

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра культурологии

**А.В. ЗАХАРОВА-СОЛОВЬЕВА**  
**Н.И. КОБЗЕВА**

**КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.  
Астрономическая Картина мира**

Методические указания

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008

УДК 52(076.5)

ББК 22.6я73

3-38

Рецензент

кандидат исторических наук, доцент С.В. Джораева

Захарова-Соловьева А.В.

3 38

Концепции современного естествознания. Астрономическая картина мира: методические указания/А.В. Захарова- Соловьева, Н.И. Кобзева; под общей редакцией А.В. Захаровой – Соловьевой. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 71 с.

Методические указания предназначены для проведения занятий по курсу “Концепции современного естествознания” для студентов гуманитарных и экономических специальностей очного, очно-заочного и заочного отделений.

ББК 22.6я73

©Захарова-Соловьева,2008

©ГОУ ОГУ, 2008

## Содержание

Введение.....	7
1 Становление космологии .....	8
1.1 Начало научной космологии. Формирование классической космологической модели.....	9
2 Особенности современной космологии.....	11
2.1 Релятивистская модель Вселенной.....	12
2.2 Модель расширяющейся Вселенной.....	13
3 Эволюция Вселенной. Большой взрыв: Инфляционная модель.....	15
4 Острова Вселенной. Галактики.....	19
4.1 Эволюция галактик.....	22
4.2 Галактика Млечный путь.....	25
5 Метагалактика.....	29
6 Звезды и их эволюция.....	30
6.1 Эволюция звезд.....	34
6.2 Солнце – самая дорогая нам звезда.....	40
7 Солнечная система.....	45
7.1 Планета Земля.....	51
8 Антропный принцип и эволюция.....	70
9 Проблема поиска жизни во Вселенной.....	71
10 Литература, рекомендуемая для изучения темы.....	74

## Введение

Проблема зарождения и существования Вселенной во все времена занимала человечество. Небо, которое было доступно для его обозрения, очень его интересовало. Недаром астрономия считается одной из самых древних наук. Для изучения вселенной в целом, в астрономии появилась новая наука-космология.

По определению А.Л. Зельманова (1913-1987) космология - это совокупность накопленных теоретических положений о строении вещества и структуре Вселенной, как цельного объекта, так и отдельные научные знания охваченного астрономическими наблюдениями мира как части Вселенной.

Выводы космологии называются моделями происхождения и развития Вселенной. Почему моделями? Дело в том, что одним из основных принципов современного естествознания является возможность проведения управляемого эксперимента над изучаемым объектом. Только если можно провести любое количество экспериментов, и все они приводят к одному результату, то на основе этих экспериментов делают заключение о наличии закона, которому подчиняется функционирование данного объекта. Лишь в этом случае результат считается достоверным с научной точки зрения.

К Вселенной это методологическое правило остается неприменимым. Наука формулирует универсальные законы, а Вселенная уникальна. Это противоречие, которое требует считать все заключения о происхождении и развитии Вселенной не законами, а лишь моделями, т. е. возможными вариантами объяснения.

Обращаясь к проблеме методологического обоснования современной научной космологии, мы не можем не коснуться вопроса о надобности такой процедуры. Действительно, как зарубежными (Х. Дингл, М. Мюнитц, Д. Норт, Ф. Типлер и др.), так и отечественными (Г.М. Идлис, В.В. , А. Турсунов и др.) авторами проблема эта ставилась и дебатировалась неоднократно. Полученные результаты, в интересующем нас разрезе – направление эволюции космологического знания можно, не претендуя на полноту, свести к следующим положениям:

- 1) космология имеет свой собственный предмет, отличный от предмета физики или математики – физико-геометрический аспект Вселенной как целого.
- 2) предмет ее исследования задается языком математики.
- 3) следствия космологической теории должны получать, в конечном счете, опытное (наблюдательное, экспериментальное) подтверждение или опровержение, чем утверждается научный статус космологии. Под опытной проверкой понимается наблюдательная и экспериментальная – в той мере, в какой физика элементарных частиц сопряжена с космологией – верифицируемость и фальсифицируемость космологического знания, производимая инструментальными средствами.
- 4) любые попытки элиминировать эмпирическую верифицируемость космологического знания, или ее интерпретировать, расцениваются как угроза ее научному статусу, а поэтому, предварительно подвергнутые критике, должны быть выведены за пределы собственно научных исследований.

# 1 Становление космологии

Современная космология - это астрофизическая теория структуры и динамики изменения Метагалактики, включающая в себя и определенное понимание свойств всей Вселенной. Космология основывается на астрономических наблюдениях Галактики и других звездных систем, общей теории относительности, физике микропроцессов и высоких плотностей энергии, релятивистской термодинамике и ряде других новейших физических теорий.

Данное определение космологии берет в качестве предмета этой науки только Метагалактику. Это связано с тем, что все данные, которыми располагает современная наука, относятся только к конечной системе - Метагалактике, и ученые не уверены, что при простой экстраполяции свойств этой Метагалактики на всю Вселенную будут получены истинные результаты. При этом, безусловно, суждения о свойствах всей Вселенной являются необходимой составной частью космологии. Космология сегодня является фундаментальной наукой. И она больше, чем какая-либо другая фундаментальная наука, связана с различными философскими концепциями, по-разному понимающими устройство мира.

Космология берет свое начало в представлениях древних, в частности в древнегреческой мифологии, где очень подробно и достаточно систематизировано, рассказывается о сотворении мира и его устройстве. Впрочем, мифология любого народа, достаточно развитого для того, чтобы создавать космологические мифы, может похвастаться не менее интересными идеями. И это не случайно. Огромный мир вокруг нас всегда волновал человека. Он с давних времен старался понять, как устроен этот мир, что такое в этом мире Солнце, звезды, планеты, как они возникли. Это - из разряда тех вопросов, которые принято называть «вечными», человек никогда не перестанет искать ответа на них.

После того как появилась философия, пришедшая вместе с наукой на смену мифологии, ответ на эти вопросы стали искать в основном в рамках философских концепций, причем почти каждый философ считал своим долгом затронуть их.

Общепризнанным итогом античной космологии стала геоцентрическая концепция, сформулированная Аристотелем и усовершенствованная Птолемеем, которая просуществовала в течение всего Средневековья.

С приходом Нового времени философия уступила свое первенство в создании космологических моделей науке, которая добилась особенно больших успехов в XX веке, перейдя от различных догадок в этой области к достаточно обоснованным фактам, гипотезам и теориям. При этом далеко не все ученые согласны с вышеприведенным определением космологии, многие считают ее учением о Вселенной в целом, то есть учением обо всем, что существует.

## 1.1 Начало научной космологии. Формирование классической космологической модели

Основателем научной космологии считается Николай Коперник, который поместил Солнце в центр Вселенной, и низвел Землю до положения рядовой планеты Солнечной системы. Конечно, он был весьма далек от правильного понимания устройства мира. Так, по его убеждению, за орбитами пяти известных в то время планет располагалась сфера неподвижных - звезд. Звезды на этой сфере считались равноудаленными от Солнца, а природа их была неясной. Коперник не видел в них тел, подобных Солнцу, и, будучи служителем церкви, склонялся к мнению, что за сферой неподвижных звезд находится «эмпирей», или «жилище блаженных» - обитель сверхъестественных тел и существ.

В одном Коперник был твердо уверен - радиус сферы неподвижных звезд должен был быть очень велик. Иначе было бы трудно объяснять, почему с движущейся вокруг Солнца Земли звезды кажутся неподвижными.

Поставьте перед лицом указательный палец и посмотрите на него попеременно то правым, то левым глазом - палец будет смещаться на фоне более далеких предметов, например, стены. Такое кажущееся смещение предмета при изменении позиции наблюдателя называется параллактическим смещением. Расстояние между крайними точками наблюдения называется базисом. Чем больше базис, тем больше и параллактическое смещение. Чем дальше от нас наблюдаемый предмет, тем меньше параллактическое смещение (отодвиньте палец от лица и вы легко в этом убедитесь).

Хотя расстояние от Земли до Солнца во времена Коперника в точности не было известно, многие факты говорили о том, что оно весьма велико. Казалось бы, при этом звезды должны описывать на небе маленькие окружности - своеобразное отражение действительного обращения Земли вокруг Солнца. Но такие параллактические смещения звезд явно отсутствовали, из чего Коперник и сделал вывод о колоссальных размерах сферы неподвижных звезд.

Вселенная по Копернику - мир в скорлупе. В этой модели легко найти немало пережитков средневекового мировоззрения. Но прошло всего несколько десятилетий, и Джордано Бруно разбил коперниканскую «скорлупу» неподвижных звезд.

Д. Бруно считал звезды далекими солнцами, согревающими бесчисленные планеты других планетных систем. Бруно считал глупцом того, кто мог думать, что могучие и великолепные мировые системы, заключающиеся в беспредельном пространстве, лишены живых существ. Так прозвучала беспредельно смелая по тем временам мысль о пространственной бесконечности Вселенной. Он считал, что Вселенная бесконечна, что существует бесчисленное число миров, подобных миру Земли. В свете учения Бруно теория Коперника снижает свой ранг: она оказывается не теорией Вселенной, а теорией лишь одной из множества планетных систем Вселенной и, возможно, не самой выдающейся такой системы. Идеи Бруно намного обогнали его век. Но он не мог привести ни одного факта, который бы подтверждал его космологию - космологию бесконечной, вечной и населенной Вселенной.

Прошло всего десятилетие, и Галилео Галилей в изобретенный им телескоп увидел в небе то, что до сих пор оставалось скрытым для невооруженного глаза. Горы на Луне наглядно доказывали, что Луна и в самом деле есть мир, похожий на Землю. Спутники Юпитера, кружащиеся вокруг величайшей из планет, походили на наглядное подобие Солнечной системы. Смена фаз Венеры не оставляла сомнений в том, что эта освещенная Солнцем планета действительно обращается вокруг него. Наконец, множество невидимых глазом звезд и особенно удивительная звездная россыпь, составляющая Млечный путь, - разве все это не подтверждало учение Бруно о бесчисленных солнцах и землях? С другой стороны, темные пятна, увиденные Галилеем на Солнце, опровергали учение Аристотеля и других древних философов о неприкосновенной чистоте небес. Небесные тела оказались похожими на Землю, и это сходство земного и небесного заставляло постепенно отказаться от ошибочного представления о Солнце как центре всего Мироздания.

Современник и друг Галилея, Иоганн Кеплер, уточнил законы движения планет, а великий Исаак Ньютон доказал, что все тела во Вселенной независимо от размеров, химического состава, строения и других свойств взаимно тяготеют друг к другу. Космология Ньютона вместе с успехами астрономии XVIII и XIX веков определила то мировоззрение, которое иногда называют классическим. Оно стало итогом начального этапа развития научной космологии.

Эта классическая модель достаточно проста и понятна. Вселенная считается бесконечной в пространстве и во времени, иными словами, вечной. Основным законом, управляющим движением и развитием небесных тел, является закон всемирного тяготения. Пространство никак не связано с находящимися в нем телами и играет пассивную роль вместилища для этих тел. Исчезни вдруг все эти тела, пространство и время сохранились бы неизменными. Количество звезд, планет и звездных систем во Вселенной бесконечно велико. Каждое небесное тело проходит жизненный длительный путь. И на смену погибшим, точнее, погасшим звездам вспыхивают новые, молодые светила. Хотя детали возникновения и гибели небесных тел оставались неясными, в основном эта модель казалась стройной и логически непротиворечивой. В таком виде эта классическая модель господствовала в науке вплоть до начала XX века.

Бесконечности Вселенной в пространстве гармонично соответствовала ее вечность во времени. Ныне, миллиард лет назад, миллиарды лет в будущем она останется, в сущности, одной и той же. Неизменность космоса как бы подчеркивала бренность, непостоянство всего земного.

Однако в данной модели Вселенной было несколько недостатков. Закон всемирного тяготения объяснял центростремительное ускорение планет, но не говорил, откуда взялось стремление планет, а также любых материальных тел двигаться равномерно и прямолинейно. Для объяснения инерциального движения пришлось допустить существование в ней божественного «первотолчка», приведшего в движение все материальные тела. Кроме того, для коррекции орбит космических тел допускалось вмешательство Бога. Таким образом, классическая полицентрическая модель Вселенной лишь частично

носила научный характер, она не смогла дать научного объяснения происхождения Вселенной, и поэтому была заменена другими моделями.

## 2 Особенности современной космологии

Данные для космологии в основном получают из астрономических наблюдений. Для их интерпретации в настоящее время используется общая теория относительности А. Эйнштейна (1915). Создание этой теории и проведение соответствующих наблюдений позволило в начале 1920-х годов поставить космологию в ряд точных наук, тогда как до этого она скорее была областью философии. Сейчас сложились две космологические школы: эмпирики ограничиваются интерпретацией наблюдательных данных, не экстраполируя свои модели в неизученные области; теоретики пытаются объяснить наблюдаемую Вселенную, используя некоторые гипотезы, отобранные по принципу простоты и элегантности. Широкой известностью пользуется сейчас космологическая модель Большого взрыва, согласно которой расширение Вселенной началось некоторое время тому назад из очень плотного и горячего состояния; обсуждается и стационарная модель Вселенной, в которой она существует вечно и не имеет ни начала, ни конца.

Под космологическими данными понимают результаты экспериментов и наблюдений, имеющие отношение к Вселенной в целом в широком диапазоне пространства и времени. Любая мыслимая космологическая модель должна удовлетворять этим данным. Можно выделить 6 основных наблюдаемых фактов, которые должна объяснить космология:

1. В больших масштабах Вселенная однородна и изотропна, т.е. галактики и их скопления распределены в пространстве равномерно (однородно), а их движение хаотично и не имеет явно выделенного направления (изотропно). Принцип Коперника, «сдвинувшего Землю из центра мира», был обобщен астрономами на Солнечную систему и нашу Галактику, которые также оказались вполне рядовыми. Поэтому, исключая мелкие неоднородности в распределении галактик и их скоплений, астрономы считают Вселенную такой же однородной везде, как и вблизи нас.

2. Вселенная расширяется. Галактики удаляются друг от друга. Это обнаружил американский астроном Э. Хаббл в 1929. Закон Хаббла гласит: чем дальше галактика, тем быстрее она удаляется от нас. Но это не означает, что мы находимся в центре Вселенной: в любой другой галактике наблюдатели видят то же самое. С помощью новых телескопов астрономы углубились во Вселенную значительно дальше, чем Хаббл, но его закон остался верен.

3. Пространство вокруг Земли заполнено фоновым микроволновым радиоизлучением. Открытое в 1965, оно стало, наряду с галактиками, главным объектом космологии. Его важным свойством является высокая изотропность (независимость от направления), указывающая на его связь с далекими областями Вселенной и подтверждающая их высокую однородность. Если бы это было излучение нашей Галактики, то оно отражало бы ее структуру. Но эксперименты на баллонах и спутниках доказали, что это излучение в высшей степени однородно и имеет спектр излучения абсолютно черного тела с



температурой около 3 К. Очевидно, это реликтовое излучение молодой и горячей Вселенной, сильно остывшее в результате ее расширения.

4. Возраст Земли, метеоритов и самых старых звезд немногим меньше возраста Вселенной, вычисленного по скорости ее расширения. В соответствии с законом Хаббла Вселенная всюду расширяется с одинаковой скоростью, которую называют *постоянной Хаббла  $H$* , по ней можно оценить возраст Вселенной как  $1/H$ . Современные измерения  $H$  приводят к возрасту Вселенной ок. 20 млрд. лет. Исследования продуктов радиоактивного распада в метеоритах дают возраст ок. 10 млрд. лет, а самые старые звезды имеют возраст ок. 15 млрд. лет. До 1950 расстояния до галактик недооценивались, что приводило к завышенному значению  $H$  и малому возрасту Вселенной, меньшему возрасту Земли. Чтобы разрешить это противоречие, Г. Онди, Т. Голд и Ф. Хойл в 1948 предложили стационарную космологическую модель, в которой возраст Вселенной бесконечен, а по мере ее расширения рождается новое вещество.

5. Во всей наблюдаемой Вселенной, от близких звезд до самых далеких галактик, на каждые 10 атомов водорода приходится 1 атом гелия. Кажется невероятным, чтобы всюду местные условия были столь одинаковы. Сильная сторона модели Большого взрыва как раз в том, что она предсказывает везде одинаковое соотношение между гелием и водородом.

6. В областях Вселенной, удаленных от нас в пространстве и во времени, больше активных галактик и квазаров, чем рядом с нами. Это указывает на эволюцию Вселенной и противоречит теории стационарной Вселенной.

## 2.1 Релятивистская модель Вселенной

Новая модель Вселенной была создана в 1917г. А. Эйнштейном. Ее основу составила релятивистская теория тяготения — общая теория относительности. Эйнштейн отказался от постулатов абсолютности и бесконечности пространства и времени, однако сохранил принцип стационарности, неизменности Вселенной во времени и ее конечности в пространстве. Свойства Вселенной, по мнению Эйнштейна, определяются распределением в ней гравитационных масс, Вселенная безгранична, но при этом замкнута в пространстве. Согласно этой модели, пространство однородно и изотропно, т.е. во всех направлениях имеет одинаковые свойства, материя распределена в нем равномерно, время бесконечно, а его течение не влияет на свойства Вселенной. На основании проведенных расчетов Эйнштейн сделал вывод, что мировое пространство представляет собой четырехмерную сферу.

При этом не следует представлять себе данную модель Вселенной в виде обычной сферы. Сферическое пространство есть сфера, но сфера четырехмерная, неподдающаяся наглядному представлению. По аналогии можно сделать вывод, что объем такого пространства конечен, как конечна поверхность любого шара, ее можно выразить конечным числом квадратных сантиметров. Поверхность всякой четырехмерной сферы также выражается конечным числом кубометров. Такое сферическое пространство не имеет границ, и в этом смысле оно безгранично. Летя в таком пространстве в одном направлении, мы, в конце концов, вернемся в исходную точку. Но в

то же время муха, ползущая по поверхности шара, нигде не найдет границ и преград, запрещающих ей двигаться в любом избранном направлении. В этом смысле поверхность любого шара безгранична, хотя и конечна, т.е. безграничность и бесконечность — это разные понятия.

Итак, из расчетов Эйнштейна следовало, что наш мир является четырехмерной сферой. Объем такой Вселенной может быть выражен, хотя и очень большим, но все же конечным числом кубометров. В принципе можно облететь всю замкнутую Вселенную, двигаясь, все время в одном направлении. Такое воображаемое путешествие подобно земным кругосветным путешествиям. Но конечная по объему Вселенная в то же время безгранична, как не имеет границ поверхность любой сферы. Вселенная Эйнштейна содержит хотя и большое, но все же конечное число звезд и звездных систем, а поэтому к ней неприменимы фотометрический и гравитационный парадоксы. В то же время призрак тепловой смерти тяготеет и над Вселенной Эйнштейна. Такая Вселенная, конечная в пространстве, неизбежно идет к своему концу во времени. Вечность ей не присуща.

Таким образом, несмотря на новизну и даже революционность идей, Эйнштейн в своей космологической теории ориентировался на привычную классическую мировоззренческую установку статичности мира. Его более привлекал гармоничный и устойчивый мир, нежели мир противоречивый и неустойчивый.

## **2.2 Модель расширяющейся Вселенной**

Модель Вселенной Эйнштейна стала первой космологической моделью, базирующейся на выводах общей теории относительности. Это связано с тем, что именно тяготение определяет взаимодействие масс на больших расстояниях. Поэтому теоретическим ядром современной космологии выступает теория тяготения — общая теория относительности. Эйнштейн допускал в своей космологической модели наличие некой гипотетической отталкивающей силы, которая должна была обеспечить стационарность, неизменность Вселенной. Однако последующее развитие естествознания внесло существенные коррективы в это представление.

В 1922г. советский физик и математик А. Фридман на основе строгих расчетов показал, что Вселенная Эйнштейна не может быть стационарной, неизменной. При этом Фридман опирался на сформулированный им космологический принцип, который строится на двух предположениях: об изотропности и однородности Вселенной. Изотропность Вселенной понимается как отсутствие выделенных направлений, одинаковость Вселенной по всем направлениям. Однородность Вселенной понимается, как одинаковость всех точек Вселенной: мы можем проводить наблюдения в любой из них и везде увидим изотропную Вселенную.

Фридман на основе космологического принципа доказал, что уравнения Эйнштейна имеют и другие, нестационарные решения, согласно которым Вселенная может либо расширяться, либо сжиматься. При этом речь шла о расширении самого пространства, т.е. об увеличении всех расстояний мира.

Вселенная Фридмана напоминала раздувающийся мыльный пузырь, у которого и радиус, и площадь поверхности непрерывно увеличиваются.

Первоначально модель расширяющейся Вселенной носила гипотетический характер и не имела эмпирического подтверждения. Однако в 1929г. американский астроном Э. Хаббл обнаружил эффект «красного смещения» спектральных линий (смещение линий к красному концу спектра). Это было истолковано как следствие эффекта Доплера — изменение частоты колебаний или длины волн из-за движения источника волн и наблюдателя по отношению друг к другу. «Красное смещение» было объяснено как следствие удаления галактик друг от друга со скоростью, возрастающей с расстоянием. Согласно последним измерениям увеличение скорости расширения составляет примерно 55 км/с на каждый миллион парсек.

В результате своих наблюдений Хаббл обосновал представление, что Вселенная — это мир галактик, что наша Галактика — не единственная в ней, что существует множество галактик, разделенных между собой огромными расстояниями. Вместе с тем Хаббл пришел к выводу, что межгалактические расстояния не остаются постоянными, а увеличиваются. Таким образом, в естествознании появилась *концепция расширяющейся Вселенной*.

Какое же будущее ждет нашу Вселенную? Фридман предложил три модели развития Вселенной.

В *первой модели* Вселенная расширяется медленно для того, чтобы в силу гравитационного притяжения между различными галактиками расширение Вселенной замедлялось и, в конце концов, прекращалось. После этого Вселенная начинала сжиматься. В этой модели пространство искривляется, замыкаясь на себя, образуя сферу.

Во *второй модели* Вселенная расширялась бесконечно, а пространство искривлено как поверхность седла и при этом бесконечно.

В *третьей модели* Фридмана пространство плоское и тоже бесконечное.

По какому из этих трех вариантов идет эволюция Вселенной, зависит от отношения гравитационной энергии к кинетической энергии разлетающегося вещества.

Если кинетическая энергия разлета вещества преобладает над гравитационной энергией, препятствующей разлету, то силы тяготения не остановят разбегания галактик, и расширение Вселенной будет носить необратимый характер. Этот вариант динамической модели Вселенной называют *открытой Вселенной*.

Если же преобладает гравитационное взаимодействие, то темп расширения со временем замедлится до полной остановки, после чего начнется сжатие вещества вплоть до возврата Вселенной в исходное состояние сингулярности (точечный объем с бесконечно большой плотностью). Такой вариант модели назван *осциллирующей*, или *закрытой Вселенной*.

В граничном случае, когда силы гравитации точно равны энергии разлета вещества, расширение не прекратится, но его скорость со временем будет стремиться к нулю. Через несколько десятков миллиардов лет после начала расширения Вселенной наступит состояние, которое можно назвать *квазистационарным*. Теоретически возможна и пульсация Вселенной.

Наблюдаемое нами разбегание галактик есть следствие расширения пространства замкнутой конечной Вселенной. При таком расширении пространства все расстояния во Вселенной увеличиваются подобно тому, как растут расстояния между пылинками на поверхности раздувающегося мыльного пузыря. Каждую из таких пылинок, как и каждую из галактик, можно с полным правом считать центром расширения. Когда Э. Хаббл показал, что далекие галактики разбегаются друг от друга с все возрастающей скоростью, был сделан однозначный вывод о том, что наша Вселенная расширяется. Но расширяющаяся Вселенная — это изменяющаяся Вселенная, мир со всей своей историей, имеющий начало и конец. Постоянная Хаббла позволяет оценить время, в течение которого продолжается процесс расширения Вселенной. Получается, что оно не менее 10 млрд. и не более 19 млрд. лет. Наиболее вероятным временем существования расширяющейся Вселенной считают 15 млрд. лет. Таков приблизительный возраст нашей Вселенной.

### **3 Эволюция Вселенной. Большой взрыв: Инфляционная модель**

Представление о развитии Вселенной закономерно привело к постановке проблемы начала эволюции (рождения) Вселенной и ее конца (смерти). В настоящее время существует несколько космологических моделей, объясняющих отдельные аспекты возникновения материи во Вселенной, но они не объясняют причин и процесса рождения самой Вселенной. Из всей совокупности современных космологических теорий только теория Большого взрыва Г. Гамова смогла к настоящему времени удовлетворительно объяснить почти все факты, связанные с этой проблемой. Основные черты модели Большого взрыва сохранились до сих пор, хотя и были позже дополнены теорией инфляции, или теорией раздувающейся Вселенной, разработанной американскими учеными А. Гуттом и П. Стейнхардтом и дополненной советским физиком А.Д. Линде.

В 1948 г. выдающийся американский физик русского происхождения Г. Гамов выдвинул предположение, что физическая Вселенная образовалась в результате гигантского взрыва, происшедшего примерно 15 млрд. лет тому назад. Тогда все вещество и вся энергия Вселенной были сконцентрированы в одном крохотном сверхплотном сгустке. Если верить математическим расчетам, то в начале расширения радиус Вселенной был и вовсе равен нулю, а ее плотность равна бесконечности. Это начальное состояние называется *сингулярностью* — точечный объем с бесконечной плотностью. Известные законы физики в сингулярности не работают. В этом состоянии теряют смысл понятия пространства и времени, поэтому бессмысленно спрашивать,

где находилась эта точка. Также современная наука ничего не может сказать о причинах появления такого состояния.

Тем не менее, согласно принципу неопределенности Гейзенберга вещество невозможно стянуть в одну точку, поэтому считается, что Вселенная в начальном состоянии имела определенную плотность и размеры. По некоторым подсчетам, если все вещество наблюдаемой Вселенной, которое оценивается примерно в  $10^{61}$  г, сжать до плотности  $10^{94}$  г/см<sup>3</sup> то оно займет объем около  $10^{-33}$  см<sup>3</sup>. Ни в какой электронный микроскоп разглядеть ее было бы невозможно. Долгое время ничего нельзя было сказать о причинах Большого взрыва и переходе Вселенной к расширению. Но сегодня появились некоторые гипотезы, пытающиеся объяснить эти процессы. Они лежат в основе инфляционной модели развития Вселенной.

Основная идея концепции Большого взрыва состоит в том, что Вселенная на ранних стадиях возникновения имела неустойчивое вакуумоподобное состояние с большой плотностью энергии. Эта энергия возникла из квантового излучения, т.е. как бы из ничего. Дело в том, что в физическом вакууме отсутствуют фиксируемые частицы, поля и волны, но это не безжизненная пустота. В вакууме имеются виртуальные частицы, которые рождаются, имеют мимолетное бытие и тут же исчезают. Поэтому вакуум «кипит» виртуальными частицами и насыщен сложными взаимодействиями между ними. Причем, энергия, заключенная в вакууме, располагается как бы на его разных этажах, т.е. имеется феномен разностей энергетических уровней вакуума.

Пока вакуум находится в равновесном состоянии, в нем существуют лишь виртуальные (призрачные) частицы, которые занимают в долг у вакуума энергию на короткий промежуток времени, чтобы родиться, и быстро возвращают позаимствованную энергию, чтобы исчезнуть. Когда же вакуум по какой-либо причине в некоторой исходной точке (сингулярности) возбудился и вышел из состояния равновесия, то виртуальные частицы стали захватывать энергию без отдачи, и превращались в реальные частицы. В конце концов, в определенной точке пространства образовалось огромное множество реальных частиц вместе со связанной ими энергией. Когда же возбужденный вакуум разрушился, то высвободилась гигантская энергия излучения, а суперсила сжала частицы в сверхплотную материю. Экстремальные условия «начала», когда даже пространство-время было деформировано, предполагают, что и вакуум находился в особом состоянии, которое называют «ложным» вакуумом. Оно характеризуется энергией предельно высокой плотности, которой соответствует предельно высокая плотность вещества. В этом состоянии вещества в нем могут возникать сильнейшие напряжения, отрицательные давления, равносильные гравитационному отталкиванию такой величины, что оно вызвало безудержное и стремительное расширение Вселенной — Большой взрыв. Это и было «первотолчком», «началом» нашего мира.

С этого момента начинается стремительное расширение Вселенной, возникают время и пространство. В это время идет безудержное раздувание «пузырей пространства», зародышей одной или нескольких вселенных, которые могут отличаться друг от друга своими фундаментальными

константами и законами. Один из них стал зародышем нашей Метагалактики.

По разным оценкам, период «раздувания», идущий по экспоненте, занимает невообразимо малый промежуток времени — до  $10^{-33}$  с после «начала». Он называется *инфляционным периодом*. За это время размеры Вселенной увеличились в  $10^{50}$  раз, от миллиардной доли размера протона до размеров спичечного коробка.

К концу фазы инфляции Вселенная была пустой и холодной, но когда инфляция иссякла, Вселенная вдруг стала чрезвычайно «горячей». Этот всплеск тепла, осветивший космос, обусловлен огромными запасами энергии, заключенными в «ложном» вакууме. Такое состояние вакуума очень неустойчиво и стремится к распаду. Когда распад завершается, отталкивание исчезает, заканчивается и инфляция. А энергия, связанная в виде множества реальных частиц, высвободилась в виде излучения мгновенно нагретого Вселенную до  $10^{27}$  К. С этого момента Вселенная развивалась согласно стандартной теории «горячего» Большого взрыва.

Сразу после Большого взрыва Вселенная представляла собой плазму из элементарных частиц всех видов и их античастиц в состоянии термодинамического равновесия при температуре  $10^{27}$  К, которые свободно превращались друг в друга. В этом сгустке существовали только гравитационное и большое (Великое) взаимодействия. Потом Вселенная стала расширяться, одновременно ее плотность и температура уменьшались. Дальнейшая эволюция Вселенной происходила поэтапно и сопровождалась, с одной стороны, дифференциацией, а с другой — усложнением ее структур.

Первичное вещество, из которого родилась Вселенная, сотрудники Г. А. Гамова — Р. Алфер и Р. Герман — назвали библейским словом *эле́м* (греч. *υλεμ* — «первичная материя»). Эта первичная субстанция представляла собой *нейтронный газ*. Ученые считали, что в «первичном аду» родились тяжелые ядра путем присоединения свободных нейтронов, и этот процесс продолжался, пока запас свободных нейтронов не истощился.

В начальной стадии (при  $t < 0,01$  с) температура очень высока и вещество состоит из нейтронов и протонов в равных пропорциях. Благодаря присутствию электронов, позитронов, нейтрино и антинейтрино происходит непрерывное превращение  $n + e^+ \leftrightarrow p + \nu$ , обратно,  $p + e^- \leftrightarrow n + \bar{\nu}$ . При охлаждении за первые 10 с число протонов увеличится за счет нейтронов и начнется образование дейтерия, трития, изотопов гелия: He-3 и He-4. Через 100 с от начала расширения заканчиваются все ядерные превращения: водорода получается 90 %, гелия — 9 %, остальное приходится на более тяжелые элементы. По весу водород составляет около 70 %, гелий — 30 %. Это и есть химический состав Вселенной к началу формирования звезд и галактик.

Для наглядности эту начальную (дозвездную) стадию делят на *четыре эры*. Для каждой из них можно выделить преобладающую форму существования материи, в соответствии, с чем и даны названия.

*Эра адронов* - в самом начале, продолжается 0,0001 с. Плотность  $d > 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>,  $T > 10^{12}$  К,  $t < 0,0001$  с. При высоких температурах могли существовать частицы только больших масс, для которых существенно и гравитационное

взаимодействие. Элементарные частицы разделяются на адроны и лептоны, причем первые могут участвовать в сильных и быстрых взаимодействиях, а вторые — в более слабых и медленных, поэтому первые эры получили такие названия. Адронная эра — *эра тяжелых частиц и мезонов, велика энергия  $\gamma$ -квантов*. Основную роль играет излучение; количества вещества и антивещества могут быть примерно равными. В конце адронной эры происходит аннигиляция частиц и античастиц, но остается некоторое количество протонов. Из равновесия с излучением вышли последовательно гипероны, нуклоны, К- и  $\pi$ -мезоны и их античастицы.

*Эра лептонов*:  $0,0001 < t < 10\text{с}$ , при этом  $10^{10}\text{К} < T < 10^{12}\text{К}$ ;  $10^7\text{г/м}^3 < d < 10^{17}\text{г/м}^3$ . Основную роль играют легкие частицы, принимающие участие в реакциях между протонами и нейтронами. Постепенно из равновесия с излучением вышли  $\mu$ -мезоны и их античастицы, электронные и мезонные нейтрино, а избыточные мюоны распались на электроны, электронные антинейтрино и мюонные нейтрино. В конце эры лептонов происходит аннигиляция электронов и позитронов. Спустя 0,2с Вселенная становится прозрачной для электронных нейтрино и они перестают взаимодействовать с веществом. Согласно теории, эти реликтовые нейтрино сохранились до нашего времени, но их температура ниже 2К, поэтому пока их не могут обнаружить.

*Фотонная эра* приходит позже и продолжается 1 млн. лет. Основная доля массы-энергии Вселенной приходится на фотоны, которые еще взаимодействуют с веществом. В первые 5 мин эры происходили события, во многом определившие устройство нашего мира. В конце лептонной эры происходили взаимные превращения протонов и нейтронов, к началу эры фотонов количества их были примерно равными. При уменьшении температуры протонов стало больше, поскольку реакции с образованием протонов оказывались энергетически более выгодными, значит, более вероятными. Это определило скорости реакций, и к началу следующей эры число нейтронов остановилось на 15 %.

*Эра излучения* в своем начале характеризуется параметрами:  $3000\text{К} < T < 10^{10}\text{К}$ ;  $10^{-18} < d < 10^7\text{кг/м}^3$ , нейтроны захватываются протонами и образуются ядра гелия. За первые минуты некоторое количество нейтронов пошло на образование ядер бериллия и лития, а некоторое количество распалось. В результате доля гелия в веществе могла составить 1/3. В конце эры температура снизилась до 3000К, плотность уменьшилась на 5-6 порядков, в результате чего создались условия для образования первичных атомов. Излучение отделилось от вещества. Вселенная стала прозрачной для вещества, и пришло новое время — время вещества. Излучение играет главную роль, образуется гелий. В конце эры главную роль в образовании вещества Вселенной начинает играть само вещество (масса Вселенной).

При  $T \approx 3\ 000\text{К}$  и плотности  $d \approx 10^{-18}\text{кг/м}^3$  начинается сложный процесс образования протозвезд и протогалактик.

Эта грандиозная картина процессов, схематично описанная здесь, разрабатывалась учеными детально, особенно — самые первые доли секунды. Безусловно, эта картина повлияла на наше мироощущение и продолжает уточняться. Модель «горячего» начала объясняла происхождение химических

элементов, их количественные соотношения сейчас, однако образование крупномасштабных сгущений в пространстве или существование квазаров она не объясняла.

#### 4 Острова Вселенной. Галактики

**Галактиками** называются гигантские (до  $\sim 10^{13}$  звёзд) звёздные системы, расположенные вне нашей Галактики. Их называют ещё внегалактическими туманностями, т. к. при визуальном наблюдении в телескоп они выглядят туманными пятнышками, как и обычные газовые туманности. Сведения о галактиках приводятся в специальных астрономических каталогах. Из них наиболее известны первый каталог туманностей и звёздных скоплений, составленный в конце 18 века французским астрономом Ш. Мессье.

Мир звёздных систем – галактик - стал интенсивно изучаться с 1920 г., когда шведскому астроному К. Лундмарку удалось разложить на звёзды периферийную часть спиральной туманности М 33 (или NGC 598) в созвездии Треугольника. Вскоре американский астроном Э. Хаббл, работавший на крупнейшем в то время телескопе с зеркалом диаметром 2,5м, установил звёздную природу спиральных рукавов туманности Андромеды и нескольких более слабых Г. неправильной формы. Это положило начало развитию новой отрасли астрономической науки - внегалактической астрономии. Изучение галактик требует максимально мощных инструментов, в частности оптических телескопов с зеркалами диаметром более метра, а также новейших средств и методов исследования далёких слабых объектов. Исключительно быстрому развитию внегалактической астрономии способствовало внедрение радиоастрономических методов исследования космических объектов.

Среди всё более слабых по блеску объектов число галактик быстро возрастает. Так, галактик ярче 12-й звёздной величины известно ок. 250, 15-й - уже ок. 50 тыс., а число галактик, которые могут быть сфотографированы 6-метровым телескопом на пределе его возможностей, составляет многие миллиарды. Это указывает на значительную удалённость большинства галактик.

Формы галактик чрезвычайно разнообразны. Однако большинство галактик относят к нескольким основным типам, руководствуясь их наиболее характерными внешними признаками, а более мелкие различия галактик помогают подразделить эти типы на отдельные подтипы.

Классифицировать галактики по морфологическим особенностям предложил Хаббл. Около 25% изученных галактик имеет круглую или эллиптическую форму (рисунок 1), поэтому их называют эллиптическими галактиками (в классификации этот тип обозначают символом E).



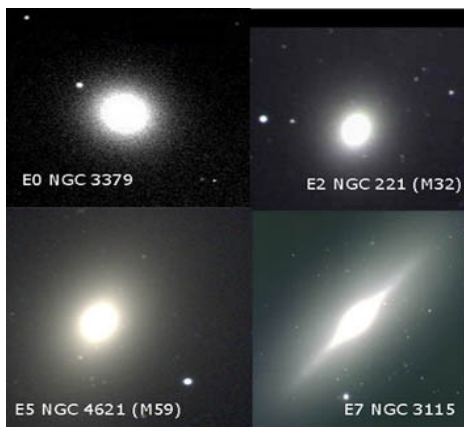
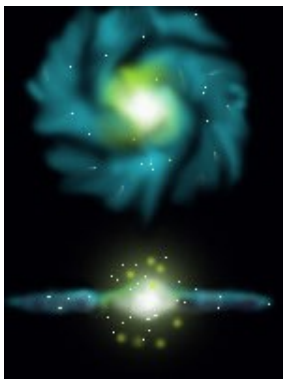


Рисунок 1- Типичные эллиптические галактики.



Это наиболее простые по структуре, звёздному составу и характеру внутренних движений системы.

В них не обнаружено звёзд высокой светимости (сверхгигантов), самые яркие звёзды в эллиптических галактиках - красные гиганты. Поверхностная яркость этих систем плавно убывает примерно обратно пропорционально квадрату расстояния от ядра, постепенно сливаясь без скачков с окружающим фоном неба. Расширение линий в спектрах эллиптических галактик указывает на то, что звёзды в них движутся в самых произвольных направлениях

с высокими скоростями (200 км/с). В этих условиях распределение звёзд во всех радиальных направлениях от центра симметрии должно быть почти равновероятным, что и объясняет близкую к сфероидальной форму таких звёздных систем. Эллиптические туманности в зависимости от степени видимого сжатия подразделены на восемь подтипов: от сферических систем E0 до чечевицеобразных E7 (цифра указывает степень сжатия).

Другой, самый распространённый тип галактик (их около 50 %) отличается большим разнообразием структуры. Эти звёздные системы имеют два или более клочковатых спиральных рукава, образующих плоский "диск". В центральной области галактик расположено сфероидальное вздутие (балдж), в котором находится ядро галактики. Такие галактики называют спиральными и обозначают символом S. Спиральные рукава, как правило, богаты яркими газовыми туманностями, окружающими горячие звёзды-сверхгиганты, а также облаками тёмной газовой-пылевой материи. Примерно у половины спиральных галактик рукава начинаются сразу от ядра (это нормальные спиральные галактики), у остальных галактик через ядро проходит яркая перемычка (бар), идущая далеко за пределы ядра (пересечённые спиральные галактики). От концов перемычки и начинают закручиваться спиральные рукава

Наша Галактика, как известно, также является спиральной, вероятнее всего типа Sb. По-видимому, спиральные галактики окружены сфероидальной звёздной короной, в которой содержится значительная часть массы галактик.

На рисунке 2 приведена одна из морфологических классификаций галактик - так называемый камертон Хаббла.

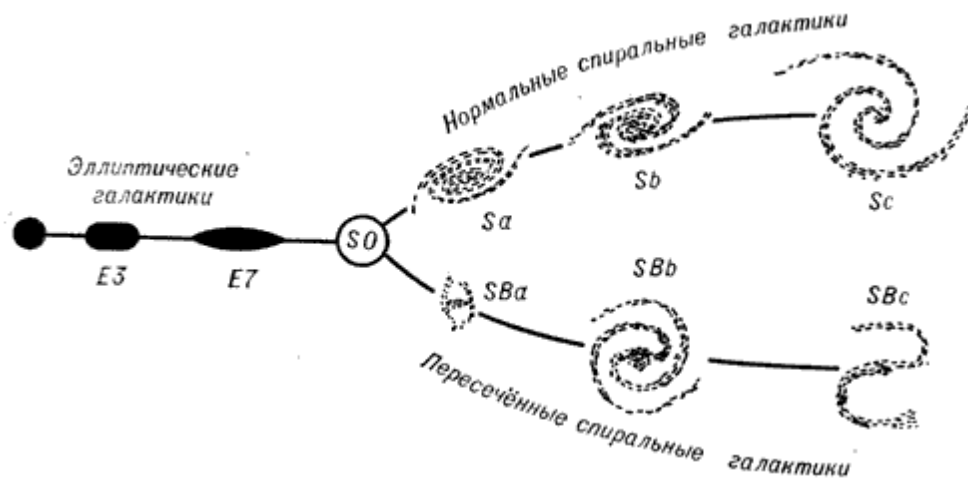


Рисунок 2- Схема классификации галактик (по Э. Хаббл).

Остающиеся 5 % галактик не удаётся отнести ни к одному из перечисленных типов, они образуют тип неправильных галактик (символ Ir). У таких галактик часто отсутствует симметрия формы. По меткому замечанию амер. астронома В. Бааде, этот тип явился "мусорной корзиной" для галактик, не поддающихся классификации

Форма и структура галактик неразрывно связаны с их основными физическими характеристиками: размером, массой, светимостью. При равных расстояниях до галактик их видимые размеры, а также массы возрастают по мере перехода от менее ярких галактик к более ярким. Массы галактик принято выражать числом солнечных масс (масса Солнца  $m_{\odot}=10^{33}$ ). По мощности излучения галактики можно подразделить на несколько классов светимости. Самый широкий диапазон светимостей наблюдается у эллиптических галактик, в центральных областях некоторых скоплений галактик обнаружены так называемые cD-галактики, являющиеся рекордными по светимости

Большинство галактик входят в группировки, насчитывающие от нескольких ярких членов (группы галактик) и до сотен и тысяч членов (скопления галактик). Яркие одиночные галактики редки - их не более 10 % от общего числа галактик.

Наиболее исследована Местная группа галактик, в которой самыми яркими и массивными является наша Галактика и туманность Андромеды. Каждая из них имеет по богатому семейству.

В Семейство нашей Галактики входят 14 карликовых эллиптических галактик, несколько внегалактических шаровых скоплений и неправильные галактики, среди которых крупнейшие - Магеллановы Облака.

Скопления галактик состоят, как правило, из эллиптических и линзообразных галактик, число спиральных галактик в них очень мало. Ярчайшими галактиками в скоплениях являются обычно линзообразные сверхгигантские системы (cD-галактики). Наиболее изучены два сравнительно близких сферических скопления галактик: скопление в Волосах Вероники (расстояние 125 Мпк) и скопление в Северной Короне (расстояние 350 Мпк). Самое далёкое скопление галактик, до которого определено расстояние, также находится в Волосах Вероники, до него 5200 Мпк. Только в самый крупный телескоп можно различить его ярчайшие члены.

Всего пока выявлено около 50 сверхскоплений, которые состоят из десятков отдельных крупных скоплений галактик, но наряду с ними существуют и просто скопления галактик, не входящие в коллективы более высокого ранга.

#### 4.1 Эволюция галактик

Богатство форм звёздных систем может быть объяснено разнообразием условий, в каких они рождались в раннюю эпоху существования Вселенной. По современным взглядам, на ранней стадии развития Вселенная была заполнена разреженным газом, который распался затем из-за гравитационной неустойчивости на сгущения, а сгущения в последующем - на отдельные облака различной массы. Одни из облаков имели вращательный момент и центральное сгущение, из них впоследствии образовались спиральные галактики, а другие практически не вращались, они положили начало эллиптическим галактикам, облака же без значительного центрального сгущения, но всё же обладавшие вращательным моментом, дали начало неправильным галактикам типа Магеллановых Облаков.

Газовые облака - протогалактики, состоявшие из первичного вещества (водорода и гелия), в свою очередь распадались на отдельные сгущения, сжимавшиеся к своим центрам. Скорости этих сгущений были большими (до 250 км/с), располагались они хаотично. Из них возникли звёзды 1-го поколения и шаровые звёздные скопления. Они образовали сферические звёздные подсистемы в галактики. Рой быстрых звёзд и шаровых скоплений, существующий вокруг главного тела нашей современной Галактики, имеет, по-видимому, именно такую природу. После того как в галактике образовались звёзды, дальнейшее развитие галактики должно было пойти по разным направлениям в зависимости от того, массивна или нет галактика (в массивных эволюция идёт быстрее), и от того, как велик вращательный момент галактики. галактики с большим вращательным моментом развились в тип Sc, со средним - в тип Sb, а с небольшим - в тип Sa.

Проследим возможную дальнейшую эволюцию спиральных галактик на примере нашей звёздной системы - Галактики. 1-е поколение звёзд имело разный по длительности век: звёзды малой массы существуют и сейчас, а более массивные (например, с массами вдвое больше солнечной) быстро прожили свою жизнь. Чем массивнее звезда, тем сильнее сжато вещество в её недрах, выше температура в центральной области и более интенсивно идут там термоядерные реакции (их мощность пропорциональна 15-20-й степени температуры). Массивная звезда относительно быстро сжигает имеющийся в ней запас ядерного горючего (водорода) и может окончить жизнь выбросом основной части своего вещества, обогащённого тяжёлыми элементами, в межзвёздную среду, что фиксируется наблюдателями с Земли как яркая вспышка сверхновой звезды. Газ выброшенный звёздами в процессе их эволюции, вместе с газом, не вошедшим в звёзды 1-го поколения, под воздействием тяготения концентрируется преимущественно к галактические плоскости. В тех местах, где плотность газа оказывается высокой, возникают

сначала газовые сгущения, а из них - звёзды нового поколения. В этих звёздах содержание тяжёлых элементов выше, чем в звёздах предыдущего поколения.

В настоящее время в нашей Галактике различают несколько подсистем, отличающихся возрастом входящих в них объектов, количеством тяжёлых элементов, характером движения звёзд и распределением их в пространстве. Расположение подсистем как бы иллюстрирует историю эволюции Галактики: межзвездный газ постепенно сжимался, его пространственное распределение изменялось от сферического к плоскому. Рождавшиеся из него звёзды образовали соответственно сферическую и плоскую звёздные подсистемы Галактики. Сравнительно плотный газ сохранился только в плоской подсистеме, где он больше не сжимается: сжатию препятствует давление магнитного поля и космических лучей. Чем тоньше подсистема, тем меньше возраст составляющих её звёзд. Молодые звёзды образуются в плоской подсистеме и в настоящее время, поэтому только в плоской подсистеме встречаются горячие массивные звёзды, имеющие, как уже говорилось, довольно короткий "век". Но всё же не весь газ в галактической плоскости расходуется на образование звёзд. Оставшаяся часть газа сосредоточивается главным образом в спиральных рукавах.

Образование молодых звёзд идёт ещё в центральной области Галактики. К центру Галактики падает газ, не имеющий вращательного момента. Здесь рождаются звёзды 2-го поколения сферической подсистемы, составляющие ядро Галактики. Но благоприятных условий для образования звёзд-сверхгигантов в ядре не имеется, так как газ распадается на небольшие сгустки. В тех же редких случаях, когда газ передаёт вращательный момент окружающей среде и сжимается в массивное тело - массой в сотни и тысячи масс Солнца, этот процесс не завершается благополучно: сжатие газа не приводит к образованию устойчивой звезды, может произойти гравитационный коллапс и возникнуть черная дыра. Коллапс сопровождается выбросом части вещества из области галактического ядра.

Чем массивнее спиральная галактика, тем сильнее тяготение сжимает спиральные рукава, поэтому у массивных галактик рукава тоньше, в них больше звёзд и меньше газа (больше образуется звёзд). Например, в гигантской туманности М81 видны тонкие спиральные рукава, тогда как в туманности М33, являющейся спиралью средних размеров, рукава значительно шире.

В зависимости от типа спиральные галактики имеют также разные скорости образования звёзд. Наибольшая скорость у типа Sc, наименьшая - у Sa. Высокая скорость звездообразования у первых связана ещё, по-видимому, с поступлением газа из галактических корон.

У эллиптических звёздных систем эволюционный путь должен быть проще. Вещество в них с самого начала не обладало значительным вращательным моментом и магнитным полем. Поэтому сжатие в процессе эволюции не привело такие системы к заметному вращению и усилению магнитного поля. Весь газ в этих системах с самого начала превратился в звёзды сферической подсистемы. В ходе последующей эволюции звёзды выбрасывали газ, который опускался к центру системы и шёл на образование звёзд нового поколения всё той же сферической подсистемы. Темп звездообразования в эллиптические галактики должен быть равен скорости

поступления газа из проэволюционировавших звёзд, в основном сверхновых звёзд, поскольку истечение вещества из звёзд в эллиптических галактиках незначительно. Годовая потеря газа звёздами в эллиптической галактике составляет по расчётам  $\approx 0,1 m_{\odot}$  на галактику массой  $10^{11} m_{\odot}$ . Из расчётов также следует, что центральные части эллиптической галактики из-за присутствия молодых звёзд должны быть голубее, чем периферийные области. Однако это не наблюдается. Дело в том, что значительная часть образующегося газа в эллиптических галактиках выдувается, горячим ветром, возникающим при вспышках сверхновых звёзд, а в скоплениях галактик - ещё и довольно плотным горячим межгалактическим газом, обнаруженным в последнее время по его рентгеновскому излучению.

Сравнивая количество звёзд разных поколений у большого числа однотипных галактик, можно установить возможные пути их эволюции. У более старых галактик наблюдается истощение запасов межзвёздного газа и снижение в связи с этим темпов образования и общего количества звёзд новых поколений. Зато в них много белых карликов - сверхплотных звёзд малых размеров, представляющих собой одну из последних стадий эволюции звёзд. В этом и заключается старение галактик. Следует отметить, что в начале эволюции галактики имели, по-видимому, более высокую светимость, т. к. в них было больше массивных молодых звёзд. Выявить эволюционное изменение светимости галактик можно в принципе, сравнивая светимости близких и очень далёких галактик, от которых свет идёт многие млрд. лет.

Внегалактическая астрономия пока ещё не дала определённого ответа на вопросы, связанные с возникновением скоплений галактик, в частности, почему в сферических скоплениях преобладают эллиптические и линзообразные системы. По-видимому, из относительно небольших облаков газа, не имевших вращательного момента, образовались сферические скопления с преобладанием эллиптических и линзообразных систем, также имеющих малый вращательный момент. А из больших облаков газа, обладавших существенным вращательным моментом, возникли скопления галактик, подобные Сверхскоплению в Деве. Здесь было больше вариантов распределения вращательного момента среди отдельных сгустков газа, из которых образовались галактики, и поэтому в таких скоплениях чаще встречаются спиральные системы.

Эволюция галактик в скоплениях и группах обладает рядом особенностей. Расчёты показали, что при столкновениях галактик их протяжённые газовые короны должны "обдираться" и рассеиваться по всему объёму группы или скопления. Этот межгалактический газ удалось обнаружить по высокотемпературному рентгеновскому излучению, идущему от скоплений галактик. Кроме того, массивные члены скоплений, двигаясь среди остальных, создают "динамическое трение": своим тяготением они увлекают соседние галактики, но в свою очередь испытывают торможение. По-видимому, так образовался Магелланов поток в Местной группе галактик. Иногда находящиеся в центре скопления массивные галактики не только "обдирают" газовые короны проходящих через них галактик, но захватывают и звёзды "посетителя". Предполагается, в частности, что сD-галактики, обладающие массивными гало, образовали их таким "каннибальским" путём.

По существующим расчётам, через 3 млрд. лет "каннибалом" станет и наша Галактика: она поглотит приближающееся к ней Большое Магелланово Облако.

## 4.2 Галактика Млечный путь

Наша галактическая система — рядовая звездная система. На небе в ясную безлунную ночь хорошо видна яркая белесоватая полоса — *Млечный Путь*. Он простирается (при вечерних наблюдениях) через созвездия Скорпиона, Стрельца, Орла и дальше вверх к Лебедю, Цефее и Кассиопее. При утренних наблюдениях можно проследить его другую ветвь: по созвездиям Персея, Возничего, Тельца, Близнецов, Ориона и Большого Пса. В Южном полушарии он проходит через созвездия Парусов, Киля, Южного Креста и Центавра. Таким образом, Млечный Путь образует на небе полный круг. Его светлое сияние происходит в основном из-за свечения бесчисленного количества слабых звезд.

Представление о том, что Млечный Путь состоит из огромного числа звезд, восходит еще к Демокриту. Его догадку подтвердил Г. Галилей с помощью своего телескопа. У. Гершель обратил внимание, что в направлении созвездия Геркулеса звезды как бы раздвигаются, а на противоположной стороне — сближаются: подобное впечатление получается при движении по дороге, по обеим сторонам которой высажены деревья. Таким образом, Солнце движется по отношению к ближайшим звездам, и расстояния до них неодинаковы.

Галактика — это гигантская звездная система, состоящая почти из 200 млрд. звезд, и Солнце — одна из них. Вообще галактики — огромные вращающиеся звездные системы. Они различаются и по внешнему виду, и по характеристикам. Помимо звезд, в галактики входит межзвездное вещество: газ, пыль, частицы космических лучей. Считают, что некоторые галактики по ряду свойств и по внешнему виду похожи на нашу Галактику, называемую Млечный Путь. Из их фотографий можно заключить, что это достаточно тонкий диск с утолщением в центре. В этом месте Галактика простирается на область с радиусом в 25 кпк и толщиной около 2 кпк, на расстоянии в 10 кпк от центра находится Солнечная система. Она движется вокруг центра Галактики почти по окружности со скоростью 240 км/с. Орбита Солнца лежит в плоскости Галактики, один оборот длится 240 млн. лет. Масса центральной части Галактики порядка  $3 \cdot 10^{41}$  кг. Предполагают, что большая масса сосредоточена на периферии Галактики, в области радиусом около 100 кпк. Многие звезды образуют группы — скопления. Эволюционные процессы связаны с такими характеристиками звезд, как возраст, химический состав, характеристики движений и пространственное расположение.

Возраст звезд находится в достаточно большом диапазоне значений: от сотен тысяч лет (возраст самых молодых звезд) до 15 млрд лет (возраст Вселенной). Есть звезды, образующиеся на наших глазах и находящиеся в протозвездной стадии.

Все звезды, по терминологии Бааде, предложенной в 1944г., принято называть звездным населением. В плоскости Галактики расположены звезды молодые и среднего возраста — население I, или диска (звезды Главной последовательности спектральных классов O и B — самые молодые и горячие, G, K, M — карлики). Это рассеянные звездные скопления, горячие звезды — гиганты и сверхгиганты, сверхновые звезды, долгопериодические цефеиды, молекулярные облака, светлые и темные туманности. Возраст их порядка  $10^7$ —  $10^8$  лет, они недавно образовались из межзвездного газа, поэтому находятся в плоскости вблизи него. Сейчас межзвездного газа по массе немного—около 5 % общей массы, и он сконцентрирован в спиральных рукавах. Наше Солнце находится посередине между двумя спиральными рукавами (рисунок 3). Самые старые составляют население II, или гало (шаровые скопления), содержащие до 1 млн. звезд; рассеянные скопления, содержащие лишь 100-1000 звезд; (субкарлики II переменные типа RR Лиры); к старым относятся красные карлики, красные гиганты и цефеиды. Их возраст порядка  $10^{10}$  лет. Старые объекты находятся ближе к центру Галактики.

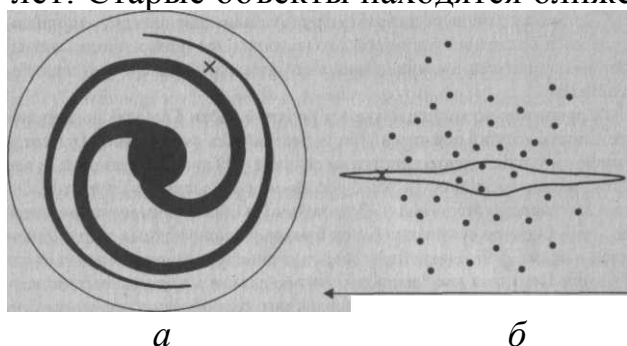


Рисунок 3 - Положение Солнечной системы в Галактике (отмечено крестиком): а — вид сверху; б — вид сбоку.

Промежуточную по возрасту группу занимают звезды, заполняющие диск Галактики толщиной около 1 кпк. Это новые звезды, планетарные туманности, яркие красные гиганты, расположенные в ядре Галактики.

Сравнительно молодые звезды верхней части Главной последовательности входят обычно в состав рассеянных скоплений. Непосредственному наблюдению доступны около 1 000 таких скоплений, и все они принадлежат диску. Кроме рассеянных скоплений, в Галактике более 100 шаровых скоплений. Они получили такое наименование потому, что в центре скопления блеск близко расположенных звезд сливается в яркий фон. Ближайшее шаровое скопление можно видеть в созвездии Центавра даже невооруженным глазом в виде размытого пятна. Шаровые скопления очень устойчивы, они образуют сферическую подсистему. В них много белоголубых звезд и мало красных гигантов. Многие из шаровых скоплений являются источниками мощного рентгеновского излучения. Это объясняют аккрецией (падением) межзвездного газа на черные дыры, находящиеся, по мнению некоторых ученых, в центре шаровых скоплений.

Межзвездный газ относят к населению диска, поскольку по своему химическому составу, расположению и характеру движения он ближе всего к молодым звездам. В спектрах были открыты линии межзвездного натрия, калия, железа, титана и водорода (по косвенным данным, например, потому,

что водород образует вместе с атомом углерода молекулу CH). Измерения взаимных положений компонентов в спектрах позволили составить схемы обращения облаков вокруг центра Галактики.

Соотношение водорода и гелия в межзвездной среде оценивается как 9:1. В спиральных рукавах плотность водорода примерно на порядок выше, чем между рукавами.

Межзвездная среда ослабляет свет звезд примерно на 0,6 звездной величины на 1 пк. Межзвездная среда похожа на пыль, концентрация которой в 100 раз меньше газовой. Ее частицы напоминают ледяные загрязненные кристаллики с  $T \approx 17$  К. Газопылевые облака поглощают свет далеких звезд, при этом их поглощательная способность пропорциональна  $1/\lambda$ . Например, ядро Галактики удастся наблюдать только в инфракрасном и радиодиапазонах. В центре Галактики обнаружен мощный источник радиоизлучения - Стрелец А. В нем предполагают наличие массивной черной дыры, окруженной газовым диском диаметром около 1 млрд. км. Из ядра, линейные размеры которого оценивают в 4 тыс. св. лет, с огромными скоростями (до 600 км/с) выбрасываются сгустки вещества, масса которых за год оценивается в массу Солнца. В основном облака концентрируются вблизи галактической плоскости. Туманности скрывают тайны строения нашей Галактики.

Ядро Галактики изучено плохо, поскольку центральная область почти недоступна для наблюдений из-за сильного поглощения в межзвездной среде. Наблюдения в разных областях спектра позволили установить размер ядра примерно в несколько килопарсек. Плотность звезд достигает  $10^7$  звезд/пк<sup>3</sup>, тогда как вблизи Солнца — 0,1 звезд/пк<sup>3</sup>. В центре Галактики находится источник нетеплового излучения (Стрелец А); вероятно, очень быстрые электроны, которые возникают при вспышках сверхновых звезд или пульсаров, ускоряются в магнитных полях. Мощное излучение от ядра существует в радиодиапазоне и в инфракрасной области. Есть предположения, что это массивное быстро вращающееся плазменное тело — «магнетойд» или черная дыра.

Движения старых и молодых звезд в Галактике имеют различия. У старых — большие эксцентриситеты орбит, а молодые движутся почти по окружностям. Получаются две подсистемы: молодые звезды быстро вращаются внутри почти неподвижной системы более старых звезд. Оказалось, старое население Галактики более или менее равномерно занимает почти сферический объем, концентрируясь ближе к центру, а молодое — концентрируется в диске, толщина которого в десятки раз меньше радиуса. Поэтому на больших расстояниях от центра преобладает излучение звезд диска, а вблизи центра — излучение сферической подсистемы. Возникает некое утолщение диска в его центре. Советский ученый Б. В. Кукаркин выделил в Галактике три подсистемы: плоскую, промежуточную и сферическую, различающиеся по степени сосредоточенности звезд. Он показал, что звезды с одинаковыми физическими характеристиками одинаково распределены в пространстве. Вблизи Солнца пространственные скорости звезд различны по величине и направлению и составляют относительно Солнца 20-30 км/с.



Обнаруживается и вращение вокруг центра Галактики. Участвуя в общем движении Галактики, Солнце вместе со своей системой движется со скоростью 240 км/с и делает полный оборот вокруг центра за 240 млн. лет. Этот промежуток времени называют галактическим годом. Направляя радиотелескоп в разные участки Млечного Пути, ученые изучили распределение водорода в пространстве облаков, линия водорода на  $\lambda=21\text{см}$  оказалась расщепленной на несколько отдельных компонентов. По водородным линиям установлены спиральные рукава, вдоль которых образуются молодые звезды.

Сравнение фотографий звезд, сделанных через достаточно большие интервалы времени, показывает наличие двух составляющих скорости звезд — лучевой (по направлению к наблюдателю) и тангенциальной. Для представления о пространственной скорости необходимо знать обе составляющие. Если лучевую скорость определяют по эффекту Доплера, то для расчета тангенциальной составляющей нужно знать и расстояние до звезды. Звезды гало и диска Галактики различны и по своим пространственным скоростям: у звезд гало скорости в 4-5 раз больше.

Отличия химического состава (различное содержание тяжелых элементов) звезд гало и диска позволили выстроить последовательность жизни звезд. Предполагается, что Галактика как система звезд образовалась примерно 13 млрд. лет назад. На «дозвездной», или «до-галактической», стадии развития вещество Вселенной не содержало никаких элементов, кроме водорода (3/4) и гелия (1/4). Гравитационные силы сжимали облако, и возникли первые неоднородности, среди которых выделились области с большой плотностью, и в которых начался процесс звездообразования. Возникли и первые скопления звезд. Появились шаровые и рассеянные скопления, в них сформировалось некоторое количество звезд классов O и B. Они «сгорели» за 1 млрд. лет, закончив свою эволюцию вспышкой сверхновой.

Более тяжелыми элементами обогатили межзвездную среду оболочки взрывающихся звезд. Первые поколения звезд содержат элементы более тяжелые, условно их называют металлами.

Появление тяжелых элементов говорит о том, что, прежде чем попасть в эти звезды, первичное вещество подверглось каким-то ядерным превращениям и обогатилось тяжелыми элементами. Большинство звезд имеют малую массу, которой недостаточно для выработки тяжелых металлов путем термоядерных реакций. Такие звезды, как наше Солнце, способны только превращать водород в гелий, поэтому их химический состав не меняется и соответствует тем химическим элементам, из которых они образовывались. Молодые звезды гораздо богаче металлами, чем старые (у Солнца металлы составляют 2-3 % массы), и межзвездная среда имеет близкий процент содержания металлов.

## 5 Метагалактика

Совокупность галактик всех типов, квазаров, межгалактической среды образует Метагалактику - доступную наблюдениям часть Вселенной. Метагалактика, как и составляющие её системы, имеет специфические свойства, особенности структуры и следует собственным закономерностям развития. Красное смещение отражает, по сути дела, одно из важнейших свойств Метагалактики. Смещение линий в спектрах галактик в сторону длинных волн связано с увеличением размеров Метагалактики - "разлётом" скоплений галактик. Попытки иначе объяснить красное смещение не удалось. Более того, всё новые и новые факты наблюдений, например, открытие реликтового излучения, получают своё естественное объяснение только при подобном толковании красного смещения.

Из явления расширения Метагалактики вытекает, в частности, что раньше расстояния между галактиками и скоплениями галактик были меньше. А если учесть, что сами галактики в ранние эпохи развития были протяжёнными и разреженными газовыми облаками, то когда-то, миллиарды лет назад, границы этих облаков смыкались, т. е. все они выделялись из первоначально почти однородной газовой среды, находящейся в состоянии быстрого расширения.

Другое важное свойство Метагалактики - закономерность распределения в ней вещества. В галактиках сейчас основная масса вещества сосредоточена в звёздах, и только несколько процентов вещества, главным образом в спиральных и неправильных галактиках, приходится на межзвёздную среду (газ и пыль).

Некоторая часть материи Метагалактики находится в форме излучения и элементарных частиц. Плотность "лучистой" материи составляет менее  $10^{-3}$  от плотности вещества, но плотность, обусловленная элементарными частицами (главным образом нейтрино, если они обладают массой покоя), может оказаться достаточно большой и довести плотность материи во Вселенной до критического значения  $\sim 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>. По мере перехода от галактик к системам галактик всё более высоких степеней организации (группы, скопления, сверхскопления) массы вещества в одинаковых объёмах, намного превышающих размеры сверхскоплений, получаются сравнимыми, а средняя плотность вещества оказывается одного порядка. С гораздо большей точностью однородность Вселенной доказывается по наблюдениям реликтового излучения, интенсивность которого одинакова по всем направлениям.

Равномерное распределение материи в масштабах Метагалактики определяет одинаковость свойств материи и пространства во всех частях Метагалактики (однородность) и одинаковость их во всех направлениях (изотропия). Эти важные свойства Метагалактики характерны, по-видимому, для современного состояния Метагалактики, однако в прошлом, в самом начале расширения, анизотропия и неоднородность материи и пространства могли существовать. Поиски следов анизотропии и неоднородности Метагалактики в прошлом представляют собой сложную и актуальную задачу внегалактической астрономии, к решению которой астрономы еще только подходят.

## 6 Звезды и их эволюция

**Звезды** - космические тела, состоящие из сильно ионизированного газа, в которых:

- вся энергия, высвобождаемая при термоядерных реакциях, излучается через звездную атмосферу в космос (в недрах звезд  $t=10$ млн градусов);
- давление газа внутри звезды уравнивает вес ее внешних слоев.

Классификация звезд основывается на таких характеристиках звезд, как масса, светимость (полное количество энергии, излучаемое звездой), радиус и температура поверхностных слоев.

**Температура звезды** определяет цвет звезды, т. е. ее спектральные характеристики. Температуру нагретого тела оценивают по зависимости интенсивности излучения от длины волны. Чем выше температура излучающего тела, тем дальше в область коротких волн сдвигается максимум интенсивности излучения. Этот факт сформулирован в законе Вина: длина волны, соответствующая максимуму энергии, излучаемой абсолютно черным телом, обратно пропорциональна его температуре.

Если температура поверхностных слоев звезды (как и любого нагретого тела) 3000-4000 К, то ее цвет красноватый, при температуре 6000-7000 К — желтоватый. Очень горячие звезды имеют белый и голубоватый цвета (10 000-12 000 К). Подавляющее большинство звезд имеют температуру около 3500 К.

Самые высокие температуры соответствуют голубым звездам, самые низкие - красным.

Таким образом, измерение зависимости интенсивности излучения от его длины волны позволяет оценить температуру поверхности звезды.

**Светимость звезды** (количество энергии, испускаемое звездой в единицу времени) определяют с использованием так называемой «величины» звезды (звездной величины). По определению, две звезды, отличающиеся по наблюдаемой светимости (блеску) в 100 раз, будут отличаться друг от друга на 5 видимых звездных величин. Нетрудно подсчитать, что блеск звезды нулевой и 20-й звездной величин будет отличаться в 100 миллионов раз.

Солнце гораздо ярче других звезд. Однако это совсем не значит, что его светимость самая большая. Оно просто близко. Для корректного сравнения светимостей необходимо исключить фактор расстояния. В связи с этим введено понятие *абсолютной звездной величины* как видимой звездной величины, которую звезда имела бы, находясь на расстоянии 10 пс от Солнца. Именно эта характеристика и будет определять светимость звезды. Абсолютная звездная величина Солнца +5.

Измерив, расстояние до звезды (используя для достаточно близких звезд метод параллакса) и видимую звездную величину, мы получаем абсолютную звездную величину звезды, являющуюся мерой ее светимости. По измерениям зависимости интенсивности излучения звезды от длины волны можно установить ее температуру. Известно, что энергия, излучаемая единицей площади поверхности нагретого тела, пропорциональна четвертой степени температуры  $T$  тела (закон Стефана-Больцмана):

$$Q = \sigma T^4 \quad (1)$$

Полная энергия, испускаемая звездой (светимость), будет определяться радиусом звезды  $R$ :

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4 \quad (2),$$

где  $\sigma$  — постоянная величина.

Отсюда мы можем оценить радиус звезды, абсолютная звездная величина и температура которой известны. Для этого надо использовать соотношения (1) и (2) для Солнца (абсолютная звездная величина +5, радиус 700 000 км, температура 6000 К) и составить пропорцию.

Радиусы звезд меняются в очень широких пределах. Есть звезды, по своим размерам не превышающие Землю («белые карлики»). Нейтронные звезды имеют радиусы в несколько десятков километров. Существуют огромные «пузыри» — сверхгиганты, внутри которых может поместиться орбита Марса (тысячи радиусов Солнца).

**Массы звезд** изменяются в сравнительно узких пределах. Очень мало звезд, массы которых больше или меньше массы Солнца в 10 раз. Типичные значения масс звезд лежат в диапазоне 0,03-60 масс Солнца. Плотность Солнца  $1,4 \text{ г/см}^3$ , плотность «пузырей» — в миллионы раз меньше. Плотность «белых карликов» и нейтронных звезд — до  $10^{12} \text{ г/см}^3$ .

По массе их можно разделить на 4 группы в сравнении с массой Солнца:

- 1) до 1,4 массы Солнца, их эволюция аналогична нашему Солнцу;
- 2) 1,4-2,5 массы Солнца;
- 3) 2,5-25 массы Солнца
- 4) 25-75 массы Солнца.

При возрастании температуры меняется не только длина волны, которой соответствует максимум излучения, но и проявляется влияние внешних оболочек звезды на ее спектр. Возможна классификация звезд по особенностям их спектров излучения. Спектральная классификация содержит семь классов, обозначаемых буквами: O, B, A, F, G, K, M — от самых горячих звезд к самым холодным. (*Мнемонические правила: Один Великий Англичанин Финики Жевал Как Морковь; O, Be A Fine Girl, Kiss Me.*) Каждый класс разбивается на 10 подклассов — O0, O1, O2 ... O9. Солнце — звезда класса G2.

Внешние оболочки звезды, как правило, представляют собой сильно ионизированные водород и гелий, плазму с одинаковым числом положительно и отрицательно заряженных частиц. Тяжелые элементы, также в ионизированном состоянии, присутствуют в виде незначительных «добавок». Заметим, что возможна ситуация, когда атомы полностью потеряют электроны. В этом случае отдельно существуют ядра и электроны, понятие химического элемента исчезает.

**Химический состав** звезды определяют по ее спектру излучения. Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 000 атомов водорода приходится 1000 атомов углерода, пять атомов кислорода, два атома азота, один атом углерода, 0,3 атома железа. Содержание других элементов еще ниже. В то же время необходимо отметить, что тяжелые элементы, занимая во Вселенной весьма скромное место, определяют характер эволюции звезд. Кроме того, вопрос возникновения жизни на Земле, существования жизни во Вселенной прямо связан с эволюцией химических элементов, их происхождением.

Класс А включает так называемые водородные звезды со спектрами излучения, характерными для водорода. Типичная звезда этой группы — Сириус. Класс F включает звезды, в спектрах которых особо выделяются спектральные линии кальция и водорода. К классу G относятся звезды, в спектрах которых, кроме спектральных линий кальция и водорода, видны спектральные линии многих металлов, особенно железа. Солнце принадлежит к этой группе, поэтому звезды такого типа часто называют звездами солнечного типа. Звезды класса K имеют в спектрах интенсивные линии кальция и линии, указывающие на присутствие других металлов. В класс M входят звезды, спектры которых содержат полосы, характерные для окислов металлов, особенно окиси титана. Максимум излучения сдвинут в красную область спектра. Типичный представитель — звезда Бетельгейзе (созвездие Ориона).

Важную роль в поведении звезд играют **магнитные поля**. В пятнах на Солнце магнитное поле достигает 4000 Э. Это поле, которое можно получить на Земле с помощью относительно сильного электромагнита. Напряженность магнитных полей отдельных звезд достигает 10 000 Э.

Мы перечислили основные характеристики звезд. Возникает вопрос, существует ли какая-либо связь между ними? Можно ли систематизировать существующие данные о миллионах наблюдаемых звезд?

Рассчитанные по данным наблюдений светимость, температура и радиус звезды связаны друг с другом. При помощи уравнений (1) и (2) по двум из этих параметров можно рассчитать третий. Звезды, как мы видим, чрезвычайно разнообразны. Звезды с наибольшими светимостями в миллион раз ярче Солнца. Звезды, имеющие самые слабые светимости, — примерно в миллион раз слабее Солнца. Поверхностные температуры самых горячих звезд — сотни тысяч Кельвинов, самых холодных — около 1000 К. Различны и радиусы звезд.

Можно было бы ожидать, что во Вселенной, содержащей миллионы и миллионы звезд, представлены любые возможные сочетания этих параметров. Это предположение можно проверить, выбрав любые два параметра для большого количества звезд и построив диаграмму, связывающую их.

В 1905 г. Э. Герцшпрунг и Г. Рессел независимо друг от друга заметили, что голубые (горячие) звезды малой светимости встречаются очень редко, а красные звезды образуют две группы. В 1911 г. Герцшпрунг, а в 1913 г. — Рессел начали строить диаграммы, связывающие светимость звезд со спектральным классом.

Сегодня диаграмма, на которую нанесены большинство известных звезд носит название диаграммы Герцшпрунга-Рессела (рисунок 4).

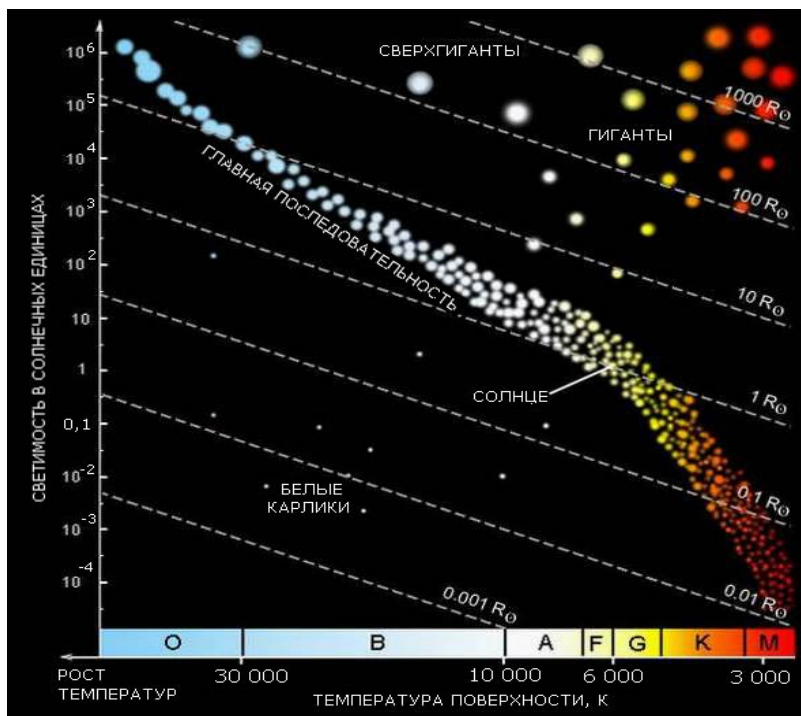


Рисунок 4- Диаграмма Герцшпрунга – Рессела.

Звезды лежат на этой диаграмме не случайным образом, а образуют явно выраженные последовательности. Большинство звезд находится в пределах сравнительно узкой полосы, идущей от левого верхнего угла диаграммы к правому нижнему. Это так называемая «главная последовательность». В верхнем правом углу — довольно беспорядочная группировка звезд. Их спектральные классы — G, K, M. Это яркие звезды с абсолютными звездными величинами от +2 до -6 — «красные гиганты». В левой нижней части диаграммы — небольшое количество звезд. Их абсолютные величины +10 и больше, а спектральные классы от B до F. Т. е. это горячие звезды с низкой светимостью. Но низкая светимость при высокой поверхностной температуре может быть только тогда, когда радиус звезды мал. В этой части диаграммы находятся маленькие горячие звезды — «белые карлики».

Существование главной последовательности, на которую попадает, по крайней мере, 95 % всех звезд (в том числе и Солнце), является аргументом в пользу предположения, что большинство звезд подчиняется одним и тем же законам, имеет близкий химический состав, проходит одинаковые этапы в своем развитии.

В пространстве звезды часто объединены в группы, которые называют звездными скоплениями. Газопылевые облака могут обладать массами в тысячи и миллионы масс Солнца. Из их вещества может родиться множество звезд. В этом случае они расположатся на некотором отдалении друг от друга внутри облака. Такую группу, редко принимающую правильные очертания, принято называть рассеянным звездным скоплением. Звезды скопления могут разогревать или освещать "свою" туманность, делая ее видимой. Известные всем Плеяды тоже погружены в голубую холодную туманность. В галактике рассеянные скопления могут быть только там, где много газовых облаков. В спиральных галактиках, таких как наша, такие места в изобилии встречаются в

плоской составляющей галактики, в спиральных рукавах. На небе мы видим их как полосу Млечного пути. Здесь же ютятся и почти все рассеянные скопления.

Шаровые звездные скопления, в отличие от рассеянных, значительно богаче звездами. Их там может быть до миллиона. Кроме того, шаровые скопления очень компактны, и звезды в них удалены на малые расстояния друг от друга. Считается, что они образовались вместе с Галактикой из чрезвычайно плотных и массивных газовых облаков. Это гипотеза подтверждается тем, что почти все звезды в шаровых скоплениях старые, процессы звездообразования в них идут очень и очень слабо. Голубых звезд тоже почти нет, так как голубые звезды заведомо молоды по сравнению с возрастом Галактики (10-15 млрд. лет). Многие звезды в шаровых скоплениях уже находятся на стадии красных гигантов, поэтому обычный цвет этих объектов желтоватый или даже рыжий. Молодые шаровые звездные скопления в нашей Галактике не обнаружены. Всего в нашей Галактике известно 147 шаровых скоплений. Форма шаровых скоплений сферическая или эллипсоидальная, отсюда и название. Шаровые скопления входят в состав галактического гало.

## 6.1 Эволюция звезд

Современная астрономия располагает большим количеством аргументов в пользу утверждения, что звезды образуются путем конденсации облаков газопылевой межзвездной среды. Процесс образования звезд из этой среды продолжается и в настоящее время. Многие наблюдаемые звезды являются сравнительно молодыми объектами, а некоторые из них возникли, когда на Земле уже был человек.

Центральным в проблеме эволюции звезд является вопрос об источниках их энергии. Откуда, например, берется огромное количество энергии, необходимое для поддержания излучения Солнца на уровне, близком современному, в течение нескольких миллиардов лет?

Возраст Солнца около 5 млрд. лет. Ежесекундно оно излучает энергию более  $10^{26}$  Дж. Тогда за это время оно потеряло посредством излучения более  $10^{43}$  Дж. Пусть первоначально Солнце состояло только из водорода, полностью превращающегося в результате термоядерной реакции в гелий. Тогда выделившееся количество энергии составит около  $10^{45}$  Дж. Это в сто раз больше энергии, испущенной Солнцем за время своего существования. То есть для поддержания излучения на наблюдаемом уровне Солнце «израсходовало» не более 10% своей массы.

Если опираться на модель Большого Взрыва, около 14 млрд. лет назад началось образование расширяющейся Вселенной из какого-то начального, неизвестного нам, «сингулярного» (от лат. *singularis* — отдельный, особый) состояния бесконечной или очень большой плотности. Мы можем ожидать, что в простейшем случае расширение происходит пространственно однородно, то есть вещество после Большого Взрыва разлетается во все стороны, и плотность его на заданном расстоянии от точки взрыва одинакова во всех направлениях, нет оснований для возникновения каких-либо неоднородностей в его распределении в пространстве. (При этом вспомним, что мы не знаем, по какому сценарию развивается Вселенная, и

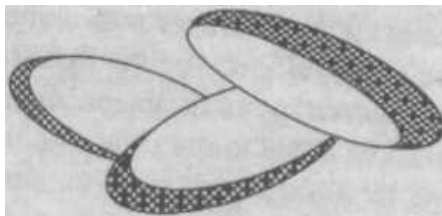
модель Большого взрыва является одной из наиболее вероятных с точки зрения сегодняшних представлений.)

Это хорошо подтверждается наблюдениями: вещество «разбегается» от нашей Галактики (что вовсе не значит, что Галактика находится в центре Вселенной, просто именно здесь находится человек, исследующий Вселенную) со скоростью, монотонно возрастающей при увеличении расстояния, а реликтовое излучение имеет одну и ту же энергию (температуру) — 3К в любой точке небесной сферы.

Но если бы расширение Вселенной происходило абсолютно однородно в пространстве, то вещество не могло бы конденсироваться (слипаться) под действием гравитационных сил и Вселенная представляла бы собой газ из атомов и элементарных частиц, становящийся все более и более разреженным в процессе расширения Вселенной. Не было бы ни звезд, ни галактик, ни планет. Вспомним, что средняя плотность вещества Вселенной  $10^{21}$  г/см<sup>3</sup>. Единственными силами, приводящими к образованию неоднородностей в распределении вещества во Вселенной, являются гравитационные силы.

Таким образом, мы вынуждены признать, что современная структура Вселенной связана с неоднородностями, возникшими на ранних стадиях расширения. Уже тогда существовали слабые разрежения и сжатия вещества, разбросанные по пространству. Изменения средней плотности должны быть заметными (в современную эпоху мы можем выделить звезды, галактики, скопления галактик), но не слишком большими (если рассматривать Вселенную в более крупных масштабах, то она достаточно однородна).

В современных моделях состояния Вселенной показано, что «выжили»



лишь те флуктуации плотности, массы которых достигали  $10^{16}$  масс Солнца. Именно из них в дальнейшем образовались гигантские газовые облака неправильной формы, похожие на блины. В областях пересечения «блинов» (рисунок 5) возникают зоны повышенной плотности,

Рисунок 5

имеющие форму волокон.

Если рассматривать смесь вещества и излучения в ранней Вселенной как идеальный газ, то следствия возмущений плотности очевидны. Любое случайное увеличение плотности вещества ведет к возрастанию гравитационных сил притяжения и дальнейшему сжатию к центру масс. Ограничить сжатие могут только силы внутреннего давления сжимаемого газа.

Таким образом, причиной формирования скоплений газа во Вселенной являются *случайности (флуктуации)* в распределении газа и действие сил взаимного гравитационного притяжения между отдельными молекулами газа. Иных причин, способных привести к концентрации вещества Вселенной, не существует. Вероятная картина эволюции звезды такова (рисунок 6).



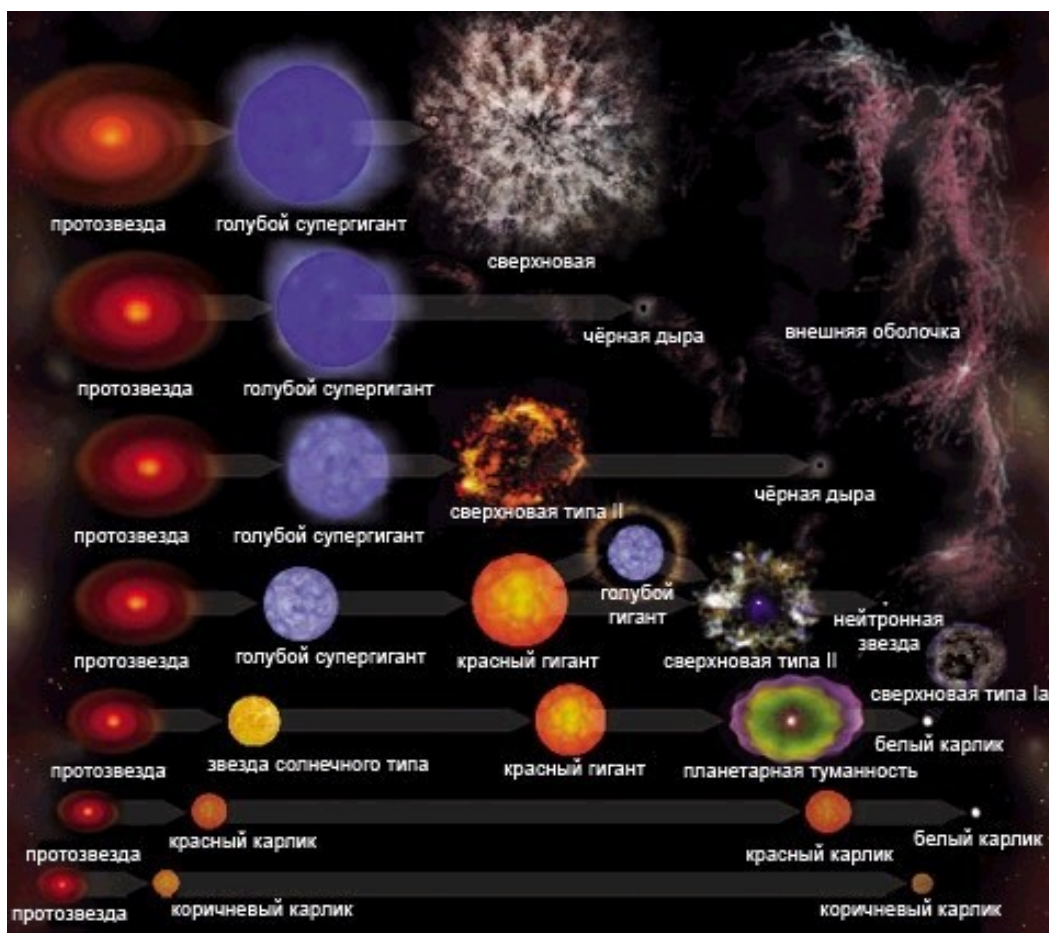


Рисунок 6- Вероятная картина эволюции звезды

Вследствие случайного возрастания плотности из рассеянного во Вселенной вещества формируется богатое водородом газопылевое облако. Под влиянием сил гравитационного взаимодействия это облако уплотняется, образуя газовый шар. Заметим, что шар имеет наименьшую площадь поверхности при данном объеме. Поэтому образование шара из облака неопределенной формы энергетически выгодно. За счет гравитационных сил шар сжимается, плотность возрастает. Вещество теряет прозрачность, но остается газом. Но растет и давление внутри шара, противодействующее силам гравитации. При адиабатическом сжатии (отсутствует возможность обмена энергией с внешней средой; это тот же процесс, вследствие которого нагревается ручной насос при быстрой подкачке шины) температура шара (это уже протозвезда) увеличивается, часть энергии излучается в пространство. На диаграмме Герцшпрунга - Рассела (рисунок 4) эти объекты, имеющие низкую температуру поверхности, располагаются справа от главной последовательности. С точки зрения размеров среди таких объектов могут быть как «красные карлики», так и «красные гиганты» («красные» — потому, что спектр их излучения сдвинут в красную сторону, что соответствует относительно низким температурам). Все зависит от исходной массы флуктуации.

В дальнейшем протозвезда под действием гравитационных сил продолжает сжиматься. Ее размеры уменьшаются, поверхностная температура растет. То есть протозвезда «приходит» на главную последовательность. В этот период температура и плотность недр звезды становятся достаточными для начала термоядерной реакции. Давление и температура внутри звезды возрастают,

гравитационные силы, и силы внутреннего давления становятся равными, газовый шар перестает сжиматься. Протозвезда становится звездой.

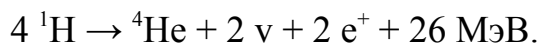
Чтобы пройти эту самую раннюю стадию эволюции, протозвездам необходимо сравнительно немного времени. Все зависит от начальной массы. Если масса протозвезды больше массы Солнца, для этого нужно всего лишь несколько миллионов лет, если меньше — несколько сотен миллионов лет.

Оказавшись на главной последовательности и перестав сжиматься, звезда в течение значительного времени излучает, не меняя положения на диаграмме «спектр-светимость». Ее излучение поддерживают термоядерные реакции в центральных областях, а размер — противодействие гравитационных сил и сил внутреннего давления.

Таким образом, главная последовательность представляет собой такую область на диаграмме «спектр-светимость», где звезда может длительно и устойчиво излучать благодаря термоядерным реакциям.

Масса звезды определяет место и время пребывания звезды на главной последовательности. Если масса велика, излучение звезды имеет огромную мощность и она достаточно быстро расходует запасы водорода. Так, например, звезды главной последовательности с массой, превышающей солнечную в десятки раз (горячие голубые гиганты спектрального класса O), могут устойчиво излучать, находясь на главной последовательности всего лишь несколько миллионов лет. В то же время звезды с массой, близкой к массе Солнца, находятся на главной последовательности несколько миллиардов лет — в тысячи раз дольше.

Превращение, «выгорание» водорода в гелий при термоядерной реакции происходит в центральных областях звезды, в условиях высоких температур и давлений, в соответствии с уравнением



При такой термоядерной реакции из 4 ядер водорода образуется одно ядро гелия, два нейтрино  $\nu$  и два позитрона  $e^+$ . И, что самое важное для нас, выделяется энергия 26 МэВ (миллионов электрон-вольт). Среднее время реакции при температурах порядка 13 милн. К и плотности водорода  $100 \text{ г/см}^3$  около  $10^{10}$  лет (в центре Солнца), но есть вероятность слияния данных четырех ядер водорода — величина, обратная этому времени — ничтожно мала. Однако таких ядер огромное число, и в условиях центра звезды возможна эффективная реакция термоядерного синтеза указанного типа. В земных условиях в термоядерной бомбе, при разработке устройств управляемого термоядерного синтеза реализуются реакции синтеза других ядер (дейтерия, трития, их комбинаций с литием).

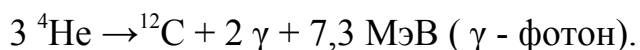
В наружных областях звезды водород не «выгорает» из-за низких значений температуры и давления. Так как количество водорода в центральных областях звезды ограничено, рано или поздно (в зависимости от массы звезды) он практически весь «выгорит». При этом процессе масса и радиус центральной области звезды уменьшаются, а звезда перемещается на диаграмме «спектр-светимость» вправо.

Что же произойдет со звездой, когда весь (или почти весь) водород в ее центральных областях «выгорит»? Температура в центральных областях уменьшается, а также давление ионизированного газа, противодействующее силам гравитационного сжатия. Ясно, что звезда сжимается, давление в ее центре растет. При сжатии температура центральных областей увеличивается.

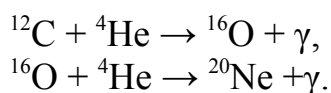
Значит, звезда представляет собой саморегулирующуюся систему. При этом в центральной области звезды будет уже не только водород, но и гелий (в который превратился водород при термоядерной реакции). Расчеты показывают, что термоядерная реакция будет протекать на периферии ядра, в области, достаточно насыщенной водородом. При этом размеры звезды и ее светимость начнут расти. Звезда сходит с главной последовательности, переходя в область «красных гигантов»: при сжатии ядра ее оболочка раздувается, и, несмотря на рост температуры, светимость звезды падает.

Солнце перейдет в разряд «красных гигантов» примерно через 8 миллиардов лет.

После того как вследствие термоядерной реакции температура ядра «красного гиганта» достигнет 100-150 миллионов кельвин, а его плотность будет достаточно велика, в ядре начнется новая термоядерная реакция:



После начала этой ядерной реакции звезда перемещается влево по диаграмме «спектр-светимость», растет температура, размер остается примерно постоянным. Далее возможны реакции



В этом состоит механизм нуклеосинтеза, образования тяжелых элементов из легких.

Что произойдет, когда реакция «гелий-углерод» исчерпает себя, выгорит весь гелий, а также прекратится ядерная реакция «водород-гелий» в тонкой оболочке ядра?

Оказывается, что на этом этапе эволюции звезды с массами до 1,4 масс Солнца «сбрасывают» наружную разреженную оболочку. Через несколько десятков тысяч лет — мгновение в космических масштабах — оболочка рассеивается и остается небольшая очень горячая и плотная звезда. Медленно остывая, она превращается в «белого карлика» («белый» — то есть очень горячий).

Белые карлики как бы «вызревают» в недрах «красных гигантов». «Белые карлики», в которых весь водород выгорел, и ядерные реакции прекратились, представляют собой, видимо, последний этап эволюции звезды. Постепенно остывая, они излучают все меньше и меньше энергии, светимость падает, гравитационные силы сжимают вещество. Белые карлики постепенно переходят в разряд «черных карликов» — холодных звезд огромной плотности и небольшого размера (порядка земного при массе порядка солнечной). Этот процесс длится сотни миллионов лет. Так прекращает свое существование

большинство звезд. Однако финал жизни звезд, массы которых превышают солнечную, может быть иным.

Некоторые звезды на определенном этапе своей эволюции взрываются. В этих случаях говорят о вспышке «сверхновой». От «сверхновых» следует отличать обычные «новые» звезды.

Вспыхивают новые звезды достаточно часто — в Галактике до 100 в год. Новые звезды — это тесные двойные системы, и присутствие соседки мешает нормальной эволюции звезды, в частности — переходу ее в стадию «красного гиганта». Возникающая неустойчивость ведет к периодически повторяющимся вспышкам. Светимость в этот период резко возрастает, но она в тысячи раз меньше, чем у сверхновых.

В отличие от вспышек новых звезд, вспышка сверхновой — весьма редкое явление. В больших звездных системах, подобных нашей Галактике, вспышки сверхновых происходят в среднем раз в сто лет.

Существует несколько гипотез о причине взрывов звезд, наблюдаемых как сверхновые. Единой точки зрения нет. Возможный вариант — катастрофически быстрое выделение потенциальной энергии гравитационных сил при резком сокращении размеров ядра.

Если звезды с массой меньше 1,4 массы Солнца могут преодолеть этап эволюции от протозвезды к «красному гиганту» и «белому карлику», то звезды, у которых масса составляет от 1,4 до 2,5 масс Солнца, не могут перейти в устойчивое состояние белого карлика. После сброса оболочки они катастрофически быстро сжимаются до размеров порядка 10 км. При этом скорость вращения должна резко возрасти (вспомните фигуриста, прижимающего руки к телу во время вращения!). Теоретические расчеты показывают, что такие звезды состоят из вещества плотностью до  $10^{15}$  г/см<sup>3</sup>. Это уже «плотно упакованные» нейтроны, образующие нейтронные звезды.

Первоначальная температура поверхности нейтронной звезды — сотни миллионов градусов (до миллиарда). Однако звезда быстро остывает. Даже в случае высокой температуры поверхности нейтронная звезда является очень сложным объектом для наблюдения из-за малых размеров, и пытаться обнаружить нейтронные звезды по тепловому и электромагнитному излучению бесполезно.

Если в ядре звезды «выгорел» весь водород, то давление газа в ядре не может уравновесить гравитационные силы при массе звезды, превышающей некоторый предел (по разным оценкам — от 2,5 до 10 масс Солнца).

Что может произойти с такой звездой? Она начнет сжиматься с огромной скоростью, плотность вещества начнет резко расти. Через весьма короткое время (секунды!) звезда может превратиться в сверхплотную точку, будет раздавлена своей собственной массой — гравитационный коллапс.

Возможно ли такое сжатие звезды?

Вспомним о так называемой второй космической скорости. Это скорость, которую должно иметь тело, чтобы покинуть поверхность планеты или звезды и выйти на параболическую траекторию. Для Земли вторая космическая скорость — 11,18 км/с, для Солнца — 700 км/с. Если наше Солнце сожмется до радиуса 3 км, то вторая космическая скорость станет равной скорости света — 300 000 км/с. Тут вступают в действие законы общей теории относительности.

Замедляется течение времени, из такого объекта не может выйти никаких излучений и частиц. То есть этот объект для внешнего мира будет замечен только по очень сильному гравитационному полю. Такой объект называют «гравитационной могилой» или «черной дырой».

Именно с черными дырами связаны гипотетические модели многосвязных Вселенных, гипотезы о том, что черные дыры — входы в другие миры. Возможно, что ядро нашей Галактики — черная дыра.

Есть ли способ обнаружения черной дыры? Ведь ее невозможно увидеть. Зато возможно, наблюдая за движением звезд, выявить (по «смещению» спектра излучения) направления и величины их скоростей. Сегодня известно несколько точек во Вселенной, к которым сходятся вектора скоростей окружающих звезд. Возможно, в этих точках находятся черные дыры.

Отметим, что одиночная звезда не может накопить массу, превышающую 100 солнечных масс. При таких массах звезды радиационное давление изнутри звезды приведет к взрыву. Непосредственными наблюдениями звезды с массами более 75 масс Солнца не обнаружены. Звезды с массами более чем 25 масс Солнца неустойчивы и теряют газ под действием радиационного давления или при взрывных процессах.

В 1963 г. были обнаружены объекты еще одного типа, квазары» (англ. quasar, *quasi-stellar radio source*, квазизвездный источник радиоизлучения). Эти объекты имеют звездообразный вид, являются источниками мощного радиоизлучения и удаляются от нашей Галактики со скоростями до 200 тыс. км/с. Они находятся на периферии Вселенной, дальше самых удаленных галактик. И то, что мы их видим, говорит о том, что их светимости превосходят светимости не просто звезд, а целых галактик. В то же время размеры квазаров в миллионы раз меньше размеров галактик. И если происхождение пульсаров было достаточно быстро понято, то природа квазаров до сегодняшнего дня неясна.

## 6.2 Солнце – самая дорогая нам звезда

Солнцу обязана своим существованием жизнь на Земле. Все земные источники энергии (кроме ядерного распада, термоядерного синтеза и тепла недр) имеют в своей основе солнечную энергию. Солнце — желтый карлик класса G2. Сравнительное изучение Солнца и звезд солнечного типа показало, что Солнце уникально. Не обнаружено ни одной звезды, основные физические характеристики которой полностью бы совпадали с параметрами Солнца.



Спиральные рукава галактики и современное положение Солнечной системы между рукавами Стрельца и Персея. Солнце движется по так называемой траектории коротации (англ. corotation, совращение). Это особая траектория радиусом около 8000 пс, в узкой окрестности которой (не более  $10^\circ$  радиуса) отсутствует активное звездообразование, мала вероятность вспышек сверхновых звезд. На этой траектории скорость движения звезды (300 км/с) близка к скорости движения межзвездного вещества.

Возраст Земли (около 5 миллиардов лет) меньше времени нахождения Солнца между рукавами. Один галактический год — время полного оборота Солнца вокруг центра Галактики — близок к 250 миллионам лет.

Оценить *массу Солнца* достаточно просто. Так как нам известны расстояние до Солнца и время полного оборота Земли вокруг Солнца, мы можем рассчитать скорость, с которой Земля движется по орбите (около 30 км/с). То есть оценить ускорение, с которым Земля движется к Солнцу (в простейшем случае полагая орбиту окружностью). Тогда из второго закона Ньютона и выражения для закона всемирного тяготения можно получить значение массы Солнца.

*Радиус Солнца* измерить так же просто. Для этого надо просто измерить угол, под которым Солнце видно с Земли ( $0,5^\circ$ ). Так, как расстояние до Солнца известно, то весьма просто рассчитать радиус — 696 000 км.

Если считать Солнце шаром, то средняя *плотность* солнечного вещества составляет  $1,4 \text{ г/см}^3$ . Солнце содержит 71 % водорода, 27 % гелия и 2 % иных химических элементов.

*Температура поверхности Солнца* может быть оценена из зависимости интенсивности излучения от его длины волны. Максимум излучения приходится на длину волны 500 нм (желто-оранжевая часть видимого спектра). Температура поверхности в среднем не более 6000 К.

Мы знаем количество энергии, падающей на 1 квадратный метр поверхности Земли за 1 секунду (эта характеристика называется *освещенностью*). Освещенность, создаваемая Солнцем на поверхности Земли, *солнечная постоянная*,  $E_0 = 1370 \text{ Вт/м}^2$ . Тогда легко узнать полную мощность Солнца. Действительно, если 1 квадратный метр поверхности, находящейся на расстоянии  $R = 150$  миллионов км от Солнца, получает в секунду энергию  $E_0$ , то на всю поверхность сферы радиуса  $R$  за 1 секунду падает энергия

$$E = E_0 \cdot 4\pi R^2$$

Светимость Солнца  $E = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ . На долю Земли приходится менее  $10^9$  этой энергии. Каждый квадратный метр поверхности Солнца в энергетическом отношении можно сравнить с электростанцией мощностью 0,1 МВт.

Все указанные характеристики получены из наблюдений и относятся к поверхности Солнца.

Но как оценить состояние внутренних областей Солнца? За счет чего энергия, выделяемая при термоядерной реакции в ядре Солнца, передается наружу?

Грубые оценки показывают, что на расстоянии, отстоящем от поверхности на половину радиуса, температура составляет 10 миллионов Кельвинов, а давление превышает 500 миллионов атмосфер.

Ранее полагали, что Солнце находится в состоянии конвективного перемешивания (конвекция — процесс, при котором происходит перенос теплоты потоками вещества, интенсивность конвекции зависит от разности температур между слоями, теплопроводности и вязкости среды): горячие потоки ионизированного газа поднимаются к поверхности звезды, а холодные опускаются к ее горячему ядру. Однако оказалось, что этот процесс не способен обеспечить наблюдаемую мощность излучения Солнца. Только в самых



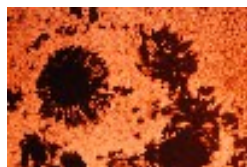
верхних слоях атмосферы Солнца конвективные потоки играют, видимо, какую-то роль.

Перенос энергии от нагретых внутренних областей Солнца наружу происходит преимущественно за счет излучения. Нагретый слой передает энергию лежащему выше более холодному слою. Тот поглощает ее и вновь излучает при чуть более низкой температуре. И так слой за слоем.

Поскольку Солнце — довольно старая звезда и перемешивание вещества в нем происходит достаточно медленно (нет конвективного ядра), то водорода в его центральной части, по-видимому, меньше (примерно на 50 %), чем в наружных областях. Температура в центре близка к 15 миллионам кельвин, а плотность вещества достигает  $130 \text{ г/см}^3$ . Около поверхности Солнца есть конвективная зона, занимающая около 15 % радиуса. Именно в этой области энергия переносится не излучением, а интенсивным перемешиванием всплывающих и опускающихся масс ионизированного газа.

При наблюдении за Солнцем обнаружено, что поверхность имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоев. Самый нижний, доступный для наблюдений и содержащий достаточно плотный газ — *фотосфера*. Фотосфера простирается примерно на 300-500 км выше наблюдаемого края Солнца. Газы фотосферы сливаются с газами *хромосферы*, нижняя хромосфера простирается до высоты порядка 4000 км. Здесь начинается верхняя хромосфера и *корона*. Фотосферу, хромосферу и особенно корону достаточно просто наблюдать при солнечных затмениях.

*Солнечная активность* связана с множеством явлений, наблюдаемых на поверхности Солнца. Это и солнечные пятна, и хромосферные вспышки, и выбросы вещества — протуберанцы.



С 1750 г. ведутся систематические наблюдения за группами темных образований на поверхности Солнца, *пятнами*. Солнечные пятна кажутся темными, так как их температура меньше температуры фотосферы. Число и распределение пятен изменяются приблизительно периодически. Пятна появляются обязательно парами, имеют разные размеры и длительность существования. Типичный диаметр пятна около 2000 км, а время жизни — порядка суток. Однако наблюдали и пятна, живущие до 70 суток и превращающиеся в области, размером превосходящие Землю.

Причина образования солнечных пятен — конвекция и магнитное поле Солнца. Можно предположить, что под поверхностными слоями Солнца существует неоднородное магнитное поле, мешающее нормальному конвективному теплообмену между поверхностью и нижними слоями фотосферы. В результате в пятне температура падает, оно становится темным. Из-за магнитного поля пятна являются источниками заряженных частиц, выбрасываемых на далекое расстояние от Солнца, — так называемого солнечного ветра.

Наблюдения за солнечными пятнами позволили оценить период вращения Солнца. Группа пятен существует относительно долго. Поэтому, наблюдая за ее перемещением по диску Солнца, можно оценить период его вращения. На экваторе период вращения равен 24,96 суток, а на широте  $35^\circ$  — 26,83 суток.

Вращение совершается в том же направлении, что и орбитальное движение, и вращение вокруг осей планет (за исключением Урана).

Часто рядом с солнечными пятнами возникают ослепительно белые вспышки (не более часа), видимые невооруженным глазом, — *хромосферные вспышки*. Наблюдения показывают, что при вспышке область, излучающая энергию, выбрасывается с поверхности фотосферы со скоростью до 700 км/с и достигает высот до 60 000 км. Хромосферные вспышки оказывают влияние на ионосферу и магнитное поле Земли.



Над краем Солнца всегда можно наблюдать выбросы раскаленной разреженной плазмы — протуберанцы. Температура протуберанца при увеличении расстояния от Солнца падает, то есть уменьшается и его светимость. Тем не менее, известны наблюдения протуберанцев до расстояний порядка 1 500 000 км над фотосферой. Облака ионизированных разреженных газов, движущихся под давлением солнечного излучения, приводят к возмущениям магнитного поля Земли, полярным сияниям. Выброс длится несколько минут, свет от него достигает Земли через 8 минут, потоки ионизированных частиц за 1-2 суток.

Бывают периоды, когда вспышки следуют одна за другой: периоды повышенной солнечной активности.

Мерой активности Солнца можно считать количество вспышек за месяц или год. Удобнее измерять активность Солнца по числу солнечных пятен ( $f$ ) и числу групп пятен ( $g$ ), наблюдающихся в данный момент на Солнце. Комбинация этих чисел

$$W = f + 10g$$

носит название числа Вольфа (по имени швейцарского астронома, предложившего такую меру в середине XIX в.)

Числа Вольфа подсчитывают ежедневно, затем усредняют за месяц или год

Длительные наблюдения за пятнами позволили выявить два цикла максимальной активности Солнца — 11-летний и, вероятно, 90-летний. Амплитуда 11-летнего цикла меняется от цикла к циклу: 3-4 сильных максимума, затем примерно столько же слабых. В течение XX в. период цикла был ближе к 10 годам. На протяжении 70 лет, с 1645 по 1715 г., солнечных пятен практически не наблюдали. Подобный продолжительный минимум был, по видимому, в XV в. Отметим, что однозначного объяснения этим эффектам сегодня нет.

*Солнечно-земные связи.* Почти все виды энергии, используемой человеком, можно свести к солнечной энергии. Пища, по существу, является солнечным светом, собранным, накопленным и преобразованным в углеводы посредством фотосинтеза в листьях зеленых растений. Уголь, нефть, газ — солнечный свет, накопленный и законсервированный миллионы лет тому назад. Энергия воды и ветра — результат действия солнечного излучения на атмосферу и гидросферу.

При изменении активности Солнца солнечная постоянная на орбите Земли не испытывает изменений, превышающих, вероятно, 1 %. В то же время есть данные о заметном (до 6 %) изменении прозрачности атмосферы в ходе



солнечного одиннадцатилетнего цикла. Эти явления могут быть связаны с изменением плотности потока космических частиц.

При этом возрастает доля ультрафиолетового излучения в общем потоке излучения. Ионизация верхних слоев атмосферы связана с интенсивностью ультрафиолетового излучения. Поэтому можно ожидать, что именно увеличение количества ультрафиолета в излучении Солнца вызывает изменения свойств ионосферы.

Действие солнечных пятен и других солнечных явлений на Землю является по своему характеру электрическим или магнитным и достоверно определено. На Земле наблюдаются замирание радиоволн, всплески шумового радиоизлучения, магнитные бури, полярные сияния и т. п.

Известен ряд явлений, связанных с изменениями погоды, скоростью роста растений и животных, самочувствием человека и имеющих косвенное отношение к циклу солнечных пятен.

Ясно, что погода в широком смысле этого слова связана с Солнцем и вращением Земли вокруг оси. Однако проследить за изменениями погоды в связи с изменениями солнечной активности чрезвычайно трудно — дополнительные влияния так переплетаются между собой, что однозначных выводов сделать нельзя.

Это утверждение применимо и к попыткам связать рост растений и животных с солнечным циклом. Известно явление изменения ширины древесных колец. При исследовании тысяч деревьев, главным образом в юго-западных штатах США, Дуглас обнаружил чередование узких и широких колец, указывающих на замедленный или ускоренный рост деревьев. Позже было показано, что в любом районе Земли система расположения колец одинакова. Поэтому удалось сопоставить данные для молодых и старых деревьев, а также для ископаемых древесных останков. В итоге — продолжить древесный календарь на 3000 лет назад. На основе этого обильного материала получены четко выраженные циклы роста — 7, 11 лет и 23 года. В 1878г. было замечено, что количество и качество производимого в Германии вина таинственным образом связано с пятнами на Солнце.

Выдающийся русский ученый А. Л. Чижевский в 1924 г. опубликовал итоги статистического анализа истории более чем 50 государств и народов всех континентов с 500 г. до н. э. до 1914 г. Исследование выявило циклические колебания числа массовых событий со средним периодом 11 лет. Чижевский однозначно связывал эти циклы с циклами солнечной активности, объясняя ростом интенсивности психической деятельности людей, степени их возбудимости, агрессивности, готовности следовать за вождями.

Вряд ли можно столь прямолинейно объяснять исторический процесс активностью Солнца. Это было бы упрощением. Слишком сложны экономические и социально-политические факторы, роль которых постоянно нарастает и реализуется через динамику цивилизаций. Да и на одиннадцатилетние циклы накладываются циклы большей длительности. Корреляции между социальными потрясениями и солнечным циклом, скорее всего, случайны.

*Озоновый слой и Солнце.* Проблема «озоновой дыры» — уменьшения концентрации озона  $O_3$  в атмосфере — является одной из наиболее обсуждаемых сегодня. Озон верхних слоев атмосферы поглощает большую часть ультрафиолетовой части солнечной радиации. Основная масса озона сосредоточена на высотах от 20 до 30 км. Общее количество озона в атмосфере мало, при нормальном давлении и температуре  $0^\circ C$  он распределился бы по земной поверхности слоем 2-3 мм. Наблюдения за озоновым слоем началось не более 30 лет назад.

Как показали измерения, содержание озона в атмосфере зависит от времени года и от широты местности. Самое низкое содержание озона в экваториальном слое, от  $28^\circ$  северной широты до  $28^\circ$  южной широты (почти половина поверхности земного шара). В поясе умеренных широт ( $35-70^\circ$  северной широты), количество озона самое большое. Сезонные колебания совпадают с сезонными колебаниями солнечной энергии. В арктическом поясе озона сравнительно мало. Тщательными измерениями показано, что содержание озона в атмосфере тесно связано с солнечной активностью. В поясе умеренных широт в годы максимальной активности Солнца содержание озона повышается. В тропических областях в годы активного Солнца количество озона уменьшается по сравнению со спокойными годами.

Влияет ли Солнце на живые организмы? Безусловно. Искажают ли потоки заряженных частиц магнитное поле Земли? Конечно (лекция 13). Но можем ли мы предсказывать на несколько дней или даже месяцев возмущения магнитного поля Земли, особенности атмосферного давления и т. п.? Вряд ли. Ведь солнечные вспышки — явление случайное, их невозможно предсказать (хотя можно оценить вероятность их появления). «Эффективность» газетных предсказаний имеет, скорее, психологическую природу.

## **7 Солнечная система**

О механизмах образования планет, в частности в Солнечной системе, нет общепризнанных заключений. По современным представлениям Солнечная система зародилась из газопылевого облака примерно 5млрд. лет назад, причем Солнце - звезда второго поколения. Так что Солнечная система возникла из продуктов жизнедеятельности звезд предыдущих поколений, скапливающихся в газопылевых облаках.

По современным представлениям Солнечная система зародилась из газопылевого облака. Это облако было холодным и бесформенным. Под действием гравитационных сил облако мало-помалу должно было закручиваться и сплющиваться. В его центральной части конденсировался сгусток материи - будущее Солнце. Уплотняющийся сгусток рос, приобретал форму шара и, в конце концов "вспыхнул" - его стали разогревать термоядерные реакции с выделением огромного количества света и тепла. Летучие вещества вблизи от Солнца испарялись и отбрасывались в самую плотную и толстую - среднюю часть облака. Частицы облака, кружась вокруг пылающей звезды-Солнца, сталкивались и сцеплялись. Так появились "зародыши" планет. Вблизи от Солнца росли планеты небольшие и плотные, а в средней части огромные и менее плотные.

Наличие у звезд газопылевых оболочек подтверждается наблюдениями. Есть основания полагать, что большинство звезд класса F еще не достигнувших главной последовательности, имеют такие оболочки. Наблюдать такие оболочки достаточно сложно.

Солнечная система представляет собой группу небесных тел, весьма различных по размерам и физическому строению. В эту группу входят: Солнце, восемь планет, десятки спутников планет, тысячи малых планет (астероидов), сотни комет, бесчисленное множество метеоритных тел, межпланетного газа и пыли (рисунок 7).

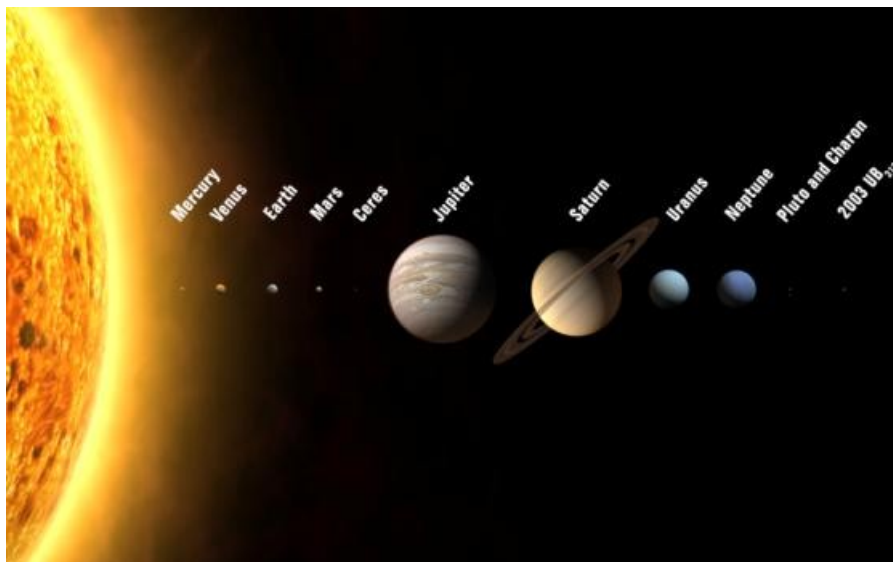


Рисунок 7- Восемь классических планет и три новые карликовые планеты: Церера, Харон и 2003UB313.

Планеты Солнечной системы подразделены на две группы:

- планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс;
- планеты- гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

**Планета** – астрономическое тело, которое имеет достаточную массу, что бы при своем формировании принять круглую форму в гидростатическом равновесии и тело которое вращается вокруг звезды и не является спутником другой планеты. Согласно новому определению планетой считается тело, удовлетворяющее двум условиям: объект должен быть на орбите вокруг звезды (при этом не являться звездой компаньонкой) и должен быть достаточно большой массы, что бы во время формирования принять сферическую форму.

**"Карликовая планета"** – небесное тело, которое обращается вокруг Солнца, имеет достаточную массу, для того, чтобы самогравитация превосходила твердотельные силы и тело могло принять гидростатически равновесную (близкую к сферической) форму, не очищает окрестности своей орбиты и не является спутником планеты.

Все остальные объекты, обращающиеся вокруг Солнца, охватываются понятием «Малые тела Солнечной системы».

Различие планет по физическим свойствам обусловлено тем, что земная группа формировалась ближе к Солнцу, а планеты-гиганты на очень холодной периферии Солнечной системы.

Планеты земной группы сравнительно малы и имеют большую плотность. Планеты данной группы имеют твердые оболочки, в которых сосредоточена почти вся их масса. Венера, Земля, Марс обладают атмосферами. Меркурий практически лишен атмосферы.

Планеты земной группы резко отличаются по элементному составу от Солнца и совершенно не отвечают средней космической распространенности элементов - очень мало водорода, инертных газов, включая гелий.

Планета - гиганты обладают иным химическим составом. Юпитер и Сатурн содержат водород и гелий в той же пропорции, что и Солнце. Вероятно, другие элементы также содержатся в пропорциях соответствующих солнечному составу. В недрах Урана и Нептуна, по-видимому, больше тяжелых элементов.

Недра Юпитера находятся в жидком состоянии, за исключением небольшого ядра, которое представляет собой результат металлизации жидкого водорода. Температура в центре Юпитера около 30000К. Химический и изотопный состав Юпитера отражает, по-видимому, состав межзвездной среды, какой она была 5 млрд. лет назад. Вместе с тем Юпитер никогда не был настолько горяч, чтобы в нем могли протекать термоядерные реакции. Сатурн по внутреннему строению похож на Юпитер. Строение недр Урана и Нептуна иное: доля каменных материалов в них существенно больше.

Основными источниками энергии в недрах планет являются радиоактивный распад элементов и выделение гравитационной потенциальной энергии при аккреции и дифференциации вещества, его постепенном перераспределении по глубине в соответствии с плотностью - тяжелые фрагменты тонут, легкие всплывают. Такие процессы вызывают перемещение отдельных участков земной коры, деформацию, горообразование, тектонические и вулканические процессы.

Причина вулканических процессов в следующем. В верхней мантии существуют небольшие области, где температура достаточна для плавления ее вещества. Расплавленное вещество (магма), выдавливающееся вверх, прорывается через кору, и происходит вулканическое извержение. Судя по характеру поверхности, среди планет земной группы тектонически наиболее активна Земля, за ней следует Венера и Марс. При этом важно, что выделяемая Землей тепловая энергия не приводила ее в полностью расплавленное состояние.

Поверхность планет и их спутников формируют кроме эндогенных (тектонических, вулканических) процессов и экзогенные - падение метеорных тел (кратеры), эрозия под действием ветра, осадков воды, ледников, химическое взаимодействие поверхности с атмосферой и гидросферой и др. Эндогенные и экзогенные процессы определяют рельеф поверхности планет.

Помимо планет к солнечной системе принадлежат также и кометы - небесные тела, периодически появляющиеся вблизи планет солнечной системы. Общее предполагаемое число комет в Солнечной системе - около 2,5 млн., наблюдалось около 600 комет (многократно приближающихся к Солнцу - 325). В течение года можно наблюдать 7-10 комет.

**Кометы** - тела Солнечной системы, имеющие вид туманных объектов, обычно со светлым сгустком-ядром в центре и хвостом

Кометы, небольшое небесное тело, движущееся в межпланетном пространстве и обильно выделяющее газ при сближении с Солнцем. С кометами связаны разнообразные физические процессы, от сублимации (сухое испарение) льда до плазменных явлений. Кометы – это остатки формирования Солнечной системы, переходная ступень к межзвездному веществу. Наблюдение комет и даже их открытие нередко осуществляются любителями астрономии. Иногда кометы бывают столь яркими, что привлекают всеобщее внимание. В прошлом появление ярких комет вызывало у людей страх и служило источником вдохновения для художников и карикатуристов.

Они, как и планеты, подчиняются законам тяготения, но движутся своеобразно. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении (которое называют «прямым» в отличие от «обратного») по почти круговым орбитам, лежащим примерно в одной плоскости (эклиптики). Кометы движутся как в прямом, так и обратном направлениях по сильно вытянутым (эксцентричным) орбитам, наклоненным под различными углами к эклиптике. Именно характер движения сразу выдает комету.

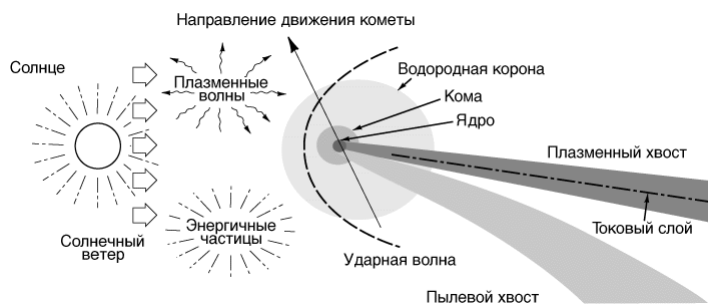
Долгопериодические кометы (с орбитальным периодом более 200 лет) прилетают из областей, расположенных в тысячи раз дальше, чем самые удаленные планеты, причем их орбиты бывают наклонены под всевозможными углами. Короткопериодические кометы (период менее 200 лет) приходят из района внешних планет, двигаясь в прямом направлении по орбитам, лежащим недалеко от эклиптики. Вдали от Солнца кометы обычно не имеют «хвостов», но иногда имеют еле видимую «кому», окружающую «ядро»; вместе их называют «головой» кометы. С приближением к Солнцу голова увеличивается и появляется хвост.

В центре комы располагается ядро – твердое тело или конгломерат тел диаметром в несколько километров. Практически вся масса кометы сосредоточена в ее ядре; эта масса в миллиарды раз меньше земной. Согласно модели Ф. Уиппла, ядро кометы состоит из смеси различных льдов, в основном водяного льда с примесью замерзших углекислоты, аммиака и пыли. Эту модель подтверждают как астрономические наблюдения, так и прямые измерения с космических аппаратов вблизи ядер комет Галлея и Джакобини – Циннера в 1985–1986.

Когда комета приближается к Солнцу, ее ядро нагревается, и льды сублимируются, т.е. испаряются без плавления. Образовавшийся газ разлетается во все стороны от ядра, унося с собой пылинки и создавая кому. Разрушающиеся под действием солнечного света молекулы воды образуют вокруг ядра кометы огромную водородную корону. Помимо солнечного притяжения на разреженное вещество кометы действуют и отталкивающие силы, благодаря которым образуется хвост. На нейтральные молекулы, атомы и пылинки действует давление солнечного света, а на ионизированные молекулы и атомы сильнее влияет давление солнечного ветра.

Поведение частиц, формирующих хвост, стало значительно понятнее после прямого исследования комет в 1985–1986гг. Плазменный хвост, состоящий из заряженных частиц, имеет сложную магнитную структуру с двумя областями

различной полярности. На обращенной к Солнцу стороне комы формируется лобовая ударная волна, проявляющая высокую плазменную активность.



Хотя в хвосте и коме заключено менее одной миллионной доли массы кометы, 99,9 % света исходит именно из этих газовых образований, и только 0,1 % – от ядра. Дело в том, что ядро очень компактно и к тому же имеет низкий коэффициент отражения (альбедо).

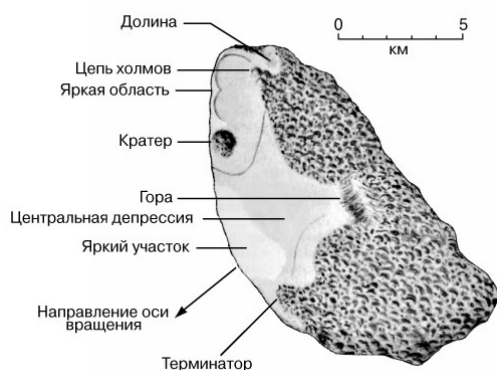
Потерянные кометой частицы движутся по своим орбитам и, попадая в атмосферы планет, становятся причиной возникновения метеоров («падающих звезд»). Большинство наблюдаемых нами метеоров связано именно с кометными частицами. Иногда разрушение комет носит катастрофический характер. Открытая в 1826 комета Биелы в 1845 на глазах у наблюдателей разделилась на две части. Когда в 1852 эту комету видели в последний раз, куски ее ядра удалились друг от друга на миллионы километров. Деление ядра обычно предвещает полный распад кометы. В 1872 и 1885, когда комета Биелы, если бы с нею ничего не случилось, должна была пересекать орбиту Земли, наблюдались необычайно обильные метеорные дожди.

Иногда кометы разрушаются при сближении с планетами. 24 марта 1993 на обсерватории Маунт-Паломар в Калифорнии астрономы К. и Ю. Шумейкеры совместно с Д.Леви открыли недалеко от Юпитера комету с уже разрушенным ядром. Вычисления показали, что 9 июля 1992 комета Шумейкеров – Леви-9 (это уже девятая открытая ими комета) прошла вблизи Юпитера на расстоянии половины радиуса планеты от ее поверхности и была разорвана его притяжением более чем на 20 частей. До разрушения радиус ее ядра составлял около 20км. Растянувшись в цепочку, осколки кометы удалились от Юпитера по вытянутой орбите, а затем в июле 1994 вновь приблизились к нему и столкнулись с облачной поверхностью Юпитера.

Ядра комет – это остатки первичного вещества Солнечной системы, составлявшего протопланетный диск. Поэтому их изучение помогает восстановить картину формирования планет, включая Землю. В принципе некоторые кометы могли бы приходить к нам из межзвездного пространства, но пока ни одна такая комета надежно не выявлена.

**Комета Галлея.** Это самая знаменитая из всех комет. Она наблюдалась 30 раз с 239 до н.э. Названа в честь Э.Галлея, который после появления кометы в 1682 рассчитал ее орбиту и предсказал ее возвращение в 1758. Орбитальный период кометы Галлея – 76 лет; последний раз она появилась в 1986 и в следующий раз будет наблюдаться в 2061. В 1986 ее изучали с близкого расстояния 5 межпланетных зондов – два японских («Сакигакэ» и «Суйсей»), два советских («Вега-1» и «Вега-2») и один европейский («Джотто»).

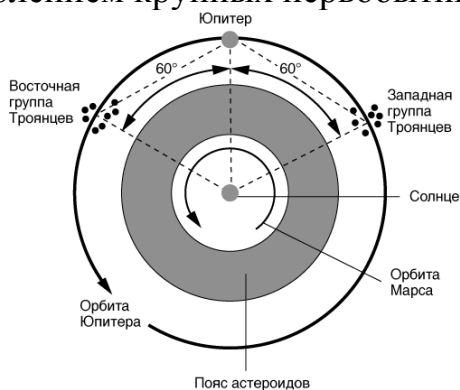
Оказалось, что ядро кометы имеет картофелеобразную форму длиной ок. 15 км и шириной ок. 8 км, а его поверхность «чернее угля». Возможно, оно покрыто слоем органических соединений, например полимеризованного формальдегида. Количество пыли вблизи ядра оказалось значительно выше ожидаемого.



**Астероид**, или малая планета, сравнительно небольшое каменистое небесное тело, множество которых обращается вокруг Солнца в основном между орбитами Марса и Юпитера; иногда они заходят и внутрь орбиты Земли. Астероиды и кометы – это остатки того вещества, из которого 4,5 млрд. лет назад сформировались большие планеты.

Первый астероид, Церера, был обнаружен в 1801; с тех пор их постоянно ищут, и регулярно открывают новые; в конце 20 в. число астероидов с известными орбитами приблизилось к 10 000.

Подавляющая часть астероидов населяет пояс астероидов, лежащий за орбитой Марса и образующий тор, плотность которого спадает за расстоянием от Солнца 3,2 астрономической единицы (а.е.), на котором орбитальный период вдвое меньше периода Юпитера. На некоторых расстояниях, где орбитальный период находится в простом отношении с периодом Юпитера, астероидов тоже почти нет: их движение там неустойчиво из-за регулярных возмущений, вызываемых Юпитером. Эти области называют окнами или люками Кирквуда. Обычно орбиты астероидов умеренно вытянуты и наклонены к плоскости эклиптики. По схожести орбит большинство астероидов распадается на две дюжины семейств, происхождение которых, вероятно, связано с соударением и дроблением крупных первобытных астероидов.



За пределом 3,2 а.е. астероиды также встречаются. Некоторые из них входят в группу Троянцев и движутся точно по орбите Юпитера двумя «стаями» – одна на 60° впереди по движению планеты, а другая на 60° позади. Точное количество этих астероидов неизвестно, поскольку они очень темны и

удалены от Земли и Солнца; пока открыты немногие из них. Мелкие астероиды удается заметить лишь вблизи Земли. Около 2000 из них размером более 1 км регулярно пересекают орбиту Земли. В прошлом им подобные наверняка соударялись с Землей. Подозревают, например, что падение на Землю 10-километрового астероида привело 65 млн. лет назад к катастрофе, закончившейся исчезновением более половины биологических видов, в том числе динозавров. Пролетающие мимо Земли астероиды являются обломками более крупных астероидов, населяющих основной пояс, либо ядрами комет после полного испарения льдов с их поверхности. Движение астероидов по траекториям, пересекающим орбиты планет, не может продолжаться долго: за время порядка 10–100 млн. лет они испытают сближение с планетой, в результате которого упадут на ее поверхность или на Солнце, либо будут выброшены на периферию Солнечной системы.

Поскольку астероиды очень малы и далеки от Земли, с помощью крупных телескопов удастся измерять лишь переменность отраженного ими солнечного света и его спектральные характеристики. Примерно у 2000 астероидов измерены оптические свойства поверхности и период вращения вокруг оси, оценены размер и форма. Крупнейший из астероидов Церера чуть менее 1000 км диаметром, несколько десятков имеют диаметр более 100 км, размеры остальных лежат в широком диапазоне, вероятно, вплоть до размеров метеоритов. В последнее время создаются автоматизированные телескопы для непрерывного поиска астероидов, которые позволят в начале 21 в. обнаружить все астероиды диаметром более 1 км.

## 7.1 Планета Земля



Земля - третья планета Солнечной системы. Подобно другим планетам она движется вокруг Солнца по эллиптической орбите. Расстояние от Земли до Солнца в разных точках орбиты неодинаковое. Среднее расстояние около 149,6 млн. км. В процессе движения нашей планеты вокруг Солнца плоскость земного экватора перемещается параллельно самой себе так, что в одних участках орбиты земной шар наклонен к Солнцу своим северным полушарием, а в других - южным.

Период обращения вокруг Солнца составляет 365,256 дней, при суточном вращении - 23 ч. 56 мин. Средняя плотность Земли  $5518 \text{ кг/м}^3$ . Масса -  $5,976 \cdot 10^{24}$  кг. Экваториальный радиус равен 6378 км. Ускорение свободного падения у поверхности планеты составляет  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

Согласно современным космологическим представлениям, Земля образовалась примерно 4,5 млрд. лет назад.

Большую часть поверхности Земли (до 71 %) занимает Мировой океан. Средняя глубина Мирового океана - 3900 м. Существование осадочных пород, возраст которых превосходит 3,5 млрд. лет, служит доказательством существования на Земле обширных водоемов уже в ту далекую пору. На современных континентах более распространены равнины, главным образом низменные, а горы - в особенности высокие - занимают незначительную часть



поверхности планеты, так же как и глубоководные впадины на дне океанов. Форма Земли, как известно близкая к шарообразной, при более детальных измерениях оказывается очень сложной, даже если обрисовать ее ровной поверхностью океана (не искаженной приливами, ветрами, течениями) и условным продолжением этой поверхности под континенты. Неровности поддерживаются неравномерным распределением массы в недрах Земли.

О внутреннем строении Земли, прежде всего, судят по особенностям прохождения сквозь различные слои Земли механических колебаний, возникающих при землетрясениях или взрывах. Ценные сведения дают также измерения величины теплового потока, выходящего из недр, результаты определений общей массы, момента инерции и полярного сжатия нашей планеты. Масса Земли найдена из экспериментальных измерений физической постоянной тяготения и ускорения силы тяжести. Для массы Земли получено значение 5,9671024 кг. На основе целого комплекса научных исследований была построена модель внутреннего строения Земли.

Одна из особенностей Земли - ее магнитное поле, благодаря которому мы можем пользоваться компасом. Магнитный полюс Земли, к которому притягивается северный конец стрелки компаса, не совпадает с Северным географическим полюсом. Под действием солнечного ветра магнитное поле Земли искажается и приобретает "шлейф" в направлении от Солнца, который простирается на сотни тысяч километров.

Исследования метеоритов показывают, что возраст как железных, так и каменных метеоритов совпадает и составляет примерно 4,5—4,6 млрд. лет.

Схожие данные получены и при исследовании лунных пород. Образцы этих пород были доставлены на Землю как с помощью космических станций «Луна», так и экипажами американских космических кораблей «Аполлон». Оказалось, что возраст самых древних лунных образцов совпадает с возрастом самой Луны и составляет 4—4,5 млрд. лет. Значит, первичная лунная кора возникла вскоре после образования Луны, и отдельные участки этой коры сохранились до сегодняшнего дня. Такое совпадение данных для разных тел Солнечной системы не может считаться случайным, поэтому делается вывод о возрасте нашей планеты, равном примерно 4,5 млрд. лет. К этому времени завершилось формирование. При этом считается, что ее геологическая история составляет около 4 млрд. лет, из них 0,6 млрд. лет — это ранняя история Земли.

Древнейший период в истории нашей планеты, составляющий 5/6 всей геологической истории Земли, называется *докембрийским*, или *криптозойским*. Он делится на *архей* (закончился 3,5 млрд. лет назад) и *протерозой* (до 600 млн. лет назад). Последние 600 млн. лет называются *фанерозоем* и делятся на три эры: палеозой (240 млн. лет), мезозой (163 млн. лет) и кайнозой (67 млн. лет). Эти эры, в свою очередь, подразделяются на более мелкие периоды.

### **Ранняя история развития Земли**

Ранняя история развития Земли включает три фазы эволюции:

- 1) фазу аккреции (рождения);
- 2) фазу расплавления внешней сферы земного шара;
- 3) фазу первичной коры (лунную фазу).

**Фаза аккреции** представляла собой непрерывное выпадение на растущую Землю все большего количества крупных тел, укрупняющихся в своем полете при соударениях между собой, а также в результате притяжения к ним более удаленных мелких частиц. Кроме того, на Землю падали и самые крупные объекты — планетезималии, достигавшие в поперечнике многих километров. В фазу аккреции Земля приобрела примерно 95 % современной массы. На это ушло около 17 млн. лет (правда, некоторые исследователи увеличивают этот срок до 400 млн. лет). При этом Земля оставалась холодным космическим телом, и только в конце этой фазы, когда началась предельно интенсивная бомбардировка ее крупными объектами, произошло сильное разогревание, а затем и полное расплавление вещества поверхности планеты.

**Фаза расплавления внешней сферы** земного шара наступила в промежутке 4—4,6 млрд. лет назад. В это время произошла общепланетарная химическая дифференциация вещества, которая привела к формированию центрального ядра Земли и обволакивающей его мантии. Позже образовалась земная кора.

В этой фазе поверхность Земли представляла собой океан тяжелой расплавленной массы с вырывающимися из него газами. В него продолжали стремительно падать мелкие и крупные космические тела, вызывая всплески тяжелой жидкости. Над раскаленным океаном нависало сплошь затянутое густыми тучами небо, с которого не могло упасть ни капли воды.

**Лунная фаза** — это время остывания расплавленного вещества поверхности Земли из-за излучения тепла в космос и ослабления метеоритной бомбардировки. Так образовалась первичная кора базальтового состава. Тогда же происходило образование гранитного слоя материковой коры. Правда, механизм этого процесса до сих пор неясен.

В лунную фазу шло постепенное остывание поверхности Земли от температуры плавления базальтов, составляющей 800—1000°C до 100°C. Когда температура опустилась ниже 100°C, из атмосферы выпала вся вода, покрывшая Землю. В результате сформировались поверхностные и грунтовые стоки, появились водоемы, в том числе и океан.

### **Геологическое развитие и строение Земли**

Результатом геологического развития Земли стало формирование самых верхних оболочек — атмосферы, гидросферы и литосферы. Это произошло в результате остывания поверхности Земли и привело к образованию первичной базальтовой или близкой к ней по составу коры Земли. Почти одновременно за счет конденсации водяных паров образовалась водная оболочка планеты — гидросфера.

**Образование и строение литосферы.** Земная кора образована горными породами, имеющими различные формы залегания. Породы лежат горизонтальными слоями или нарушены разломами и смяты складками. Залегание горных пород чаще всего обусловлено внутренними (эндогенными) силами. Строение земной коры, созданное эндогенными процессами, называется *тектоническим строением*, или *тектоникой*.

Современный рельеф планеты складывался на протяжении многих сотен миллионов лет и продолжает видоизменяться под влиянием совместного действия на ее поверхности тектонических, гидросферных, атмосферных и биологических процессов. Начало этому было положено около 3,5 млрд. лет назад, когда начали формироваться вулканические дуги. Формирование вулканических дуг происходило на первичной остаточной или вторичной коре, образованной при растяжении океанической коры над зонами подлезания (столкновения литосферных плит и подлезания их друг под друга с образованием вулканической дуги). В результате примерно 2,7—2,5 млрд. лет назад возникли значительные площади континентальной коры, которые, по-видимому, соединились в единый суперконтинент — первую Пангею в истории Земли. Толщина этой коры уже достигала современной толщины в 35—40 км. Ее нижняя часть под влиянием высоких давлений и температур испытывала значительные превращения, а на средних уровнях произошло выплавление больших масс гранита.

Следующий важный момент в развитии Земли имел место примерно 2,5 млрд. лет назад. Возникший на предыдущем этапе суперконтинент — первая Пангея — претерпел существенные изменения и 2,2 млрд. лет назад распался на отдельные, относительно небольшие континенты, разделенные бассейнами с новообразованной океанической корой. Отдельные следы этих этапов тектоники плит можно обнаружить и сейчас. Первый этап (до возникновения Пангеи) принято называть *эмбриональной тектоникой плит*, а второй — *тектоникой малых плит*. К концу второго периода, около 1,7 млрд. лет назад, континенты вновь слились в единый суперконтинент. Образовалась Пангея-II. Ее распад начался около 1 млрд. лет назад, хотя частичные разъединения и воссоединения могли иметь место и до этого.

В интервале 1—0,6 млрд. лет назад структурный план Земли претерпел радикальные изменения и существенно приблизился к современному. С этого момента началась *полномасштабная тектоника плит*. Она связана с тем, что литосфера Земли разделена на ограниченное число крупных (5 тыс. км) и средних (1 тыс. км) по размерам поперечника жестких и монолитных плит, которые расположены на более пластичной и вязкой оболочке — астеносфере. Литосферные плиты стали двигаться по астеносфере в горизонтальном направлении, образуя раздвижения и подлезания, которые в среднем компенсируют друг друга в масштабах планеты. Таким образом, в истории Земли как планеты неоднократно происходил процесс формирования и распада Пангеи. Длительность таких циклов составляет 500—600 млн. лет. На эту крупномасштабную периодичность накладывается периодичность меньших масштабов, связанная с растяжением и сжатием земной коры.

В результате тектонической активности рельеф земной поверхности сегодня характеризуется глобальной асимметрией двух полушарий (Северного и Южного): одно из них представляет собой гигантское пространство, заполненное водой. Это океаны, занимающие более 70 % всей поверхности. В другом полушарии сосредоточены поднятия коры, образующие континенты. Глобальная асимметрия в строении поверхности нашей планеты была замечена давно, что позволило планетарный рельеф

поделить на две основные области — океаническую и континентальную. Дно океанов и континенты отличаются друг от друга строением земной коры, химическим и петрографическим составом, а также историей геологического развития. Кора имеет повышенную мощность в области континентов и пониженную в областях океанического дна.

Средняя мощность континентальной коры — 35 км. Ее верхний слой богат гранитными породами, нижний — базальтовыми магмами. На дне океанов гранитный слой отсутствует, и земная кора состоит только из базальтового слоя. Ее мощность — 5—10 км. Кроме того, континентальная кора содержит больше радиоактивных элементов, генерирующих тепло, чем тонкая океаническая кора.

Земная кора, образующая верхнюю часть литосферы, в основном состоит из восьми химических элементов: кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия. Половина всей массы коры приходится на кислород, который содержится в ней в связанном состоянии, главным образом, в виде окислов металлов.

Земная кора сложена горными породами различного типа и различного происхождения. Более 70 % приходится на магматические породы, 20 % — на метаморфические, 9 % составляют осадочные породы.

Не следует забывать и о том, что поверхность Земли сложена из литосферных плит, число и положение которых менялось от эпохи к эпохе. Плита — это вся масса земной коры и подстилающей мантии, которые движутся как единое целое по поверхности Земли. Сегодня выделяют 8—9 больших плит и более 10 малых. Плиты медленно перемещаются горизонтально (глобальная тектоника плит). В районах рифтовых долин, где вещество мантии выносится наружу, плиты расходятся, а в местах, где горизонтальные смещения соседних плит оказываются встречными, они надвигаются друг на друга. Вдоль границ литосферных плит расположены зоны повышенной тектонической активности. При движении плит сминаются их края, образуя горные хребты или целые горные области. Океанические плиты, берущие свое начало в рифтовых разломах, наращивают толщину по мере приближения к континентам. Они уходят под островные дуги или континентальную плиту, увлекая за собой накопившиеся осадочные породы. Вещество погружающейся — плиты достигает в мантии глубин до 500—700 км, где оно начинает плавиться.

**Возникновение атмосферы и гидросферы.** Составные части атмосферы и гидросферы Земли являются летучими веществами, которые появились в результате ее химической дифференциации. Согласно имеющимся данным, пары воды и газы атмосферы возникли в недрах Земли и поступили на ее поверхность в результате внутреннего разогрева совместно с наиболее легкоплавкими веществами первичной мантии в процессе вулканической активности.

Вода и углекислый газ как компоненты газопылевого облака долго пребывали в виде молекул, когда большая часть твердых конденсатов уже сформировалась. Поэтому оставшиеся газы в какой-то мере поглощались пылевыми частицами путем адсорбции и различных химических реакций. Так летучие вещества внедрились в планеты земного типа. Из недр Земли

они поступают на поверхность в результате вулканической деятельности. Кроме того, как считают Альвен и Аррениус, уже в период бомбардировки Земли планетезималиями, когда шел разогрев и плавление земных пород, выделялись газы и пары воды, содержащиеся в породах. При этом Земля теряла водород и гелий, но сохраняла более тяжелые газы. Таким образом, именно дегазация земных недр стала источником атмосферы и гидросферы. По некоторым расчетам, от 65 до 80% общего количества летучих компонентов Земли выделилось в результате ударной дегазации.

Мировой океан возник из паров мантийного материала, и первые порции конденсированной воды были кислыми. Затем появились минерализованные воды, а собственно пресные воды образовались значительно позже в результате испарения с поверхности первичных океанов в процессе естественной дистилляции.

Проблема происхождения океана связана с проблемой происхождения не только воды, но и растворенных в ней веществ. Гидросфера Земли, как и атмосфера, также появилась в результате дегазации недр планеты. Материал океана и вещество атмосферы возникли из общего источника.

Океаническая вода представляет собой уникальный природный раствор, содержащий в среднем 3,5 % растворенных веществ, что и обеспечивает соленость воды. В воде земных океанов содержится множество химических элементов. Среди них важнейшую роль играют натрий, магний, кальций, хлор, азот, фосфор, кремний. Эти элементы усваиваются живыми организмами, и их концентрация в морской воде контролируется ростом и размножением морских растений и животных. Большую роль в составе морской воды играют растворенные в ней природные газы — азот, кислород, углекислый газ, которые тесно связаны с атмосферой и живым веществом суши и моря.

Как считается сегодня, первичная атмосфера Земли по своему составу была близка к составу вулканических и метеоритных газов. Скорее всего, она напоминала современную атмосферу Венеры. На поверхность Земли поступали вода, углекислый газ, окись углерода, метан, аммиак, сероводород и др. Они и составили первичную атмосферу Земли. В целом первичная атмосфера имела восстановительный характер и была практически лишена свободного кислорода, хотя незначительные его доли образовывались в верхней части атмосферы в результате фотолиза воды.

Таким образом, состав первичной атмосферы Земли, возникшей в результате ударной дегазации и вулканической активности, весьма сильно отличался от состава современной атмосферы. Эти отличия связаны с наличием жизни на Земле, оказывающей самое существенное воздействие на все процессы, протекающие на нашей планете. Таким образом, химическая эволюция атмосферы и гидросферы проходила с неизменным участием живых организмов, причем ведущую роль при этом играли фотосинтезирующие зеленые растения.

Современная азотно-кислородная атмосфера — результат деятельности Жизни на Земле. То же можно сказать и о современном составе вод Мирового океана планеты. Поэтому сегодня на нашей планете жизнь и

преобразованная им окружающая среда образуют самостоятельную оболочку Земли – биосферу.

### Геосферы Земли

Формирование Земли сопровождалось дифференциацией вещества, результатом которой явилось разделение Земли на концентрически расположенные слои — геосферы. Геосферы различаются химическим составом, агрегатным состоянием и физическими свойствами. В центре образовалось ядро Земли, окруженное мантией. Из наиболее легких компонентов вещества, выделившихся из мантии, возникла расположенная над мантией земная кора. Это так называемая «твердая» Земля, заключающая в себе почти всю массу планеты. Далее возникли водная и воздушная оболочки нашей планеты. Кроме того, Земля обладает гравитационным, магнитным и электрическими полями.

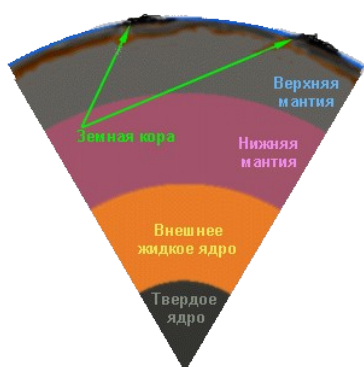
Таким образом, можно выделить ряд геосфер, из которых состоит Земля: ядро, мантия, литосфера, гидросфера, атмосфера, магнитосфера.

Кроме названных оболочек Земли, ниже мы будем рассматривать биосферу и ноосферу. Кроме того, в литературе можно встретить анализ и других оболочек — антропосферы, техносферы, социосферы, но их рассмотрение выходит за рамки естествознания.

Геосферы различаются, главным образом, плотностью составляющих их веществ. Самые плотные вещества сосредоточены в центральных частях планеты. Ядро составляет 1/3 массы Земли, кора и мантия — 2/3.

Все земные оболочки взаимосвязаны и проникают друг в друга. Гидросфера всегда присутствует в литосфере и атмосфере, атмосфера — в литосфере и гидросфере и т.д. С атмосферой, гидросферой и литосферой тесно связаны внутренние оболочки Земли. Кроме того, во всех оболочках, кроме мантии и ядра, присутствует биосфера.

**Ядро Земли** занимает центральную область нашей планеты. Это самая глубокая геосфера. Средний радиус ядра составляет около 3500 км, располагается оно глубже 2900 км. Ядро состоит из двух частей — большого внешнего и малого внутреннего ядер.



**Внутреннее ядро** Природа внутреннего ядра Земли начиная с глубины 5000 км остается загадкой. Это шар диаметром 2200 км, который, как полагают ученые, состоит из железа (80 %) и никеля (20 %). Соответствующий сплав при существующем давлении внутри земных недр имеет температуру плавления порядка 4500° С.

**Внешнее ядро.** Судя по геофизическим данным, внешнее ядро представляет собой жидкость — расплавленное железо с примесью никеля и серы. Это связано с тем, что давление в этом слое меньше. Внешнее ядро представляет собой шаровой слой толщиной 2900—5000 км. Чтобы внутреннее ядро оставалось твердым, а внешнее — жидким, температура в центре Земли не должна превышать 4500° С, но и не быть ниже 3200° С.

С жидким состоянием внешнего ядра связывают представления о природе земного магнетизма. Магнитное поле Земли изменчиво, из года в год меняется положение магнитных полюсов. Палеомагнитные исследования показали, что, например, на протяжении последних 80 млн. лет имело место не только изменение напряженности поля, но и многократное систематическое перемагничивание, в результате которого Северный и Южный магнитные полюса Земли менялись местами. В периоды смены полярности наступали моменты полного исчезновения магнитного поля. Следовательно, земной магнетизм не может создаваться постоянным магнитом за счет стационарной намагниченности ядра или какой-либо его части. Предполагается, что магнитное поле создается процессом, названным эффектом динамо-машины с самовозбуждением. Роль ротора (подвижного элемента), или динамо, может играть масса жидкого ядра, перемещающаяся при вращении Земли вокруг своей оси, а система возбуждения образуется токами, создающими замкнутые петли внутри сферы ядра.

**Мантия** - наиболее мощная оболочка Земли, занимающая 2/3 ее массы и большую часть объема. Она также существует в виде двух шаровых слоев — нижней и верхней мантии. Толщина нижней части мантии — 2000 км, верхней — 900 км. Все слои мантии расположены между радиусами 3450 и 6350 км.

Данные о химическом составе мантии получены на основании анализов наиболее глубоких магматических горных пород, поступивших в верхние горизонты в результате мощных тектонических поднятий с выносом мантийного материала. Материал верхней мантии собран со дна разных участков океана. Плотность и химический состав мантии резко отличаются от соответствующих характеристик ядра. Мантию образуют различные силикаты (соединения на основе кремния), прежде всего, минерал оливин.

Благодаря высокому давлению вещество мантии, скорее всего, находится в кристаллическом состоянии. Температура мантии составляет около 2500°C. Именно высокие давления обусловили такое агрегатное состояние вещества, в ином случае указанные температуры привели бы к его расплавлению.

В расплавленном состоянии находится астеносфера — нижняя часть верхней мантии. Это подстилающий верхнюю мантию и литосферу слой. Литосфера как бы «плавает» в нем. В целом же верхняя мантия обладает интересной особенностью — по отношению к кратковременным нагрузкам она ведет себя как жесткий, а по отношению к длительным нагрузкам — как пластичный материал.

На не слишком вязкую и пластичную астеносферу опирается более подвижная и легкая литосфера. В целом литосфера, астеносфера и остальные слои мантии могут рассматриваться в качестве трехслойной системы, каждая из частей которой подвижна относительно других компонентов.

### **Литосфера**

Литосферой называют земную кору с частью подстилающей ее мантии, которая образует слой толщиной порядка 100 км. Земная кора обладает высокой степенью жесткости, но вместе с тем и большой хрупкостью. В верхней части она слагается гранитами, в нижней — базальтами.

Резкая асимметрия строения поверхности нашей планеты была замечена давно. Поэтому планетарный рельеф делится на две основные области — океаническую и континентальную. Средняя мощность континентальной коры — 35 км. Ее верхний слой богат гранитными породами, а нижний — базальтовыми магмами. На дне океанов гранитный слой отсутствует, и земная кора состоит только из базальтового слоя. Мощность океанической коры составляет 5—10 км.

Первые порции вулканического материала имели состав базальтов или близкий к нему. Базальтовая магма, поднимаясь к поверхности, теряла газы, ушедшие в атмосферу, и превращалась в базальтовую лаву, которая растекалась по первичной поверхности планеты. При остывании она образовывала твердые покровы — первичную кору океанического типа. Однако процесс выплавления этих масс был асимметричным, и на одном полушарии планеты их сосредоточилось больше, чем на другом. В областях будущих континентов молодая земная кора была динамически неустойчивой и перемещалась вверх и вниз под влиянием внутренних причин, природа которых еще недостаточно хорошо изучена.

При общих колебательных движениях отдельные части первичной коры временами оказывались выше уровня океана и подвергались разрушению под воздействием химически активных газов первичной атмосферы, воды, а также других физических агентов. Продукты разрушения сносились в пониженные участки суши и водоемы, образуя осадочные породы с механической сортировкой частиц по величине и минералогическому составу. Еще более активно эти процессы пошли с появлением биосферы. Области поднятия суши — места будущих континентов — стали обрастать поясами, образованными толщами осадочных пород, возникших за счет разрушения более приподнятых участков суши. Эти пояса впоследствии подвергались складчатости и поднятиям, в них проявлялась вулканическая деятельность. Возникли древние горные цепи вокруг ядер материков, впоследствии также разрушенные геологическими агентами. Так формировалась континентальная часть земной коры.

Океаническая часть, вероятно, редко или совсем не выступала выше уровня Мирового океана, и в ней не происходили процессы дифференциации вещества, не шли отложения осадочных пород.

Геологические особенности земной коры определяются совместными действиями на нее атмосферы, гидросферы и биосферы — трех внешних оболочек планеты. Состав коры и внешних оболочек непрерывно обновляется. Благодаря выветриванию и сносу вещество континентальной поверхности полностью обновляется за 80—100 млн. лет. Убыль вещества континентов восполняется поднятиями их коры. Если бы этих поднятий не было, то за несколько геологических периодов вся суша оказалась снесенной в океан, а наша планета покрылась сплошной водной оболочкой.

На поверхности литосферы в результате совокупной деятельности ряда факторов возникает почва. Основоположник почвоведения русский ученый В.В. Докучаев назвал *почвой* наружные горизонты горных пород, естественно измененных совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, включая их остатки. Таким образом, почва — это



сложнейшая система, стремящаяся к равновесному взаимодействию с окружающей средой.

### **Экологические функции литосферы**

Современная экологическая геология развивается в основном с позиций биоцентризма, который предполагает всесторонний учет всех видов человеческого воздействия на геологическую среду и ее обратного влияния на биоту. При этом во внимание в первую очередь принимается не экономическая целесообразность того или иного инженерного сооружения и его значимость для человека, а то, каким образом это сооружение "вписано" в природную обстановку, как оно влияет на геологическую среду, экосистемы и биоту в целом. Изучением этого сложного взаимодействия общества и геологической компоненты окружающей среды и занимается экологическая геология. Во всем мире затраты на восстановление естественного равновесия

в литосфере очень высоки. Они отражают "плату человека" за вмешательство в природную среду. Причем стоимость этих расходов практически во всех странах из года в год увеличивается. В США ассигнования на природоохранные мероприятия в 1990 финансовом году составили 12,7 млрд. долларов. В России на эти цели выделяется ассигнований почти в 10 раз меньше.

Экологическая геология изучает верхние горизонты литосферы как абиотическую компоненту природных и антропогенно измененных экосистем высокого уровня организации. Ее объектом исследований являются биотопы экосистем, а предметом исследований - экологическая роль и экологические функции литосферы, основными среди которых являются ресурсная, геодинамическая и геохимическая. Все эти функции литосферы теснейшим образом связаны между собой.

Ресурсная функция верхних горизонтов литосферы заключается в ее потенциальной способности обеспечения потребностей биоты (экосистем) абиотическими ресурсами, в том числе и потребностей человека теми или иными полезными ископаемыми, необходимыми для существования и развития человеческой цивилизации. Причем с позиций биоцентризма потребности человека не должны вступать в противоречие с потребностями биоты в целом. Среди природных ресурсов на Земле по их значимости для развитых государств на первом месте стоят энергоресурсы. При современном уровне развития промышленности в мире технологическая энергетика создает и трансформирует огромное, если рассматривать планету в целом, количество энергии. Около 70 % добываемых полезных ископаемых в мире составляют энергоресурсы. Следовательно, можно говорить о соизмеримости техногенного энергетического потенциала с энергетическим потенциалом Земли естественного происхождения, особенно на урбанизированных территориях.

Потребности в энергоресурсах развитых стран все более и более возрастают. На фоне нехватки собственных природных ресурсов они

стремятся захватить мировые рынки сбыта полезных ископаемых, прежде всего нефти, угля, металлических и полиметаллических руд и т.д., объявляя их зоной национальных экономических интересов. Малейшие "сбои" в этих зонах приводят к тяжелейшим, прежде всего энергетическим и экономическим, кризисам в этих странах. В конечном итоге такой путь развития губителен для

людей: все большее число стран, переходя в стадию экономически высокоразвитых государств, с одной стороны будет вынуждено вступать в конфликты из-за ресурсов, а с другой - все более интенсивно эксплуатировать ресурсы слаборазвитых стран. В настоящее время в мире отмечается ресурсная напряженность, которая обуславливает необходимость перехода человечества к системному ресурсному мышлению. Этот переход, видимо, совершится в ближайшие годы, поскольку человечество для этого имеет, по оценкам экспертов, всего 3 - 4 десятилетия. Выработка соответствующей теоретической базы, касающейся ресурсов литосферы, - важнейшая проблема экологической геологии.

Геодинамическая функция литосферы в экологическом аспекте проявляется в ходе различных геологических процессов (экзогенных - оползней, обвалов, селей, береговой абразии, подтопления и т.д. и эндогенных - землетрясений, вулканических извержений и т.д.), так или иначе влияющих на различные экосистемы, в том числе и человеческое общество. Эти процессы, как указывалось выше, делятся на природные геологические и процессы, вызванные человеком, техногенные - инженерно-геологические. Важно подчеркнуть, что последние могут по своей интенсивности, мощности и масштабам проявления существенно превосходить их природные аналоги, поэтому их прогнозу, оценке и инженерной защите территорий с развитыми на них экосистемами от негативного влияния инженерно-геологических процессов в экологической геологии уделяется первостепенное внимание.

Пока нерешенных проблем в этой области очень много и среди них одна из центральных - выявление предельно допустимых уровней техногенных воздействий на геологическую среду и ее отдельные компоненты - почвы, горные породы, подземные воды, рельеф территории и развитые на ней геологические процессы, изменение которых влияет на различные экосистемы. Основная задача заключается в том, чтобы научиться правильно прогнозировать экологические последствия тех или иных техногенных воздействий на литосферу, а следовательно, научиться предотвращать негативные экологические процессы и тем самым влиять на разразившийся глобальный экологический кризис. Немалую роль в решении этой проблемы должен сыграть экологический мониторинг геологической среды - система постоянных наблюдений, контроля, оценки, прогноза и управления состоянием геологической среды с целью обеспечения ее экологических функций.

Геохимическая функция литосферы в экологическом аспекте заключается в ее активном участии в процессах круговорота веществ в природе. Причем одинаково важен анализ обеих сторон круговорота - как вредных, так и полезных для экосистем веществ. Геохимическая транспортировка различных элементов в пределах литосферы и экосистем могут осуществляться различными путями. В связи с чем выделяют механическую, физико-химическую, биогенную и техногенную миграцию, которая является предметом исследований экологической геохимии. Техногенная миграция веществ, как и общие закономерности техногенеза, еще далеко не установлены, однако в этой области уже открыт целый ряд важнейших

законов, позволяющих охарактеризовать геохимическую функцию литосферы.

Разработка методов управления состоянием и свойствами массивов горных пород верхних горизонтов литосферы с целью сохранения и обеспечения их экологических функций - практическое направление экологической геологии, которое интенсивно развивается в настоящее время. Задача управления успешно решается методами технической мелиорации горных пород, в арсенале которой имеются всевозможные способы целенаправленного

активного влияния человека на состав, строение, состояние и свойства горных пород и их массивов. Применение этих методов позволяет менять состояние и свойства массивов горных пород в нужном направлении, получать массивы с заданными свойствами, осуществлять реабилитацию (очистку) территорий, почв, горных пород от всевозможных техногенных загрязнений и т.д. Разработка этих актуальных проблем позволит существенно продвинуть вперед решение многих задач геоэкологии и экологии и вплотную подойти к реализации идеи В.И. Вернадского о ноосфере - высшей фазе эволюции биосферы на Земле.

### **Гидросфера**

Водная оболочка Земли представлена на нашей планете Мировым океаном, пресными водами рек и озер, ледниковыми и подземными водами. Общие запасы воды на Земле составляют 1,5 млрд. км<sup>3</sup>. Из этого количества 97 % приходится на соленую морскую воду, 2% составляет замерзшая вода ледников и 1 % — пресная вода.

Гидросфера — это сплошная оболочка Земли, так как моря и океаны переходят в подземные воды на суше, а между сушей и морем идет постоянный круговорот воды, ежегодный объем которого оценивается в 100 тыс. км<sup>3</sup>. Большая часть воды, испаренной с поверхности морей и океанов, выпадает в виде осадков над ними же,

около 10 % — уносится на сушу, падает на нее, а затем или реками уносится в океан, или уходит под землю, или консервируется в ледниках. Круговорот воды в природе не является абсолютно замкнутым циклом. Сегодня доказано, что наша планета постоянно теряет часть воды и воздуха, которые уходят в мировое пространство. Поэтому с течением времени встанет проблема сохранения воды на нашей планете. .

Вода — вещество, обладающее многими уникальными физическими и химическими свойствами. В частности, вода имеет высокую теплоемкость, теплоту плавления и испарения и в силу этих качеств является важнейшим климатообразующим фактором на Земле. Вода — хороший растворитель, поэтому в ней содержится множество химических элементов и соединений, необходимых для поддержания жизни. Не случайно именно Мировой океан стал колыбелью Жизни на нашей планете.

**Мировой океан.** Большую часть поверхности Земли занимает Мировой океан (71 % поверхности планеты). Он окружает материки (Евразию, Африку, Северную и Южную Америку, Австралию и Антарктиду) и острова. Океан делится материками на четыре части Тихий (50 % площади Мирового океана), Атлантический (25 %), Индийский (21 %) и Северный Ледовитый (4 %) океаны. Мировой океан часто называют

«печкой планеты». В теплое время года вода согревается медленнее суши, поэтому она охлаждает воздух, зимой же, наоборот, теплая вода согревает холодный воздух.

В Мировом океане постоянно происходят поступательные движения масс воды — морские течения. Они образуются под влиянием господствующих ветров, приливных сил Луны и Солнца, а также из-за существования слоев воды разной плотности. Под влиянием вращения Земли все течения в Северном полушарии отклоняются вправо, а в Южном полушарии — влево. Огромную роль в морях и океанах играют приливы и отливы, вызывающие периодические колебания уровня воды и смену приливных течений. В открытом океане высота прилива достигает одного метра, у берегов — до 18 метров. Самые высокие приливы наблюдаются у берегов Франции (14,7 м) и в Англии, в устье реки Северн (16,3 м), в России — в Мензенском заливе Белого моря (10 м) и в Пенжинской губе Охотского моря (11 м).

Огромны продовольственные, энергетические и минеральные запасы Мирового океана.

**Реки.** Важной частью гидросферы Земли являются *реки* — водные потоки, текущие в естественных руслах и питающиеся за счет поверхностного и подземного стока с их бассейнов. Реки с притоками образуют речную систему. Течение и расход воды в них зависят от уклона русла. Обычно выделяют горные реки с быстрым течением и узкими речными долинами и равнинные реки с медленным течением и широкими речными долинами.

Реки являются важной частью круговорота воды в природе. Их суммарный годовой сток в Мировой океан составляет 38,8 тыс. км<sup>3</sup>. Реки — это источники питьевой и промышленной воды, источник гидроэнергии. В реках обитает большое количество растений, рыб и других пресноводных организмов. Самые большие реки на планете — Амазонка, Миссисипи, Енисей, Лена, Обь, Нил, Амур, Янцзы, Волга.

Озера и болота — также часть гидросферы Земли. Озера — это заполненные водой водоемы, вся поверхность которых открыта атмосфере и которые не имеют уклонов, создающих течения, а также не связаны с морем иначе, чем через реки и протоки. Понятие «озера» включает в себя большой круг водоемов, в том числе пруды (небольшие мелкие озера), водохранилища, а также болота и трясины со стоячей водой. По происхождению озера могут быть ледниковыми, проточными, термокарстовыми, солеными. С геологической точки зрения озера имеют малую продолжительность жизни. Как правило, они постепенно исчезают из-за нарушения равновесия между притоком и стоком воды из озера. К числу крупнейших озер относятся: Каспийское и Аральское моря, Байкал, озера Верхнее, Гурон и Мичиган в США и Канаде, Виктория, Ньянза и Танганьика в Африке.

Подземные воды — еще одна часть гидросферы. Подземными являются все воды, находящиеся под земной поверхностью. Существуют подземные реки, свободно текущие по подземным каналам — трещинам и пещерам. Есть также фильтрующиеся воды, просачивающиеся через рыхлые породы (песок,

гравий, гальку). Самый ближний к поверхности земли горизонт подземных вод называют *грунтовыми водами*.

Вода, попавшая в грунт, доходит до водоупорного слоя, накапливается на нем и пропитывает вышележащие породы. Так образуются водоносные горизонты, могущие служить источниками воды. Иногда водоупорный слой может создавать вечная мерзлота.

**Ледники**, образующую ледяную оболочку Земли (криосферу), также являются частью гидросферы нашей планеты. Они занимают площадь, равную 16 млн. км<sup>2</sup>, что примерно составляет 1/10 часть поверхности планеты. Именно в них содержатся основные запасы пресной воды (3/4). Если бы льды, находящиеся в ледниках, вдруг растаяли, уровень Мирового океана повысился бы на 50 метров.

Ледяные массивы образуются там, где возможно не только накопление снега, выпавшего за зиму, но и сохранение его в течение лета. Со временем такой снег уплотняется до состояния льда и может закрыть собой всю местность как ледниковый покров или ледяная шапка. Места, где может происходить накопление многолетнего льда, определяются географической широтой и высотой над уровнем моря. В полярных районах граница многолетнего льда лежит на уровне моря, в Норвегии — на высоте 1,2—1,5 км над уровнем моря, в Альпах — на высоте 2,7 км, а в Африке — на высоте 4,9 км. Гляциологи различают материковые покровы, или щиты, и горные ледники. Самые мощные материковые ледниковые покровы расположены в Антарктиде и Гренландии. В некоторых местах толщина льда достигает 3,2 км. Постепенно сползающие к океану толщи льда рождают ледяные горы — айсберги. Горные ледники — это ледяные реки, спускающиеся по склонам гор, хотя их движение идет очень медленно — со скоростью от 3 до 300 м в год. При своем движении ледники меняют картину ландшафта, увлекая за собой валуны, обдирая склоны гор и обламывая при этом значительные куски породы. Продукты разрушения уносятся ледником по склону и оседают по мере его таяния.

Вечная мерзлота. Частью криосферы Земли помимо ледников являются многолетнемерзлые фунты (вечная мерзлота). Толщина таких фунтов в среднем достигает 50—100 м, а в Антарктиде доходит до 4 км. Вечная мерзлота занимает огромные территории в Азии, Европе, Северной Америке и Антарктиде, ее общая площадь составляет 35 млн. км<sup>2</sup>. Вечная мерзлота возникает в местах, где среднегодовые температуры имеют отрицательные значения. В ней содержится до 2 % общего объема льда на Земле.

**Атмосфера** — это воздушная оболочка Земли, окружающая ее и вращающаяся вместе с ней. По химическому составу атмосфера представляет собой смесь газов, состоящую из 78 % азота, 21 % кислорода, а также инертных газов, водорода, углекислого газа, паров воды, на которые приходится около 1% объема. Кроме того, воздух содержит большое количество пыли и различных примесей, порождаемых геохимическими и биологическими процессами на поверхности Земли.

Масса атмосферы довольно велика и составляет  $5,1 \cdot 10^{18}$  кг. Это значит, что каждый кубический метр окружающего нас воздуха весит около

1 кг. Вес воздуха, давящего на нас, называют *атмосферным давлением*. Среднее атмосферное давление на поверхности Земли равно 1 атм, или 760 мм ртутного столба. Это означает, что на каждый квадратный сантиметр нашего тела давит груз атмосферы массой в 1 кг. С высотой плотность и давление атмосферы быстро убывают.

В атмосфере есть районы с устойчивыми минимумами и максимумами температур и давлений. Так, в районе Исландии и Алеутских островов располагается такая область, являющаяся традиционным местом рождения циклонов, определяющих погоду в Европе. А в Восточной Сибири область низкого давления летом сменяется областью высокого давления зимой. Неоднородность атмосферы вызывает перемещение воздушных масс — так появляются ветры.

Атмосфера Земли имеет слоистое строение, причем слои отличаются по физическим и химическим свойствам. Важнейшими из них являются температура и давление, изменение которых лежит в основе выделения атмосферных слоев. Таким образом, в атмосфере Земли выделяют: тропосферу, стратосферу, ионосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.

Тропосфера — это нижний слой атмосферы, определяющий погоду на нашей планете. Его толщина — 10—18 км. С высотой падает давление и температура, опускаясь до 55° С. В тропосфере содержится основное количество водяных паров, образуются облака и формируются все виды осадков.

Следующий слой атмосферы — это стратосфера, простирающаяся до 50 км в высоту. Нижняя часть стратосферы имеет постоянную температуру, в верхней части наблюдается повышение температуры из-за поглощения солнечного излучения озоном.

Ионосфера — эта часть атмосферы, которая начинается с высоты 50 км. Ионосфера состоит из ионов — электрически заряженных частиц воздуха. Ионизация воздуха происходит под действием Солнца. Ионосфера обладает повышенной электропроводностью и в силу этого отражает короткие радиоволны, позволяя осуществлять дальнюю связь.

С высоты в 80 км начинается мезосфера, роль которой состоит в поглощении озоном, водяным паром и углекислым газом ультрафиолетовой радиации Солнца.

На высоте 90 — 200—400 км находится термосфера. В ней происходят основные процессы поглощения и преобразования солнечного ультрафиолетового и рентгеновского излучений. На высоте более 250 км постоянно дуют ураганные ветры, причиной которых считают космические излучения.

Верхняя область атмосферы, простирающаяся от 450—800 км до 2000—3000 км, называется экзосферой. В ней содержится атомарный кислород, гелий и водород. Часть этих частиц постоянно уходит в мировое пространство.

Результатом саморегулирующихся процессов в атмосфере Земли является климат нашей планеты. Это не то же самое, что погода, которая может меняться каждый день. Погода очень изменчива и зависит от колебаний тех взаимосвязанных процессов, в результате которых она

формируется. Это — температура, ветры, давление, осадки. Погода в основном является результатом взаимодействия атмосферы с сушей и океаном.

Климат — это состояние погоды какого-либо региона за длительный промежуток времени. Он формируется в зависимости от географической широты, высоты над уровнем моря, воздушных потоков. Меньше влияют рельеф и тип почвы. Выделяют ряд климатических зон мира, обладающих комплексом сходных характеристик, относящихся к сезонным температурам, количеству осадков и силе ветра:

-*зона влажного тропического климата* — среднегодовые температуры больше  $18^{\circ}\text{C}$ , холодов не бывает, осадков выпадает больше, чем испаряется воды;

-*зона сухого климата* — область малого количества осадков сухой климат может быть жарким, как в тропиках, или свежим, как в континентальной Азии;

-*зона теплого климата* — средние температуры в самое холодное время здесь не опускаются ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ , и хотя бы один месяц имеет среднюю температуру больше  $10^{\circ}\text{C}$ . Хорошо выражен переход от зимы к лету;

-*зона холодного северного таежного климата* — в холодное время средняя температура опускается ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ , но в теплое время она выше  $10^{\circ}\text{C}$ ;

-*зона полярного климата* — даже в самые теплые месяцы средние температуры здесь ниже  $10^{\circ}\text{C}$ , поэтому в этих районах прохладное лето и очень холодные зимы;

-*зона горного климата* — районы, отличающиеся по климатическим характеристикам от той климатической зоны, в которой они находятся. Появление таких зон связано с тем, что с высотой падают средние температуры и сильно меняется количество осадков.

Климат Земли имеет ярко выраженную *цикличность*. Самым известным примером цикличности климата являются периодически случавшиеся на Земле оледенения. За два последних миллиона лет наша планета пережила от 15 до 22 ледниковых периодов. Об этом свидетельствуют исследования осадочных пород, накопившихся на дне океанов и озер, а также исследования образцов льда из глубин Антарктического и Гренландского ледниковых покровов. Так, в последний ледниковый период Канада и Скандинавия были покрыты гигантским ледником, а Северо-Шотландское нагорье, горы Северного Уэльса и Альпы имели огромные ледяные шапки.

Сейчас мы живем в период глобального потепления. С 1860 г. средняя температура Земли поднялась на  $0,5^{\circ}\text{C}$ . В наши дни увеличение средних температур идет еще более быстрыми темпами. Это грозит серьезнейшими изменениями климата на всей планете и другими последствиями, которые более подробно будут рассмотрены в главе, посвященной проблемам экологии.

**Магнитосфера** - самая внешняя и протяженная оболочка Земли — представляет собой область околоземного пространства, физические свойства которой определяются магнитным полем Земли и его взаимодействием с потоками заряженных частиц космического

происхождения. С дневной стороны она простирается на 8—24 земных радиусов, с ночной — доходит до нескольких сотен радиусов и образует магнитный хвост Земли. В магнитосфере находятся радиационные пояса.

Магнитное поле Земли образуется во внешней оболочке ядра благодаря циркуляции электрических токов. Поэтому Земля представляет собой огромный магнит с четко выраженными магнитными полюсами. Северный магнитный полюс находится в Северной Америке на полуострове Ботия, Южный магнитный полюс — в Антарктиде на станции Восток.

В настоящее время установлено, что магнитное поле Земли не является неизменным. Его полярность в истории существования Земли менялась несколько раз. Так, 30 000 лет назад Северный магнитный полюс находился на Южном полюсе. Кроме того, периодически происходят возмущения магнитного поля Земли — магнитные бури, главной причиной возникновения которых является колебание солнечной активности. Поэтому особенно часты магнитные бури в годы активного Солнца, когда на нем появляется много пятен, а на Земле возникают полярные сияния.

### **Геодинамические процессы**

Облик нашей планеты не является чем-то застывшим, раз и навсегда сформировавшимся. Благодаря разнообразным геодинамическим процессам на планете постоянно происходит видоизменение земной коры и ее поверхности. Эти процессы в геологии делят на две большие группы — эндогенные (внутренние) и экзогенные (внешние).

### **Эндогенные процессы**

Геодинамические процессы, вызванные внутренними силами Земли и протекающие в ее недрах, называются эндогенными.

Они обусловлены энергией и действием сил тяжести, возникающих при вращении Земли, а проявляются в виде тектонических движений (поднятие и опускание земной коры, землетрясения, образование крупных элементов рельефа и т.п.), процессов магматизма (вулканизма), метаморфизма горных пород и формирования месторождений полезных ископаемых.

**Движение тектонических плит** — это грандиозный геологический процесс, ведущий к деформации верхних частей земной коры, но протекающий очень медленно. Поэтому в течение исторического времени движение континентов можно зафиксировать только с помощью особо точных измерений. Кроме того, движение плит вызывает эффекты, проявляющиеся в форме бедствий и катастроф.

Линии, по которым стыкуются плиты, — это эквивалент трещин в земной коре. Они называются «сдвигами» и представляют собой слабые места, через которые тепло и расплавленный камень находящийся под корой, могут выйти наверх. Такое тепло способно согреть фунтовые воды, образовывать выходы пара и горячие источники. Иногда вода может нагреваться до тех пор, пока давление не достигает критической точки, после чего она вырывается на поверхность высоко в воздух. Так образуются гейзеры.

**Вулканическая деятельность.** В некоторых районах вверх по трещинам поднимается и застывает расплавленный камень. Новый расплавленный камень вскипает сквозь возвышенность отвердевшего камня и увеличивает



ее высоту. Так образуется гора с центральным проходом, по которому расплавленная каменистая масса, или лава, может подниматься и оседать. Также она может затвердевать на более или менее длительный период, а затем плавиться снова. Этот процесс получил название *магматизма*. Магматизм — проявление глубинной активности Земли, он тесно связан с ее тепловыми процессами и тектонической эволюцией. В результате магматизма формируются горные породы внутри земли или вулканы, т.е. происходят излияния расплавленной магмы из глубин Земли на ее поверхность.

По степени активности вулканы могут быть действующими или недействующими. Если вулкан демонстрирует определенную активность в течение длительных периодов времени, он не очень опасен, хотя периодические извержения, в ходе которых потоки лавы изливаются наружу, вынуждают эвакуировать находящиеся поблизости населенные пункты.

Намного опаснее вулканы, длительное время пребывающие в не активном состоянии. У таких вулканов центральный проход, по которому лава поднималась раньше, обычно затвердевает, и потому новые потоки лавы, поднимающиеся из глубин в период усиления активности, не находят себе прохода. Нарастающее давление приводит к тому, что верхушка вулкана прорывается. При этом происходит резкий, неожиданный выброс газа, пара, твердых камней и раскаленной лавы. Если до этого вулкан долгое время оставался неактивным и возле него возникли людские поселения, то последствия извержения могут быть катастрофическими. В результате извержения Везувия в 79 г. н.э. были полностью уничтожены города Помпеи и Геркуланум, располагавшиеся на его южном склоне.

Самое крупное вулканическое извержение произошло на острове Кракатау 27 августа 1883г., в результате которого остров был практически полностью разрушен. В воздух оказалось выброшено коло 21 км<sup>3</sup> вулканического вещества. Пепел выпал на площади 100 тыс. км<sup>2</sup> и затемнил окружающий район на два с половиной дня. Пыль достигла стратосферы и распространилась по всей Земле, вызывая эффектные закаты на протяжении почти двух лет. Звук взрыва был слышен на расстоянии 1/13 земного шара, а сила извержения в 26 раз превосходила мощность самой современной водородной бомбы. Кроме того, взрыв вызвал волну цунами, которая постигла высоты 36 метров и уничтожила 163 деревни и унесла жизни почти 40 тысяч человек.

**Землетрясения.** Еще более губительным следствием движения тектонических плит являются землетрясения.

**Землетрясениями** называют подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии и передающиеся; на большие расстояния в виде упругих колебаний.

Их сложно предсказать, так как они зарождаются по разным причинам и на разной глубине. Небольшие тектонические поднятия и опускания образуются в результате процессов, происходящих Внутри земной коры на глубине 10—20 км, а самые глубокие очаги землетрясений локализованы на

глубине 700км. В основном землетрясения происходят на границах соединения тектонических плит, [которые могут подниматься или опускаться друг относительно друга, а также двигаться в разных направлениях.

Само землетрясение продолжается лишь несколько минут и состоит из нескольких толчков. Но за это время оно может нанести огромный ущерб обширному району. Сила землетрясений характеризуется по специальной 12-балльной шкале, предложенной в 1935г. американским сейсмологом Ч. Рихтером и носящей его имя. Каждая последующая цифра этой шкалы соответствует десятикратному.

сличению количества энергии, высвобождаемой при землетрясении. Так, разрушение зданий начинается при 5 баллах. Землетрясение в 7 баллов считается сильным, а в 8 баллов и выше — катастрофическим.

В историческом масштабе самое сильное землетрясение произошло в Китае в 1556 г., когда одновременно погибло 830 тыс. человек. В Западной Европе очень крупным было землетрясение 1755г. в Португалии. При этом полностью была разрушена столица Португалии город Лиссабон, погибло 60 тыс. человек. Часто случаются землетрясения в Сан-Франциско, который стоит на тектоническом разломе. На территории бывшего СССР также достаточно много сейсмически опасных зон. В 1988 г. произошло землетрясение в Армении, при котором погибло свыше 20 тыс. человек и более 500 тыс. остались без крова. А в 1995 г. сильнейшее землетрясение полностью разрушило город Нефтегорск на Сахалине.

### **Экзогенные процессы**

К экзогенным относятся геодинамические процессы, которые происходят на поверхности Земли или на небольшой глубине в земной коре и обусловлены энергией солнечного излучения, гравитационной силой и жизнедеятельностью организмов.

Экзогенными являются следующие процессы: выветривание, заболачивание, оползни, лавины, обвалы, криогенные процессы, деятельность водных потоков, морей, озер и ледников. Внешние экзогенные процессы происходят на поверхности Земли при давлениях и температурах, близких к нормальным, поэтому они доступнее для изучения, чем эндогенные процессы.

**Выветривание.** Основу всех экзогенных процессов составляет выветривание — процесс механического разрушения и химического изменения горных пород и минералов в условиях земной поверхности, происходящий под влиянием различных атмосферных явлений, фунтовых и поверхностных вод, жизнедеятельности растительных и животных организмов и продуктов их разложения. Выветривание имеет большое значение, поскольку с ним тесно связан процесс почвообразования, т.е. зарождение и формирование почвы.

**Флювиальные процессы.** Преобразованию земной поверхности в огромной мере способствуют также флювиальные процессы — совокупность процессов, осуществляемых текучими поверхностными водными потоками. Результатом флювиальных процессов является размыв водными потоками земной поверхности в одних местах и одновременный перенос и отложение продуктов размыва в других. Флювиальные процессы

развиваются в пределах речных бассейнов, в которые входят речные, овражно-балочные и склоновые системы. Главным элементом этих процессов являются реки — водные потоки, текущие в естественных условиях и питающиеся за счет поверхностного и подземного стока со своих бассейнов.

**Гляциальные процессы.** К экзогенным относятся также и гляциальные процессы, связанные с деятельностью льда, т.е. современным и прошлым оледенением территории. Такие процессы происходят в условиях длительного существования большого количества льда в пределах участка земной поверхности, в первую очередь в виде ледников — движущихся скоплений льда. Эрозионная деятельность ледников сводится к выпахиванию коренного ложа ледника обломками горных пород, к формированию специфических отложений в виде скопления несортированных обломков горных пород, переносимых или отложенных ледниками образований. В результате таяния ледников образуются мощные водные потоки, которые формируют флювиогляциальные отложения и рельеф.

**Гравитационные процессы.** Наконец, в пределах Мирового океана распространены гравитационные процессы, в возникновении развитии которых основная роль принадлежит силе тяжести. В настоящее время среди гравитационных процессов дна Мирового океана ученые особо выделяют процесс медленного сползания или оплывания толщ осадков на относительно пологих склонах, подводные оползни, донные и постоянные поверхностные течения и т.д.

## **8 Антропный принцип и эволюция**

Несколько десятилетий назад Б. Картер выдвинул так называемый антропный принцип (АП), декларирующий наличие взаимосвязи между параметрами Вселенной и существованием в ней разума. Формальный толчок началу дискуссии о месте человека во Вселенной дало обсуждение проблемы совпадения больших чисел - странной численной взаимосвязи параметров микромира (постоянной Планка, заряда электрона, размера нуклона) и глобальных характеристик Метагалактики (ее массы, размера, времени существования). Эта проблема поставила вопрос: а на сколько случайны параметры нашего мира, насколько они взаимосвязаны между собой, и что произойдет при их незначительном изменении? Анализ возможного варьирования основных физических параметров показал, что даже незначительное их изменение приводит к невозможности существования нашей Метагалактики в наблюдаемой форме и не совместимо с появлением в ней жизни и, соответственно разума.

Взаимосвязь между параметрами Вселенной и появлением в ней разума была выражена Картером в двух формулировках - сильной и слабой. Слабый АП лишь констатирует, что имеющееся во Вселенной условия не противоречат существованию человека: «Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей».

Сильный АП выдвигает более жесткую взаимосвязь параметров Вселенной с возможностью и необходимостью появления в ней разума: «Вселенная (и, следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит), должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей».

Можно сформулировать два крайних предположения обосновывающих АП:

- 1) разум в нашей Метагалактике явление абсолютно случайное, которое стало возможным лишь благодаря маловероятному, но реализованному совпадению многих независимых физических параметров;
- 2) наличие биологической и социальной форм движения закономерное следствие развития Вселенной, а все ее физические характеристики взаимосвязаны и взаимообусловлены таким образом, что с необходимостью вызывают появление разума.

## 9 Проблема поиска жизни во Вселенной

Эта проблема получила развитие еще в древности. В пользу того, что мы не одни, приводились такие аргументы - поскольку мир состоит из одних и тех же субстанций (у одних философов это вода, у других атомы) соответственно, должна быть и внеземная жизнь. Циолковский обосновывал возможность межпланетных сообщений, эта идея получила свое развитие, но на первый план в середине 50 г.г. 20 в. выдвинулась проблема связанная с поиском других цивилизаций путем обнаружения радиосигналов. Это стало возможным благодаря созданию радиотелескопов. Именно они давали возможность регистрировать сигналы, посланные с межзвездных расстояний. В 60-х мировым сообществом было создано несколько международных проектов направленных на поиск внеземных цивилизаций, причем за свои бабки. Фактически эти программы закрепили право работ в этой области и присвоили фактически статус научных дисциплин (предположим, что уфология), это вышло из сферы философии и проникло во многие области знаний. Надо сказать, что в основном такие работы выполнялись в США и России. Если говорить о проблеме поиска и обнаружения внеземных цивилизаций, проблема состоит в принципиальном допущении существования жизни на иных планетах. Существует проблемы качественного перехода неживого в живое (вспомним академика Опарина). Эволюция веществ при переходе от неживой к живой материи: атомные ядра -> атомы -> низкомолекулярные соединения -> высокомолекулярные соединения -> прокариоты (организмы лишенные оформленного ядра, т.е. вирусы, бактерии) -> одноклеточные -> многоклеточные. В туманностях нашли органические соединения, которые являются основой белков живых организмов. В этих областях ученые обнаружили процессы интенсивного звездообразования, из этого следует, что возможно интенсивное образование новых планет. Но возникает вопрос: на сколько условия образования новых планет и влияние интенсивности их звезд

оказывают влияние на возможность сохранения этих низкомолекулярных соединений.

Изучаемая проблема имеет три составляющих:

- проблема поиска жизни во Вселенной;
- проблема поиска внесолнечных планетных систем;
- проблема поиска внеземных цивилизаций.

Эти три составляющих тесно между собой взаимосвязаны.

С одной стороны у нас на земле прослежена биологическая эволюция, но это все-таки прежде всего конституируется как эмпирический факт. Но с другой стороны, эволюция применима лишь к нашим условиям, на планете Земля, но это не является достаточным фактом, позволяющим твёрдо утверждать, что подобная эволюция не может происходить и на других планетах Вселенной. Имеются факты, которые выходят за рамки строгих объяснений в указанной теории. Сложен вопрос и о переходе живых организмов к живым системам. Безусловно, в этом вопросе имеется определенный прогресс (работы Опарина, Руденко), но со временем скепсис ученых становится все большим. В этой связи ученые вводят понятие прогресса, здесь под прогрессом подразумевается начало процесса, который привел к возникновению цивилизации. Процесс идет в сторону усложнения веществ (высокомолекулярные), а переход к разумной жизни, цивилизации вызывает вопрос. Согласно, первой точке зрения, понятие прогресса приложимо лишь к биологической эволюции и лишено смысла в отношении других форм материи. Вторая точка зрения, биологическая эволюция является лишь этапом эволюции определенной части вещества во Вселенной. Ученые сейчас озадачены глобальными методологическими вопросами: правильно ли мы рассматриваем процессы эволюции, перехода от биологической к живым системам, является ли зарождение жизни уникальным или ординарным на нашей планете. Нужно решить эти проблемы. Если решим что мы уникальны, значит нечего искать иные цивилизации. Самым радикальным решением этой проблемы было бы обследование окрестностей ближайших звезд. Здесь имеется в виду обследование с помощью автоматических или пилотируемых установок. Возникает другая проблема, скорость этих кораблей должна быть соизмерима со световой скоростью, даже если это так, то это осуществимо не раньше чем через 250-300 лет. Здесь кроме непосредственного обследования, изучения окрестностей, применяются те методы, которые используются учеными:

- астрономический (который состоит в фиксации небольших изменений положений звезды);
- фотометрический (основан на регистрации отраженного планетами света);
- радиометрический (который в своей основе регистрирует тепловое излучение планеты);

Все они ограничены только своим назначением, это означает, что для полного наблюдения нужны принципиально новые методы науки. Прорыв может наступить в области науки либо когда будут созданы пилотируемые спутники, либо новые методы регистрации. Если говорить о больших реалиях в этом вопросе, есть другой подход к решению проблемы - использовать инициативу внеземных цивилизаций, которую они проявляют при налаживании

контакта с нами. Эта идея не нова, многие исследователи считают, что внеземные цивилизации более развиты, а, следовательно, имеют большие возможности для установления контакта с нами. По поводу поиска внеземных цивилизаций, их проводили еще с начала 60-х. Предлагали использовать радиотехнические средства для передачи сигнала в космос. Кроме того, была гипотеза использовать вспышки сверхновых звезд для обнаружения цивилизаций. Речь идет не только о преднамеренных сигналах, которые могли послать мы, но также и непреднамеренных сигналах, которые приходят из космоса. В этом направлении поиск внеземных цивилизаций сводится к следующему:

- поиск преднамеренных и непреднамеренных сигналов внеземных цивилизаций;
- межзвездные перелеты с околосветовыми скоростями, организованные внеземными цивилизациями;
- следы посещения солнечной системы;
- астроинженерная деятельность самих внеземных цивилизаций.

Ученые провели расчеты, что возможность допуска межзвездных перелётов неправильная, это связано с энергоемкостью межзвездных ракет, такой движок должен превышать мощность солнечного света нашего Солнца. Когда стали оценивать возможности внеземных цивилизаций по производству энергии, оказалось, что они (внеземные цивилизации) должны обладать неограниченными возможностями. Поэтому межзвездное направление отошло на задний план в виду не перспективности. Кроме того, существуют определённые расчеты, показывающие, что для существования нормальной цивилизации производство энергии не должно превышать определенного предела на человека, если этот предел перейдут, то начнутся проблемы с климатом и т.п. Таким образом, ученые на сегодняшний день сделали вывод, что космос молчит. В чем причина молчания:

- по причине того, что неверны наши теоретические представления о внеземных цивилизациях и их возможностях;
- недостаточны данные наблюдений; наши теоретические соображения, расчеты верны, но внеземных цивилизаций нет вообще. Это означает, что наша цивилизация уникальная и единственная, по крайней мере, в нашей галактике.

## 10 Литература, рекомендуемая для изучения темы

1. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания: учебник /под ред. акад. РАН М.Ф.Жукова/Т.Я. Дубнищева - Новосибирск: ООО «Издательство ЮКЭА», 1997;-832с.
2. Концепции современного естествознания: учебник для вузов /под ред. В.Н Лавриненко, В.П. Ратникова. - М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1997. -271с.
3. Горелов А.А. Концепции современного естествознания: учебное пособие, практикум, хрестоматия для вузов/А.А. Горелов - М.: Гуманит. изд. центр ИПАДОС, 1993.-512С.
4. Потеев М.И. Концепции современного естествознания/М.И. Потеев - СПб.: И-1Д-В0 «Питер», 1993. - 352с.
5. Концепции современного естествознания: учебник для вузов /под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратников. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. -303с.
6. Рузавин Г.И. Концепции современного естествознания: учебник для вузов/Г.И. Рузавин - М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1999. - 228с.
7. Солопов Е.Ф. Концепции современного естествознания: учебник для вузов/Е.Ф. Солопов - М.: ВЛАДОС, 1999. - 232с.
8. Бабушкин А.Н. Современные концепции естествознания: лекции по курсу/А.Н. Бабушкин - СПб.: Изд-во «Лань», 2000. - 208с.
9. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: учебник для вузов/С.Х. Карпенков - изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Академический Проект, 2000. - 639с.
10. Концепции современного естествознания: учебное пособие для студентов гуманитарных факультетов университетов /под. общей ред. В.А. Любичанковского; В.А. Любичанковский, М.Г. Кучеренко, Ю.Д. Белоусов, Л.А. Горохов - 4-е изд., доп.— Оренбург: Изд-во ОГУ, 2000. — 166с.
11. Любичанковский В.А. Культурология: естественнонаучная составляющая культуры личности: учебное пособие/В.А. Любичанковский — Оренбург: Изд-во ОГУ, 2001. 103с.
12. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: учебное пособие для вузов/В.М. Найдыш - М.: Гардарики, 2002. - 467с.
13. Солопов Е.Ф. Концепции современного естествознания: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений/Е.Ф. Солопов - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001.-232с.