.

**Эрида** - транснептуновый объект. Планета вращается вокруг Солнца по очень вытянутой орбите. Эриде, похожей на эллипс, нужно 557 лет, чтобы облететь Солнце. Она находится так далеко от Солнца, что атмосферы там не может быть: поверхность покрыта льдом, который отражает солнечный свет, как и снег. Когда небесный объект приближается к Нептуну, то лед тает, обнажая скалистые породы — такие же, как на Плутоне. Орбита планеты Эрида наиболее приблизится к солнцу через 250 лет, и, возможно, снова приобретет утерянную атмосферу.



# Малые тела Солнечной Системы

## Астероиды.

С древнегреческого языка «астероид» переводится как «подобный звезде». Дело в том, что в отличие от планет, представляющихся в виде дисков, астероиды при наблюдении через телескоп выглядели точно как звезды – сияющими точками.

Астероиды представляют собой небесные тела, которые были образованы за счет взаимного притяжения плотного газа и пыли, вращающихся по орбите вокруг нашего Солнца на раннем этапе его формирования. Астероидами называются объекты Солнечной системы различной формы и относительно небольших размеров. Эти небесные тела также движутся по определенным орбитам вокруг Солнца. Ранее синонимом астероиду являлось определение «малая планета», сейчас же они отнесены в группу малых тел СС.

### *Классификация астероидов.*

Астрофизики исследовали цвет объектов, а также спектр отраженного от их поверхности света. Выяснилось, что существуют три основных спектральных класса, отражающих состав астероидов:

- С (углеродные) – наиболее распространенная группа, более 75% от всего числа.
- S (силикатные) – поверхность тел содержит большее количество соединений кремния. На их долю приходится 17% от всех известных объектов этого вида.
- М (металлические) – поверхность состоит из железа, никеля, алюминия, титана и других распространенных металлов.

Масса всех астероидов относительно мала по меркам Солнечной системы. Это величина колеблется от  $3 \cdot 10^{21}$  до  $3 \cdot 10^{26}$  кг (не более 0,05% массы Земли). При этом более половины этой величины сосредоточено в 4 крупнейших: Весте, Палладе, Юноне и Гигее.

### *Астероидная опасность Земли.*

Астероиды под воздействием силы тяготения планеты (особенно массивного Юпитера) могут менять орбиту, а потому могут близко подойти к Земле и даже столкнуться с ней. Столкновение с астероидом более 1 км диаметром может быть катастрофическим для Земли. Так эпоха динозавров закончилась 65,5 млн. лет назад в результате падения на Землю железозакаменной глыбы диаметром более 5 км на о. Ютакан (Мексика – воронка в 120 км). Произошел раскол земной коры, извержение вулканов, землетрясения и серьезные климатические изменения. Огромное количество пыли преградило путь солнечному свету и все живое с массой более 30 кг было на Земле уничтожено. На Земле наступил ледниковый период. Небесные тела, упавшие 250 и 65,5 млн лет назад имеют одну общую черту: их воздействие на Землю носило глобальный характер и изменило ход истории.

## Метеоры и метеориты.

*Метеором* называется космическая частица, которая попадает в земную атмосферу на высокой скорости и полностью сгорает, оставляя за собой яркую светящуюся траекторию.

*Метеорит* представляет собой более крупный фрагмент космического вещества, который не полностью сгорает в атмосфере и падает на Землю. Вокруг Солнца вращается множество таких фрагментов, различающихся по размеру от нескольких километров до менее 1 мм.

При наблюдении с Земли траектории метеоров во время метеорного дождя как будто исходят из определенной точки созвездия, которая называется радиантом

метеорного дождя. Этот феномен возникает из-за того, что частицы находятся на одной орбите с кометой, фрагментами которой они являются. Они попадают в атмосферу Земли с определенного направления, соответствующего направлению орбиты при наблюдении с Земли. К наиболее заметным метеорным дождям относятся Леониды (в ноябре) и Персеиды (в конце июля).

Метеориты подразделяются на три основных класса: железные (сидериты), железо-каменные (сидеролиты или литосидериты) и каменные (аэролиты). Каменные метеориты в свою очередь разделяются на два важных подкласса: хондриты и ахондриты. Хондриты характеризуются наличием хондр - небольших сферических включений, которые могут состоять из металлов, силикатов или сульфидов. В ахондритах хондр нет.

Метеориты образуются в результате столкновений между более крупными телами в поясе астероидов, когда отдельные каменные фрагменты разлетаются по орбитам, пересекающим орбиту Земли. Самый крупный из обнаруженных метеоритов весом в 60 тонн упал в Юго-Западной Африке.

Химический и минералогический состав метеоритов изучается очень внимательно, так как они, по-видимому, являются образцами населения удаленных частей Солнечной системы и поэтому дают ключ к пониманию ее происхождения и эволюции. Особенно ценны метеориты с Луны и Марса.

## Комета.

Кометы — это тела Солнечной системы, представляющие туманным объектом специфической формы.

Они достигают громадных размеров: их головы могут иметь диаметр в миллион километров, а хвосты — длину в сотни миллионов километров.

Большая часть массы вообще сосредоточена в твёрдом ядре, размеры которого не превышают 20 км. Видимые голова и хвост представляют собой газовые образования, светящиеся под действием солнечного излучения. Плотность комет практически не отличается от плотности межпланетной среды. В 1 см<sup>3</sup> головы или хвоста комет содержится не более 100—200 атомов и молекул.

В среднем раз в 10-15 лет можно видеть комету в ночном небе. Появление неожиданно, она вспыхивает и видна в течение нескольких дней или месяцев.

В настоящее время известны орбиты 525 комет.

### Строение кометы:



#### I. Голова

1. ядро (твёрдые частицы, лед)
2. кома (туманная оболочка)

#### II. Хвост

Периодически возвращаясь к Солнцу, комета при каждом приходе теряет часть своего вещества, то есть с каждым приходом «испаряется» и в конечном итоге окончательно перестанет существовать. Время это зависит от исходной массы (размера) и периодичности приближения к Солнцу.

# Солнце

*Солнце обладает следующими параметрами:*

Возраст – 4,57 миллиарда лет;

Расстояние до Земли: 149 600 000 км

Масса: 332 982 масс Земли ( $1,9891 \cdot 10^{30}$  кг);

Средняя плотность –  $1,41 \text{ г/см}^3$  (она увеличивается в 100 раз от периферии к центру);

Орбитальная скорость Солнца равна 217 км/с;

Скорость вращения: 1,997 км/с

Радиус: 695-696 тыс. км;

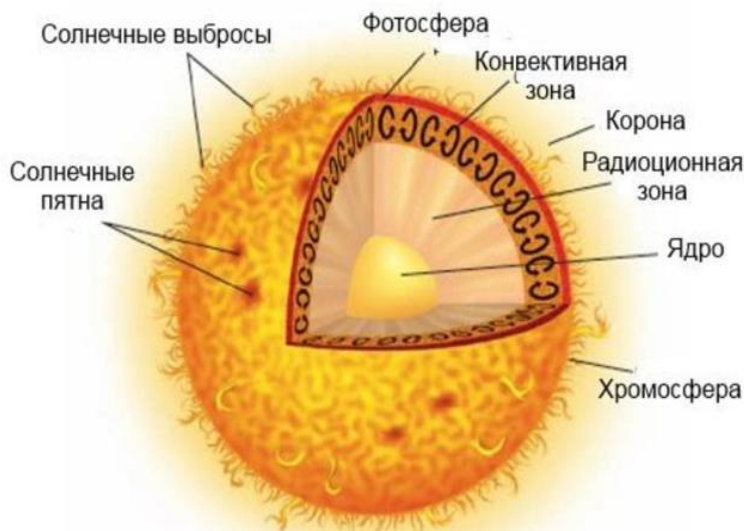
Температура: от 5 778 К на поверхности до 15 700 000 К в ядре;

Температура короны:  $\sim 1\,500\,000 \text{ К}$ ;

Стабильно в своей яркости, оно входит в 15% самых ярких звёзд нашей Галактики.

**Вращение.** Если сравнивать несколько последовательных фотографий Солнца, то по пятнам можно определить что Солнце вращается. Точный период вращения → экватор 24,96 сут, на широте  $35^\circ$  - 26,83 сут, вблизи полюсов  $\approx 30$  сут, т.е. Солнце не твердое тело. Линейная скорость на экваторе  $\approx 2 \text{ км/с}$ .

**Химический состав.** По спектру обнаружено 72 химических элементов на Солнце, никаких неземных нет. Самые распространенные на Солнце элементы – 73,46 % водорода, и 24,85 % - гелия (“солнечный газ”). В настоящее время известны несколько «двойников» Солнца, которые являются практически полными аналогами нашей звезды по массе, светимости, температуре ( $\pm 50 \text{ К}$ ), металличности ( $\pm 12 \%$ ), возрасту ( $\pm 1$  млрд лет) и т. д.



## Строение.

В самом центре тела нашей звезды расположено *ядро*. Оно занимает четверть радиуса Солнца. Именно тут «бушуют» термоядерные реакции, порождая видимое нам излучение. Вследствие огромных размеров, плотность вещества внутри светила огромна – в 150 раз больше плотности воды. Далее находится *зона лучистого переноса*, по которой хаотично движутся

фотоны. Удивительно, что в среднем достигают они следующего слоя за 170 тысяч лет. *Конвективная зона* – внешняя область Солнца, где движение плазмы происходит за счёт явления конвекции (тёплое устремляется вверх и остывает, холодное идёт вниз для нагревания).

**Состав атмосферы.** Солнечная атмосфера состоит из 3х слоев: фотосфера, хромосфера, солнечная корона.

1. Фотосфера - светящаяся “поверхность” Солнца, = нижний слой атмосферы 300-

400км.,  $T \approx 5800\text{K}$  (Средняя температура поверхности Солнца около  $6000^{\circ}\text{C}$ ). В фотосферах формируются непрерывный спектр излучения звезды. Над фотосферой температура и прозрачность звёздной атмосферы (хромосферы, в которой формируются линии поглощения звёздных спектров, и короны) начинает повышаться, доходя в областях короны до миллионов градусов.

2. *Хромосфера*. При полном солнечном затмении у самого края затемненного диска Солнца видно розовое сияние - это хромосфера. Она не имеет резких границ, а представляет собой сочетание множества ярких выступов или языков пламени, находящихся в непрерывном движении. Хромосферу сравнивают иногда с горячей степью. Языки хромосферы называют *спикулами*. Они имеют в поперечнике от 200 до 2000 км (иногда до 10000) и достигают в высоту нескольких тысяч километров. Их надо представлять себе как вырывающиеся из Солнца потоки плазмы (раскаленного ионизированного газа).

3. *Солнечная корона* - внешняя атмосфера Солнца. Некоторые астрономы называют ее атмосферой Солнца. Она образована наиболее разреженным ионизированным газом. Простирается примерно на расстояние 5 диаметров Солнца, имеет лучистое строение, слабо светится. Ее можно наблюдать только во время полного солнечного затмения. Внешние слои короны излучают в



космическое пространство корональный газ - *солнечный ветер*.

*Протуберанцы* - это огромные облака относительно холодного (по сравнению с солнечной поверхностью) газа или плазмы, образующие корону нашей Звезды. Увидеть их невооружённым глазом невозможно, за исключением моментов полного затмения. Они представляют собой корону из языков пламени, вырывающихся из хромосферы.

### **Жизненный цикл Солнца**

По всей видимости, Солнце своим появлением обязано протозвёздам предыдущих поколений, так как в его составе содержится значительное количество металлов. Возраст его составляет 4,5 -4,75 млрд. лет, причём всё это время оно увеличивает свою яркость и температуру (разгорается).

*Интересный факт:* магнитное поле нашей звезды имеет цикл изменения примерно равный 22-м земным годам. Что равно двум периодам солнечной активности в 11-ть лет.

## Солнце и жизнь на Земле

Влияние Солнца на Землю осуществляется главным образом через испускаемое звездой излучение, но этим его роль не ограничивается. Воздействие и значение Солнца для жизни на Земле весьма многоплановое и проявляется в самых разных аспектах. Земля вращается вокруг Солнца, что обуславливает изменения времён года и переход день-ночь. За счёт излучаемого тепла и света возникла и продолжает существовать жизнь. Ежегодно каждый квадратный километр поверхности Земли получает 342 Вт энергии. Мы умеем получать электроэнергию, используя ресурсы планеты, созданные благодаря Солнцу.

**Солнце и живая природа.** Большинству растений и животных солнечный свет жизненно необходим. Листья растений содержат хлорофилл, который и придаёт им зелёный цвет. С помощью хлорофилла происходит реакция фотосинтеза, конечным продуктом которой является кислород, необходимый для дыхания всем живым организмам. Для осуществления реакции нужна энергия, которую и обеспечивает солнечный свет. Ещё одним продуктом реакции фотосинтеза является глюкоза – органическое соединение, которая входит в состав клеток растений. Растения используют солнечную энергию для получения веществ, необходимых для дальнейшего роста.

Ещё один важный момент – смена дня и ночи. Длительность солнечного дня и интенсивность света оказывает влияние на жизнедеятельность организмов. Зимой, когда день короткий, растения сбрасывают листья, а животные либо серьёзно сокращают свою активность, либо впадают в спячку. Ближе к экватору и в тропиках, где распределение солнечного света равномерное, такой картины не наблюдается.

**Солнце и неживая природа.** По мере приближения к поверхности около 60% излучения поглощается или отражается обратно в космос атмосферой. Часть атмосферы, где формируются облака (тропосфера) подвергается непосредственному воздействию Солнца, в частности, инфракрасного излучения. Это приводит к периодическому повышению или понижению атмосферного давления, из-за чего и возникают метеорологические явления, такие как дождь, снег, туман, ветер. Нагреваясь под действием солнечного света, вода в водоемах испаряется и перемещается в атмосферу, где она охлаждается и выпадает в виде осадков. Это обеспечивает относительно равномерное распределение влаги по поверхности планеты.

**Солнечное излучение.** Солнечный свет неоднороден, большую часть составляет видимый свет и инфракрасное излучение, и лишь небольшая часть приходится на ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолет в больших количествах опасен для человека и может вызывать различные заболевания, но в небольших количествах он необходим организму. При помощи ультрафиолета образуется витамин D, который отвечает за усвоения кальция и фосфора в пищеварительной системе. Воздействие ультрафиолетового излучения на молекулы кислорода приводит к образованию озона. На высоте 20-25 км находится так называемый «озоновый слой», который вместе с кислородом в высоких слоях атмосферы поглощает большую часть опасного излучения, и до поверхности доходит только малая его часть.

**Солнечный ветер.** Помимо излучения разного спектра в атмосферу планеты проникает так называемый солнечный ветер – поток ионизированных частиц, идущий из солнечной короны. Он вызывает такие явления, как например, магнитные бури и полярное сияние. Магнитные бури могут довольно существенно влиять на деятельность человека, и способны повлечь за собой сбои в работе радиосвязи и энергосистем. К счастью, действительно сильные солнечные вспышки и выбросы вещества из короны происходят относительно редко.

## Небесная механика. Законы Кеплера.

Небесная механика — раздел астрономии, применяющий законы механики для изучения и вычисления движения небесных тел, в первую очередь Солнечной системы (Луны, планет и их спутников, комет, малых тел), и вызванных этим явлений (затмений и проч.). Небесная механика применяет законы механики для изучения движения небесных тел и занимается предвычислением положения Луны и планет, предсказанием места и времени затмений, в общем, определением реального движения космических тел.

Небесная механика изучает поведение тел Солнечной системы – обращение планет вокруг Солнца, спутников вокруг планет, движение комет и других малых небесных тел. Перемещение далеких звезд удастся заметить, в лучшем случае, за десятилетия и века, а движение объектов Солнечной системы происходит за дни, часы и даже минуты. Поэтому его изучение стало началом современной небесной механики, рожденной трудами И.Кеплера (1571–1630) и И.Ньютона (1643–1727). Кеплер впервые установил законы планетного движения, а Ньютон вывел из законов Кеплера закон всемирного тяготения и использовал законы движения и тяготения для решения небесно-механических проблем, не охваченных законами Кеплера. Принципы небесной механики – это «классика» в том смысле, что и сегодня они такие же, как во времена Ньютона.

### ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА.

Чтобы изучать движение небесных тел, познакомимся с силой гравитации. Лучше всего это сделать на примере взаимного движения двух тел: компонентов двойной звезды или Земли вокруг Солнца (для простоты предполагая, что другие планеты отсутствуют). К таким системам применимы законы Кеплера. В основе их лежит тот факт, что оба взаимодействующих тела движутся в одной плоскости. Это означает, что и сила гравитации всегда лежит в той же плоскости.

1. Закон эллипсов. *Первый закон* Кеплера утверждает, что планеты Солнечной системы движутся по эллипсам, в одном из фокусов которого находится Солнце. Фактически этот закон справедлив только для системы из двух тел, например для двойной звезды. Но и в Солнечной системе он выполняется довольно точно, поскольку на движение каждой планеты в основном влияет массивное Солнце, а все остальные тела влияют несравненно слабее.



2. Закон площадей. Если отмечать не только положение планеты, но и время, то можно узнать не только форму орбиты, но и характер движения планеты по ней.

*Второй закон Кеплера:* Радиус-вектор планеты описывает в равные промежутки времени равные площади, т.е. линия, соединяющая Солнце и планету (или компоненты двойной звезды), за равные интервалы времени «заметает» равные площади. Из закона площадей следует, что Солнце притягивает планету строго по прямой, соединяющей их центры. Верно и обратное: для любой центральной силы справедлив второй закон Кеплера.

3. Гармонический закон. Еще больше можно узнать о силе гравитации из третьего закона Кеплера, связывающего размер планетной орбиты с периодом обращения по ней. *Третий закон* гласит: Квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит:

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const}; \quad \frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

Период обращения планеты зависит только от ее расстояния от Солнца и не зависит от ее массы. Значит, все тела, движущиеся по одной орбите, должны иметь одинаковую скорость.

Анализируя законы Кеплера и данные о движении Луны, Ньютон сформулировал новый закон: каждая частица вещества притягивается к любой другой частице вдоль соединяющей их прямой с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Это всеобщий закон; он не ограничен влиянием Солнца на планеты. Он описывает также взаимодействие двух звезд, планеты и ее спутника, Земли и метеорита, Солнца и кометы. Все вещество во Вселенной подчиняется этому закону, поэтому его называют законом всемирного тяготения. Всеобщность этого закона дополняется его уникальностью: планетные орбиты имеют вид эллипсов, в фокусе которых находится Солнце, только в том случае, если притяжение меняется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Законы Кеплера справедливы только в том случае, если:

- 1) взаимодействуют не более двух тел;
- 2) тела движутся по замкнутым орбитам;
- 3) масса одного из тел пренебрежимо мала по сравнению с массой другого.

Эти условия делают анализ предельно простым, но они совершенно не обязательны для применения законов движения и гравитации.



## Искусственные небесные тела солнечной системы

Искусственные небесные тела, созданные человеком - это искусственные спутники Земли (ИСЗ), искусственные спутники Луны (ИСЛ), автоматические межпланетные станции (АМС). Возник новый раздел небесной механики - теория движения искусственных небесных тел, которую называют «астродинамика», «космодинамика».

В 1957 г. в России был запущен первый искусственный спутник Земли. Общее число запущенных искусственных небесных тел достигает 5000. В 1959 г. была запущена космическая ракета, которая, пролетев вблизи Луны, удалилась от Земли настолько, что вышла из поля притяжения Земли, и стала двигаться вокруг Солнца так же, как и планеты нашей СС.

Чтобы преодолеть земное притяжение нужно обладать определенной минимальной скоростью. Для разных случаев, эта скорость принимает различные значения. Эти значения называются *космическими скоростями* — это скорости, позволяющие любому объекту преодолеть тяготение небесного тела и их системы. Космические скорости используются для характеристики типа движения космического аппарата в сфере действия небесных тел. Размер и форма орбиты космического объекта зависят от величины и направления скорости, которую данный объект получил на момент выключения двигателей, и высоты, на которой произошло данное событие.

Космическая скорость (первая  $v_1$ , вторая  $v_2$ , третья  $v_3$  и четвёртая  $v_4$ ) — это минимальная скорость, при которой какое-либо тело в свободном движении сможет:

$v_1$  — стать спутником небесного тела (то есть способность вращаться по орбите вокруг небесного тела и не падать на его поверхность);

$v_2$  — преодолеть гравитационное притяжение небесного тела и начать двигаться по параболической орбите;

$v_3$  — покинуть при запуске планету, преодолев притяжение Звезды;

$v_4$  — при запуске из планетной системы объект покинул Галактику.

В космонавтике используются величины, рассчитанные конкретно для поверхности модели Земли радиусом 6371 км.

**Первая космическая скорость** (круговая скорость) — скорость, которую необходимо придать объекту без двигателя, пренебрегая сопротивлением атмосферы и вращением планеты, чтобы вывести его на круговую орбиту с радиусом, равным радиусу планеты. Т.е. — это минимальная скорость, при которой тело, движущееся горизонтально над поверхностью планеты, не упадёт на неё, а будет двигаться по круговой орбите. Первая космическая скорость Земли составляет  $\approx 7,9$  км/сек.

**Вторая космическая скорость** (параболическая скорость) — наименьшая скорость, которую необходимо придать объекту, масса которого пренебрежимо

мала относительно массы небесного тела, для преодоления гравитационного притяжения этого небесного тела. Тела, имеющие  $v^2$ , движутся по параболе. Вторая космическая скорость определяется радиусом и массой небесного тела, поэтому она своя для каждого небесного тела и является его характеристикой:

- для Земли вторая космическая скорость равна 11,2 км/с. Тело, имеющее около Земли такую скорость, покидает окрестности Земли и становится спутником Солнца.

- для Солнца вторая космическая скорость составляет 617,7 км/с.

- для Луны скорость убегания равна 2,4 км/с, несмотря на то, что в действительности для удаления тела на бесконечность с поверхности Луны необходимо преодолеть притяжение Земли, Солнца и Галактики.

**Третья космическая скорость** — минимально необходимая скорость тела без двигателя, позволяющая преодолеть притяжение Солнца и в результате уйти за пределы Солнечной системы. Взлетая с поверхности Земли и наилучшим образом используя орбитальное движение планеты, космический аппарат может достичь третьей космической скорости уже при 16,6 км/с относительно Земли, а при старте с Земли в самом неблагоприятном направлении его необходимо разогнать до 72,8 км/с.

**Четвёртая космическая скорость** — минимально необходимая скорость тела без двигателя, позволяющая преодолеть притяжение галактики Млечный Путь. Она используется довольно редко. По грубым предварительным расчётам в районе нашего Солнца четвёртая космическая скорость составляет около 550 км/с.

**Пятая космическая скорость.** Это скорость, позволяющая добраться до иной планеты звездной системы вне зависимости от разности плоскостей эклиптики планет. Например, для Солнечной системы и, конкретно, для Земли, чтобы орбита межпланетного перелета была перпендикулярной к земной орбите, нужна скорость запуска 43,6 километра в секунду.

## Расстояние до звезд

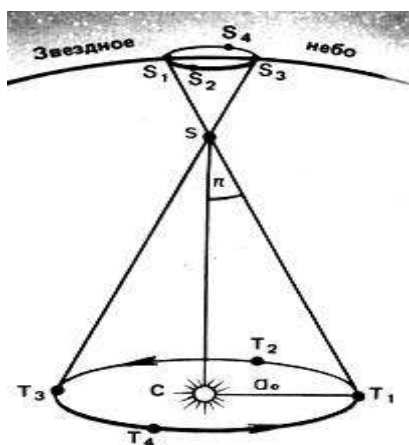
Звезды — огромные пылающие шары, расположенные за пределами земной атмосферы на расстоянии в триллионы километров. Астрономов волновала сложная задача определения расстояний до звезд. Еще Коперник понимал, что расстояния до звезд можно вычислить, если удастся измерить их годовое параллактическое смещение, вызываемое обращением Земли вокруг Солнца.

**Параллакс (параллактическое смещение)** - кажущееся смещение светила, обусловленное перемещением наблюдателя. Параллактические смещения светила тем больше, чем ближе светило к наблюдателю и чем больше перемещение наблюдателя. Измерение параллактического смещения звезд очень трудоемко, но является самым надежным, фундаментальным способом определения их расстояний.

Существуют и другие способы определения расстояний:

- зная абсолютную и видимую звёздную величину;
- по изменениям собственных движений звёзд;
- по анализу спектра звезды;
- по периоду изменения блеска цефеид.

Рассмотрим 1 способ. В нём измеряется положение звезды по отношению к другим звездам. Наблюдателю кажется, что по мере движения Земли вокруг Солнца близкие звезды перемещаются вперед и назад на фоне более отдаленных звезд.



$$r = \frac{a}{\sin \pi}; \sin \pi = \frac{\pi}{20626''}; r = \frac{206265'' a}{\pi} = \frac{206265''}{\pi} a.e.;$$

На рисунке показаны положения Солнца (С), Земли (Т1 – Т4), звезды (S) и видимые положения ее на небе (S1 – S4). Через 6 месяцев, когда земные телескопы переместятся в диаметрально противоположную точку орбиты Земли, проводится повторное измерение положения звезды.

Смещения звезд очень малы. Для определения расстояния до звезды используется половина параллактического смещения, т.е. годичный параллакс.

**Годичный параллакс ( $\pi$ )** - угол, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты (а), расположенный перпендикулярно направлению на звезду. Параллаксы звёзд очень малы, поэтому синусы углов можно заменить самими углами, выразив их в радианах. Ученые вычислили, что параллакс Веги составляет 0,123" и расстояние равно 1 650 000 а.е., а для самой близкой звезды Проксима расстояние равно 275 000 а.е. Большие числа могут привести к ошибкам в вычислениях, поэтому для измерения расстояний до звезд введена специальная единица длины, названная парсеком.

**Парсек** - расстояние до звезды, которое соответствует параллаксу в 1". Парсек – от слов “параллакс” и “секунда”. Таким образом, по годовому параллаксу и формуле расстояние вычисляется в парсеках, а затем уже переводится в световые года.

1 пк = 206265 а.е. = 3,08 – 10<sup>13</sup> км = 3,26 св. лет

1 килопарсек (кпк) = 10<sup>3</sup> пк и 1 мегапарсек (Мпк) = 10<sup>6</sup> пк.

Обычно расстояния до звезд выражаются также в световых годах, показывающих, за сколько лет свет, излученный объектом, достигает Земли или Солнца (что по расстоянию одинаково).

## Физическая природа звезд

**Звезда** – это массивный газовый шар, излучающий свет и тепло в результате протекания термоядерного синтеза в его недрах. Например, на Солнце происходит серия реакций, которая называется водородным циклом. Важной характеристикой любой звезды является такая величина как светимость (т.е. мощность излучаемой энергии). Другие звезды тоже освещают Землю, но из-за огромного расстояния до них, это освещение ничтожно мало, по сравнению с освещением Солнца.

**Цвет звезд** - свойство света вызывать зрительное ощущение в соответствии со спектральным составом отражаемого или испускаемого излучения. Свет разных длин волн возбуждает разные цветовые ощущения: от 380 до 470 нм имеют синий и фиолетовый цвет, от 470 до 500 нм - сине-зеленый, от 500 до 560 нм- зеленый.

**Температура звезд** связана со спектральной классификацией и с цветом.

Температура видимой поверхности большинства звезд составляет от 2500 К до 50000 К. Хотя недавно открытая звезда HD 93129A имеет температуру 220000К! Самая холодная - Гранатовая звезда имеет температуру 2300К, а Возничего - 1600К.

**Спектральная классификация.** В 1862г дают первую спектральную классификацию звезд по цвету, указав 4 типа: Белые, Желтоватые, Красные, Очень красные. Буквенное обозначение спектров от горячих к холодным звездам выглядит так: O B A F G K M. Между каждыми двумя классами введены подклассы(от 0 до 9).

Класс	Температура	Истинный цвет	Видимый цвет
O	30,000–60,000 К	голубой	голубой
B	10,000–30,000 К	бело-голубой	бело-голубой и белый
A	7,500–10,000 К	белый	белый
F	6,000–7,500 К	жёлто-белый	белый
G	5,000–6,000 К	жёлтый	жёлтый
K	3,500–5,000 К	оранжевый	желтовато-оранжевый
M	2,000–3,500 К	красный	оранжево-красный

**Химический состав звезд.** Определяется по спектру (интенсивности линий в спектре). Разнообразие спектров звезд объясняется их разной температурой, зависит от давления и плотности фотосферы, наличием магнитного поля, особенностями химического состава. Звезды состоят в основном из водорода и гелия (95-98% массы) и других ионизированных атомов.

**Светимость звезд.** Светимость звёзд (L) чаще выражается в единицах светимости Солнца (4х эрг/с). Светимость звезды вычисляют по энергии, достигающей Земли, при условии, если известно расстояние до звезды. По светимости звёзды различаются в очень широких пределах. Большинство звёзд составляют "карлики",

их светимость ничтожна иногда даже по сравнению с Солнцем. Большую светимость имеют звезды-гиганты, звезды малой светимости - звезды-карлики.

**Размеры звезд** - существует несколько способов их определения:

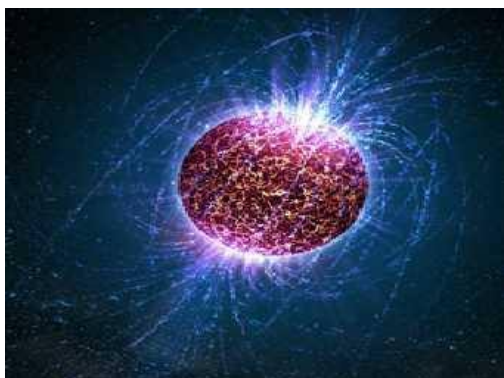
- 1) Непосредственное измерение углового диаметра звезды.
- 2) Через светимость звезды  $L=4\pi R_2^2 \sigma T$  в сравнении с Солнцем.
- 3) По наблюдениям затмения звезды Луной определяют угловой размер, зная расстояние до звезды.

По своим размерам, звезды делятся: Сверхгиганты (I), Яркие гиганты (II), Гиганты (III), Субгиганты (IV), Карлики главной последовательности (V), Субкарлики (VI), Белые карлики (VII).

**Масса звезд** - одна из важнейших характеристик звезд, указывающая на ее эволюцию, т. е. определяет жизненный путь звезды. Способы определения:

1. Зависимость масса-светимость, установленная астрофизиком  $L \approx m^{3,9}$ .
2. Использование 3 уточненного закона Кеплера, если звезды физически двойные.

**Плотность звезд.** Массы звезд имеют меньший разброс, чем размеры, но плотности их сильно различаются. Чем больше размер звезды, тем меньше плотность. Самая маленькая плотность у сверхгигантов: Антарес  $\rho=6,4 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup>, Бетельгейзе  $\rho=3,9 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>3</sup>. Очень большие плотности имеют белые карлики: Сириус В  $\rho=1,78 \cdot 10^8$  кг/м<sup>3</sup>. Но еще больше средняя плотность нейтронных звезд.



### Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Хорошо разобраться в классификации звезд позволяет диаграмма Герцшпрунга -Рассела. Она показывает зависимость между абсолютной звездной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.

Неожиданным является тот факт, что звезды на этой диаграмме располагаются не случайно, а

образуют хорошо различимые участки. Диаграмма предложена в 1910 независимо друг от друга исследователями Э. Герцшпрунгом и Г. Расселом. Она используется для классификации звезд и соответствует современным представлениям о звездной эволюции.