

## **Лекция: ВСЕЛЕННАЯ. КОСМОС. ЗВЕЗДЫ.**

**ЗАДАНИЕ:** Прочитать, предложенный для ознакомления, теоретический материал. Ответить на вопросы. Изучить понятийный аппарат.

Вопросы на повторение теоретического материала лекции:

1. Что представляют собой Галактики?
2. Какие условия необходимы для «рождения» Галактики?
3. Чем являются во Вселенной квазары?
4. Как называется Галактика, в которой расположена планета Земля и каковы ее характеристики?
5. Что такое звезда? Каковы характеристики звезд?
6. Чем астероиды отличаются от метеоров?

**Основные понятия:** астероид, Большой взрыв, Галактика, звезда, квазары, комета, межзвездный газ, метеор, метеорный поток, парсек, планета, пояс астероидов, радиогалактики, сверхгиганты, световой год, туманность.

**Строение и эволюция Вселенной.** Кроме туманности Андромеды невооруженным глазом можно видеть еще две галактики: Большое и Малое Магеллановы Облака. Они видны только в Южном полушарии, поэтому европейцы узнали о них лишь после кругосветного путешествия Магеллана. Это спутники нашей Галактики, отстоящие от нее на расстоянии около 150 тыс. световых лет. На таком расстоянии звезды, подобные Солнцу, ни в телескоп, ни на фотографиях не видны. Зато в большом количестве наблюдаются горячие звезды большой светимости – сверхгиганты.

Галактики представляют собой гигантские звездные системы, в составе которых насчитывается от нескольких миллионов до нескольких триллионов звезд. Кроме того, в галактиках содержится различное (в зависимости от типа) количество межзвездного вещества (в виде газа, пыли и космических лучей).

В центральной части многих галактик располагается сгущение, которое называют **ядром**, где идут активные процессы, связанные с выделением энергии и выбросом вещества. У некоторых галактик в радиодиапазоне наблюдается значительно более мощное излучение, чем в видимой области спектра. Такие объекты получили название **радиогалактик**. Еще более мощными источниками радиоизлучения являются **квазары**, которые и в оптическом диапазоне излучают больше, чем галактики. Квазары – это самые удаленные от нас известные во Вселенной объекты. Некоторые из них находятся на огромных расстояниях,

превышающих 5 млрд световых лет. По-видимому, квазары представляют собой чрезвычайно активные ядра галактик. Находящиеся вокруг ядра звезды неразличимы, поскольку квазары очень далеки, а их большая яркость не позволяет обнаружить слабый свет звезд. Исследования галактик показали, что в их спектрах линии обычно бывают смещены в сторону его красного конца, т. е. в сторону более длинных волн. Это означает, что практически все галактики (за исключением нескольких самых близких) удаляются от нас. Однако существование этого закона вовсе не означает, что галактики разбегаются от нас, от нашей Галактики как от центра. Такая же картина разбегания будет наблюдаться с любой другой галактики. А это означает, что все наблюдаемые галактики удаляются друг от друга. Рассмотрим огромный шар (Вселенную), который состоит из отдельных точек (галактик), однородно распределенных внутри него и взаимодействующих согласно закону всемирного тяготения. Если представить себе, что в какой-то начальный момент времени галактики неподвижны относительно друг друга, то в результате взаимного притяжения они уже в следующий момент не останутся неподвижными и начнут сближаться. Следовательно, Вселенная будет сжиматься, и плотность вещества в ней станет возрастать. Если же в этот начальный момент галактики удалялись друг от друга, т. е. Вселенная расширялась, то тяготение будет уменьшать скорости их взаимного удаления. Дальнейшая судьба галактик, удаляющихся от центра шара с определенной скоростью, зависит от соотношения этой скорости со «второй космической» скоростью для шара данного радиуса и массы, который состоит из отдельных галактик. Если скорости галактик больше второй космической, то они будут неограниченно удаляться – Вселенная будет бесконечно расширяться. Если же они меньше второй космической, то расширение Вселенной должно смениться сжатием. На основе имеющихся данных в настоящее время невозможно сделать определенные выводы о том, по какому из этих вариантов будет происходить эволюция Вселенной. Однако можно с уверенностью сказать, что в прошлом плотность вещества во Вселенной была значительно больше, чем в настоящее время. Галактики, звезды и планеты не могли существовать как самостоятельные объекты, а вещество, из которого они теперь состоят, было качественно иным и представляло собой однородную, очень горячую и плотную среду. Ее температура превышала 10 млрд градусов, а плотность была больше плотности ядер атомов, которая составляет  $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. Об этом свидетельствуют не только теория, но и результаты наблюдений. Как следует из теоретических расчетов, наряду с веществом **горячую Вселенную** на ранних стадиях ее существования заполняли кванты электромагнитного излучения, обладавшие высокой энергией. В процессе расширения Вселенной энергия квантов уменьшалась и в настоящее время должна соответствовать 5–6 К. Это излучение, названное **реликтовым**, было действительно обнаружено в 1965 г.

Так было получено подтверждение теории горячей Вселенной, начальную стадию существования которой часто называют **Большим взрывом**. В настоящее время разработана теория, которая описывает процессы, происходившие во Вселенной с первых мгновений ее расширения. Первоначально во Вселенной не могли существовать ни атомы, ни даже сложные атомные ядра. В этих условиях происходили взаимные превращения нейтронов и протонов при их взаимодействии с другими элементарными частицами: электронами, позитронами, нейтрино и

антинейтрино. После того как температура во Вселенной снизилась до 1 млрд градусов, энергия квантов и частиц стала недостаточной, чтобы препятствовать образованию простейших ядер атомов дейтерия, трития, гелия-3 и гелия-4. Спустя примерно 3 минуты после начала расширения Вселенной в ней установилось определенное соотношение содержания ядер водорода (примерно 70 %) и ядер гелия (около 30 %). Это соотношение затем сохранялось на протяжении миллиардов лет до тех пор, пока из этого вещества не сформировались галактики и звезды, в недрах которых вследствие термоядерных реакций стали образовываться более сложные атомные ядра. В межзвездной среде сложились условия для образования нейтральных атомов, затем молекул. Картина эволюции Вселенной, открывшаяся перед нами, поражает воображение и удивляет. Не переставая удивляться, не следует забывать, что все это открыл человек – обитатель маленькой пылинки, затерянной в безграничных просторах Вселенной, – обитатель планеты Земля.

**Наша Галактика.** Практически все объекты, видимые невооруженным глазом в Северном полушарии звездного неба, составляют единую систему небесных тел (главным образом звезд) – нашу Галактику.

Характерной ее деталью для земного наблюдателя является **Млечный Путь**, в котором уже первые наблюдения с помощью телескопа позволили различить множество слабых звезд. Как вы можете сами убедиться в любую ясную безлунную ночь, он простирается через все небо светлой белесоватой полосой клочковатой формы. Вероятно, кому-то он напомнил след от пролитого молока, а потому, наверное, не случайно термин «галактика» происходит от греческого слова *galaxis*, которое означает «молочный, млечный». Не входит в состав Галактики лишь слабозаметное туманное пятно, видимое в направлении созвездия Андромеды и напоминающее по форме пламя свечи, – туманность Андромеды. Она представляет собой другую, подобную нашей, звездную систему, удаленную от нас на расстояние 2,3 млн световых лет. Только когда в 1923 г. в этой туманности удалось различить несколько наиболее ярких звезд, ученые окончательно убедились, что это не просто туманность, а другая галактика. Это событие можно считать также и «открытием» нашей Галактики. И в дальнейшем успехи в ее исследовании во многом были связаны с изучением других галактик. Наши знания о размерах, составе и структуре Галактики получены в основном за последние полвека. Диаметр нашей Галактики примерно 100 тыс. световых лет (около 30 тыс. парсек). Число звезд – около 150 млрд, и составляют они 98 % ее общей массы. Оставшиеся 2 % – межзвездное вещество в виде газа и пыли.

Звезды образуют различные по форме и численности объектов скопления – шаровые и рассеянные. В **рассеянных скоплениях** относительно немного звезд – от нескольких десятков до нескольких тысяч. Самым известным рассеянным скоплением являются Плеяды, видимые в созвездии Тельца. В том же созвездии находятся Гиады – треугольник из слабых звезд вблизи яркого Альдебарана. Часть звезд, относящихся к созвездию Большой Медведицы, также составляет рассеянное скопление. Практически все скопления этого типа видны вблизи Млечного Пути. **Шаровые звездные скопления** насчитывают в своем составе сотни тысяч и даже миллионы звезд. Лишь два из них – в созвездиях Стрельца и Геркулеса – можно с

трудом увидеть невооруженным глазом. Шаровые скопления распределяются в Галактике по-иному: большая часть расположена вблизи ее центра, а по мере удаления от него их концентрация в пространстве уменьшается. Различается и «население» скоплений этих двух типов. В состав рассеянных скоплений входят главным образом звезды, относящиеся (как и Солнце) к главной последовательности. В шаровых – много красных гигантов и субгигантов. Эти различия объясняются в настоящее время различием возраста звезд, входящих в состав скоплений разного типа, а следовательно, и возраста самих скоплений. Расчеты показали, что возраст многих рассеянных скоплений примерно 2–3 млрд лет, в то время как возраст шаровых скоплений значительно больше и может достигать 12–14 млрд лет.

Поскольку распределение в пространстве скоплений отдельных звезд разных типов и других объектов оказалось различным, стали выделять *пять подсистем*, образующих единую звездную систему – **Галактику**:

- плоскую молодую;
- плоскую старую;
- промежуточную подсистему «диск»;
- промежуточную сферическую;
- сферическую.

Их расположение представлено на схеме, показывающей структуру Галактики в плоскости, перпендикулярной плоскости Млечного Пути. На рисунке указано также положение Солнца и центральной части Галактики – ее ядра, которое находится в направлении созвездия Стрельца. Измеряя взаимное расположение звезд на небе, астрономы еще в начале XVIII в. заметили, что координаты некоторых ярких звезд (Альдебарана, Арктира и Сириуса) изменились по сравнению с теми, которые были получены в древности. Впоследствии стало очевидным, что скорости движения в пространстве у различных звезд отличаются довольно значительно. Самая «быстрая» из них, получившая название «летающая звезда Барнарда», за год перемещается по небу на  $10,8''$ . Это означает, что  $0,5^\circ$  (угловой диаметр Солнца и Луны) она проходит менее чем за 200 лет. В настоящее время эта звезда (ее звездная величина 9,7) находится в созвездии Змееносца. Большинство из 300 000 звезд, собственное движение которых измерено, меняют свое положение значительно медленнее – смещение составляет всего лишь сотые и тысячные доли угловой секунды за год. В целом же все звезды движутся вокруг центра Галактики. Солнце совершает один оборот примерно за 220 млн лет.

Существенные сведения о распределении межзвездного вещества в Галактике удалось получить благодаря развитию радиоастрономии. Во-первых, выяснилось, что **межзвездный газ**, основную массу которого составляет водород, образует вокруг центра Галактики ветви, имеющие спиральную форму. Такая же структура прослеживается и по некоторым типам звезд. Поэтому наша Галактика относится к наиболее распространенному классу **спиральных галактик**. Надо отметить, что межзвездное вещество существенно осложняет изучение Галактики оптическими методами. Оно распределено в объеме пространства, занятом звездами весьма неравномерно. Основная масса газа и пыли располагается вблизи плоскости

Млечного Пути, где образует огромные (диаметром сотни световых лет) облака, называемые **туманностями**. В пространстве между облаками тоже есть вещество, хотя и в очень разреженном состоянии. Форма Млечного Пути, видимые в нем темные промежутки (самый большой из них вызывает его раздвоение, которое протянулось от созвездия Орла до созвездия Скорпиона) объясняются тем, что межзвездная пыль мешает нам видеть свет расположенных за этими облаками звезд. Именно такие облака не дают нам возможности увидеть ядро Галактики, которое можно изучать, только принимая идущие от него инфракрасное излучение и радиоволны. В тех редких случаях, когда поблизости от газопылевого облака располагается горячая звезда, эта туманность становится светлой. Мы видим ее потому, что пыль отражает свет яркой звезды. В Галактике наблюдаются различные типы туманностей, образование которых самым тесным образом связано с эволюцией звезд. К их числу относятся **планетарные туманности**, которые были названы так, поскольку в слабые телескопы они выглядят как диски далеких планет – Урана и Нептуна. Это внешние слои звезд, отделившиеся от них при сжатии ядра и превращении звезды в белого карлика. Эти оболочки расширяются и в течение нескольких десятков тысяч лет рассеиваются в космическом пространстве. Другие туманности являются остатками вспышек сверхновых звезд. Самая известная из них – Крабовидная туманность в созвездии Тельца – результат вспышки сверхновой звезды, столь яркой, что в 1054 г. ее видели даже днем в течение 23 сут. Внутри этой туманности наблюдают пульсар, у которого с периодом его вращения, равным 0,033 с, меняется яркость в оптическом, рентгеновском и радиодиапазонах. Подобных объектов известно уже более 500. Именно в звездах в процессе термоядерных реакций происходит образование многих химических элементов, а во время вспышек сверхновых образуются даже ядра тяжелее железа. Потерянный звездами газ с повышенным содержанием тяжелых химических элементов меняет состав межзвездного вещества, из которого впоследствии образуются звезды. Поэтому химический состав звезд «второго поколения», к числу которых принадлежит, вероятно, и наше Солнце, несколько отличается от состава старых звезд, образовавшихся ранее.

**Звезды.** Наше Солнце справедливо называют типичной звездой. Но среди огромного многообразия мира звезд есть немало таких, которые очень значительно отличаются от него по своим физическим характеристикам. Поэтому более полное представление о звездах дает следующее определение: *звезда – это пространственно обособленная, гравитационно связанная, непрозрачная для излучения масса вещества, в которой в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.*

**Светимость звезд.** Всю информацию о звездах мы можем получить только на основе исследования приходящего от них излучения. Наиболее значительно звезды отличаются друг от друга по своей светимости (мощности излучения): некоторые излучают энергии в несколько миллионов раз больше, чем Солнце, другие – в сотни тысяч раз меньше. Солнце кажется нам самым ярким объектом на небе только потому, что оно находится гораздо ближе всех остальных звезд. Самая близкая из них альфа Центавра расположена в 270 тыс. раз дальше от нас, чем



Солнце. Если находиться на таком расстоянии от Солнца, то оно будет выглядеть примерно таким, как наиболее яркие звезды созвездия Большой Медведицы. **Удаленность звезд.** Вследствие того что звезды от нас очень далеки, лишь в первой половине XIX в. удалось обнаружить их годичный параллакс и вычислить расстояние. Еще Аристотель, а затем Коперник знали, какие наблюдения за положением звезд надо провести, чтобы обнаружить их смещение в том случае, если Земля движется. Для этого необходимо наблюдать положение какой-либо звезды из двух диаметрально противоположных точек ее орбиты. Очевидно, что направление на эту звезду за это время изменится, причем тем больше, чем ближе к нам расположена звезда. Так что это кажущееся (параллактическое) смещение звезды будет служить мерой расстояния до нее. *Годичным параллаксом ( $p$ ) принято называть угол, под которым со звезды виден радиус ( $r$ ) земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения (рис. 5). Этот угол столь мал (менее  $1''$ ), что ни Аристотелю, ни Копернику его обнаружить и измерить не удалось, поскольку они вели наблюдения без оптических приборов.*

Единицами расстояний до звезд являются парсек и световой год.

**Парсек** – это такое расстояние, на котором параллакс звезд равен  $1''$ . Отсюда и название этой единицы: пар – от слова «параллакс», сек – от слова «секунда».

**Световой год** – это такое расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью  $300\,000\text{ км/с}$ , проходит за 1 год.

$1\text{ пк (парсек)} = 3,26\text{ светового года}$ .

Определив расстояние до звезды и количество приходящего от нее излучения, можно вычислить ее светимость. Если расположить звезды на диаграмме в соответствии с их светимостью и температурой, то окажется, что по этим характеристикам можно выделить несколько типов (последовательностей) звезд: сверхгиганты, гиганты, главная последовательность, белые карлики и т. д. Наше Солнце вместе со многими другими звездами относится к числу звезд главной последовательности.

**Температура звезд.** Температуру наружных слоев звезды, от которых приходит излучение, можно определить по спектру. Как известно, цвет нагретого тела зависит от его температуры. Иначе говоря, положение длины волны, на которую приходится максимум излучения, с повышением температуры смещается от красного к фиолетовому концу спектра. Следовательно, по распределению энергии в спектре можно определить температуру наружных слоев звезды. Как оказалось, эта температура для различных типов звезд заключена в пределах от  $2500$  до  $50\,000\text{ К}$ . По известной светимости и температуре звезды можно рассчитать площадь ее светящейся поверхности и тем самым определить ее размеры. Оказалось, что гигантские звезды в сотни раз превосходят Солнце по диаметру, а звезды-карлики в десятки и сотни раз меньше него.

**Масса звезд.** В то же время по массе, которая является важнейшей характеристикой звезд, они отличаются от Солнца незначительно. Среди звезд нет таких, которые имели бы массу в  $100$  раз больше Солнца, и таких, у которых масса в  $10$  раз меньше, чем у Солнца. В зависимости от массы и размеров звезд они различаются по своему внутреннему строению, хотя все имеют примерно

одинаковый химический состав (95–98 % их массы составляют водород и гелий). Солнце существует уже несколько миллиардов лет и мало изменилось за это время, поскольку в его недрах все еще происходят термоядерные реакции, в результате которых из четырех протонов (ядер водорода) образуется альфа-частица (ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов). Более массивные звезды расходуют запасы водорода значительно быстрее (за десятки миллионов лет). После «выгорания» водорода начинаются реакции между ядрами гелия с образованием устойчивого изотопа углерод-12, а также другие реакции, продуктами которых являются кислород и ряд более тяжелых элементов (натрий, сера, магний и т. д.). Таким образом, в недрах звезд образуются ядра многих химических элементов, вплоть до железа.

Образование из ядер железа ядер более тяжелых элементов может происходить только с поглощением энергии, поэтому дальнейшие термоядерные реакции прекращаются. У наиболее массивных звезд в этот момент происходят катастрофические явления: сначала стремительное сжатие (коллапс), а затем мощный взрыв. В результате звезда сначала значительно увеличивается в размерах, ее яркость возрастает в десятки миллионов раз, а затем сбрасывает в космическое пространство внешние слои. Это явление наблюдается как **вспышка сверхновой звезды**, на месте которой остается небольшая быстро вращающаяся нейтронная звезда – **пульсар**.

**Малые тела Солнечной системы.** Помимо больших планет вокруг Солнца обращаются также малые тела Солнечной системы: множество малых планет и комет.

Всего к настоящему времени обнаружено более 100 тысяч малых планет, которые называют еще **астероидами** (звездоподобными), поскольку из-за своих малых размеров они даже в телескоп видны как светящиеся точки, похожие на звезды. До недавнего времени считалось, что все они движутся в основном между орбитами Марса и Юпитера, составляя так называемый **пояс астероидов**. Самым крупным объектом среди них является Церера, которая имеет диаметр около 1000 км. Считается, что общее число малых планет, размеры которых превышают 1 км, в этом поясе может достигать 1 млн. Но даже и в этом случае их общая масса в 1000 раз меньше массы Земли. Не существует принципиальных различий между астероидами, которые мы наблюдаем в космическом пространстве с помощью телескопа, и метеоритами, которые попадают в руки человека после того, как они упали из космического пространства на Землю. Метеориты не представляют собой какого-то особого класса космических тел – это обломки астероидов. Они могут сотни миллионов лет двигаться по своим орбитам вокруг Солнца, как и остальные, более крупные тела Солнечной системы. Но если их орбиты пересекаются с орбитой Земли, они попадают на нашу планету как метеориты. Развитие наблюдательных средств, в частности установка приборов на космических аппаратах, позволило установить, что в окрестностях Земли пролетает немало тел размером от 5 до 50 м (до 4 в месяц). К настоящему времени известно около 20 тел астероидного размера (от 50 м до 5 км), орбиты которых проходят недалеко от нашей планеты. Опасения по поводу возможного столкновения таких тел с Землей значительно усилились после падения на Юпитер кометы Шумейкеров – Леви 9 в

июле 1995 г. Вероятно, все же нет особых оснований считать, что количество столкновений с Землей может сколько-нибудь заметно увеличиться (ведь «запасы» метеоритного вещества в межпланетном пространстве постепенно истощаются). Из числа столкновений, имевших катастрофические последствия, можно назвать лишь падение в 1908 г. Тунгусского метеорита – объекта, который по современным представлениям был ядром небольшой кометы. С помощью космических аппаратов удалось получить изображения некоторых малых планет с расстояния в несколько десятков тысяч километров. Как и предполагалось, породы, составляющие их поверхность, оказались аналогичны тем, которые распространены на Земле и Луне, в частности, обнаружены оливин и пироксен. Подтвердились представления о том, что небольшие астероиды имеют неправильную форму, а их поверхность испещрена кратерами. Так, размеры Гаспры 19х12х11 км. У астероида Ида (размеры 56х28х28 км) обнаружен на расстоянии около 100 км от его центра спутник размером около 1,5 км. В подобной «двойственности» заподозрено около 50 астероидов. Исследования, проведенные за последние 10–15 лет, подтвердили высказанные ранее предположения о существовании в Солнечной системе еще одного пояса малых тел. Здесь за орбитой Нептуна открыто уже свыше 800 объектов диаметром от 100 до 800 км, размеры некоторых превышают 2000 км. После всех этих открытий Плутон, диаметр которого составляет 2400 км, был лишен статуса большой планеты Солнечной системы. Предполагается, что общая масса «занептунных» объектов может быть равна массе Земли. Вероятно, эти тела содержат в своем составе значительное количество льда и больше похожи на ядра комет, чем на астероиды, находящиеся между Марсом и Юпитером. Кометы, которые из-за своего необычного вида (наличие хвоста) с древнейших времен обращали на себя внимание всех людей, не случайно относятся к малым телам Солнечной системы. Несмотря на внушительные размеры хвоста, который может превышать в длину 100 млн км, и головы, которая по диаметру может превосходить Солнце, кометы справедливо называют «видимое ничто». Вещества в комете очень немного, практически все оно сосредоточено в ядре, которое представляет собой небольшую (по космическим меркам) снежно-ледяную глыбу с вкраплением мелких твердых частиц различного химического состава. Так, ядро одной из самых знаменитых комет – кометы Галлея, изображение которой было в 1986 г. получено КА «Вега», имеет длину всего 14 км, а ширину и толщину – вдвое меньше. В этом «грязном мартовском сугробе», как часто называют кометные ядра, содержится примерно столько замерзшей воды, сколько в снежном покрове, выпавшем за одну зиму на территории Московской области. Кометы отличает от других тел Солнечной системы прежде всего неожиданность их появления, о чем в свое время писал А. С. Пушкин: «Как незаконная комета в кругу расчисленных светил...»

В этом лишний раз убедили нас события последних лет, когда в 1996 и 1997 гг. появились две очень яркие, видимые даже невооруженным глазом кометы. По традиции они названы по фамилиям тех, кто их открыл, – японского любителя астрономии Хиякутаки и двух американцев – Хейла и Боппа. Столь яркие кометы обычно появляются раз в 10–15 лет (таких, которые видны только в телескоп, ежегодно наблюдают 15–20). Предполагается, что в Солнечной системе существует несколько десятков миллиардов комет и что Солнечная система окружена одним или даже несколькими облаками комет, которые движутся вокруг Солнца на расстояниях в тысячи и десятки тысяч раз больших, чем расстояние до самой



дальней планеты Нептун. Там, в этом космическом сейфе-холодильнике, миллиарды лет с момента образования Солнечной системы «хранятся» кометные ядра. Когда ядро кометы приближается к Солнцу, оно разогревается, теряет газы и твердые частицы. Постепенно ядро распадается на все более и более мелкие фрагменты. Частицы, входившие в его состав, начинают обращаться вокруг Солнца по своим орбитам, близким к той, по которой двигалась комета, породившая этот **метеорный поток**. Когда частицы этого потока встречаются на пути нашей планеты, то, попадая в ее атмосферу с космической скоростью, они вспыхивают в виде **метеоров**. Оставшаяся после разрушения такой частицы пыль постепенно оседает на поверхность Земли. Столкнувшись с Солнцем или большими планетами, кометы «погибают». Неоднократно были отмечены случаи, когда при движении в межпланетном пространстве ядра комет раскалывались на несколько частей. Видимо, не избежала этой участи и комета Галлея. Особенности физической природы планет, астероидов и комет находят достаточно хорошее объяснение на основе современных космогонических представлений, что позволяет считать Солнечную систему комплексом тел, имеющих общее происхождение.