

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

(краткий курс лекций)

Автор: Кожевников Николай Владимирович
профессор кафедры ботаники и экологии
биологического факультета СГУ

Саратов 2016

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие подготовлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и предназначено для студентов гуманитарных направлений бакалавриата, изучающих дисциплину «Концепции современного естествознания». Оно направлено на повышение культурного и образовательного уровня студентов, формирование у них целостного материалистического взгляда на природные явления, происходящие на разных уровнях организации материи. В пособии рассмотрены важнейшие естественнонаучные концепции физики, химии, термодинамики, космологии, наук о Земле, биологии, экологии, концепции биосферы и ноосферы.

Учебное пособие рекомендовано к опубликованию учебно-методической комиссией биологического факультета СГУ.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г. И. ДВУРНИКОВА

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЗНАНИЕ И НАУКА (основные определения и понятия)	7
2. НАУЧНАЯ ИСТИНА И ЕЁ КРИТЕРИЙ	9
3. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ	10
4. МАТЕРИЯ, ЕЁ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА	11
4.1. Вещество и поле	11
4.2. Виды полей	12
4.3. Движение – атрибут материи. Классификация видов движения ...	12
5. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	13
5.1. Натурфилософия	13
5.2. Механистическая картина Мира (механистическая концепция) ...	14
5.2.1. Законы механики	15
5.2.2. Принцип относительности Галилея («механический принцип относительности»)	15
5.2.3. Основные особенности механистической картины Мира	17
5.3. Электромагнитная концепция	17
5.3.1. Электромагнитное поле	17
5.3.2. Концепция дальнего действия и ближнего действия	19
5.3.3. Волновые и корпускулярные свойства света. Концепция корпускулярно-волнового дуализма света	19
5.3.4. Шкала электромагнитных волн	22
6. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ	23
6.1. Преобразования Лоренца. Специальная теория относительности Эйнштейна	23
6.2. Общая теория относительности (теория тяготения). Принцип эквивалентности	29
7. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА	31
7.1. Концепция атомизма	31
7.2. Модели атома	32
7.3. Постулаты Бора. Принцип Паули	33
7.4. Дуализм материи. Квантовая механика	34
8. СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	36
8.1. Классификация элементарных частиц в соответствии с видами фундаментальных взаимодействий	36
8.2. Характеристики элементарных частиц	37
8.3. Время жизни элементарных частиц	38
8.4. Частицы и античастицы	38
9. ИЕРАРХИЯ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО РАЗМЕРУ	39

10. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ	
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА	41
11. ПРИРОДА ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ	43
12. ПРЕДМЕТ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ХИМИИ	44
13. НЕКОТОРЫЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕРМОДИНАМИКИ	48
14. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	51
14.1. Образование Вселенной. Концепция «Большого взрыва»	51
14.2. Темная материя и темная энергия	53
14.3. Формирование Солнечной системы, её основные параметры	54
15. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ	57
15.1. Строение Земли и её модели	57
15.2. Возраст Земли	62
15.3. Геомагнитное поле	63
15.4. Эволюция Земли	65
15.5. Основные представления о процессах развития земной коры	69
15.6. Состав и строение современной атмосферы	71
15.7. Гидросфера Земли	74
16. КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ	75
16.1. Различия живой и неживой природы	75
16.2. Классификация биологии	76
16.3. Концепции биологии	76
16.4. Молекулярные основы генетики	77
17. ЭКОЛОГИЯ	82
18. КОНЦЕПЦИЯ БИОСФЕРЫ И НООСФЕРЫ	84
Список рекомендуемой литературы	89

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с конца XX века при подготовке студентов по гуманитарным направлениям и специальностям вузы стали включать в учебные планы дисциплину «Концепции современного естествознания» (КСЕ), входившую в цикл общих математических и естественнонаучных дисциплин. В настоящее время данная учебная дисциплина реализуется в рамках базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» программы бакалавриата.

Необходимость ознакомления студентов гуманитарных направлений с концептуальным фундаментом современного естествознания является насущным требованием времени и связана с переходом на качественно новый уровень подготовки специалистов широкого профиля. Выпускники вузов должны обладать не только профессиональными компетенциями, но и иметь достаточно четкие научные представления об окружающей нас действительности, о современной естественнонаучной картине мира.

Целью освоения дисциплины «Концепции современного естествознания» является повышение общего кругозора, культурного и образовательного уровня, формирование научного мировоззрения студентов-гуманитариев на основе знаний современных естественнонаучных представлений об окружающем мире.

Основными **задачами** дисциплины являются:

- передача студентам знаний о фундаментальных законах природы и методах естественнонаучных исследований;
- осознание диалектического единства и целостности окружающего мира, несмотря на внешнее многообразие его форм;
- формирование представлений об иерархической сложности мира, не позволяющей применять единый подход к его описанию на разных уровнях организации;
- знакомство с основными законами и концепциями, адекватно описывающими природные явления внутри каждого иерархического уровня в их взаимосвязи и взаимовлиянии;
- достижение понимания значения естественнонаучных знаний для деятельности по охране окружающей среды, рациональному использованию её ресурсов, сохранению и развитию цивилизации.

Реализация перечисленных задач данной дисциплины позволит студентам приобрести знания об объективном мире в разных областях естествознания, которые помогут молодому специалисту в его дальнейшей деятельности понять и выявить причинно-следственные связи между свойствами, строением и функциями материальных объектов, а также механизмами явлений и процессов природного и антропогенного происхождения.

Следует заметить, что хотя дисциплина «Концепции современного естествознания» первоначально предназначалась только для гуманитарных направлений подготовки бакалавриата, однако благодаря своей мировоззренческой составляющей, этот курс привлекает к себе внимание и некоторых вузов естественнонаучного, педагогического, технического, технологического профилей, которые также включают его в свои учебные программы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- историю и логику развития естественных наук;
- соотношение естественных и гуманитарных наук в познании законов и механизмов процессов, действующих в окружающем мире;
- роль естествознания в разработке общенаучной картины мира и формировании мировоззренческой позиции;
- основные этапы развития естественнонаучных представлений об окружающем мире;
- предметные области естественных наук;
- основные разделы естествознания, законы развития природной среды и их влияние на общество;
- основные концепции современного естествознания;
- основные достижения науки в разработке адекватной картины мира.

Уметь:

- совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень;
- применять естественнонаучные знания для объяснения предметов и явлений окружающего мира;
- давать материалистическую трактовку природных явлений, происходящих на разных уровнях организации материи;
- учитывать ограничения предметных областей естественных наук при объяснении явлений окружающей среды.

Владеть:

- основным понятийным аппаратом естественных наук;
- навыками библиографической работы с учетом специфики предметных областей и основных естественнонаучных концепций;
- теорией и методами познания явлений действительности в их диалектическом развитии;
- навыками естественнонаучного объяснения картины мира.

1. ЗНАНИЕ И НАУКА (основные определения и понятия)

Прежде всего следует ознакомиться с некоторыми понятиями, которыми оперирует наука. Начнем с тех, которые входят в название данной дисциплины.

Концепция – система взглядов на какие-то явления, процессы. Или концепция – это основополагающая идея, которой руководствуются при рассмотрении явления, процесса, какого-то объекта. Например, концепция атомизма (Демокрит 5 в. до н.э.), концепции корпускулярно-волнового дуализма света, материи, концепция «Большого взрыва» и т.д.

Естествознание – совокупность наук о явлениях, объектах и процессах, действующих в природе.

Наука в целом – это сфера человеческой деятельности, результатом которой является получение объективных знаний о действительности.

Знание – отражение действительности в сознании человека.

Знание подразделяют на обыденное и научное.

Обыденное познание действительности, как и научное, способно дать объективную информацию об объекте, но оно рассматривает лишь внешние связи, в которых участвует объект, оно не ставит целью проникнуть в сущность изучаемого объекта, процесса, явления и не пытается понять действующие законы и механизмы. Последние два положения реализуются, когда мы применяем научное познание.

Цель науки – познание законов и механизмов процессов, действующих в окружающем мире.

Закон – существенное, устойчивое, повторяющееся соотношение между явлениями. Он отражает связь между предметами, явлениями, их составными элементами, свойствами предметов и их элементов.

Существуют законы:

1) природы, которые имеют объективный характер, являются всеобщими для определенного класса явлений. Они реализуются независимо от воли и желания человека. Причем, их практически невозможно нарушить (например, закон всемирного тяготения).

2) нормативные законы, которые устанавливаются людьми, причем в разных обществах они могут быть разными (юридические законы, законы этики...). В принципе, их можно нарушить. (Правостороннее – левостороннее движение)

В рамках данного курса мы будем говорить о законах природы.

Самая высшая и развитая форма организации научного знания – это **научная теория**.

Любая наука развивается по циклическому принципу, что проявляется в смене парадигм. **Парадигма** – исходная (концептуальная) основополагающая теория, господствующая в определенный период развития науки. Например, 1) концепция атомизма: 1 этап – все состоит из атомов и атом не делим (Демокрит 5 в. до н.э.), 2 этап: (1897 г. Томсон) открытие электрона; атом – сложная частица. 2) Стрoение Вселенной: геоцентрическая система Птолемея 2 в. н.э., гелиоцентрическая система Н. Коперника 16 в., Вселенная состоит из огромного числа галактик – современные представления. Смена парадигм.

Каждый цикл развития наук от парадигмы до парадигмы обычно проходит через несколько стадий (особенно это характерно для естественных наук).

1 стадия – сбор эмпирических (опытных) фактов, накопление данных, их систематизация, выдвижение гипотезы,

2 стадия – эмпирическая проверка гипотезы,

3 стадия – построение теории и оформление парадигмы.

Наука в целом – это система различных наук. В современной науке существуют две тенденции:

1) дифференциация, что связано со специализацией отдельных отраслей науки (молекулярная физика, атомная физика, ядерная физика),

2) интеграция – взаимопроникновение методов, понятий, предметов исследования и т.д. (физическая химия, биофизика, биохимия, химическая физика, экология).

Все науки условно делятся на естественные, гуманитарные и технические.

1) **Естественные науки** (естествознание) – науки о Природе. Это совокупность естественных наук (физика, химия, биология, геология, география, астрономия и др.).

Предмет естествознания – различные виды материи, формы и закономерности их движения. Естествознание стремится дать объективную информацию, знания, принимаемые всеми людьми, это – всеобщее знание

2) **Гуманитарные науки** (в переводе с лат. – *человеческий*), напротив, связаны с групповыми ценностями и интересами. Гуманитарные науки – это общественные науки (история, политэкономия, филология, социология и др.) Они имеют отношение к человеку, общественному бытию и сознанию. Даемая ими информация может быть субъективна. (История: разная оценка одних и тех же событий: Великая Октябрьская социалистическая революция – Октябрьский переворот; Итоги второй мировой войны, роль СССР: освобождение – оккупация...)

3) **Технические науки** решают практические задачи. Их результаты работают на производство, помогая ему развиваться.

Естествознание, в отличие от технических наук, нацелено на познание Природы, а не на помощь в её преобразовании.

Особое место в ряду наук занимают философия, математика, логика, которые выполняют интегрирующую роль, предоставляют другим наукам ме-

тоды познания. Кроме того, философия осуществляет мировоззренческую интерпретацию результатов.

Математика, в отличие от естествознания, исследует не природные, а знаковые системы.

Принято различать **фундаментальные** и **прикладные** науки.

Фундаментальные науки имеют целью познание объективных законов природы безотносительно к интересам и потребностям человека. Результаты часто не имеют сиюминутного практического выхода.

Невозможно заранее сказать, когда может пригодиться результат, полученный при решении данной фундаментальной проблемы. Например, Энрико Ферми занимался фундаментальными проблемами – исследованием микро-частиц, но впоследствии именно эти исследования явились основой для создания атомной бомбы. Изучение наследования признаков у мушки дрозофилы (плодовая мушка, легко разводится в неволе, очень плодовита, обладает большой изменчивостью) послужило экспериментальной основой хромосомной теории наследственности, способствовало развитию биотехнологии.

Прикладные науки решают проблемы, интересные обществу в данный момент или в ближайшем будущем, имеют практическое значение. Они занимаются применением результатов фундаментальных исследований для решения социально-практических задач.

С этой точки зрения все технические науки являются прикладными, но не все прикладные науки – технические.

Необходимо отметить, что фундаментальные исследования обеспечивают высокий научный уровень прикладных разработок.

2. НАУЧНАЯ ИСТИНА И ЕЁ КРИТЕРИЙ

Как в естествознании, так и в других сферах знания, целью науки является достижение истинного представления об изучаемом объекте.

Истина – это адекватное отражение объекта познания субъектом, воспроизведение его таким, каким он существует сам по себе, вне и независимо от человека и его сознания, как объективная реальность.

В науке признается истиной то положение, которое подтверждается воспроизводимым опытом. **Основной принцип естествознания** утверждает, что знания о Природе должны допускать эмпирическую (опытную) проверку, т.е. **критерием истины** является опыт, эксперимент. Причем, любая научная истина относительна, но содержит элемент абсолютного. Например, Галилей сформулировал «Принцип относительности», когда рассматривал движение объектов с земными скоростями. На том этапе он постиг научную истину. Однако когда стали изучать объекты, перемещающиеся со скоростями, близкими к скорости света, оказалось, что этот принцип не выполняется. А. Эйнштейн создал «Теорию относительности». Теперь эта теория рассматривается как научная истина. Принцип Галилея теперь является частным случаем теории относительности. Возможно, что в будущем будет пересмотрена и теория Эйнштейна.

Истинность наших знаний ограничена. Тому существуют объективные и субъективные причины.

Объективные причины: 1) изменчивость и сложность самого окружающего мира,

2) несовершенство технических средств, с помощью которых мы изучаем действительность.

Субъективные причины: 1) несовершенство органов чувств человека,

2) несовершенство интеллектуальных способностей человека

3. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Для того, что бы получить истинные знания об изучаемом объекте, мы должны использовать определенные методы. Если объект изучен разными методами и мы пришли к одному и тому же результату, то это уже может в определенной степени свидетельствовать об истинности полученного результата.

Метод можно определить как способ решения конкретной задачи, т.е. это совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения действительности.

Методы научного познания имеют некоторые особенности:

а) они в определенной степени универсальны, независимы от типа проблемы, например, классификация в физике, биологии, истории,

б) они в большой степени зависят от уровня и от глубины научных исследований.

В ходе научного познания действительности выделяют эмпирический и теоретический **уровни** познания.

Эмпирическое исследование предполагает получение фактических данных об объекте, их первичную обработку, классификацию, первичное обобщение (первичную интерпретацию).

Теоретический уровень познания связан с объяснением полученных данных (т.е. с установлением причинно-следственных и вероятностных связей), с выдвижением гипотез, с открытием новых законов, с созданием теорий, с предсказанием новых фактов в рамках этих теорий.

Методы, применяемые на эмпирическом уровне исследования (их три)::

1) наблюдение – целенаправленное восприятие объектов, явлений, процессов без вмешательства в предмет исследования,

2) измерение – получение количественных характеристик объекта, т.е. сравнение объектов по каким-либо параметрам с образцом (мерой).

3) эксперимент – наблюдение за объектом в специально создаваемых и контролируемых условиях, что позволяет вмешиваться в изучаемый объект, восстанавливать ход явления, процесса при повторении условий. Часто эксперимент включает в себя и измерение.

Д.И. Менделеев: «Наука началась тогда, когда люди научились мерить».

Методы, применяемые на теоретическом уровне исследования:

1) абстрагирование – вычленение и рассмотрение в процессе познания объекта какого-то одного его свойства или связи и отвлечение от других свойств или связей данного объекта,

2) моделирование – изучение объекта путем создания и исследования его упрощенной копии (модели), замещающей оригинал с определенной стороны, интересующей исследователя. Пример: модель атома водорода – ядро (протон), электрон.

Существуют физическое моделирование, химическое моделирование, математическое моделирование. С последним тесно связан следующий метод – формализация

3) формализация – построение абстрактно-математических моделей, раскрывающих сущность изучаемых объектов (уравнения, графики, диаграммы)

4) дедукция (построение выводов о частном на основе познания общего),

5) индукция (от частного к общему),

6) классификация,

7) аналогия,

8) обобщение и др.

На разных этапах развития науки использовали разные методы. Например, от древних времен до 16–17 вв. – наблюдение, умозаключение (не раскрывалась сущность). Затем – эксперимент.

4. МАТЕРИЯ, ЕЁ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Для описания природы, законов, действующих в ней, наука использует фундаментальные категории: материя, движение, пространство, время, отражение и т.д.

Все, что окружает нас и мы сами – есть **материя**. Научное понятие «материя» формулируется следующим образом:

Материя – это философская категория, служащая для обозначения объективной реальности, которая существует независимо от наших ощущений и отражается непосредственно нашими органами чувств или через специальные приспособления.

Содержание этого понятия менялось: до середины 19 в. материя \equiv вещество, М. Фарадей ввел представление о поле.

4.1. Вещество и поле

На данном этапе развития науки считают, что материя представлена в виде вещества и поля.

Вещество – вид материи, совокупность дискретных (прерывных) образований, обладающих массой покоя (атомы, молекулы и то, что из них построено)

Поле – особая форма материи, передающая взаимодействие между телами, а также частицами, из которых состоит вещество.

4.2. Виды полей

Принято различать следующие виды полей:

Гравитационное – передает взаимодействие между телами, обладающими массой (закон всемирного тяготения $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$)

Электрическое поле – передает взаимодействие между заряженными частицами. Частный случай – электростатическое поле, т.е. между неподвижными зарядами (закон Кулона $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{R^2}$, ϵ – диэлектрическая проницаемость)

Магнитное поле – возникающее при движении зарядов. Оно воздействует на движущийся заряд с силой, пропорциональной величине заряда и скорости движения.

Электромагнитное поле – поле, состоящее из двух компонентов, т.е. в одной точке пространства присутствует и магнитное и электрическое поле. Полная энергия его равна их сумме. Электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде поперечных электромагнитных волн с конечной скоростью (в вакууме – 300000 км/с).

Поле **ядерных сил** – физическое поле, особенностью которого является то, что оно воздействует на микрочастицы в пределах атомного ядра, т.е. оно очень короткодействующее.

Существуют поля, связанные с определенными элементарными частицами. Например, глюонное поле (взаимодействие между кварками, из которых состоят протоны и нейтроны).

4.3. Движение – атрибут материи. Классификация видов движения

Неотъемлемым свойством материи, т.е. её **атрибутом** является движение.

В настоящее время под **движением** понимают любые изменения, происходящие с объектом (а не только перемещение в пространстве).

Движение материи многообразно и существует в различных формах. Но все виды движения можно объединить в три группы:

1) движение в неживой природе

- Перемещения в пространстве – механическая форма движения
- Изменения, касающиеся превращения одних ядер или элементарных частиц в другие – это физическая форма движения,
- Изменения в электронных оболочках атомов, происходящие в ходе химических реакций – это химическая форма движения.

2) Движение в живой природе (обменные процессы, саморегуляция, самовоспроизводство и т.д.)

3) Движение в обществе.

5. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

5.1. Натурфилософия

История естествознания, как и история человечества, может быть представлена, состоящей из отдельных этапов. Период от древнейших времен до середины XVI – начала XVII вв. делится в соответствии с принятыми веками в развитии европейской цивилизации на Античность (VI в. до н.э. – V в. н.э.), Средние века (VI–XIV вв.), Возрождение (XV–XVI вв.). В это время еще только происходило накопление знаний об отдельных явлениях природы, возникали первые физические учения. Его принято называть предысторией естествознания.

Особенности природы ученые эпохи античности и средневековья объясняли на основе общих философских представлений и принципов, которые были объединены понятием «**натурфилософия**» (*философия природы*. Философия – система идей, взглядов на мир, на место в нем человека). Ее основоположники строили свои представления о природных объектах, явлениях и процессах на основе гипотез и предположений, т.е. натурфилософия – умозрительное истолкование природы. Она была основана на концепции единства, целостности природы, на идее о происхождении всех вещей из какого-то единого начала (например, Аристотель: из земли, воздуха, воды, огня), на идее о всеобщей одушевленности материи.

Европейская наука ведет свое начало от греческой культуры. Все античные философы были естествоиспытателями. Пифагор, Демокрит, Платон, Аристотель, Архимед. Основными методами научного познания на этом этапе были наблюдения и умозаключения. При этом часто не раскрывалась сущность исследуемых процессов и явлений. Введение и развитие экспериментальных методов исследования к концу эпохи Возрождения привело к отказу от многих принципов натурфилософии, к вычленению из знания о природе отдельных естественных наук.

Первая научная школа развития естествознания сложилась к середине VI века до н.э. Основатель – **Пифагор** (584–500 гг. до н.э.). Он и его ученики заложили основные принципы арифметики, основы теории чисел (четное – нечетное, делимость, понятия среднего арифметического и геометрического). Теорема Пифагора: в прямоугольном треугольнике квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов.

Земля – шар. Солнечное затмение – результат прохождения Луны между Солнцем и Землей. Смена времен года – следствие наклон земной орбиты.

Пифагор – основатель теории музыки. Математически описал музыкальные интервалы (например, октава – удвоение частоты). Считал, что свойства любого предмета или явления имеют определенную меру, которая может выражаться числом.

Демокрит (460–370 гг. до н.э.) высказал гениальную догадку об атомизме. Все состоит из мельчайших частиц – атомов. Они не возникают и не погибают, непроницаемы, неделимы, нейтральны. Различаются величиной, формой, определенным расположением и порядком.

Аристотель (384–322 гг. до н.э.) – величайший ученый древности. Занимался вопросами философии, логики, психологии, естествознания, техники, этики, эстетики. Число написанных им работ приближается к тысячи. Он был воспитателем Александра Македонского, создал собственную школу – Ликей.

В отличие от Демокрита он построил континуальную (непрерывную) картину мира (противоположную дискретной, атомистической). Каждая отдельная вещь есть соединение материи и формы, а сама материя – хаотическая субстанция.

Им написаны книги «Физика» в 8-ми томах, «О небе» в 4-х, «О небесных явлениях» (метеорологика), «О частях животных». «О движении животных», «О происхождении животных».

В натурфилософии Аристотеля фундаментальное место занимает учение о движении как изменении в пространстве. Движение он делит на 3 вида: круговое, естественное и насильственное. Круговое движение – самое совершенное, присущее небесному миру, его причина – Бог. Естественное движение – движение тяжелого тела вниз к центру Земли и легкого – вверх. Все остальные движения (насильственные) происходят под действием внешних сил.

Аристотеля называют крестным отцом физики

В области космологии он, как и впоследствии **Птолемей** (90–160), разделял геоцентрические представления.

Эвклид (3 век до н.э.) древнегреческий математик. Главный научный труд – «Начала» (15 книг): элементарная геометрия на плоскости (планиметрия) и в пространстве (стереометрия), работы по астрономии, оптике.

Архимед (287–212 гг. до н.э.) Закон о рычагах («дайте точку опоры...»), число $\pi=3,14$, формулы для вычисления площадей и объемов тел. Сформулировал закон Архимеда, лежащий в основе современной гидро- и аэростатики. (На тело, погруженное в жидкость (газ) действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости (газа)).

5.2. Механистическая картина Мира (механистическая концепция)

Другим важнейшим этапом формирования естественнонаучной картины Мира, причем, более близким к современному естествознанию, чем натурфилософия, является так называемая **механистическая** картина Мира. Её становление происходило благодаря исследованиям

- **Коперника** (1473–1543) – великого польского астронома, автора гелиоцентрической системы,

- **Кеплера** (1571–1630) – немецкого астронома, открывшего законы движения планет, приливы–отливы – воздействие Луны. Третий закон Кеплера: квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца соотносятся между собой как кубы их средних расстояний от Солнца,

- **Галилея** (1564–1642) – итальянского ученого, основоположника экспериментальных методов исследования; 1609 г.– телескоп с 32-х кратным увеличением: открыл кратеры и горы на Луне, пятна на Солнце, Млечный

путь, спутники Юпитера; исследовал свободно падающие тела (Пизанская башня), нашел величину ускорения свободного падения $g=9,8 \text{ м/с}^2$; сформулировал принцип относительности Галилея, а также

- **Ньютона** (1643–1727) – выдающегося английского ученого, основоположника современной механики.

Как уже отмечалось движение – неотъемлемое свойство материи. Проблемы движения интересовали еще философов древности. Но они обращались к движению исключительно как к перемещению тел в пространстве. Эту форму движения изучает наука – **механика**, которая получила особо бурное развитие в 17 веке в работах Галилея, Ньютона и других. Уже в те годы возникло понимание, что для рассмотрения любого механического движения необходимо выбрать точку отсчета, т.е. движение всегда относительно.

5.2.1. Законы механики

Механическое движение тела – это изменение с течением времени его положения по отношению к другим телам (по отношению к системе отсчета). Рене **Декарт** (1596–1650) предложил для описания положения тела в пространстве использовать прямоугольную (декартову) систему координат.

Галилей, изучая механическое движение, пришел к выводу, что если внешние причины ускорения или замедления устранить, то движение по горизонтальной плоскости будет вечным.

Впоследствии Ньютон сформулировал 1-й закон механики: если на тело не действуют внешние силы (либо они уравновешены), то оно сохраняет состояние покоя, либо прямолинейного равномерного движения относительно неподвижной системы координат.

2-й закон: ускорение, приобретаемое телом, пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе тела. ($a = F/m$)

3-й закон: всякое действие материальных тел друг на друга носит характер взаимодействия, а силы, с которыми действуют тела друг на друга, всегда равны по абсолютной величине, но направлены противоположно.

4-й закон (закон всемирного тяготения) устанавливает количественную зависимость силы притяжения от масс взаимодействующих тел и от квадрата расстояния между ними.

Основу механистической концепции составляют законы Ньютона и принцип относительности Галилея.

5.2.2. Принцип относительности Галилея

(«механический принцип относительности»)

Галилей сформулировал принцип относительности, который относится к так называемым **инерциальным** системам, т.е. системам, которые находятся либо в состоянии покоя относительно друг друга, либо прямолинейного равномерного движения.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета: **K** (с координатами x, y, z) и **K'** (с координатами x', y', z'), движущуюся относительно **K** (вдоль оси x) с постоянной скоростью U (рис. 1).

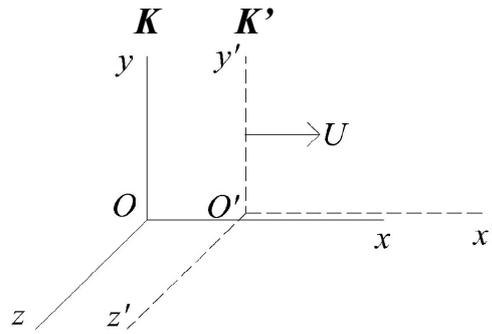


Рис 1. Прямоугольные инерциальные системы координат

В инерциальных системах существуют **инвариантные параметры** – неизменяющиеся в разных инерциальных системах отсчета. Например, в инерциальных системах «станция – равномерно и прямолинейно движущийся относительно неё вагон», или «берег реки – пароход» такими инвариантными параметрами будут время, размеры тела, масса, ускорение.

$$\begin{aligned} t' &= t \\ l' &= l \\ m' &= m \\ a' &= a \end{aligned}$$

Эти параметры инвариантны, т.е. не меняются при переходе от одной инерциальной системы к другой. Пространство и время независимы и имеют абсолютный характер.

Но координаты точки (x, y, z) и скорость не являются инвариантными параметрами.

В таких системах справедливы **преобразования Галилея**:
(Полагаем, что при $t=0$ начала координат O и O' совпадают)

$$\begin{array}{ll} \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{K}' & \mathbf{K}' \rightarrow \mathbf{K} \\ x' = x - U t & x = x' + U t \\ y' = y & y = y' \\ z' = z & z = z' \\ t' = t & t = t' \end{array}$$

Пример. В вагоне бросили мяч и он летит со скоростью V' в направлении движения вагона. Скорость вагона U . Тогда для наблюдателя в вагоне скорость мяча будет оставаться V' , а для наблюдателя находящегося вне вагона (на станции) она равна $V = V' + U$ – правило сложения скоростей.

Но и в первой, и во второй системах отсчёта второй закон Ньютона $F=ma$ выполняется совершенно одинаково.

Принцип относительности Галилея или принцип относительности механики заключается в следующем: во всех инерциальных системах отсчета все механические явления протекают одинаково. Или его можно сформулировать иначе: никакими механическими опытами невозможно определить, находится ли система в прямолинейном равномерном движении, или в состоянии покоя. (Движение можно обнаружить, только если появится ускорение).

5.2.3. Основные особенности механистической картины Мира

Основные особенности механистической картины Мира можно сформулировать следующим образом:

1. Движение представляет собой простое механическое перемещение, а законы движения являются фундаментальными законами мироздания.
2. И макромир, и микромир подчиняются одним и тем же механическим законам, что означает универсальность механистической концепции.
3. Для описания механического движения необходимо и достаточно знать координаты тела, его скорость и уравнение его движения в некоторый момент времени. При этих условиях можно всегда точно определить положение тела в любой другой момент времени (то есть как в прошлом, так и в будущем).
4. Все механические процессы подчиняются принципу детерминизма (причинности), то есть из картины Мира исключается случайность.
5. Тела движутся равномерно и прямолинейно, а причиной отклонения от такого движения является действие на них внешней силы.
6. Взаимодействие между телами происходит мгновенно на любом расстоянии, то есть воздействие может передаваться в пустом пространстве и с какой угодно скоростью; это проявляется в т.н. **принципе дальности действия** (Рене Декарт)
7. Механистической концепции соответствует дискретная (или корпускулярная) модель реальности. Материя представляет собой вещественную субстанцию, состоящую из атомов или корпускул, которые неделимы, непроницаемы и характеризуются наличием массы.
8. Пространство трехмерно, постоянно и не зависит от свойств материи; время также не зависит ни от пространства, ни от материи. Пространство и время непосредственно не связаны с движением тел, то есть имеют абсолютный характер.

5.3. Электромагнитная концепция

Во второй половине XIX в. на смену механистической концепции стала приходить другая, получившая название **электромагнитной** концепции.

Электрические и магнитные явления были известны давно, еще в древние века. Однако взаимосвязь между этими физическими явлениями была установлена только в XIX в. Тогда были сделаны фундаментальные выводы о том, что кроме сил гравитации, существуют еще и электромагнитные силы, и начало складываться представление об электромагнитном поле.

5.3.1. Электромагнитное поле

Основной вклад в разработку электромагнитной концепции внесли английские физики Майкл **Фарадей** (1791–1867) и Джеймс Кларк **Максвелл** (1831–1879).

Еще с древних времен было известно, что некоторые материалы (например, янтарь), потертые о шерсть, приобретают способность притягивать легкие предметы. Они электризуются. Тела при этом приобретают электриче-

ские заряды. Несмотря на огромное разнообразие веществ, в природе существует только два типа электрических зарядов: заряды, подобные возникающим на стекле, потертом о кожу (их назвали положительными), и заряды, подобные возникающим на эбоните, янтаре, потертом о мех, шерсть (их назвали отрицательными). Одноименные заряды друг от друга отталкиваются, разноименные – притягиваются.

Опытным путем американский физик Р **Милликен** (1868–1953) показал, что электрический заряд **дискретен**, т.е. заряд любого тела составляет целое кратное от **элементарного электрического заряда** ($e=1,6 \times 10^{-19}$ Кул.). Таким зарядом обладают электрон и протон, являющиеся носителями элементарных зарядов, отрицательного и положительного, соответственно.

Фарадей показал качественную тождественность всех видов электричества: «электричества трения», «гальванического», «термоэлектричества», открытого им «магнитного электричества». Он установил фундаментальный закон природы – закон **сохранения заряда**: алгебраическая сумма электрических зарядов любой замкнутой системы (т.е. не обменивающейся зарядами с внешними телами) остается неизменной, какие бы процессы ни происходили внутри этой системы.

Фарадей явился основоположником учения об электрическом и магнитном полях, первым предложив понятие «поле». Он утверждал, что действие электрического и магнитного полей передается через материальную среду – «мировой эфир». Он высказал мысль о колебательном характере и конечной скорости распространения электрической и магнитной энергии. По мнению А. Эйнштейна, идея **поля** является самым важным открытием со времен Ньютона. У Ньютона и его последователей пространство выступало как пассивноеместилище тел и электрических зарядов, а у Фарадея оно принимало участие в явлениях. Т.о. понятие сил, мгновенно действующих на любом расстоянии, заменяется новым фундаментальным понятием – понятием поля. С этого времени материя стала выступать не только в форме вещества, но и форме поля, понимаемого как объективная реальность.

Максвелл завершил работы Фарадея и создал теорию электромагнитных процессов, подобно Ньютону, завершившему работы Галилея в механике и создавшему механистическую картину Мира.

Максвелл показал, что переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле. В свою очередь, переменное магнитное поле порождает электрическое поле. Т.о. электрические и магнитные поля неразрывно связаны друг с другом и образуют единое электромагнитное поле. Обобщив найденные из опыта закономерности электрических и магнитных явлений на основе концепции поля, Максвелл записал дифференциальные уравнения, описывающие эти явления, получившие название **уравнений Максвелла**, переводя таким образом идеи Фарадея о поле на язык математики и создав теорию электромагнетизма. Наука о свойствах и закономерностях поведения особого вида материи – **электромагнитного поля**, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрически заряженными телами, называется **электродинамикой**.

Дальнейшее развитие этой теории привело Максвелла к выводу об электромагнитной природе света. Из уравнений Максвелла следовала возможность рассматривать свет как электромагнитное возбуждение. Это позволило объединить такие две, казалось бы разные области физики, как оптику и электромагнетизм, в одну, полагая оптику разделом электродинамики.

Развитие электромагнитной теории углубило её противоречия с классической механикой и привело к пересмотру основных положений физики. Это была вторая после ньютоновской фундаментальная физическая теория.

Согласно современной научной картине мира, энергия электромагнитного поля распространяется в окружающем пространстве в виде поперечных электромагнитных волн. Векторы напряженности электрических и магнитных компонентов электромагнитного поля совершают колебания во взаимно перпендикулярных плоскостях и в одной фазе. Скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве (в вакууме, приближенно и в воздухе) является, максимально возможную скорость передачи энергии в природе и равна: $C = 300.000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

5.3.2. Концепция дальнего действия и ближнего действия

Очень важным является вопрос о том, как осуществляется взаимодействие вещества через пространство. Долгое время считалось, что взаимодействие может осуществляться непосредственно через пространство, которое не принимает участия в передаче взаимодействия, и эта передача происходит мгновенно. Такое предположение составляет сущность концепции **дальнего действия** (Рене Декарт).

Однако было показано, что взаимодействие электрически заряженных тел осуществляется не мгновенно. Каждая заряженная частица создает электромагнитное поле, действующее на другие заряженные частицы, т.е. взаимодействие передается через «посредника» – электромагнитное поле. Скорость распространения электромагнитного поля равна скорости света (являющегося частным случаем электромагнитного поля) = 300.000 км/с. Это составляет сущность новой концепции – **концепции ближнего действия**. Причем, эта концепция применима не только к электромагнитному, но и другим видам взаимодействия.

Согласно концепции ближнего действия, взаимодействие между телами осуществляется посредством тех или иных полей (например, тяготение – посредством гравитационного поля). Взаимодействие передается в пространстве через поле (от точки к точке) с конечной скоростью. Например, свет от Солнца до Земли (149,6 млн. км) доходит ~ за 8 мин (т.е. мы видим, что было на Солнце 8 минут назад).

5.3.3. Волновые и корпускулярные свойства света.

Концепция корпускулярно-волнового дуализма света

Вопрос о природе света в течение длительного времени был предметом научных дискуссий. В конце XVII в. почти одновременно были предложены две, казалось бы взаимоисключающие теории света.

И. Ньютон предложил теорию, согласно которой свет – поток световых частиц (корпускул), летящих от светящегося тела по прямолинейным траекториям.

Голландский ученый **Х. Гюйгенс** (1629–1695) выдвинул волновую теорию, которая рассматривает свет как упругую волну (волны – возмущения, распространяющиеся с конечной скоростью в пространстве и несущие с собой энергию без переноса вещества)

Волны могут распространяться в упругой среде. Гюйгенс предположил, что все пространство (в том числе и вакуум) заполнено особой упругой средой – «мировым эфиром» – всепроникающей средой, которая не увлекается телами при их движении через эфир, а остается в покое. В эфире и распространяются волны света.

Однако вплоть до начала XIX века в науке господствовала корпускулярная теория Ньютона. Но в 1800 г. английский физик **Томас Юнг** (1773–1829) опубликовал свою первую работу, направленную против корпускулярной теории. В ней он показал превосходство волновой теории в объяснении явлений отражения и преломления света. Затем (1801 г.) он объяснил явление **интерференции**. Это явление можно наблюдать, если на пути распространения света поставить преграду с двумя щелями. В этом случае на экране, расположенном за щелями, можно наблюдать несколько линий. Их положение легко объяснимо исходя из волновой теории: в результате прохождения лучей через два отверстия за диафрагмой распространяются световые волны. Если гребень одной волны совпадает с гребнем другой, то происходит усиление, дающее яркую линию на экране. Когда гребень волны совпадает с впадиной другой волны, то происходит их ослабление и на экране наблюдается темная полоса.

В течение XIX века было проведено много экспериментальных работ по изучению природы света, которые подтверждали правильность волновой теории. После создания электромагнитной теории на смену упругим световым волнам пришли электромагнитные волны. К концу XIX–началу XX века в научном мире считалось твердо установленным, что свет имеет волновую природу, точно так же, как за сто лет до этого мало кто сомневался в его корпускулярном характере (хороший пример перехода от одной парадигмы к другой)

Данные, свидетельствующие о **волновых свойствах** света:

1. **интерференция** света – заключается в том, что при взаимном наложении двух волн может происходить усиление или ослабление колебаний (Т. Юнг, 1801 г.)
2. **дифракция** – отклонение света от прямолинейного направления распространения, огибание различных препятствий, отклонение от законов распространения света, описываемых геометрической оптикой (Френель, Пуассон)
3. **дисперсия** света – зависимость скорости распространения света в среде от длины волны (частоты) (Ньютон)

(В вакууме скорость света одинакова для света с любой длиной волны – 300 тыс. км/с, в среде она уменьшается на величину показателя преломления, который в среде зависит от длины волны).

Таким образом, среди физиков возникло чувство завершенности теории. Казалось, что классические области физики, такие, как механика и электродинамика, были способны объяснить все наблюдаемые явления и поэтому не было новых объектов, требующих изучения.

Затем неожиданно были сделаны экспериментальные открытия огромной важности: немецкий физик Вильгельм **Рентген** (1845–1923) в 1895 г. открыл X-лучи, французский физик Антуан **Беккерель** (1852–1908) – явление радиоактивности (1896 г.), английский физик Джозеф **Томсон** (1856–1940) в 1897 г. открыл электрон. Стали накапливаться экспериментальные факты, которые нельзя было объяснить в рамках известных на тот момент научных представлений.

Что касается света, то наряду с экспериментальными данными, свидетельствующими о его волновой природе, существовали и доказательства корпускулярных свойств света.

Подтверждения **корпускулярных свойства** света:

1. **фотоэффект** – явление испускания электронов веществом под действием электромагнитного излучения.
2. эффект **давления света**.

Таким образом, к этому времени было установлено, что свет имеет двойственную природу, проявляет как волновые свойства, так и свойства, присущие частицам. Это привело к разработке новой **квантовой** теории, которая сейчас проникла практически во все области физики и химии.

В 1900 г. немецкий физик Макс **Планк** (1858–1947) выдвинул идею о том, что излучение света происходит не непрерывно (с любой длиной волны), а дискретно, т.е. определенными порциями (квантами), энергия которых определяется частотой: $E = h\nu$ (h – постоянная Планка).

Это означает, что любая система, способная к лучеиспусканию, должна обладать рядом энергетических состояний, и излучение может иметь место только когда система переходит из одного энергетического состояния в другое. Промежуточных между ними энергетических состояний не существует.

В 1905 г. А. **Эйнштейн** (1879–1955) разработал **квантовую теорию света**, согласно которой не только излучение света, но и его распространение происходит в виде потока световых квантов – **фотонов**. Т.е. электромагнитное излучение состоит из частиц (фотонов). Их энергия определяется формулой Планка $E = h\nu$.

С использованием таких квантовых представлений Эйнштейну удалось объяснить фотоэлектрический эффект (Нобелевская премия 1921 г.): Когда фотон падает на поверхность металла, он передает свою энергию электрону на этой поверхности. Если энергия падающего фотона больше энергии, необходимой для отрыва электрона от поверхности, то будут вылетать фотоэлек-

троны, число которых растет с увеличением интенсивности света. В противном случае фотоэлектроны вылетать не будут.

Квантовые представления объяснили и линейчатые спектры атомов (спектры излучения разреженных газов состоят из отдельных спектральных линий или групп близко расположенных линий, характерных для каждого газа (элемента))

С учетом формулы Планка $E = h\nu$, а также формулы Эйнштейна $E = mc^2$ можно записать: $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$

Эти выражения связывают корпускулярные характеристики излучения (массу, энергию кванта) с волновыми (частота колебаний, длина волны).

Т.о. свет имеет сложную природу – **концепция корпускулярно-волнового дуализма**. Согласно современным представлениям: свет – электромагнитное поле, энергия которого распространяется в пространстве в виде поперечных электромагнитных волн, а его кванты (фотоны) проявляют свойства частиц (корпускул). $c = 300000 \text{ км/с} = 1,08 \cdot 10^9 \text{ км/час}$.

Существование фотонов доказано экспериментально. Фотоны – переносчики электромагнитного поля.

Предполагают существование квантов и у других полей, в частности, у гравитационного поля – **гравитоны**. Они пока не зафиксированы. Гравитационное поле тоже распространяется со скоростью света. В январе 2016 г. заявлено об обнаружении гравитационных волн.

5.3.4. Шкала электромагнитных волн

Электромагнитное взаимодействие занимает первое место по широте и разнообразию проявлений. Все окружающее нас пространство пронизано электромагнитными волнами, свойства которых зависят от длины волны или частоты.

Одним из основных достижений науки и техники XX века является изучение и освоение электромагнитных волн различных диапазонов. Рассмотрим диапазоны электромагнитных волн и их классификацию.

Таблица 1

Шкала электромагнитных волн

Название диапазона ЭМ волн	Длина волны (м) $\lambda = c / \nu$	Частота (Гц) $\nu = c / \lambda$	Основные области применения
Промышленная частота	6×10^6	50	
Радиоволны	$10^3 - 10$	$3 \times 10^5 - 3 \times 10^7$	Радиосвязь
Метровый	$10 - 1$	$3 \times 10^7 - 3 \times 10^8$	Телевидение
СВЧ (дециметровые и сантиметровые волны)	$1 - 10^{-2}$	$3 \times 10^8 - 3 \times 10^{10}$	Радиолокация, космич. связь, технологические процессы

КВЧ (миллиметровые)	$10^{-2} - 10^{-3}$	$3 \times 10^{10} - 3 \times 10^{11}$	Радиолокация, космос, системы управления, биология и медицина
Терагерцовый (субмиллиметровые)	$10^{-3} - 10^{-4}$	$3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{12}$	Связь, биология, медицина
Инфракрасный (ИК)	$10^{-4} - 7,7 \times 10^{-7}$ ($10^5 - 770$ нм)	$3 \times 10^{12} - 3,9 \times 10^{14}$	Тепло, нагревание, медицина
Видимый свет	$7,7 \times 10^{-7} - 3,8 \times 10^{-7}$ ($770 - 380$ нм)	$3,9 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	Повсюду
Ультрафиолетовый (УФ)	$3,8 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-9}$ ($380 - 1$ нм)	$8 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	Медицина, технологии
Рентгеновский	$10^{-9} - 10^{-11}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	Медицина, технологии
Гамма-излучение	$10^{-11} - 3 \times 10^{-14}$ ($<10^{-12}$)	$3 \times 10^{19} - 10^{22}$	Ядерная физика, медицина

Свойства электромагнитных полей в каждой из областей имеют свои особенности.

Самая маленькая λ (самая большая ν) у γ -излучения. Следующая область – рентгеновское излучение. Особенность этих излучений: они несут очень большую энергию, могут проникать через непрозрачные экраны, разрушать встречающиеся на пути молекулы.

Следующая область – УФ (1–380) нм. Это тоже достаточно жесткое излучение. УФ обладает физиологическим действием, убивает микробы.

Область видимого света (380–770) нм – т.е. очень узкий диапазон. Максимальная чувствительность глаза ~ 550 нм.

ИК излучение (тепловое).

Область радиоволн получила широкое применение в различных отраслях науки и техники.

6. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

6.1. Преобразования Лоренца. Специальная теория относительности Эйнштейна

Классическая механика Галилея и Ньютона хорошо описывает движение макротел с малыми скоростями ($\ll C=300000$ км/с $\approx 10^9$ км/час). Но в конце XIX века выяснилось, что выводы классической механики противоречат некоторым опытным данным, полученным при изучении движения быстрых заряженных частиц. Возникли затруднения и при попытках применить меха-

нику Ньютона к объяснению распространения света (скорость света по классическим представлениям должна зависеть от относительной скорости источника и приемника света).

Изучение свойств света привело к выводу, что свет это электромагнитное поле, которое распространяется с определенной конечной скоростью. В XIX веке были сформулированы законы Максвелла, описывающие электромагнитные поля и оказалось, что они не инвариантны, т.е. изменяются при переходе от одной инерциальной системы к другой. Из преобразований Галилея и уравнений Максвелла следует, что оптические и электродинамические явления в движущейся системе должны протекать иначе, чем в неподвижной, что противоречило опытным данным..

Напомним преобразования Галилея, описывающие переход от одной инерциальной системы отсчета к другой:

$$\begin{array}{ll}
 \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{K}' & \mathbf{K}' \rightarrow \mathbf{K} \\
 x' = x - Ut & x = x' + Ut \\
 y' = y & y = y' \\
 z' = z & z = z' \\
 t' = t & t = t' \\
 V' = V - U & V = V' + U
 \end{array}$$

Инвариантные параметры: $t = t'$
 $l = l'$
 $m = m'$
 $a = a'$.

Голландский физик Хендрик А. Лоренц (1853–1928) в 1904 г. предложил преобразования, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны.

Эти преобразования имеют следующий вид:

$$\begin{array}{ll}
 \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{K}' & \mathbf{K}' \rightarrow \mathbf{K} \\
 x' = \frac{x - Ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} & x = \frac{x' + Ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\
 y' = y & y = y' \\
 z' = z & z = z' \\
 t' = \frac{t - \frac{U}{C^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} & t = \frac{t' + \frac{U}{C^2}x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}
 \end{array}$$

где $\beta = \frac{U}{C}$

Закон сложения скоростей с учетом преобразований Лоренца можно за-

писать следующим образом: $V = \frac{V' + U}{1 + \frac{V'U}{C^2}}$

Сам Лоренц не придавал этим преобразованиям какого-либо физического смысла, а рассматривал их лишь как математические соотношения, упрощающие уравнения Максвелла.

Однако Эйнштейн увидел в этих соотношениях отражение особых свойств пространства и времени. Основываясь на преобразованиях Лоренца, он создал (1905 г.) **специальную теорию относительности** (релятивистскую теорию), описывающую свойства пространства-времени в приближении, когда можно пренебречь полями тяготения.

В основе релятивистской теории Эйнштейна лежат два постулата.

1) Скорость света в вакууме постоянна ($C = 300.000$ км/с) и не зависит от скорости движения источника и приемника света.

Этот постулат Эйнштейна базировался на ряде экспериментальных данных и, прежде всего, – на опыте, проведенном в 1881 г. (и многократно повторенном в последующие годы) американским физиком А. Майкельсоном (1852–1931), безуспешно пытавшимся обнаружить различия в скоростях двух лучей света от одного источника, распространявшихся вдоль направления движения Земли вокруг Солнца (~ 30 км/с) и перпендикулярно ему. Результаты опыта свидетельствовали о том, что движение Земли никак не влияет на распространение света и правило сложения скоростей классической механики не выполняется в приложении к электромагнитным явлениям (Нобелевская премия 1907 г.). Постоянство скорости света – фундаментальное свойство природы, которое констатируется как опытный факт.

2) Не только механические, но и оптические (т.е. электромагнитные) явления во всех инерциальных системах отсчета протекают одинаково. Все инерциальные системы отсчета совершенно равноправны.

В инерциальных системах ни механическими, ни оптическими (электромагнитными) опытами нельзя установить, находится ли система в состоянии покоя, или прямолинейного равномерного движения. Таким образом, принцип относительности Галилея распространяется на оптические и электродинамические явления.

Как следует из преобразований Лоренца, пространственные и временные параметры не являются независимыми, поскольку в закон преобразования координат входит время, а в закон преобразования времени – пространственные координаты. Т.е. пространство и время взаимосвязаны и представляют собой единую систему «пространство-время».

При $U > C$ выражения для координат и времени вообще теряют физический смысл (становятся мнимыми), что указывает на то, что движение со скоростью, большей скорости света в вакууме (C), невозможно.

Если $U \ll C$, то эти соотношения переходят в классические преобразования Галилея.

Эйнштейн утверждал, что для двух инерциальных систем не существует абсолютных времени, длины, массы. В каждой системе они свои.

Покажем это.

1) Рассмотрим две инерциальные системы K и K' .

Пусть система K' движется вдоль оси x . В начальный момент времени, когда начала координат совпадают ($t = t' = 0$), излучается световой импульс со скоростью C в направлении вдоль оси x .

За время t в системе K сигнал дойдет до точки A , пройдя расстояние $x = Ct$.

В системе K' координату светового импульса в момент достижения точки A обозначим $x' = Ct'$.

Вычтем из первого второе:

$$x - x' = C(t - t')$$

Так как x' не равен x ($x' < x$) то и не равны t' и t .

$t' < t$. В движущейся системе время течет медленнее.

Таким образом, отсчет времени в системах K и K' различен, имеет относительный характер, в то время, как в классической физике, считается, что время во всех инерциальных системах отсчета течет одинаково, т.е. $t' = t$.

2) При движении тел их длина в направлении движения уменьшается.

Пусть в системе K' имеется стержень, который неподвижен относительно этой системы, но двигается вместе с ней относительно системы K . Его длина $l' = x'_2 - x'_1$, где x'_1 и x'_2 – не изменяющиеся со временем t' координаты начала и конца стержня.

Определим длину этого стержня в системе K , относительно которой он движется вместе с K' со скоростью U . Для этого необходимо измерить координаты его концов x_1 и x_2 в системе K в один и тот же момент времени t .

$$l = x_2 - x_1$$

$$l' = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - Ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{x_1 - Ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = l \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$l' > l$$

Наибольшую длину тело имеет в той системе отсчета, по отношению к которой оно покоится (собственная длина, обозначим индексом «о»). Длина движущегося тела l связана с собственной длиной l_o' соотношением:

$$l = l_o' \sqrt{1 - \beta^2}, \quad l < l_o'$$

То есть, если система движется прямолинейно и равномерно со скоростью, близкой скорости света, по отношению к неподвижной системе, то в неподвижной системе отсчета размер движущегося тела вдоль направления движения будет восприниматься как меньший, чем при измерении в системе, по отношению к которой он неподвижен. Поперечные размеры тела не зависят от скорости его движения и одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

3) Длительность событий в разных системах отсчета.

Пусть в некоторой точке (с координатой x), покоящейся относительно системы K , происходит событие, длительность которого (т.е. разность пока-

заний часов в конце и начале события) равна: $\tau = t_2 - t_1$ (индексы 1 и 2 соответствуют началу и концу события).

Длительность этого же события в системе K' , двигающейся относительно K : $\tau' = t_2' - t_1'$, причем,

$$t_1' = \frac{t_1 - \frac{U}{C^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad t_2' = \frac{t_2 - \frac{U}{C^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

$$\text{Тогда} \quad \tau' = t_2' - t_1' = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Т.о., $\tau < \tau'$. Длительность события, происходящего в некоторой точке, наименьшая в той инерциальной системе отсчета, относительно которой эта точка неподвижна, а в быстродвижущихся системах событие длится дольше, т.е. время как бы течет медленнее (часы идут медленнее).

Замедление хода часов становится заметным лишь при скоростях, близких к скорости света.

Релятивистский эффект замедления хода часов получил экспериментальное подтверждение при изучении нестабильных самопроизвольно распадающихся элементарных частиц. В космических лучах в верхних слоях атмосферы (~ 30 км) образуются очень короткоживущие частицы. Например, пи-мезоны (или пионами) имеют собственное время жизни 10^{-8} с. За это время, двигаясь даже со скоростью, почти равной скорости света, они могут пройти не более 3 м. Но приборы на Земле их регистрируют. Они проходят путь, равный 30 км, т.е. в 10000 раз больше, чем для них возможно. Теория относительности объясняет это тем, что 10^{-8} с является естественным (собственным) временем жизни мезона, измеренным по часам, движущимся вместе с ним, т.е. покоящимся по отношению к нему. Но в системе отсчета Земли время жизни мезона, двигающегося относительно Земли, намного больше, и за это время он в состоянии пройти земную атмосферу.

4) Релятивистский закон сложения скоростей.

Пусть тело движется вдоль оси x' со скоростью V' . А система отсчета K' в свою очередь, двигается относительно системы K со скоростью U . Движение этого тела относительно системы K в релятивистской кинематике уже не будет описываться правилом сложения скоростей Галилея ($V = V' + U$). В этом случае преобразования скоростей проводятся по более сложным формулам, согласованным с преобразованиями Лоренца.

$$V = \frac{V' + U}{1 + \frac{V'U}{C^2}}$$

Если скорости V' , U малы по сравнению со скоростью света, то эти соотношения переходят в закон сложения скоростей классической механики, которая, следовательно, является частным случаем механики Эйнштейна для малых скоростей.

Покажем, что релятивистский закон сложения скоростей подчиняется постулату Эйнштейна, утверждающему, что C – максимальная скорость.

Действительно, если $V'=C$, то получим:

$$V = \frac{C+U}{1+\frac{CU}{C^2}} = C$$

Если обе складываемые скорости (V' и U) сколь угодно близки к C , то их результирующая скорость будет не больше C , или равна C . В качестве примера рассмотрим предельный случай $V'=U=C$.

После подстановки в формулу получим $V=C$.

Таким образом, при сложении любых скоростей результат не может превысить скорость света в вакууме. Скорость света в вакууме есть предельная скорость, которую невозможно превысить.

Заметим, что скорость света в какой либо среде, равная C/n (n – показатель преломления среды), предельной величиной не является.

Таким образом из преобразований Лоренца получаются основные эффекты специальной теории относительности:

1) относительность одновременности (события, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, в общем случае не одновременны в другой);

2) замедление течения времени в быстро движущемся теле. Физические процессы в теле, движущемся относительно некоторой неподвижной инерциальной системы отсчета, протекают в $1/\sqrt{1-\beta^2}$ раз медленнее, чем в неподвижной системе отсчета;

3) сокращение продольных (в направлении движения) размеров тел (во столько же раз).

4) существование предельной скорости передачи любых взаимодействий. Максимальная скорость, до которой можно ускорить тело, не может превышать скорость света в вакууме;

5) масса m тела растет с увеличением его скорости U по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (3) \quad , \text{ где } m_0 \text{ – масса покоя тела. } m > m_0.$$

6) самым существенным выводом специальной теории относительности, непосредственно повлиявшим на научно-технический прогресс, стал вывод о взаимосвязи массы и энергии.

Полная энергия свободного тела (на которого не действуют силы) определяется соотношением Эйнштейна $E = mC^2 = \frac{m_i C^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$. (В полную энергию

E не входит потенциальная энергия тела во внешнем силовом поле).

В случае покоящегося тела ($U=0$, $\beta=0$) получаем: $E_0 = m_0 C^2$ – энергия покоя. Это соотношение связывает массу тела (массу покоя) с его энергией покоя. В энергию покоя, как и в полную энергию, не входит энергия тела во

внешнем силовом поле. В классической механике энергия покоя не учитывается, считая, что энергия покоящегося тела равна нулю.

В релятивистской динамике кинетическая энергия T тела с массой m_0 определяется разностью значений полной релятивистской энергии и энергии покоя:

$$T = \frac{m_i C^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 C^2 = m_0 C^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

При малых скоростях, разлагая $(1/\sqrt{\quad})$ в ряд, можно получить классическое выражение для кинетической энергии ($T = m_0 U^2/2$).

Таким образом, теория относительности (релятивистская теория) выявила ограниченность представлений классической физики об «абсолютных» пространстве и времени, неправомерность их обособления от движущейся материи. Она дает более точное, по сравнению с классической механикой, отображение объективных процессов реальной действительности.

Преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея при $U \rightarrow 0$ ($U \ll C$)

6.2. Общая теория относительности (теория тяготения).

Принцип эквивалентности

В настоящее время представление о скорости света в вакууме как о максимальной относительной скорости движения материальных объектов в природе является общепринятым. Однако этому представлению не соответствует закон всемирного тяготения Ньютона, который предполагает мгновенное распространение гравитационного возмущения в пространстве. Пытаясь рассмотреть этот закон с учетом постулатов специальной теории относительности, Эйнштейн разработал релятивистскую теорию тяготения (1916 г.), которую назвал **общей теорией относительности**. Эта теория распространила специальную теорию относительности на ускоренные, т.е. неинерциальные системы. Основные принципы общей теории относительности сводятся к следующему:

- 1) общая теория относительности ограничивает применимость принципа постоянства скорости света областями, где гравитационными силами можно пренебречь. Там где гравитация велика, скорость света замедляется,
- 2) общая теория относительности распространяет принцип относительности на все движущиеся системы, а не только на инерциальные.

Разрабатывая общую теорию относительности (или теорию тяготения), Эйнштейн исходил из экспериментально установленного факта равенства (эквивалентности) инерционной и гравитационной массы.

В классической физике имеют дело с двумя различными понятиями массы:

– во втором законе Ньютона $F=ma$ фигурирует **инерционная** масса $m_{ин}$, которая является мерой сопротивления движению,

– а в закон всемирного тяготения $F = G(m_1 m_2 / R^2)$ входят **гравитационные** массы $m_{гр}$.

Опыт показывает, что они равны друг другу. В классической физике нет теоретического обоснования или объяснения этого равенства. В ней вообще используется единое понятие массы.

Основываясь на равенстве $m_{ин} = m_{гр}$, Эйнштейн сформулировал **принцип эквивалентности**: физически невозможно отличить действие однородного гравитационного поля и «поля», порожденного равноускоренным движением.

Для обоснования этого положения Эйнштейн проводил мысленный эксперимент с лифтом. Пусть кабина лифта находится на земле. Тогда все тела в этой кабине, если их отпустить из рук, падают равноускоренно с ускорением g . Мысленно перенесем кабину лифта в дальний космос (где не действует гравитационное поле Земли) и сообщим ей равноускоренное движение вверх с ускорением g . В этом случае поведение всех тел в лифте будет таким же, как и в первом случае: тела, выпущенные из рук, будут падать на пол с ускорением g . Таким образом, однородное постоянное гравитационное поле эквивалентно равноускоренному движению системы отсчета (в данном случае кабины лифта). Если же лифт будет свободно падать в однородном поле силы тяжести, то поведение всех предметов, находящихся в кабине, будет таким, как если бы на них вообще не действовали какие-либо силы (состояние невесомости).

С учетом этого принципа эквивалентности Эйнштейн проводит следующие рассуждения: пусть через боковое окно в стенке равноускоренно движущегося вверх лифта проникает луч света. Он попадет на противоположную стенку, несколько сместившись вниз относительно точки, расположенной строго напротив входного отверстия, т.е. будет распространяться по искривленной траектории относительно стенок лифта. Тогда в силу принципа эквивалентности, точно также – по искривленной линии – должен распространяться луч света в неподвижном лифте, находящемся в однородном гравитационном поле. По мнению Эйнштейна, это происходит из-за того, что гравитационное поле искривляет само пространство, а луч света по-прежнему стремится распространяться по прямой. Эйнштейн отказался от Евклидова плоского пространства и перешел к более общей концепции – искривленному четырехмерному пространству **Римана** (немецкий математик, 1826–1866). Гравитационное поле искривляет пространство и это искривление определяет законы движения материи. По форме эти законы не похожи на уравнения динамики Ньютона, но переходят в уравнения Ньютона в предельном случае малых скоростей и слабых квазистатических гравитационных полей. В этом случае четырехмерное «пространство-время» становится квазиплоским, удовлетворяющим геометрии Евклида.

В настоящее время специальная теория относительности подтверждена экспериментально. Например, она объясняет увеличение массы электрона при его движении со скоростью порядка скорости света. Эквивалентность

массы и энергии также экспериментально доказана в ядерной физике. Что касается общей теории относительности, то не все физики пока считают достаточно убедительными факты, приводимые в её пользу (например, отклонение светового луча в поле солнечного тяготения, гравитационное красное смещение спектральных линий, которые излучаются спутником Сириуса – двойная звезда, самая яркая на нашем небе). Данная глобальная теория пока не является законченной. Но во второй половине XX века появились данные, требующие для своего объяснения привлечения представлений, разработанных в рамках общей теории относительности: открытие квазаров (1963 г.) с их большим красным смещением, реликтового излучения (1965 г.), рентгеновских звезд (1971 г.).

Т.о. специальная теория относительности предложила новое представление о пространстве и времени, которые не являются абсолютными величинами (как в классической физике у Ньютона и Галилея), а относительными, взаимосвязанными, образующими единую форму существования материи – «пространство–время». Общая теория относительности распространила принцип относительности на все движущиеся системы, в том числе и ускоренные, а не только инерциальные. Общая теория относительности (теория тяготения) показала, что свойства «пространства–времени» в данной области определяются действующими в ней полями тяготения. «Пространство–время» не подчиняются геометрии Евклида (геометрии на плоскости), а изменяется (искривляется) в зависимости от концентрации масс (величины гравитационных полей) и скоростей движения.

7. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

7.1. Концепция атомизма

Вещество – это вид материи, совокупность дискретных (прерывных) образований, обладающих массой и характеризующихся при определенных условиях постоянными физическими и химическими свойствами.

Человек давно задумывался о том, из чего состоит все многообразие окружающих его предметов и почему это многообразие так велико. Среди философов велись споры о том, до каких пределов может делиться вещество. **Демокрит** (5 в. до н.э.) высказал предположение о том, что существуют мельчайшие неделимые частицы вещества, их назв. **А-томы** (т.е. в переводе с греческого – *неделимые*). Причем они имеют самую разнообразную форму и могут соединяться тоже по-разному. Этим и объясняется многообразие материальных структур.

Так возникла концепция атомизма.

В настоящее время **атомы** рассматриваются как мельчайшие химически неделимые частицы, из которых состоит вещество.

Концепция атомизма сначала не получила широкого распространения. Это связано с тем, что церковь считала главенствующей концепцию Аристотеля (4 главных элемента: земля, воздух, вода, огонь).

Приверженцы концепции атомизма подвергались гонению, но она постепенно пробивала себе дорогу. Появлялись эмпирические данные, подтверждающие её справедливость: 1) броуновское движение; 2) закон кратных соотношений (Дальтон, 1803 г.: в хим. реакции на определенное количество частей одного вещества тратится только определенное количество другого вещества) и т.д.

Представления об атоме как о неделимой частице сохранялось вплоть до конца XIX века.

7.2. Модели атома

В 1897 г. **Джозеф Томсон** (1856–1940) установил, что атом содержит отрицательно заряженные частицы, которые назвали **электронами**. Несколько позже он создает первую модель атома, где он рассматривается как делимый: положительно заряженное тело (диаметр около 10^{-8} см) и вкрапленные в него отрицательно заряженные электроны («булка с изюмом»).

С 1908 по 1911 г.г. выдающийся английский физик Эрнест **Резерфорд** (1871–1937) проводил опыты по облучению тонких металлических пластинок α -частицами (положительно заряженные частицы He^{2+} – ядра атома He) и установил, что некоторые из них как бы натываются на препятствие и отбрасываются назад. В результате было сделано предположение, что в центре атомов существуют массивные положительно заряженные **ядра**, а вокруг них вращаются по круговым орбитам **электроны**. Т.о. была создана **планетарная модель атома**.

Было установлено, что ядро атома водорода – положительно заряженная частица с массой в 1836 раз больше массы электрона. **Резерфорд** предположил существование незаряженной частицы с примерно такой же массой ($1838 m_e$), т.е. **нейтрона**. В 1932 г его ученик **Чедвик** (1891–1974) экспериментально открыл нейтрон. Впоследствии установили, что ядра хим. элементов содержат и протоны, и нейтроны. Вместе их называют **нуклонами**. Заряд ядра Z определяется количеством протонов, а масса M – количеством протонов и нейтронов.

Атомы одного элемента (с одинаковым Z), у которых ядра содержат одинаковое число протонов, но разное число нейтронов называются **изотопами**. Примеры: H_1^1 , H_1^2 (Д), H_1^3 (Т); U_{92}^{238} (92 протона и 146 нейтронов), U_{92}^{235} (92 протона и 143 нейтрона).

По законам классической электродинамики, когда заряженная частица движется с ускорением в поле действия какой-то силы, она излучает (теряет) энергию. На электрон, вращающийся в поле ядра, действует центростремительная сила. Поэтому он должен терять энергию и через некоторое время упасть на ядро. Однако известно, что атомы очень устойчивые системы. Следовательно планетарная модель атома была недостаточной и требовались поправки к этой теории.

7.3. Постулаты Бора. Принцип Паули

В 1913 г. датский физик **Нильс Бор** (1885–1962), изучая спектры атома водорода, сформулировал постулаты, касающиеся строения атома. Суть заключается в следующем:

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся во времени) состояния, в которых излучения энергии не происходит. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитной энергии. Бор представлял такие орбиты как круговые с размером, удовлетворяющим условию о кратности момента количества движения (момента импульса) электрона ($\mu = mVr$) величине $h/2\pi$, т.е. $\mu = n (h/2\pi)$, где **n – главное квантовое число**, определяющее энергетические уровни электрона в атоме. Орбита с наименьшим радиусом, для которой $n = 1$, является самой устойчивой и электрон на этой орбите находится в так называемом основном состоянии с минимумом энергии. Остальные – возбужденные

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (или поглощается) один фотон с энергией, равной разности энергий соответствующих состояний атома до и после излучения/поглощения $h\nu = E_n - E_m$. Излучение энергии возможно, когда электрон, будучи каким-либо образом переведенным в возбужденное состояние, возвращается обратно в одно из более низких разрешенных энергетических состояний.

Т.е.:

1) электроны могут двигаться в атоме только по определенным («разрешенным») орбитам, находясь на которых, они не излучают энергию (стационарные орбиты).

2) Атом поглощает порцию (квант) электромагнитной энергии, когда электрон переходит с нижележащей орбиты на вышележащую, и излучает квант энергии при переходе с высшей орбиты на низшую. $\Delta A = h\nu$. (спектр атомов – линейчатый, а не сплошной).

Теория Бора хорошо объясняла экспериментальные данные с атомом водорода (теоретический спектр полностью совпадал с экспериментальным линейчатым спектром водорода). Однако при переходе к более сложным (тяжелым) атомам стали возникать несоответствия между теорией и экспериментом. Тогда в 1916 г. немецкий физик Арнольд **Зоммерфельд** (1868–1951) высказал предположение о том, что орбиты электронов в таких атомах имеют эллиптическую форму, но не любую, а «разрешенную» в соответствии с величиной **орбитального** квантового числа l . Кроме того, во внешнем магнитном поле спектральные линии еще дополнительно расщепляются, что потребовало введение третьего квантового числа m_l , названного **магнитным** квантовым числом. Была создана модель атома, в которой характеристики состояния электрона принимают **дискретные** значения. Они описываются квантовыми числами, учитывающими энергетический уровень (n), форму орбиты

(l), поведение во внешнем магнитном поле (m_l), вращение электрона вокруг собственной оси (**спин** m_s).

Причем, в атоме не может быть двух электронов, описываемых одинаковыми квантовыми числами, т.е. хоть чем-то электроны должны отличаться (принцип **Паули** (1900–1958) – швейцарский физик). По-другому этот принцип можно сформулировать так: на одной орбите (орбитале) не может находиться более 2 электронов (с разными спинами). У таких электронов 3 квантовых числа одинаковы, а спины – разные (+0,5 и –0,5).

Электронные состояния атома определяются набором 4 квантовых чисел:

- 1) главное квантовое число n ($n = 1, 2, 3, \dots$). Определяет энергетические уровни электрона в атоме и может принимать любые целочисленные значения, начиная с единицы.
- 2) орбитальное квантовое число l , которое при заданном n принимает значения: $l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$, т.е. всего n значений.
момент количества движения электрона на орбите квантуется
(форма орбиты)
- 3) магнитное орбитальное квантовое число m_l – проекция момента количества орбитального движения на направление внешнего поля.
 $m_l = l, l-1, \dots, 1, 0, -1, \dots, -l$ (всего $2l+1$ значение). В магнитном поле энергетический уровень расщепляется на $2l+1$ подуровней, а в спектре атома происходит расщепление спектральных линий. Это явление, открытое в 1896 г. голландским физиком П. **Зееманом** (1865–1945) получило название эффекта Зеемана.
- 4) магнитное спиновое квантовое число $m_s = \pm 1/2$.

Для объяснения тонкой структуры спектральных линий пришлось предположить, что электрон обладает собственным механическим, а значит и собственным магнитным моментом – спином (волчок). Спин электрона (и всех других микрочастиц) – квантовая величина. Было введено магнитное спиновое квантовое число, которое для электрона принимает два значения $m_s = \pm 1/2$. Все микрочастицы делятся на две группы: частицы с полуцелым спином (электроны, протоны, нейтроны, подчиняются статистике Ферми – Дирака, называются «фермионы») и частицы с нулевым или целочисленным спином (фотоны, π -мезоны, подчиняются статистике Бозе – Эйнштейна, называются «бозоны»).

7.4. Дуализм материи. Квантовая механика

В 1923 г французский физик Луи **Де Бройль** (1892–1987) выдвинул идею о волновых свойствах материи, т.е. он предположил, что микрочастицы обладают волновыми свойствами (**волны де Бройля**). Таким образом, корпускулярно-волновой дуализм является универсальным свойством материи, и не только фотоны, но и электроны и любые другие микрочастицы материи наряду с корпускулярными обладают также волновыми свойствами. Опыты 1927–1928 г.г. по дифракции и интерференции электронов, а затем протонов,

нейтронов, атомов показали, что действительно они обладают волновыми свойствами, т.к. дают дифракционную и интерференционную картину.

Согласно де Бройлю, каждому микрообъекту присущи, с одной стороны, корпускулярные характеристики – энергия E , импульс $p=mV$, а с другой – волновые характеристики – частота ν , длина волны λ . Количественные соотношения, связывающие корпускулярные и волновые свойства частиц, такие же, как для фотонов:

$$E = h\nu, \quad p = mC = E/C = h\nu/C = h/\lambda$$

Опять – дуализм, но теперь – материи, т.е. вещество проявляет свойства, характерные для поля.

Всем микрообъектам присущи и корпускулярные, и волновые свойства, но в то же время любую из микрочастиц нельзя считать ни частицей, ни волной в классическом понимании. Для них существуют потенциальные возможности проявить себя в зависимости от внешних условий либо в виде волны, либо в виде частицы. Именно в этой потенциальной возможности различных проявлений свойств, присущих микрообъектам, и состоит дуализм «волна – частица». Приписывать микрообъектам все свойства частиц и все свойства волн нельзя.

Теперь орбита электрона, который проявляет и волновые свойства, уже не может быть представлена как четкая траектория частицы и говорят о «электронном облаке» – облаке вероятности, в котором есть места наиболее вероятного нахождения электрона.

В 60-е годы 20 в. вместо понятия «орбита» стали употреблять понятие «орбиталь».

В 1927 г. немецкий физик Вернер Гайзенберг (1901–1976) выводит **соотношение неопределенности**: чем точнее мы определим координаты частицы, тем менее точно будет определен её импульс (p), то же относится и к другой паре параметров – время и энергия. Причем, неопределенности этих величин удовлетворяют условиям:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h, \quad \Delta E \Delta t \geq h$$

Для микромира не существует состояний, в которых координаты и импульс микрообъекта имели бы одновременно точные значения. Причем, это не связано с несовершенством методов измерения или измерительных приборов, а является спецификой микрообъектов, отражающей особенности их объективных свойств, а именно обусловлено двойственной корпускулярно-волновой природой.

Однако для макроскопических тел их волновые свойства не играют никакой роли: координаты и скорость макротел могут быть одновременно измерены достаточно точно.

Таким образом в 20-е годы XX века возникла новая наука о движении микрочастиц – **квантовая механика**.

Перечислим основные положения квантовой механики:

1) Микрочастицы имеют двойственную природу – волна, частица.

Наличие волновых свойств микрочастиц – универсальное явление, общее свойство материи. Но волновые свойства макроскопических тел не обна-

ружены экспериментально. Длины волн, соответствующих макрочастицам, лежат за пределами доступной наблюдению области. Поэтому считается, что макроскопические тела проявляют только одну сторону своих свойств – корпускулярную.

2) Электрон в своем движении описывает не четкую траекторию, а вокруг ядра существуют места его наиболее вероятного пребывания, в результате возникает электронное облако (облако вероятности) с наибольшей плотностью в этих местах. Расстояние до этого места от центра и рассматривается как радиус орбитали.

3) Необходимость вероятностного подхода к описанию микрочастиц является важнейшей отличительной особенностью квантовой теории.

4) Большинство физических величин, характеризующих состояние микрочастиц в атоме (в частности, электрона), – дискретны и описываются с помощью квантовых чисел.

8. СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Согласно атомистическому подходу, природа представляет собой иерархию уровней различной организации, в которой элемент низшего уровня служит строительным материалом для последующего уровня системы.

К настоящему времени значительно углубились наши представления о структуре материи. Все физические объекты обладают множеством различных свойств и сложной внутренней структурой. Тем не менее, в науке используется понятие «элементарные частицы».

Элементарные частицы – первичные, неразложимые частицы, из которых, по предположению, состоит вся материя. Раньше, начиная с Демокрита (5 в. до н. э.), думали, что это – атомы, но были открыты электрон, ядро, протон, нейтрон, создана нейтронно-протонная модель атомного ядра. В современной физике термин «элементарные частицы» сохранился, но его обычно употребляют не в своем истинном значении, а в менее строгом – для наименования большой группы мельчайших частиц материи, кроме атомов или атомных ядер (за исключением протона, который относится к элементарным частицам).

Большинство элементарных частиц не удовлетворяет строгому определению элементарности, т.к. сами являются составными системами. По иронии судьбы элементарными были названы частицы, имеющие, как выяснилось, сложнейшую структуру.

8.1. Классификация элементарных частиц в соответствии с видами фундаментальных взаимодействий

В начале XX в. было известно только две элементарные частицы – электрон и протон. Сегодня число элементарных частиц и античастиц насчитывает порядка 400. Их можно классифицировать в зависимости от взаимодействий, в которых они участвуют.

Известны 4 вида фундаментальных (т.е. не сводящихся друг к другу) взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное.

Сильное или ядерное взаимодействие обуславливает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов и обеспечивает исключительную прочность этих образований, лежащую в основе стабильности вещества в земных условиях.

Электромагнитное взаимодействие – это взаимодействие, в основе которого лежит связь с электромагнитным полем. Электромагнитное взаимодействие ответственно за существование атомов и молекул, обуславливая взаимодействие в них положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов.

Слабое взаимодействие – наиболее медленное из всех взаимодействий, протекающих в микромире. Оно ответственно за взаимодействие частиц, происходящее с участием **нейтрино** (заряд 0, спин $\frac{1}{2}$, масса $\sim 10^{-4} m_e$, очень большая проникающая способность) или антинейтрино. Например, β -распад и некоторые другие. При β -распаде нейтрон превращается в протон с выделением электрона и вылетает антинейтрино).

Гравитационное взаимодействие присуще всем частицам, однако из-за малости масс элементарных частиц оно пренебрежимо мало и в процессах микромира несущественно.

По относительной эффективности указанные взаимодействия находятся в следующем соотношении: 1 (сильное), 10^{-2} (электромагнитное), 10^{-14} (слабое), 10^{-38} (гравитационное). Сильное и слабое взаимодействия – короткодействующие. Радиус действия сильного взаимодействия 10^{-13} см, слабого – 10^{-16} см. Радиус действия электромагнитного взаимодействия практически не ограничен.

В соответствии с этими видами взаимодействий различают 4 вида элементарных частиц:

- 1) **адроны**, участвующие в сильном взаимодействии (от греч. сильный, крупный). Они могут также участвовать в электромагнитном, слабом и в гравитационном взаимодействии.
- 2) **лептоны**, не участвующие в сильном взаимодействии (от греч. легкий), участвуют в электромагнитном, слабом и гравитационном (нейтрино не участвует в электромагнитном)
- 3) **фотон** (квант электромагнитного излучения), участвующий только в электромагнитном взаимодействии;
- 4) **гравитон** – гипотетический переносчик гравитационного взаимодействия.

8.2. Характеристики элементарных частиц

Общеизвестны следующие частицы:

- **электрон** – стабильный, обладающий элементарным отрицательным электрическим зарядом. Его масса равна $9,1 \cdot 10^{-28}$ г. – лептон,
- **протон** – ядро атома Н, обладающий элементарным положительным электрическим зарядом и массой, превосходящей в 1836 раз массу электрона, т.е. $\sim 1,67 \cdot 10^{-24}$ г. – адрон,
- **нейтрон**, не имеющий электрического заряда. Его масса = 1838 масс электрона – адрон.

протоны и нейтроны относятся к адронам (участвуют во всех взаимодействиях: сильном, электромагнитном, слабом, гравитационном – указаны в порядке уменьшения относительной интенсивности), а точнее к **барионам**, т.е. адронам с полуполым спином. Адроны с целым спином – **мезоны**; π -мезон – носитель сильного взаимодействия.

- **нейтрино** (лептон, не участвует в сильном взаимодействии, участвует в слабом; спин $=1/2$), также не имеющий заряда, масса покоя приблизительно равна нулю ($10^{-4} m_e$).

Электрон относится к лептонам, участвует в электромагнитном, слабом и гравитационном взаимодействии

- **фотон** – квант электромагнитного поля (участвует только в электромагнитном взаимодействии), его масса покоя равна 0.

Далее известна большая группа частиц, масса которых располагается между массами протона и электрона.

Размеры протона, нейтрона и других адронов – порядка 10^{-13} см, размеры электрона – не определены, но меньше 10^{-16} см. Микроскопические массы и размеры элементарных частиц обуславливают квантовую специфику их поведения.

Общими характеристиками для всех элементарных частиц являются масса, время жизни, электрический заряд, собственный момент количества движения, спин и др.

Характеристики элементарных частиц, принимающие дискретные значения, принято характеризовать **квантовыми числами**. Различают главное (n), орбитальное (l), магнитное орбитальное (m_l), магнитное спиновое (m_s) квантовые числа.

Наиболее важное квантовое свойство всех элементарных частиц – способность испускаться и поглощаться при взаимодействии с другими частицами.

8.3. Время жизни элементарных частиц

В зависимости от времени жизни частицы делятся на **стабильные** (электрон, протон, фотон, нейтрино) – время жизни от нескольких мин до бесконечности,

квазистабильные (распадаются при электромагнитном и слабом взаимодействии) – время жизни больше 10^{-20} с. Время жизни нейтрона в свободном состоянии ~ 16 мин. Нейтрон при β -распаде превращается в протон.

резонансы (распадаются за счет сильного взаимодействия) – время жизни $10^{-22} - 10^{-24}$ с.

8.4. Частицы и античастицы

У многих частиц существуют «двойники» – **античастицы**. Античастицы – элементарные частицы, имеющие те же массу, спин, время жизни, другие характеристики, что и у их двойников, но отличающиеся от них знаком заряда. Пример: электрон и позитрон.

Существование античастиц впервые предсказано в 1928 г. английским физиком П. Дираком ((1902–1984). Характерной особенностью поведения античастиц при их взаимодействии с частицами является то, что они взаимно **аннигилируют** (уничтожаются). Например, при взаимодействии электрона и позитрона они взаимно уничтожаются с выделением двух γ -квантов.

В 1998–1999 г.г. были выполнены фундаментальные экспериментальные исследования по изучению антипротонов.

В сильных и электромагнитных взаимодействиях имеется полная симметрия между частицами и античастицами. Все процессы, протекающие с первыми, возможны и аналогичны для вторых. Подобно протонам и нейтронам, их античастицы могут образовывать антиядра. В принципе можно представить себе и антиатомы и даже большие скопления антивещества. Однако Вселенная состоит в основном из обычного вещества. Когда-то на заре существования Вселенной при взаимодействии вещества и антивещества возникло «реликтовое» радиоизлучение.

В 1979-е г.г. установлено, что протоны и нейтроны (т.е. нуклоны) состоят из кварков разных типов. **Кварк** – гипотетическая частица со спином $1/2$ и дробным электрическим зарядом (у разных кварков – разным: $-1/3$, $+2/3$). Относится к адронам. Протоны и нейтроны состоят из 3 кварков (протон: $2/3$, $2/3$, $-1/3$, нейтрон: $2/3$, $-1/3$, $-1/3$), мезоны – из кварка и антикварка. Взаимодействие кварков осуществляется путем обмена квантами глюонных полей (**глюонами**, $m=0$, спин 1). Т.е. механизм действия ядерных сил основан на том же принципе, что и электромагнитное взаимодействие – на обмене взаимодействующих объектов виртуальными частицами (глюонами).

По мнению многих физиков-теоретиков, достаточно точную теорию ядерных сил и взаимопревращений частиц удастся создать не ранее, чем через 100 лет.

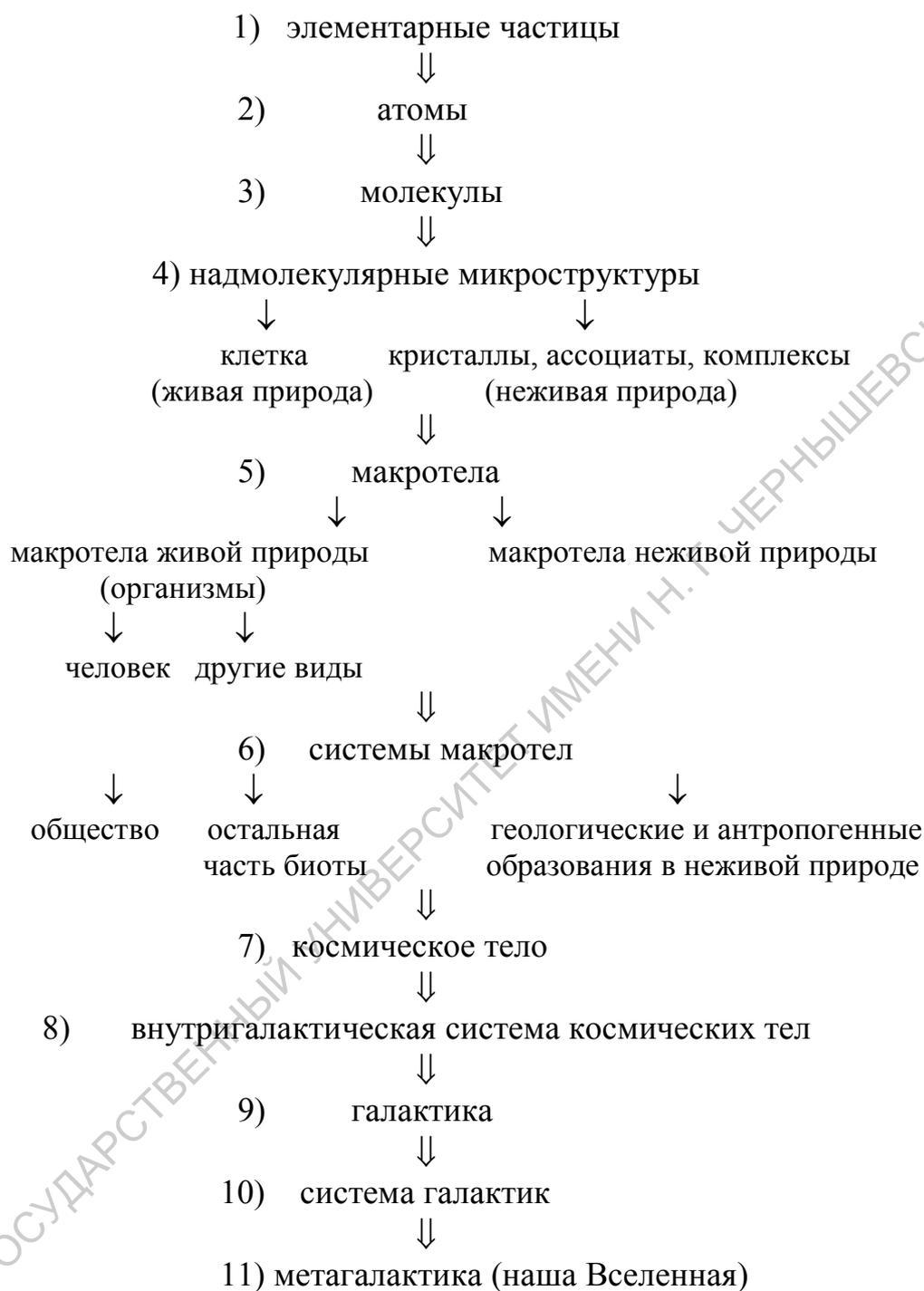
Проведенные измерения показали, что размеры ядер атомов всех элементов порядка 10^{-13} – 10^{-12} см, что в десятки тысяч раз меньше размеров атома.

Окружающее нас вещество в конечном счете построено, по-видимому, из кварков (составные части нуклонов) и лептонов (электроны) по следующей схеме: из кварков образуются адроны (протоны и нейтроны), из адронов – атомные ядра, из ядер и электронов – атомы, из атомов – молекулы, из молекул – макроскопические тела, в том числе и живые организмы и т.д.

Таким образом, материальные вещественные структуры можно расположить в определенной иерархической последовательности, используя в качестве критерия размер (от меньшего к большему):

9. ИЕРАРХИЯ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО РАЗМЕРУ

Природа представляет собой иерархию уровней различной организации. Элемент низшего уровня служит «строительным материалом» для последующего уровня.



Т.о. материальные объекты относятся как бы к трем мирам:
 микромир(1–3) – мир микрочастиц, для которых характерны в основном квантовые свойства, они подчиняются законам квантовой механики,
 макромир (3–7) – составляют физические тела, состоящие из микрочастиц. Поведение их описывается классической физикой,
 мегамир (7–11) – мир звезд, галактик, вселенной, он расположен за пределами нашей планеты.

10. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Развитие квантово-механических представлений оказало серьезное влияние на развитие химии, в частности, возник современный взгляд на периодическую систему элементов Д.И. Менделеева (1834–1907).

Открытие периодического закона явилось крупным достижением химии XIX века. Многие ученые пытались связать свойства химических элементов с их атомным весом. Наиболее удачный вариант был представлен Д.И. Менделеевым (1869 г). Он расположил химические элементы в порядке нарастания атомной массы, присвоив каждому элементу порядковый номер и поместив их в таблицу таким образом, что элементы с близкими химическими свойствами оказались в одном столбце таблицы. В то время было известно 64 химических элемента и некоторые клетки таблицы оказались незаполненными, т.к. соответствующие им элементы еще не были известны. Кроме того, Менделееву удалось уточнить атомные веса некоторых элементов, поскольку ранее экспериментально установленные их величины оказались ошибочными.

Во времена Менделеева не было известно строение атомов и причина периодичности их свойств. Теперь известно, что порядковый номер химического элемента в таблице соответствует заряду ядра, а следовательно, и числу электронов на атомных орбиталях. В современном понимании **химический элемент** – совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра.

Существуют правила заполнения орбиталей, а следовательно, и энергетических уровней, в которые сгруппированы эти орбитали, – принцип Паули: в атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором квантовых чисел n, l, m_l, m_s . По мере увеличения заряда ядра (числа электронов атома) происходит постепенное заполнение орбиталей со все более высоким энергетическим уровнем. В каждом периоде заполнение орбиталей происходит до их насыщения.

Совокупность электронов в многоэлектронном атоме, характеризующихся одним и тем же главным квантовым числом n называют **электронной оболочкой**. В каждой оболочке электроны распределяются по **подоболочкам**, соответствующим данному квантовому числу l . Распределение электронов по оболочкам и подоболочкам представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения квантовых чисел и возможные распределения электронов в атомах

Главное квантовое число n	1	2		3			и т.д.
Символ оболочки	K	L		M			
Орбитальное квантовое число l ($l=0, 1, 2, \dots, n-1$)	0	0	1	0	1	2	
Символ подоболочки	1s	2s	2p	3s	3p	3d	
Магнитное квантовое число m_l ($m_l=l, l-1, \dots, 0, -1, \dots, -l$)	0	0	1, 0, -1	0	1, 0, -1	2, 1, 0, -1, -2	
Максимальное число электронов в подоболочке	2	2	6	2	6	10	
Максимальное число электронов в оболочке	2	8		18			

Максимальное число электронов, находящихся в состояниях, определяемых данным квантовым числом n , равно $2n^2$.

Рассмотрим распределение электронов в атомах, расположенных в порядке нарастания атомной массы в таблице Менделеева (ограничимся верхней её частью). Будем считать, что каждый последующий элемент образован из предыдущего прибавлением к ядру одного протона и соответственно прибавлением одного электрона в электронной оболочке атома.

Электроны заполняют разрешенные им энергетические состояния, начиная с того, у которого минимальная энергия (табл. 3).

Таблица 3
Распределение электронов в атомах химических элементов, представленных в таблице Д.И. Менделеева (фрагмент)

Период	Z	Элемент	A	$n=1$	$n=2$		$n=3$		
				(K)	(L)		(M)		
				$l=0$	$l=0$	$l=1$	$l=0$	$l=1$	$l=2$
				(1s)	(2s)	(2p)	(3s)	(3p)	(3d)
I	1	H	1	1					
	2	He	4	2					
II	3	Li	6,9	2	1				
	4	Be	9	2	2				
	5	B	10,8	2	2	1			
	6	C	12	2	2	2			
	7	N	14	2	2	3			
	8	O	16	2	2	4			
	9	F	19	2	2	5			
	10	Ne	20,2	2	2	6			
III	11	Na	23	2	2	6	1		
	12	Mg	24,3	2	2	6	2		
	13	Al	27	2	2	6	2	1	
	14	Si	28,1	2	2	6	2	2	
	15	P	31	2	2	6	2	3	
	16	S	32	2	2	6	2	4	
	17	Cl	35,5	2	2	6	2	5	
	18	Ar	40	2	2	6	2	6	

Единственный электрон атома водорода H находится в состоянии 1s, характеризуемом квантовыми числами $n=1$, $l=0$, $m_l=0$, $m_s=\pm 1/2$ (ориентация спина произвольная).

В атоме гелия He оба электрона находятся в состоянии 1s, но с антипараллельной ориентацией спина. Электронная конфигурация для атома He записывается как $1s^2$ (два 1s-электрона). На атоме He заканчивается заполнение K-оболочки ($n=1$), что соответствует завершению I периода Периодической системы элементов Менделеева.

В атоме Li ($Z=3$) третий электрон, согласно принципу Паули, уже не может разместиться в целиком заполненной K-оболочке и занимает низшее

энергетическое состояние с $n=2$ (L -оболочка), т.е. $2s$ -состояние. Атомом Li начинается II период Периодической системы элементов.

Четвертым электроном атома бериллия Be ($Z=4$) заканчивается заполнение подоболочки $2s$.

У следующих шести элементов от бора B ($Z=5$) до неона Ne ($Z=10$) идет заполнение подоболочки $2p$.

II период Периодической системы заканчивается неоном – инертным газом, для которого подоболочка $2p$ целиком заполнена.

Внешний уровень не может содержать более 8 электронов. Такие внешние оболочки называются завершенными. Они характерны для атомов инертных газов.

С увеличением порядкового номера в периоде свойства изменяются от металлических до металлоидов и в случае заполненной орбитали имеем инертный элемент. Далее начинается заполнение орбиталей следующего энергетического уровня. Первый элемент имеет наиболее выраженные металлические свойства, затем усиливаются свойства металлоидов.

Во внешней оболочке щелочных металлов (Li , Na , K , Rb , Cs , Fr) имеется лишь один s -электрон.

Во внешней оболочке щелочно-земельных металлов (Be , Mg , Ca , Sr , Ba , Ra) имеется два s -электрона.

Галоиды (F , Cl , Br , I , At) имеют внешние оболочки, в которых недостает одного электрона до оболочки инертного газа

Атомы металлов в химических реакциях сравнительно легко отдают электроны внешней оболочки, а для неметаллов характерно присоединение электронов.

Химические свойства элементов определяются внешними (валентными) электронами в атомах. Поэтому причиной периодической повторяемости свойств химических элементов является повторяемость структуры внешних электронных оболочек. В этом заключается физическая сущность периодического закона.

Переход от металлов к неметаллам в периодах является следствием возрастания прочности удержания атомами своих внешних электронов. Увеличение металлических свойств в группе сверху вниз обусловлено уменьшением прочности связи внешних электронов.

11. ПРИРОДА ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Химия – наука, изучающая свойства и превращения веществ, сопровождающиеся изменением их состава и строения.

Молекула – это наименьшая частица вещества, сохраняющая его состав и химические свойства. Молекулы не могут дробиться дальше без изменения химических свойств данного вещества.

Молекулы состоят из атомов (одинаковых или различных). Взаимодействие атомов, обуславливающее их соединение в молекулы, называется **химической связью**.

Химические связи обусловлены взаимодействием внешних (валентных) электронов атомов, образующих молекулу.

Силы, действующие при образовании химической связи, имеют в основном электрическую природу.

Образование химической связи сопровождается перестройкой электронных оболочек связывающихся атомов, причем, только внешних электронных оболочек. Внутренние оболочки и состояние атомных ядер – не изменяются.

Основные типы хим. связей:

ковалентная – образуется парой электронов (с антипараллельными спинами), находящихся в общем владении двух атомов (может быть неполярной и полярной),

ионная – осуществляется электростатическим взаимодействием атомов при переходе электрона одного атома к другому, т.е. при образовании положительного и отрицательного ионов. Может рассматриваться как крайний случай полярной ковалентной связи,

водородная связь – форма взаимодействия между электроотрицательным атомом (как правило, N, O, F) и атомом водорода, который связан с другим электроотрицательным атомом ковалентной связью.

Кроме того, известны еще координационная и металлическая связи.

Химические связи различаются способами перекрывания атомных орбиталей и пространственной конфигурацией образуемых электронных облаков.

Химические связи классифицируют по характеру распределения электронной плотности между атомами, образующими связь, в частности, по симметрии распределения (напр. σ - и π -связи) и по другим признакам. Одинарная связь – σ . Кратная связь – одна σ и остальные π -связи

12. ПРЕДМЕТ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ХИМИИ

Химия как наука о веществах и закономерностях, которым они подчиняются, изучает превращения, при которых молекулы одного соединения обмениваются атомами с молекулами других соединений, распадаются на молекулы с меньшим числом атомов. В результате химических реакций образуются новые молекулы, а атомы претерпевают изменения только в наружных электронных оболочках. Ядра атомов и внутренние электронные оболочки при этом не изменяются.

Химия делится на пять основных разделов.

1. **Неорганическая** химия изучает химические элементы и их соединения (кроме органических).

2. **Органическая** химия – химия углерода и его соединений.

3. **Физическая** химия объясняет химические явления и устанавливает их общие закономерности на основе принципов физики и с использованием физических методов исследования. Включает в себя квантовую химию, термодинамику, химическую кинетику, учение о катализе, коллоидную химию, электрохимию, фотохимию, радиационную химию и др.

4. **Аналитическая** химия рассматривает и разрабатывает методы изучения химического состава вещества. Установление химического состава может осуществляться на качественном или количественном уровне. Соответственно этому аналитическая химия подразделяется на:

а) качественный анализ, задача которого – обнаружение компонентов анализируемого вещества и идентификация соединений,

б) количественный анализ, направленный на определение концентрации или массы компонента в соединении или смеси. Различают элементный, изотопный, функциональный, молекулярный, фазовый и т.д. количественный анализ.

5. Химия **высокомолекулярных** соединений изучает свойства соединений, характеризующихся молекулярной массой от нескольких тысяч до миллионов единиц массы.

Имеется ряд научных направлений, связывающих химию с другими естественными науками, например: 1) биохимия, биоорганическая химия и молекулярная биология, изучающие процессы, происходящие в живых организмах; 2) геохимия, изучающая закономерности поведения химических элементов и их распределение в теле Земли, в частности, в земной коре; 3) космохимия, изучающая особенности элементного состава космических тел; 4) квантовая химия, разрабатывающая представления о химической связи, методы расчетов химических молекул.

Теоретической основой химии являются представления об атомном строении вещества, электронная теория, а также квантовая механика и квантовая химия.

Одним из важнейших разделов химии является **органическая химия**

Значимость этой науки обусловлена тем, что органические вещества являются основными составляющими живой материи, из них состоят организмы растений и животных. Известно огромное множество различных органических соединений, характеризующихся спецификой образования и свойств.

Знаменитый русский химик Александр Михайлович **Бутлеров** (1828–1886) разработал теорию строения органических соединений. Значение этой теории для органической химии можно сравнить со значением Периодической системы элементов Д.И. Менделеева для неорганической химии.

Главные положения теории Бутлерова:

1) атомы элементов, образующие молекулы, соединяются в определенном порядке согласно валентности, причем все валентности должны быть целиком затрачены на соединение друг с другом (**валентность** – свойство атома одного элемента присоединять или замещать в химических реакциях определенное количество атомов другого элемента)

2) свойства органического вещества зависят не только от его элементного состава, но и от строения его молекулы, т.е. от порядка соединения атомов в молекуле и от характера связей между атомами;

3) атомы, связанные в одну молекулу, влияют друг на друга. Наиболее сильное влияние оказывают атомы, связанные непосредственно друг с дру-

гом. Взаимное влияние атомов, непосредственно не связанных, значительно меньше.

Органическая химия – это **химия углерода**. Можно сделать некоторые замечания относительно атома углерода:

- 1) $Z=6$, атомная масса 12, ядро: 6 протонов+6 нейтронов,
- 2) углерод четырехвалентен (во внешней электронной оболочке 4 электрона: $1s^2 2s^2 2p^2$),
- 3) углерод способен соединяться как с металлами, так и с неметаллами,
- 4) все валентности в этом элементе равнозначны и размещены симметрично (направлены к вершинам правильного тетраэдра),
- 5) атомы углерода могут соединяться друг с другом и образовывать цепи, затрачивая на взаимную связь по одной, по две или три связи. При этом цепи могут быть линейными, разветвленными или замкнутыми.

Развитие химии прошло через несколько этапов.

Донаука стадия – **алхимия** (до 16 в.), поиск «философского камня» для получения золота. Разработаны некоторые эмпирические правила, методы исследования, способы очистки веществ, их анализа.

Для химии как науки характерны следующие этапы:

- В XVI–XVII вв. возникли представления о том, что свойства вещества определяет его состав – **учение о составе**. (сформулирован закон постоянства состава: индивидуальное химическое вещество обладает неизменным составом)
- В начале XIX в. стало ясно, что свойства определяются не только составом, но и взаимным расположением атомов, т.е. структурой молекул – **структурная химия**.
- С начала XX в. важнейшим направлением химии стало изучение закономерностей химических превращений, их кинетики и механизма – возникло **учение о химических процессах**.

В химических реакциях, как правило, не происходит непосредственного превращения исходных молекул в молекулы продуктов реакции. В большинстве случаев реакция протекает в несколько стадий. Совокупность стадий, из которых складывается химическая реакция, носит название **механизма** химической реакции.

Химические превращения могут протекать в пределах одной фазы (**гомогенные** реакции) или на границе раздела фаз (**гетерогенные** реакции).

Скорость химического процесса – изменение количества вещества в единице объема за единицу времени.

Вещества вступают в химические превращения в определенных количественных соотношениях их концентраций: $nA + mB \rightarrow C$

Закон действия масс (зависимость скорости химической реакции от концентрации реагентов): $W = k[A]^n[B]^m$

k – константа скорости химической реакции, т.е. скорость реакции при концентрациях реагентов, равных единице.

Установлена зависимость скорости реакции от температуры – **уравнение Аррениуса**. (С.А. Аррениус (1859–1927) – шведский ученый, основатель физической химии).

$$k = Ae^{-E/RT}$$

E – **энергия активации**, показывает, какой минимальной энергией должны обладать реагирующие частицы, что бы они могли вступить в химическую реакцию.

Взаимодействие атомов при их соединении в молекулы называется химической связью. В химических реакциях происходит разрыв одних и появление других химических связей, образованных парой электронов. В результате разрыва связей образуются частицы, обладающие неспаренным электроном на внешних орбиталях – **свободные радикалы**. Они, как правило, обладают большой реакционной способностью, малым временем жизни (короткоживущие), но бывают и стабильные (благодаря особенностям строения). Короткоживущие свободные радикалы – промежуточные частицы во многих химических реакциях – радикальные реакции.

Цепные химические реакции – сложные многостадийные реакции, в которых превращение исходных веществ в конечные продукты осуществляется путем регулярного чередования нескольких элементарных реакций с образованием промежуточных активных частиц (активных центров, например, свободных радикалов), идущих с сохранением свободной валентности (сохранением неспаренного электрона). Эти промежуточные активные частицы, регенерируясь в каждом элементарном акте, вызывают большое число (цепь) превращений исходного вещества.

По цепному механизму протекают реакции окисления, горения, термического разложения, крекинг, полимеризация, многие биохимические реакции.

Большой вклад в разработку теории цепных химических реакции внес наш земляк единственный из российских ученых лауреат Нобелевской премии по химии (1956 г.) Н.Н. Семенов (1896–1986) – основатель и бессменный директор крупнейшего в системе АН СССР научно-исследовательского института – Института Химической Физики.

Цепные реакции, как правило, включают в себя 3 стадии процесса:

- 1) зарождение цепи (инициирование)
- 2) развитие (продолжение, рост) цепи (выполняется принцип неуничтожимости свободной валентности)
- 3) обрыв цепи (при взаимодействии активных центров друг с другом или с веществами–ингибиторами)

Например, радикальную полимеризацию можно представить следующей радикально-цепной схемой:

1) $I \rightarrow 2R^\bullet$	Инициирование полимеризации со скоростью $W_{ин}$
$R^\bullet + M \rightarrow RM^\bullet \quad (M^\bullet)$	
2) $RM^\bullet + M \rightarrow RMM^\bullet \quad (M^\bullet)$	Рост цепи (увеличение длины полимерных молекул)
.	Скорость роста
.	
$M_n^\bullet + M \rightarrow M_{n+1}^\bullet \quad (M^\bullet)$	$W = k_p [M^\bullet][M]$
3) $M_n^\bullet + M_m^\bullet \rightarrow M_{n+m}$	Обрыв цепи со скоростью $W_o = k_o [M^\bullet][M^\bullet] = k_o [M^\bullet]^2$

В условиях стационарного протекания реакции $W_{ин} = W_o$

Скорость полимеризации: $W = \frac{k_p}{k_o^{0,5}} W_{ин}^{0,5} [M]$

- В середине 20 в. возникли **эволюционная и квантовая химия**, тесно связанные с биологией и с проблемами самоорганизации и саморазвития химических систем.

13. НЕКОТОРЫЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕРМОДИНАМИКИ

Многие процессы, протекающие в природе, сопровождаются поглощением (эндотермические реакции) или выделением тепловой энергии (экзотермические реакции). Наука о тепловых явлениях называется **термодинамикой**. Она играет важную роль в познании как физических, так и химических процессов.

Термодинамика изучает наиболее общие свойства макросистем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями.

(**термодинамическое равновесие** характеризуется равенством температур, давления и др. макроскопических параметров всех частей макросистемы).

Спецификой термодинамики (т.е. ее принципиальным отличием от других областей естествознания) является то, что термодинамика является феноменологической наукой. Это означает, что все законы термодинамики основаны только на опыте и никакой строгой теории в их основе нет.

Основы термодинамики заключены в трех её законах, которые относятся к общим законам Природы и не могут быть выведены из каких-то теоретических положений.

Термодинамика возникла в первой половине XIX в. в связи с развитием теории тепловых машин (французский физик Н. **Карно**, 1796–1832), установлением закона сохранения энергии.

В настоящее время различают химическую термодинамику, термодинамику равновесных и термодинамику неравновесных процессов, являющуюся теоретической основой исследования открытых систем, в том числе живых систем. (Открытые системы обмениваются с окружающей средой веществом, энергией).

Первый закон (начало) в качественном отношении совпадает с законом сохранения энергии. В приложении к термодинамике его формулировка следующая: теплота, сообщенная телу идет на увеличение его внутренней энергии и на совершение им работы $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$.

Внутренняя энергия тела складывается из кинетической энергии молекул и их структурных единиц (атомы, электроны, ядра) и энергии взаимодействия атомов в молекулах и т.д. Во внутреннюю энергию не входит энергия движения тела как целого и потенциальная энергия тела в каком-либо силовом поле.

Известно предположение о существовании вечного двигателя 1-го рода. Это – воображаемая непрерывно действующая машина, которая будучи однажды запущенной, совершала бы работу без подпитки энергией извне (противоречит 1-му началу термодинамики).

Второй закон термодинамики определяет направленность энергетических процессов. Он утверждает, что невозможен процесс, единственный результат которого состоял бы в переходе теплоты от более холодного тела к более горячему.

Второй закон вводит понятие **энтропия** (греч. превращение) Это одна из основных физических величин, характеризующая состояние тела, (подобно энергии, давлению, температуре), мера внутренней неупорядоченности системы. Изменение энтропии ΔS равно отношению изменения количества теплоты (сообщенного системе или отведенного от нее) ΔQ к абсолютной температуре системы T .

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Энтропия тем больше, чем больше энергии необратимо рассеивается в виде тепла.

В науке известны несколько шкал температур. Одна из них – «абсолютная». Еще несколько столетий назад было замечено, что при охлаждении газа, его объем уменьшается. При экстраполяции полученной зависимости $V = f(t^\circ)$ нашли, что при $t^\circ = -273,16$ °C объем станет равным нулю. Отсюда сделали вывод, что такая температура должна быть минимальной в природе, т.е. абсолютным нулем.

Английский физик Уильям **Томсон** (1824–1907, получивший за научные заслуги титул барона – барон **Кельвин**) предложил шкалу температур, ведущую отсчет от абсолютного нуля – шкала Кельвина или абсолютная шкала температуры. $1\text{K} = 1^\circ\text{C}$.

Шкала **Цельсия** (шведский астроном Цельсиус 1701–1744): 0° – температура замерзания воды, 100° – температура кипения воды.

Шкала **Реомюра** (французский естествоиспытатель Р.А. **Реомюр** 1683–1757): 0 – температура замерзания воды, 80° – кипение воды. $1^\circ\text{R} = 1,25^\circ\text{C}$.

Шкала **Фаренгейта** (немецкий физик 1686–1736).

$$1\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{1}{180}(t_{\text{кип.воды}} - t_{\text{замерз.воды}}) = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура таяния льда 32°F

Температура по F связана с температурой C соотношением:

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = 5/9(t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$$

В термодинамике утверждается, что в замкнутой (т.е. изолированной в тепловом и механическом отношении) системе энтропия либо остается постоянной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (при неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума.

Т.о. неравновесные процессы в изолированной системе сопровождаются ростом энтропии. Они приближают систему к состоянию равновесия, в котором энтропия максимальна. Второй закон – закон возрастания энтропии.

Живые организмы постоянно создают из беспорядка упорядоченность и понижают энтропию. Это кажущееся противоречие с законом возрастания энтропии объясняется тем, что живые организмы – не изолированные, а открытые системы, постоянно обменивающиеся веществом и энергией с окружающей средой.

Существуют другие эквивалентные формулировки:

1) – невозможен переход теплоты от тела более холодного к телу более нагретому без каких-либо других изменений в системе или в окружающей среде (нем. физик Р. Клаузиус 1822–1888).

2) – любое действие, связанное с преобразованием энергии (её переходом из одной формы в другую) не может происходить без её потери в виде тепла, рассеянного в окружающей среде

3) – невозможно создать периодически действующую машину (совершающую какой-либо термодинамический цикл) вся деятельность которой сводилась бы к совершению механической работы (подъем груза) за счет охлаждения теплового резервуара (У. Томсон, М. Планк)

4) – невозможно построить вечный двигатель 2-го рода (В. Оствальд немецкий физик 1853–1932).

Вечный двигатель 2-го рода – перпетуум мобиле (лат.) – воображаемая тепловая машина, которая в результате совершения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от «неисчерпаемого» источника (океана), в работу. Такой двигатель не противоречит 1-му началу, но нарушает 2-е начало термодинамики.

Третий закон термодинамики связан с понятием «абсолютный нуль». Физический смысл этого закона состоит в принципиальной невозможности достижения абсолютного нуля температуры ($-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$), так как при этом прекращается тепловое движение молекул, энтропия перестанет зависеть от параметров физического состояния системы и остается неизменной (теорема Нернста). М. Планк дополнил теорему В. Нернста (немецкий физико-химик 1864–1941) гипотезой о том, что энтропия всех тел при абсолютном нуле температур равна нулю.

Теперь обратимся к мегамиру, миру космических тел, звезд, галактик, Вселенной.

14. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

14.1. Образование Вселенной. Концепция «Большого взрыва»

Известны различные (научные, религиозные) концепции о том, что представляет собой **Вселенная**, каково её происхождение. Существуют разные трактовки термина. Философы: Вселенная – весь материальный мир, космология – материальный мир, доступный нашему восприятию.

В начале XX в. господствовала теория, согласно которой Вселенная бесконечна в пространстве и во времени, статична и однородна.

Ньютон: – Вселенная стационарна и безгранична.

Эммануил **Кант** (1724–1804), основываясь на работах Ньютона, выдвинул теорию о том, что у Вселенной нет начала и во времени.

А. **Эйнштейн** в 1916 г. разработал общую теорию относительности. На основании этой теории в 1917 г. он разработал свою модель Вселенной. Как и большинство ученых того времени, Эйнштейн считал, что Вселенная стационарна. Она не расширяется и не сжимается, хотя из теории относительности следовало, что Вселенная должна расширяться и одновременно должно происходить её торможение. Поэтому Эйнштейн ввел такое понятие, как **космическая сила отталкивания** («космологическая постоянная»), которая уравновешивает притяжение звезд и прекращает их движение. Т.е. он ввел в уравнения общей теории относительности новую «антигравитационную» силу, которая в отличие от других сил не порождалась каким-либо источником, а была заложена в саму структуру пространства-времени. Эйнштейн утверждал, что пространство-время само по себе всегда расширяется и этим расширением уравновешивает притяжение всей остальной материи во Вселенной, так что в результате Вселенная оказывается статической. Впоследствии Эйнштейн считал это предположение ошибочным.

Вселенная Эйнштейна имела конечные размеры, но у неё не было границ. Это возможно, если пространство искривлено, как, например, в сфере. Оно замыкалось само на себя и было однородным, у него не было центра и краев и в нем равномерно располагались Галактики (звездные системы).

В 1922 г. советский математик и геофизик А.А. **Фридман** (1888–1925) разработал нестационарную модель Вселенной, которая была основана на уравнениях общей теории относительности. Если экстраполировать полученные Фридманом решения в прошлое, то получалось, что вся материя Вселенной когда-то была сосредоточена в очень компактной области, из которой она начала разлетаться, участвуя в процессе как бы взрывного характера. Позднее Эйнштейн согласился с выводами Фридмана. В результате стали формироваться представления, называемые в настоящее время гипотезой «**Большого взрыва**».

В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953) установил, что галактики, находящиеся рядом с нашей галактикой, удаляются от неё со скоростью, пропорциональной расстоянию до нашей галактики, т.е. происходит расширение Вселенной.

Согласно теории «Большого взрыва», материя и энергия, из которых состоит всё существующее во Вселенной, ранее находились в так называемом «сингулярном» состоянии ($t^o \rightarrow \infty$ (10^{26} К), $\rho \rightarrow \infty$, $D \rightarrow \infty$). Все, из чего состоит Вселенная, располагалось в микроскопически малой частице, которая в какой-то момент времени (13,77 млрд. лет назад) пришла в нестабильное состояние и произошел «Большой взрыв». С тех пор Вселенная начала расширяться и охлаждаться. Т.о. ранняя Вселенная представляла собой однородную изотропную среду с очень высокой плотностью энергии, температурой и давлением. Первоначальный период расширения после взрыва называется космической инфляцией. После его окончания возникли кварки и электроны. При дальнейшем охлаждении кварки стали образовывать протоны и нейтроны. При этом происходило одновременное образование как материи (которая превалировала), так и антиматерии. Они взаимно аннигилировали, превращаясь в излучение.

При дальнейшем снижении температуры наступила эпоха нуклеосинтеза: протоны и нейтроны образовывали ядра легких изотопов. Затем (300 тыс. лет после «Большого взрыва») стало возможным существование атомов водорода, т.е. при температуре ~ 3000 °С произошло объединение электронов и протонов с образованием атомов водорода. До этого они существовали отдельно и вещество представляло собой плазму. После эры рекомбинации Вселенная оказалась заполненной водородом. Плазма непрозрачна для электромагнитного излучения, а газ, состоящий из электронейтральных атомов, – прозрачен. Следовательно, материя стала прозрачной для излучения, которое свободно распространялось в пространстве и дошло до нас в виде «**реликтового**» излучения, существование которого в 1948 г. было предсказано американским физиком российского происхождения Г.А. Гамовым (1904–1968), в рамках теории «горячей Вселенной», построенной на базе теории расширяющейся вселенной Фридмана. Электромагнитное излучение не исчезает при общем расширении мира и сохраняется до сих пор (только сильно охлажденным (3 К)). Это излучение было обнаружено в 1964 г. американскими радиоастрономами и названо «реликтовым».

Открытие реликтового излучения, пронизывающего всю Вселенную и возникшего в результате «Большого взрыва» благодаря взаимодействию (аннигиляции) частиц и античастиц, является подтверждением теории Большого взрыва. Реликтовое излучение несет информацию о первых этапах после рождения Вселенной, когда она находилось в горячем состоянии, а галактики, звезды, планеты еще не образовались.

Еще одним подтверждением гипотезы Большого взрыва является космическое **красное смещение**, т.е. уменьшение частот излучения, вследствие удаления объекта от наблюдателя (эффект Доплера). Этот эффект открыл в

1842 г. австрийский физик Кристиан **Доплер** (1803–1853). Эффект заключается в изменении длины волны (или частоты), наблюдаемом при движении источника волн относительно их приёмника (при приближении длина волны воспринимается как уменьшающаяся, а при удалении – как увеличивающаяся). Эффект наблюдается для волн различной природы: звуковых, световых, радиоволн. Сдвиг линий спектра (красное смещение) доказывает удаление звезд и галактик друг от друга вообще и от Млечного пути в частности.

Но до сих пор нет ответов на ряд вопросов:

- 1) что стало причиной «Большого взрыва» ?,
- 2) почему точка сингулярности стала нестабильной ?,
- 3) что было до «Большого взрыва» ?,
- 4) во время взрыва появилась материя (вещество) и энергия, а как появились время и пространство?

Существуют альтернативные теории:

Большой отскок

Теория струн и М-теория

Креационизм.

14.2. Темная материя и темная энергия

Процесс образования галактик можно рассчитать. Этот расчет согласуется с наблюдением, если предположить, что помимо обычного вещества во Вселенной имеется другой тип вещества, который мы не можем наблюдать. – **темное вещество** (материя). Темное вещество сродни обычному веществу в том смысле, что оно способно собираться в сгустки и участвовать в гравитационных взаимодействиях, как и обычное вещество. Скорее всего оно состоит из новых, еще не открытых в земных условиях частиц. Частицы темного вещества очень слабо взаимодействуют с обычным веществом, поэтому их трудно обнаружить. Они, по-видимому, в 100–1000 раз тяжелее протона, поэтому, возможно, в будущем их удастся зафиксировать на мощных ускорителях высокой энергии – коллайдерах.

Как уже отмечалось, космические модели на основе общей теории относительности предполагают, что расширение Вселенной должно замедляться. Расстояния до других галактик находят измерением их красного смещения. По закону Хаббла эта величина прямо пропорциональна расстоянию до этих галактик. Коэффициент пропорциональности – «постоянная Хаббла». Её значение точно не определено и находится где-то в интервале величин 50–100 км/(с × Мпк). Мпк (мегапарсек) – единица длины, пк равен 3,26 светового года, равен $3,09 \cdot 10^{13}$ км.

Однако, на основании исследований, проведенных в 1990-х годах, сделан вывод, что расширение ускоряется со временем. Это открытие было сделано в результате исследования светимости далеких звезд, находящихся на заключительной стадии своей эволюции. В результате исчерпания ядерного горючего звезды теряют механическую устойчивость и начинают сжиматься с увеличивающейся скоростью (гравитационный коллапс), что сопровождается яркой вспышкой. До этого эти очень далеко расположенные звезды бы-

ли практически не видны и их вспышка создавала эффект появления новой звезды. Особо ярко вспыхивающие «новые» звезды получили название **сверхновых**. Они загораются, когда масса старой звезды достигает определенного предела. Поэтому сверхновые, находящиеся на одинаковом расстоянии от Земли, должны иметь почти одинаковую яркость. Сравнивая яркость сверхновых в разных галактиках, можно определить расстояния до этих галактик.

В конце 1990-х годов было обнаружено, что в удаленных галактиках, расстояние до которых было определено по закону Хаббла, сверхновые имели яркость ниже той, что для них следовало ожидать. То есть расстояние до этих галактик, вычисленное по методу оценки светимости сверхновых (метод «стандартных свечей»), оказывается больше расстояния, найденного на основании ранее установленного значения параметра Хаббла. На основании этих данных был сделан вывод, что Вселенная не просто расширяется, а с ускорением. Это происходит вследствие существования неизвестного вида энергии с отрицательным давлением – «**темной энергии**».

Ускоренное расширение Вселенной было открыто в 1998 г. и авторы удостоены Нобелевской премии по физике за 2011 г.

В настоящее время считают, что доля обычного вещества (протоны, нейтроны, электроны) в суммарной энергии Вселенной составляет всего ~ 5 %. Вклад реликтового излучения (нейтрино) – не более 3 %. Оставшиеся 90–95 % – это «темное вещество» (25 %) и «темная энергия» (65–70 %). Находясь в рамках этих представлений, приходится признать, что столетия развития естествознания были потрачены на изучение лишь 1/20 части всего существующего во Вселенной.

Сущность «темной энергии» является предметом дискуссий, споров. Полагают, что она равномерно распределена (не собирается в сгустки), не взаимодействует с обычной материей посредством известных фундаментальных взаимодействий. «Темная энергия» в определенном смысле испытывает антигравитацию. Обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик. Следовательно «темная энергия» должна обладать специфическим свойством – отрицательным давлением, которое должно порождать отталкивание, антигравитацию и поэтому вызывает ускорение расширения Вселенной. В связи с этим можно вспомнить о космической силе отталкивания Эйнштейна (хотя Эйнштейн и считал это предположение ошибочным).

«Темная энергия» статична, что противоречит еще одному базовому положению естествознания о том, что движение – неотъемлемое свойство (атрибут) материи.

14.3. Формирование Солнечной системы, её основные параметры

Согласно современным представлениям, на ранних этапах эволюции Вселенной еще не было ни планет, ни звезд, ни галактик, а древняя Вселенная состояла из электронов и кварков. Кварки объединились в протоны и нейтроны. Возникли ядра водорода (протоны), гелия (2 протона + 2 нейтрона), которые совместно с электронами образовали атомы легких элементов.

Более тяжелых частиц еще не существовало. И вот именно из них в процессе дальнейшей эволюции и возникло всё огромное многообразие наблюдаемой нами в настоящее время Вселенной (без учета «темной материи», которую мы пока наблюдать не можем).

О механизме процесса эволюции, приводящего к усложнению Вселенной, можно пока только строить те или иные предположения. Однако с уверенностью можно указать хотя бы на один принципиальный фактор, который должен вызывать эволюцию Вселенной: – это так называемая **гравитационная неустойчивость**. Сущность её состоит в том, что по причине всемирного тяготения материя не может быть распределена равномерно, с постоянной одинаковой плотностью в сколь угодно большом объеме. В силу взаимного притяжения она должна была «разбиться» на отдельные конденсации, сгустки. В первоначальной Вселенной почти однородная плазма должна была распасться на огромные сгустки, из которых в дальнейшем образовались галактики (звездные системы). Галактики по тем же причинам разбились на более локальные сгущения, из которых возникли так называемые «протозвезды» («прото» – первый). Образование звезд из межзвездной среды, как установлено, продолжается и в настоящее время.

После возникновения на флуктуационных сгустках вещества массивных водородно-гелиевых протозвезд, в их недрах (высокие давления и температуры) за счет протекания ядерных реакций постепенно и последовательно стали формироваться все более тяжелые химические элементы.

Как показала теория, крупные звезды (типа Солнца и больше) – неустойчивы и заканчивают свою эволюцию гигантскими взрывами, которые вызваны гравитационными силами. Процесс гравитационного коллапса (стремительное сжатие) сопровождается резким увеличением давления и температуры, что приводит к ускоренному протеканию реакций ядерного синтеза стабильных и радиоактивных элементов, в том числе и тяжелых, а также к рассеиванию звездного вещества в межзвездное пространство. За время существования Вселенной уже сменилось несколько поколений звезд, рассеявших свое вещество по межзвездному пространству.

Но взрывы звезд не только поставляют новое вещество в космическое пространство, но и способствуют формированию новых поколений звезд. При взрыве возникают ударные волны, и если они пересекают газо-пылевые облака, то на их фронте резко повышается давление и плотность вещества, что может привести к образованию сгущений, способных в дальнейшем к сжатию уже за счет самогравитации.

По-видимому, именно такая ситуация возникла около 4,7 млрд. лет назад в районе одного из газо-пылевых облаков, когда в результате взрыва какой-то крупной звезды, полностью прошедшей свой эволюционный путь развития, это облако пополнилось веществом взорвавшейся звезды, а также получило импульс начального сжатия и вращения.

По мере сжатия, которое усиливалось вследствие возникновения собственных гравитационных полей, в центральной части облака начали увеличиваться давление и температура и там сформировался гигантский газовый сгу-

сток – протосолнце. Одновременно со сжатием протосолнечного облака его периферийные участки под влиянием гравитационных и центробежных сил стягивались к экваториальной плоскости вращения облака, превращаясь в плоский диск – протопланетное облако, на флуктуациях плотности которого возникли зародышевые тела будущих планет – планетозимали. Увеличение их размеров происходило за счет аккреции и сопровождалось уменьшением общего числа. У крупных планетозималей появились собственные гравитационные поля, что повышало эффективность захвата мелких тел и увеличивало скорость роста. Процесс образования Солнечной системы длился около двухсот миллионов лет и в основном закончился примерно 4,5 млрд. лет тому назад. Считают, что с тех пор общая структура системы не претерпела существенных изменений.

Итак, астрофизики считают, что наша Вселенная возникла ~ 13,7 млрд. лет назад в результате «Большого взрыва» и продолжает расширяться. За её пределами, возможно, существуют другие вселенные, о которых пока ничего определенного сказать нельзя. Массу Вселенной оценивают в 10^{50} т. В ней находятся 10^{22} звезд, которые объединяются в галактики, число которых достигает 10^{14} .

Наша Галактика возникла около 10 млрд. лет назад. Она занимает лишь малую часть Вселенной. Масса Галактики ~ 10^{38} т, в ней насчитывают более 100 млрд. звезд.

Солнце и его планетная система расположены во внешней части Галактики, представляющей собой спиралеобразное дископодобное скопление звезд, межзвездной пыли и газа, видимых нами как Млечный путь.

Установлено наличие восьми планет в Солнечной системе. Под планетами понимают космические тела, вращающиеся вокруг звезды, имеющие массу $10^{19} - 10^{26}$ тонн. Вещество в них находится в конденсированном состоянии и оно эволюционирует за счет процессов гравитационной дифференциации, радиоактивного распада и др.. Объекты с массой меньше 10^{19} не эволюционируют (вернее – время их эволюции порядка времени образования, аккумуляции – 100 млн. лет). При массах выше 10^{26} т. начинаются термоядерные реакции, свойственные звездам.

Земля – третья по мере удаления от Солнца планета Солнечной системы (среднее расстояние от Солнца 149,6 млн. км), самая крупная из четырех внутренних (землеподобных) планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс. Её масса равна $5,98 \cdot 10^{21}$ т, средний радиус 6371 км.

Все внутренние (по отношению к астероидному поясу) планеты имеют сравнительно небольшие размеры и высокие плотности (средняя плотность Земли равна $5,52 \text{ г/см}^3$) за счет содержания тяжелых оксидов, силикатов, наличия железистого ядра.

Астероидный пояс расположен между Марсом и Юпитером и согласно некоторым предположениям он представляет собой обломки еще одной некогда существовавшей планеты – Фэтон, разрушившейся вследствие какого-то космического катаклизма.

Внешние планеты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) обладают значительно меньшей плотностью и отличаются по составу. Некоторые из них, например, планеты-гиганты Юпитер и Сатурн, состоят в основном из смеси водорода и гелия, близкой к составу Солнца (80 % H_2 – 20 % He). Полагают, что эти различия связаны с соответствующей химической дифференциацией протопланетного газопылевого облака. Однако механизм этой дифференциации пока не известен. Девятая, самая удаленная от Солнца и самая маленькая планета Плутон исключена из числа планет на съезде астрономов в Праге в августе 2006 года и переведена в разряд планетоидов.

Все известные к настоящему времени планеты Солнечной системы двигаются вокруг Солнца по орбитам, близким к круговым, причем, почти в одной плоскости – плоскости эклиптики. Кроме того, они вращаются вокруг собственных осей. Ось вращения Земли образует с перпендикуляром к плоскости эклиптики угол, равный $23,5^\circ$, что обуславливает существование такого важнейшего явления, как смена времен года. На планетах, ось вращения которых перпендикулярна плоскости эклиптики (Меркурий), смена времен года не происходит, но наблюдается очень резкая дифференциация климата при переходе от экваториальных областей к полярным. Время обращения планет вокруг Солнца закономерно возрастает по мере их удаления от Солнца (0,24 года – Меркурий, 1 год – Земля, 248 лет – Плутон). Период обращения вокруг собственных осей у разных планет – разный (58,6 суток – Меркурий, 1 сутки – Земля, менее 10 час – Юпитер).

15. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

15.1. Строение Земли и её модели

Мысль о том, что Земля имеет форму шара, была высказана еще Пифагором в 530 г. до новой эры. Так же достаточно давно (200 г. до н. э., Эратосфен) были найдены размеры этого шара. Но только в конце 17 века после формулировки И. Ньютоном закона всемирного тяготения вопрос о форме и размерах Земли стал рассматриваться не только с геометрической, но и с физической точки зрения. Вращение Земли вокруг собственной оси обуславливает действие на любой элемент её поверхности центростремительной силы, в роли которой выступает часть силы тяготения. Вследствие этого форма Земли изменилась таким образом, что касательная, проведенная к любой точке её поверхности, перпендикулярна не силе тяготения (как на шаре), а результирующей этих двух сил, т.е. Земля приняла форму эллипсоида вращения, полярный радиус которого меньше экваториального. При достаточно строгом подходе поверхность Земли описывается индивидуальной фигурой, которая называется геоидом. По данным современных измерений экваториальный радиус Земли равен 6378,1 км, а полярный – 6356,7 км. Средний радиус (6371 км) определяется как радиус шара, имеющего тот же объем, что и объем эллипсоида вращения.

Обнаруженное отклонение формы планеты от шарообразной свидетельствует о том, что вещество, из которого она состоит, обладает пластич-

ностью, т.е. имеет свойства, характерные для вязкой жидкости. Однако степень сжатия Земли оказалась меньше, чем можно было ожидать для такого вещества. Следовательно, материал земных недр сопротивляется действующим силам, т.е. обладает прочностью и в этом смысле отличен от жидкости.

О механических свойствах материала Земного шара можно получить информацию также из наблюдений за так называемой приливной деформацией, которую испытывает Земля под воздействием Луны. Каждая точка земной поверхности поднимается и опускается под действием приливообразующей силы (силы взаимного притяжения и центробежной силы). Эти движения имеют довольно большую амплитуду (до 0,7 метра), но возникающие деформации человек не замечает благодаря плавности движения и огромной длине волны. Характер этих явлений зависит от свойств вещества. При их изучении пришли к выводу, что вещество Земли в целом довольно близко по свойствам к идеально упругому телу, хотя приливы несколько запаздывают по отношению к приливообразующей силе. Это свидетельствует о том, что недра Земли обладают вязкостью, т.е. свойством, характерным для жидкостей.

Накопившиеся к настоящему времени данные позволяют считать, что вещество Земли обладает и вязкостью, и твердостью. Такие материалы принято называть вязкоупругими. В различных условиях они могут проявлять свойства как жидкости, так и твердого тела. Например, геологические исследования показали, что при длительных горообразовательных процессах породы как бы текут аналогично жидкостям с вязкостью $10^{20} - 10^{22}$ Пуаз, тогда как при воздействии не слишком долго действующих сил (секунды – дни) они ведут себя как обычные твердые упругие тела.

Установлено, что основные процессы, преобразующие Землю, возникают на больших глубинах, имеющих весьма сложное строение. При этом не всегда удается адекватно описать такой сложный природный объект, как наша планета. Поэтому введено понятие о моделях Земли, представляющих её некоторые упрощенные схемы, отражающие основные черты строения.

Полагают, что в настоящее время Земля находится в активной фазе своего развития. Эта активность проявляется в том, что на планете происходят землетрясения, извержения вулканов, изменяется радиационный фон, геомагнитное поле и другие явления, свидетельствующие о том, что Земля живет, развивается. Эта активность, по-видимому, будет продолжаться еще примерно 1,5 млрд. лет. Активность более маленьких планет завершится раньше. Например, у Венеры это произойдет через 1 млрд. лет. Активность Марса уже закончилась около 0,5 млрд. лет назад, а Меркурия – 2 млрд. лет. Изучая проявления активности Земли, можно получить информацию о её строении.

Наиболее полные сведения о внутреннем строении нашей планеты дают наблюдения за распространением в теле Земли упругих **сейсмических волн**, возникающих вследствие землетрясений или каких-то искусственных взрывов. Различают два вида объемных сейсмических волн: продольные и поперечные. Продольные – это упругие волны сжатия, представляющие собой ко-

лебания вещества вдоль направления распространения волны. Поперечные – это упругие волны сдвига возникающие при колебании вещества перпендикулярно этому направлению. Оба вида волн распространяются в веществе Земли подобно световым лучам в оптических средах, отражаясь и преломляясь на поверхностях раздела, где их скорости и направления распространения изменяются в зависимости от свойств среды (в соответствии с законом голландского ученого **Снеллиуса** 1580–1626). Объемные сейсмические волны пронизывают нашу планету и позволяют выявить внутреннее строение Земли без непосредственного проникновения в её недра.

Очаги большинства землетрясений располагаются не далее 100 км от поверхности Земли, и лишь в случае наиболее крупных из них гипоцентр землетрясения может находиться еще глубже (до 700 км). Сейсмические волны доходят от места их образования до сейсмостанций за некоторое время (время пробега волны), зависящее от удаленности станций, которая оценивается по величине центрального угла (в градусах) между двумя радиусами, проведенными в сторону землетрясения и в сторону станции. Этот угол называется эпицентральной дистанцией. На основе полученных данных устанавливают зависимость между указанными величинами, называемую годографом. Отдельные точки годографа соответствуют разным сейсмическим лучам.

Одна из основных задач сейсмологии состоит в том, чтобы перейти от годографа к зависимости скорости распространения сейсмических волн от глубины их проникновения в тело Земли (рис. 2), так как информацию о внутреннем строении планеты дает распределение скоростей сейсмических волн по глубине (скоростной разрез Земли).

Вскоре после начала сейсмических исследований было обнаружено, что продольные и поперечные волны наблюдаются только до эпицентрального расстояния, равного 103° . Между 103° и 142° волны исчезают и создается так называемая «зона тени». При больших эпицентральных расстояниях (142 – 180°) появляется более поздняя продольная волна, а поперечная вовсе отсутствует. Для объяснения этих данных было сделано предположение о том, что приблизительно на половине расстояния до центра Земли существует граница раздела, ниже которой вещество характеризуется высокой плотностью (из-за чего продольные волны резко замедляются и изменяют свое направление) и находится в жидком состоянии (поперечные волны исчезают, т.к. они не могут распространяться в жидкой среде). Эту границу, находящуюся на глубине 2900 км, впервые в 1914 г. определил немецкий сейсмолог **Б. Гутенберг** (1889–1960). На границе Гутенберга скорость продольных сейсмических волн V_p скачком уменьшается от 13,6 до 8,1 км/с, а скорость поперечных волн V_s убывает от 7,3 км/с до нуля (рис. 2). Другая отчетливая поверхность раздела внутри Земли, расположенная довольно близко от её поверхности, была обнаружена югославским сейсмологом **А. Мохоровичичем** (1857–1936). На этой границе скорости сейсмических волн скачкообразно возрастают (на 8–10 %).

На основе этих данных сложились современные представления о внутреннем строении Земли. Часть планеты, расположенная глубже границы Гутенберга, была названа **ядром**. Выше ядра (между границами Гутенберга и Мохоровичича) располагается оболочка, или **мантия** Земли, вещество которой находится в твердом состоянии. Слой, расположенный выше границы Мохоровичича, называют земной **корой**.

Толщина коры различна в разных частях поверхности Земли. Она изменяется от нескольких километров под дном океанов до нескольких десятков километров под континентами. В результате граница Мохоровичича является почти зеркальным отражением рельефа земной поверхности. Земная кора различается не только толщиной, но и строением, составом и возрастом. Верхняя часть коры континентального типа слагается из гранитов и родственных им пород и называется гранитным слоем. Глубже располагается слой с более высокой плотностью и упругостью, в котором сейсмические волны распространяются быстрее. Его условно называют базальтовым. Океанический тип коры имеет гораздо меньшую толщину и состоит только из базальтового слоя. Географические области континентов и океанов не всегда совпадают с областями распространения земной коры соответствующего типа, т.к. вследствие тектонических движений некоторые части земной поверхности, находящиеся сейчас под водой, раньше были сушей и наоборот.

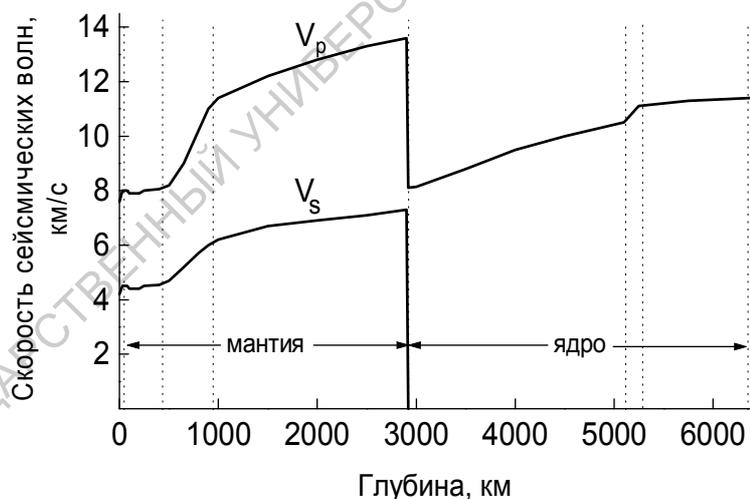


Рис. 2. Распределение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн внутри Земли

Ниже земной коры начинается мантия Земли. По характеру кривых скоростей сейсмических волн мантия может быть разделена на три части: верхняя — до 400 км (скорости сейсмических волн растут слабо или даже убывают), переходный слой — 400–900 км (быстрое увеличение скоростей) и нижняя — 900–2900 км (плавное постепенное увеличение скоростей сейсмических волн). Мантия играет очень важную роль в жизни и развитии Земли. Согласно современным представлениям, земная кора, непосредственно взаимодействующая с живыми организмами, представляет собой продукт выделения

вещества из мантии Земли в результате выноса вверх наиболее легких и легкоплавких компонентов. В мантии же располагаются очаги крупных землетрясений. Верхние слои мантии, так же как и кора, состоят из силикатов и алюмосиликатов, различающихся по составу и форме кристаллической решетки в зависимости от условий по давлению и температуре. Нижняя мантия, по-видимому, содержит ещё и смеси окислов железа, магния, кремния и др.

Часть Земного шара, расположенная глубже 2900 км, называется ядром. Оно также разделяется на три слоя: внешнее – до глубины 5100 км (постепенное увеличение скорости продольных сейсмических волн), переходную зону толщиной 100–200 км (скачок скорости) и внутреннее ядро (волны ускоряются медленно), которое занимает центральную часть планеты. Важными свойствами вещества ядра являются большая плотность и высокая металлическая электропроводность. Полагают, что ядро состоит в основном из железа (что подтверждается фактом существования железных метеоритов), находящегося во внешнем ядре в расплавленном состоянии. Во внутреннем ядре вещество вновь становится твердым, так как его температура оказывается недостаточной для плавления при очень больших давлениях, характерных для этой части Земли.

Представления о распределении плотности и давления внутри нашей планеты стали складываться только после появления сейсмических данных, показавших наличие нескольких оболочек с разными свойствами. Определение английским физиком Г. **Кавендишем** (1731–1810) значения гравитационной постоянной, входящей в уравнение закона всемирного тяготения, позволило найти массу и среднюю плотность Земли. Последняя оказалась значительно больше ($5,52 \text{ г/см}^3$) плотности горных пород (гранит – $2,8 \text{ г/см}^3$, базальт – 3 г/см^3) и, следовательно, с глубиной плотность Земли должна увеличиваться. Эти представления опираются на знание значений скоростей распространения сейсмических волн на разных глубинах, поскольку скорости зависят от плотности вещества. В настоящее время установлено, что с увеличением глубины плотность в мантии постепенно растет, причем, наиболее быстро в переходном слое. На границе с ядром плотность скачком увеличивается почти в два раза (с $5,5$ до 10 г/см^3). В ядре она монотонно возрастает, но имеется небольшой скачок между внешним и внутренним ядром, что свидетельствует об изменении фазового состояния или состава вещества ядра на глубине 5100–5200 км. В центре ядра плотность оценивается величиной $12,5\text{--}13,5 \text{ г/см}^3$.

Зная размеры различных оболочек Земли и плотность их вещества, можно определить давление внутри Земли. Оно постепенно повышается и на границе с ядром достигает 1,5 млн., а в центре Земли – 3–4 млн. атмосфер.

Одной из наиболее сложных проблем внутреннего строения Земли является выяснение характера изменения температуры в зависимости от глубины. В настоящее время наука не располагает методами непосредственного её измерения. Тепловой режим поверхности Земли определяется двумя потоками тепла, идущими от Солнца и из недр Земли. Первый их них в несколько

тысяч раз превышает второй. Однако вследствие низкой теплопроводности земного вещества лишь малая часть солнечной энергии проникает внутрь Земли, причем, на глубину, не превышающую нескольких десятков метров. Мощность теплового потока, излучаемого Землей (10^{-6} кал/см² с), оценивают величиной порядка 10^{21} Дж/год. Возникает вопрос об источнике этой энергии. Внутреннее разогревание Земли могло происходить в результате неупругих соударений твердых частиц в период формирования планеты, когда часть кинетической энергии переходила в тепловую, а также вследствие сжатия её вещества под тяжестью выше расположенных слоев. Разогрев мог происходить и в последующие эпохи, например, вследствие продолжающегося до сих пор процесса дифференциации её вещества по удельному весу. Большой вклад в тепловой баланс вносит энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивных элементов, входящих в состав вещества Земли. Первым на это указал еще в 1906 г. английский физик Дж. Рэлей (1842–1919).

Измерения показывают, что в верхних слоях Земли температура увеличивается с глубиной на 15–20 °С на каждый километр. Оценка температуры при более значительном удалении от поверхности Земли достаточно сложна и вопрос о температуре земных глубин относится к числу наименее изученных. Полагают, что на глубине порядка 100 км температура мантии равна примерно 1200 °С. Затем она растет с глубиной, принимая промежуточные значения между температурой плавления вещества мантии при соответствующих данной глубине давлениях и температурой, обусловленной его адиабатическим сжатием под тяжестью вышележащих слоев. Если считать, что ядро состоит в основном из железа, находящегося в жидком состоянии во внешнем ядре, и в твердом состоянии во внутреннем ядре, то температура во внешнем ядре должна быть выше, а во внутреннем – ниже температуры плавления железа. Таким образом, температура в ядре изменяется незначительно, что согласуется с представлениями о его металлической природе и, следовательно, высокой теплопроводности. В центре Земли температура достигает примерно 5000 °С.

Радиоактивные элементы входят в состав горных пород, а также внутренних оболочек Земли. Концентрация таких элементов относительно мала. Причем, распределение радиоактивных элементов по геосферам Земли изменялось на разных этапах её развития. В настоящее время процесс гравитационной дифференциации вещества в недрах продолжается, что приводит к изменению содержания радиоактивных изотопов во внешней оболочке планеты и радиационного фона Земли, который влияет на жизнь населяющих её организмов.

15.2. Возраст Земли

Вхождение радиоактивных изотопов в кристаллическую решетку многих минералов и горных пород позволило решить вопрос об их возрасте, а в конечном счете и возрасте Земли (4,5 миллиарда лет). Радиоактивность, то есть самопроизвольное превращение ядер одних элементов в другие, сопровождаемое испусканием альфа- или бета-частиц и гамма-излучением, пред-

ставляет собой внутриядерный процесс. В отличие от химических реакций, на него не оказывают никакого воздействия вид химического соединения (в состав которого входят атомы радиоактивного элемента), его агрегатное состояние, давление, температура, электрические и магнитные поля, то есть внешние условия, в которых протекает этот процесс. Это позволяет использовать радиоактивный распад в качестве своеобразного счетчика времени.

Количество ядер радиоактивного элемента уменьшается во времени по экспоненциальному закону $N = N_0 \exp(-kt)$. С целью установления возраста горных пород или минералов изучают распад долгоживущих радиоактивных элементов и, прежде всего, изотопов урана ${}_{92}\text{U}^{238}$ и ${}_{92}\text{U}^{235}$, период полураспада которых равен $4,5 \times 10^9$ и $7,1 \times 10^8$ лет соответственно. Однако продукты их распада сами оказались радиоактивными и с различной скоростью участвуют в последующих реакциях распада вплоть до образования устойчивых изотопов свинца ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ (из ${}_{92}\text{U}^{238}$) и ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ (из ${}_{92}\text{U}^{235}$). Например, в случае распада U^{238} образованию изотопа свинца предшествует 8 реакций альфа- и 6 реакций бета-распада. Но наиболее медленным, лимитирующим скорость реакции в целом является превращение исходного урана в реакции альфа-распада.

Начальная концентрация радиоактивного изотопа обычно не известна, поэтому определение возраста исследуемых образцов ведется путем подсчета количества сохранившихся исходных (материнских) радиоактивных изотопов и образовавшихся (дочерних) стабильных продуктов их распада. При этом методы радиохронологии могут быть применены, если исследуемый объект является закрытой замкнутой системой, то есть за длительную геологическую историю из него не мигрировали начальные радиоактивные изотопы N и конечные продукты распада D . В этом случае $N_0 = N + D$ и время, в течение которого протекал этот процесс, можно определить по формуле:

$$t = \frac{1}{k} \ln\left(1 + \frac{D}{N}\right)$$
. Для оценки возраста Земли ищут наиболее древние породы.

С этой целью прибегают также к изучению метеоритов. Предполагается, что они образовались из того же газопылевого облака, что и Земля, и в то же время. Первичная дифференциация вещества на Земле и вещества метеоритов была одинаковой, так как формирование всей планетной системы происходило одновременно и по общим законам. Проведенные измерения в железных метеоритах позволили определить изотопный состав первичного свинца, так как содержание тяжелых радиоактивных элементов (например, урана) в них (как и в ядре Земли) очень мало. Распад урана, содержащегося в каменных метеоритах, приводит к появлению радиогенного свинца. По отношению радиогенного свинца к первичному можно судить о возрасте Земли.

15.3. Геомагнитное поле

Предположение о существовании у Земли металлизированного ядра объясняет происхождение её магнитного поля. Современные теории геомагнетизма основаны на гипотезе так называемого «динамо-эффекта», выдвинутой в 1947 г. академиком Я.И. Френкелем (1894–1952). В жидком металли-

ческом ядре под влиянием тепла, выделяющегося при распаде содержащихся в нем радиоактивных элементов (например, K^{40}), или вследствие некоторых гравитационных процессов, возникают конвекционные течения вещества, которые можно рассматривать как проводники, движущиеся в слабых магнитных полях. В этих проводниках возникают индукционные токи, которые создают свои поля, усиливающие процесс. Таким образом, возникает механизм, подобный динамо-машине, работающей на самовозбуждении. Различные конвективные ячейки ориентированы по-разному. Они создают магнитные поля, имеющие разные знаки. Суммируясь, они в результате дают не очень сильное поле Земли. Магнитные поля наблюдаются у многих космических объектов. Они обнаружены у Солнца, звезд, облаков плазмы, перемещающихся в космическом пространстве, большинства планет Солнечной системы.

В первом приближении магнитное поле Земли можно рассматривать как поле постоянного магнита, помещенного почти в центре Земли, ось которого составляет угол $11,5^\circ$ с осью вращения Земли. Именно с этим связано несовпадение географического и магнитного полюсов (магнитное склонение, открытое Х. Колумбом в 1492 г.).

Магнитное поле Земли играет очень важную роль в жизни нашей планеты, защищая её поверхность и все живое на ней от потоков заряженных частиц (протоны, электроны) с высокой энергией, идущих от Солнца («солнечный ветер») и из космоса. Солнечный ветер представляет собой истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство. На уровне орбиты Земли скорость частиц оценивается \sim в 400 км/с, а число частиц – несколько десятков в 1 см^3 . Геомагнитное поле является также ориентиром для морской, воздушной и спутниковой навигации.

Всю область околоземного пространства, заполненную заряженными частицами космического происхождения, движущимися в магнитном поле Земли, называют **магнитосферой**. Под действием солнечного ветра магнитосфера принимает каплевидную форму: со стороны, обращенной к Солнцу, она сжата и простирается до расстояния в 60–90 тысяч километров от Земли, а на противоположной стороне – сильно вытянута, образуя магнитный хвост длиной в несколько миллионов километров. Заряженные частицы, проникая в магнитосферу, концентрируются в отдельных её областях, называемых **радиационными поясами**. При этом существует внешний электронный пояс, удаленный от планеты на 20–30 тысяч километров, и внутренний протонный. Протоны, обладающие большей массой, энергией, проникают ближе к Земле (3–5 тыс. км).

Проведенные исследования показали, что геомагнитное поле изменяется в пространстве и во времени. Так в Северном полушарии магнитный полюс за сутки перемещается на 20,5 м или на 7,5 км в год. В настоящее время он располагается на севере Канады, а к концу двадцать второго века должен совместиться с Северным географическим полюсом и склонение будет равно нулю. Изменение положения полюсов объясняют, с одной стороны, изменением самого поля, а с другой стороны – дрейфом континентов, а также пере-

мещением земной коры и верхних слоев мантии относительно внутренних частей Земли.

Об изменениях геомагнитного поля можно судить на основании исследований магнитных свойств горных пород, обладающих «магнитной памятью» о древнем геомагнитном поле, в котором они образовались. Свойство горных пород, содержащих ферромагнитные материалы, намагничиваться в период своего формирования под действием магнитного поля Земли и сохранять приобретенную намагниченность при остывании до температуры ниже точки Кюри (для железа ~ 750 °С) называется **палеомагнетизмом**. Исследования показали, что изменялось не только местоположение магнитных полюсов, но и знак магнитного поля в прошлом неоднократно менялся на обратный. На это указывает противоположная намагниченность горных пород разного возраста. В период **инверсии** поля исчезает магнитный экран, защищающий Землю от потока заряженных частиц. Космическое излучение, доходя до поверхности Земли, воздействует на живые организмы и приводит к их мутации, что обуславливает скачкообразный характер развития органического мира на планете. При этом возможны также и климатические изменения, так как при убывании поля усиливается проникновение космической радиации в атмосферу, меняется её состав (вследствие ядерных превращений) и прозрачность атмосферы. Изменение полярности геомагнитного поля происходило через интервалы времени от нескольких тысячелетий до миллионов лет. За последние 600 млн. лет насчитывается более тысячи инверсий. Полагают, что они сыграли важную роль и в формировании человека.

Исходя из современного характера спада напряженности ГМП, можно ожидать, что она достигнет нулевого значения примерно через 1200 лет и полярность изменится на противоположную. Промежуток времени между последней и наступающей новой инверсией тогда составит примерно 6 тыс. лет.

15.4. Эволюция Земли

За миллиарды лет своего существования Земля прошла сложный путь развития, прежде чем приобрести современные свойства, строение и состав.

В истории нашей планеты можно выделить догеологический этап, который продолжался около 200 млн. лет примерно в период с $4,7 \cdot 10^9$ до $4,5 \cdot 10^9$ лет назад. Он называется катархейским (наиболее древний). А геологическая история Земли как уже сформировавшегося космического тела делится еще на два неравных этапа (табл. 4). Наиболее древний из них, охватывающий около 85 % времени существования нашей планеты, называется **докембрием** или криптозоом (скрытая жизнь). Такое название он получил, так как предшествует первому (кембрийскому) периоду последующего мегаэтапа, который называется **фанерозом** (явная жизнь) и охватывает последние 570 млн. лет. Докембрий подразделяется на две эры: архейскую (первоначальная, древняя эра) и протерозойскую (наиболее ранняя жизнь). Фанерозой делится на три эры: палеозойскую (древняя жизнь), мезозойскую (средняя жизнь) и кайнозойскую (новая жизнь), каждая из которых делится на несколько периодов.

Таблица 4.

Основные этапы эволюции Земли

Эон	Эра	Период	Начало (млн. лет назад)
Катархей			4700
Докембрий (криптозой – скрытая жизнь)	Архейская		4500
	Протерозойская (наиболее ранний)	Нижний	2600
		Верхний (рифей)	1650
Фанерозой (явная жизнь)	Палеозойская (древняя жизнь)	Кембрийский	570
		Ордовикский	500
		Силурийский	440
		Девонский	410
		Каменноугольный	355
		Пермский	285
	Мезозойская (средняя жизнь)	Триасовый	230
		Юрский	195
		Меловой	135
Кайнозойская (новая жизнь)	Палеогеновый	67	
	Неогеновый	25	
	Антропогеновый	1,5	

На первом, катархейском этапе, Земля была сравнительно холодной и тектонически пассивной планетой. В эту эпоху она лишь постепенно прогрелась за счет распада радиоактивных элементов, рассеивания приливной энергии, гравитационной дифференциации её вещества. Дегазация Земли в катархее почти не происходила. Поэтому земная атмосфера была крайне разреженной и состояла в основном из инертных газов, так как все химически активные газы сорбировались её пористым грунтом и постепенно захоранивались в земных недрах. Гидросфера в этот период вовсе отсутствовала.

Выделение водяных паров и других атмосферных газов началось лишь через 600 млн. лет после образования Земли. В архее она уже оказалась окутанной плотной атмосферой, состоящей из эндогенных (внутренних) газов (оксидов углерода, аммиака, метана, водорода, водяного пара), вызывавших сильный парниковый эффект, вследствие чего имели место значительно более теплые климатические условия. Но все же постепенно происходила конденсация водяных паров и появились первые мелководные изолированные морские бассейны, а уже к концу архея сформировался единый, хотя еще и неглубокий Мировой океан. Появление на Земле воды в жидком состоянии имело очень важные последствия. Оно способствовало растворению в ней парниковых газов, в частности, связыванию углекислого газа в карбонатах. В результате уже в самом начале раннего протерозоя (около 2,5–2,4 млрд. лет

назад) содержание CO_2 значительно снизилось и средняя приземная температура упала.

Чрезвычайно сложным является вопрос о происхождении жизни на Земле, который занимал умы человечества на протяжении многих тысячелетий. Еще со времен Аристотеля (4 век до н. э.) многие выдающиеся мыслители, такие как Декарт, Галилей, Гегель, допускали возможность постоянного **самопроизвольного зарождения** живого из неживого. После опровержения этой идеи, в частности, и благодаря работам известного французского ученого Луи **Пастера** (1822–1895), доказавшего, что жизнь в условиях современной Земли может возникнуть только из живого, выдвигался еще ряд гипотез. Была выдвинута идея **вечности жизни**, которая вообще снимала с повестки дня проблему её возникновения на Земле. Другие (С. Аррениус) придерживались концепции **панспермии**, полагая, что жизнь была занесена на Землю из космоса. По мнению многих современных авторов это маловероятно из-за наличия неблагоприятных для жизни факторов космической среды, хотя есть немало и сторонников этой идеи. Наиболее вероятные современные представления о происхождении жизни основываются на получивших широкое признание работах (1922) А.И. **Опарина** (1894–1980), английских естествоиспытателей Дж. **Холдейна** (1892–1964), Дж. **Бернала** (1901–1971) и др., согласно которым возникновение жизни на Земле подготовлено длительным процессом эволюции материи в течение сотен миллионов лет. И сама возможность **абиогенеза**, то есть возникновения жизни из неживого, обусловлена специфическими абиотическими условиями, существовавшими на древней Земле.

Первоначальная атмосфера почти не содержала кислорода (не более 0,1 % от современного количества). Отсутствие кислорода, а следовательно, и образующегося из него озона, сыграло очень важную роль в дальнейшей судьбе планеты. В этих условиях ультрафиолетовое излучение легко проникало сквозь атмосферу, что создавало благоприятные условия для протекания фотохимических реакций и образования из растворенных в воде газов таких органических веществ, как аминокислоты, азотистые основания и т.п., то есть тех самых веществ, молекулы которых входят в состав белков, нуклеиновых кислот и других главнейших составных частей живой материи. Причем, благодаря отсутствию кислорода органические молекулы не окислялись до углекислого газа и воды, а происходило разложение их на отдельные фрагменты, которые служили исходным материалом для синтеза более сложных веществ. Они постепенно накапливались в отдельных наиболее благоприятных местах, что привело к образованию более или менее устойчивых сгущений или **коацерватов** (от лат. *собирать*), которые считаются первичными предбиологическими системами. Коацерваты имели некоторую границу раздела с окружающим раствором. Постепенно они приобрели способность к делению и самовоспроизведению, а затем и к избирательному поглощению нужных им веществ из окружающего раствора и выделению ненужных, что знаменует собой начало обмена веществ. Считают, что с возникновением этих процессов окончилась предыстория развития жизни, которую

называют химической эволюцией, и коацерватная капля превратилась в простейший организм. В середине XX века был экспериментально осуществлен абиогенный синтез белковоподобных органических веществ в условиях, воспроизводящих условия первобытной Земли. Древнейшие остатки живых организмов найдены в слоях литосферы, образовавшихся около 3,5 млрд. лет назад. Первыми видами живых организмов были, вероятно, гетеротрофные анаэробные бактерии, не содержащие ядра (прокариоты), у которых обмен веществ происходил без участия кислорода. Около 3,4 млрд. лет назад появились автотрофные организмы (известны хемо- и фотоавтотрофы). Важнейшим результатом деятельности фотоавтотрофов стало накопление кислорода в атмосфере, сопровождаемое поглощением из неё углекислого газа. Однако увеличение содержания кислорода в воздухе долгое время сдерживалось наличием в мантии свободного железа, которое выносилось из рифтовых зон срединно-океанических хребтов и разносилось по всему океану. Микроводоросли окисляли его, используя кислород, а продукты окисления железа отлагались по акваториям океана, особенно на мелководьях. В геологической летописи Земли этот период (около 2 млрд. лет назад) четко выделяется отложениями железорудных формаций криворожского типа, когда сформировалось более 90 % всех запасов железных руд мира. Только с исчезновением из мантии свободного железа, являвшегося до этого мощнейшим поглотителем кислорода, последний стал в заметных количествах накапливаться в атмосфере. Это привело к возникновению в атмосфере на высоте 20–30 км области с повышенной концентрацией озона, в который превращался молекулярный кислород при поглощении им жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Озоновый слой защитил поверхность Земли от биологически активной солнечной радиации, что позволило живым организмам выйти из вод океана на сушу. Развитие наземной растительности значительно ускорило эволюцию биосферы. Все увеличивающееся содержание кислорода в атмосфере способствовало окислению аммиака до азота и воды. Так постепенно создавалась азотно-кислородная атмосфера Земли. Но большая часть кислорода, выделившегося в результате фотосинтеза за всю историю планеты, не осталась в атмосфере, а была захоронена в литосфере в виде карбонатов, сульфатов, оксидов железа и других веществ. Захоронению подвергся и углерод (с образованием карбонатов), что снизило содержание углекислого газа в атмосфере. Продукцией биохимической деятельности живых организмов стали залежи угля, нефти и других горючих полезных ископаемых.

В начале палеозойской эры произошло быстрое расселение организмов с твердым скелетом, ранее не встречающихся. Появились рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, насекомые. Расцвет пресмыкающихся, крупных рептилий (динозавров) относится к началу мезозойской эры (триасовый период). Тогда же появились первые млекопитающие. Динозавры вымерли в конце мелового периода. Дальнейшее развитие жизнь на Земле получила в кайнозойской эре. Растительный и животный миры постепенно становятся близкими к современным.

На протяжении последних нескольких миллионов лет химический состав атмосферы практически не изменяется. Это можно объяснить тем, что он регулируется биологическими процессами, происходящими в направлении оптимизации условий развития жизни. Как писал В.И. Вернадский, жизнь создает в окружающей её среде условия, благоприятные для своего существования.

Однако до бесконечности так продолжаться, по-видимому, не будет. Как утверждают некоторые авторы, приблизительно через 600 млн. лет начнется выделение эндогенного кислорода, освобождающегося за счет распада окислов железа в нижней мантии при формировании там из окислов вещества земного ядра. К этому времени на Земле уже не останется мощных поглотителей кислорода и он через рифтовые зоны будет выходить в земную атмосферу. Давление кислорода будет повышаться и через миллиард лет оно достигнет 10 атмосфер, возникнет мощный парниковый эффект и приземная температура может подняться до 250 °С. Произойдет вскипание океанов, давление атмосферы повысится до сотен атмосфер, а приземная температура достигнет современного венерианского уровня ~ 450 °С. Но полный конец эволюционного развития Земли, по-видимому, произойдет еще в более далеком будущем (приблизительно через 5 млрд. лет), когда Солнце закончит свой жизненный путь спокойной звезды грандиозным взрывом и превратится в очень плотную маленькую звезду – «белый карлик» (конечная стадия звездной эволюции после исчерпания термоядерных источников энергии).

В завершение темы следует еще раз обратить внимание на уникальность нашей планеты. Её развитие в решающей мере было предопределено как местом Земли в Солнечной системе, так и её массой, строением, спецификой химического состава. При этом даже сравнительно небольшие отклонения от равновесных значений основных параметров Солнечной системы или химического состава Земли могли привести к необратимым и катастрофическим последствиям для земной жизни. В частности, при существовании таких отклонений наша планета еще в архее могла превратиться в «горячую» планету типа Венеры, или наоборот, замерзнуть в раннем протерозое. При нескольких других соотношениях железа и его окислов в протопланетном веществе могли возникнуть ситуации, при которых в атмосфере Земли вообще не появилось бы заметного количества кислорода, либо наоборот, его избыток уже сегодня привел к появлению все той же «горячей» атмосферы венерианского типа.

15.5. Основные представления о процессах развития земной коры

Одной из дискуссионных проблем, касающейся внутреннего строения Земли, является вопрос о механизме формирования земной коры.

К началу XX века господствующей была гипотеза **контракции** или постепенного сжатия Земли. Она базировалась на представлениях о первоначально сильно разогретой, расплавленной Земле, в которой произошла дифференциация вещества по удельному весу: возникло тяжелое железное ядро, менее плотная оболочка – мантия и самая легкая часть сконцентрировалась

сверху в виде земной коры. Кора остыла и затвердела первой. При дальнейшем остывании происходило сжатие планеты, кора становилась слишком большой для уменьшающегося объема Земли. Она сморщивалась, сжималась в складки, которые образовали горы. Однако эта гипотеза находится в противоречии со многими современными данными о строении Земли, не объясняет существование двух типов коры и др. Кроме того, неверны исходные положения гипотезы, так как в настоящее время общепризнанно, что Земля не проходила через стадию всеобщего расплава. Скорее она постепенно разогревается под влиянием радиогенного тепла и кора становится мала для расширяющихся недр, вследствие чего она разрывается, а не сминается (**гипотеза расширяющейся Земли**). Согласно другим представлениям, кора растягивается в одних местах и сжимается в других из-за наличия систем конвекционных потоков (**гипотеза конвекции**). Образование различных типов коры некоторые авторы связывают с неравномерностью разогрева земных недр (например, вследствие различий в содержании радиоактивных элементов). В наиболее разогретых частях мантии происходило выплавление легкоплавкой и малоплотной части, которая поднималась вверх, образуя континентальную кору. На ранних этапах развития Земли могли существовать в значительных количествах короткоживущие изотопы, вызывающие подобный процесс, который прекратился после их распада. Такой механизм формирования коры предполагает, что океаническая кора является первичной, а возраст континентальной коры должен быть меньше, чем океанической, хотя проведенные исследования свидетельствуют об обратном.

Научные концепции, объясняющие развитие земной коры за счет вертикальных перемещений в мантии, объединяют под названием **фиксизма**. В науках о Земле долгое время существовал психологический барьер очевидности того, что все геологические структуры (континенты, океаны, острова) всегда находились на поверхности Земли в строго фиксированном положении, а сколько-нибудь значительные горизонтальные перемещения геологических структур – исключались. Однако в начале XX века стал развиваться и **мобилизм**, признающий приоритетное значение горизонтальных движений земной коры и вещества мантии. Одним из первых идеи мобилизма выдвинул немецкий геофизик А. **Вегенер** (1880–1930), выступивший в 1912 г. с гипотезой **дрейфа континентов**, которые некогда (более 200 млн. лет назад) образовывали единый суперконтинент Пангею. Затем он раскололся с образованием Лавразии (на севере) и Гондваны (на юге). Этот процесс продолжался и в последующие эпохи. Около 135 млн. лет назад Африка отделилась от Южной Америки, а около 85 млн. лет – Европа от Северной Америки. В пользу такой гипотезы говорит удивительное сходство очертаний западных и восточных береговых линий Атлантического океана, однотипность геологического строения смежных материков (например, единство гранитных массивов Бразилии и Африки), общность древней фауны и флоры. Оледенение, которое было на земле 300 млн. лет назад, захватывало столь разные области, что объяснение этого явления встречает большие сложности. То же можно сказать и о положении магнитных полюсов Земли в прошлые эпохи: по палеомагнитным

данным, полученным на разных континентах, они не совпадают друг с другом. Но все встает на свои места, если сблизить континенты. Гипотеза пережила большую популярность в 20–30-е годы и утратила ее к середине XX века, т.к. в те годы был неясен механизм, приводящий в движение материи.

Идеи мобилизма начали возрождаться на новой основе в 60-х годах после открытия подводных хребтов, протянувшихся по осевым зонам океанов (**срединно-океанические хребты**). По гребням этих хребтов располагаются глубокие трещины растяжения – рифтовые зоны, через которые на поверхность Земли поступает мантийное вещество. **Рифты** соединены друг с другом в единую общепланетарную систему. Возраст дна океанов оказался сравнительно небольшим (150–160 млн. лет) и увеличивается по мере удаления от срединно-океанических хребтов, тогда как средний возраст самих континентов обычно превышает 2–3 млрд. лет. Вновь поступающее мантийное вещество оттесняет ранее выделившееся. В результате происходит раздвигание (**спрединг**) океанского дна в стороны от хребтов. По гипотезе спрединга расширение океанского дна обусловлено конвективными потоками вещества в верхней мантии, горячее вещество которой выносится наружу в местах расположения рифтов. За 200–300 млн. лет все раздвигающееся океанское дно обновляется, а прежние породы погружаются в мантию в так называемых зонах **субдукции** (океанские желоба, расположенные вблизи островных дуг). В этих областях происходит погружение океанской литосферы, которая вначале уходит под островную дугу, а затем дальше под континент. По-видимому, именно этот процесс вызывает дрейф континентов. Например, Северная Америка и Европа постепенно удаляются друг от друга по мере того, как между ними образуется новая океаническая кора. Напротив, Америка постепенно сближается с Евразией со скоростью 2–4 см в год за счет сокращения Тихого океана и он должен исчезнуть примерно через 300 млн. лет. Теоретическая концепция, которая рассматривает и объясняет эти перемещения получила название концепции **тектоники литосферных плит** (*тектоника – строительство, архитектура*).

В результате сжатия континентальной коры сходящимися плитами возникают молодые складчатые горы. Горообразование объясняется тем, что континентальная кора имеет малую плотность и поэтому при столкновении плит не может опуститься в мантию. При боковых перемещениях соседних плит возникают поперечные сдвиги (трансформные разломы). Там, где блоки океанской и континентальной коры воздействуют друг на друга, возникают сейсмически активные континентальные окраины. Гипотеза тектоники литосферных плит была наиболее популярна в конце XX века, но тем не менее, не приобрела статус общепризнанной теории, т.к. и ей не удается объяснить некоторые геофизические явления.

15.6. Состав и строение современной атмосферы

Внешняя воздушная оболочка Земли представляет собой смесь многих газов, вращающихся вместе с планетой, толщиной более тысячи километров и массой $5,15 \times 10^{15}$ тонн. Атмосфера не имеет четкой верхней границы и

плавно переходит в космическое пространство. Она защищает Землю от космической радиации и метеорных тел, регулирует климат Земли, её тепловой баланс, способствует круговороту веществ. Воздух – среда обитания животного и растительного мира. Благодаря содержащемуся в нем кислороду, воздух участвует как химический реагент в природных и антропогенных процессах окисления (горение, дыхание). Из атмосферного воздуха получают кислород, азот, инертные газы. Его используют как хладагент, тепло-, электро- и звукоизоляционный материал. Движущиеся воздушные массы – источник энергии.

Ранее отмечалось, что атмосфера Земли, как и сама планета, прошла длительный путь развития, при этом значительно изменялся её газовый состав. Но на протяжении последних нескольких миллионов лет он остается практически постоянным. У поверхности Земли средний химический состав сухого атмосферного воздуха (без учета водяных паров) следующий: азот – 78,1, кислород – 20,9, аргон – 0,93, углекислый газ – 0,035, неон – 0,0018, гелий – 0,0005, криптон – 0,0001, водород – 0,00005 об. %. Кроме того, в атмосфере содержатся незначительные примеси озона, метана, оксида углерода, аммиака, сероводорода, оксида азота и некоторых других газов. В нижних частях атмосферы всегда присутствует водяной пар, количество которого зависит от времени года, широты местности, состояния погоды, удаления от поверхности Земли и многих других факторов. Его содержание варьируется от 3 % в тропиках до 2×10^{-5} % в Антарктиде. Следует отметить, что состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия поддерживаемого деятельностью автотрофных и гетеротрофных организмов, а также различными геохимическими процессами. Постоянного по составу воздуха не существует, т.к. происходит непрерывный обмен между живыми организмами, гидросферой и глубокими слоями литосферы (вулканическая деятельность). Тем не менее средний состав воздуха над планетой остается более или менее стабильным.

Плотность воздуха с высотой резко уменьшается (у поверхности Земли 1 куб. м воздуха имеет массу 1200 г, на высоте 20 км – 43 г и на высоте 40 км – 4 г). Активная жизнь в атмосфере распространяется примерно до 6 км, то есть до уровня вечных льдов. На высотах, больших 6 км, жизнь некоторых организмов продолжается, но ограничивается с высотой в связи с увеличением интенсивности ультрафиолетовой радиации, наиболее жесткую часть которой поглощает озоновый слой Земли. Выше озонового слоя Земли (более 30 км) живые существа погибают.

Некоторые свойства атмосферы резко изменяются на определенных высотах, что позволяет говорить о её слоистом строении. Причем, принято выделять различные системы слоев в зависимости от того, изменение каких параметров атмосферы является основанием для этого.

Если в качестве характеристики взять газовый состав, то можно выделить два слоя: **гомосферу** (до высоты примерно 90–100 км) и **гетеросферу** (выше). В гомосфере процентное соотношение основных газов (за исключением водяного пара, озона) постоянное, что обусловлено их интенсивным

перемешиванием. В гетеросфере под воздействием ультрафиолетовой радиации молекулы газов диссоциируют на атомы, ионы и радикалы, которые благодаря своей активности участвуют в различных химических реакциях, приводя к образованию новых соединений и к изменению химического состава этого слоя. Выше 100 км растет доля легких газов, а на очень больших высотах преобладают гелий и водород

Если в качестве характеристики взять температуру и проследить за ее изменением с высотой, то в атмосфере можно выделить пять слоев (рис. 3).

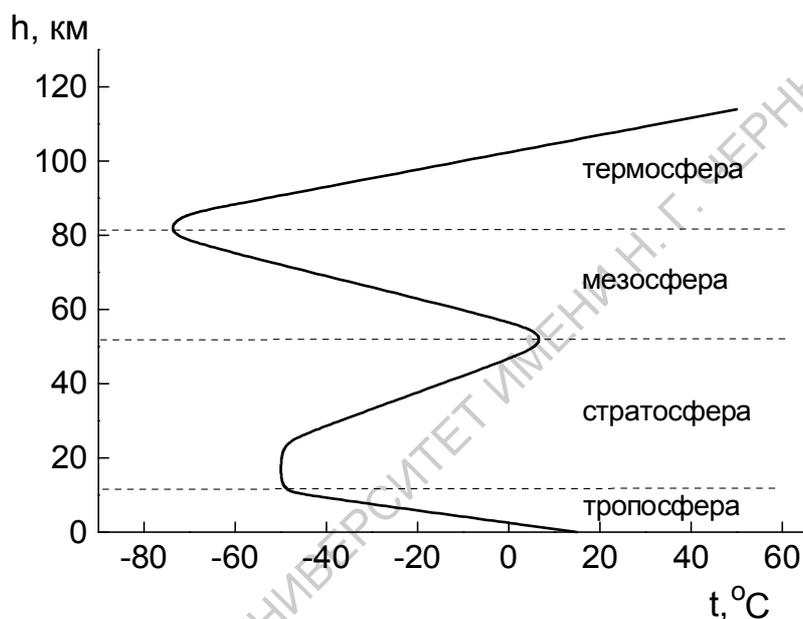


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры атмосферы

В самой нижней части атмосферы, называемой **тропосферой**, где сосредоточено около 80 % всей массы атмосферы, в том числе почти весь водяной пар и основная масса загрязнений, происходит понижение температуры с увеличением расстояния от Земли в среднем на шесть градусов на каждый километр. Это объясняется тем, что воздух в тропосфере нагревается, в основном, от поверхности Земли, и в верхней части тропосферы он охлаждается примерно до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Неравномерность нагревания атмосферы способствует её общей циркуляции, которая влияет на погоду и климат Земли.

Выше тропосферы находится **стратосфера**, а между ними расположен переходный слой – тропопауза, на протяжении которой температура не изменяется. Уровень тропопаузы зависит от широты местности, так что различают тропическую тропопаузу (на высоте 15–18 км), тропопаузу средних широт (10–12 км) и полярную (8–10 км). Стратосфера имеет протяженность около 40 км, то есть расположена до высоты 50–55 км от поверхности Земли. Она, в свою очередь, делится на нижнюю (изотермическая область) и верхнюю (область инверсии). Начиная с высоты 20–25 км, температура стратосферы возрастает и достигает положительных значений ($0\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$) на уровне следующего переходного слоя – стратопаузы. Такое повышение температуры

связано с поглощением солнечной ультрафиолетовой и инфракрасной радиации озоновым слоем.

С дальнейшим удалением от Земли количество озона уменьшается и температура вновь снижается. На высоте примерно 80 км достигается абсолютный минимум температуры, которая достигает значений минус 70–80 градусов, или даже ниже. Слой, следующий за стратосферой, называется **мезосферой**.

Еще выше начинается **термосфера**, где температура вновь увеличивается с высотой, достигая 500 °С на высоте 200 км и более 1000 °С на высоте 500–600 км. На высоте свыше 800 км расположена **экзосфера**. Температура здесь 1200–1500 °С. Высокие температуры верхней термосферы и экзосферы обусловлены большими скоростями частиц газов, двигающихся в условиях сильного разрежения. В экзосфере эти скорости столь велики, что частицы постепенно уходят из сферы земного притяжения в межпланетное пространство.

На высотах, соответствующих термосфере, газы находятся в ионизированном состоянии, поэтому эту часть атмосферы называют **ионосферой**. Газы в ионосфере находятся преимущественно в атомарном состоянии, а под действием солнечного излучения происходит отщепление электронов от нейтральных атомов и молекул, которые становятся положительно заряженными. Свободные электроны, присоединяясь к нейтральным атомам или молекулам, наделяют их отрицательным зарядом, превращая в анионы. Ионизация разных газов происходит на различных высотах, в связи с чем в ионосфере выделяют еще подслои, обозначаемые буквами латинского алфавита. Способность ионизированных слоев верхней атмосферы отражать радиоволны используется для осуществления дальней радиосвязи.

Все параметры атмосферы (температура, давление, плотность, состав) обладают значительной пространственно-временной изменчивостью. Поэтому приведенные здесь количественные данные отражают лишь какое-то среднее состояние атмосферы.

15.7. Гидросфера Земли

Вода – самое распространенное вещество на Земле. Гидросфера включает в себя воду мирового океана, поверхностные, грунтовые и подземные воды, ледники, воду, содержащуюся в атмосфере, а также входящую в состав живых организмов. Её общая масса составляет $1,44 \times 10^{18}$ тонн (1,44 млрд. км³), т.е. примерно по 200 млн. тонн на каждого жителя планеты. Вода покрывает 71 % поверхности Земли и средняя толщина слоя воды в океане – 4 км. Не смотря на это кажущееся изобилие воды, все чаще говорят о её нехватке, о кризисе водных ресурсов. Одна из причин этого заключается в том, что более 97 % воды сосредоточено в Мировом океане, то есть это вода соленая. Между тем человек как организм и как организатор производства нуждается, в основном, в пресной воде, на долю которой приходится всего лишь 2,7 % от общего её содержания. Соленость воды обусловлена растворенностью в ней различных солей: карбонатов, сульфатов, хлоридов. Их средняя

концентрация в открытом океане составляет 35 г/л, и эта величина изменяется в довольно широких пределах, особенно в окраинных и внутренних морях, воды которых разбавляются поверхностным пресным стоком. Например, в Черном море концентрация солей около 19 г/л, в Балтийском – 20 г/л. Пресные воды также содержат растворенные в них соли, но в значительно меньшем количестве (≤ 1 г/л). Основная часть пресной воды (около 70 %) – это ледники Арктики, Антарктики, Гренландии. Ещё почти 30 % – это пресные подземные воды. А на долю поверхностных пресных вод суши (реки, озера, болота) приходится лишь около 0,3 % от общего количества пресной воды. К тому же эта вода распределена неравномерно по поверхности Земли (имеются районы с избыточной увлажненностью и пустынные безводные области) и она интенсивно загрязняется человеческой деятельностью. Поэтому полагают, что доступны и пригодны к использованию лишь 0,003 % от общего количества воды на Земле.

Вода уникальное вещество, имеющее в жидкой фазе более высокую плотность по сравнению с твердой фазой, вследствие чего лед плавает по поверхности водоемов, которые благодаря этому не промерзают до дна, сохраняя условия для существования в них жизни (максимальную плотность вода имеет при температуре 4 °С). Под влиянием солнечного излучения вода движется в бесконечном гидрологическом цикле: из океана в атмосферу, из атмосферы в океан и на сушу, затем снова в океан. Вода очень хороший растворитель, в том числе и для атмосферных газов (кислород, углекислый газ). В воде соотношение кислорода к азоту составляет 1:2, так что содержание кислорода в воде достигает 35% от общего количества остальных газов. Доля углекислого газа также выше, чем в воздухе. Именно обилие кислорода, углекислого газа и минеральных солей является основой развития жизни в воде.

Роль воды трудно переоценить. Океан – регулятор климата (поглощает и отдает тепло), а также состава атмосферы. Вода участвует в круговороте и, растворяясь в ней, в круговороты включаются многие другие вещества. Вода – исходное вещество процесса фотосинтеза, осуществляемого зелеными растениями. Она входит в состав всех живых организмов, где на её долю приходится 50–99 % их массы. Например, тело взрослого человека примерно на 65 % состоит из воды. В молодом возрасте эта величина больше, к старости снижается. Потеря 10–15 % воды приводит к гибели многие организмы.

Значение воды для человека особенно велико. Она используется в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в быту, применяется как сырьё (получение кислорода, водорода), растворитель, хладагент, теплоноситель, источник энергии (гидроэнергетика), для орошения и т.д. Причем, пригодна к использованию в основном пресная вода.

16. КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ

Биология – комплекс наук о живых организмах, их строении, функциях, связях между собой и с неживой природой.

16.1. Отличия живой и неживой природы

Организм – любое живое существо. Он отличается от неживой природы совокупностью свойств, присущей только живой материи:

- клеточное строение,
- обмен веществ (при ведущей роли белков и нуклеиновых кислот), обеспечивающий **гомеостаз** организма, т.е. постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма.

Живым организмам присущи также

- движение,
- раздражимость,
- рост,
- развитие,
- размножение и наследственность,
- приспособляемость к условиям существования, т.е. адаптация.

Главные уровни организации жизни – ген, клетка, орган, организм, популяция, сообщество (биоценоз).

16.2. Классификация биологии

Биология подразделяется на ряд наук в соответствии с объектом исследования, свойствами и уровнем организации живых организмов.

Её основными разделами являются:

1. Ботаника – наука о растениях
2. Зоология – наука о животных
3. Морфология – наука о структуре организма; строение человеческого организма изучает анатомия
4. Физиология – наука о функционировании организма
5. Эмбриология изучает особенности эмбрионального (зародышевого) развития
6. Гистология изучает свойства тканей организмов
7. Цитология исследует строение, хим. состав и функции клеток
8. Таксономия – наука о классификации и эволюционном родстве
9. Молекулярная биология выясняет строение хим. веществ, участвующих в жизненном цикле организма
10. Генетика изучает наследственность и изменчивость, свойства живых организмов передавать признаки и приобретать новые.
11. Экология – наука о взаимоотношениях живых организмов со средой их обитания.

16.3. Концепции биологии

В процессе развития биологических представлений были выдвинуты концепции:

1) **Клеточная теория** 1839 г. (Т. Шванн, немецкий биолог, 1810–1882), согласно которой все живые организмы состоят из клеток. Например, у человека в организме новорожденного 2×10^{12} клеток. В каждой клетке 2 части:

ядро и цитоплазма. Новые клетки образуются путем деления ранее существовавших. Клетки сходны по составу и обмену веществ. Клетки специализированы по функциям и образуют ткани.

2) **Теория эволюции** органического мира, выдвинутая в 1859 г. Ч. **Дарвиным** ((1809–1882), утверждавшим, что любая группа живых организмов имеет тенденцию к изменчивости и наследуемой передаче признаков.

3) **Генная теория**, согласно которой информация о наборе признаков, передающихся по наследству, заложена в хромосомах и составляющих их генах.

4) **Ферментативный** характер процесса метаболизма (т.е. обмена веществ), протекающего с участием ферментов (энзимов) – специфических органических катализаторов

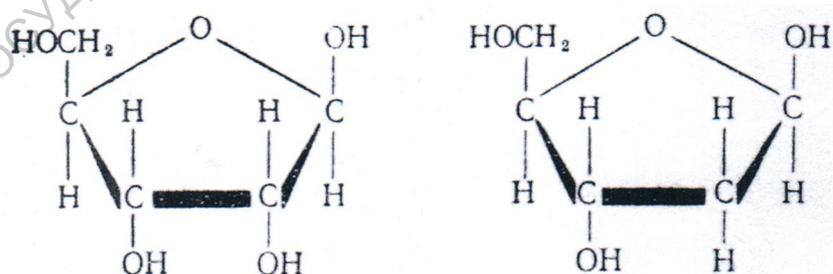
5) Теория **гормональной** регуляции процессов обмена веществ наряду с нервной регуляцией.

16.4. Молекулярные основы генетики

Одним из наиболее бурно развивающихся разделов современной биологии является **генетика** – наука о наследственности и изменчивости организмов.

Главную роль в передаче наследственной информации играют биологические полимеры – **нуклеиновые кислоты**, входящие в состав клеток представителей всего органического мира, от самых примитивных до самых сложноустроенных его форм. Нуклеиновые кислоты открыл в XIX в. швейцарский ученый Иоганн **Мишер** (1844–1895).

Существуют два типа нуклеиновых кислот. Преимущественно в ядре содержится **дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)**. В цитоплазме, а также частично и в ядре содержатся другие нуклеиновые кислоты, называемые **рибонуклеиновыми (РНК)**. Они получили такие названия, потому, что в состав молекулы ДНК входит углевод (сахар) дезоксирибоза, а в состав РНК – другой сахар – рибоза.



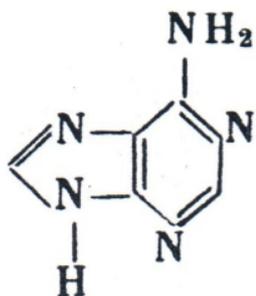
Рибоза

Дезоксирибоза

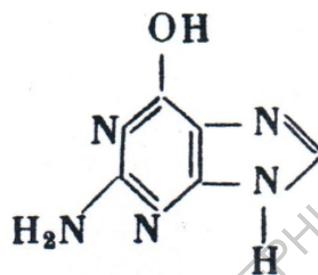
Эти сахара содержат пятичленный цикл с атомом O в одной из вершин и различаются заместителями при одном из углеродных атомов: у дезоксирибозы это атом H, а у рибозы – гидроксильная группа OH. В остальном молекулы абсолютно одинаковы.

Кроме того, молекулы ДНК и РНК содержат азотистые основания двух типов: **пуриновые** (аденин и гуанин), входящие в состав как ДНК, так и РНК, и **пиримидиновые** (цитозин, тимин или урацил). Цитозин и тимин входят в состав ДНК, в РНК место тимина занимает урацил.

Пуриновые основания

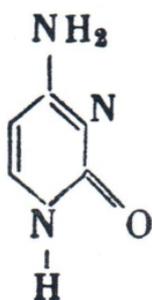


Аденин

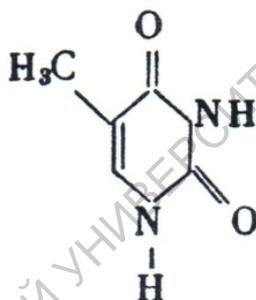


Гуанин

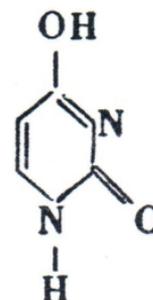
Пиримидиновые основания



Цитозин



Тимин (в ДНК)



Урацил (в РНК)

Химический анализ нуклеиновых кислот показывает, что на каждое азотистое основание в ДНК и РНК приходится по одной молекуле сахара и по одному остатку фосфорной кислоты. Таким образом, повторяющейся структурной единицей (мономерной единицей) нуклеиновых кислот является химическое соединение, состоящее из трех молекулярных остатков-радикалов: азотистого основания, сахара (пентозы) и остатка фосфорной кислоты. Эти соединения (мономеры) получили название **нуклеотидов**.

Нуклеотиды в молекуле ДНК расположены один за другим в виде длинной цепи. Каждый из нуклеотидов содержит одно из четырех азотистых оснований (аденин или гуанин, или тимин, или цитозин), которое связано с дезоксирибозой (сахар), а тот, в свою очередь, при помощи остатков фосфатов соединяется с дезоксирибозой другого нуклеотида (Рис. 4). Т.о. существуют 4 типа нуклеотидов, различающихся азотистыми основаниями. Порядок расположения этих четырех нуклеотидов может быть самым разным, а число нуклеотидов в одной молекуле ДНК доходит до нескольких десятков тысяч. Каждая полинуклеотидная цепочка строится из разнообразных комбинаций

нуклеотидов, так что все четыре типа нуклеотидов чередуются вдоль цепи весьма разнообразно.

С помощью рентгеноструктурного анализа было показано, что молекула ДНК представляет собой не одну цепь полинуклеотидов, а две цепи, находящиеся одна возле другой на определенном расстоянии. Обе цепи нуклеотидов укладываются вокруг оси молекулы в виде двух согласованных спиралей. Цепи соединяются друг с другом за счет образования водородных связей между пуриновыми и пиримидиновыми основаниями соседних цепей (аденин может быть связан только с тимином, а гуанин – только с цитозином). Такие связи называются **комплементарными** (дополнительными). Поэтому порядок расположения оснований в одной цепи однозначно определяет порядок в другой (рис. 4). Именно с этим связано важнейшее свойство ДНК – способность к самовоспроизведению (**репликации**). Структура молекулы ДНК была предложена в 1953 г. Дж. Уотсоном (1928), Френсисом Криком (1916–2004) и Морисом Уилкинсом (1916–2004) (Нобелевская премия 1962 г.).

ДНК имеется у всех животных и растений, в основном, в ядре клетки, где она входит в состав хромосом (структурные элементы ядер).

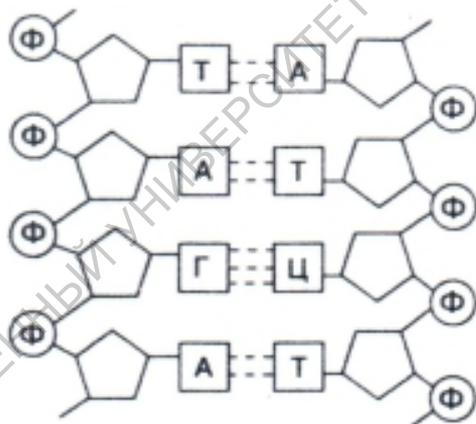


Рис. 4 Комплементарное соединение нуклеотидов и образование двухцепочечной молекулы ДНК (фрагмент)

Химическая структура молекулы ДНК одинакова у всех организмов, но величина молекулы у различных растений, животных – неодинакова. У организмов, принадлежащих к одному виду, размеры молекул ДНК существенно не различаются.

Молекулы ДНК несут основную наследственную информацию и единицы наследственности – **гены** представляют собой определенные участки этой молекулы со специфическим набором нуклеотидов, в последовательности которых закодирована генетическая информация. Главная функция гена – это способность служить матрицей для синтеза новых молекул ДНК.

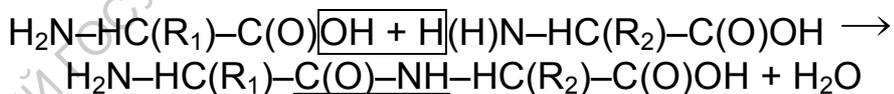
В клетке непрерывно происходят сложные процессы обмена веществ. Поэтому в цитоплазме и ядре имеются элементарные соединения, которые необходимы для осуществления процесса самовоспроизведения ДНК: отдельные нуклеотиды и входящие в них более простые соединения.

При самовоспроизведении двойная молекула ДНК прежде всего делится на две цепи нуклеотидов, не связанные водородными связями. Затем каждая из образующихся двух цепей, служащая своеобразной матрицей, присоединяет к себе находящиеся в ядре или проникшие в ядро из цитоплазмы отдельные нуклеотиды. Они располагаются в строго определенном порядке, а именно аденин притягивает тимин, а тимин соответственно аденин, также как гуанин соединяется с цитозином, а цитозин – с гуанином. В результате, рядом с каждой из двух «материнских» цепей формируется «дочерняя» цепь нуклеотидов, комплементарная с материнской по расположению азотистых оснований.

В итоге формируются две молекулы ДНК, каждая из которых состоит из двух цепей. При этом одна из цепей в молекулах «старая», а другая, комплементарная к ней, – «новая». В результате «дочерние» молекулы сохраняют свою структуру, последовательность нуклеотидов и связанную с ней наследственную информацию

Как уже отмечалось, **ген** – участок молекулы ДНК со специфическим набором нуклеотидов, в последовательности которых закодирована генетическая информация. Главная его функция – это способность служить матрицей для синтеза новых молекул ДНК.

Но не менее важно и то, что молекула ДНК и её участки – гены способны синтезировать комплементарные им специфические (благодаря последовательности оснований) молекулы РНК. Молекулы ДНК локализованы почти исключительно в ядрах клеток, а РНК имеются и в ядре, и в цитоплазме, в мельчайших гранулах цитоплазмы – **рибосомах**, где и формируются молекулы белков. Белки (высокомолекулярные полипептиды) образуются в реакции совместной полимеризации (поликонденсации) аминокислот и поэтому являются биологическими полимерами. Они состоят из большого числа остатков различных (до 20) аминокислот, которые соединены пептидными связями –C(O)–NH– в длинные цепи. **Пептидные связи** соединяют карбоксильную группу –C(O)ОН одной аминокислоты с аминогруппой NH₂– другой в молекулах пептидов и белков:



Все многообразие и специфичность белков определяется главным образом количеством тех, или иных аминокислот и порядком их расположения в полипептидных цепях.

Молекулы РНК состоят не из двух (как в ДНК), а одной цепи нуклеотидов. Существует три различных типа РНК:

- 1) растворимая РНК, или **транспортная** (тРНК), обнаруживаемая главным образом в цитоплазме (76–85 нуклеотидов)
- 2) **рибосомная** РНК (рРНК), локализованная в рибосомах (3–5 тыс. нуклеотидов);
- 3) **информационная** РНК (иРНК) (300–30000 нуклеотидов) имеется и в ядре, и в цитоплазме. Информационной она называется потому, что с этой

РНК связана важнейшая функция передачи наследственной информации от ДНК, расположенных в ядре.

Строительным материалом для синтеза белка служат различные аминокислоты, имеющиеся в цитоплазме. В цитоплазму животной клетки аминокислоты попадают с пищей в результате обмена веществ, а недостающие аминокислоты также синтезируются. В цитоплазме клеток должен всегда иметься большой запас аминокислот, которые активируются присоединением аденозинтрифосфата (АТФ), что обогащает аминокислоту энергией.

Синтез белка осуществляется в рибосомах (расположенных в цитоплазме) из аминокислот, приносимых туда тРНК. Рибосомы состоят из белка и РНК. В клетке синтезируется много различных белков, каждый из которых выполняет определенную специфическую функцию.

Определенные участки молекулы ДНК притягивают из окружающей среды нуклеотиды и строят молекулу РНК, в которой основания являются комплементарными к соответствующим основаниям молекулы ДНК, отличаясь тем, что место тимина занимает урацил (и другой сахар). При этом создается сравнительно небольшая (по сравнению с ДНК) цепочка специфической информационной РНК. Молекула этой иРНК покидает ядро, входит в цитоплазму, направляясь к рибосомам, где, участвуя в процессе синтеза белка, передает наследственную информацию. Последовательность оснований в молекуле иРНК определяет последовательность аминокислот в пептидной цепи белка.

Каждая из аминокислот, составляющих данный пептид, притягивается небольшой группой оснований в молекуле информационной РНК, состоящей всего из трех нуклеотидов, называемых **триплетами**. Каждый триплет состоит из трех нуклеотидов и определяет положение в полипептидной цепи одной определенной аминокислоты.

Генетическая информация, закодированная в молекуле ДНК, передается информационной РНК (процесс **транскрипции**), и уже в рибосомах последовательность триплетов оснований (кодонов) определяет последовательность аминокислот в полипептидной цепи (процесс **трансляции**).

Сочетания (последовательности) трех рядом стоящих нуклеотидов в цепи ДНК (триплеты – кодоны) составляют **генетический код**. Генетический код включает всевозможные сочетания трех (из четырех) азотистых оснований. Таких сочетаний может быть $4^3 = 64$, в то время как кодируется только 20 аминокислот. В результате одна аминокислота может кодироваться несколькими триплетными основаниями.

Таким образом, ген – участок ДНК со специфической последовательностью нуклеотидов. Главная его функция – способность служить матрицей для синтеза новых молекул ДНК. Это обеспечивает передачу наследственной информации от клетки к клетке, от одного поколения организмов другому.

Другая важная функция ДНК – это способность синтезировать комплементарные им специфические (благодаря последовательности оснований)

одноцепочечные молекулы иРНК, которая определяет структуру белков, строящихся в клетке, в мельчайших её структурах – рибосомах.

В этом процессе участвуют, кроме высокомолекулярной иРНК, еще и низкомолекулярная транспортная тРНК, отдельные молекулы которой, имеющие специфическую последовательность азотистых оснований, вступают в соединение с определенными аминокислотами и «подносят» их к рибосомам. Там участки этой тРНК, содержащие соответствующую последовательность оснований, присоединяются к комплементарным участкам иРНК и в результате аминокислоты образуют определенную последовательность, соединяются пептидными связями, образуя полипептиды (белки).

Таким образом, через процесс «транскрипции» (ДНК → РНК) и последующий процесс «трансляции» (РНК → полипептид) осуществляется влияние «закодированной» в ДНК наследственной информации на синтез специфических белков в клетке. А белки – главный субстрат жизни. Это компонент ферментов, без которых в клетках не могут идти необходимые реакции. Следовательно, каждый ген ответственен за синтез определенного белка (фермента–катализатора). Контролируя их образование, ген управляет всеми химическими реакциями организма и т.о. определяет его признаки.

Ген, наряду с высокой устойчивостью, обладает способностью к наследуемым изменениям – **мутациям**, которые являются источником генетической изменчивости организмов и основой для действия естественного отбора. Если изменяется матрица ДНК (выпадает азотистое основание, или включается новое, или одно основание заменяется другим), то такое изменение будет передаваться при репликации ДНК из клетки в клетку, т.е. будет наследоваться. Следовательно, в клетках будет синтезироваться измененная иРНК, а затем и измененный белок. Т.о. и проявляется влияние мутаций (изменений в ДНК) на жизнедеятельность клетки.

Совокупность разных генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма – **геном**.

Совокупность всех генов организма составляет его генетическую конституцию – **генотип**.

Совокупность всех признаков организма: внешних (цвет глаз, форма носа, окраска цветков...) и внутренних (биохимических, гистологических, анатомических и т.д.) – **фенотип**, т.е. это совокупность свойств организма, за исключением последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК.

17. ЭКОЛОГИЯ

Как уже отмечалось, естествознание – совокупность наук о природе. Среди них есть как науки, изучающие, в основном, неживые системы (физика, химия, геология, астрономия, космология и др.), так и науки о живой природе (биология). Известна естественная наука, объектом исследования которой являются те связи, которые существуют между живой и неживой природой. Эта наука – **экология**. Проблема взаимодействия живых организмов и среды их обитания интересовала людей давно, а термин «Экология» (от греч.

ойкос – дом, жилище и *логос* – учение, наука) был предложен сто пятьдесят лет назад (в 1866 г.) немецким биологом, профессором Йенского университета Эрнстом Геккелем (1834–1919). Экология – это наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания.

Современная экология представляет собой широкую область знания, обладающую определенной структурой. Обычно экологию разделяют на общую и частную. **Общая экология** изучает основные (общие) закономерности взаимоотношений организмов и среды, биологические проблемы выживания живых организмов в окружающей среде, адаптацию организмов, саморегуляцию, устойчивость экосистем.

Частная экология, как правило, ограничена изучением конкретных групп организмов в их взаимодействии со средой обитания или изучает взаимодействие различных организмов с конкретной средой, или различные аспекты этого взаимодействия. То есть существуют разные критерии выделения частных экологий.

Так, соответственно объекту изучения, самостоятельно существуют такие науки, такие разновидности частной экологии, как экология растений, экология животных и т.д. Экология классифицируется также в зависимости от среды обитания (экология океана, экология почвы, космического пространства...).

Современная экология не ограничивается только рамками биологической дисциплины, а связана и со многими небиологическими науками. На стыке экологии с другими отраслями знания возникли такие частные экологии, как физическая экология, химическая экология, математическая экология, геоэкология, глобальная экология (т.е. в приложении к биосфере Земли) и т.д.

Особый статус имеет экология человека, которая представляет собой комплексную науку, изучающую закономерности его взаимодействия с окружающей средой, вопросы охраны природы, влияние природной и социальной среды на человека, развитие и сохранение народонаселения.

Экология как наука может быть связана и с гуманитарными науками. Например, существует такой раздел экологического знания, который называется экологией культуры. Эта научная дисциплина призвана исследовать культурную среду обитания человека, её формирование и воздействие на людей.

Все эти столь отдаленные, казалось бы, отрасли знания объединяет одно общее: их **экологичность**. Все они исследуют одну и ту же проблему: взаимодействие живого и неживого, живых организмов и среды их обитания. Все они базируются на ряде общих законов, понятий, терминов, правил. Таким образом, можно отметить, что характерной чертой современной экологии является то, что она из строго биологической науки превратилась в комплексную науку, представляющую собой систему знания, вобравшую в себя разделы многих других научных дисциплин. В настоящее время экологию трактуют также и как науку о защите и рациональном использовании окружающей среды.

Характер взаимоотношений человека и природы менялся на разных этапах исторического развития, а также различался в разных регионах Земли. Так, в европейской культуре уже около двух с половиной тысяч лет назад сложилось представление о главенстве человека над остальной природой. Человек – центр и высшая цель мироздания. Такое воззрение получило название **антропоцентризм** (от греч. *антропо* – человек). К основоположникам антропоцентризма принято относить древнегреческих философов **Протагора** и **Сократа** (V в. до н.э.). Идеи антропоцентризма в той или иной степени были характерны для всей древнегреческой философии, они были восприняты и христианством, но уже тогда возникло понимание, что действия человека могут нанести ущерб природе. Антропоцентрическая точка зрения на характер взаимоотношений человека и природы, потребительское отношение к природе, представления о неисчерпаемости её ресурсов, природопокорительская деятельность характерны и для многих наших современников, хотя постепенно приходит понимание того, что основой взаимоотношения с природой должна стать взаимопомощь, а не противоборство. Только сохранив природу, человек сможет обеспечить свое дальнейшее существование. Такое воззрение составляет основу нового типа экологического сознания – **экоцентризма**. Человек – не хозяин природы, а один из членов природного сообщества и целью взаимодействия человека с природой должно быть удовлетворение как потребностей человека, так и природы. Развитие природы и человека следует рассматривать как процесс коэволюции, взаимовыгодного единства, взаимовыгодного развития.

Экология изначально возникла как один из разделов биологии и многие её понятия биологического происхождения. К числу важнейших можно отнести следующие:

популяция – совокупность совместно обитающих в течение многих поколений и взаимодействующих между собой организмов, принадлежащих к одному виду,

биоценоз – сообщество популяций организмов совместно проживающих и взаимодействующих на определенном пространстве,

биотоп – совокупность факторов неживой природы (неорганических компонентов среды и её физико-химических параметров), обеспечивающих существование живых организмов,

экологическая система – единый, взаимосвязанный природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, т.е. биотоп и связанный с ним биоценоз в совокупности образуют экологическую систему.

Одной из основных естественнонаучных концепций экологии является концепция **биосферы**. Согласно современным представлениям, биосфера представляет собой своеобразную оболочку Земли, содержащую всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которое находится во взаимодействии с этими организмами (или взаимодействовало с живыми организмами ранее). То есть биосферу можно определить как экологическую систему в планетарном масштабе.

18. КОНЦЕПЦИЯ БИОСФЕРЫ И НООСФЕРЫ

Учение о биосфере как об активной оболочке Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов (в том числе и человека) проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба и значения, создано (1926 г.) нашим великим соотечественником В.И. Вернадским (1863–1945). Учение о биосфере является одним из крупнейших и наиболее интересных обобщений Владимира Ивановича в области естествознания. Согласно Вернадскому, биосфера представляет собой оболочку Земли, «включающую в себя как область распространения живого вещества, так и само это вещество». Составным элементом биосферы является и человек, и человеческое общество с его производством, причем, для человека свойственно сознательное преобразование биосферы.

Основной идеей учения о биосфере является представление о тесном взаимодействии между живой и неживой природой, об обратной связи между живыми организмами и физическими, химическими и геологическими факторами, влияющими на них, в результате чего живое вещество в значительной степени меняет «лик Земли». В.И. Вернадский определил пространство, охватываемое биосферой Земли, хотя, конечно, границы биосферы довольно условны и определяются значениями абиотических факторов, при которых возможно развитие жизни. Толщина биосферы («пленки жизни») порядка нескольких десятков километров. Она включает в себя верхние слои литосферы материков (верхнюю часть земной коры) до глубины в несколько километров (на таких глубинах в подземных водах еще встречаются живые организмы), всю гидросферу (и на 1–2 км ниже дна океана) и нижние слои атмосферы. Живые организмы способны обитать на высоте до 5–6 км, хотя восходящими потоками воздуха споры и пыльца растений могут быть занесены и еще выше. В настоящее время в качестве верхней границы биосферы часто рассматривают так называемый озоновый слой – область максимальной концентрации озона, расположенную в стратосфере на высоте 20–30 км. Озон поглощает губительное для всего живого жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца. Выше озонового слоя жизнь не возможна.

Для обозначения совокупности всех живых организмов В.И. Вернадский ввел новое понятие – «живое вещество». Масса живого вещества по современным оценкам равна $2,4 \times 10^{12}$ тонн и она составляет примерно одну миллионную часть от массы биосферы. Тем не менее, именно живые организмы играют определяющую роль в её развитии. При этом на долю растений приходится около 99 % от массы живого вещества, а на долю животных – 1 %.

По представлениям В.И. Вернадского биосфера включает в себя кроме живого вещества еще и неживое вещество, состоящее из биогенного (захороненное органическое вещество – нефть, газ и т.д.), косного (в его образовании живое не участвует, например, магматические горные породы), биокосного (минеральное вещество, созданное с помощью живых организмов, на-

пример, почва), а также радиоактивного вещества и вещества космического происхождения (падающие на Землю метеориты, космическая пыль и др.).

По оценкам В.И. Вернадского за 1 секунду Земля получает от Солнца 170×10^{12} кДж и он рассматривал биосферу как область превращения этой космической энергии в энергию первичных органических соединений, синтезируемых зелеными растениями в процессе фотосинтеза. Именно благодаря растениям существуем мы и всё то богатство органического мира, которое нас окружает. Значительная часть живого вещества, минерализуясь, идет на образование новых минералов, вне биосферы не известных (биокосное вещество), а часть захоранивается в форме самого органического вещества, образуя горючие полезные ископаемые такие, как нефть, природный газ (биогенное вещество). В связи с выше сказанным, становится понятным утверждение В.И. Вернадского о том, что земная кора представляет собой в основном «остатки былых биосфер», т.к. её верхний гранитный слой образовался в результате превращения и переплавления пород, некогда возникших под влиянием живого вещества. С возникновением жизни на Земле живые организмы стали активно изменять, преобразовывать земную кору.

История жизни имеет общую продолжительность около 3,5 млрд. лет, и за это время образовалась новая комплексная оболочка Земли – биосфера, переработанная жизнью и заселенная живыми организмами. Одна из основных функций биосферы – устойчивое поддержание жизни – основывается на непрерывном круговороте веществ. Живое вещество, войдя во взаимодействие с литосферой, атмосферой и гидросферой, коренным образом преобразовало их, придало им новые свойства и качества.

Важнейшим аспектом учения В.И. Вернадского является разработанное им представление об организованности биосферы, которая проявляется в согласованном взаимодействии живого и неживого, взаимной приспособляемости организмов и среды.

В настоящее время в экологической науке известны две основные концепции взаимодействия **биоты** (совокупность всех организмов разных видов, объединенных общей областью распространения) и окружающей её среды.

Согласно первой концепции – традиционной – окружающая среда пригодна для жизни в силу уникальных условий на поверхности Земли, а естественная биота приспособляется к окружающей её среде благодаря главному свойству живых организмов – способности к эволюции и адаптации к меняющимся условиям среды.

Во второй концепции основная роль отводится биотической регуляции окружающей среды. Биота Земли рассматривается как основной механизм поддержания пригодных для жизни условий окружающей среды в локальных и глобальных масштабах. В этой концепции главным свойством жизни считается способность видов к поддержанию тех условий среды, которые пригодны для их существования, а не способность к непрерывной адаптации к изменяющимся внешним условиям. Биотическая регуляция окружающей среды возможна в результате согласованного взаимодействия между организмами и средой. При её переходе в новое состояние обязательно происхо-

дит существенная перестройка биоты. Но эта перестройка осуществляется без потери биотой способности предотвращать переход среды в состояние, непригодное для существования любой биоты.

В течение всего времени существования жизни на Земле живые организмы активно изменяли окружающую среду в благоприятном для себя направлении, т.е. биотическая регуляция среды имела место с самого момента возникновения жизни. Таким образом, биотическая регуляция окружающей среды – это механизм управления окружающей средой, основанный на отобранных в процессе эволюции видах, содержащих необходимую для управления средой генетическую информацию.

Вторым после возникновения жизни главным событием в истории Земли, по мнению Вернадского, является появление человека, что произошло сравнительно недавно – около 1,5 млн. лет назад. Учение В.И. Вернадского о биосфере впервые раскрыло становление нашей планеты как процесс, состоящий из исторически преемственных, но качественно различных этапов. Оценив роль живого вещества в развитии Земли, В.И.Вернадский отметил, что наряду с живым веществом, на судьбу планеты начинает влиять новый фактор – практическая деятельность людей. Её воздействие постепенно усиливается, приобретает глобальные масштабы, становится решающим фактором развития биосферы, сопоставимым с геологическими силами. Увеличение роли человеческой деятельности знаменует собой начало нового этапа в истории Земли. Оно происходит благодаря развитию науки, знаний. Это новое состояние биосферы, новый этап в её развитии, когда человек поставит свои взаимоотношения с природой на научную основу, В.И. Вернадский назвал **ноосферой** – сферой разума. Вернадский полагал, что переход биосферы в свою высшую фазу развития – в ноосферу еще только начинается и человек «может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни».

Однако концепция В.И.Вернадского о человеческом разуме как ведущей силе преобразования биосферы пока оправдывается лишь частично. Прогресс разума привел к научным, техническим и технологическим достижениям, позволившим человеку влиять на биосферные процессы в своих интересах, но того же разума не хватило, чтобы эксплуатировать ресурсы природы, не входя в противоречие с естественными законами существования биосферы, не нарушая сложившиеся за многие миллионы лет эволюции взаимоотношения, поддерживающие устойчивость биосферы. В.И. Вернадский замечал нежелательные, разрушительные последствия хозяйственной деятельности человека на Земле, но оптимистически считал их некоторыми временными издержками, которые удастся преодолеть. Не все современные ученые однозначно разделяют ноосферные представления Вернадского. Многие полагают, что человечество должно не управлять природой (что нереально), а сохранять биосферу. Не следует создавать организованность биосферы техническими средствами, поскольку это приведет к переходу от более совершенной организованности природы к менее совершенной и переводу биосферы на более низкую качественную ступень. Природа была и всегда будет сильнее челове-

ка. Главной экологической задачей человечества должно стать сохранение естественной биоты на Земле и сохранение равновесия естественных процессов, протекающих в биосфере, с целью организации гармоничного развития человека и природы.

Человек, став мощным геологическим фактором, оказывает глобальное воздействие на биосферу. Биосфера, со своей стороны, через экологические законы, которые человек вынужден соблюдать, чтобы выжить, воздействует на человека. В результате развитие природы и человека должно происходить как процесс совместной эволюции, взаимовыгодного единства. Ноосфера, согласно современной трактовке, является продуктом такой коэволюции. Её следует рассматривать как результат разумного вмешательства человека в биосферные процессы. Люди должны быть ориентированы и готовы к радикальному изменению системы ценностей и поведения, к отказу от перепотребления (для развитых стран), от установки на многодетную семью (для развивающихся стран) и от экологической безответственности и вседозволенности. Указанные требования представляют собой содержание нового типа экологического сознания – экоцентризма, который должен прийти на смену сложившейся в массовом сознании в течение многих столетий концепции антропоцентризма, предполагавшей главенство и превосходство человека над остальной природой.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. Концепции современного естествознания: курс лекций / М.Д. Гольдфейн, А.В. Иванов, А.Н. Маликов; под общ. ред. М.Д. Гольдфейна. – М.: Изд-во РГТЭУ, 2009. 322 с.
2. Концепции современного естествознания: курс лекций / С.Г. Хорошавина – Ростов н/Д: Феникс, 2008. 478 с.

Дополнительная литература:

1. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. – М.: Высш. школа, 2005; – М.: Акад. Проект, 2006; – М.: Кнорус, 2009.
2. Горелов А.А. Концепции современного естествознания. – М.: ВЛАДОС, 2003; – М.: Академия, 2010; – М.: Юрайт: Высш. образование, 2008–2010.
3. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания. – М.: Альфа-М, 2007, 2009, 2010.
4. Альтшулер Е.Ю., Маслов Р.В., Позднева С.П. Концепции современного естествознания. – Саратов: изд-во Саратов. ун-та, 2002.
5. Тулинов В.Ф. Концепции современного естествознания. – М.: Дашков и К°, 2010.
6. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания. – М.: Академия, 2009.
7. Кожевников Н.М. Концепции современного естествознания. – СПб., М., Краснодар: Лань, 2009.
8. Гольдфейн М.Д., Урсул А.Д., Иванов А.В., Маликов А.Н. Основы естественнонаучной картины мира: учеб. пособие по курсу «Концепции современного естествознания». – Саратов: Изд-во Саратов. ин-та РГТЭУ, 2011.
9. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2007, 2008, 2010, 2012.
10. Безручко Б.П., Короновский А.А., Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Путь в синергетику. – М.: Либроком, 2010.

11. Гольдфейн М.Д., Кожевников Н.В., Кожевникова Н.И. Основы экологии, безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 2000.
12. Дей К., Селбин Д. Теоретическая неорганическая химия.– М.: Химия, 1969, 1976.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО