

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Музей землеведения

**Цикл научно-образовательных лекций «Музейный абонемент»**

*О.П. Иванов, Г.В.Брянцева, А.И.Гуцин, М.А. Винник, Е.П. Дубинин*

# ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Музей землеведения

---

***Цикл научно-образовательных лекций «Музейный абонемент»***

О.П. Иванов, Г.В.Брянцева, А.И.Гущин, М.А. Винник, Е.П. Дубинин

# ЗЕМЛЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Учебное пособие к циклу научно-образовательных лекций  
на основе экспозиционного комплекса зала «Земля во Вселенной»  
по программе Музея землеведения МГУ «Музейный абонемент»

*Издание подготовлено в Музее землеведения МГУ.*

*Рекомендовано к печати решением*

*Ученого совета Музея землеведения МГУ от 2 марта 2022 года*

Москва • 2022  
Издательство «ОнтоПринт»

УДК 523.31;551.1;551.2

ББК 22.637.6+22.654.1

3-53

**Учебное издание**

(Электронное сетевое издание)

*Рецензент:*

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики космоса  
базовой кафедры ИНАСАН МПГУ В.М. Чаругин

3-53   **Земля во Вселенной** : Учебное пособие к циклу научно-образовательных лекций на основе экспозиционного комплекса зала «Земля во Вселенной» по программе Музея землеведения МГУ «Музейный абонемент» / О.П. Иванов, Г.В.Брянцева, А.И.Гущин, М.А. Винник, Е.П. Дубинин. – М. : Издательство «ОнтоПринт», 2022. – 4730,88 Кб (60 экранов).

ISBN 978-5-00121-486-1

Подписано к использованию 10.11.22.

Эл. экранов 60. Объем 4730,88 Кб.

Заказ № D24.1022.001

Издательство «ОнтоПринт»

105187, Москва, ул. Окружной проезд, д.16

Тел.: (495) 665-28-54, сайт: <https://ontoprint.ru>

**ISBN 978-5-00121-486-1**

© Иванов О.П., Брянцева Г.В., Гущин А.И., Винник М.А., Дубинин Е.П., 2022

## Оглавление

Вселенная и галактика Млечный Путь	5
Население и строение Вселенной и Галактики	5
Современные представления о возрасте и истории формирования Вселенной	24
Солнечная система	30
Население (состав) и строение Солнечной системы	30
Динамические процессы на телах Солнечной системы	52
Современные представления о возрасте и истории формирования Солнечной системы	56
Литература	60

## Вселенная и галактика Млечный Путь

### Население и строение Вселенной и Галактики

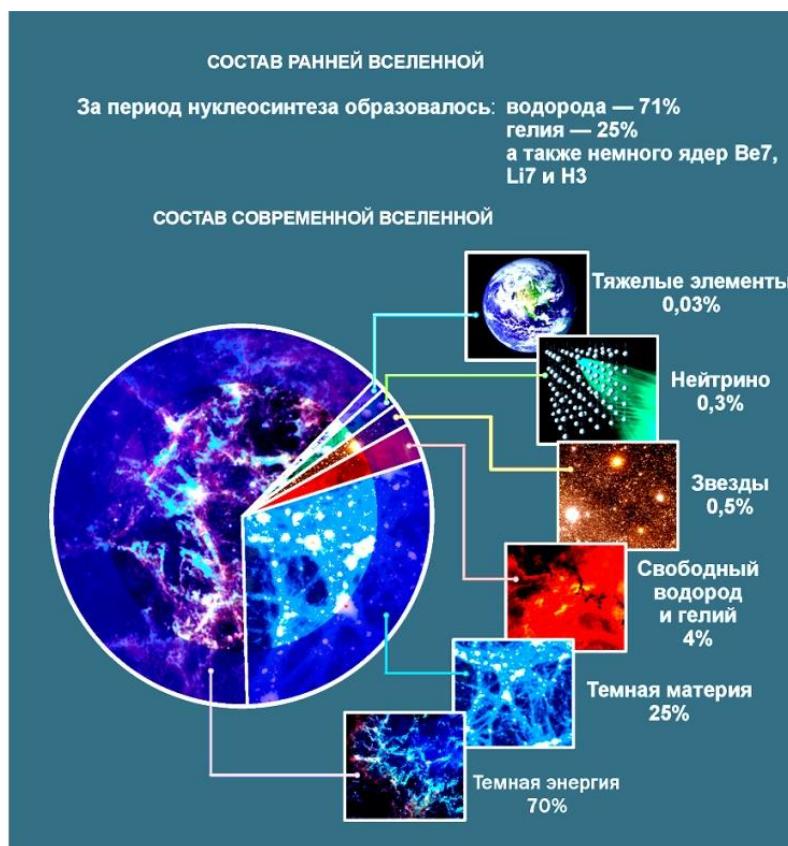
Как возникла Вселенная и всегда ли она существовала? Мы хотим узнать, как устроен окружающий нас мир, где находится наша планета, наше место в Солнечной системе и во Вселенной. На многие вопросы можно получить ответ в Музее Землеведения МГУ, посетив экспозиционный комплекс «Земля во Вселенной», расположенный на 30 этаже Главного здания, в зале №2 (рис.1).



Рис.1. Вид зала №2 из центра (из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Помещенные здесь на стенах материалы в простой и доступной форме раскрывают современную картину нашего мира, основываясь на теории сложных систем – открытых и способных развиваться за счет взаимодействия с другими системами (Иванов, 2015-а; Иванов и др., 2016-в).

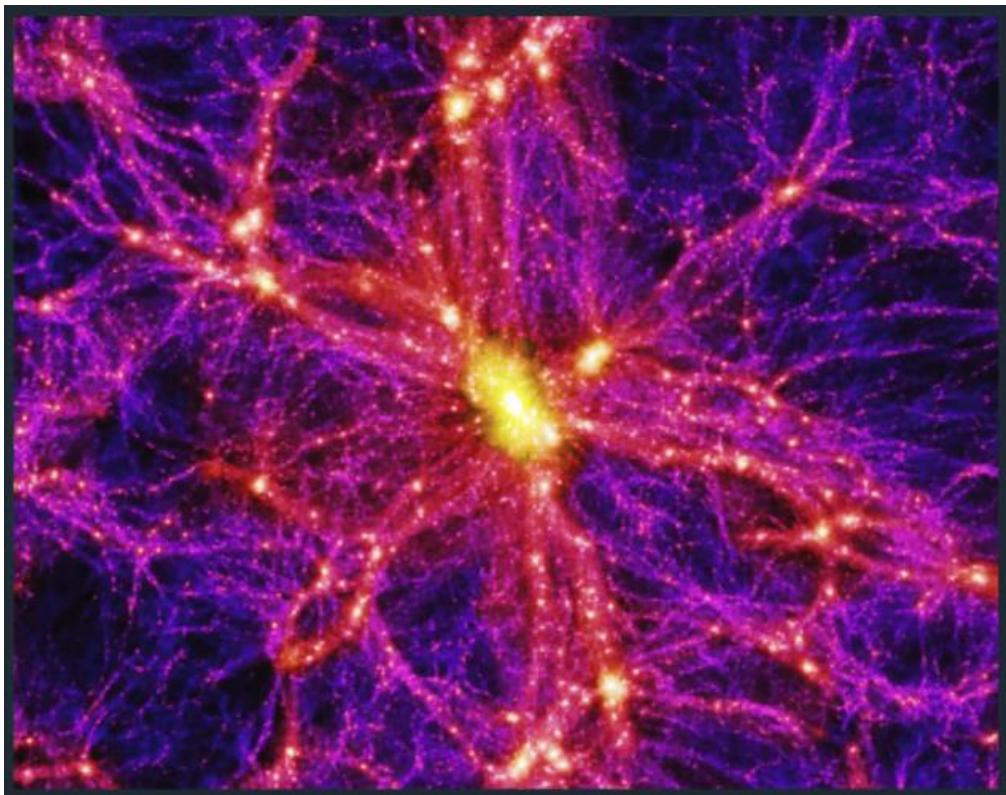
Начать наш рассказ хотелось бы с рассмотрения понятий «Космос» и «Вселенная», что мы понимаем под этими словами? Давайте рассмотрим их толкование, существующее в настоящее время. *Космос* (*κόσμος* – мир, Вселенная; др.-греч.) представляет собой безвоздушное пространство, которое начинается сразу за атмосферой Земли и где располагаются звезды, планеты, астероиды, кометы и другие космические тела. А что же такое Вселенная? Существует два понятия Вселенной –



*Рис.2. Состав ранней и современной Вселенной (из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)*

философское и астрономическое (Иванов и др., 2016-в). В философии под определением *Вселенная* понимается мироздание, сотворенное бытие, а астрономическая *Вселенная* включает часть мира, состоящего из галактик, небесных тел, межзвездного, межпланетного пространства и других объектов. Одно из определений гласит: «Вселенная – это совокупность видимого вещества галактик,

звезд, газа, невидимой материи, энергии электромагнитного излучения, других форм энергии и так называемой темной энергии, заполняющих все пространство» (Иванов и др., 2016-в).



*Рис.3. Компьютерная модель структуры распределения темной материи в масштабе млн св. лет (New science, 2008; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)*

Таким образом, можно сказать, что наша Вселенная – это совокупность всего, что существует физически, т.е. наибольший объём пространства вместе со всей материей и излучением, заключенным в нём. Таким образом, хотя четкого разделения понятия Вселенной и Космоса не существует, но по-видимому, наша Вселенная представляет собой весь окружающий нас материальный микро-, макро- и мегамир, или совокупность всего, что существует физически, а космос – это одна из ее частей.

А из чего состоит Вселенная? Ответ на этот вопрос можно найти на стенде «Системная эволюция мира по сложности», в его центральной части. Состав современной Вселенной представлен темной энергией (70%), темной материи (25%), свободным водородом и гелием (4%), звездами (0,5%), нейтрино (0,3%) и тяжелыми элементами (0,03%) (рис. 2).

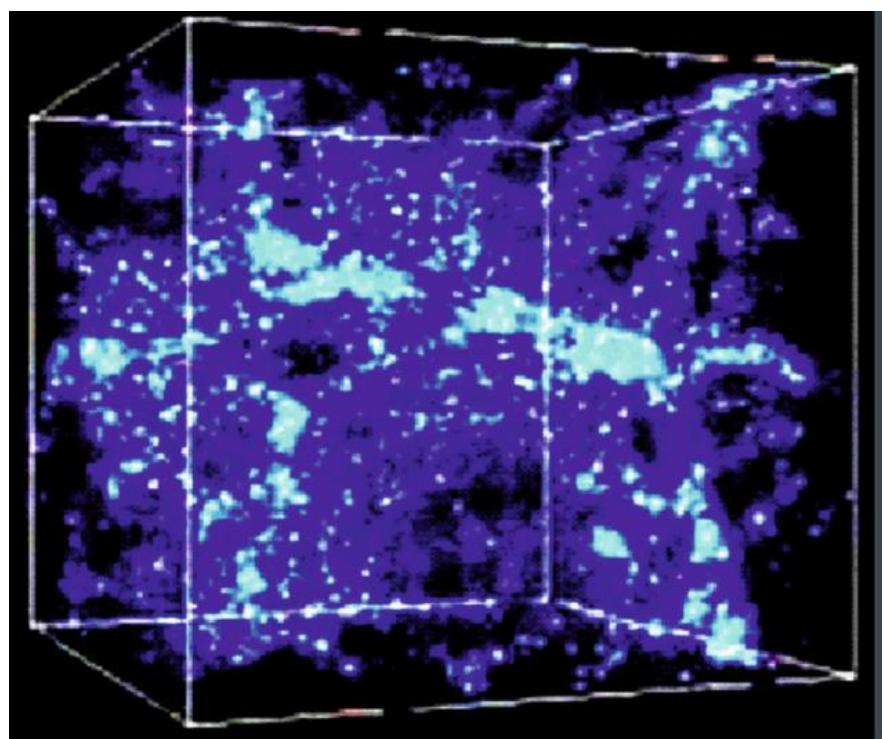


Рис.4. Компьютерная модель гигантских нитей темной материи, в центрах пересечений видимое вещество в виде скопления галактик (New science, 2008; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

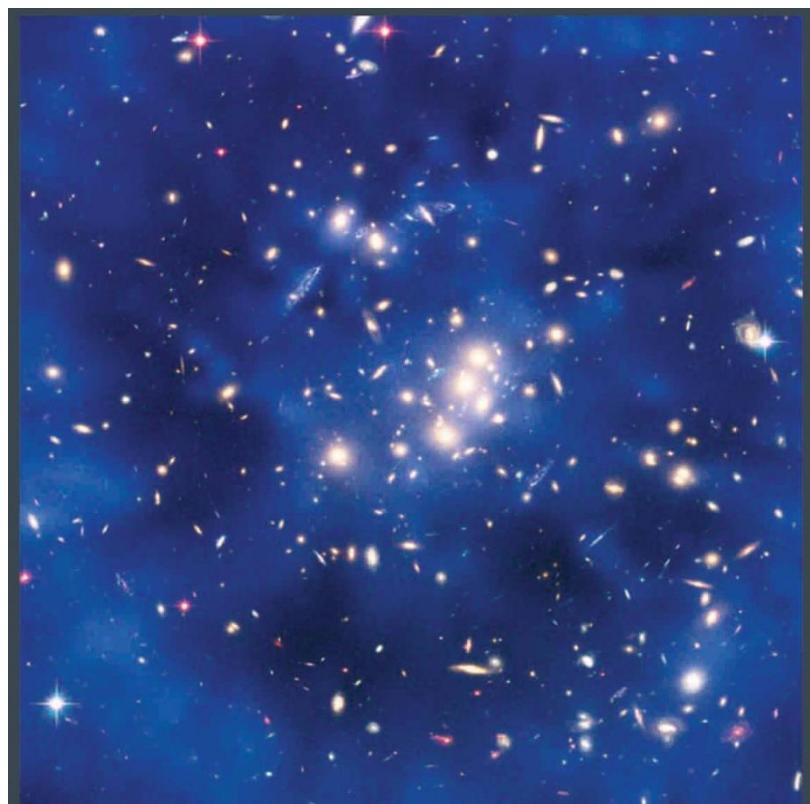


Рис.5. Скопление галактик SCl024-17 по эффекту линзирования найдено кольцо предположительно темной материи (Телескоп Hubble NASA, 2007; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

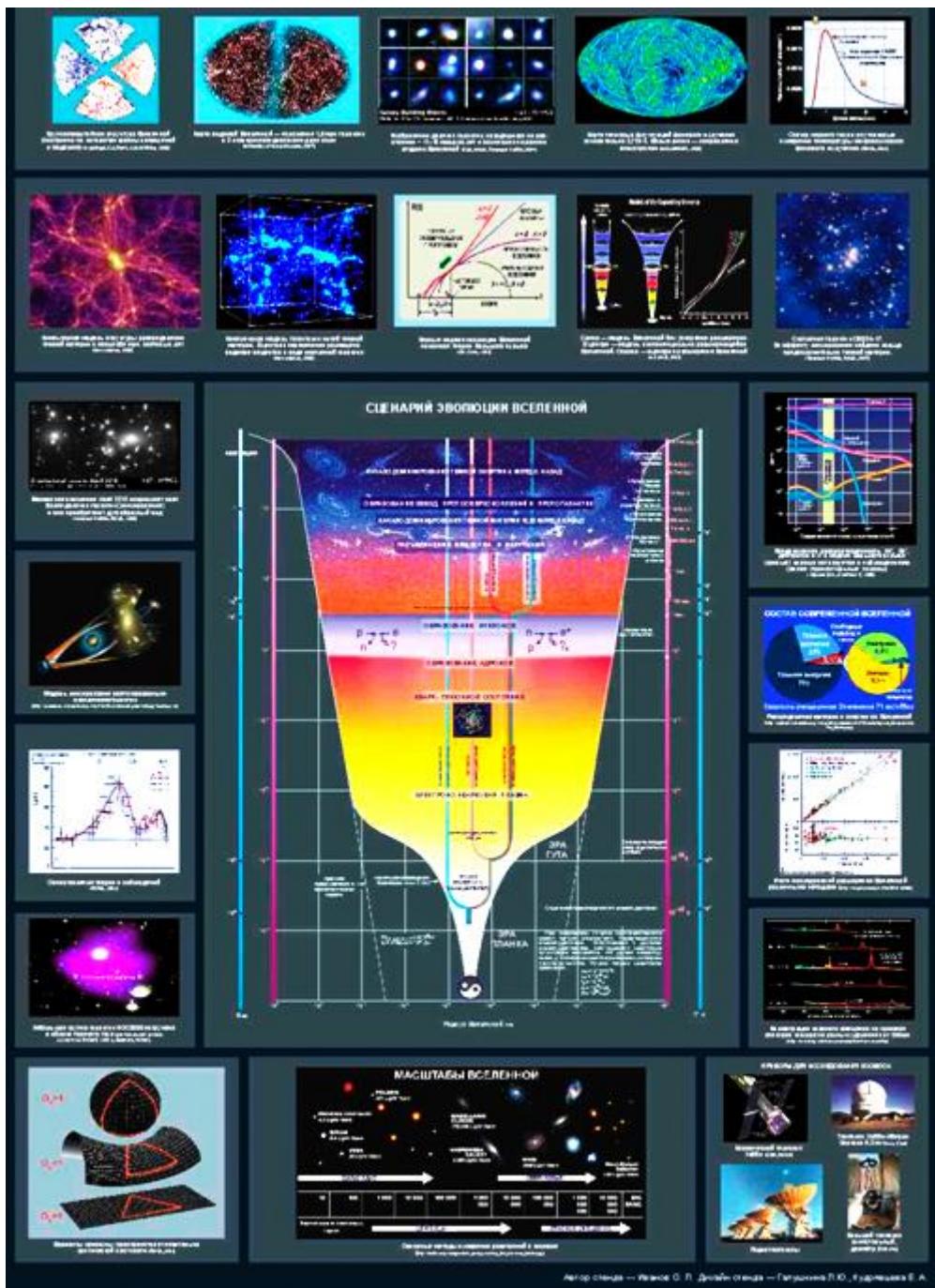
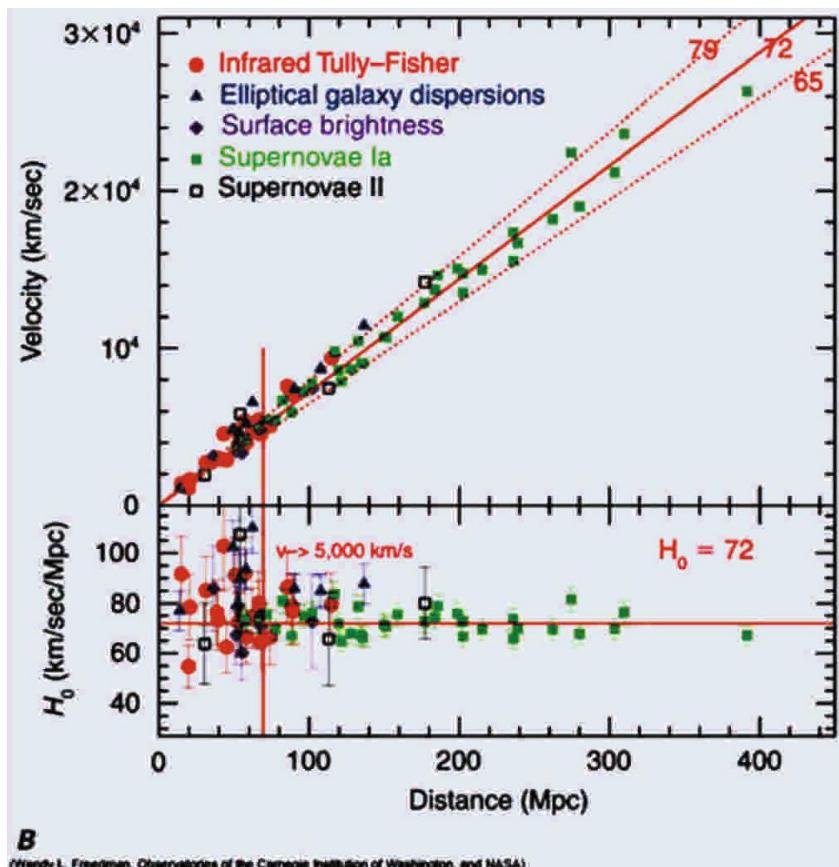


Рис.6. Общий вид стенда «Вселенная»

Основная часть Вселенной состоит из темной материи и темной энергии. Давайте разберемся, что же это такое? *Темная материя* или *темное вещество* представляет собой совокупность астрономических объектов, которые нельзя обнаружить при помощи современных средств астрономии, т.е. прямыми наблюдениями (рис. 3,4). Однако ее наличие удалось выявить при изучении скорости движения далеких галактик, по эффектам гравитационного линзирования, т.е. по

искажению излучения далеких звезд под влиянием сильных гравитационных полей (рис. 5). Эта материя, которая не взаимодействует с электромагнитным излучением, не испускает его и не поглощает. Считается, что количество темной материи во Вселенной, по крайней мере, в 5 раз больше количества видимой материи. На этом же стенде размещены материалы, позволяющие узнать некоторые способы обнаружения темной материи.

А что же представляет собой темная энергия, природа которой является главной загадкой фундаментальной физики XXI века? Об этом также имеется информация на стенде «Вселенная» (рис.6) . Современными астрономическими методами было установлено, что Вселенная расширяется, и темп расширения растет со временем (рис. 7).



*Рис.7. Итоги исследования расширения Вселенной различными методами ([http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect\\_20/A1html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect_20/A1html); из кн. Иванов О.П.и др., 2016-в)*

Неизвестный в настоящее время фактор, гипотетический вид энергии, способный вызвать такое поведение, и получил название темная энергия. По-видимому, темная энергия обладает антигравитацией, поскольку обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик, а в нашей Вселенной скорость расширения возрастает. По мере того как скорость расширения растет, все

меньшее число скоплений галактик остается видимым и если оно будет ускоряться, то видимая часть Вселенной может стать пустынной, поскольку с Земли с помощью современных телескопов можно наблюдать только ее небольшую часть.

Согласно расчетам в наблюдаемом пространстве, находится примерно 1/9 массы вещества, из которого должна состоять Вселенная, а 8/9 ее массы от нас скрыто или находится вне горизонта обозрения. И эту видимую часть назвали *Метагалактикой*. Размеры Вселенной настолько огромны, что для их определения применяются специальные единицы. Наиболее часто используется внесистемная единица измерения расстояний *парсек*, которая равна расстоянию до объекта, если его



Рис. 8. Методы измерения пространства в космосе  
[\(http://hetdex.org/images/dark\\_energy/scaling\\_the\\_universe\\_ladder.jpg\);](http://hetdex.org/images/dark_energy/scaling_the_universe_ladder.jpg;)  
 Из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)

годовой параллакс равен угловой секунде. Другая применяемая единица измерения – это *световой год* (св. год), определяемый расстоянием, проходимым светом в вакууме за 1 год или  $9,466 \cdot 10^{12}$  км. Тогда размер Метагалактики можно определить как 45,7 млрд св. лет или  $14,6 \cdot 10^9$  парсек, а видимый край Метагалактики находится от нас на расстоянии приблизительно около  $13,75 \pm 0,13$  млрд св. лет. Возникает вопрос, могут ли существовать другие миры, другие Вселенные? Споры о наличии параллельных миров после работ Хью Эверетта (1930-1982) не утихают до сих пор. Согласно его гипотезе существующая Вселенная расщепляется, образуя бесчисленное множество подобных

миров, т.е. он создал квантовую теорию параллельных миров. И ведь опровергнуть его предположение еще никому не удалось.

Размеры такой огромной Вселенной определить трудно, и нет для этого каких-то универсальных способов. Но все же существует несколько методов, которыми пользуются астрономы, и некоторые из них показаны на стенде, посвященном Вселенной, где кроме экспозиции об ее масштабах (рис. 8), можно увидеть материалы по эволюции Вселенной, существующих в ней типах излучений, о темной материи и энергии и др.

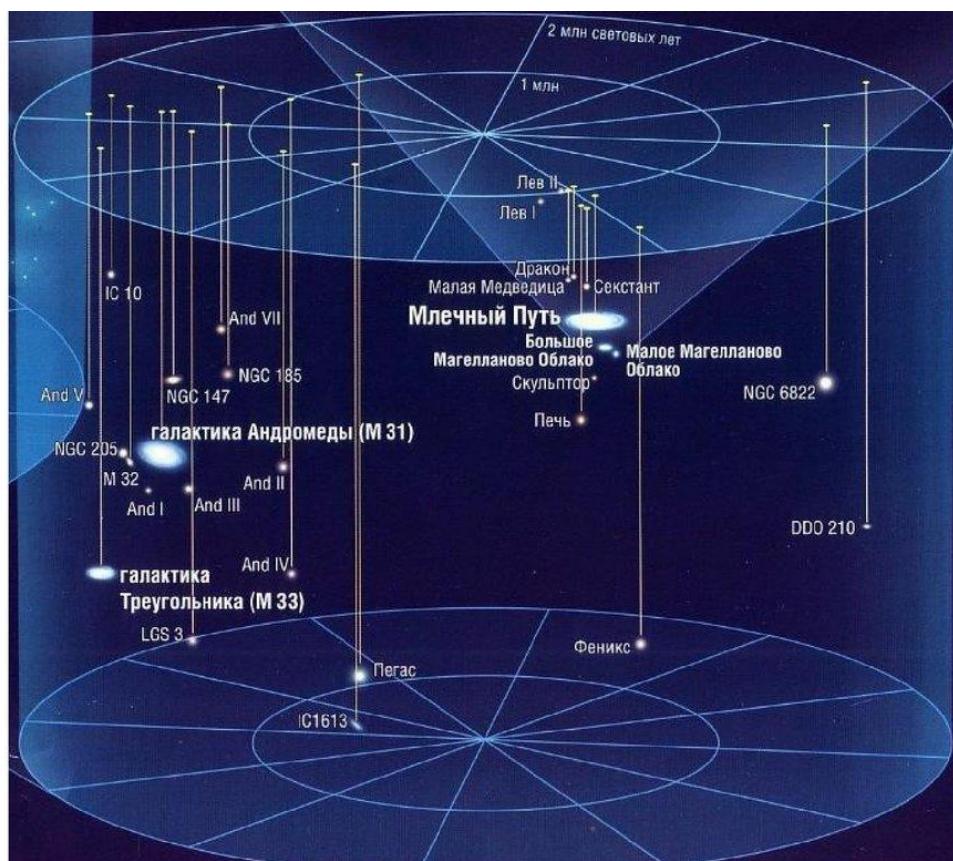


Рис.9. Ближайшие окрестности нашей Галактики. Местная группа галактик (ГАИШ, 2003; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Как же можно измерить расстояние до небесных тел и возможно ли это вообще? В астрономии расстояние до близких звезд измеряют методом триангуляции, т.е. при помощи геодезических построений, состоящих, как правило, из треугольников, у которых измеряются все углы и длины базовых сторон (Иванов и др., 2016-в). Наиболее часто используется метод *годичного звездного параллакса*, который определяет изменение положения неподвижного объекта в зависимости от расстояния между точками наблюдения и точно измеренные параллаксы небесных тел можно легко определить расстояние до исследуемого объекта.

Для определения значительных расстояний, например, до звезд расположенных в других галактиках, применяется *метод стандартных свечей*, в качестве которых в астрономии часто используют регулярные переменные звезды – *цефеиды*, светимость которых меняется с закономерной периодичностью, что связано с изменением мощности излучения в 2,5–6 раз. Иногда в качестве стандартных свечей используют сверхновые звезды с известной светимостью, или красные гиганты, поскольку выяснилось, что на них иногда возникают гелиевые вспышки и именно в этот момент их можно считать «стандартной свечой», т.е. видимую светимость можно связать с расстоянием.

**Галактики.** В той области Метагалактики, которая доступна для изучения при применении современных телескопов, находится около 1 млрд звезд и галактик. Одними из самых крупных систем во Вселенной являются *группы, скопления галактик и сверхскопления* галактик, представляющие собой гравитационно-связанные системы, размер которых достигает десятков миллионов св. лет. Почти все яркие галактики Вселенной либо входят в небольшие группы из нескольких крупных галактик, либо в скопления из тысяч галактик. В состав Местной группы галактик (рис. 9.) входят Галактика Млечного Пути, Туманность Андромеды, галактика Треугольника и еще около 50 галактик меньшего размера (Иванов и др., 2016-а).

Группы и скопления, в свою очередь, часто образуют *сверхскопления*, которые состоят из нескольких крупных групп или скоплений, включая отдельные галактики и облака газа. В Местное сверхскопление Девы входит примерно 100 групп и скоплений или около 30 тысяч галактик. Сверхскопления галактик имеют сильно вытянутую форму и напоминают ленты или цепочки, длиной в несколько сотен миллионов св. лет. Эти цепочки пересекаясь, образуют ячейки (войды), внутри которых галактик практически нет.

**Галактика** (*galaktikos* – млечный, греч) представляет собой звездную систему, связанную гравитационным притяжением. Диаметр галактик меняется от нескольких тысяч до сотен тысяч световых лет. На стенде «Галактики» (рис.10) в его нижней части можно посмотреть принятую в настоящее время классификацию, согласно которой галактики по внешнему виду делятся на 5 основных типов: эллиптические (E), спиральные (S), линзообразные (SO), неправильные (Irr) и карликовые (d). (Иванов и др., 2016-а).

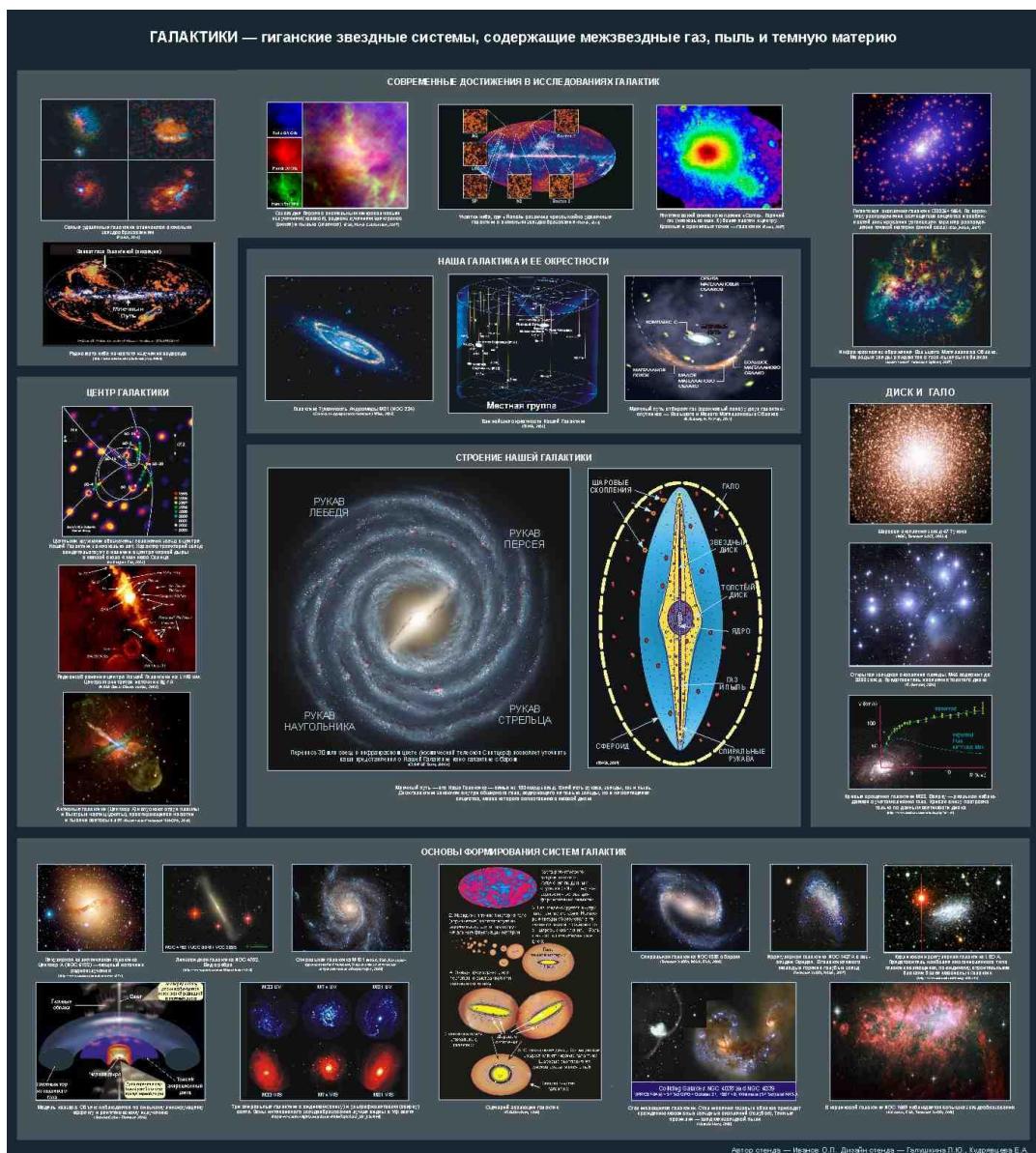
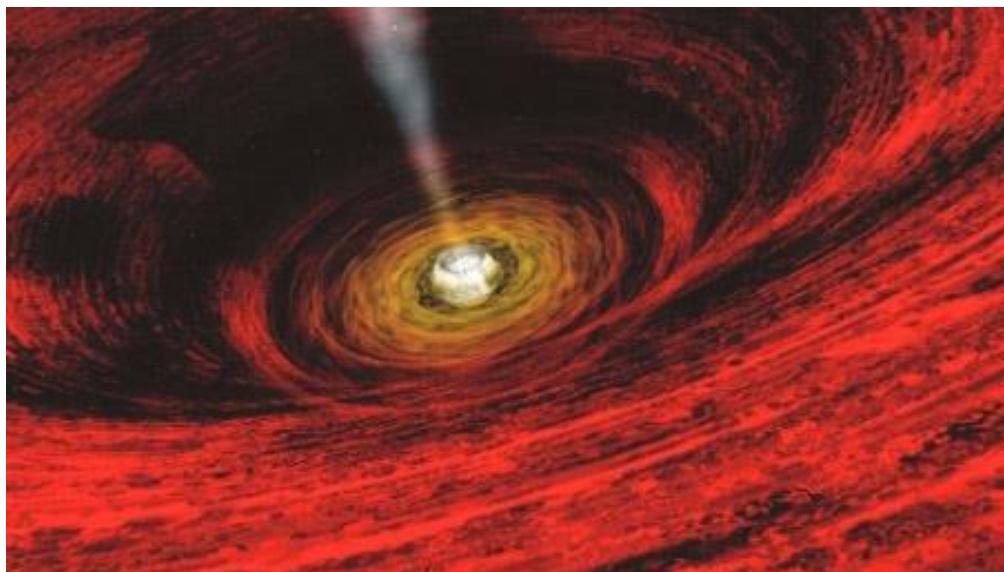


Рис.10. Общий вид стенда «Галактики» (из кн. Иванов О.П. и др., 2016-е)

**Эллиптические галактики.** Доля галактик данного типа в наблюдаемой части Вселенной составляет примерно 13 %. Они имеют четко выраженную сферическую (эллипсоидную) структуру, а их яркость к краям уменьшается. Они построены из старых звезд, преимущественно красных и желтых гигантов, поэтому имеют красноватый оттенок, а новые звезды образуются редко. В составе эллиптических галактик практически отсутствуют бело-голубые гиганты и сверхгиганты, а также газ и пыль. Одной из самых крупных галактик во Вселенной является галактика эллиптического типа M87, располагающаяся в созвездии Девы. В ее состав входит несколько триллионов звезд, 15 тыс звездных шаровых скоплений и громадная черная дыра, по своим размерам превышающая черную дыру, находящуюся в Галактике

Млечного Пути. Астрономы предполагают, что черная дыра – это область с очень сильной гравитацией, которая является конечным этапом эволюции звезды (рис. 11). Она может образоваться в результате взрыва сверхновой звезды, если ее масса больше массы Солнца в 30 раз (Иванов и др., 2016-б). Посмотреть информацию о черных дырах можно на стенде «Звезды».



*Рис.11. Аккреционный диск вокруг черной дыры (GRO J1655-40) с формирующимсяджетом (рис. художника А. Хобарт, лаб. Чандра, 2006; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-б)*

*Сpirальные галактики.* Самыми многочисленными, составляющими около 60% от общего числа галактик, являются спиральные галактики. Они имеют яркие, так называемые спиральные рукава, которые являются областями активного звездообразования и состоят по большей части из молодых горячих звезд и поэтому хорошо выделяются в видимой части спектра (рис. 12). Образованию молодых звезд способствует значительное количество пыли и газов, содержащихся в рукавах. В центре многих спиральных галактик находится перемычка, которую называют *бар*, от концов которой отходят спиральные рукава. Большинство спиральных галактик вращается в сторону закручивания спиральных ветвей.

Спиралевидные галактики состоят из центрально утолщения, называемого *балджем* (*bulge* — утолщение, англ.), окруженного диском (рис.13). Балдж похож на эллиптическую галактику, содержащую множество старых звёзд и нередко сверхмассивную черную дыру в центре, представляющую собой область в пространстве и времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что

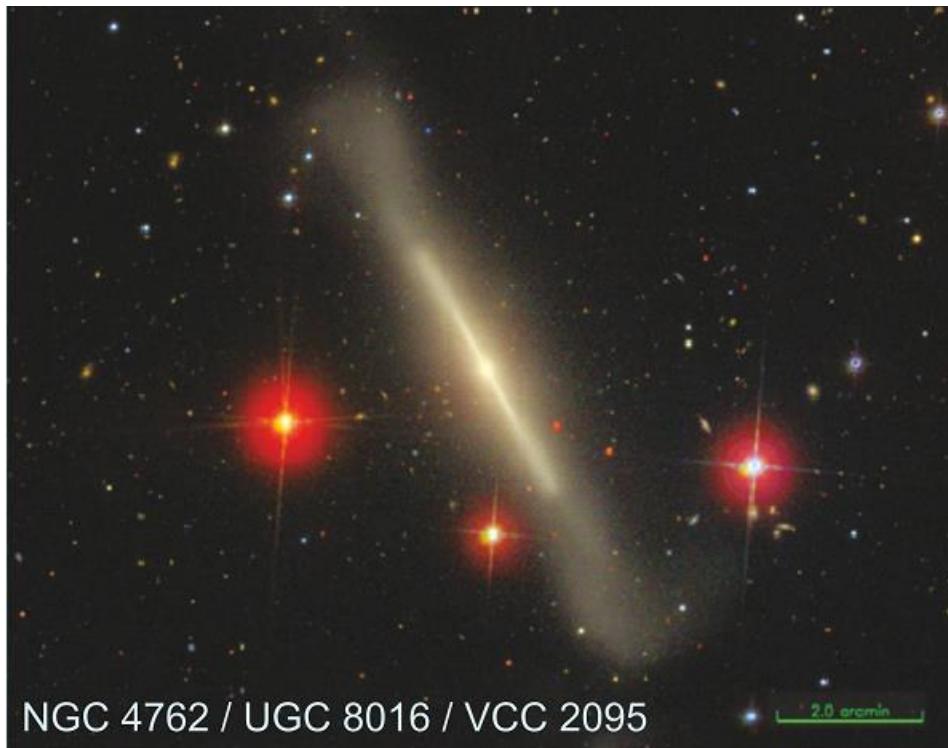
покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света. Диск является плоским вращающимся образованием, состоящим из межзвездного вещества, молодых звёзд и рассеянных звездных скоплений.



Рис. 12. Спиральная галактика M101 (NASA, ESA, Канадско-франко-гавайский телескоп, национальная оптическая астрономическая обсерватория, 2006; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)



Рис.13. Спиральная галактика NGC 1300 с баром (Телескоп Хаббл, NASA, ESA, 2008; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)



*Рис. 14. Линзовидная галактика NGC 4762. Вид с ребра  
(<http://www:spnli.com/en/Object/Index/5812>; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)*



*Рис. 15. Иррегулярная галактика NGC 1427A в созвездии Эридан. В галактике много молодых горячих голубых звезд  
(Телескоп Хаббл, NASA, 2007; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)*

Линзообразные или линзовидные галактики согласно классификации Хаббла, располагаются между эллиптическими и спиральными. По своему строению они

похожи на спиральные галактики, но у них отсутствует спиральная структура (рис.14). Они потеряли свой межзвездный газ и поэтому состоят преимущественно из старых звезд, а молодые звезды в них образуются редко. От эллиптических галактик они отличаются тем, что имеют более сжатую форму и в своих дисках они всё же могут сохранять значительные запасы пыли.



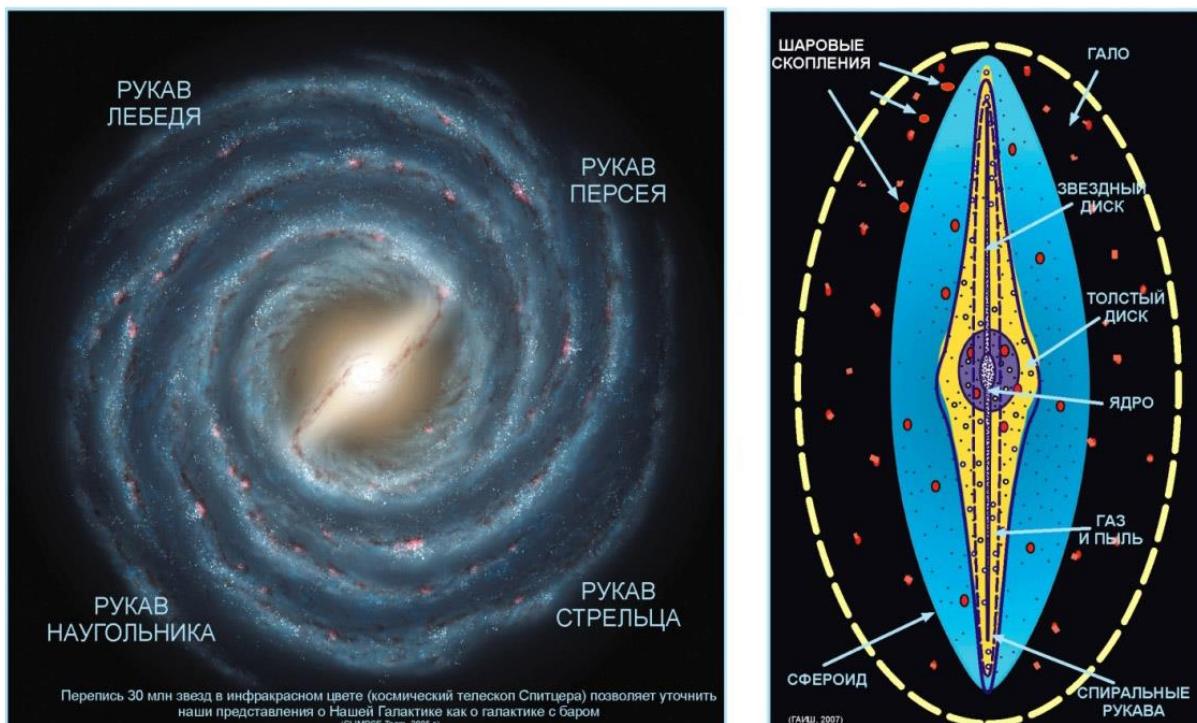
*Рис.16. В карликовой галактике NGS 1569 наблюдается вспышка звездообразования (А.Алоизи, ECA, телескоп Хаббл, 2008; из кн. Иванов О.П. и др, 2017-в)*

*Неправильные* или *иррегулярные* галактики, составляющие 25% от всех галактик, не имеют ни четко выраженных спиралей, ни ядра и имеют хаотическую форму (рис.15). Большинство из них в прошлом являлись спиральными или эллиптическими, но были деформированы гравитационными силами.

*Карликовые галактики* – это небольшие галактики, которые состоят всего из нескольких миллиардов звезд. Они могут иметь как неправильную форму, так и эллиптическую (рис.16).

**Галактика Млечного Пути** (ГМП) является типичной спиральной галактикой с перемычкой, количество звезд в которой по разным данным оценивается в 100 или 400 миллиардов. Разница в оценке связана с тем, что галактический центр закрывает часть звезд и поэтому подсчитать их трудно. Ее строение можно посмотреть на стенде «Галактики» в его центральной части (рис.17). Звезды преимущественно карликовые с массой меньше Солнца. В состав ГМП, представляющей собой сложную звездную систему, входят одиночные, двойные и кратные звезды, состоящие из трех или более звезд, а также звездные скопления, связанные силами тяготения и движущиеся в

пространстве как единое целое. Центральной частью галактики является активное ядро, выделяющее значительное количество энергии. Здесь сосредоточена основная масса галактики, представленная звездами и пылью, которые движутся вокруг сверхмассивной черной дыры имеющей массу около 4 млн масс Солнца (Иванов и др., 2016-а). Дальше идет утолщение – балдж, имеющее около 20 тыс. св. лет в поперечнике. Оно состоит из множества старых звезд, возраст которых более 12 млрд лет и раскаленных газов. По обе стороны от балджа располагаются перемычки, образующие линзовидный диск, диаметром около ~100 тыс. св. лет и толщиной ~1 тыс. св. лет. Внутри этого диска концентрируются молодые звезды и звездные скопления, возраст которых не превышает нескольких миллиардов лет.



*Рис.17. Спиральная Галактика Млечного Пути (CLIMPSE, 2005, ГАИШ, 2007; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)*

Диск окружен гало (от греч.- аура, нимб, ореол), сферической короной, содержащей карликовые галактики, шаровые звездные скопления, отдельные звезды, горячий газ. Масса галактики оценивается в 300 млрд масс Солнца, большая часть которой содержится не в звездах и межзвездном газе, а в несветящемся гало из темной материи (Иванов и др., 2016-а).

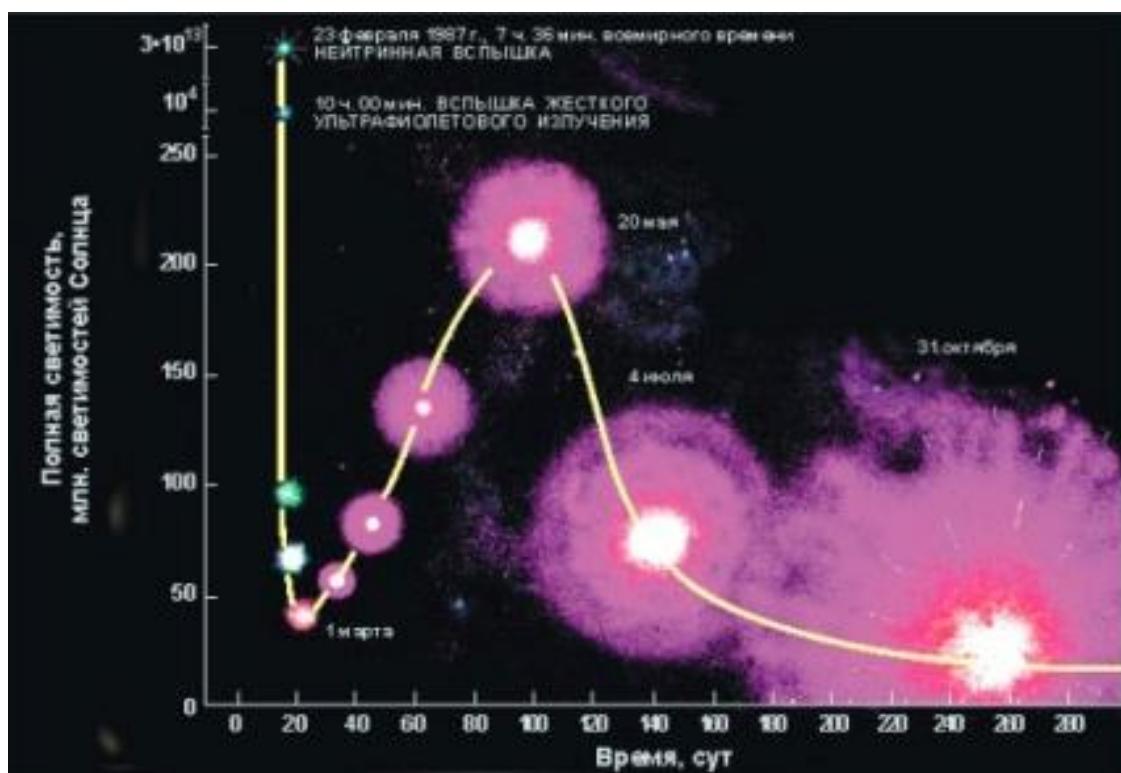


Рис.18. Взрыв сверхновой, 1987. Через несколько месяцев сверхновая превратилась в туманность (С.Вусли, Т. Уивер, 1989; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Одним из наиболее заметных образований галактики являются спиральные ветви или рукава, отходящие от диска, где в основном сосредоточены самые молодые звезды, многие рассеянные звездные скопления, содержащие большое количество межзвездных газопылевых облаков, в которых продолжают образовываться звезды. В спиральных ветвях находится большое количество переменных и вспыхивающих звезд, в них чаще всего наблюдаются взрывы некоторых типов сверхновых (рис.18). Главными рукавами ГМП являются рукава Лебедя, Ориона, Персея Стрельца, Наугольника и, по крайней мере, существует еще несколько рукавов меньших размеров, которые являются ответвлениями от основных.

**Звезды.** Главным населением Метагалактики являются звезды, в которых сосредоточено до 90% видимого вещества. Они представляют собой шарообразные горячие газовые (плазменные) самосветящиеся небесные тела, подобные Солнцу. звезды, звезды карлики и звезды гиганты. На стенде «Звезды» в Музее Землеведения МГУ (рис.19) дается основная информация о строении звезд, их различных типах и динамике развития.

Химический состав звезд непостоянен, он зависит от многих факторов и отражает влияние межзвездной среды и ядерных реакций, происходящих в ее недрах. Согласно спектральному анализу звезды состоят преимущественно из водорода (70–80%) и гелия (20–30%). На остальные химические элементы приходится от 0,1 до 4%.



*Рис.19. Стенд «Звезды» в экспозиции Музея Землеведения МГУ (из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)*

Это, в основном, различные металлы и углерод. Одной из самых больших известных звезд является звезда *VY Большого Пса* в созвездии Большого Пса, находящаяся на расстояние от Земли примерно 3900 св. лет. Ее радиус составляет 1420 радиусов Солнца.

Звезды в процессе своего развития меняются, они рождаются, стареют и «умирают» и в зависимости от стадии своего развития подразделяются на нормальные звезды, звезды карлики и звезды гиганты. Жизненный цикл звезды показан в центральной части стенда «Звезды» (рис.20). В недрах сформировавшейся звезды идут постоянные термоядерные процессы, вызывающие интенсивное свечение звезд, а водород постепенно переходит в гелий. Когда запасы водорода заканчиваются, звезда превращается в красного гиганта, ее диаметр увеличивается, возрастает и светимость. Ученые смоделировав эволюцию Солнца, показали, что где-то через 5 млрд лет оно

может превратиться в красного гиганта, размеры которого увеличатся в 200 раз, достигнув орбиты Земли. А еще через 100 млн лет, наше Солнце станет белым карликом, лишенным собственных источников термоядерной энергии и обладающим

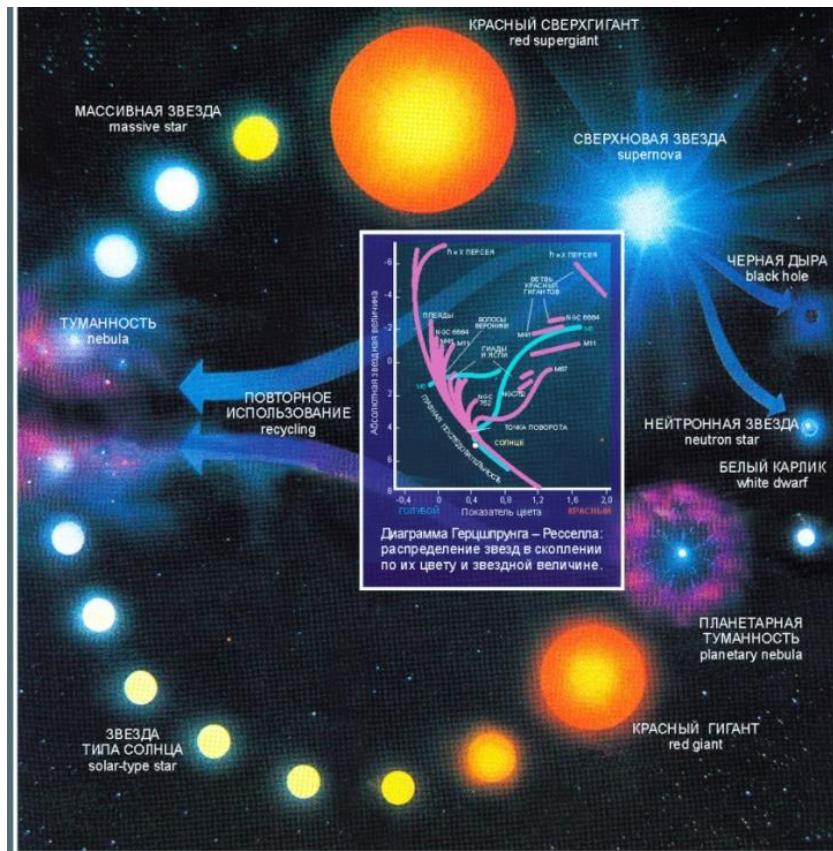


Рис. 20. Эволюция одиночных звезд (Сайсон и Жаклин Миттон. Астрономия, 1995; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-а)

большой плотностью. Продолжительность жизни звезды зависит от ее массы, а их эволюция происходит по-разному.

На этом же стенде, в центре схемы эволюции одиночных звезд (рис.20) приведена диаграмма Герцшпрунга – Рассела, позволяющая систематизировать звезды и проследить их жизненный цикл в зависимости от светимости и температуры, что определяет главную последовательность развития. В связи с этим выделяются классы светимости. I класс светимости имеют сверхгиганты, а II класс – красные гиганты с низкой температурой и ярким свечением. На диаграмме они располагаются в верхнем правом углу. Звезды, помещенные на диаграмме вдоль главной последовательности, т.е. нормальные звезды или как их еще называют *желтые карлики*, относятся к V классу светимости. К этому классу относится и наше Солнце. Субкарлики и *белые*

карлики, излучающие совсем немного света, относятся к VI и VII классам соответственно и располагаются ниже главной последовательности на диаграмме.

**Звездные системы** образуются из нескольких гравитационно-связанных звезд. В таких системах движение звезд происходит по замкнутым орбитам и обычно они связаны силами гравитации. Вокруг этих звезды могут вращаться планеты или астероиды. Звездная система может состоять из нескольких звезд, которые располагаются настолько близко друг к другу, что связаны взаимным притяжением и вращаются вокруг одного центра тяжести. Двойными называются звездные системы, состоящие из двух звезд (рис. 21), а если звезд в системе больше, то они называются кратными.

Существуют системы из трех, четырех, пяти и шести звезд. Солнечная система — это звездная система, образованная одиночной звездой — Солнцем — и другими телами, обращающимися вокруг него. В целом во Вселенной примерно 30% звезд являются одиночными. Чаще всего в галактиках встречаются кратные звезды, число которых по некоторым оценкам составляет 70%, из них сорок семь — двойных, двадцать три — кратных. Примером шестикратной звездной системы является Кастор из созвездия Близнецов.



Рис. 21 Модель симбиотической новой во время вспышки (Юдин Б.Ф., 1992; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

## Современные представления о возрасте и истории формирования Вселенной

Возраст Вселенной определяется временем, прошедшим с начала расширения Вселенной или с момента, так называемого «Большого Взрыва» (Big Bang), и до настоящего времени. Название «Big Bang» (дословный перевод – Большой хлопок)

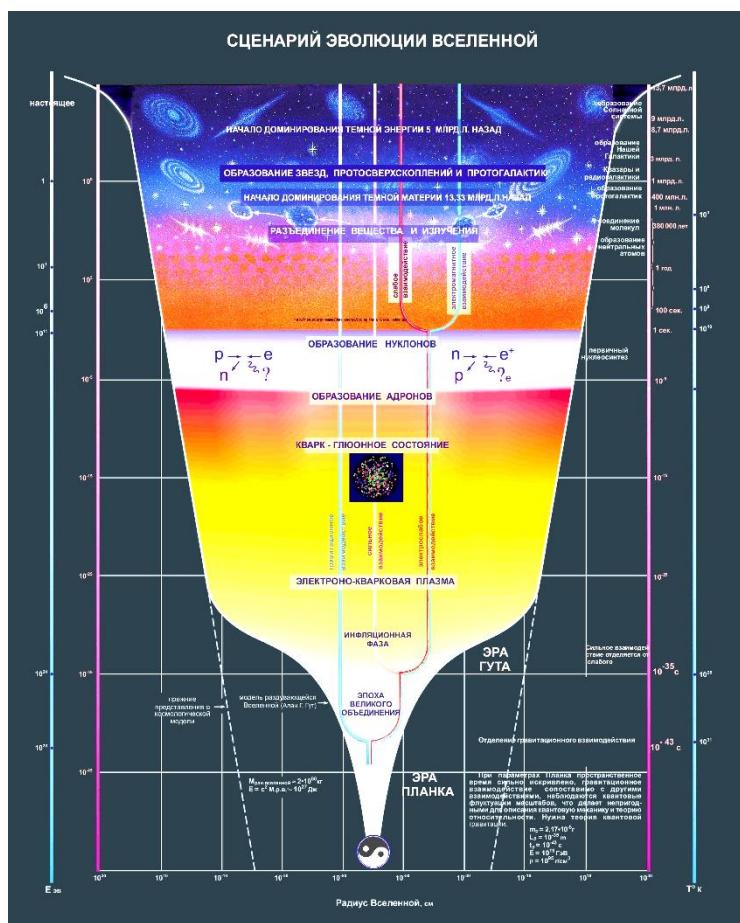


Рис.22. Сценарий эволюции Вселенной (из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

принадлежит Фреду Хойлу, который в 1949 году сказал: «Эта идея «Большого хлопка» (Big Bang) кажется мне совершенно неудовлетворительной».

Как можно определить возраст нашей Вселенной и возможно ли это? Возраст самых старых объектов, находящихся во Вселенной не должен превышать ее возраст, который получается при расчетах. В настоящее время возраст наиболее старых объектов Вселенной можно определить несколькими способами. Используя явление естественной радиоактивности или самопроизвольного распада ядер элементов,

встречающихся в природе, можно оценить возраст химических элементов и химических соединений, которые они образуют. Данные о том, что возраст Вселенной более 12,07 млрд лет были получены с помощью кривой в координатах светимость-температура, которая позволяет определить возраст самых старых шаровых скоплений звезд. В 11,5 млрд лет оценивается возраст старейших звезд белых карликов, поскольку старые белые карлики будут более холодными и менее яркими.

И все же, как и когда возникла Вселенная? Ответ на этот вопрос можно получить, посмотрев стенд «Вселенная» в Музее Землеведения МГУ. В целом, современная оценка возраста Вселенной построена на основе, так называемой стандартной космологической  $\Lambda$ CDM – модели (Lambda-Cold Dark Matter) согласно которой возраст Вселенной составляет по последним данным  $13,77 \pm 0,021$  млрд лет. Но и эта цифра, по-видимому, еще не окончательная, поскольку процесс определения возраста Вселенной еще продолжается. Почему такая величина? И почему она меняется и все время уточняется?

По-видимому, до Большого Взрыва вся материя Вселенной была сосредоточена в некотором объеме, имеющем микроскопические размеры, с высочайшей температурой и плотностью (рис.22). Такое состояние называется *сингулярным* (*singl* – единственный, англ.). Нестабильность внутри этого объема, которая возникла по неизвестной пока причине, и привела к Взрыву. Это был взрыв самого пространства, который привел вещество в движение.

Данная космологическая модель основывается на принципе относительности А.Эйнштейна, согласно которому любые законы природы одинаковы относительно неподвижных и движущихся с постоянной скоростью тел. А. Эйнштейн в начале XX в. показал, что Вселенная стационарна – силы гравитации или взаимного притяжения уравновешиваются силами отталкивания. Однако уже в 1922 г. русский ученый А.А. Фридман находит нестационарное решение гравитационного уравнения А. Эйнштейна и предполагает, что звездные системы должны либо сближаться либо удаляться друг от друга. А первоначально вся материя Вселенной должна была быть сосредоточенной в очень компактной области, откуда после взрыва, который произошел одновременно и повсюду, начался ее разлет. Образовавшееся пространство было заполнено очень плотным веществом, из которого через миллиарды лет образовались звёзды, галактики, наше Солнце, планеты и т.д. Именно эти исследования послужили началом развития теории «Большого Взрыва».

Уже в 1929 г. астроном Эдвин Хаббл впервые экспериментально подтвердил будущую теорию. Он занимается определением расстояния между наблюдаемыми объектами во Вселенной, используя значение спектрального или Красного смещения. Это позволило сделать вывод о том, что скорость удаления галактик от Земли зависит от того, на каком расстоянии от нее они находятся, т.е. скорость удаления галактик возрастает пропорционально расстоянию. И Эдвин Хаббл вычислил примерную величину коэффициента этой зависимости, которая получила название Постоянная Хаббла.

$$v = Hr,$$

где  $v$  – лучевая скорость галактики;  $r$  – расстояние до нее;  $H$  – коэффициент пропорциональности или постоянная Хаббла.

Однако данная величина на самом деле не является постоянной и меняется со временем. Но для всех объектов Вселенной «постоянная» Хаббла одинакова в каждый момент времени наблюдения. По современным оценкам этот коэффициент меняется в пределах от 50 до 100 (км/с)/Мпк или другими словами галактики, находящиеся на расстоянии 1 мегапарсек могут удаляться друг от друга со скоростью от 50 до 100 км/с.

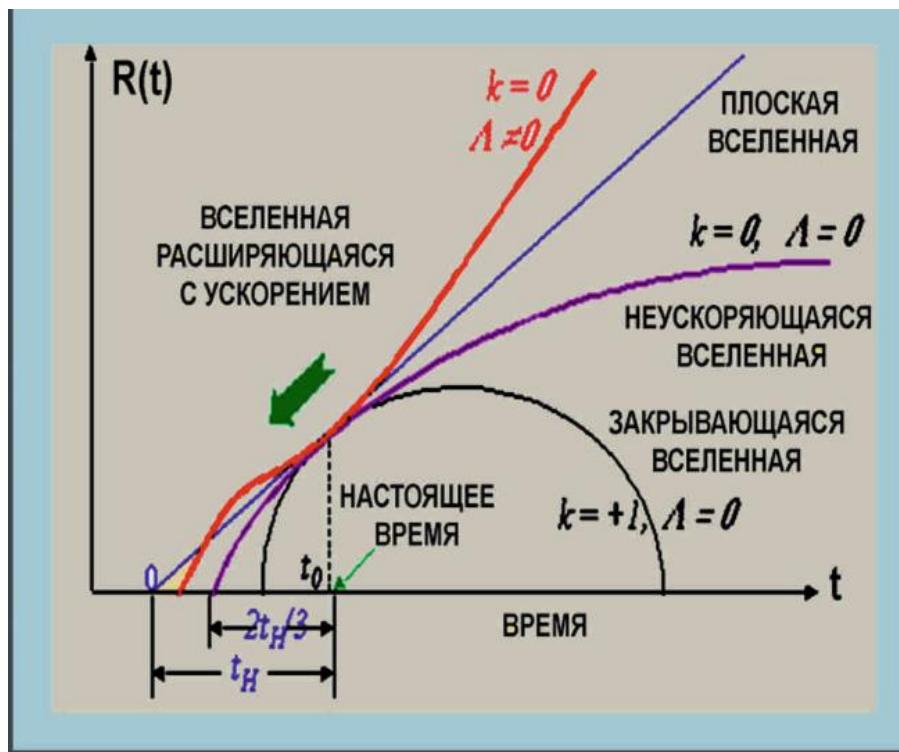


Рис.23. Первые модели эволюции Вселенной на основе Большого Взрыва  
(Дж. Силк, 1982, из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

На 2016 г. постоянная Хаббла равнялась  $66,93 \pm 0,62$  (км/с)/Мпк.

Таким образом, наше пространство и время возникли в Большом Взрыве, когда пространство начало расширяться и до настоящего времени происходит непрерывное расширение и охлаждение Вселенной. Расстояние между нашей и другими галактиками непрерывно увеличивается, поскольку галактики разбегаются во всех направлениях. Центра, от которого разбегаются галактики не существует, просто происходит взаимное удаление всех галактик со скоростью, пропорциональной расстоянию между ними!

В 1948 г. выходит работа Г.А. Гамова, в которой он развивает идею о том, что первичное вещество, из которого возникла Вселенная, было не только очень плотным, но и очень горячим. Позднее, в 1965 г. было получено второе подтверждение теории Большого Взрыва и первоначально горячей Вселенной. Радиоинженеры А. Пензиас и Р. Вильсон обнаруживают фоновое или реликтовое микроволновое космическое излучение, которое соответствует спектру излучения абсолютно черного тела с температурой  $2,725^{\circ}$  К (примерно  $-271^{\circ}$  С) с длиной волны 1,9 мм. За это открытие А.Пензиас и Р.Вильсон в 1978 г. были удостоены Нобелевской премии по физике.

Третьим экспериментальным подтверждением первоначально горячей Вселенной является ее современный состав. Она состоит приблизительно из  $\frac{3}{4}$  (по массе) водорода и  $\frac{1}{4}$  гелия с небольшим содержанием прочих элементов. Именно в первоначальном горячем кotle в результате ядерных реакций очень быстро возникли легкие химические элементы – водород и гелий, а все прочие тяжелые элементы возникли позднее уже внутри звезд и попадают в межзвездное пространство в результате взрывов сверхновых.

А что ждет нашу Вселенную в дальнейшем? Существующие сценарии развития нашего мира пока не могут ответить на этот вопрос однозначно. Будет ли она расширяться и дальше или начнет сжиматься (рис. 23)? А.Фридман показал, что уравнения общей теории относительности А. Эйнштейна приводят к гравитационной неустойчивости Вселенной и поэтому возможны три варианта ее формы: плоская, замкнутая и открытая, что зависит от отношения гравитационной энергии к кинетической энергии разлетающегося вещества или отношения плотности вещества во Вселенной к критической плотности вещества.

С формой Вселенной связана ее судьба – будет ли она расширяться или сужаться, будет ли она бесконечна или конечна. И все это зависит от скорости

расширения и плотности вещества, т.е. от того какое количество материи находится в конкретном объеме пространства.

Существующие теории и экспериментальные данные свидетельствуют о расширяющейся в настоящее время Вселенной. Долгое время считалась приоритетной модель развития *плоской* Вселенной, которая предполагает равномерное ее расширение по инерции (рис. 24) и сбалансированную плотность вещества. Однако, наблюдения сверхновых звезд, проведенные в 1998 г. в рамках Supernova Cosmology Project, показали, что постоянная Хаббла растет со временем, увеличивается и скорость разбегания галактик. Если это так, то Вселенная будет расширяться до бесконечности, а плотность вещества будет падать. И тогда большая часть галактик в будущем будет недоступна для наблюдения. Этот вариант развития называется *открытой* Вселенной. Если плотность вещества Вселенной достаточно велика, то гравитация может преодолеть силу расширения. Тогда за расширением может наступить период Большого сжатия, т.е. Вселенная может снова вернуться в первоначальное сингулярное состояние. Такая модель развития Вселенной получила название *закрытой*.

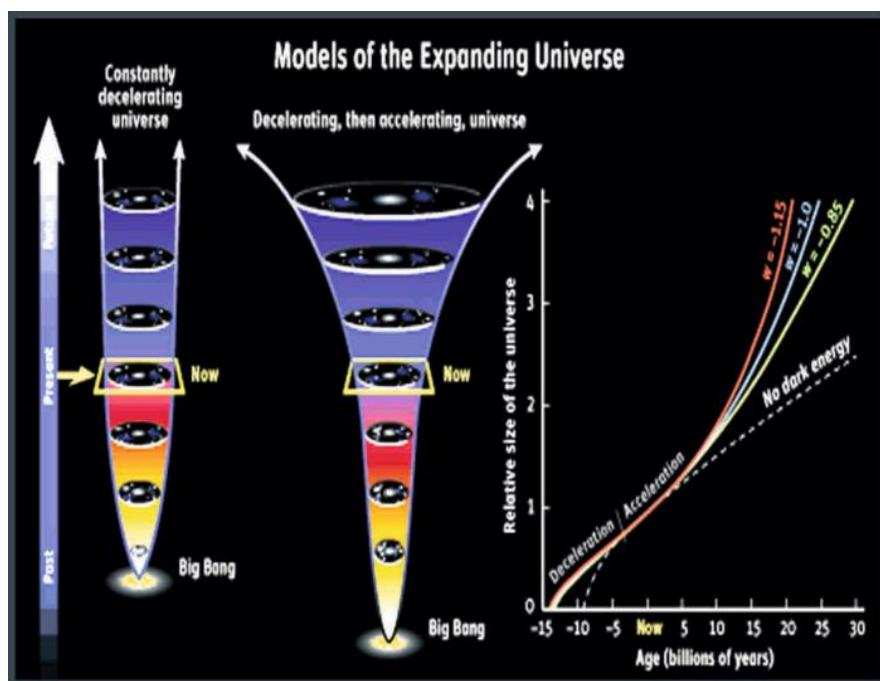


Рис.24. Слева – модель Вселенной без ускорения расширения. В центре – модель экспоненциально расширяющейся Вселенной. Справа – сценарий расширения Вселенной (S. Carroll, 2005; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Так что же ждет Вселенную в конечном итоге – равномерное расширение, коллапс или сверхбыстрое расширение? Все зависит от природы таинственной темной материи, ускоряющей расширение Вселенной. Если расширение будет продолжаться, то Вселенная рассеется и погибнет как единое целое. А может, в дальнейшем она будет развиваться без ускорения и расширения.

*Таким образом, астрономические тела имеют тенденцию образовывать системы. Звезды соединяются в пары, звездные скопления или кластеры. Крупнейшие объединения звезд во Вселенной — это галактики, которые, как правило, не существуют изолированно. Почти все яркие галактики Вселенной либо входят в небольшие группы из нескольких крупных галактик, либо в скопления из тысяч галактик. Группы и скопления, в свою очередь, часто образуют сверхскопления, которые состоят из нескольких крупных групп или скоплений, включая отдельные галактики и облака газа. Но скопления и сверхскопления иерархию космических структур обрывают.*

*Наша Вселенная образовалась в результате Большого Взрыва, а что ее ждет в дальнейшем – это определить пока невозможно. Убедиться в истинности предлагаемых сценариев развития событий очень непросто. Однако, скорее всего наша Вселенная будет другая. 13,7 млрд лет назад Большой Взрыв создал нашу Вселенную и водород, а водород создал звезды. Звезды в процессе своей эволюции создали все остальные химические элементы. На многие вопросы, которые были рассмотрены в этом небольшом обзоре, и которые еще могут возникнуть при чтении этой статьи, можно получить ответы, посетив экспозицию «Земля во Вселенной», расположенную на 30 этаже в Музее Землеведения МГУ.*

# Солнечная система

## Население (состав) и строение Солнечной системы

Солнечная система – это лишь небольшой кусочек нашей Галактики Млечного Пути, частью которой она является. Солнечная система включает в себя центральную звезду – Солнце и все естественные космические объекты, вращающиеся вокруг нее. Конечно, интересно знать, как и когда сформировалась Солнечная система, ее строение и объекты ее населяющие.



Рис.25. Стенд «Солнечная система» в Музее Землеведения МГУ  
(из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Ответ на эти и многие другие вопросы можно найти в Музее Землеведения МГУ на 30 этаже в зале №2, где расположена экспозиция «Земля во Вселенной». В рамках этой экспозиции на стенде «Солнечная система» (рис.25) наглядно демонстрируется строение Солнечной системы и Солнца, динамика его развития, а также рассмотрены населяющие Солнечную систему небесные объекты (Иванов и др., 2017).

**Строение Солнечной системы.** Прежде чем говорить о Солнечной системе и об объектах ее населяющих, надо обсудить, а какие размеры она имеет. Конечно, в космосе нет четких границ, но считается, что граница Солнечной системы проходит там, где заканчивается гравитационное влияние Солнца, а это около 2 св. лет или примерно 19 триллионов километров. Иногда границей Солнечной системы считают область, где заканчивается поток солнечной плазмы и по разным оценкам это происходит на расстоянии 130–230 а.е.

А из чего состоит Солнечная система, каково ее строение? Конечно – это центральная звезда – Солнце, вокруг которой вращается 8 планет, их спутники, карликовые планеты, малые тела: астероиды, метеороиды и кометы. Кроме того, в состав Солнечной системы входит межпланетная пыль, размером от 0,01 до 0,2 мкм, частицы солнечного ветра, свободные атомы водорода, космические лучи, гравитационные и магнитные поля.

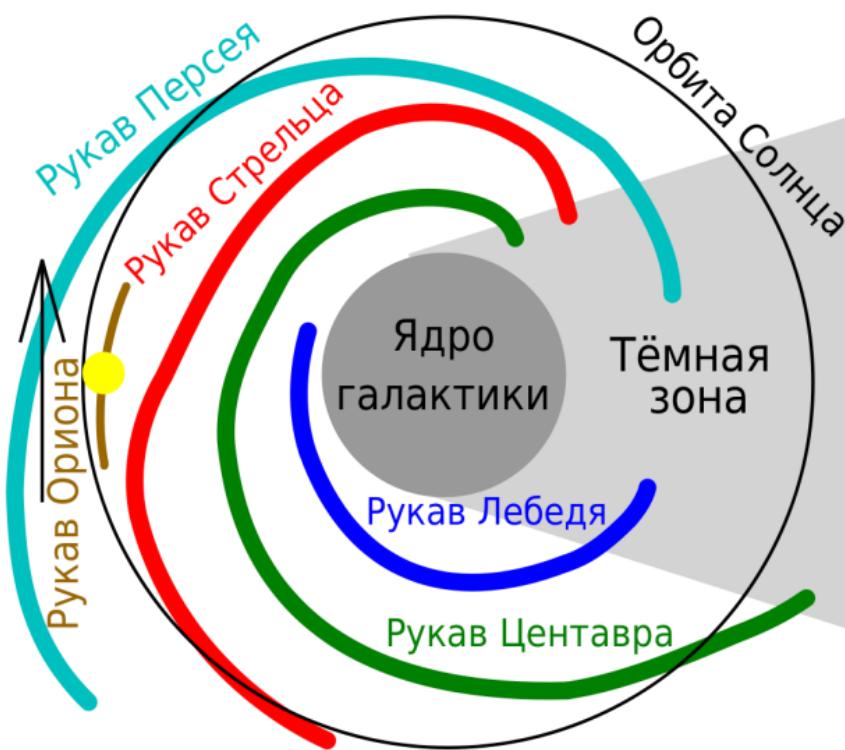


Рис. 26. Положение солнечной системы внутри Галактики Млечного Пути (<http://naturelivingworld.y-way-galaxy.html>; из кн. Иванов О.П. и др., 2016)

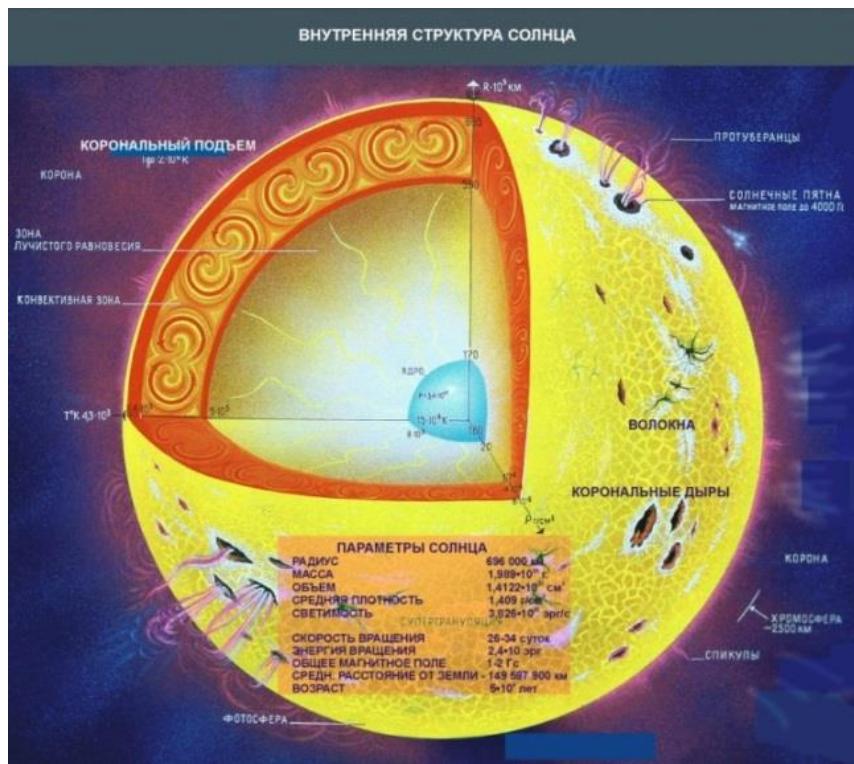


Рис.27. Модель строения Солнца (из кн. Иванов О.П. и др., 2016).

**Солнце и его строение.** Наше Солнце располагается на расстоянии 3/5 от центра Галактики Млечного Пути в небольшом Рукаве Ориона, который имеет толщину приблизительно в 3 500 св. лет, а длина его равна приблизительно 11 000 св. лет (рис. 26). Солнце совершает один оборот вокруг центра Галактики за  $220 \pm 10\%$  млн лет со скоростью 240 км/сек. Примерно с такой же скоростью врачаются и спиральные рукава. И, как следствие, Солнечная система не пересекает области активного звездообразования, в которых часто вспыхивают сверхновые звезды, представляющие собой источники губительного для жизни излучения.

Что же представляет собой Солнце? Это гигантский раскаленный плазменный шар, являющийся единственной звездой Солнечной системы. диаметром 1,4 млн км при средней плотности  $1,4 \text{ г/см}^3$ , которая увеличивается в ядре. Согласно современной классификации спектральный класс звезды зависит от ее температуры и класса светимости. На основе этих данных была построена диаграмма Герцшпрунга — Рассела, являющаяся в настоящее время одной из основных классификационных астрономических систем. Солнце согласно этой диаграмме относится к типу G2V или желтому карлику. Солнце содержит в себе 99,866% всей массы Солнечной системы, а

на все остальные тела приходится лишь незначительная часть вещества. Диаметр Солнца почти в 109 раз больше диаметра Земли. Солнце состоит примерно на 73% из водорода, 25% гелия, а на долю других 67 химических элементов приходится примерно 2% от его массы. Источником энергии служит термоядерный синтез, суть которого заключается в переходе водорода в гелий. В ходе этого цикла из 4 ядер водорода – протонов образуется одно ядро гелия и при этом высвобождается какое-то количество энергии.

В шестидесятых годах XX в. астрономы обнаружили, что верхние слои Солнца раз в пять минут поднимаются и опускаются, что оказалось, связано с конвекцией в его внешних оболочках. Поэтому для изучения глубинных слоев Солнца стали использовать методы гелиосейсмологии, основанные на измерении и анализе частот собственных солнечных акустических колебаний и волн. Благодаря этим «солнцетрясениям» астрофизики научились прослушивать Солнце и определили, что оно состоит из нескольких слоев. Центральная часть Солнца с радиусом около 150 тыс. км представляет собой ядро (рис. 27), где идут термоядерные реакции, плотность вещества составляет примерно  $150 \text{ г}/\text{см}^3$ , а температура  $15 \cdot 10^6$  градусов Цельсия, выше следует зона радиации или зона переноса лучистой энергии с помощью поглощения и излучения хаотично движущихся фотонов. Выше, над областью переноса лучистой энергии, располагается зона конвекции, мощностью около 200 тыс. км, где происходит перенос энергии к поверхности за счет вихревого перемещения плазмы. Выше конвективной зоны располагается постоянно колеблющаяся атмосфера Солнца, состоящая из фотосферы, хромосферы и солнечной короны. Фотосфера или нижний слой атмосферы, имеет температуру в  $6000^\circ\text{K}$ . Именно, фотосфера испускает свет, который мы видим. Хромосфера значительно горячее фотосферы и для нее характерны светящиеся выбросы ионизированной плазмы, вырывающиеся на высоту в сотни тысяч километров. Такие выбросы называются *солнечными протуберанцами*, образующими над поверхностью Солнца «фонтаны», «арки» и прочие светящиеся объекты из хромосферного вещества (рис.28).

Хромосферу окружает очень горячая солнечная корона, состоящая из разреженной плазмы. Несмотря на очень высокую температуру, от 600 000 до  $5\ 000\ 000^\circ\text{C}$ , она видна невооруженным глазом только во время солнечного затмения, так как плотность вещества в короне мала, а потому невелика и ее яркость. Форма короны меняется: в периоды максимальной активности Солнца она имеет округлую форму, а в минимуме – вытянута вдоль солнечного экватора.

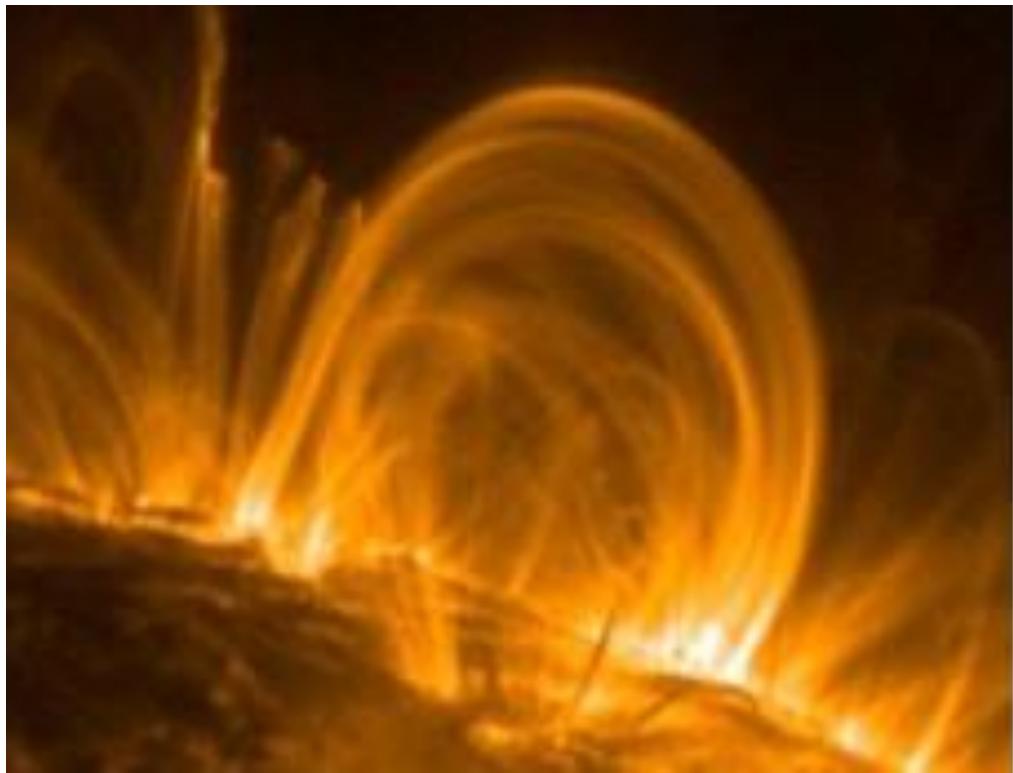


Рис. 28. Система арок над активной областью (крайний УФ), связывающая два пятна разной полярности (М. Ашванден, 2005; Лаборатория Солнца и астрофизики Локхид Мартен; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Солнце излучает свою энергию во всех длинах электромагнитных волн, начиная с радиоволн и заканчивая гамма-лучами. Приблизительно 44% энергии излучения приходится на видимую часть спектра, около 48% энергии составляют инфракрасные лучи, на гамма-лучи, рентгеновское, ультрафиолетовое и радиоизлучение приходится лишь около 8% энергии. Солнечная корона постоянно излучает в космос поток ионизированной плазмы, в основном протонов, электронов и ядер гелия, имеющих скорость 300-1200 км/с, который называется *солнечным ветром*. Резкие изменения в скорости солнечного ветра воздействуют на магнитное поле Земли и вызывают магнитные бури в земной атмосфере. Интенсивность магнитной бури на Земле оценивается по 5-ти бальной шкале от G1 до G5, которая была введена Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) в 1999 г. и характеризует воздействие магнитного поля на людей, животных, электротехнику и т.д. Выделяется G1 – слабая буря, G2 – средняя буря, G3 – сильная буря, G4 – очень сильная буря, G5 – экстремально сильная буря.

На Солнце периодически появляются пятна, которые на фоне поверхности Солнца выделяются своим темным цветом. Это связано с тем, что температура *солнечных пятен* значительно ниже, чем температура фотосферы звезды. Их количество меняется от максимума, когда наблюдается больше всего солнечных пятен, корональных вспышек, выбросов, до минимума, когда солнечная активность значительно снижается. Этот период получил название *солнечный цикл*, который может длиться от 7 до 15 лет, а его средняя продолжительность составляет примерно 11 лет. Предполагается, что солнечный цикл, т.е. появление и исчезновение пятен на Солнце связан с взаимодействием магнитного поля Солнца и конвективного слоя, поскольку солнечные пятна имеют мощные магнитные поля. Именно солнечные пятна являются зонами наибольшей солнечной активности. На стенде «Солнце» (рис.29) в экспозиции «Земля во Вселенной» помещено несколько схем и фотографий, показывающих магнитные особенности Солнца, предлагается модель возникновения пятен (Иванов и др., 2015).

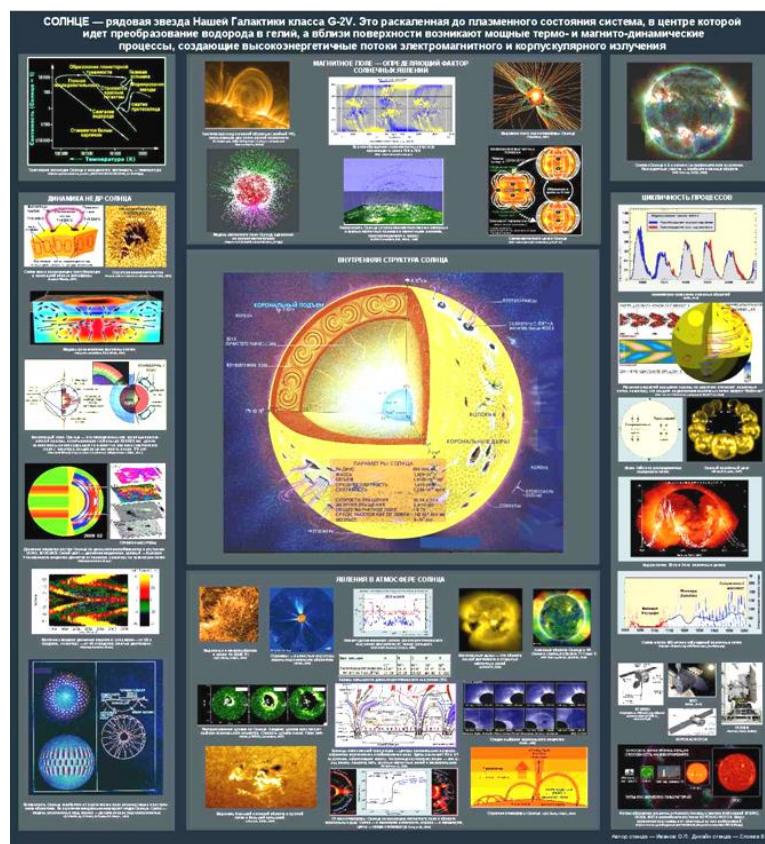


Рис.29. Общий вид стенда «Солнце» в экспозиции Музея Землеведения МГУ

А что будет с Солнцем дальше, насколько хватит у него горючего? Солнце сжигает запасы водородного топлива и примерно через 5 млрд лет водород в ядре

Солнца будет полностью преобразован в гелий. В конечном счете, внешние слои

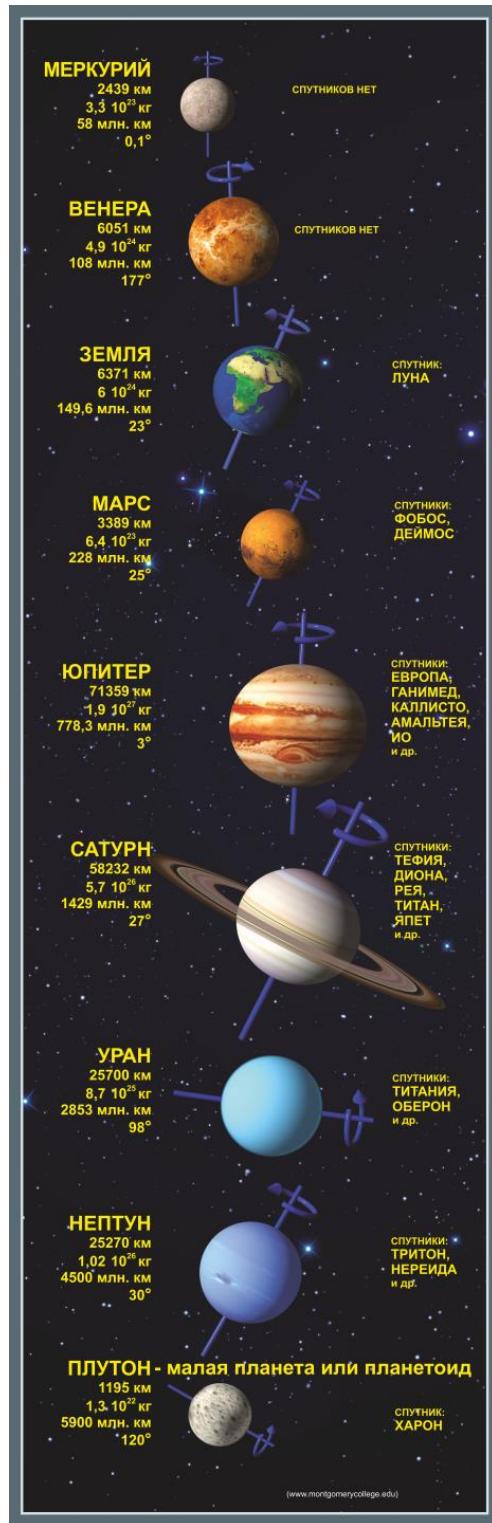


Рис.30. Планеты солнечной системы и их спутники ([www.montgomerycollege.edu](http://www.montgomerycollege.edu); из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в).

Солнца будут выброшены в окружающее пространство, образовав планетарную туманность, в центре которой останется лишь белый карлик, необычно плотный объект в 1/2 первоначальной массы Солнца, но размером с Землю. Эта туманность возвратит часть материала, который сформировал Солнце, в межзвездную среду. Когда атмосфера Солнца увеличится в размерах до нынешнего диаметра орбиты Земли, с планеты исчезнут океаны, перестанет существовать атмосфера, и поверхность Земли превратится в пустыню. Но до этого еще далеко.

### Общая характеристика планет

**Солнечной системы.** Солнечная система изучена далеко не полностью, ее объекты хранят еще много тайн, но все же мы знаем о ближайших к нам соседях — планетах Солнечной системы довольно много. На орбите вокруг Солнца врачаются 8 планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, представляющие собой небесные тела, оказавшиеся достаточно массивным, чтобы приобрести округлую форму и сумевшие очистить свою орбиту от других небесных тел. Все планеты Солнечной системы подразделяются на Планеты земной группы и Внешние планеты-гиганты (рис.30). Планеты земной группы, к которым относятся Меркурий, Венера, Земля и Марс, представляют собой твердые тела, имеют сравнительно небольшие размеры и легкую газо-водную оболочку (кроме Меркурия). На поверхности планет земной группы обнаружены следы тектонической деятельности. В

состав планет земной группы входят силикаты, формирующие мантию и кору, и

металлы – железо и никель, из которых образовано ядро. Эти планеты или не имеют спутников или их мало.

*Меркурий* – это первая планета от Солнца и, хотя на ее поверхность еще не садились спускаемые аппараты, две межпланетные станции «Маринер-10» и «Мессенджер» исследовали Меркурий с его орбиты. Меркурий является самой маленькой планетой Солнечной системы, его диаметр составляет 4880 км, и самой быстрой с периодом обращения вокруг Солнца всего 88 дней. Для этой планеты характерны значительные перепады температур от +450°C днем на солнечной стороне до минус 170°C ночью. Меркурий обладает слабым магнитным полем. Поверхность Меркурия покрыта многочисленными кратерами. Эта планета имеет очень разреженную атмосферу, в которой присутствуют натрий, кислород, гелий, калий, водород и аргон.

*Венера* – вторая планета от Солнца и по своим размерам очень близка к Земле. Собственное вращение этой планеты вокруг оси противоположно направлению ее обращения вокруг Солнца. Попытки исследовать эту горячую планету делались неоднократно учеными различных стран, но сих пор она таит в себе много тайн. Атмосфера Венеры, образованная в результате дегазации недр, состоящая на 97% из углекислого газа, 4% азота и совсем незначительного количества водяного пара и кислорода, очень плотная, а химические процессы в облаках способствуют образованию кислот и кислотных дождей. Такая плотная атмосфера создает эффект парника, и температура на поверхности поднимается до +475°C, которая стабильно удерживается днем и ночью. Высокое давление, в 92 раза больше, чем на Земле и постоянно дующие со значительной скоростью ветры характерны для этой планеты.

Третья планета от Солнца – *Земля* является самой крупной из планет земной группы с диаметром 12756 км. Она отличается от других планет наличием гидросферы и атмосферы, в состав которой главным образом входит 78% азота и 21% кислорода. Доля углекислого газа, аргона, неона, радона, гелия, криптона, водорода, метана, закиси азота и озона оставляют примерно 1%. Среднегодовая температура поверхности 15°C. У Земли имеется спутник – Луна и она обладает магнитным полем.

*Марс* – третья по величине планета земной группы, ее диаметр примерно в два раза меньше земного. Иногда ее называют «Красной планетой», поскольку именно такой оттенок придает ей оксид железа, покрывающий поверхность. К этой планете учёные всегда проявляли значительный интерес. К ней летали многочисленные космические аппараты, спускаемые аппараты садились на ее поверхность, марсоходы

передавали снимки и данные на Землю. И все же эта планета остается малоизученной. На Марсе довольно разреженная атмосфера, представленная углекислым газом (96%), аргоном (1,93%), азотом (1,89%), примесями кислорода с водой и с большим количеством пыли. В атмосфере этой планеты были найдены следы метана. Температура резко меняется на экваторе и на полюсах, а среднегодовая температура даже отрицательная и составляет минус 30°C. Но поскольку плоскость экватора наклонена к его орбите также как и на Земле, на Марсе наблюдается смена климатических сезонов. Предполагается, что на Марсе есть вода, но в виде льда. Эта планета обладает двумя спутниками – Деймосом и Фобосом.

*Внешние планеты-гиганты* абсолютно не похожи на планеты земной группы. Эти четыре планеты, в сумме содержащие 99% массы вещества, обращающегося на орбите вокруг Солнца, располагаются за Главным поясом астероидов, который находится за орбитой Марса и представлены Юпитером, Сатурном, Нептуном и Ураном. Они недаром называются планетами-гигантами, поскольку обладают большими размерами и массой, у них мощная атмосфера, газово-жидкие оболочки и небольшие ядра. Внешние планеты быстро вращаются вокруг своей оси, имеют газопылевые кольца и много спутников.

Пятая от Солнца планета – *Юпитер* самая большая в Солнечной системе, ее масса в 2 раза больше остальных планет вместе взятых, а экваториальный радиус в 11 раз больше земного. Эта планета исследуется с помощью наземных и орбитальных телескопов, к ней были отправлены межпланетные корабли, ее изучали с помощью спускаемых аппаратов. Один оборот вокруг Солнца Юпитер делает примерно за 12 земных лет, а сутки на этой планете делятся около 10 часов. Юпитер состоит почти целиком из водорода и гелия, а его средняя плотность равна всего 1,33 г/см<sup>3</sup>. Эта загадочная планета совершенно не похожа на планеты земной группы. Юпитер состоит из трех слоев – водородно-гелиево-аммиачной атмосферы, металлического водорода и ядра, состоящего из металлов и силикатов. У нее нет твердой поверхности, а атмосфера постепенно переходит в нижележащий слой. В атмосфере Юпитера происходит много интересных процессов, она является подвижной и турбулентной. В ней формируются мощные облачные структуры, температура в верхних слоях которых составляет минус 145°C, и постоянно дующие в одном направлении сильные ветры, в т.ч. гигантский штурм – Большое красное пятно. Скорость ветра на Юпитере превышает 600 км/час, что может быть связано с потоками тепла, идущими из центра планеты и с энергией, выделяемой при движении Юпитера вокруг своей оси. Кроме того, Юпитер обладает

очень сильным магнитным полем. Вокруг этого газового гиганта вращается большое количество спутников, размером от 2 до 5000 км в диаметре. На сегодняшний день считается, что их 69. Имеется и небольшое кольцо, состоящее преимущественно из космической пыли. К самым крупным и хорошо известным спутникам Юпитера относятся Ганимед, диаметром 5262 км, Каллисто, Ио, Европа.

Шестая планета – *Сатурн* – вторая по размерам в Солнечной системе. Он состоит в основном, из водорода, гелия, а ацетилен, аммиак, этан, метан и другие газы присутствуют в очень незначительных количествах. Плотность этого газового гиганта очень мала, всего 0,69 г/см<sup>3</sup>. Мощная газовая атмосфера состоит преимущественно из водорода и гелия, в которой формируются облака и вихревые потоки. Облака верхних слоев атмосферы состоят в основном из кристаллического аммиака, а нижние – из гидросульфата аммония и воды. Газы планеты находятся в постоянном движении, в результате быстрого вращения и значительной конвекции образуются сильные ветры, дующие в восточном направлении. Ниже атмосферы находится оболочка жидкого молекулярного водорода и металлического водорода. В центре располагается, по-видимому, ядро, состоящее из железа и силикатов, окруженное слоем льда. Сатурн обладает мощным магнитным полем, которое значительно сильнее земного. Самая красавая система из 7 тонких колец, состоящих из льда, пыли и небольших обломков, имеется именно у Сатурна. С Земли видно только несколько колец. У Сатурна 62 известных на сегодняшний день спутника, у 53 из них есть официальные названия. К наиболее известным спутникам Сатурна относятся Титан, Рея, и Энцелад.

*Уран* является седьмой по счету от Солнца планетой, он по своим размерам в 4 раза больше Земли. Уран находится очень далеко от Солнца и поэтому труднодоступен для изучения. Только один космический аппарат сумел долететь до этой точки Солнечной системы. Это уникальная планета, она вращается «лежа на боку», поскольку ее ось расположена практически в плоскости орбиты. Один оборот вокруг своей оси Уран совершает за 17 часов 14 минут по часовой стрелке, т.е. с востока на запад, как и Венера, в отличие от других планет Солнечной системы. А один оборот вокруг Солнца Уран делает за 84 земных года. Уран имеет небольшое железокаменное ядро, ледяную мантию и плотную атмосферу примерно такого же состава, как и у других газовых гигантов, состоящую примерно на 70% из водорода, на 25% из гелия и метана. Немногочисленные водные, метановые и аммиачные облака перемещаются в хаотичном порядке. Уран является самой холодной планетой в нашей системе, наименьшая зафиксированная температура на его поверхности составляет минус 224°C.

Уран имеет 13 тонких колец, которые состоят из космической пыли и обломков разного размера. У Урана обнаружено 27 спутников, наиболее крупные из которых – это Титания, Обертон, Умбриэль, Миранда и др.

*Нептун* – самая дальняя и таинственная планета Солнечной системы из-за значительной удаленности от Солнца. Данные телескопов обладают незначительной точностью, а вблизи планеты пролетел только один космический аппарат. По своим размерам он меньше Урана, но превосходит его по массе. Делает полный оборот вокруг Солнца (год на Нептуне) за 165 земных лет. Нептун представляет собой шар из газа и льда, возможно имеющий ядро, состоящее из силикатов, никеля и железа, а мантия образована водой, аммиаком и метановым льдом. Атмосфера на 80% состоит из водорода и на 19% из гелия с незначительным количеством метана. Гигантские вихри перемещаются в атмосфере планеты со значительной скоростью, что вызывает появление Больших и Малых пятен. На Нептуне можно наблюдать слабые вспышки полярных сияний, причем они появляются не только на полюсах планеты, а практически на всей поверхности. Нептун обладает магнитным полем. У него 14 спутников, самым крупным из которых является Тритон, и несколько колец.

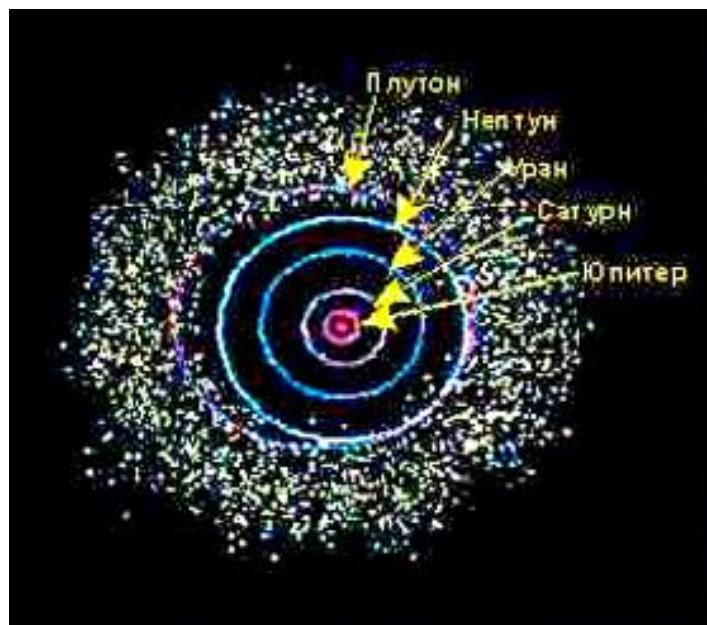


Рис. 31. Пояс Койпера (из кн. Иванов О.П. и др., 2017)

**Другие объекты Солнечной системы.** А что дальше, что находится за пределами орбиты Нептуна? Солнечная система на расстоянии более 30 а.е. от Солнца, а именно на таком расстоянии находится Нептун, заселена, так называемыми

*транснептуновыми объектами (THO), сосредоточенными в поясе Койпера, Рассеянном диске и облаке Орта.*

Пояс Койпера или Эйджворт-Койпера располагается на расстоянии приблизительно от 30 до 45 а. е. от Солнца (рис.31). Количество жителей пояса Койпера – этого ледяного края, точно неизвестно, скорее всего, в нем находится сотни тысяч малых объектов диаметром от 100 до 1000 км, реликтов времен образования Солнечной системы, и множество комет с периодом обращения менее двух столетий. Объекты пояса Койпера состоят, в основном, из замороженных летучих соединений метана, аммиака и воды и тускло освещены. Их общая масса не превышает 10% от массы Земли. На сегодняшний день известно около 2000 транснептуновых объектов с разнообразными характеристиками.

*Рассеянный диск* расположен за поясом Койпера, и его внутренняя граница совпадает с внешней границей пояса Койпера, а внешняя находится на расстояние 135–145 а.е. от Солнца. Это пока еще мало изученная область Солнечной системы, поскольку большинство объектов, располагающихся в этом поясе, были открыты только в конце XX – начале XXI вв. Происхождение Рассеянного Диска до сих пор не совсем ясно. Считается, что он мог возникнуть из-за гравитационного влияния внешних планет, особенно Нептуна, на пояс Койпера, когда часть его объектов были как-бы «рассеяны», и перемещены. Рассеянный диск состоит на 99% изо льда и пыли и его средняя плотность значительно меньше плотности пояса Койпера. Объекты Рассеянного диска, которые относятся к транснептуновым объектам, сокращенно называют SDO (scattered disc object).

*Карликовые планеты.* Часть объектов пояса Койпера и Рассеянного диска в 2006 году получили статус карликовых планет. Согласно определению Международного астрономического союза (МАС), к карликовым планетам относятся небесные тела, которые обращаются по орбите вокруг Солнца, имеют достаточную массу для того, чтобы под действием сил гравитации поддерживать гидростатическое равновесие, их форма близка к окружной; они не доминируют на своей орбите и не являются спутником планеты. Под данное определение подходит много небесных тел, но официально зарегистрировано только 5 объектов: Плутон, Хаумеа, Макемаке, Церера и Эрида. Однако предполагается, что еще около 40 из известных объектов в Солнечной системе, возможно, принадлежат к этой категории. Например, такие крупные тела как Седна, Квавар, Варуна и Орк могут быть отнесены к карликовым планетам после уточнения их размеров (Иванов и др., 2017-а). Одна карликовая планета – Церера,

имеющая радиус 476 км, не принадлежит к ТНО. Она располагается в поясе астероидов между Марсом и Юпитером, являясь его самым большим объектом. Три карликовые планеты принадлежат поясу Койпера. *Плутон* — первый известный науке транснептуновый объект, с момента открытия, до 2006 года считавшийся девятой планетой Солнечной системы, имеет диаметр 2370 км. Это самая крупная известная карликовая планета на сегодняшний день. Скорее всего, он имеет каменистую поверхность, покрытую слоем льда. Орбита планеты *Макемаке*, имеющей диаметр 1500 км, располагается еще дальше, чем орбита Плутона. Ее поверхность состоит из замерзших метана и этана, вероятно с небольшим количеством азота. *Хаумеа* имеет очень интересную овальную форму, похожую на мяч для американского футбола, что, скорее всего, связано с ее очень быстрым вращением вокруг своей оси. Карликовая планета — *Эрида* (Эрис), с диаметром 2326 км, принадлежит Рассеянному Диску, ее орбита находится на расстоянии 68 а.е. от Солнца. Это так далеко, что у нее просто не может быть атмосферы, а поверхность покрыта льдом.

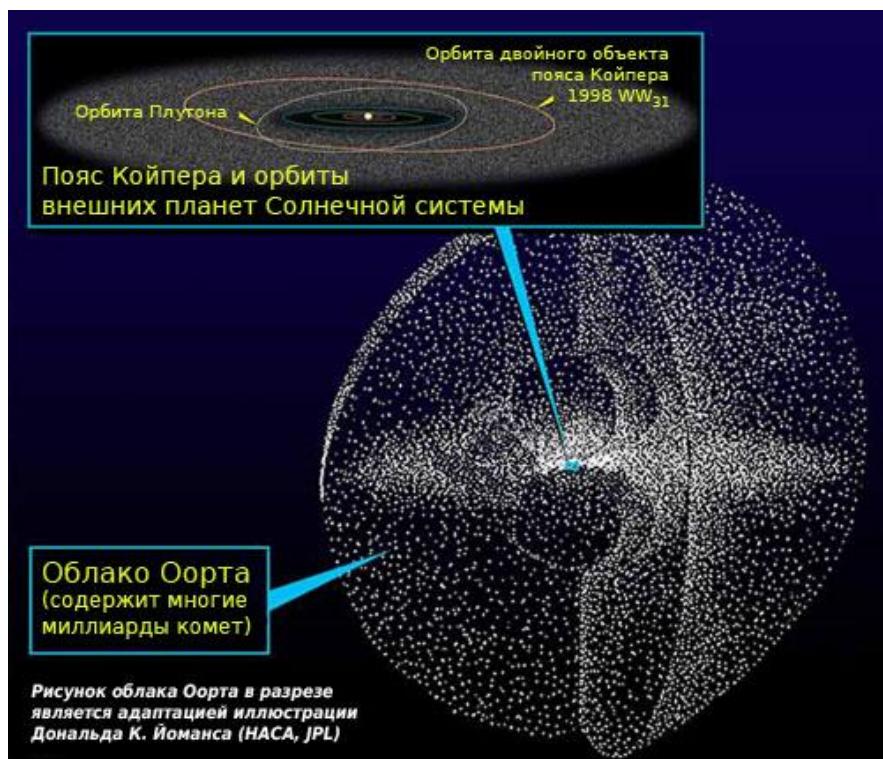
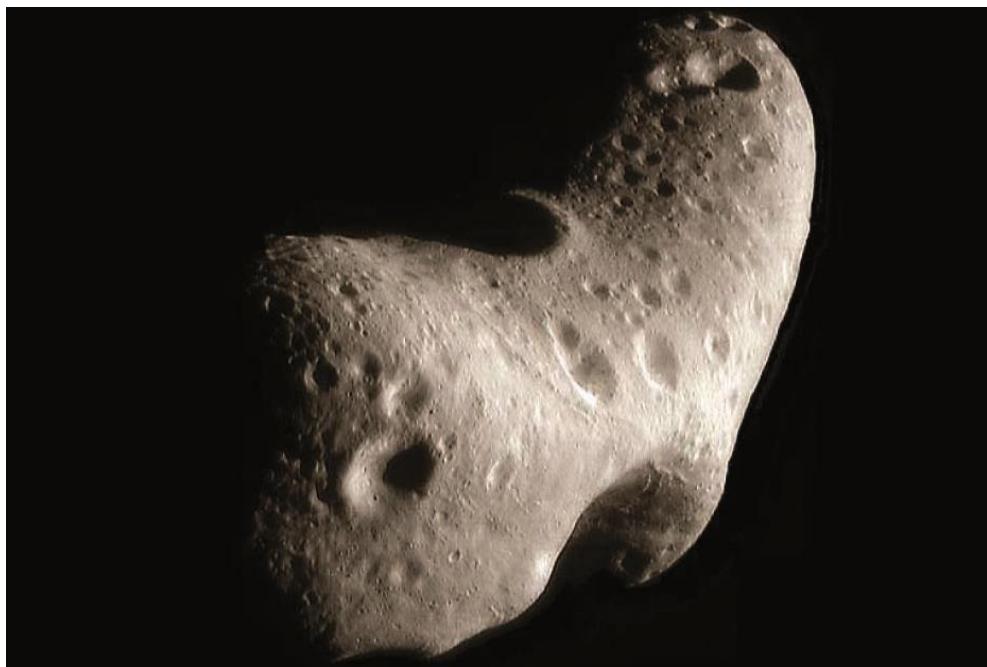


Рис.32. Облако Оорта в разрезе ( по Дональд К. Йоманс, NASA, JPL; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

*Облако Оорта* является последним рубежом Солнечной системы. Не совсем ясно, где оно начинается и где заканчивается. В 1950 г. нидерландский астрофизик Я.

Оорт предположил, что в пространстве вокруг Солнца находится множество ядер комет, численность которых оценивается в  $10^{12}$ , а полная масса – в 1-100 масс Земли. Эта гипотетическая область Солнечной системы, существование которой инструментально не подтверждено, но косвенные факты указывают на ее наличие, была названа его именем (рис.32). Пространство вокруг астрономического объекта, в пределах которого за счет гравитационного взаимодействия он может удерживать более мелкие тела, называется сферой Хилла. Границей сферы Хилла для Солнечной системы, т.е. границей гравитационного влияния Солнца является облако Оорта, которое включает две отдельные области: сферическое внешнее облако, расположенное на расстоянии 20000–50000 а.е., а по некоторым данным даже до 100000 а.е., и внутреннее облако в форме диска, расположенное на расстоянии 2000–20000 а.е.

Облако Оорта содержит многие миллиарды комет, с периодом обращения свыше двух веков. Полагают, что объекты, составляющие облако Оорта, сформировались около Солнца, и были рассеяны далеко в космос на раннем этапе развития Солнечной системы. Они в значительной степени состоят из водяных, аммиачных и метановых льдов.



*Рис.33. Астероид Эрос (университет Д. Хопкинса, NASA, 2006; из кн. Иванов О.П. и др., 2016)*

**Малые тела Солнечной системы.** Термин малые тела Солнечной системы введен Международным астрономическим союзом в 2006 г. для описания объектов, которые не являются ни планетами, ни карликовыми планетами, ни их спутниками. К ним относятся астероиды, метеороиды и кометы. На стенде «Солнечная система» находящемся в экспозиции «Земля во Вселенной» на 30 этаже Музея Землеведения МГУ можно посмотреть материалы, посвященные малым телам.

*Астероиды* (ἀστεροειδής — подобный звезде, др.-греч.) представляют собой твердые космические тела, которые врачаются вокруг Солнца между Марсом и Юпитером в Главном поясе астероидов на расстоянии 1,7–4,0 а.е. в том же направлении, что и планеты, но орбиты у них более вытянутые и с большим эксцентриситетом. Они появились в Солнечной системе в момент ее формирования и, по-видимому, представляют собой остатки планетезималей, которые не сумели объединиться и образовать планету. Совокупная масса всех объектов в Главном поясе астероидов не превышает 4% от массы Луны. Большинство астероидов имеют неправильную форму, у них нет атмосферы (рис. 33). Согласно современной классификации к астероидам относятся космические объекты диаметром более 30 м, поскольку считается, что эти тела могут уцелеть при входе в атмосферу и достигнуть поверхности Земли. Средний диаметр астероидов составляет 510 м, но есть и тела, достигающие в диаметре несколько десятков километров. По состоянию на 11 января 2015 г. в базах данных насчитывалось 670 474 объекта (астероида), а у 422 636 точно определены орбиты и им присвоен официальный номер.



Рис.34. Железный метеорит Гоба, Намибия  
(<http://www.vyazma.name>; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

Для Земли представлять глобальную опасность могут астероиды размером более 10 км. Все астероиды такого размера известны и пока они находятся на таких орbitах, что не представляют в настоящее время угрозу для нашей планеты. Астероиды в



*Рис. 35. Углистый хондрит NWA 8160 из коллекции Музея землеведения МГУ (фото К.А.Скрипко; по Скрипко и др., 2017)*

процессе своего движения, сталкиваются и дробятся, образуя более мелкие обломки. Мелкие небесные тела, размер которых не превышает 30 м, называют *метеороидами*, они при падении полностью сгорают в атмосфере, и мы можем увидеть только их светящийся след, который называют *метеором*. Некоторым из них *метеоритам* – удается достигнуть поверхности (рис.34).

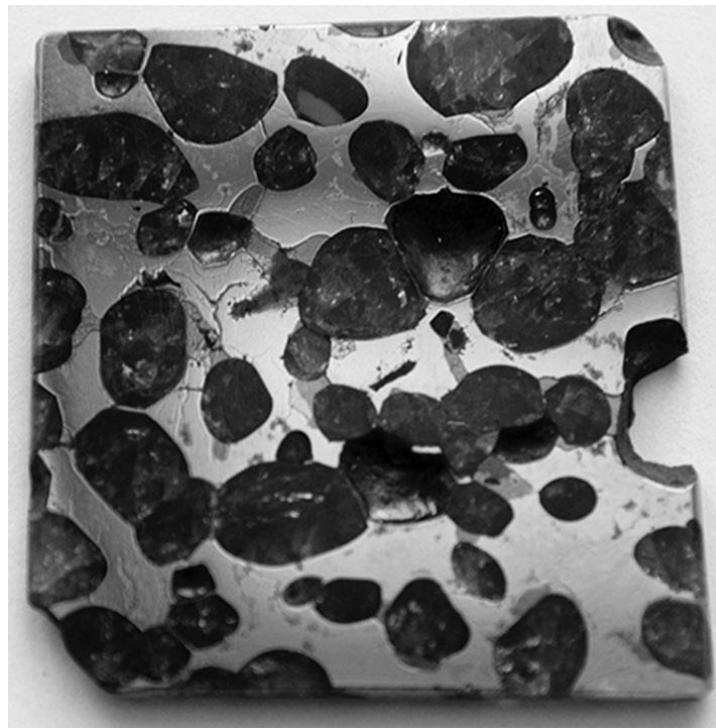
Состав астероидов можно узнать по метеоритам, падающим на Землю. Обычно метеориты подразделяют на 3 группы. Самыми распространенными (95,6%) являются *каменные метеориты* (хондриты и ахондриты), состоящие из глинистых и силикатных пород. Хондриты характеризуются наличием мелких округлых образований размером 0,5–1,0 мм – *хондр.* Каменные метеориты или хондриты подразделяются на энстатитовые (E), обыкновенные (O) и углистые (C). На пришлифованной поверхности углистого метеорита NWA 8160 из коллекции Музея Землеведения МГУ видны силикатные и металлические хондры (рис. 35) в темно-коричневой тонкозернистой матрице (Скрипко и др., 2017). Каменные метеориты без округлых включений и по своему внешнему виду напоминающие породы типа базальта, называются *ахондритами*.



*Рис.36. Петр Симон Паллас (1741-1811). Скульптор Л.М. Писаревский*

Железокаменные метеориты (1,2%) подразделяются на *палласиты*, состоящие из железа, никеля с вкраплениями кристаллов оливина, и *мезосидериты* образованные примерно в равных пропорциях железом, никелем и силикатными минералами. Одна из разновидностей железокаменных метеоритов – палласиты, названа по имени П.С. Палласа, поскольку именно он привлек внимание научной общественности к первому русскому метеориту, найденному в Красноярском крае. Бюст П.С. Палласа, великого русского ученого-путешественника, можно увидеть на 28 этаже Музея Землеведения МГУ (рис. 36). В коллекции Музея Землеведения МГУ на 28 этаже находится полированная с обеих сторон пластинка

метеорита Брагин (Скрипко и др., 2017). Это один из самых красивых железокаменных метеоритов (палласитов), сложенный полупрозрачными буровато-зелеными кристаллами оливина в металлической железоникелевой матрице (рис.37).



*Рис.37. Пластина метеорита Брагин (палласит) (фото К.А.Скрипко; по Скрипко и др., 2017)*



*Рис.38. Общий вид витрины с коллекцией метеоритов на 28 этаже Музея Землеведения МГУ*

Железные метеориты (3,2%) состоят из железа и никеля, иногда с незначительной примесью минералов. Они подразделяются на октаэдриты, гексаэдриты и атакситы. Коллекцию метеоритов можно посмотреть в экспозиции 28 этажа в Музее Землеведения МГУ в зале №3 «Строение и эволюция Земли». В витринах в разделе «Типы метеоритов» находятся железные, железокаменные и каменные разновидности (рис.38).



*Рис. 39. Обломок Сихотэ-Алинского метеорита из коллекции Музея Землеведения МГУ*

Есть там и оригинальные экземпляры «Сихотэ-Алинского метеоритного дождя», который произошел 12 февраля 1947 г. Это железный метеоритный дождь, образовавшийся при падении метеорита октаэдрита, расчетная масса, которого составила при входе в атмосферу примерно 1000 т (по В.Г.Фесенкову, 1951). После



*Рис.40. Падение Сихотэ-Алинского метеорита 12 февраля 1947 г. 10 часов 38 минут., г. Иман, Приморский край.*

*Художник П.И. Медведев*

попадания в атмосферу этот метеорит взорвался, и на Землю выпало не менее 100 тысяч обломков. Один из таких обломков, весом в 41 кг находится в музее Землеведения МГУ на 28 этаже. Его поверхность несет следы обгорания и воздействия воздушных струй (рис.39).

В зале «Строение и эволюция Земли» на 28 этаже расположены стенды «Метеориты», «Классификация метеоритов» и «Метеоритные структуры», которые позволяют более подробно и наглядно изучить данную тему. На одном из стендов помещена репродукция картины П.И. Медведева, очевидца падения Сихотэ-Алинского метеорита (рис.40).

В Музее Землеведения МГУ на 28 этаже имеется большая коллекция своеобразных и редких пород – *импактитов*, образующихся при столкновении космических тел с Землей. Они возникают в результате взрывно-ударного воздействия метеорита на породы мишени при очень высоких температуре и давлении. К импактитам относятся *зювиты*, в которых содержание стекол плавления не более 15 %, и *тагамиты*, где расплавленная масса составляет более 50%. Зювит представляет собой смесь расплавленного и обломочного материала, по структуре напоминающий вулканический туф. В коллекции Музея Землеведения МГУ имеется зювит из Попигайского метеоритного кратера (рис.41). На пришлифованной поверхности образца видны обломки разного размера (Скрипко и др., 2017).

Коллекция метеоритов Музея Землеведения постоянно пополняется. Так в 2022 г. в экспозицию вошли каменные метеориты Кольцово (обыкновенный хондрит, Тарусский район Калужской области) и Царев (класс хондрит, дата падения – 1922 г., Волгоградская область), а также железокаменный метеоритом Серично (палласит; Кения, Восточная провинция).



*Рис. 41. Зювигт литокластический (фото К.А.Скрипко; по Скрипко и др., 2017)*

Кометы (*komētēs* — волосатый, косматый, *др. греч.*) представляют собой небольшие небесные тела, диаметром в несколько километров, имеющие туманный вид, и обращающиеся вокруг Солнца обычно по вытянутым эллиптическим орбитам со значительным эксцентриситетом (рис.42). Центр кометы образует ядро, состоящее из замерзших водяных, метановых и других газообразных соединений, с вмерзшими твердыми частицами (рис.43). При подлете к Солнцу вещества, образующие ядро, испаряются и вокруг него, в результате сублимации образуется кома из газа и пыли и хвост, состоящий из смеси разреженного газа и пыли, направленный в сторону противоположную Солнцу. Кометы делятся на *долгопериодичные*, период обращения которых 200 и более лет, и *короткопериодичные*, у которых период обращения менее двух веков. Конечно, интересно знать, сколько всего комет в Солнечной системе? Но на этот вопрос в настоящее время ответить трудно.

Область кометных ядер долгопериодичных комет, по-видимому, располагается в облаке Оорта. К этому классу относятся многие тысячи комет, но поскольку их

периоды обращения составляют иногда миллионы лет, то в пределах Солнечной системы они появляются редко. Так в XX в. наблюдалось только 250 комет с длительным периодом обращения. Поскольку эти кометы располагаются очень далеко от Солнца, то на их движение оказывает существенное влияние притяжение соседних звезд, что может привести к изменению орбиты кометы.

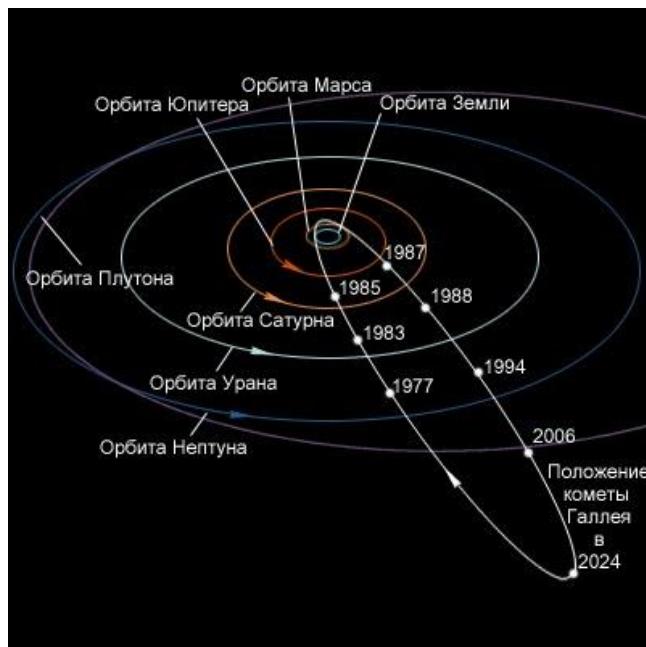


Рис. 42 . Орбита кометы Галлея (<https://www.ka2.ru>; из кн. Иванов О.П. и др., 2016-в)

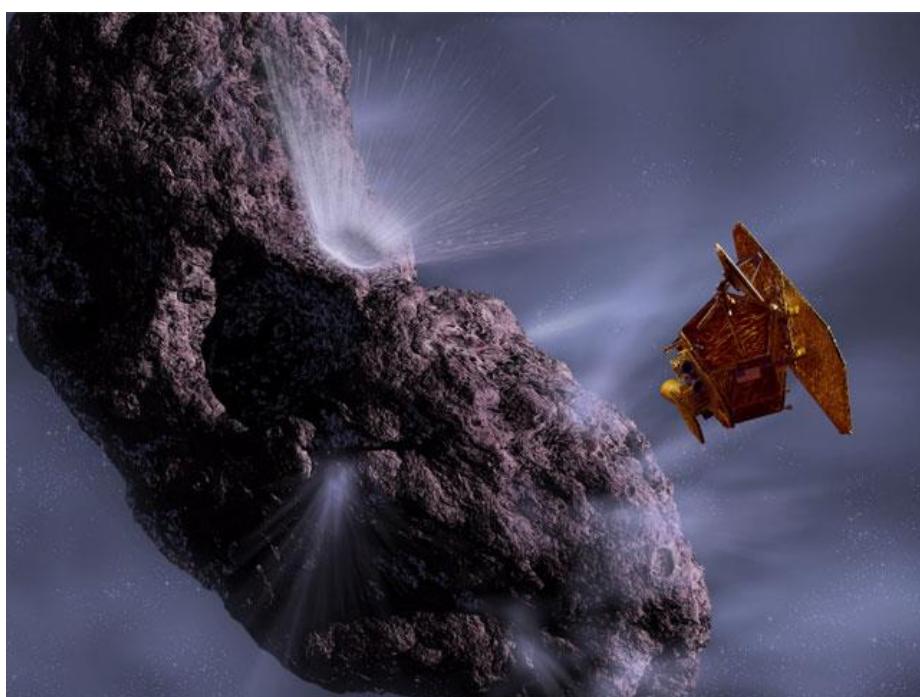


Рис.43. Комета Хартли-2 (<http://www.astronet.ru/db/msg/1205811>;  
из кн. Иванов О.П. и др., 2016)

Короткопериодичные кометы приходят из района внешних планет и пояса Койпера. На сегодняшний день известно 400 короткопериодичных комет, а 200 комет наблюдались более одного раза. Кометы периодически захватываются крупными планетами, главным образом Юпитером. Обычно для захвата кометы и перехода ее на новую орбиту требуется несколько проходов через планетную систему. В результате короткопериодичные кометы, образуют так называемые семейства: Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Примерно 50 комет, полный оборот которых вокруг Солнца длится 3–10 лет, образуют семейство Юпитера. К семейству Нептуна относится знаменитая комета Галлея, период обращения которой 75–76 лет. Эта комета неоднократно наблюдалась на небе. Последний раз ее видели в 1986 г, а следующий раз ее можно будет увидеть в 2061 г.

Существует несколько гипотез образования комет, но наиболее вероятной считается гипотеза формирования комет из протосолнечного газопылевого облака и их последующего перемещения в пределы облака Оорта и пояса Койпера. Под влиянием излучения Солнца кометы постепенно испаряются и со временем прекращают свое существование.



*Рис. 44. Общий вид стенда, посвященного Тунгусскому метеориту*

На 28 этаже Музея Землеведения МГУ в зале №3 расположена витрина и стенд, посвященные так называемому Тунгусскому метеориту (рис.44). В 1908 г. в сибирской тайге упал загадочный объект, который назвали Тунгусский метеорит. Но до сих пор не утихают споры о том, что это было. Пролет космического тела наблюдали во многих поселках и многие слышали колossalной силы взрыв. Высказывались сотни разных гипотез, что произошло в тунгусской тайге: падение метеорита или ядра кометы, неопознанный летающий объект, звездолет, гигантская шаровая молния и многие другие предположения. Тем интереснее рассмотреть материалы, на которых показано место падения космического тела на фотографиях того времени, спили деревьев.

### **Динамические процессы на телах Солнечной системы**

На всех планетах Солнечной системы происходили и происходят исключительно важные геологические процессы, которые рассматриваются динамической геологией, исследующей закономерности развития процессов как эндогенного, так и экзогенного характера, и их взаимосвязь. Попробуем рассмотреть эти явления и причины их вызывающие, хотя, конечно детальное исследование явлений, происходящих на планетах еще впереди.

Для планет земной группы Солнечной системы, в первые сотни миллионов лет их формирования была характерна кометная и метеоритная бомбардировка. Дистанционные исследования планет земной группы показали хорошо различимые многочисленные кратеры на некоторых из них, возникшие от ударов метеоритов, которые не сгорали в разреженной атмосфере и падали на поверхность. Эти кратеры хорошо выражены на Меркурии, на Земле они значительно преобразованы экзогенными процессами. На поверхности Марса и Венеры метеоритных кратеров немного. Вполне возможно, что метеориты сгорали в плотной атмосфере Венеры или кратеры были уничтожены последующими процессами, происходившими на планете.

На Юпитере астрономы зафиксировали падение кометы Шумахера-Леви. Скорее всего, и на другие газовые гиганты падали кометы, но найдутся ли там какие-либо следы падения небесных тел – неизвестно.

**Эндогенные** или внутренние **процессы** связаны с энергией, возникающей в недрах планеты. Это могут быть тектонические движения и магматизм. Давайте посмотрим, какие эндогенные процессы происходят сейчас или происходили в прошлом на планетах Солнечной системы.

Для каждой из планет земной группы характерен своеобразный рельеф, связанный в первую очередь с эндогенными процессами, поскольку именно тектонические движения создают первичные неровности земной поверхности, которые впоследствии нивелируются экзогенными процессами. Очень интересный рельеф образовался на Меркурии, когда планета быстро остывала. Это *лопастные уступы* (Иванов и др., 2017) – длинные высокие зубчатые обрывы высотой несколько километров, длиной – сотни километров. Существует несколько гипотез их происхождения. Наиболее часто образование лопастных уступов связывают с тектоническими движениями и образованием надвигов в период глобального сжатия. Этот процесс вполне возможно мог сопровождаться сейсмическими событиями. По другим данным их формирование связано с мантийной конвекцией в прошлом.

Вулканизм был характерен для всех планет земной группы – для Меркурия, Венеры, Земли и Марса. На *Меркурии* цепочки гор, вполне похожие на потухшие вулканы и долины, покрытые застывшей лавой, свидетельствуют о значительной вулканической деятельности в прошлом. Глобальные преобразования поверхности на этой планете происходили 3–4 млрд лет назад.

Геологические процессы на *Венере* изучены слабо. Однако довольно ровная, образованная лавовыми потоками поверхность планеты, а также наличие высоких вулканических построек с кратерами, средний диаметр которых достигает 300 км, говорит об интенсивной вулканической деятельности в прошлом. На Венере насчитывается около 1600 вулканических построек, а длина потоков лавы достигает сотен километров. Ученые предполагают, что гора Маат, высотой по разным данным от 5 до 8 км, является вулканом, извержение которого было в недавнем прошлом. Вопрос о том, продолжаются ли извержения сейчас, пока остается нерешенным, однако, скорее всего, Венера сохранила высокую активность недр и в настоящее время, хотя извержений на Венере пока увидеть не удалось. Для нее характерны такие формы рельефа, как тессеры и венцы. *Тессеры* представляют собой ступенчатые плато, пересеченные многочисленными рифтовыми долинами, формирование которых, по-видимому, связано с восходящим мантийным потоком с последующим сводообразованием и проседанием. Другая интересная и необычная форма рельефа на Венере – это венцы. Несколько сотен *венцов*, образующих кольцо горных гряд с межгорным плато в центре диаметром от 100 до 600 км, разбросаны по поверхности планеты. Вокруг многих венцов имеются застывшие лавовые потоки. Предполагается,

что их образование также связано с мантийным диапиризмом, но небольшого рассеянного проявления.

На *Марсе* также широко проявляются эндогенные процессы, многие детали рельефа имеют явно тектоническое происхождение. И, по-видимому, глобальная эндогенная активность на Марсе продолжалась длительное время. Вокруг крупных ударных кратеров сформированы системы радиально-концентрических разломов и трещин. Эндогенные процессы проявляются и в формировании сводовых поднятий и грандиозных каньонов, длиной до 5000 км. Глубина каньонов достигает 7 км, а ширина доходит до 200 км. Высокие марсианские горы представляют собой древние потухшие вулканы. Для Марса характерны как щитовые вулканы, так и площадной вулканизм. Самой высокой вулканической постройкой является гора Олимп, ее высота 24 км, а поперечный диаметр около 600 км. Вулканическая активность на планете происходила 30–60 млн лет назад, образуя пологие постройки при извержении щитовых вулканов. Ученые неоднократно пытались выяснить, возможны ли на Марсе сейсмические события. Спускаемые аппараты, оснащенные сейсмографами, зафиксировали несколько сотен событий с магнитудой до 3–4, которые возможно являются «марсотрясением».

На спутнике Земли, на Луне выявлены огромные покровы базальтовых лав, что говорит о значительной вулканической активности 3,9–3 млрд лет тому назад. Кроме того, с помощью сейсмографов на Луне установлены, так называемые «луноотрясения».

Изучение эндогенных процессов на планетах-гигантах пока затруднительно, но известно, что недра *Юпитера* излучают значительное количество тепла, которое переносится к поверхности при помощи конвективных потоков. Внешнее выражение потоков внутреннего тепла проявляется в атмосфере в виде облаков разного цвета. Темные полосы соответствуют нисходящим движениям и образованы облаками, состоящими из красно-коричневых кристаллов гидросульфида аммония. Области светлых зон в атмосфере соответствуют восходящим потокам тепла, где образуются облака, состоящие из кристалликов амиака. Вулканическая активность хорошо заметна на спутниках Юпитера. На *Ио* много мощных действующих вулканов, а ее поверхность залита продуктами вулканической активности, потоками серы и серного ангидрида. Такая активная вулканическая деятельность может быть связана с приливным воздействием гигантского Юпитера, что способствует формированию магматических очагов.

**Экзогенные процессы** происходят под действием внешних источников энергии в сочетании с силой тяжести. Они проявляются на поверхности при взаимодействии поверхностных слоев планеты с атмосферой. В результате породы разрушаются и формируются новые формы рельефа.

Для *Меркурия* характерны значительные колебания дневных и ночных температур, что может привести к разрушению пород, слагающих поверхность планеты в результате температурного выветривания. На планете отсутствует вода, и практически нет ветра из-за сильно разреженной атмосферы, поэтому выравнивание рельефа и формирование равнин не происходит.

На *Венере* экзогенные процессы протекают, по-видимому, не очень активно. На этой планете нет воды, а скорость ветра в нижних слоях атмосферы не превышает 1м/с. Поэтому флювиальный и эоловый рельеф, скорее всего, отсутствует. Хотя ветер даже с такой с небольшой скоростью у поверхности планеты может поднимать в воздух и переносить пыль и мелкие камешки. Один из спускаемых на *Венеру* аппаратов обнаружил на ней кору выветривания, что свидетельствует о наличии химических процессов. Но для этого нужна вода. Может быть высокая температура на поверхности *Венеры* способствует взаимодействию породы с водяным паром в атмосфере. Снимки поверхности *Венеры* показали наличие каменных осипей на крутых склонах, что говорит о гравитационных процессах, происходящих на планете.

За весь период исследования получены убедительные доказательства, что на *Марсе* когда-то была вода. Вероятно, что некоторые геологические процессы, произошедшие на *Марсе* в прошлом, могли быть связаны с водой, поскольку водно-эррозионные следы на *Марсе* весьма многочисленны. Большое количество долин, очень похожих на речные долины на Земле, свидетельствует о былых флювиальных процессах. Ученые предполагают, что под слоем сухого грунта на *Марсе*, возможно, имеется слой с относительно высоким содержанием воды, скорее всего, существуют и подпочвенные льды. Кроме того, полярные шапки на этой планете также содержат воду, хоть и в небольшом количестве. К важным динамическим процессам на поверхности *Марса*, которые происходят в настоящее время, следует отнести деятельность ветра. Атмосфера *Марса* разрежена, но ветер поднимает и перемещает большие массы камней, песка и пыли на склонах, что способствует эоловой дефляции и аккумуляции. Таким образом, экзогенные процессы производили и производят геологическую работу на планете, преобразуя ее поверхность.

Динамические процессы на планетах-гигантах – Юпитере, Сатурне, Уране и Нептуне связаны только с процессами, происходящими в атмосфере.

## Современные представления о возрасте и истории формирования Солнечной системы

Возраст Солнечной системы оценивается по-разному. Обычно называют цифры от 4,6 до 5 млрд лет. Возраст самых древних пород на Земле по цирконам, определен как 4,3–4,4 млрд лет. А вот наиболее древнее вещество из метеоритов, согласно радиометрическим датировкам составляет 4,6 млрд лет.



*Рис.45. Отто Юльевич Шмидт  
(1891-1956)*

Как же и когда образовалась Солнечная система? Большой вклад в теорию образования Солнечной системы сделал О.Ю. Шмидт (рис.45), портрет которого можно увидеть в Музее землеведения МГУ. Именно О.Ю. Шмидт в начале XX в. предположил, что Солнечная система возникла в результате конденсации околосолнечного газопылевого облака. Почти все тела Солнечной системы врачаются в одном направлении с запада на восток: Солнце вокруг своей оси, планеты вокруг Солнца и вокруг своей оси, спутники вокруг планет, малые тела Солнечной системы и

т.д. Конечно, есть редкие исключения, о которых мы уже говорили. Такая согласованность движения практически всех тел в Солнечной системе указывает на их общее происхождение. Давайте попробуем разобраться в этом вопросе, а помочь в этом может материал, расположенный на стенде «Солнечная система» на 30 этаже Музея Землеведения МГУ, где помещены различные схемы и фотографии, иллюстрирующие это событие (Иванов и др., 2016).

Согласно общепринятой в настоящее время гипотезе, формирование Солнечной системы началось около 5 млрд лет назад с гравитационного коллапса небольшой части гигантского межзвездного холодного газопылевого облака. Это начальное

облако, вероятно, являлось прародителем для нескольких звёзд. Такие малоактивные облака, состоящие из газа и пыли разбросаны по всему галактическому пространству. Активизацией облака и причиной начала его вращения и сжатия мог послужить взрыв сверхновой звезды, а это не такое уж редкое явление во Вселенной, и ударные волны от которого заставили облако вращаться и сжиматься (рис.46). В процессе гравитации размеры газопылевого облака уменьшались, пыль и газ сжимались и, в силу закона сохранения углового момента, росла скорость вращения облака, начинает повышаться температура.

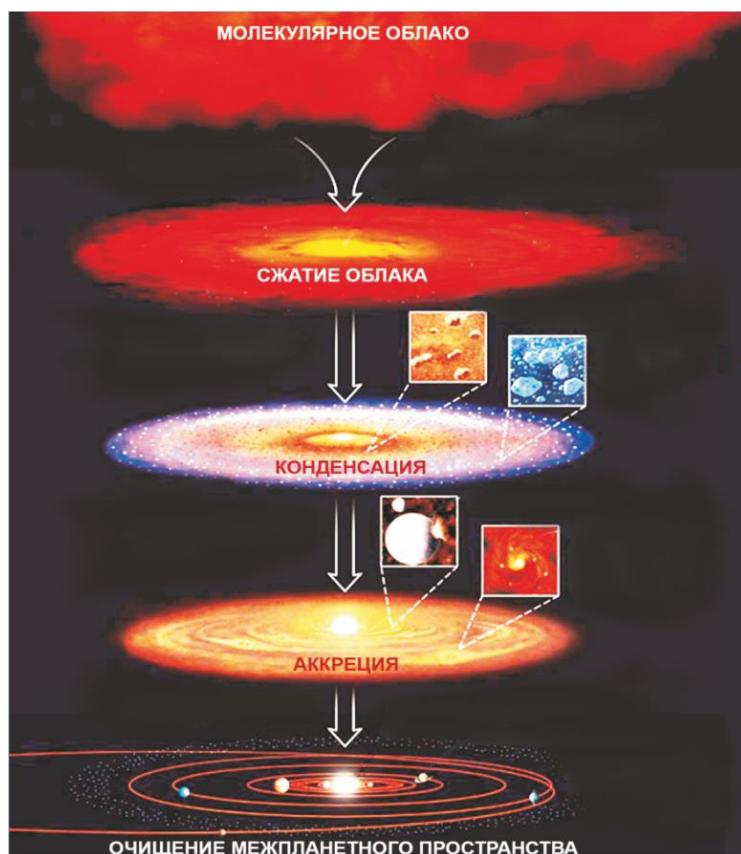
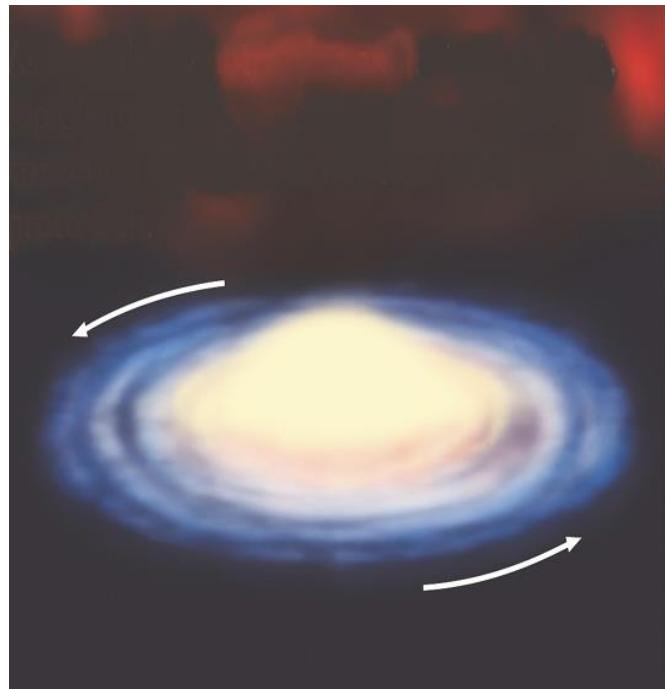


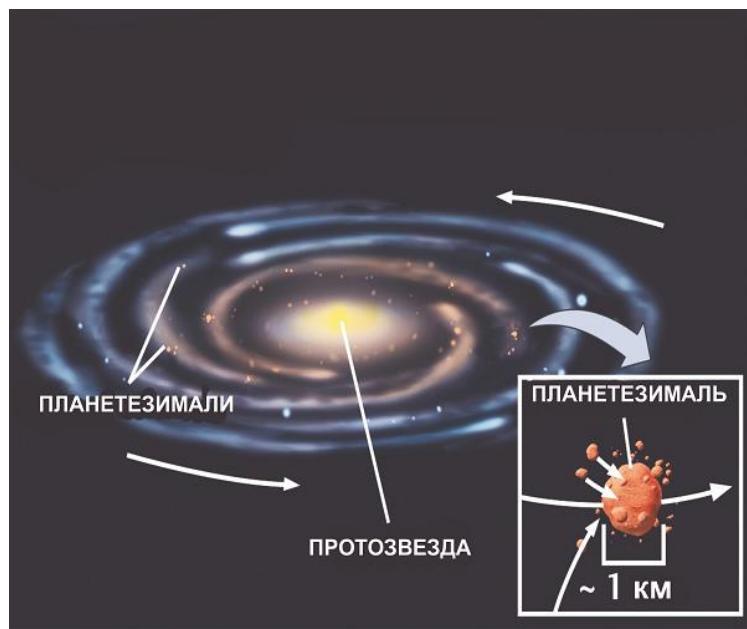
Рис.46. Сценарий формирования солнечной системы (из кн. Иванов О.П. и др., 2016)

Из-за вращения скорости сжатия облака параллельно и перпендикулярно оси вращения различались, что привело к уплощению облака и формированию характерного протопланетного диска с диаметром примерно 200 а.е. По мере сжатия температура постоянно росла, особенно интенсивно в центральной части диска, где были созданы условия для образования протозвезды (рис. 47). Когда температура в центре протозвезды достигла миллионов градусов, началась термоядерная реакция и протозвезда превратилась в обычную звезду.

А что происходило во внешних частях диска? Они оставались еще относительно холодными и в результате гидродинамических неустойчивостей в облаке протопланетного вещества начинают образовываться сначала зоны сгущения, которые стали объединяться и, увеличиваясь в размерах, превращались в рой планетезималей размером до 1 км (рис. 48).

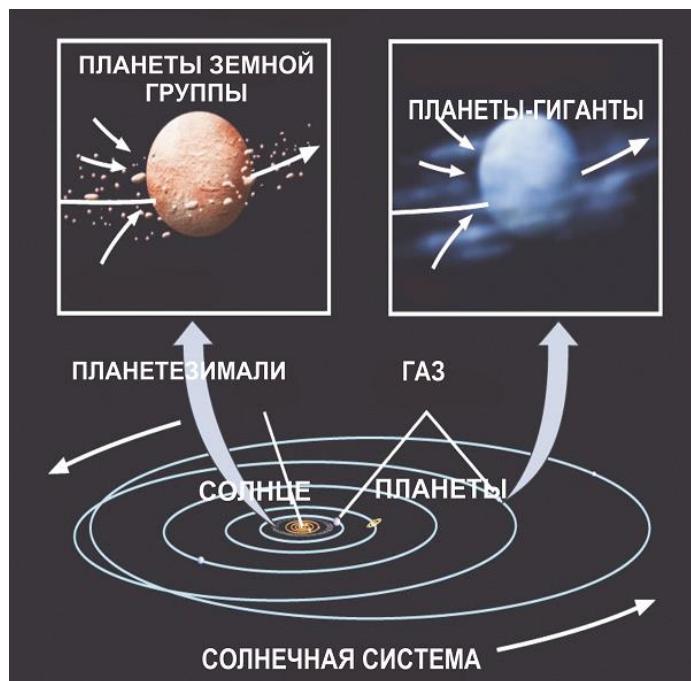


*Рис.47. Формирование протосолнца ([www.montgomerycollege.edu](http://www.montgomerycollege.edu); из кн. Иванов О.П.и др., 2016)*



*Рис.48. Внешний диск из газа, пыли и зерен, которые слипаются в маленькие куски – планетезимали ([www.montgomerycollege.edu](http://www.montgomerycollege.edu); из кн. Иванов О.П. и др., 2016)*

Завершение формирования внутренних планет произошло за счет аккреции твердых материалов в отсутствии легких газов, которые удалялись солнечным ветром.



*Рис.49. Формирование планет земной группы и планет – гигантов  
([www.montgomerycollege.edu](http://www.montgomerycollege.edu); из кн. Иванов О.П. и др., 2016)*

Взаимодействие солнечного ветра с веществом протопланетного облака привело к тому, что наиболее легкие и многочисленные частицы оказались вдали от Солнца, там, где сейчас находятся планеты-гиганты (рис.49). Образование планет длилось относительно короткое время, оцениваемое в менее, чем 100 миллионов лет. Завершение формирования планет Солнечной системы произошло 4,6 млрд лет назад.

*Большой взрыв 14 млрд лет назад создал нашу Вселенную и водород, а звезды в процессе своей эволюции создали все остальные химические элементы. Гибель одной из сверхновых звезд создала жизнь на Земле. Солнечная система составляет очень малую часть Вселенной. Она состоит из единственной звезды – Солнца и множества космических объектов, врачающихся вокруг нее. Для планет земной группы Солнечной системы характерны как экзогенные, так и эндогенные динамические процессы, которые происходили в разное время и имели различную продолжительность. Динамические процессы на газовых планетах-гигантах связаны исключительно с атмосферными явлениями.*

## Литература

1. *Иванов О.П.* Стенд «Системность мира» в экспозиции «Земля во Вселенной// Жизнь Земли. Вып. 37. 2015-а. С.290-293
2. *Иванов О.П.* Стенд «Солнце» в экспозиции «Земля во Вселенной» // Жизнь Земли. Вып.37. 2015-б. С.293-301
3. *Иванов О.П., Винник М.А., Коснырева А.А.* Стенд «Галактики» в экспозиции «Земля во Вселенной»// Жизнь Земли.Т.38, №1.2016-а. С.80-84
4. *Иванов О.П., Винник М.А.,Коснырева А.А.* Стенд «Звезды» в экспозиции «Земля во Вселенной»// Жизнь Земли. Т.38, №2. 2016-б. С.192-199
5. *Иванов О.П., Дубинин Е.П., Винник М.А.* Пути познания нелинейного мира сложных систем. Мир сложных систем и его отображение в экспозиции «Земля во Вселенной». Ч.IV. М.: изд-во «Приятная компания». 2016-в. 91 с.
6. *Иванов О.П., Винник М.А., Коснырева А.А.* Стенд «Солнечная система» в экспозиции «Земля во Вселенной»// Жизнь Земли. Т.39, №1. 2017. С.47-53
7. *Скрипко К.А., Березнер О.С., Семёнова Л.Д.* Новые поступления метеоритов и импактитов в коллекцию музея Землеведения МГУ// Жизнь Земли. 2017. Т.39, №1. С. 39-46
8. *Фесенков В.Г.* Сихотэ-Алинский метеорит и его значение для проблемы происхождения и эволюции солнечной системы// Успехи физических наук. Т.**44**, №1. 1951. С. 89–103