

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.07 Концепции современного естествознания**

**Специальность** 38.05.01 Экономическая безопасность

**Специализация** Экономико-правовое обеспечение экономической безопасности

**Форма обучения:** очная

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## Лекция 1 (Л-1). Тема 1. Естествознание и научная картина мира:

Наука, естественнонаучная и гуманитарная культуры. Уровни, формы и методы научного познания. Естествознание, его современная панорама. Закономерности и темпы развития науки, научные картины мира, научные революции. Исторические этапы развития естествознания.

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Задачи естествознания
2. Фундаментальные и прикладные исследования
3. Стадии развития естествознания
4. Естественнонаучные революции
5. Методы естественных наук
6. Понятие научной картины мира

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов.

#### 1. Задачи естествознания

В настоящее время имеются два определения естествознания.

1. Естествознание – наука о природе, как о единой целостности.
2. Естествознание – совокупность наук о природе, взятое как единое целое.

Первое определение говорит об одной единой науке о природе, подчеркивая единство природы, ее нерасчлененность. Второе говорит о естествознании как о совокупности, т.е. множестве наук, изучающих природу, хотя в нем и содержится фраза, что это множество следует рассматривать как единое целое.

К естественным наукам относят физику, химию, биологию, космологию, астрономию, географию, геологию и частично психологию. Кроме того, существует множество наук, возникших на стыке названных (астрофизика, физическая химия, биофизика и т.д.).

Целью естествознания, в конечном счете, является попытка решения так называемых «мировых загадок», сформулированных еще в конце 19-го века. Две из этих загадок относятся к физике, две – к биологии и три – к психологии. Вот эти загадки:

- ☐ сущность материи и силы
- ☐ происхождение движения
- ☐ возникновение жизни
- ☐ целесообразность природы
- ☐ возникновение ощущения и сознания
- ☐ возникновение мышления и речи
- ☐ свобода воли.

## 2. Фундаментальные и прикладные исследования

Все исследования природы сегодня можно наглядно представить в виде большой сети, состоящей из ветвей и узлов. Эта сеть связывает многочисленные ответвления физических, химических и биологических наук, включая науки синтетические, возникшие на стыке основных направлений (биохимия, биофизика и др.).

Проблемы, которые ставятся перед учеными *извне*, называются **прикладными**. Прикладные науки, таким образом, имеют своей целью осуществление практического применения добытого знания.

Проблемы, возникающие внутри самой науки, называются фундаментальными. Таким образом, фундаментальная наука направлена на получение самого знания о мире

как такового. Собственно, именно фундаментальные исследования направлены в той или иной мере на решение мировых загадок.

Не следует, слово «фундаментальный» смешивать здесь со словом «большой», «важный». Прикладное исследование может иметь очень большое значение как для практической деятельности, так и для самой науки, в то время как фундаментальное исследование может оказаться пустяковым. Здесь очень важно предвидеть, какое значение результаты фундаментального исследования могут иметь в будущем. Так еще в середине 19-го века исследования по электромагнетизму (фундаментальные исследования) считались весьма интересными, но не имеющими никакого практического значения. (При распределении средств на научные исследования руководители, экономисты должны, бесспорно, ориентироваться в определенной мере в современном естествознании, чтобы принять правильное решение).

Технология. Прикладная наука тесно связана с технологией. Можно привести два определения технологии: в узком и широком смысле. "Технология - совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов, напр. технология металлов, химическая технология, технология строительных работ, биотехнология и т.п., а также сами технологические процессы, при которых происходит качественное изменение обрабатываемого объекта".

В широком, философском смысле технология – это обусловленные состоянием знаний и общественной эффективностью способы достижения целей, поставленных обществом". Это определение - достаточно емкое, оно позволяет охватить и биоконструирование, и образование (образовательные технологии), и т.п. Эти "способы" могут меняться от цивилизации к цивилизации, от эпохи к эпохе. (Надо иметь в виду, что в зарубежной литературе «технология» часто понимается как синоним «техники» вообще).

### **3. Стадии развития естествознания**

История науки свидетельствует о том, что в своем познании Природы, начиная с древних времен, человечество прошло три стадии: стадию натурфилософии (6 в до н.э. – 13-15 вв. н.э.), аналитическую (15-18 вв) и синтетическую (19-20 вв.).

Особенности натурфилософской стадии: целостное представление о мире как постоянно развивающемся, эволюционирующем, гениальные догадки, но не точные выводы, наблюдение, но не эксперимент.

Особенности аналитической стадии: дифференциация наук, изучение преимущественно предметов, а не процессов, что соответствовало представлению о мире как вечном и неизменном, развитие экспериментальных (эмпирических) методов.

Синтетическая стадия характеризуется воссозданием целостной картины мира на основе познанных частных, т.е. это переработка и синтез знаний, полученных на аналитической стадии, образование новых дисциплин и научных направлений «на стыке», идет формирование единой науки о природе.

### **4. Естественнаучные революции**

Развитие естествознания сопровождается коренной ломкой сложившихся представлений о мире - естественнаучных революций? Для естественнаучной революции характерны такие черты как:

- 1) крушение и отбрасывание неверных идей, ранее господствовавших в науке;
- 2) быстрое расширение наших знаний о природе, вступление в новые ее области, ранее недоступные для познания; отметим, что здесь важную роль играет создание новых инструментов и приборов;

3) естественнонаучную революцию вызывает не само по себе открытие новых фактов, а радикально новые теоретические следствия из них; другими словами, революция совершается в сфере теорий, понятий, принципов, законов науки, формулировки которых подвергаются коренной ломке.

Для того, чтобы вызвать революцию в науке, новое открытие должно носить принципиальный, методологический характер, вызывая коренную ломку самого метода исследования, подхода и истолкованию явлений природы.

Научно-познавательная деятельность складывается из нескольких составляющих – компонентов. Это - субъект познания, объект познания, методы и средства познания, система знаний. Началом естественнонаучной революции могут послужить достаточно радикальные изменения в любом из компонентов, например, открытие неизвестных ранее классов природных объектов, появление принципиально новых методов и средств исследования. Но, чаще всего, революции в естествознании начинаются с появления глубоких противоречий и парадоксов в сложившейся системе знания.

Видный ученый 20-го века, философ науки Т. Кун ввел понятие «парадигмы» - (<гр. *paradeigma* пример, образец) – теория (модель, тип постановки проблемы), принятая в качестве образца решения исследовательских задач) – т.е. определенного «видения мира», в соответствии с которым осуществляется научная деятельность. Естественнонаучную революцию можно, таким образом, связать со сменой парадигмы.

Важной чертой естественнонаучных революций является принцип соответствия, заключающийся в том, что новые теории, получившие свое обоснование в ходе естественнонаучной революции не опровергают прежние, если их справедливость была достаточно обоснована. В этих случаях действует так называемый принцип соответствия: старые теории сохраняют свое значение как предельный и в известном смысле частный случай новых, более общих и точных. Так, классическая механика Ньютона является предельным, частным случаем теории относительности, теория Дарвина не опровергается современной теорией эволюции, но дополняет и развивает ее и т.п.

Особую роль среди естественных наук играет космология<sup>1</sup>. В связи с этим естественнонаучные революции связываются и изменением космологических представлений.

Первой глобальной естественнонаучной революцией было создание последовательного учения о геоцентрической системе мира. Последовательная геоцентрическая система была разработана в 4-м в. до н.э. величайшим ученым и философом древности Аристотелем, а затем, в 1-м в. математически обоснована Птолемеем. Геоцентрическую систему мира обычно называют системой Птолемея, а естественнонаучную революцию – аристотелевской.

Вторая глобальная естественнонаучная революция (15-16вв) представляла собой переход от геоцентризма к гелиоцентризму (учение Коперника), а от него к полицентризму, т.е. учению о множественности звездных миров (Дж. Бруно). Это был переход от частного учения о непосредственно наблюдаемой солнечной планетной системе к общему учению о потенциально бесконечном иерархическом звездном мире, с действующим в нем законом всемирного тяготения Ньютона. Однако, естественнонаучная революция лишь начинается с астрономии, с изменения системы отсчета. Завершается же она подведением нового теоретического фундамента под изменившиеся представления о мире. Особую роль в этом периоде сыграл 18-й век, ознаменовавшийся рождением современной науки и, в частности, классической механики. У истоков ее стояли такие выдающиеся ученые как Г. Галилей (1564-1642), И. Кеплер (1571-1630) и И. Ньютон (1643-1727).

Третья глобальная естественнонаучная революция означала принципиальный отказ от всякого центризма, отрицание наличия какого-либо центра у Вселенной. Эта революция связана, прежде всего, с появлением теории относительности А. Эйнштейна, т.е. релятивистской (относительной) теорией пространства, времени и гравитации.

Метагалактика, т.е. вся наша астрономическая наблюдаемая Вселенная как целое, стала описываться однородной и изотропной безграничной релятивистской космологической моделью.

#### 4. Методы естественных наук

Естествознание использует как общенаучные методы познания (анализ, синтез, обобщение, абстрагирование, индукция, дедукция, аналогия, логический метод, исторический метод, аналогия, моделирование, классификация), так и конкретно-научные методы, присущие конкретным наукам (спектроскопия, метод меченых атомов, кристаллография и т.п.). Научные методы, по соотношению эмпирического и теоретического подразделяются на методы эмпирического (опытного) исследования: наблюдение, эксперимент, измерение, описание, сравнение, теоретические методы (идеализация, формализация, аксиоматизация, гипотетико-дедуктивный метод), а также смешанные методы.

Анализ - мысленное или реальное разложение объекта на составляющие его части.

Синтез - объединение познанных в результате анализа элементов в единое целое.

Обобщение - процесс мысленного перехода от единичного к общему, от менее общего, к более общему, например: переход от суждения «этот металл проводит электричество» к суждению «все металлы проводят электричество», от суждения : «механическая форма энергии превращается в тепловую» к суждению «всякая форма энергии превращается в тепловую».

Абстрагирование (идеализация) - мысленное внесение определенных изменений в изучаемый объект в соответствии с целями исследования. В результате идеализации из рассмотрения могут быть исключены некоторые свойства, признаки объектов, которые не являются существенными для данного исследования. Пример такой идеализации в механике - материальная точка, т.е. точка, обладающая массой, но лишенная всяких размеров. Таким же абстрактным (идеальным) объектом является абсолютно твердое тело.

Индукция - процесс выведения общего положения из наблюдения ряда частных единичных фактов, т.е. познание от частного к общему. На практике чаще всего применяется неполная индукция, которая предполагает вывод о всех объектах множества на основании познания лишь части объектов. Неполная индукция, основанная на экспериментальных исследованиях и включающая теоретическое обоснование называется научной индукцией. Выводы такой индукции часто носят вероятностный характер. Это рискованный, но творческий метод. При строгой постановке эксперимента, логической последовательности и строгости выводов она способна давать достоверное заключение. По словам известного французского физика Луи де Бройля, научная индукция является истинным источником действительно научного прогресса.

Дедукция - процесс аналитического рассуждения от общего к частному или менее общему. Она тесно связана с обобщением. Если исходные общие положения являются установленной научной истиной, то методом дедукции всегда будет получен истинный вывод. Особенно большое значение дедуктивный метод имеет в математике. Математики оперируют математическими абстракциями и строят свои рассуждения на общих положениях. Эти общие положения применяются к решению частных, конкретных задач.

В истории естествознания были попытки абсолютизировать значение в науке индуктивного метода (Ф. Бэкон) или дедуктивного метода (Р. Декарт), придать им универсальное значение. Однако эти методы не могут применяться как обособленные, изолированные друг от друга. Каждый из них используется на определенном этапе процесса познания.

Аналогия - вероятное, правдоподобное заключение о сходстве двух предметов или явлений в каком-либо признаке, на основании установленного их сходства в других признаках. Аналогия с простым позволяет понять более сложное. Так, по аналогии с

искусственным отбором лучших пород домашних животных Ч.Дарвин открыл закон естественного отбора в животном и растительном мире.

Моделирование - воспроизведение свойств объекта познания на специально устроенном его аналоге - модели. Модели могут быть реальными (материальными), например, модели самолетов, макеты зданий. фотографии, протезы, куклы и т.п. и идеальными (абстрактными), создаваемые средствами языка (как естественного человеческого языка, так и специальных языков, например, языком математики. В этом случае мы имеем математическую модель. Обычно это система уравнений, описывающая взаимосвязи в изучаемой системе.

Исторический метод подразумевает воспроизведение истории изучаемого объекта во всей своей многогранности, с учетом всех деталей и случайностей. Логический метод - это, по сути, логическое воспроизведение истории изучаемого объекта. При этом история эта освобождается от всего случайного, несущественного, т.е. это как бы тот же исторический метод, но освобожденный от его исторической формы.

Классификация - распределение тех или иных объектов по классам (отделам, разрядам) в зависимости от их общих признаков, фиксирующее закономерные связи между классами объектов в единой системе конкретной отрасли знания. Становление каждой науки связано с созданием классификаций изучаемых объектов, явлений.

Классификация - это процесс упорядочивания информации. В процессе изучения новых объектов в отношении каждого такого объекта делается вывод: принадлежит ли он к уже установленным классификационным группам. В некоторых случаях при этом обнаруживается необходимость перестройки системы классификации. Существует специальная теория классификации - таксономия. Она рассматривает принципы классификации и систематизации сложноорганизованных областей действительности, имеющих обычно иерархическое строение (органический мир, объекты географии, геологии и т.п.).

Одной из первых классификаций в естествознании явилась классификация растительного и животного мира выдающегося шведского натуралиста Карла Линнея (1707-1778). Для представителей живой природы он установил определенную градацию: класс, отряд, род, вид, вариация.

Формы научного знания. К формам научного знания относят проблемы, научные факты, гипотезы, теории, идеи, принципы, категории и законы.

Категории науки - это наиболее общие понятия теории, характеризующие существенные свойства объекта теории, предметов и явлений объективного мира. Например, важнейшими категориями являются материя, пространство, время, движение, причинность, качество, количество, причинность и т.п.

Законы науки отражают существенные связи явлений в форме теоретических утверждений. Принципы и законы выражаются через соотношение двух и более категорий.

Научные принципы - наиболее общие и важные фундаментальные положения теории. Научные принципы играют роль исходных, первичных посылок и закладываются в фундамент создаваемых теорий. Содержание принципов раскрываются в совокупности законов и категорий.

Научные концепции - наиболее общие и важные фундаментальные положения теорий.

Научная гипотеза - такое предположительное знание, истинность или ложность которого еще не доказано, но которое выдвигается не произвольно, а при соблюдении ряда требований, к которым относятся следующие.

1. Отсутствие противоречий. Основные положения предлагаемой гипотезы не должны противоречить известным и проверенным фактам. (При этом следует учитывать, что бывают и ложные факты, которые сами нуждаются в проверке).

2. Соответствие новой гипотезы надежно установленным теориям. Так, после открытия закона сохранения и превращения энергии все новые предложения о создании «вечного двигателя» более не рассматриваются.
3. Доступность выдвигаемой гипотезы экспериментальной проверке, хотя бы в принципе (см. ниже - принцип верифицируемости).
4. Максимальная простота гипотезы.

Научная теория - это систематизированные знания в их совокупности. Научные теории объясняют множество накопленных научных фактов и описывают определенный фрагмент реальности (например, электрические явления, механическое движение, превращение веществ, эволюцию видов и т.п.) посредством системы законов.

Главное отличие теории от гипотезы - достоверность, доказанность. сам термин теория имеет множество смыслов.<sup>ii</sup> Теория в строго научном смысле - это система уже подтвержденного знания, всесторонне раскрывающая структуру, функционирование и развитие изучаемого объекта, взаимоотношение всех его элементов, сторон и теорий.

Схематично представить весь процесс научного познания можно следующим образом:



Эмпирический факт – наблюдение – научный факт – эксперимент – фиксация результатов – эмпирическое обобщение – использование имеющихся теоретических знаний – построение гипотезы – проверка гипотезы – (при положительном результате) формирование новых понятий, введение определений, терминов – выведение законов – создание теории – проверка новой теории на опыте.

Критериями научности знания являются принцип рациональности (обоснованность любого утверждения), принцип верификации (установление истинности научного

суждения в ходе экспериментальной проверки) и принцип фальсификации (принципиальная возможность опровержения научного положения, теории).

## **7. Понятие научной картины мира**

Само понятие «научная картина мира появилось в естествознании и философии в конце 19 в., однако специальный, углубленный анализ его содержания стал проводиться с 60-х годов 20 века. И, тем не менее, до сих пор однозначное толкование этого понятия не достигнуто. Дело, по-видимому, в том, что само это понятие несколько размыто, занимает промежуточное положение между философским и естественнонаучным отражением тенденций развития научного познания. Так существуют общенаучные картины мира и картины мира с точки зрения отдельных наук, например, физическая, биологическая..., или с точки зрения каких-либо господствующих методов, стилей мышления - вероятностно-статистическая, эволюционистская, системная, информационно-кибернетическая, синергетическая и т.п. картины мира. В то же время, можно дать следующие объяснение понятия научной картины мира. (НКМ).

Научная картина мира включает в себя важнейшие достижения науки, создающие определенное понимание мира и места человека в нем. В нее не входят более частные сведения о свойствах различных природных систем, о деталях самого познавательного процесса. При этом НКМ не является совокупностью общих знаний, а представляет собой целостную систему представлений об общих свойствах, сферах, уровнях и закономерностях природы.

В отличие от строгих теорий НКМ обладает необходимой наглядностью, характеризуется сочетанием абстрактно-теоретических знаний и образов, создаваемых с помощью моделей.

Особенности различных картин мира выражаются в присущих им парадигмах.

Парадигма (<греч. – пример, образец) – совокупность определенных стереотипов в понимании объективных процессов, а также способов их познания и интерпретации.

Таким образом, можно дать следующее определение НКМ.

НКМ – это особая форма систематизации знаний, преимущественно качественное обобщение мировоззренческо-методологический синтез различных научных теорий.

В истории науки научные картины мира не оставались неизменными, а сменяли друг друга, таким образом, можно говорить об эволюции научных картин мира. К настоящему времени наиболее подробно изучена эволюция физических картин мира: натурфилософской – до 16-17 вв., механистической – до второй половины 19 в., термодинамической (в рамках механистической теории) в 19 в, релятивистской и квантово-механической в 20-м веке.

Физическая картина мира создается благодаря фундаментальным экспериментальным измерениям и наблюдениям, на которых основываются теории, объясняющие факты и углубляющие понимание природы. Физика – это экспериментальная наука, поэтому она не может достичь абсолютных истин (как и само познание в целом), поскольку эксперименты сами по себе несовершенны. Этим обусловлено постоянное развитие научных представлений.



## **1.2. Лекция №2 (2 часа) (Л-2). Физика: концепции классического и современного естествознания:**

### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Механическая картина мира
2. Основные понятия и принципы МКМ
3. Ньютоновская методология исследований

### **1.2.2. Краткое содержание вопросов.**

#### **1. Механическая картина мира**

МКМ складывалась под влиянием материалистических представлений о материи и формах ее существования. Основополагающими идеями этой картины Мира являются классических атомизм, восходящий к Демокриту и т.н. механицизм. Само становление механистической картины справедливо связывают с именем Галилео Галилея, впервые применившего для исследования природы экспериментальный метод вместе с измерениями исследуемых величин и последующей математической обработкой результатов. Этот метод принципиально отличался от ранее существовавшего натурфилософского способа, при котором для объяснения явлений природы придумывались априорные (<лат. а priori – букв. до опыта), т.е. не связанные с опытом и наблюдением, умозрительные схемы, для объяснения непонятных явлений вводились дополнительные сущности, например мифическая “жидкость” теплород, определявшая нагретость тела или флогистон – субстанция, обеспечивающая горючесть вещества (чем больше флогистона в веществе, тем лучше оно горит). Законы движения планет, открытые Иоганном Кеплером, в свою очередь, свидетельствовало о том, что между движениями земных и небесных тел не существует принципиальной разницы (как полагал Аристотель), поскольку все они подчиняются определенным естественным законам. Однако ядром МКМ является механика Ньютона (классическая механика).

Развитие физики в 17-18 веках было подготовлено трудами, наблюдениями, идеями, догадками ученых античности и средневековья. Ньютон сам говорил, что своими успехами он обязан тому, что «...стоял на плечах гигантов». Ньютон создал динамику – учение о движении тел, которое вошло в науку также под названием «механика Ньютона». В самом начале нашего курса были сформулированы так называемые основные мировые загадки, одна из которых – проблема движения (причины, источники, законы движения).

Одним из первых, кто задумался о сущности движения, был Аристотель. Аристотель определяет движение как изменение положения тела в пространстве. Пространство, по Аристотелю, целиком заполнено материей, неким подобием эфира или прозрачной, как воздух субстанцией. Пустоты в природе нет («природа боится пустоты»). Место тела задается материей, которая непосредственно соприкасается с его поверхностью.

Аристотель ввел понятия естественного и насильственного движений. В чем источник движения? – спрашивает он. Ведь сама материя косна, пассивна. Самодвижущееся тело должно, таким образом, иметь в себе источник движения. Для местных движений, т.е. движений в пределах Земли он вводит понятие «естественного места», стремление к которому заложено в каждом теле, совершающем «естественное движение». Для тяжелых тел таким естественным местом является Земля, а для легких – огонь, или расположенная над воздухом огненная сфера. В своих рассуждениях

Аристотель использовал также и понятие силы, не давая ему строгого определения. Он различал три вида силы: тягу, давление и удар.

Механика Галилея. Галилей сначала вводил постулаты, аксиомы, определения, а затем получал из них необходимые следствия. Он ввел определения силы, скорости, ускорения, равномерного движения, инерции, понятия средней скорости и среднего

ускорения. Скорость он, в частности, определял как отношение пройденного пути к затраченному времени, а силу сопоставлял такому математическому понятию как вектор, т.е. пользовался практически современным научным языком.

Галилей сформулировал четыре аксиомы.

1-я аксиома (Закон инерции). Свободное движение по горизонтальной плоскости происходит с постоянной по величине и направлению скоростью. (Интересно отметить, что это утверждение никак не следует из опыта – ведь на практике мы видим постепенное замедление движения и Галилей использовал принцип идеализации, мысленный эксперимент).

2-я аксиома: свободно падающее тело движется с постоянным ускорением и конечная скорость тела, падающего из состояния покоя, связано с высотой, которая пройдена к этому моменту как  $V^2 = 2gH$ .

3-я аксиома: свободное падение тел можно рассматривать как движение по наклонной плоскости, а горизонтальной плоскости соответствует закон инерции.

4-я аксиома (принцип относительности) также построена путем мысленных экспериментов, путем абстракции. Галилей доказал, что траектория падающего тела отклоняется от вертикали из-за сопротивления воздуха и в безвоздушном пространстве тело упадет точно над точкой, из которой началось падение. То же происходит при падении тела с мачты движущегося с абсолютно постоянной скоростью корабля, но человеку, стоящему на берегу, траектория его падения представится в виде параболы. Здесь роль корабля сводится к сообщению телу начальной скорости  $V_0$ . Действительно, из курса школьной физики нам известно, что траектория вылетающего из пушки снаряда также представляет собой параболу.

В своем знаменитом труде «Диалог о двух главнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой» (1632г.) Галилей подробно рассматривал принцип относительности. Он рассматривает мысленный опыт на движущемся корабле. («Сотни раз, сидя в своей каюте, я спрашивал себя: движется ли корабль или стоит на месте?»). Итак, Галилей сформулировал принцип, получивший название Принципа относительности Галилея следующим образом.

Внутри равномерно движущейся (т.н. инерциальной) системы все механические процессы протекают так же, как и внутри покоящейся.

Ньютон (1643-1727), родившийся вскоре смерти Галилея, унаследовал, таким образом, все методы, знания и новые идеи предыдущего поколения ученых и создал теорию, которая на два столетия (!) определила развитие науки. В своем основном труде «Математические начала натуральной философии», опубликованной по настоянию и на деньги своего друга – астронома Э. Галлея (открывшего, в частности, знаменитую комету Галлея), обобщил открытия Галилея в качестве двух законов, добавив к ним третий закон и закон всемирного тяготения.

К первому изданию «Начал» Ньютон написал предисловие, в котором говорит о тенденции современного ему естествознания подчинить явления природы законам математики. Далее Ньютон определяет свою работу как «математические основания физики». Он пишет, что вся трудность физики состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить все остальные явления.

Итак, вспомним знаменитые законы механики Ньютона.

I закон, или закон инерции. (Фактически, это закон, открытый еще Галилеем, но сформулированный более строго):

всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока оно не будет вынуждено изменить его под действием каких-то сил.

II закон. Этот закон по праву является ядром механики. Он связывает изменение импульса тела (количества движения)  $\mathbf{P} = \mathbf{mV}$  с действующей на него силой  $\frac{\Delta \mathbf{P}}{\Delta t} = \mathbf{F}$ , т.е.

изменение импульса тела в единицу времени равно действующей на него силе и происходит в направлении ее действия. Так как в механике Ньютона масса не зависит от скорости (в современной физике, как мы впоследствии увидим, это не так), то

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta(\mathbf{mV})}{\Delta t} = \mathbf{m} \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t} = \mathbf{ma}, \text{ где } a - \text{ускорение противодействия равны по величине и}$$

противоположны по направлению.

III закон отражает тот факт, что действие тел всегда носит характер взаимодействия, и что силы действия и противодействия равны по величине и противоположны по направлению.

IV закон, сформулированный Ньютоном – это закон всемирного тяготения.

Наконец, высказав положение о всеобщем характере сил тяготения и одинаковой их природе на всех планетах, показав, что «вес тела на всякой планете пропорционален массе этой планеты», установив экспериментально пропорциональность массы тела и его веса (силы тяжести), Ньютон делает вывод, что сила тяготения между телами пропорциональна массе этих тел. Так был установлен знаменитый закон всемирного тяготения, который записывается в виде:

$$\mathbf{F} = \gamma \frac{\mathbf{m}_1 \mathbf{m}}{r^2}, \text{ где } \gamma - \text{гравитационная постоянная, впервые определенная}$$

экспериментально в 1798 г. Г. Кавендишем. По современным данным  $\gamma = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

Важность закона всемирного тяготения состоит в том, что Ньютон, таким образом, динамически обосновал систему Коперника и законы Кеплера.

(Прим. О том, что сила тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния, догадывались некоторые ученые и до Ньютона. Но только Ньютон сумел логически обосновать и убедительно доказать этот закон с помощью законов динамики и эксперимента.)

Следует обратить внимание на важный факт, свидетельствующий о глубокой интуиции Ньютона. Фактически Ньютон установил пропорциональность между массой и весом, что означало, что масса является не только мерой инертности, но мерой гравитации. Ньютон отлично понимал важность этого факта. В своих опытах он установил, что масса инертная и масса гравитационная совпадают с точностью до  $10^{-3}$ . Впоследствии А. Эйнштейн, считая равенство инерционной и гравитационной масс фундаментальным законом природы, положил его в основу общей теории относительности, или ОТО. (Интересно, что в период создания ОТО это равенство было доказано с точностью до  $5 \cdot 10^{-9}$ , а в настоящее время оно доказано с точностью до  $10^{-12}$ .)

В третьей части книги Ньютон изложил Общую Систему Мира и небесную механику, в частности, теорию сжатия Земли у полюсов, теорию приливов и отливов, движения комет, возмущения в движении планет и т.д. на основе закона всемирного тяготения.

Утверждение Ньютона о том, что Земля сжата у полюсов, было экспериментально доказано в 1735-1744 гг. в результате измерения дуги земного меридиана в экваториальной зоне (Перу) и на севере (Лапландия) двумя экспедициями Парижской Академии наук.

Следующим большим успехом закона всемирного тяготения было предсказание ученым Клеро времени возвращения кометы Галлея. В 1682 г. Галлей открыл новую комету и предсказал ее возвращение в сферу земного наблюдения через 76 лет. Однако в 1758 г. комета не появилась, и Клеро сделал новый расчет времени ее появления на основе закона всемирного тяготения с учетом влияния Юпитера и Сатурна. Назвав время ее появления – 4 апреля 1759 г., Клеро ошибся всего на 19 дней.

Успехи теории тяготения в решении проблем небесной механики продолжались и в 19 веке. Так в 1846 г. французский астроном Леверье писал своему немецкому коллеге Галле: «направьте ваш телескоп на точку эклиптики в созвездии Водолея на долготе 326

градусов, и вы найдете в пределах одного градуса от этого места новую планету с заметным диском, имеющую вид звезды приблизительно девятой величины.» Эта точка была вычислена Леверье и независимо от него Адамсом (Англия) на основе закона всемирного тяготения при анализе наблюдаемых «неправильностей» в движении Урана и предположения, что вызываются они влиянием неизвестной планеты. И действительно, 23 сентября 1846 г. Галле в указанной точке неба обнаружил новую планету. Так родились слова «Планета Нептун открыта на кончике пера».)

Таким образом, формирование классической механики и основанной на ней механистической картины мира происходило по 2-м направлениям:

- обобщения полученных ранее результатов и, прежде всего, законов свободного падения тел, открытых Галилеем, а также законов движения планет, сформулированных Кеплером;
- создания методов для количественного анализа механического движения в целом.

В первой половине 19 в. наряду с теоретической механикой выделяется и прикладная (техническая) механика, добившаяся больших успехов в решении прикладных задач. Все это приводило к мысли о всесии механики и к стремлению создать теорию теплоты и электричества так же на основе механических представлений. Наиболее четко эта мысль была выражена в 1847 г. физиком Германом Гельмгольцем в его докладе “О сохранении силы”: “Окончательная задача физических наук заключается в том, чтобы явления природы свести к неизменным притягательным и отталкивающим силам, величина которых зависит от расстояния”

## 2. Основные понятия и принципы МКМ

В любой физической теории присутствует довольно много понятий, но среди них есть основные, в которых проявляется специфика этой теории, ее базис, мировоззренческая сущность. К таким понятиям относят т.н. фундаментальные понятия, а именно:

материя,  
движение,  
пространство,  
время,  
взаимодействие.

Каждое из этих понятий не может существовать без четырех остальных. Вмести они отражают единство Мира. Как же раскрывались эти фундаментальные понятия в рамках МКМ?

**МАТЕРИЯ.** Материя, согласно МКМ – это вещество, состоящее из мельчайших, далее неделимых, абсолютно твердых движущихся частиц – атомов, т.е. в МКМ были приняты дискретные (дискретный – “прерывный”), или, другими словами, корпускулярные представления о материи. Вот почему важнейшими понятиями в механике были понятия материальной точки и абсолютно твердого тела (Материальная точка – тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь, абсолютно твердое тело – система материальных точек, расстояние между которыми всегда остается неизменным).

**ПРОСТРАНСТВО.** Вспомним, что Аристотель отрицал существование пустого пространства, связывая пространство, время и движение. Атомисты 18-19 вв. наоборот, признавали атомы и пустое пространство, в котором атомы движутся. Ньютон, впрочем, рассматривал два вида пространства:

относительное, с которым люди знакомятся путем измерения пространственных отношения между телами и абсолютное, которое по самой своей сущности безотносительно к чему-бы то ни было и внешнему и остается всегда одинаковым и неподвижным; т.е. абсолютное пространство – это пустоеместилище тел, оно не связано со временем, и его свойства не зависят от наличия или отсутствия в нем материальных объектов. Пространство в Ньютонской механике является

трехмерным,  
непрерывным,  
бесконечным,  
однородным,  
изотропным.

Пространственные отношения в МКМ описываются геометрией Евклида.

**ВРЕМЯ.** Ньютон рассматривал два вида времени, аналогично пространству: относительное и абсолютное. Относительное время люди познают в процессе измерений, а абсолютное (истинное, математическое время) само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью. Таким образом, и время у Ньютона, аналогично пространству – пустоеместилище событий, не зависящее ни от чего. Время течет в одном направлении – от прошлого к будущему.

Впоследствии А. Эйнштейн, анализируя понятия абсолютного пространства и абсолютного времени, писал: “Если бы материя исчезла, то осталось бы только пространство и время (своего рода сцена, на которой разыгрываются физические явления)”. В этом случае пространство и время не содержат никаких особых “меток”, от которых можно было бы вести отсчет и ответить на вопросы “Где?” и “Когда?” Поэтому для изучения в них материальных объектов необходимо вводить систему отсчета (систему координат и часы). Система отсчета, жестко связанная с абсолютным пространством, называется инерциальной.

**ДВИЖЕНИЕ.** В МКМ признавалось только механическое движение, т.е. изменение положения тела в пространстве с течением времени. Считалось, что любое сложное движение можно представить как сумму пространственных перемещений (принцип суперпозиции). Движение любого тела объяснялось на основе трех законов Ньютона, при этом использовались такие важные понятия как сила и масса. Под силой в МКМ понимается причина изменения механического движения и причина деформации. Кроме того, было замечено, что силы удобно сравнивать по вызываемым ими ускорениям одного и того же тела ( $m = \text{const}$ ). Действительно, из 2-го закона следует, что  $F_1/F_2 = a_1/a_2$ . Величина же  $m = F/a$  для данного тела была величиной постоянной и характеризовала инертность тела. Таким образом, количественная мера инертности тела есть его инертная масса.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.** Здесь следует вернуться в наше время и посмотреть, как решается вопрос о взаимодействиях (первопричине, природе сил) в рамках современной научной картины Мира. Современная физика все многообразие взаимодействий сводит к 4-м фундаментальным взаимодействиям: сильному, слабому, электромагнитному и гравитационному. В дальнейшем они будут рассмотрены более подробно. Здесь же остановимся на гравитационном.

Гравитационное взаимодействие означает наличие сил притяжения между любыми телами. Величина этих сил может быть определена из закона всемирного тяготения. Если же известна масса одного из тел (эталоны) и сила гравитации, можно определить и массу второго тела. Масса, найденная из закона всемирного тяготения, получила название гравитационной. Ранее уже говорилось о равенстве этих масс, поэтому масса является одновременно и мерой инертности и мерой гравитации. Гравитационные силы являются универсальными. Ньютон ничего не говорил о природе гравитационных сил. Интересно, что и в настоящее время их природа все еще остается проблематичной.

Следует сказать, что в классической механике вопрос о природе сил, собственно, и не стоял, вернее, не имел принципиального значения. Просто все явления природы сводились к трем законам механики и закону всемирного тяготения, к действию сил притяжения и отталкивания.

Основные принципы МКМ.  
Важнейшими принципами МКМ являются:

принцип относительности,  
принцип дальнего действия,  
принцип причинности.

Принцип относительности

Галилея. Принцип относительности Галилея утверждает, что все инерциальные системы отсчета (ИСО) с точки зрения механики совершенно равноправны (эквивалентны). Переход от одной ИСО к другой осуществляется на основе преобразований Галилея (см. рис.1).

Пусть имеется ИСО XYZ, относительно ее вдоль оси движется равномерно со скоростью  $V_0$  система  $X'Y'Z'$ . Пусть в момент  $t = 0$  начала координат  $O$  и  $O'$  совпадают. Тогда координаты т.М в этих двух системах в некоторый момент времени  $t$  будут связаны соотношениями:

$$x = x' + V_0 t;$$

$$y = y';$$

$$z = z'.$$

Время везде течет одинаково, т.е.  $t = t'$ , масса тел остается неизменной, т.е.  $m = m'$ .

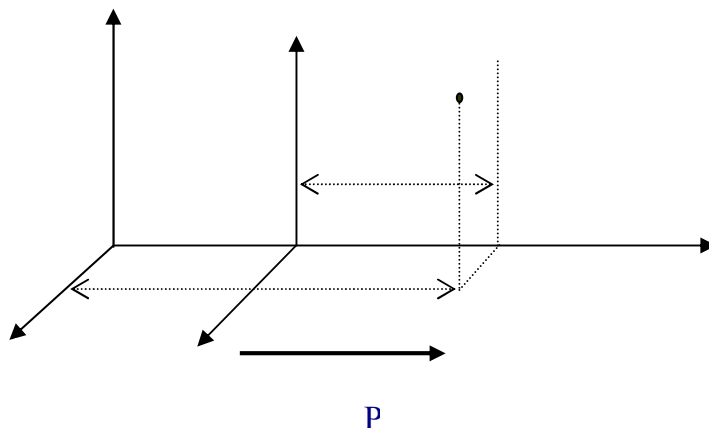
Для скоростей:

$$V_x = V_0 + V'_x; \quad V_y = V'_y; \quad V_z = V'_z;$$

Если время и скорости одинаковы и  $V_0$  - величина постоянная (из условия), то  $a_x = a'_x$ , и, следовательно, силы в обеих системах одинаковы ( $ma_x = ma'_x$ ), значит, что *все механические явления в ИСО протекают одинаково*. Поэтому никакими механическими опытами нельзя отличить покой от равномерного прямолинейного движения.

Принцип дальнего действия. В МКМ было принято, что взаимодействие передается мгновенно, и промежуточная среда в передаче взаимодействия участия не принимает. Это положение и было названо принципом дальнего действия.

Принцип причинности. Как уже было сказано, в МКМ все многообразие явлений природы к механической форме движения материи (механистический материализм, механицизм). С другой стороны известно, что беспричинных явлений нет, что всегда можно (принципиально) выделить причину и следствие. Причина и следствие взаимосвязаны, влияют друг на друга. Следствие одной причины может стать причиной другого следствия. Эту мысль развивал математик Лаплас, утверждая следующее: *“Всякое имеющее место явление связано с предшествующим на основании того очевидного принципа, что оно не может возникнуть без производящей причины. Противоположное мнение есть иллюзия ума.”* Т.е. Лаплас полагал, что все связи между явлениями осуществляется на основе однозначных законов. Это учение обусловленности одного явления другим, об их однозначной закономерной связи вошло в физику как так называемый лапласовский детерминизм (детерминизм – предопределенность). Существенные однозначные связи между явлениями выражаются физическими законами.



### **3. Ньютоновская методология исследований**

В работах Ньютона раскрывается его мировоззрение и методология исследований. Ньютон был убежден в объективном существовании материи, пространства и времени, в существовании объективных законов мира, доступных человеческому познанию. Своим стремлением все в мире свести к механике Ньютон поддерживал т.н. механистический материализм (механицизм), являющийся разновидностью редукционизма. Ньютон верил в Бога, серьезно относился к религии, однако не искал сверхъестественных причин явлений природы и в ответ на вопрос клерикалов – мыслима ли материальная природа тяготения или тяготение представляет собой проявление божественной воли? – отвечал: «... я не указывал причины самого тяготения. Причину я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю». (Другой вариант ответа: «я не нуждался в этой гипотезе» - т.е. гипотезе Бога).

Свой метод познания Ньютон характеризует следующим образом: «Вывести два или три общих принципа движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных принципов...» Под принципами Ньютон подразумевает наиболее общие законы, лежащие в основе физики. Впоследствии этот метод был назван методом принципов.

Требования к научному исследованию Ньютон изложил в виде 4-х правил.

1. Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений. (Этот принцип известен также как принцип «бритвы Оккама» по имени средневекового философа Оккама и означающий, что не следует привлекать дополнительные «сущности» для объяснения явлений, если они могут быть объяснены известными причинами).
2. Одинаковым явлениям следует приписывать одинаковые причины.
3. Независимые и неизменные при экспериментах свойства тел, подвергнутых исследованию, надо принимать за общие свойства материальных тел.
4. Законы, индуктивно (т.е. путем обобщения), выведенные из опыта, нужно считать верными, пока им не противоречат другие наблюдения.

Поскольку принципы устанавливаются путем исследования явлений природы, то вначале они представляют собой гипотезы, из которых путем логической дедукции (сведения от общего к частному) получают следствия, проверяемые на практике. Метод Ньютона есть, по сути, гипотетико-дедуктивный метод, который в современной физике является одним из основных, для построения физических теорий.

### **1.3 Лекция №3 (2 часа) Тема: Современные концепции мегамира**

#### **1.3.1 Вопросы лекции**

1. Термодинамическая картина мира
2. Электромагнитная картина мира
3. Квантово-полевая картина мира

#### **1.3.2 Краткое содержание вопросов.**

##### **1. Термодинамическая картина мира**

###### **1.1 Промышленная революция и развитие теории теплоты**

Как уже было сказано ранее, классическая физика пыталась свести все силы к силам притяжения и отталкивания. Но, как вскоре выяснилось, в природе встречаются и более сложные связи. Прежде всего, они обратили на себя внимание при изучении тепловых явлений и фазовых переходов. Сложность причинно-следственных связей проявилась, в частности, в следующем.

Во-первых, у одного и того же следствия могут быть разные причины: например, превращение насыщенного пара в жидкость за счет повышения давления или понижения температуры.

Во-вторых, оказалось, что при тепловых процессах состояние отдельных частиц (молекул) не отражает состояние системы в целом.

Действительно, если рассмотреть, например, тепловое движение, то здесь параметры отдельной частицы: скорость, кинетическая энергия, импульс (называемые также микропараметрами) изменяются без изменения макропараметров ( $T^0$ ,  $P$ ,  $V$ ), характеризующих систему в целом. Следовательно, состояние системы не определяется состоянием отдельных частиц.

Изменения микропараметров частиц описываются статистическими законами, носящими вероятностный характер. Это связано с действием на частицы большого числа случайных обстоятельств и с проявлением случайности в их движении. Несмотря на то, что и случайные явления имеют свою причину, предсказать те или иные следствия в этом случае можно лишь с определенной степенью вероятности. Таким образом, лапласовский детерминизм оказывается здесь несостоятельным.

Пристальное изучение тепловых явлений началось уже во 2-й половине 18 в. Это было связано с началом промышленной революции, изобретением и внедрением паровых машин.

Среди ученых, чьи труды легли в основу физики тепловых явлений следует назвать Р.Фурье, который вывел дифференциальное уравнение теплопроводности, Никола Леонарда Сади Карно, исследовавшего работоспособность тепловых машин, Клапейрона, который вывел уравнение состояния газа, впоследствии обобщенное Менделеевым в известное уравнение Клапейрона-Менделеева, и др.

Подлинным основателем механической теории теплоты считается немецкий физик Рудольф Эмануэль (1822-1888), вошедший в историю науки под латинским псевдонимом Клаузиус. В середине 19 в. он начал исследовать принцип эквивалентности теплоты и работы и введя понятие внутренней энергии, пришел к пониманию взаимопревращения энергии. До этого в физике существовало понятие механической энергии и представление об ее сохранении и превращении.

## 1.2 Термодинамика и статистическая физика

Термодинамика. Работы Майера, Джоуля, Гельмгольца позволили выработать так называемый. “закон сохранения сил” (понятия «сила» и «энергия» в то время еще строго не различались). Однако первая ясная формулировка этого закона была получена физиками Р. Клаузиусом и У.Томсоном (лордом Кельвином) на основе анализа исследования работы тепловой машины, которое провел С. Карно. Рассматривая превращения теплоты и работы макроскопических системах С. Карно фактически положил начало новой науке, которую Томсон впоследствии назвал термодинамикой. Термодинамика ограничивается изучением особенностей превращения тепловой формы движения в другие, не интересуясь вопросами микроскопического движения частиц, составляющих вещество.

Термодинамика, таким образом, рассматривает системы, между которыми возможен обмен энергией, без учета микроскопического строения тел, составляющих систему, и характеристик отдельных частиц. Различают термодинамику равновесных систем или систем, переходящих к равновесию (классическая, или равновесная термодинамика) и термодинамику неравновесных систем (неравновесная термодинамика). Классическая термодинамика чаще всего называется просто термодинамикой и именно она составляет основу так называемой Термодинамической Картины Мира (ТКМ), которая сформировалась к середине 19 в. Неравновесная термодинамика получила



развитие во второй половине 20-го века и играет особую роль при рассмотрении биологических систем и феномена жизни в целом.

Таким образом, при исследовании тепловых явлений выделились два научных направления:

1. Термодинамика, изучающая тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества;
2. Молекулярно-кинетическая теория (развитие кинетической теории вещества в противовес теории теплорода);

Молекулярно-кинетическая теория. В отличие от термодинамики молекулярно-кинетическая теория характеризуется рассмотрением различных макроскопических проявлений систем как результатов суммарного действия огромной совокупности хаотически движущихся молекул. Молекулярно-кинетическая теория использует статистический метод, интересуясь не движением отдельных молекул, а только средними величинами, которые характеризуют движение огромной совокупности частиц. Отсюда второе название молекулярно-кинетической теории – статистическая физика.

Первое начало термодинамики. Опираясь на работы Джоуля и Майера, Клаузиус впервые высказал мысль, сформировавшуюся впоследствии в первое начало термодинамики. Он сделал вывод, что всякое тело имеет внутреннюю энергию  $U$ . Клаузиус назвал ее теплом, содержащимся в теле, в отличие от “тепла  $Q$ , сообщенного телу”. Внутреннюю энергию можно увеличить двумя эквивалентными способами: проведя над телом механическую работу  $-A$ , или сообщая ему количество теплоты  $Q$ .

$$\Delta U = Q - A$$

В 1860 г. У. Томсон окончательно заменив устаревший термин “сила” термином “энергия”, записывает первое начало термодинамики в следующей формулировке:

Количество теплоты, сообщенное газу, идет на увеличение внутренней энергии газа и совершение газом внешней работы

$$Q = \Delta U + A$$

Для бесконечно малых изменений имеем

$$dQ = dU + dA$$

Первое начало термодинамики, или закон сохранения энергии, утверждает баланс энергии и работы. Его роль можно сравнить с ролью своеобразного «бухгалтера» при взаимопревращении различных видов энергии друг в друга.

### 1.3 II начало термодинамики. Энтропия. Термодинамическая трактовка

Второе начало термодинамики играет важнейшую роль в понимании процессов и явлений природы.

Впервые II Начало было, фактически, сформулировано пусть в несовершенной форме, еще в начале 19-го века и в этом виде понятно любому человеку, поскольку он сталкивается с ним в своем повседневном опыте.

Так, в 1811 г. Жан-Батист Фурье сформулировал закон теплопроводности, согласно которому количество теплоты, которое переносится в единицу времени через единицу площади поверхности вдоль какого-либо направления (т.е. через единицу длины), прямо пропорционально величине изменения температуры вдоль этого направления.

$$q_x = k \frac{\partial \varphi}{\partial x},$$

где  $q$  – поток тепла в направлении  $x$  на единицу длины за единицу времени,  $\varphi(x, y, t)$  – распределение температуры.

При этом количество теплоты переносится от участков с большей температурой в направлении участков с меньшей температурой и никогда наоборот.. Теплопроводность приводит к все большему выравниванию температур до тех пор, пока распределение температуры во всех точках пространства рассматриваемой изолированной системы не станет одинаковым.

Фактически, закон теплопроводности уже выходил за рамки классической ньютоновской механики по той причине, что описывал необратимый процесс, а все законы ньютоновской механики являются обратимыми, инвариантными относительно направления времени. Так в науку вошло понятие необратимости, дальнейшее развитие которого связано с работой С. Карно по исследованию действия паровых машин.

Цикл Карно состоит из двух изотермических и двух адиабатических процессов, которые образуют на графике в координатах  $PV$  криволинейный четырехугольник (см. рис. 1а). Адиабаты круче изотерм – они образуют боковые линии. Схемы соответствующих процессов приведены на рис. 1б.

Процесс (1)-(2): от нагретого тела с температурой  $T_1$  тепло подводится (при постоянной температуре) к газу, который расширяется при постоянной температуре.

Процесс (2)-(3): газ расширяется в условиях полной теплоизоляции сосуда от окружающей среды.

Процесс (3)-(4): тепло отнимается при изотермическом процессе и отдается холодному телу с температурой  $T_2$ .

Процесс (4)-(1), замыкающий цикл соответствует адиабатическому сжатию.

Пусть в процессе (1)-(2) газ получает от холодильника теплоту  $Q_1$ , а холодильнику отдает теплоту  $Q_2$ . Тогда за весь цикл он получит теплоту  $Q_1 - Q_2$ , равную совершенной работе  $A$ .

Тогда КПД теплового двигателя, работающего по циклу Карно:

$$\text{КПД} = A/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1. \quad (1)$$

Можно показать, что  $Q_1/Q_2 = T_1/T_2$  (для случая идеального газа).

Соотношение полученного тепла к отданному теплу равно отношению абсолютных температур нагревателя и холодильника.

Тогда

$$\text{КПД} = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1 = (T_1 - T_2)/T_1. \quad (2)$$

Получается, что в случае цикла Карно КПД при превращении тепла в работу зависит только от температуры нагревателя и холодильника (таким образом, процесс не зависит ни от количества используемого газа, ни от начальных значений давления или объема).

Вспомним, что площадь, ограниченная криволинейным четырехугольником изображающим идеальный цикл Карно, равна полной работе, совершаемой газом, а площадь под кривыми (1)-(4) и (4)-(3) - работе, совершенной над газом, т.е. затраченной.

Сущность второго начала термодинамики. Возможность построения машины без холодильника, т.е. с  $\text{КПД} = 1$ , которая могла бы превращать в работу всю теплоту, заимствованную у теплового резервуара, не противоречит закону сохранения энергии. Такая машина, по сути, была бы аналогична *perpetuum mobile* (вечному двигателю), так как могла бы производить работу за счет практически неисчерпаемых источников энергии, содержащихся в воде морей, океанов, атмосфере и недрах Земли. Такую машину У. Оствальд (1853-1932) назвал *perpetuum mobile* II рода (в отличие от *perpetuum mobile* I рода – вечного двигателя, производящего работу из ничего). Карно же исходил из невозможности вечного двигателя, опираясь на многочисленные опытные факты и утверждая, что в любом непрерывном процессе превращения теплоты от горячего нагревателя в работу непременно должна происходить отдача тепла холодильнику.

Таким образом, здесь проявляется общее свойство теплоты – уравнивание температурной разницы путем перехода от теплых тел к холодным. Это положение Клаузиус и предложил назвать «Вторым началом механической теории теплоты». Если Первое начало термодинамики утверждает закон сохранения энергии, ее баланс, то Второе начало определяет направления превращения энергии, и если в предыдущей лекции Первому началу была сопоставлена роль «бухгалтера», то Второе начало выступает скорее как «диспетчер», определяющий направление энергетических потоков.

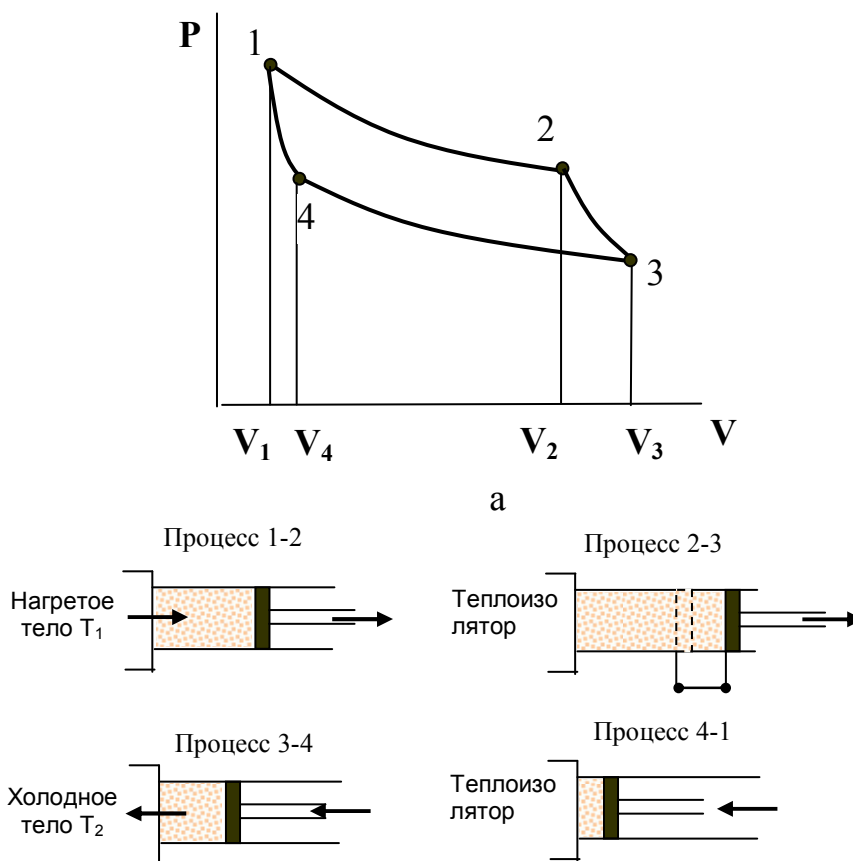
Для идеальной машины Карно следует  
 $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$  или  $Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0$ . ( $Q_1$  – теплота, сообщаемая газу,  $Q_2$  – теплота, отводимая).

Для того, чтобы учесть, что  $Q_2$  отдается холодильнику, берем его со знаком “-”. Тогда имеем:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0$$

Далее будем писать  $\Delta Q$  вместо  $Q$ , подчеркивая, что речь идет о некоторой порции  $\Delta Q_1$ , полученной рабочим телом от нагревателя и порции  $\Delta Q_2$ , потерянной им в холодильнике.

$$\Delta Q_1/T_1 + \Delta Q_2/T_2 = 0$$



Как видим, эта запись напоминает закон сохранения, но при этом появляется некоторая “интересная” величина  $\Delta Q/T$ .

Так в физике появилось новое понятие «энтропия» (<entropia греч. поворот, превращение). Ввел его в 1865 г. Клаузиус. Он предположил, что есть некоторая величина  $S$ , которая, подобно энергии, давлению, температуре, характеризует состояние газа. Когда к газу подводится некоторое количество  $\Delta Q$ , то  $S$  возрастает на величину  $\Delta S = \Delta Q/T$ .

Ранее говорилось о том, что раньше не делалось различий между понятиями теплота и температура.

После введения понятия энтропии стало ясно, где пролегает эта граница. Дело в том, что нельзя говорить о том, что в теле заключено какое-то количество теплоты. Теплота может передаваться от тела к телу, переходить в работу, возникать при трении, но при этом она (теплота) не является сохраняющей величиной. Поэтому теплота определяется в физике не как вид энергии, а как мера изменения энергии. А вот энтропия в обратимых процессах (в частности в идеальном цикле Карно) сохраняется. Энтропия, таким образом, характеризует состояние системы.

Можно провести некоторую аналогию с потенциальной энергией. Действительно, так же как каждому уровню высоты над поверхностью Земли отвечает своя потенциальная энергия, так и каждому состоянию термодинамической системы отвечает своя энтропия.

Как работа в поле тяжести (потенциальном поле) не зависит от вида пути, а зависит только от изменения потенциальной энергии, так и энтропия не зависит от вида процесса и определяется исключительно изменением состояния системы как конечным результатом процесса.

Все это означает, что энтропия системы может рассматриваться как функция состояния системы, т.к. изменение ее не зависит от вида процесса, а определяется лишь начальным и конечным состоянием системы.

Итак, для обратимых процессов имеем  $\Delta S = \text{const.}$ , т.е. энтропия изолированной системы в случае обратимых процессов постоянна.

Заметим, что для осуществления необратимого процесса необходимо добиться очень медленного расширения или сжатия рабочего тела, чтобы изменения системы представляли собой последовательность равновесных состояний. В таком цикле совершение любой полезной работы потребует практически бесконечно большого времени. Чтобы получить работу за короткие, т.е. приемлемые промежутки времени (хорошую мощность), приходится «уходить» от идеального цикла. Это приведет к неодинаковости температуры на разных участках цикла, к перетеканию тепла от более горячих участков к менее горячим и, следовательно, к возрастанию энтропии  $\Delta S > 0$ .

Понятие энтропии позволяет определить направление протекания процессов в природе, поскольку тот факт, что энтропия изолированной системы не может убывать, а только возрастает, является отражением того, что в природе существуют процессы, протекающие только в одном направлении - в направлении передачи тепла от более горячих тел к менее горячим.

Теперь мы можем полностью определиться с формулировками II Начала термодинамики. Существует ряд его формулировок:

В природе невозможны такие процессы, единственным конечным результатом которых был бы переход тепла от менее нагретого к более нагретому.

КПД любой тепловой машины всегда  $< 100\%$ , т.е. невозможен вечный двигатель (perpetuum mobile) II рода (т.к. невозможно построить тепловую машину, работающую не за счет перепада теплоты, а за счет теплоты одного нагревателя).

Энтропия изолированной системы не убывает (т.е. при протекании обратимых процессов энтропия постоянна, а при необратимых процессах она возрастает). Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии максимальна и постоянна.

Все, что выше говорилось об энтропии связано с ее т.н. термодинамической трактовкой, т.е. объяснения с позиций термодинамики. Все, за исключением самой последней формулировки, касающейся равновесного состояния. Последняя связана также с таким понятием как вероятность. Рассмотрим эту связь подробнее.

#### 1.4 Энтропия. Вероятностная трактовка.

Макроскопическое и микроскопическое описание объектов природы. Различные объекты и явления природы (системы) могут быть описаны как на микро-, так и на макроуровне, на основе их микросостояния или макросостояния. Сами понятия микро- и макро- отражают в какой-то степени наши представления о размерах объектов природы.

Макросостояние. Состояние макроскопического тела (системы), заданное с помощью макропараметров (параметров, которые могут быть измерены макроприборами – давления, температуры, объемом и другими макроскопическими величинами, характеризующими систему в целом), называют макросостоянием.

Микросостояние. Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что заданы состояния всех образующих тело молекул, называется микросостоянием.

Термодинамика, как уже говорилось, рассматривает тепловые процессы в системах на макроскопическом уровне, оперируя макропараметрами: температура, теплота, давление, объем. Статистическая физика, или молекулярно-кинетическая теория рассматривает тепловые явления на микроуровне – с точки зрения движения молекул – их скорости, кинетической энергии. Термодинамика, опираясь на понятие энтропии, четко различает обратимые и необратимые процессы. Способна ли не это статистическая физика? Другими словами, существует ли понятие аналогичное энтропии для микросостояния? Утвердительно ответить на этот вопрос позволили работы великого австрийского физика Людвиг Больцмана, в которых отличие обратимых процессов от необратимых было сведено с макроскопического уровня на микроскопический.

Проведем вслед за Л. Больцманом мысленный эксперимент. Выделив некоторую молекулу в сосуде с теплоизолированными стенками (рис.2) и наблюдая за ней, мы убедимся, что она может занимать любой положение в сосуде. Если же мысленно разделить объем на две половины. В этом случае молекула, беспорядочно блуждая, сталкиваясь с другими молекулами, пробудет в одной половине сосуда ровно половину времени, в течение которого мы ее наблюдаем. В этом случае говорят, что вероятность ее пребывания в одной из половинок сосуда равна  $\frac{1}{2}$ .

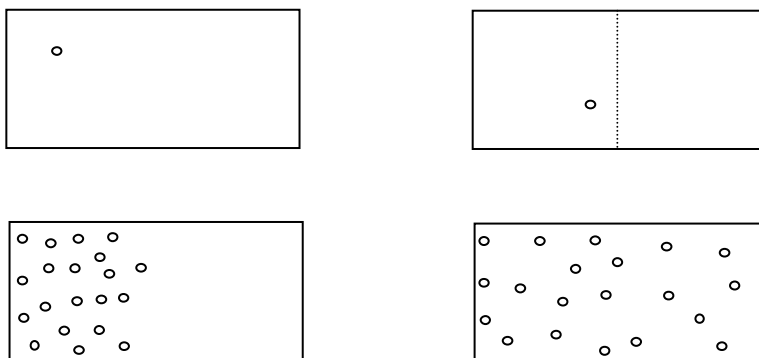


Рис.2

Вероятность может принимать значения от 0 до 1. Если же мы будем наблюдать уже за двумя мечеными молекулами, то вероятность того, что мы обнаружим сразу обе молекулы в одной половине сосуда, равна  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ . Аналогично, для трех молекул эта вероятность (обозначим ее  $W$ ) равна  $(\frac{1}{2})^3$ , а для  $N$  молекул  $W = (\frac{1}{2})^N$ . Т.е. вероятность стремительно падает. Таким образом, такое событие является маловероятным. Это понятно нам и на основе нашего жизненного опыта. Странно было бы, если бы все молекулы воздуха вдруг собрались бы в одной половине комнаты, а в другой образовалось безвоздушное пространство. Вероятность же того, что все молекулы находятся во всем объеме сосуда максимальна и равна 1. Число способов, которыми это состояние может быть реализовано, или статистический вес является также максимальным.

Пусть в некоторый момент времени удалось загнать все молекулы в правую верхнюю часть сосуда, отделенную диафрагмой. Остальные  $\frac{3}{4}$  этого объема остались пустыми. После того как мы уберем диафрагму молекулы равномерно заполнят весь объем сосуда, т.е. перейдут из состояния с меньшей вероятностью в состояние с большей вероятностью. Таким образом, мы и здесь можем сказать, что процессы в системе идут

только в одном направлении: от некоторой структуры (порядка, когда молекулы содержались в верхнем правом углу объема сосуда) к полной симметрии (хаосу, беспорядку, когда молекулы могут занимать любые точки пространства сосуда). Последнее состояние можно назвать состоянием равновесия. Все это наводит на мысль, что должна существовать связь между вероятностью и энтропией.

Если мы рассмотрим две подсистемы какой либо системы, каждая из которых характеризуется своим статистическим весом (вероятностью состояния)  $W_1$  и  $W_2$ , то полный статистический вес системы равен произведению статистических весов подсистем:

$$W = W_1 \cdot W_2,$$

а энтропия системы  $S$  равна сумме энтропии подсистем  $S = S_1 + S_2$ .

Это наталкивает на мысль, что связь вероятности (статистического веса) и энтропии должна выражаться через логарифм:

$$\ln W = \ln (W_1 \cdot W_2) = \ln W_1 + \ln W_2 = S_1 + S_2 .$$

Собственно, это и сделал Больцман, связав понятие энтропии  $S$  с  $\ln W$ . Уже позднее, в 1906 г. Макс Планк написал формулу, выражающую основную мысль Больцмана об интерпретации энтропии как логарифма вероятности состояния системы:

$$S = k \ln W.$$

Эта формула выгравирована на памятнике Больцману на венском кладбище.

Коэффициент пропорциональности  $k$  был рассчитан Планком и назван им постоянной Больцмана.

### 1.5 Стрела времени

Время – одно из самых загадочных понятий философии и естествознания. Это – одно из фундаментальных понятий научной картины мира. Блаженный Августин, христианский теолог и церковный деятель (354-430) признавался: пока его никто не спрашивает о том, что такое время, он это понимает, но когда хочет ответить на такой вопрос, попадает в тупик. «Душа моя горит желанием проникнуть в эту необъяснимую для нее тайну» — говорил он.

Нам известно одно неотъемлемое свойство времени – его направленность от прошлого к будущему.

Действительно, при описании любых явлений, с которыми человеку приходится иметь дело, прошлое и будущее играют разные роли. Это справедливо для физики, изучающей макроскопические явления (для микромира, на фундаментальном уровне описания этой направленности времени не существует), биологии, геологии, гуманитарных наук. Почему это именно так и не иначе? Известный физик Эддингтон придумал яркое название «стрела времени».

Английский астрофизик Фрейд Хойл высказал мысль о связи направления времени с направлением процесса увеличения расстояния между галактиками в ходе расширения Вселенной, которое наблюдается в настоящее время. Эту идею поддержал и Эддингтон. Однако расширение Вселенной, о котором свидетельствует т.н. “красное смещение” спектральных линий в излучении удаляющихся друг от друга галактик («разбегания» галактик) не означает расширения в каждом месте, иначе расширялись бы размеры тел, а этого не наблюдается. А поскольку нет этого общего физического влияния, разбегание галактик или расширения Вселенной не может влиять на ход времени в элементарных процессах. Связь с расширением Вселенной может определять только «космологическую шкалу времени».

Существует и субъективное восприятие течения времени в результате психологических процессов, которые дают нам “психологическую шкалу времени”. Вопрос о психологическом времени сам по себе очень сложен. Для обычного — «природного» человека в первобытном, доцивилизованном племени время текло то быстро (например, ночью), то медленно (в минуты томительного ожидания) и сосредоточивалось в настоящем (по принципу «здесь и сейчас»). Прошлое при этом было вечным и, в то же время, одномоментным. Мы сохранили много пережитков субъективного восприятия времени. В частности, отмечая юбилейные даты, мы почти отождествляем их с первоначальным событием.

В то же время во Вселенной идет необратимый процесс роста энтропии. Не он ли определяет стрелу времени? Действительно, согласно Больцману, возрастание энтропии означает необратимость процесса и рассматривается как проявление возрастающего хаоса, постепенного “забывания” начальных условий. Таким образом, термодинамические процессы определяют и «термодинамическую шкалу времени».

Итак, фактически мы имеем три «стрелы времени»:

- космологическую (расширение Вселенной);
- психологическую (субъективное восприятие, опыт);
- термодинамическую (рост энтропии).

## 2. Электромагнитная картина мира

18-й век, ознаменовавшийся становлением МКМ, фактически положил начало и систематическим исследованиям электрических явлений. Так было установлено, что одноименные заряды отталкиваются, появился простейший прибор – электроскоп. В середине 18 в. была установлена электрическая природа молнии (*исследования Б.Франклина, М. Ломоносова, Г. Рихмана, причем заслуги Франклина следует отметить особо: он является изобретателем молниеотвода; считается, что именно Франклин предложил обозначения + и – для зарядов*).

В 1759 г. английский естествоиспытатель Р.Симмер сделал заключение о том, что в обычном состоянии любое тело содержит равное количество разноименных зарядов, взаимно нейтрализующих друг друга. При электризации происходит их перераспределение.

В конце 19-го, начале 20-го века опытным путем было установлено, что электрический заряд состоит из целого числа элементарных зарядов  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Это наименьший существующий в природе заряд. В 1897 г. Дж. Томсоном была открыта и наименьшая устойчивая частица, являющаяся носителем элементарного отрицательного заряда (электрон, имеющий массу  $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$ ). Таким образом, электрический заряд является дискретным, т.е. состоящим из отдельных элементарных порций  $q=\pm ne$ , где  $n$  – целое число.

В результате многочисленных исследований электрических явлений, предпринятых в 18-19 вв. был получен ряд важнейших законов (закон сохранения точечного заряда, закон взаимодействия точечных зарядов, или закон Кулона, открытие Эрстедом магнитного поля у проводника с током, законы Ома, Джоуля-Ленца). А.М.Ампер создал новую науку об электричестве – электродинамику, а экспериментальные исследования М.Фарадея, в результате которых был открыт закон электромагнитной индукции, привели его к **идее существования электромагнитных волн.**

### 1.1 Формирование понятия электромагнитного поля как новой физической реальности

Одним из первых, кто оценил работы Фарадея и его открытия, был Д.Максвелл, который развил идеи Фарадея, разработав в 1865 г. теорию электромагнитного поля, которая значительно расширила взгляды физиков на материю и привела к созданию электромагнитной картины мира (ЭМКМ).

Теорию поля Д. Максвелл разрабатывает в своих трудах «О физических линиях силы» (1861-1865) и «Динамическая теория поля (1864-1865). В последней работе и была дана система знаменитых уравнений, которые (по словам Герца) составляют суть теории Максвелла. Эта суть сводилась к тому, что *изменяющееся магнитное поле создает не только в окружающих телах, но и в вакууме вихревое электрическое поле, которое, в свою очередь, вызывает появление магнитного поля*. Таким образом, в физику была введена *новая реальность – электромагнитное поле*. Это ознаменовало начало нового этапа в физике - этапа, на котором электромагнитное поле стало реальностью, *материальным носителем взаимодействия*.

Мир стал представляться электродинамической системой, построенной из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля. (Действительно, вспомним, что в МКМ господствовал принцип дальнего действия, согласно которому действие различного рода сил передается мгновенно, без участия среды.)

Система уравнений для электрических и магнитных полей, разработанная Максвеллом, состоит из 4-х уравнений, которые эквивалентны 4-м утверждениям.

| Уравнение   | Утверждение   |
|---|---|
| $\text{div } \mathbf{E} \sim q$                                   | Электрическое поле, соответствующее какому-либо распределению заряда, определяется из закона Кулона |
| $\text{div } \mathbf{H} = 0$                                      | Магнитные заряды не существуют  |
| $\text{rot } \mathbf{E} \sim \frac{d\mathbf{H}}{dt}$              | Переменное магнитное поле возбуждает электрический ток  |
| $\text{rot } \mathbf{H} \sim \mathbf{I} + \frac{d\mathbf{E}}{dt}$ | Магнитное поле возбуждается токами и переменными электрическими полями                              |

Анализируя свои уравнения, Максвелл пришел к выводу, что должны существовать электромагнитные волны, причем скорость их распространения должна равняться скорости света. Отсюда вывод: свет – разновидность электромагнитных волн. На основе своей теории Максвелл предсказал существование давления, оказываемого электромагнитной волной, а, следовательно, и светом, что было блестяще доказано экспериментально в 1906 г. П.Н. Лебедевым.

Вершиной научного творчества Максвелла явился «Трактат по электричеству и магнетизму».

**Развитие корпускулярно-континуальных представлений в трудах Максвелла.** Развивая теорию электромагнитного поля, Максвелл не отвергал и дискретность материи. Он писал: «Даже атом, когда мы приписываем ему способность вращаться, можно представлять состоящим из многих элементарных частиц». Это было сказано в 1873 г. задолго до открытия электрона. Таким образом, Максвелл не отдавал предпочтения ни дискретности, ни непрерывности материи, допуская возможность и того и другого.

Разработав ЭМКМ, Максвелл завершил картину мира классической физики («начало конца классической физики»). Теория Максвелла является предшественницей электронной теории Лоренца и специальной теории относительности А.Эйнштейна.

## 1.2. Специальная теория относительности

Из преобразований Галилея следует, что при переходе от одной инерциальной системы к другой такие величины, как время, масса, ускорение, сила остаются



неизменными, т.е. **инвариантными**. В то же время координата, скорость, импульс, кинетическая энергия изменяются, т.е. являются вариантными. Инвариантность времени, массы, ускорения и силы при переходе от одной ИСО к другой и отражено в принципе относительности Галилея (механический принцип относительности).

Возникает вопрос: будут ли ИСО равноправны не только с точки зрения механики, но и с точки зрения физики в целом? Всегда ли верны представления классической механики и, в частности, преобразования Галилея?

Большой вклад в решение этого вопроса внесли исследования природы света и законов его распространения. В середине 19 в. были проведены довольно точные опыты по измерению скорости света. Оказалось, что в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с. Сразу же возник вопрос: в какой системе отсчета? В результате опытов Майкельсона в 1881 г. (а также более поздних) было установлено, что скорость света в вакууме во всех системах отсчета независимо от величины и направления скорости их движения оставалась такой же, как и в системе отсчета, связанной с источником света. Это означало, что классический закон сложения скоростей для света не выполняется. Ведь из механики Галилея-Ньютона следовало, что  $\vec{v} = \vec{c} + \vec{v}$ .

Кроме того, возник вопрос: не является ли эфир, среда в которой распространяется свет «самой лучшей», «абсолютной системой отсчета»? Были выдвинуты и проверены гипотезы абсолютно неподвижного эфира, полного и частичного увлечения эфира движущимися телами. Однако при этом возникли большие трудности не только в разработке и постановке экспериментов, но и в истолковании их результатов.

**Постулаты и основные следствия СТО.** Принципиально новый подход к вышеупомянутым вопросам предложил Эйнштейн (1879-1955), разработавший в 1905 г. новую теорию пространства и времени, получившую название специальной теории относительности (СТО).

Основу СТО составляют два постулата (принципа):

- **Принцип относительности Эйнштейна.** Этот принцип явился обобщением принципа относительности Галилея на любые физические явления. Он гласит: все физические процессы при одних и тех же условиях в ИСО протекают одинаково. Это означает, что никакими физическими опытами, проведенными внутри замкнутой ИСО, нельзя установить, покоится ли она или движется равномерно и прямолинейно. Таким образом, все ИСО совершенно равноправны, а физические законы инвариантны по отношению к выбору ИСО (т.е. уравнения, выражающие эти законы, имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета).
- **Принцип постоянства скорости света.** Скорость света в вакууме постоянна и не зависит от движения источника и приемника света. Она одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчета. Скорость света в вакууме – предельная скорость в природе. Это одна из важнейших физических постоянных, так называемых мировых констант. (Следует заметить, что это противоречит закону сложения скоростей в механике.)

Анализ этих постулатов показывает, что они противоречат представлениям о пространстве и времени, принятым в механике Ньютона и отраженным в преобразованиях Галилея. Действительно, согласно принципу 1 все законы природы, в том числе законы механики и электродинамики, должны быть инвариантны по отношению к одним и тем же преобразованиям координат и времени, осуществляемым при переходе от одной системы отсчета к другой. Уравнения Ньютона этому требованию удовлетворяют, а вот уравнения электродинамики Максвелла – нет, т.е. оказываются не инвариантными. Это обстоятельство привело Эйнштейна к выводу о том, что Уравнения Ньютона нуждаются в уточнении, в результате которого как уравнения механики, так и уравнения электродинамики оказались бы инвариантными по отношению к одним и тем же преобразованиям. Необходимое видоизменение законов механики и было осуществлено

Эйнштейном. В результате возникла механика, согласующаяся с принципом относительности Эйнштейна – релятивистская механика.

Согласно релятивистской механике переход от одной ИСО к другой должен осуществляться не по преобразованиям Галилея, а по другим. Ими стали преобразования Лоренца, из которых, как и из постулатов СТО вытекает ряд следствий. Рассмотрим некоторые из них.

1. Закон сложения скоростей:  $V_x = \frac{V'_x + V_0}{1 + \frac{V'_x \cdot V_0}{c^2}}$ , где  $V_0$  – скорость подвижной

системы координат  $K'$  относительно неподвижной системы координат  $K$ ;  $V'_x$  – скорость материальной точки в системе  $K'$ ;  $V_x$  – скорость материальной точки относительно системы  $K$ ,  $c$  – скорость света в вакууме.

Если  $V'_x$  и  $V_0$  намного меньше  $c$ , то релятивистский закон сложения скоростей переходит в классические преобразования Галилея для скоростей. Из этого закона следует также, что если скорость частицы относительно какой-либо инерциальной системы отсчета равна скорости света в вакууме, то она будет такой же относительно любой другой ИСО. Это означает, что если одна из скоростей равна  $c$ , то сумма скоростей тоже будет равна  $c$ . Более того, при  $V'_x = c$  и  $V_0 = c$  имеем

Таким образом, при сложении скоростей никогда не может получиться скорость больше скорости света. Это находится в соответствии со 2-м постулатом СТО.

$$V_x = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = c.$$

2. Следствием СТО явилась и зависимость массы тела от его движения. Зависимость массы от скорости была обнаружена в конце 19 в. в опытах с быстрыми электронами. Тогда же была предложена эмпирическая формула для этой зависимости:

где  $m_0$  – масса покоя электрона, а  $m$  – его масса при скорости движения  $V$  (масса движения).

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

Если  $m_0 \neq 0$ , то частица не может двигаться со скоростью  $V_x \geq c$ , т.к. это соответствовало бы бесконечно большой или мнимой массе, что абсурдно. Если же масса покоя частицы  $m_0 = 0$  (фотон, нейтрино), то ее скорость может быть только  $c$ . (Действительно, при  $V > c$  и  $V < c$ ,  $m = 0$ , что отрицает само существование частицы.)

3. Относительность промежутка времени:

где  $t_0$  – собственное время, т.е. время по часам, движущимся вместе с объектом со скоростью  $V$ ,  $t$  – время по часам в неподвижной системе отсчета.

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Таким образом, собственное время меньше времени по часам в неподвижной системе отсчета, т.е. физические процессы в движущейся системе отсчета замедляются (относительно неподвижной системы!). Разумеется, это становится заметно только при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Замедление хода времени подтверждается в ядерной физике, в частности, в опытах с мюонами.

4. Важнейшим следствием СТО явилась знаменитая формула Эйнштейна о взаимосвязи массы и энергии  $E = mc^2$ , подтвержденная данными современной физики.

### 1.3 Общая теория относительности.

В 1916 г. Эйнштейн опубликовал общую теорию относительности (ОТО), над которой работал в течение 10 лет. ОТО обобщила СТО на ускоренные, т.е. неинерциальные системы. Основные принципы ОТО сводятся к следующему:

- ограничение применимости принципа постоянства скорости света областями, где гравитационными силами можно пренебречь; (там, где гравитация велика, скорость света замедляется);
- распространение принципа относительности на все движущиеся системы (а не только на инерциальные).

Из ОТО был получен ряд важных выводов:

Свойства пространства-времени зависят от движущейся материи.

Луч света, обладающий инертной, а, следовательно, и гравитационной массой, должен искривляться в поле тяготения.

В частности, такое искривление должен испытывать луч, проходящий возле Солнца. Этот эффект, как писал Эйнштейн, можно обнаружить при наблюдении положения звезд во время солнечного затмения. В 1919 г. научные экспедиции Лондонского Королевского общества, направленные для изучения солнечного затмения подтвердили правильность этого утверждения. (Эйнштейн писал Планку: «Судьба оказала мне милость, позволив дожить до этого дня».)

Частота света под действием поля тяготения должна смещаться в сторону более низких значений.

В результате этого эффекта линии солнечного спектра должны смещаться в сторону красного цвета, по сравнению со спектрами соответствующих земных источников.

Действительно, красное смещение в спектрах небесных тел было обнаружено в 1923-26 гг. при изучении Солнца, а в 1925 г. при изучении спутника Сириуса. Все это явилось убедительным подтверждением ОТО.

Следует сказать, что ОТО произвела настоящий переворот в космологии. На ее основе появились различные модели Вселенной. Вокруг теории относительности развернулись широкие дискуссии, в которые включились люди разных специальностей, появилось множество научных и научно-популярных книг. Философские дискуссии, так или иначе связанные с идеями СТО и ОТО продолжаются и по сей день.

### 1.4 Основные понятия и принципы ЭМКМ

Главная исходная идея ЭМКМ – это естественнонаучный материализм, а ее ядро – теория электромагнитного поля. ЭМКМ базировалась на следующих идеях:

- Непрерывность материи (континуальность),
- Материальность электромагнитного поля,
- Неразрывность материи и движения,
- Связь пространства и времени как между собой, так и с движущейся материей.

**Материя и движение.** Материя существует в двух видах: вещество и поле. Они строго разделены и их превращение друг в друга невозможно. Главным является поле, а значит основным свойством материи является непрерывность (континуальность) в противовес дискретности.

**Пространство и время.** В первоначальной ЭМКМ абсолютное и пустое пространство (как в МКМ) было заполнено мировым эфиром. Электромагнитное поле представлялось как колебания эфира. С неподвижным эфиром пытались связать абсолютную систему отсчета, самую простую, самую лучшую. Создание СТО привело к отказу от эфира.

Из постулатов СТО следовала относительность длины, времени и массы, т.е. их зависимость от системы отсчета. Из преобразований Лоренца, выведенных для перехода от одной ИСО к другой, следовало, что пространство и время связаны между собой и образуют единый четырехмерный мир (пространственно-временной континуум Минковского), являясь его проекциями. Свойства пространственно-временного континуума (метрика Мира, его геометрия) определяются распределением и движением материи.

Событие, происходящее с некоторой частицей, характеризуется местом, где оно произошло (т.е. совокупностью значений  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), и временем  $t$ , когда оно произошло. («Что? Где? Когда?»). В воображаемом четырехмерном пространстве, по осям которого откладываются пространственные координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и время  $t$ , событие можно изобразить точкой. Точка, изображающая событие в 4-мерном пространстве, называется мировой точкой. С течением времени мировая точка, соответствующая данной частице, перемещается в 4-мерном пространстве, описывая некоторую линию, которую называют мировой линией.

**Взаимодействие.** В период становления и развития ЭМКМ физика знала два взаимодействия – гравитационное и электромагнитное. В рамках этой картины Мира оба эти взаимодействия объяснялись исходя из понятия «поле». Это означало, что и то и другое взаимодействие передается с помощью промежуточной среды, т.е. поля со скоростью, равной скорости света. Таким образом, принцип дальнего действия МКМ был заменен принципом ближнего действия. В рамках ЭМКМ А. Эйнштейном была предпринята попытка разработать единую теорию гравитационного и электромагнитного взаимодействия. После создания ОТО ученый до конца своей жизни работал над созданием единой теории поля – труд, непосильный для одного человека. (На сегодня создана теория поля, включающая три взаимодействия: электромагнитное, сильное и слабое. Включение в нее гравитационного взаимодействия до сих пор остается проблемой).

**Основными принципами ЭМКМ** являются принцип относительности Эйнштейна, ближнего действия, постоянство и предельность скорости света, эквивалентность инертной и гравитационной масс, причинность. (Какого-либо нового понимания причинности по сравнению с МКМ не произошло. Главными считались причинно-следственные связи и динамические законы, их выражающие.) Большое значение имело установление взаимосвязи массы и энергии ( $E = mc^2$ ). Масса стала не только мерой инертности и гравитации, но и мерой содержания энергии. В результате два закона сохранения – массы и энергии – были объединены в один общий закон сохранения массы и энергии.

Дальнейшее развитие физики показало, что ЭМКМ имеет ограниченный характер. Главная трудность здесь заключалась в том, что континуальное понимание материи не согласовывалось с опытными фактами, подтверждающими дискретность многих ее свойств – заряда, излучения, действия. Не удавалось объяснить соотношения между полем и зарядом, устойчивость атомов, их спектры, явление фотоэффекта, излучение абсолютно черного тела. Все это свидетельствовало об относительном характере ЭМКМ и необходимости замены ее новой картиной мира.

Вскоре на смену ЭМКМ пришла новая – квантово-полевая картина Мира, объединившая дискретность МКМ и непрерывность ЭМКМ.

### **3. Квантово-полевая картина мира**

В основе современной КПКМ лежит новая физическая теория – квантовая механика, описывающая состояние и движение микрообъектов. Это – четвертая (после механики, электродинамики и теории относительности) фундаментальная физическая теория. Она является базой для развития современного естествознания.

В основе квантовой механики лежат фундаментальные идеи о квантовании физических величин и корпускулярно-волновом дуализме (единстве корпускулярного и континуального подхода к описанию мира).

### 3.1 Формирование идеи квантования физических величин

**Определение:** физические величины, которые могут принимать лишь определенные дискретные значения, называются квантованными. А само их выражение через квантовые числа называется квантованием. Сама идея квантования сформировалась на основе ряда открытий в конце 19-го – начале 20-го века. Рассмотрим основные из них.

**Открытие электрона.** В 1897 г. был открыт электрон. Его заряд оказался наименьшим, элементарным. Заряд любого тела равен целому числу элементарных зарядов. Таким образом, заряд дискретен, а равенство  $q = \pm ne$  представляет собой форму квантования электрического заряда.

**Тепловое излучение.** Во второй половине 19 в. в результате исследования теплового излучения был открыт ряд законов: Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина. Однако из теории, основанной на традиционных представлениях об электромагнитных излучениях, следовало, что энергия теплового излучения на всех частотах (во всем интервале длин волн) равнялась бесконечности, что противоречило закону сохранения энергии. Особенно ярко это противоречие проявлялось в области коротких длин волн, поэтому оно получило название «ультрафиолетовой катастрофы».

В 1900 г. Макс Планк (1858-1947) для выхода из этой ситуации предложил следующую гипотезу (впоследствии названную квантовой гипотезой Планка): электромагнитное излучение испускается отдельными порциями – квантами, величина которых пропорциональна частоте излучения. Гипотеза Планка фактически стала началом новой физики – квантовой физики (старая при этом получила название классической). Согласно этим представлениям энергия кванта  $\varepsilon = h \cdot \nu$ , где  $\nu$  - частота, а  $h$  – постоянная Планка, равная  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Она является фундаментальной физической константой (квант действия).

Таким образом, если в классической физике считалось, что энергия может изменяться непрерывно и принимать любые, сколь угодно близкие значения, то согласно квантовым представлениям, она может принимать лишь дискретные значения, равному целому числу квантов энергии  $W = n \cdot h \cdot \nu$ , где  $n = 1, 2, 3 \dots$  - целые числа.

В конце 19 в. в результате экспериментов были установлены законы фотоэффекта – явления выбивания электронов из вещества под действием света: 1) независимость энергии выбиваемых электронов от интенсивности света, а зависимость ее только от частоты световой волны и 2) наличие для каждого вещества «красной» границы фотоэффекта, т.е. минимальной частоты, при которой фотоэффект еще возможен. Эти законы не могли быть объяснены на основе представлений ЭМКМ.

В 1905 г. А. Эйнштейн, приняв гипотезу Планка, расширил ее, предположив, что свет не только излучается квантами, но и распространяется и поглощается тоже квантами (названными впоследствии фотонами). Таким образом, свет представляет собой поток световых частиц – фотонов. Как видно, это возвращает нас к корпускулярным воззрениям Ньютона (который предполагал, что свет является потоком частиц), но на новом уровне.

Энергия фотона  $\varepsilon = h \cdot \nu = mc^2$ , импульс  $P = mc = h\nu/c = h/\lambda$ . Эти соотношения означали, что масса покоя фотона  $m_0 = 0$  (покоящийся фотон не существует), а скорость его равна скорости света. Масса движения фотона  $m = h\nu/c^2 = P/c$ . На основе фотонных представлений и закона сохранения и превращения энергии Эйнштейн записывает основное уравнение фотоэффекта  $h\nu = A + E_k$  (энергия фотона расходуется на работу выхода электрона из металла и придание ему кинетической энергии).

### 3.2 Корпускулярно-волновой дуализм света и вещества

В истории развития учения о свете сменяли друг друга корпускулярная теория света (Ньютон) и волновая (Р. Гук, Ч. Гюйгенс, Т. Юнг, Ж. Френель), представлявшая свет как механическую волну. В 70-х годах после утверждения теории Максвелла под светом стали понимать электромагнитную волну.

В начале 20-го века на основе экспериментов было неопровержимо доказано, что свет обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами. Было также обнаружено, что в проявлении этих свойств существуют вполне определенные закономерности: чем меньше длина волны, тем сильнее проявляются корпускулярные свойства света.

В 1924 г. французский физик Л. де Бройль выдвинул смелую гипотезу: корпускулярно-волновой дуализм имеет универсальный характер, т.е. все частицы, имеющие конечный импульс  $P$ , обладают волновыми свойствами. Так в физике появилась знаменитая формула де Бройля  $\lambda = \frac{h}{mV}$ , где  $\lambda$  - длина волны,  $m$  – масса частицы,  $V$  – ее скорость,  $h$  – постоянная Планка.

При проявлении у микрообъекта корпускулярных свойств его волновые свойства существуют как потенциальная возможность, способная при определенных условиях перейти в действительность (диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств материи).

По современным представлениям квантовый объект – это не частица, не волна, и даже не то и не другое одновременно. Квантовый объект – это нечто третье, не равное простой сумме свойств частицы и волны. Для выражения свойства квантового объекта у нас в языке просто нет соответствующих понятий. Но, поскольку сведения о микрообъекте, о его характеристиках мы получаем в результате взаимодействия его с прибором (макрообъектом), то и описывать этот микрообъект приходится в классических понятиях, т.е. используя понятия волны и частицы.

**Принцип дополнительности.** Итак, из сказанного выше следует, что корпускулярные и волновые свойства микрообъекта являются несовместимыми в отношении их одновременного проявления, однако они в равной мере характеризуют объект, т.е. дополняют друг друга. Эта идея была высказана Н. Бором и положена им в основу важнейшего методологического принципа современной науки, охватывающего в настоящее время не только физические науки, но и все естествознание – принципа дополнительности (1927). *Суть принципа дополнительности по Н. Бору сводится к следующему: как бы далеко не выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий. Для полного описания квантово-механических явлений необходимо применять два взаимоисключающих (дополнительных) набора классических понятий, совокупность которых дает наиболее полную информацию об этих явлениях как о целостных.*

Важно отметить, что идея дополнительности рассматривалась Бором как выходящая за рамки чисто физического познания. Он считал (и эта точка зрения разделяется в настоящее время), что интерпретация квантовой механики «имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования человеческих понятий, возникающих из разделения «субъекта и объекта».

*Принцип дополнительности, как общий принцип познания* может быть сформулирован следующим образом: *всякое истинное явление природы не может быть определено однозначно с помощью слов нашего языка и требует для своего определения, по крайней мере, двух взаимоисключающих дополнительных понятий.* К числу таких явлений относятся, например, квантовые явления, жизнь, психика и др. Бор, в частности, видел необходимость применения принципа дополнительности в биологии, что

обусловлено чрезвычайно сложным строением и функциями живых организмов, которые обеспечивают им практически неисчерпаемые скрытые возможности.

**Соотношения неопределенностей Гейзенберга.** Двойственная природа микрочастиц поставила науку перед вопросом о границах применимости понятий классической физики в микромире. В классической механике всякая частица движется по определенной траектории и всегда имеет вполне определенные (точные) значения координаты, импульса, энергии. По-другому обстоит дело с микрочастицей. Микрочастица, обладая волновыми свойствами, не имеет траектории, а значит, не может иметь одновременно определенных (точных) значений координаты и импульса. Другими словами, мы можем говорить о значениях координаты и импульса микрочастицы только с некоторой степенью приближения. Мэру этой неопределенности (неточности) в значениях координаты и импульса, энергии и времени нашел в 1927 г. В. Гейзенберг. Он показал, что эти неопределенности (неточности) удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\Delta X \cdot \Delta P_X \geq \hbar; \quad \Delta Y \cdot \Delta P_Y \geq \hbar; \quad \Delta Z \cdot \Delta P_Z \geq \hbar; \quad \Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar.$$

Эти неравенства называются соотношениями неопределенностей Гейзенберга.

Таким образом, если мы знаем положение  $X$  импульс  $P$  микрочастицы (например, электрона в атоме) с погрешностями  $\Delta X$  и  $\Delta P_X$ , то эта погрешность не может быть меньше, чем  $\hbar$ . Этот предел мал, поскольку мала сама  $\hbar$  – постоянная Планка, но он существует, и это фундаментальный закон природы. Важно заметить, что эта неопределенность не связана с несовершенством наших приборов. Речь о том, что принципиально нельзя определить одновременно координату и импульс частицы точнее, чем это допускает соотношение неопределенностей. Этого нельзя сделать точно, так же как нельзя превысить скорость света, достичь абсолютного нуля температур, поднять себя за волосы, вернуть вчерашний день.

Из соотношения неопределенностей видно, что с увеличением массы частицы ограничения, накладываемые им уменьшаются. Например, для пылинки  $m=10^{-13}$  кг, координата которой получена с точностью до ее размеров, т.е.  $\Delta X=10^{-6}$  м, получаем  $\Delta V_X=1,0 \cdot 10^{-15}$  м/с. Эта неопределенность практически не будет сказываться ни при каких скоростях, с которыми может двигаться частица. Для макроскопических тел соотношение неопределенностей не будет вносить никаких ограничений в возможность применить для них понятия координаты и скорости одновременно. Дело в том, что постоянная Планка в этих случаях может рассматриваться пренебрежимо малой. Это приводит к тому, что квантовые свойства изучаемых объектов оказываются несущественными, а представления классической физики – полностью справедливыми. Аналогично при скоростях, намного меньших скорости света, выводы теории относительности совпадают с выводами классической механики.

**Таким образом, классическая механика является предельным случаем квантовой механики и релятивистской механики для малых масс и скоростей.** Это положение связано с так называемым принципом соответствия, имеющим важное философское и методологическое значение. Принцип соответствия может быть сформулирован следующим образом:

Теории, справедливость которых была экспериментально установлена для определенной группы, с появлением новой теории не отбрасываются, а сохраняют свое значение для прежней области явлений, как предельная форма и частный случай новых теорий.

### 2.3 Основные понятия и принципы КПКМ

Как и все предшествующие картины Мира, КПКМ представляет собой процесс дальнейшего развития и углубления наших знаний о сущности физических явлений. Процесс становления и развития КПКМ продолжается и прошел уже ряд стадий, в частности:

- 1) утверждение корпускулярно-волновых представлений о материи;
- 2) изменение методологии познания и отношения к физической реальности;

Пояснение: Ранее считалось, что устройство мира можно познавать, не вмешиваясь в него, не влияя на протекающие в нем процессы, т.е. находясь как бы вне его, вне абсолютной физической реальности. Эйнштейн не включал в понятие «физическая реальность» акт наблюдения, а Бор считал его важным элементом физической реальности. Картина реальности в квантовой механике становится как бы двухплановой: с одной стороны в нее входят характеристики исследуемого объекта, а с другой – условия наблюдения. Таким образом, в КПКМ появляется принцип относительности к средствам наблюдения.

Все рассмотренные ранее картины мира отличались своей трактовкой таких фундаментальных понятий как пространство и время, движение, принцип причинности, взаимодействия. Рассмотрим, как они представлены в КПКМ.

**Пространство и время.** При рассмотрении МКМ подчеркивалось, что пространство и время в ней абсолютны и независимы друг от друга. Для характеристики объекта в пространстве вводились три пространственные координаты (X,Y,Z), а для обозначения времени независимо от них вводилась одна временная координата t. В СТО и ЭМКМ они потеряли абсолютный и независимый характер. Появилось новое пространство-время как абсолютная характеристика четырехмерного Мира (пространственно-временного континуума Минковского). И новая величина – пространственно-временной интервал стал оставаться неизменным (инвариантным) при переходе от одной системы отсчета к другой.

**Причинность.** В МКМ при описании объектов используется два класса понятий: пространственно-временные, которые дают кинематическую картину движения и энергетически импульсные, которые дают динамическую (причинную) картину. В МКМ и ЭМКМ они независимы. В КПКМ, в соответствии соотношением неопределенностей они не могут применяться независимо друг от друга, они дополняют друг друга. Таким образом, пространство, время и причинность оказались относительными и зависимыми друг от друга.

Независимость пространства, времени и причинности в МКМ позволяет говорить о точной локализации объекта в пространстве, его траектории, об однозначной причинно-следственной связи (лапласовский детерминизм), об одновременном, точном измерении координат и скорости, энергии и времени.

В квантовой механике относительность пространства-времени и причинности приводит к неопределенности координат и скорости в данный момент, к отсутствию траектории движения микрообъекта. И если в классической физике вероятностным законам подчинялось поведение большого числа частиц, то в квантовой механике поведение каждой частицы подчиняется не динамическим (детерминистским), а статистическим законам. Таким образом, причинность в современной КПКМ имеет вероятностный характер (вероятностная причинность).

**Взаимодействие.** Все многообразие взаимодействий подразделяется в современной физической картине мира на 4 типа: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. По современным представлениям все взаимодействия имеют обменную природу, т.е. реализуются в результате обмена фундаментальными частицами – переносчиками взаимодействий. Каждое из взаимодействий характеризуется так называемой константой взаимодействия, которое определяет его сравнительную интенсивность, временем протекания и радиусом действия. Рассмотрим кратко эти взаимодействия.

- Сильное взаимодействие обеспечивает связь нуклонов в ядре. Константа взаимодействия равна приблизительно  $10^0$ , радиус действия порядка
- $10^{-15}$ , время протекания  $\tau \approx 10^{-23}$  с. Частицы – переносчики -  $\pi$ -мезоны.



- Электромагнитное взаимодействие: константа порядка  $10^{-2}$ , радиус взаимодействия не ограничен, время взаимодействия  $\tau \approx 10^{-20}$  с. Оно реализуется между всеми заряженными частицами. Частица – переносчик – фотон ( $\gamma$ -квант).
- Слабое взаимодействие связано со всеми видами  $\beta$ -распада, многие распады элементарных частиц и взаимодействие нейтрино с веществом. Константа взаимодействия порядка  $10^{-13}$ ,  $\tau \approx 10^{-10}$  с. Это взаимодействие, как и сильное, является короткодействующим: радиус взаимодействия  $r \approx 10^{-18}$  м.
- Гравитационное взаимодействие является универсальным, однако в микромире учитывается, так как его константа равна  $10^{-38}$ , т.е. из всех взаимодействий является самым слабым и проявляется только при наличии достаточно больших масс. Его радиус действия не ограничен, время также не ограничено. Обменный характер гравитационного взаимодействия до сих пор остается под вопросом, так как гипотетическая фундаментальная частица гравитон пока не обнаружена.

#### 1.4. Лекция №4 (2 часа) Тема: Земля как объект мега- и макромира

##### 1.4.1 Вопросы лекции

1. Структурные уровни материи
2. Планета Земля и её характеристика
3. Строение Земли

##### 1.4.2. Краткое содержание вопросов.

##### 1. Структурные уровни материи

**Микромир** — это молекулы, атомы, элементарные частицы — мир предельно малых, непосредственно не наблюдаемых микрообъектов, пространственная размерность которых исчисляется от  $10^{-8}$  до  $10^{-16}$  см, а время жизни — от бесконечности до  $10^{-24}$  с.

**Макромир** — мир устойчивых форм и соразмерных человеку величин, а также кристаллические комплексы молекул, организмы, сообщества организмов; мир макрообъектов, размерность которых соотносима с масштабами человеческого опыта: пространственные величины выражаются в миллиметрах, сантиметрах и километрах, а время — в секундах, минутах, часах, годах.

**Мегами́р** — это планеты, звездные комплексы, галактики, метagalактики — мир огромных космических масштабов и скоростей, расстояние в котором измеряется световыми годами, а время существования космических объектов — миллионами и миллиардами лет.



И хотя на этих уровнях действуют свои специфические закономерности, микро-, макро — и мегамиры теснейшим образом взаимосвязаны.

На микроскопическом уровне физика сегодня занимается изучением процессов, разыгрывающихся на длинах порядка  $10$  в минус восемнадцатой степени см., за время —

порядка  $10$  в минус двадцать второй степени с. В мегамире ученые с помощью приборов фиксируют объекты, удаленные от нас на расстоянии около 9-12 млрд. световых лет.

Микромир. Демокритом в античности была выдвинута Атомистическая гипотеза строения материи, позже, в XVIII в. была возрождена химиком Дж. Дальтоном, который принял атомный вес водорода за единицу и сопоставил с ним атомные веса других газов. Благодаря трудам Дж. Дальтона стали изучаться физико-химические свойства атома. В XIX в. Д. И. Менделеев построил систему химических элементов, основанную на их атомном весе.

## **2. Планета Земля и её характеристика**

### **Земля**

Расстояние от Солнца -Перигелий

147 098 290 км

0,98329134 а. е.

Афелий

152 098 232 км

1,01671388 а. е.

Сидерический период обращения

365,256366004 дней

365 дн. 6 ч. 9 мин. 10 сек.[3]

Орбитальная скорость ( $v$ )

29,783 км/с

107 218 км/ч[2]

Средняя аномалия ( $M_0$ )

Спутники

1 .Луна

Экваториальный радиус

6378,1 км[2]

Полярный радиус

6356,8 км[2]

Средний радиус

6371,0 км[2]

Окружность большого круга

40 075,017 км (по экватору)[6]

40 007,86 км (по меридиану)[7]

Площадь поверхности ( $S$ )

510 072 000 км<sup>2</sup>[8][9]

148 940 000 км<sup>2</sup> суша (29,2 %)[8]

361 132 000 км<sup>2</sup> вода (70,8 %)[8]

Объём (V)

$10,8321 \cdot 10^{11} \text{ м}^3$ [2]

Масса (m)

$5,9726 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Средняя плотность ( $\rho$ )

$5,5153 \text{ г/см}^3$ [2]

Ускорение свободного падения на экваторе (g)

$9,780327 \text{ м/с}^2$  ( $0,99732 \text{ g}$ )[2]

Первая космическая скорость ( $v_1$ )

$7,91 \text{ км/с}$ [комм. 2]

Вторая космическая скорость ( $v_2$ )

$11,186 \text{ км/с}$ [2]

Экваториальная скорость вращения

$1674,4 \text{ км/ч}$  ( $465,1 \text{ м/с}$ )[10]

Период вращения (T)

0,99726968 суток

(23h 56m 4,100s) — сидерический период вращения[11],

24 часа — длительность средних солнечных суток.

Наклон оси

Температура

мин.    сред.    макс.

Цельсий

$-91,2 \text{ °C}$ [12]     $14 \text{ °C}$ [13]     $56,7 \text{ °C}$ [14][15]

Кельвин

$184 \text{ K}$      $287,2 \text{ K}$      $329,9 \text{ K}$

Атмосфера[2]

Состав:

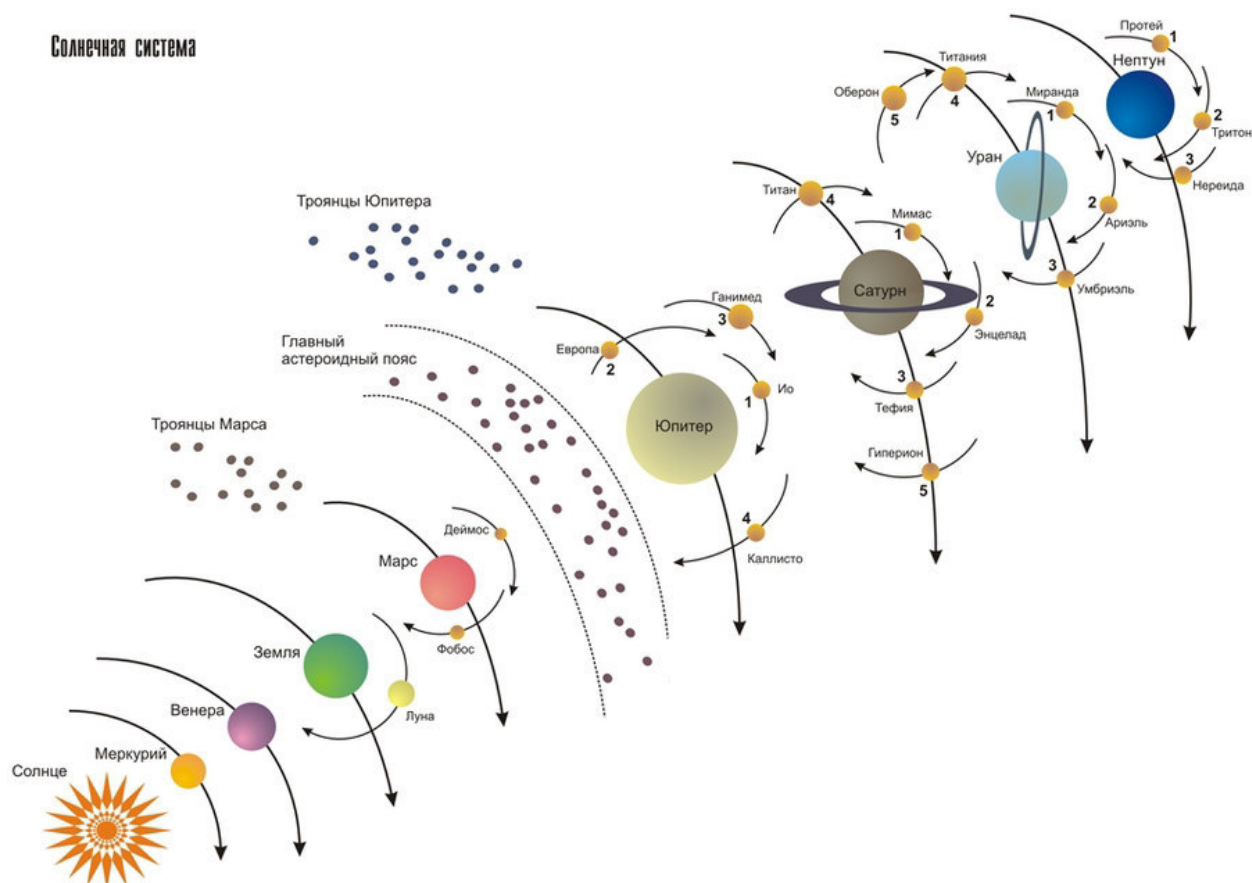
78,08 % — азот ( $\text{N}_2$ )

20,95 % — кислород ( $\text{O}_2$ )

0,93 % — аргон ( $\text{Ar}$ )

0,039 % — углекислый газ ( $\text{CO}_2$ )[16]

Около 1 % водяного пара (в зависимости от климата)



**Земля** — третья от Солнца планета. Пятая по размеру среди всех планет Солнечной системы. Она является также крупнейшей по диаметру, массе и плотности среди планет земной группы.

Научные данные указывают на то, что Земля образовалась из солнечной туманности около 4,54 миллиарда лет назад[20] и вскоре после этого приобрела свой единственный естественный спутник — Луну. Предположительно жизнь появилась на Земле примерно 3,9 млрд лет назад, то есть в течение первого миллиарда после её возникновения. С тех пор биосфера Земли значительно изменила атмосферу и прочие абиотические факторы, обусловив количественный рост аэробных организмов, а также формирование озонового слоя, который вместе с магнитным полем Земли ослабляет вредную для жизни солнечную радиацию, тем самым сохраняя условия существования жизни на Земле. Радиация, обусловленная самой земной корой, со времён её образования значительно снизилась благодаря постепенному распаду радионуклидов в ней. Кора Земли разделена на несколько сегментов, или тектонических плит, которые движутся по поверхности со скоростями порядка нескольких сантиметров в год. Изучением состава, строения и закономерностей развития Земли занимается наука геология.

Приблизительно 70,8 % поверхности планеты занимает Мировой океан, остальную часть поверхности занимают континенты и острова. На материках расположены реки, озёра, подземные воды и льды, вместе с Мировым океаном они составляют гидросферу. Жидкая вода, необходимая для всех известных жизненных форм, не существует на поверхности какой-либо из известных планет и планетоидов Солнечной системы, кроме Земли. Полюсы Земли покрыты ледяным панцирем, который включает в себя морской лёд Арктики и антарктический ледяной щит.

Сопоставление размеров планет земной группы (слева направо): Меркурий, Венера, Земля, Марс

Внутренние области Земли достаточно активны и состоят из толстого, очень вязкого слоя, называемого мантией, которая покрывает жидкое внешнее ядро, являющееся источником магнитного поля Земли, и внутреннее твёрдое ядро, предположительно, состоящее из железа и никеля. Физические характеристики Земли и её орбитального движения позволили жизни сохраниться на протяжении последних 3,5 млрд лет. По различным оценкам, Земля будет сохранять условия для существования живых организмов ещё в течение 0,5 — 2,3 млрд лет.

Земля взаимодействует (притягивается гравитационными силами) с другими объектами в космосе, включая Солнце и Луну. Земля обращается вокруг Солнца и делает вокруг него полный оборот примерно за 365,26 солнечных суток — сидерический год.. Сутки сейчас составляют примерно 24 часа. Луна начала своё обращение на орбите вокруг Земли примерно 4,53 миллиарда лет назад. Гравитационное воздействие Луны на Землю является причиной возникновения океанских приливов. Также Луна стабилизирует наклон земной оси и постепенно замедляет вращение Земли. Некоторые теории полагают, что падения астероидов приводили к существенным изменениям в окружающей среде и поверхности Земли, вызывая, в частности, массовые вымирания различных видов живых существ.

Человеческая культура сформировала много представлений об устройстве мироздания — таких, как концепция о плоской Земле, геоцентрическая система мира и гипотеза Геи, по которой Земля представляет собой единый суперорганизм[33].

**Гипотезы происхождения Земли.** Мифы о происхождении Земли прослеживаются у многих древних народов. Китайцы, египтяне, шумеры, греки имели свое представление о формировании мира. Согласно верованиям островных народов, землю выудили боги из океана. Теория хаоса Ближе всех к научной теории подошли древние греки. По их понятиям, рождение Земли произошло из первородного Хаоса, наполненного смесью из воды, земли, огня и воздуха. Это стыкуется с научными постулатами теории происхождения Земли. Гремучая смесь элементов хаотично вращалась, заполняя все сущее. Но в какой-то момент из недр первородного Хаоса родилась Земля – богиня Гея, и ее вечный спутник, Небо, – бог Уран. Совместными усилиями они наполнили безжизненные просторы разнообразием жизни. Похожий миф сформировался и в Китае. Хаос Хунь-гунь, наполненный пятью элементами – деревом, металлом, землей, огнем и водой – кружил в форме яйца по безграничной Вселенной, пока в нем не зародился бог Пань-Гу. Пробудившись, он обнаружил вокруг себя лишь безжизненную тьму. И этот факт его сильно опечалил. Сбравшись с силами, божество Пань-Гу разломило скорлупу яйца-хаоса, высвободив два начала: Инь и Ян. Тяжелый Инь опустился вниз, сформировав землю, светлый и легкий Ян взмыл вверх, образовав небо.

Знаменитый советский ученый Отто Юльевич Шмидт, больше известный по полярным исследованиям, сгруппировал все предложенные гипотезы и объединил их в три класса. К первому относятся теории, исходящие из постулата об образовании Солнца, планет, лун и комет из единого материала (туманности). Это известные гипотезы Войткевича, Лапласа, Канта, Фесенкова, недавно переработанные Рудником, Соботовичем и другими учеными. Второй класс объединяет представления, согласно которым планеты формировались непосредственно из вещества Солнца. Это гипотезы происхождения Земли ученых Джинса, Джеффриса, Мультона и Чемберлина, Бюффона и других. И, наконец, к третьему классу относятся теории, не объединяющие Солнце и планеты общностью происхождения. Наиболее известна гипотеза Шмидта. Остановимся на характеристике каждого класса. Гипотеза Канта В 1755 году немецкий философ Кант происхождение Земли кратко описал следующим образом: первоначальная Вселенная состояла из неподвижных пылевидных частиц различной плотности. Силы гравитации привели их движение. Происходило налипание их друг на друга (эффект аккреции), в

конечном итоге приведшее к образованию центрального раскаленного сгустка - Солнца. Дальнейшие столкновения частиц привели к вращению Солнца, а вместе с ним и пылевого облака. В последнем постепенно образовывались отдельные сгустки вещества – зародыши будущих планет, вокруг которых по подобной схеме сформировались спутники. Образованная таким путем Земля в начале своего существования представлялась холодным шаром. Установлено, что в процессе её эволюции у части планеты происходит сжатие, в другой – растяжение. Ученые давно заметили сходство береговых линий Южной Америки и Африки, Африки и Аравийского полуострова, Африки и Индостана и др.

**Происхождение и развитие Земли неразрывно связано с горообразованием.** А. Вегенер утверждал, что материки, состоящие из достаточно легких минеральных масс, как бы плавают на подстилающем их тяжелом пластическом веществе базальтового ложа. Предполагается, что вначале тонкий слой гранитного материала якобы покрывал всю Землю. Постепенно целостность его была нарушена приливными силами притяжения Луны и Солнца, действующими на поверхность планеты с востока на запад, а также центробежными силами от вращения Земли, действующими от полюсов к экватору. Из гранита (предположительно) состоял единый суперматерик Пангея. Он просуществовал до середины мезозойской эры и распался в юрском периоде. Сторонником этой гипотезы происхождения Земли был ученый Штауб.

Затем возникло объединение материков северного полушария – Лавразия, и объединение материков южного полушария – Гондвана. Между ними оказались зажаты породы дна Тихого океана. Под материками залегало море магмы, по которому они двигались. Лавразия и Гондвана ритмично перемещались то к экватору, то к полюсам. При смещении к экватору суперматерики фронтально сжимались, при этом флангами надавливая на тихоокеанскую массу. Эти геологические процессы многие считают основными факторами образования крупных горных массивов. Движение к экватору происходило трижды: во время каледонского, герцинского и альпийского горообразования.

Современной научной гипотезой формирования Земли и других планет Солнечной системы является **гипотеза солнечной туманности**, по которой Солнечная система образовалась из большого облака межзвёздной пыли и газа.

Облако состояло главным образом из водорода и гелия, которые образовались после Большого взрыва, и более тяжёлых элементов, оставленных взрывами сверхновых. Примерно 4,5 млрд лет назад облако стало сжиматься, что, вероятно, произошло из-за воздействия ударной волны от вспыхнувшей на расстоянии нескольких световых лет сверхновой. Когда облако начало сокращаться, его угловой момент, гравитация и инерция сплюснули его в протопланетный диск перпендикулярно к его оси вращения. После этого обломки в протопланетном диске под действием силы притяжения стали сталкиваться, и, сливаясь, образовывали первые планетоиды.

В процессе аккреции планетоиды, пыль, газ и обломки, оставшиеся после формирования Солнечной системы, стали сливаться во всё более крупные объекты, формируя планеты. Примерная дата образования Земли —  $4,54 \pm 0,04$  млрд лет назад. Весь процесс формирования планеты занял примерно 10-20 миллионов лет.

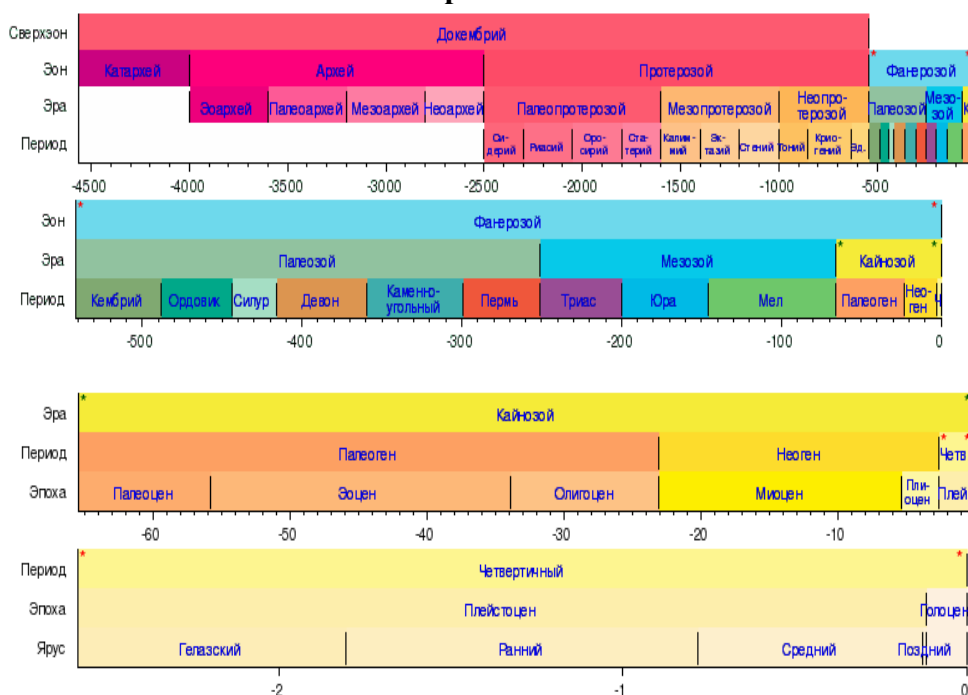
**Луна** сформировалась позднее, примерно  $4,527 \pm 0,01$  млрд лет назад, хотя её происхождение до сих пор точно не установлено. Основная гипотеза гласит, что она образовалась путём аккреции из вещества, оставшегося после касательного столкновения Земли с объектом, по размерам близким Марсу, иногда этот объект называют «Тейя». При этом столкновении было высвобождено примерно в 100 млн раз больше энергии, чем в результате того, которое, предположительно, вызвало вымирание динозавров. Этого было достаточно для испарения внешних слоёв Земли и расплавления обоих тел. Часть мантии была выброшена на орбиту Земли, что предсказывает, почему Луна обделена

металлическим материалом, и объясняет её необычный состав. Под влиянием собственной силы тяжести выброшенный материал принял сферическую форму и образовалась Луна.

**Протоземля** увеличилась за счёт аккреции, и была достаточно раскалена, чтобы расплавлять металлы и минералы. Железо, а также геохимически родственные ему сидерофильные элементы, обладая более высокой плотностью, чем силикаты и алюмосиликаты, опускались к центру Земли. Это привело к разделению внутренних слоёв Земли на мантию и металлическое ядро спустя всего 10 миллионов лет после того, как Земля начала формироваться, произведя слоистую структуру Земли и сформировав магнитное поле Земли. Выделение газов из коры и вулканическая активность привели к образованию первичной атмосферы. Конденсация водяного пара, усиленная льдом, занесённым кометами и астероидами, привела к образованию океанов. Земная атмосфера тогда состояла из лёгких атмофильных элементов: водорода и гелия, но содержала значительно больше углекислого газа, чем сейчас, а это уберегло океаны от замерзания, поскольку светимость Солнца тогда не превышала 70 % от нынешнего уровня. Примерно 3,5 миллиарда лет назад образовалось магнитное поле Земли, которое предотвратило опустошение атмосферы солнечным ветром.

**Поверхность планеты** постоянно изменялась в течение сотен миллионов лет: континенты появлялись и разрушались. Они перемещались по поверхности, порой собираясь в суперконтинент. Приблизительно 750 млн лет назад самый ранний из известных суперконтинентов — Родиния — стал раскалываться на части. Позже эти части объединились в Паннотию (600—540 млн лет назад), затем в последний из суперконтинентов — **Пангею**, который распался 180 миллионов лет назад[55].

#### Геохронологическая шкала



**Геохронологическая шкала** — геологическая временная шкала истории Земли; применяется в геологии и палеонтологии, своеобразный календарь для промежутков времени в сотни тысяч и миллионы лет. Впервые геохронологическая шкала фанерозоя была предложена английским геологом А. Холмсом в 1938 году[56]. Из-за отсутствия останков фауны, геохронологическая шкала докембрия построена, в основном, по данным определений абсолютных возрастов пород на разных континентах[56].

**История Земли** разделена на различные временные промежутки. Их границы проходят по важнейшим событиям, которые тогда происходили.

**Граница между эрами фанерозоя** проведена по крупнейшим эволюционным событиям — глобальным вымираниям. Палеозойская эра отделена от мезозойской крупнейшим за историю Земли массовым пермским вымиранием. Мезозойская эра отделена от кайнозойской мел-палеогеновым вымиранием

**Кайнозойская эра** делится на три периода: **палеоген, неоген и четвертичный период (антропоген)**. Эти периоды, в свою очередь, подразделяются на геологические эпохи (отделы): палеоген — на палеоцен, эоцен и олигоцен; неоген — на миоцен и плиоцен. **Антропоген** включает в себя плейстоцен и голоцен.

**Существует ряд гипотез возникновения жизни на Земле.** Около 3,5—3,8 млрд лет назад появился «последний универсальный общий предок», от которого впоследствии произошли все другие живые организмы

**Развитие фотосинтеза** позволило живым организмам использовать солнечную энергию напрямую. Это привело к наполнению кислородом атмосферы, начавшейся примерно 2500 млн лет назад, а в верхних слоях — к формированию озонового слоя. Симбиоз мелких клеток с более крупными привёл к развитию сложных клеток — эукариот. Примерно 2,1 млрд лет назад появились многоклеточные организмы, которые продолжали приспосабливаться к окружающим условиям[62]. Благодаря поглощению губительного ультрафиолетового излучения озоновым слоем жизнь смогла начать освоение поверхности Земли.

В 1960 году была выдвинута гипотеза Земли-снежка, утверждающая, что в период между 750 и 580 млн лет назад Земля была полностью покрыта льдом. Эта гипотеза объясняет кембрийский взрыв — резкое повышение разнообразия многоклеточных форм жизни около 542 млн лет назад. В настоящее время эта гипотеза получила подтверждение:

«Это первый случай, когда показано, что в ледниковую эпоху Sturtian лёд доходил до тропических широт, прямое доказательство того, что в данное оледенение существовала „Земля-снежок“, — говорит ведущий автор работы Френсис Макдоналд (Francis A. Macdonald) из Гарварда (Harvard University). — Наши данные также показывают, что это оледенение продолжалось как минимум 5 миллионов лет».

«Возраст изученных ледниковых отложений близок к возрасту большой магматической провинции, протянувшейся на 930 миль на северо-востоке Канады, что косвенно подтверждает большую роль вулканизма в освобождении планеты из ледяного плена».

Около 1200 млн лет назад появились первые **водоросли**, а примерно 450 млн лет назад — **первые высшие растения**. Беспозвоночные животные появились в эдиакаарском периоде, а позвоночные — во время кембрийского взрыва около 525 миллионов лет назад.

После кембрийского взрыва было пять массовых вымираний. Вымирание в конце пермского периода, которое является самым массовым в истории жизни на Земле, привело к гибели более 90 % живых существ на планете. После пермской катастрофы самыми распространёнными наземными позвоночными стали архозавры, от которых в конце триасового периода произошли динозавры. Они доминировали на планете в течение юрского и мелового периодов. 65 млн лет назад произошло мел-палеогеновое вымирание, вызванное, вероятно, падением метеорита; оно привело к исчезновению динозавров и других крупных рептилий, но обошло многих мелких животных, таких как млекопитающие, которые тогда представляли собой небольших насекомоядных животных, а также птиц, являющихся эволюционной ветвью динозавров. В течение последних 65 миллионов лет развилось огромное количество разнообразных видов млекопитающих, и несколько миллионов лет назад обезьяноподобные животные получили способность прямохождения. Это позволило использовать орудия и способствовало общению, которое помогало добывать пищу и стимулировало необходимость в большом мозге. Развитие земледелия, а затем цивилизации, в короткие



сроки позволило людям воздействовать на Землю как никакая другая форма жизни, влиять на природу и численность других видов.



Последний ледниковый период начался примерно 40 млн лет назад, его пик приходится на плейстоцен около 3 миллионов лет назад. На фоне продолжительных и значительных изменений средней температуры земной поверхности, что может быть связано с периодом обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики (около 200 млн лет), имеют место и меньшие по амплитуде и длительности циклы похолодания и потепления (см. циклы Миланковича), происходящие каждые 40—100 тысяч лет, имеющие явно автоколебательный характер, возможно, вызванный действием обратных связей от реакции всей биосферы как целого, стремящейся обеспечить стабилизацию климата Земли (см. гипотезу Геи, выдвинутую Джеймсом Лавлоком).

Последний цикл оледенения в Северном полушарии закончился около 10 тысяч лет назад.

### 3. Строение Земли

Земля относится к планетам земной группы, и, в отличие от газовых гигантов, таких как Юпитер, имеет твёрдую поверхность. Это крупнейшая из четырёх планет земной группы в Солнечной системе, как по размеру, так и по массе. Кроме того, Земля среди этих четырёх планет имеет наибольшие плотность, поверхностную гравитацию и магнитное поле. Это единственная известная планета с активной тектоникой плит.

**Недра Земли** делятся на слои по химическим и физическим (реологическим) свойствам, но в отличие от других планет земной группы, Земля имеет ярко выраженное внешнее и внутреннее ядро. Наружный слой Земли представляет собой твёрдую оболочку, состоящую главным образом из силикатов. От мантии она отделена границей с резким увеличением скоростей продольных сейсмических волн — поверхностью Мохоровичича. Твёрдая кора и вязкая верхняя часть мантии составляют литосферу. Под литосферой находится астеносфера, слой относительно низкой вязкости, твёрдости и прочности в верхней мантии.

Химический состав

Таблица оксидов земной коры Ф. У. Кларка[97]

Процентное

содержание

|                   |                                |         |
|-------------------|--------------------------------|---------|
| Оксид кремния(IV) | SiO <sub>2</sub>               | 59,71 % |
| Оксид алюминия    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,41 % |
| Оксид кальция     | CaO                            | 04,90 % |
| Оксид магния      | MgO                            | 04,36 % |
| Оксид натрия      | Na <sub>2</sub> O              | 03,55 % |
| Оксид железа(II)  | FeO                            | 03,52 % |

|                   |                                |         |
|-------------------|--------------------------------|---------|
| Оксид калия       | K <sub>2</sub> O               | 02,80 % |
| Оксид железа(III) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 02,63 % |
| Вода              | H <sub>2</sub> O               | 01,52 % |
| Оксид титана(IV)  | TiO <sub>2</sub>               | 00,60 % |
| Оксид фосфора(V)  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 00,22 % |
| Итого             |                                | 99,22 % |

Масса Земли приблизительно равна 5,9736·10<sup>24</sup> кг. Общее число атомов, составляющих Землю,  $\approx 1,3\text{--}1,4 \cdot 10^{50}$ [98]. Она состоит в основном из железа (32,1 %), кислорода (30,1 %), кремния (15,1 %), магния (13,9 %), серы (2,9 %), никеля (1,8 %), кальция (1,5 %) и алюминия (1,4 %); на остальные элементы приходится 1,2 %. Из-за сегрегации по массе область ядра, предположительно, состоит из железа (88,8 %), небольшого количества никеля (5,8 %), серы (4,5 %) и около 1 % других элементов[99]. Примечательно, что углерода, являющегося основой жизни, в земной коре всего 0,1 %.

Геохимик Франк Кларк вычислил, что земная кора чуть более, чем на 47 % состоит из кислорода. Наиболее распространённые породообразующие минералы земной коры практически полностью состоят из оксидов; суммарное содержание хлора, серы и фтора в породах обычно составляет менее 1 %. Основными оксидами являются кремнезём (SiO<sub>2</sub>), глинозём (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), оксид железа (FeO), окись кальция (CaO), окись магния (MgO), оксид калия (K<sub>2</sub>O) и оксид натрия (Na<sub>2</sub>O). Кремнезём служит главным образом кислотной средой, формирует силикаты; природа всех основных вулканических пород связана с ним. Из расчётов, основанных на анализе 1 672 видов пород, Кларк сделал вывод, что 99,22 % из них содержат 11 оксидов. Все прочие компоненты встречаются в очень незначительных количествах. Ниже приводится более подробная информация о химическом составе Земли.

#### Распространённость в процентах

|                |             |
|----------------|-------------|
| Водород (H)    | 0,0033      |
| Рутений (Ru)   | 0,000118    |
| Родий (Rh)     | 0,0000252   |
| Литий (Li)     | 0,000185    |
| Палладий (Pd)  | 0,000089    |
| Бериллий (Be)  | 0,0000045   |
| Серебро (Ag)   | 0,0000044   |
| Бор (B)        | 0,00000096  |
| Кадмий (Cd)    | 0,00000164  |
| Углерод (C)    | 0,0446      |
| Индий (In)     | 0,000000214 |
| Азот (N)       | 0,00041     |
| Олово (Sn)     | 0,000039    |
| Кислород (O)   | 30,12       |
| Сурьма (Sb)    | 0,0000035   |
| Фтор (F)       | 0,00135     |
| Теллур (Te)    | 0,000149    |
| Неон (20Ne)    | 0,50        |
| Иод (I)        | 0,00000136  |
| Натрий (Na)    | 0,125       |
| Ксенон (132Xe) | 0,0168      |
| Магний (Mg)    | 13,90       |
| Цезий (Cs)     | 0,00000153  |
| Алюминий (Al)  | 1,41        |
| Барий (Ba)     | 0,0004      |
| Кремний (Si)   | 15,12       |
| Лантан (La)    | 0,0000379   |

|                |             |
|----------------|-------------|
| Фосфор (P)     | 0,192       |
| Церий (Ce)     | 0,000101    |
| Сера (S)       | 2,92        |
| Празеодим (Pr) | 0,0000129   |
| Хлор (Cl)      | 0,00199     |
| Неодим (Nd)    | 0,000069    |
| Аргон (36Ar)   | 2,20        |
| Самарий (Sm)   | 0,0000208   |
| Калий (K)      | 0,0135      |
| Европий (Eu)   | 0,0000079   |
| Кальций (Ca)   | 1,54        |
| Гадолиний (Gd) | 0,0000286   |
| Скандий (Sc)   | 0,00096     |
| Тербий (Tb)    | 0,0000054   |
| Титан (Ti)     | 0,082       |
| Диспрозий (Dy) | 0,0000364   |
| Ванадий (V)    | 0,0082      |
| Гольмий (Ho)   | 0,000008    |
| Хром (Cr)      | 0,412       |
| Эрбий (Er)     | 0,0000231   |
| Марганец (Mn)  | 0,075       |
| Тулий (Tm)     | 0,0000035   |
| Железо (Fe)    | 32,07       |
| Иттербий (Yb)  | 0,0000229   |
| Кобальт (Co)   | 0,084       |
| Лютеций (Lu)   | 0,0000386   |
| Никель (Ni)    | 1,82        |
| Гафний (Hf)    | 0,000023    |
| Медь (Cu)      | 0,0031      |
| Тантал (Ta)    | 0,00000233  |
| Цинк (Zn)      | 0,0074      |
| Вольфрам (W)   | 0,000018    |
| Галлий (Ga)    | 0,00031     |
| Рений (Re)     | 0,000006    |
| Германий (Ge)  | 0,00076     |
| Осмий (Os)     | 0,000088    |
| Мышьяк (As)    | 0,00032     |
| Иридий (Ir)    | 0,000084    |
| Селен (Se)     | 0,00096     |
| Платина (Pt)   | 0,000167    |
| Бром (Br)      | 0,0000106   |
| Золото (Au)    | 0,0000257   |
| Криптон (84Kr) | 0,0236      |
| Ртуть (Hg)     | 0,00000079  |
| Рубидий (Rb)   | 0,0000458   |
| Таллий (Tl)    | 0,000000386 |
| Стронций (Sr)  | 0,00145     |
| Свинец (204Pb) | 0,000000158 |
| Иттрий (Y)     | 0,000262    |
| Висмут (Bi)    | 0,000000294 |
| Цирконий (Zr)  | 0,00072     |
| Торий (Th)     | 0,00000512  |

Ниобий (Nb) 0,00008  
Уран (U) 0,00000143  
Молибден (Mo) 0,000235  
Плутоний (Pu) —  
Внутреннее тепло

**Внутренняя теплота планеты** обеспечивается сочетанием остаточного тепла, оставшегося от аккреции вещества, которая происходила на начальном этапе формирования Земли (около 20 %) и радиоактивным распадом нестабильных изотопов: калия-40, урана-238, урана-235 и тория-232. У трёх из перечисленных изотопов период полураспада составляет более миллиарда лет. В центре планеты, температура, возможно, поднимается до 6000 °С (10,830 °F) (больше, чем на поверхности Солнца), а давление может достигать 360 ГПа (3,6 млн атм). Часть тепловой энергии ядра передаётся к земной коре посредством плюмов. Плюмы приводят к появлению горячих точек и траппов. Поскольку большая часть тепла, производимого Землёй, обеспечивается радиоактивным распадом, то в начале истории Земли, когда запасы короткоживущих изотопов ещё не были истощены, энерговыделение нашей планеты было гораздо больше, чем сейчас.

Средние потери тепловой энергии Земли составляют 87 мВт·м<sup>2</sup> или  $4,42 \times 10^{13}$  Вт (глобальные теплопотери). Часть тепловой энергии ядра транспортируется к плюмам — горячим мантийным потокам.

**Литосфера** (от др.-греч. λίθος — камень и σφαῖρα — шар, сфера) — твёрдая оболочка Земли. Состоит из земной коры и верхней части мантии. В строении литосферы выделяют подвижные области (складчатые пояса) и относительно стабильные платформы. Блоки литосферы — литосферные плиты — движутся по относительно пластичной астеносфере. Изучению и описанию этих движений посвящён раздел геологии о тектонике плит.

Под литосферой располагается **астеносфера**, составляющая внешнюю часть мантии. Астеносфера ведёт себя как перегретая и чрезвычайно вязкая жидкость, где происходит понижение скорости сейсмических волн, свидетельствуя об изменении пластичности пород. Внутреннее строение Земли

Земля входит в состав системы, где центром является Солнце, в котором заключено 99,87% массы всей системы. Характерной особенностью всех планет Солнечной системы является их оболочечное строение: каждая планета состоит из ряда концентрических сфер, различающихся составом и состоянием вещества.

**Земля окружена мощной газовой оболочкой — атмосферой.** Она является своеобразным регулятором обменных процессов между Землей и Космосом. В составе газовой оболочки выделяется несколько сфер, отличающихся составом и физическими свойствами. Основная масса газового вещества заключена в тропосфере, верхняя граница которой, расположенная на высоте около 17 км на экваторе, снижается к полюсам до 8—10 км. Выше, на протяжении стратосферы и мезосферы, нарастает разреженность газов, сложно меняются термические условия.

На высоте от 80 до 800 км располагается **ионосфера** — область сильно разреженного газа, среди частиц которого преобладают электрически заряженные. Самую наружную часть газовой оболочки образует экзосфера, простирающаяся до высоты 1800 км. Из этой сферы происходит диссипация наиболее легких атомов — водорода и гелия. Еще более сложно стратифицирована сама планета. Масса Земли оценивается в  $5,98 \cdot 10^{27}$  г, а ее объем — в  $1,083 \cdot 10^{27}$  см<sup>3</sup>. Следовательно, средняя плотность планеты составляет около 5,5 г/см<sup>3</sup>. Но плотность доступных нам горных пород равна 2,7—3,0 г/см<sup>3</sup>. Из этого следует, что плотность вещества Земли неоднородна.

Главнейшими методами изучения внутренних частей нашей планеты являются геофизические, в первую очередь наблюдения за скоростью распространения сейсмических волн, образующихся от взрывов или землетрясений. Подобно тому, как от

камня, брошенного в воду, в разные стороны расходятся по поверхности воды волны, так в твердом веществе от очага взрыва распространяются упругие волны. Среди них выделяют волны продольных и поперечных колебаний. Продольные колебания представляют собой чередования сжатия и растяжения вещества в направлении распространения волны. Поперечные колебания можно представить как чередующиеся сдвиги в направлении, перпендикулярном распространению волны.

Волны продольных колебаний, или, как принято говорить, продольные волны, распространяются в твердом веществе с большей скоростью, чем поперечные. Продольные волны распространяются как в твердом, так и в жидком веществе, поперечные — только в твердом. Следовательно, если при прохождении сейсмических волн через какое-либо тело будет обнаружено, что оно не пропускает поперечные волны, то можно считать, что это вещество находится в жидком состоянии. Если через тело проходят оба типа сейсмических волн, то это — свидетельство твердого состояния вещества.

Скорость волн увеличивается с возрастанием плотности вещества. При резком изменении плотности вещества скорость волн будет скачкообразно меняться. В результате изучения распространения сейсмических волн через Землю обнаружено, что имеется несколько определенных границ скачкообразного изменения скоростей волн. Поэтому предполагается, что Земля состоит из нескольких концентрических оболочек (геосфер).

На основании установленных трех главных границ раздела выделяют три главные геосферы: земную кору, мантию и ядро. Первая граница раздела характеризуется скачкообразным увеличением скоростей продольных сейсмических волн от 6,7 до 8,1 км/с. Эта граница получила название раздела Мохоровичича (в честь сербского ученого А. Мохоровичича, который ее открыл), или просто граница М. Она отделяет земную кору от мантии. Плотность вещества земной коры, как указано выше, не превышает 2,7—3,0 г/см<sup>3</sup>. Граница М расположена под континентами на глубине от 30 до 80 км, а под дном океанов — от 4 до 10 км. Учитывая, что радиус Земного шара равен 6371 км, земная кора представляет собой тонкую пленку на поверхности планеты, составляющую менее 1% ее общей массы и примерно 1,5% ее объема.

**Форма Земли (геоид)** близка к сплюснутому эллипсоиду. Расхождение геоида с аппроксимирующим его эллипсоидом достигает 100 метров. Средний диаметр планеты составляет примерно 12 742 км, а окружность — 40 000 км, поскольку метр в прошлом определялся как 1/10 000 000 расстояния от экватора до северного полюса через Париж (из-за неправильного учёта полюсного сжатия Земли эталон метра 1795 года оказался короче приблизительно на 0,2 мм, отсюда неточность). Вращение Земли создаёт экваториальную выпуклость, поэтому экваториальный диаметр на 43 км больше, чем полярный. Высочайшей точкой поверхности Земли является гора Эверест (8848 м над уровнем моря), а глубочайшей — Марианская впадина (10 994 м под уровнем моря). Из-за выпуклости экватора самыми удалёнными точками поверхности от центра Земли являются вершина вулкана Чимборасо в Эквадоре и гора Уаскаран в Перу.

Земля, как и другие планеты земной группы, имеет слоистое внутреннее строение. Она состоит из твёрдых силикатных оболочек (коры, крайне вязкой мантии), и металлического ядра. Внешняя часть ядра жидкая (значительно менее вязкая, чем мантия), а внутренняя — твёрдая.

### **Строение земной коры**

Земная кора — термин, хотя и вошедший в естественнонаучный обиход в эпоху Возрождения, длительное время трактовался весьма свободно по причине того, что непосредственно определить толщину коры и изучить ее глубинные части было невозможно. Открытие сейсмических колебаний и создание метода определения скорости распространения их волн в средах разной плотности дали мощный импульс для изучения земных недр. С помощью сейсмографических исследований в начале XX в. было обнаружено принципиальное различие скорости прохождения сейсмических волн через

горные породы, слагающие земную кору, и вещество мантии и объективно установлена граница их раздела (граница Мохоровичича). Тем самым понятие «земная кора» получило конкретное научное обоснование.

### **Внутреннее строение Земли**

Для обозначения внешней оболочки литосферы применялся ныне устаревший термин *сиаль*, происходящий от названия основных элементов горных пород Si (лат. *Silicium* — кремний) и Al (лат. *Aluminium* — алюминий).

**Земная кора** — это верхняя часть твёрдой Земли. От мантии отделена границей с резким повышением скоростей сейсмических волн — границей Мохоровичича. Есть два типа коры — континентальная и океаническая. Толщина коры колеблется от 6 км под океаном до 30—70 км на континентах. В континентальной коре выделяют три слоя: осадочный чехол, гранитный и базальтовый. Океаническая кора сложена преимущественно породами основного состава, плюс осадочный чехол. Земная кора разделена на различные по величине литосферные плиты,двигающиеся относительно друг друга. Кинематику этих движений описывает тектоника плит.

**Земная кора** под континентами обычно имеет толщину 35—45 км, в гористых местностях мощность коры может достигать до 70 км[109]. С глубиной в составе земной коры увеличивается содержание оксидов магния и железа, уменьшается содержание кремнезёма, причём эта тенденция в большей степени имеет место при переходе к верхней мантии (субстрату)[109].

**Верхняя часть** континентальной земной коры представляет собой прерывистый слой, состоящий из осадочных и вулканических горных пород. Слои могут быть смяты в складки, смещены по разрыву[109]. На щитах осадочная оболочка отсутствует. Ниже расположен гранитный слой, состоящий из гнейсов и гранитов (скорость продольных волн в этом слое — до 6,4 км/с)[109]. Ещё ниже находится базальтовый слой (6,4—7,6 км/с), сложенный метаморфическими горными породами, базальтами и габбро. Между этими 2-мя слоями проходит условная граница, называемая поверхностью Конрада. Скорость продольных сейсмических волн при прохождении через эту поверхность скачкообразно увеличивается с 6 до 6,5 км/с[110].

**Кора под океанами** имеет толщину 5—10 км. Она подразделяется на несколько слоёв. Сначала расположен верхний слой, состоящий из донных осадков, толщиной менее километра. Ниже лежит второй слой, сложенный главным образом из серпентинита, базальта и, вероятно, из прослоев осадков. Скорость продольных сейсмических волн в данном слое достигает до 4—6 км/с, а его толщина 1—2,5 км. Нижний, «океанический» слой сложен габбро. Этот слой имеет толщину в среднем около 5 км и скорость прохождения сейсмических волн 6,4—7 км/с.

**Мантия** — это силикатная оболочка Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли.

**Мантия составляет** 67 % массы Земли и около 83 % её объёма (без учёта атмосферы). Она простирается от границы с земной корой (на глубине 5—70 километров) до границы с ядром на глубине около 2900 км. От земной коры разделена поверхностью Мохоровичича, где скорость сейсмических волн при переходе из коры в мантию быстро увеличивается с 6,7—7,6 до 7,9—8,2 км/с. Мантия занимает огромный диапазон глубин, и с увеличением давления в веществе происходят фазовые переходы, при которых минералы приобретают всё более плотную структуру. Мантия Земли подразделяется на верхнюю мантию и нижнюю мантию. Верхний слой, в свою очередь, подразделяется на субстрат, слой Гутенберга и слой Голицына (средняя мантия).

**Состав земной мантии** считается похожим на состав каменных метеоритов, в частности хондритов. В состав мантии преимущественно входят химические элементы, находившиеся в твёрдом состоянии или в твёрдых химических соединениях во время формирования Земли: кремний, железо, кислород, магний и др. Эти элементы образуют с диоксидом кремния силикаты. В верхней мантии (субстрате), скорее всего, больше

форстерита  $\text{MgSiO}_4$ , глубже несколько увеличивается содержание фаялита  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ . В нижней мантии под воздействием очень высокого давления эти минералы разложились на оксиды ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ).

**Агрегатное состояние мантии** обуславливается воздействием температур и сверхвысокого давления. Из-за давления вещество почти всей мантии находится в твёрдом кристаллическом состоянии, несмотря на высокую температуру. Исключение составляет лишь астеносфера, где действие давления оказывается слабее, чем температуры, близкие к точке плавления вещества. Из-за этого эффекта, по-видимому, вещество здесь находится либо в аморфном состоянии, либо в полурасплавленном.

**Ядро** — центральная, наиболее глубокая часть Земли, геосфера, находящаяся под мантией и, предположительно, состоящая из железо-никелевого сплава с примесью других сидерофильных элементов. Глубина залегания — 2900 км. Средний радиус сферы — 3485 км. Разделяется на твёрдое внутреннее ядро радиусом около 1300 км и жидкое внешнее ядро радиусом около 2200 км, между которыми иногда выделяют переходную зону. Температура в центре ядра Земли достигает 6000 °С, плотность около 12,5 т/м<sup>3</sup>, давление до 360 ГПа (3,55 млн атмосфер) Масса ядра —  $1,9354 \cdot 10^{24}$  кг.

#### **Крупнейшие тектонические плиты**

Африканская плита

Антарктическая плита

Австралийская плита

Евразийская плита

Северо-Американская плита

и северо-восточная Сибирь

Южно-Американская плита

Тихоокеанская плита

Расположение основных тектонических плит

**Согласно теории тектонических плит**, земная кора состоит из относительно целостных блоков — литосферных плит, которые находятся в постоянном движении относительно друг друга. Плиты представляют собой жёсткие сегменты, которые двигаются относительно друг друга. Существует три типа их взаимного перемещения: **конвергенция** (схождение), **дивергенция** (расхождение) и сдвиговые перемещения по трансформным разломам. На разломах между тектоническими плитами могут происходить землетрясения, вулканическая активность, горообразование, образование океанских впадин[117].

Список крупнейших тектонических плит с размерами приведён в таблице справа. Среди плит меньших размеров следует отметить индостанскую, арабскую, карибскую плиты, плиту Наска и плиту Скотия. Австралийская плита фактически слилась с Индостанской между 50 и 55 млн лет назад. Быстрее всего движутся океанские плиты; так, плита Кокос движется со скоростью 75 мм в год[118], а тихоокеанская плита — со скоростью 52—69 мм в год. Самая низкая скорость у евразийской плиты — 21 мм в год[119].

**Приповерхностные части планеты** (верхняя часть литосферы, гидросфера, нижние слои атмосферы) в целом называются географической оболочкой и изучаются **географией**.

**Рельеф Земли** очень разнообразен. Около 70,8 %[121] поверхности планеты покрыто водой (в том числе континентальные шельфы). Подводная поверхность гористая, включает систему срединно-океанических хребтов, а также подводные вулканы[92], океанические желоба, подводные каньоны, океанические плато и абиссальные равнины. Оставшиеся 29,2 %, непокрытые водой, включают горы, пустыни, равнины, плоскогорья и др.

В течение геологических периодов поверхность планеты постоянно изменяется из-за тектонических процессов и эрозии. Рельеф земной поверхности формируется под

воздействием выветривания, которое вызывается атмосферными осадками, колебаниями температур, химическими воздействиями.

При перемещении континентальных плит по планете океаническое дно погружается под их надвигающиеся края. В то же время вещество мантии, поднимающееся из глубин, создаёт дивергентную границу на срединно-океанических хребтах. Совместно эти два процесса приводят к постоянному обновлению материала океанической плиты. Возраст большей части океанского дна меньше 100 млн лет. Древнейшая океаническая кора расположена в западной части Тихого океана, а её возраст составляет примерно 200 млн лет. Для сравнения, возраст старейших ископаемых, найденных на суше, достигает около 3 млрд лет.

**Континентальные плиты** состоят из материала с низкой плотностью, такого как вулканические гранит и андезит. Менее распространён базальт — плотная вулканическая порода, являющаяся основной составляющей океанического дна. Примерно 75 % поверхности материков покрыто осадочными породами, хотя эти породы составляют примерно 5 % земной коры[126]. Третьими по распространённости на Земле породами являются метаморфические горные породы, сформировавшиеся в результате изменения (метаморфизма) осадочных или магматических горных пород под действием высокого давления, высокой температуры или того и другого одновременно.

Самые распространённые силикаты на поверхности Земли — это кварц, полевой шпат, амфибол, слюда, пироксен и оливин; карбонаты — кальцит (в известняке), арагонит и доломит.

**Педосфера** — самый верхний слой литосферы — включает почву. Она находится на границе между литосферой, атмосферой, гидросферой. **На сегодня общая площадь культивируемых земель составляет 13,31 % поверхности суши, из которых лишь 4,71 % постоянно заняты сельскохозяйственными культурами.** Примерно 40 % земной суши сегодня используется для пахотных угодий и пастбищ, это примерно  $1,3 \cdot 10^7$  км<sup>2</sup> пахотных земель и  $3,4 \cdot 10^7$  км<sup>2</sup> пастбищ.

**Гидросфера** (от др.-греч. ὕδωρ — вода и σφαῖρα — шар) — совокупность всех водных запасов Земли.

Наличие жидкой воды на поверхности Земли является уникальным свойством, которое отличает нашу планету от других объектов Солнечной системы. Большая часть воды сосредоточена в океанах и морях, значительно меньше — в речных сетях, озёрах, болотах и подземных водах. Также большие запасы воды имеются в атмосфере, в виде облаков и водяного пара.

Часть воды находится в твёрдом состоянии в виде ледников, снежного покрова и в вечной мерзлоте, слагая криосферу.

**Общая масса воды** в Мировом океане примерно составляет  $1,35 \cdot 10^{18}$  тонн, или около 1/4400 от общей массы Земли. Океаны покрывают площадь около  $3,618 \cdot 10^8$  км<sup>2</sup> со средней глубиной 3682 м, что позволяет вычислить общий объём воды в них:  $1,332 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>. Если всю эту воду равномерно распределить по поверхности, то получился бы слой толщиной более 2,7 км. Из всей воды, которая есть на Земле, только 2,5 % приходится на пресную, остальная — солёная. Большая часть пресной воды, около 68,7 %, в настоящее время находится в ледниках. Жидкая вода появилась на Земле, вероятно, около четырёх миллиардов лет назад.

**Средняя солёность земных океанов** — около 35 грамм соли на килограмм морской воды (35 ‰). Значительная часть этой соли была высвобождена при вулканических извержениях или извлечена из охлаждённых изверженных горных пород, сформировавших дно океана.

В океанах содержатся растворённые газы атмосферы, которые необходимы для выживания многих водных форм жизни. Морская вода имеет значительное влияние на климат в мире, делая его прохладнее летом, и теплее — зимой. Колебания температур



воды в океанах могут привести к значительным изменениям климата, например, Эль-Ниньо.

**Атмосфера** (от др.-греч. ἀτμός — пар и σφαῖρα — шар) — газовая оболочка, окружающая планету Земля; состоит из азота и кислорода, со следовыми количествами водяного пара, диоксида углерода и других газов. С момента своего образования она значительно изменилась под влиянием биосферы. Появление кислородного фотосинтеза 2,4-2,5 млрд лет назад способствовало развитию аэробных организмов, а также насыщению атмосферы кислородом и формированию озонового слоя, который оберегает всё живое от вредных ультрафиолетовых лучей. Атмосфера определяет погоду на поверхности Земли, защищает планету от космических лучей, и частично — от метеоритных бомбардировок. Она также регулирует основные климатообразующие процессы: круговорот воды в природе, циркуляцию воздушных масс, переносы тепла. Молекулы атмосферных газов могут захватывать тепловую энергию, мешая ей уйти в открытый космос, тем самым повышая температуру планеты. Это явление известно как **парниковый эффект**. Основными парниковыми газами считаются водяной пар, двуокись углерода, метан и озон. Без этого эффекта теплоизоляции средняя поверхностная температура Земли составила бы от  $-18$  до  $-23$  °C (при том, что в действительности она равна  $14,8$  °C), и жизнь скорее всего не существовала бы.

Через атмосферу к земной поверхности поступает электромагнитное излучение Солнца — главный источник энергии химических, физических и биологических процессов в географической оболочке Земли.

**Атмосфера** Земли разделяется на слои, которые различаются между собой температурой, плотностью, химическим составом и т. д. Общая масса газов, составляющих земную атмосферу — примерно  $5,15 \cdot 10^{18}$  кг. На уровне моря атмосфера оказывает на поверхность Земли давление, равное 1 атм ( $101,325$  кПа)[2]. Средняя плотность воздуха у поверхности —  $1,22$  г/л, причём она быстро уменьшается с ростом высоты: так, на высоте 10 км над уровнем моря она составляет  $0,41$  г/л, а на высоте 100 км —  $10-7$  г/л[114].

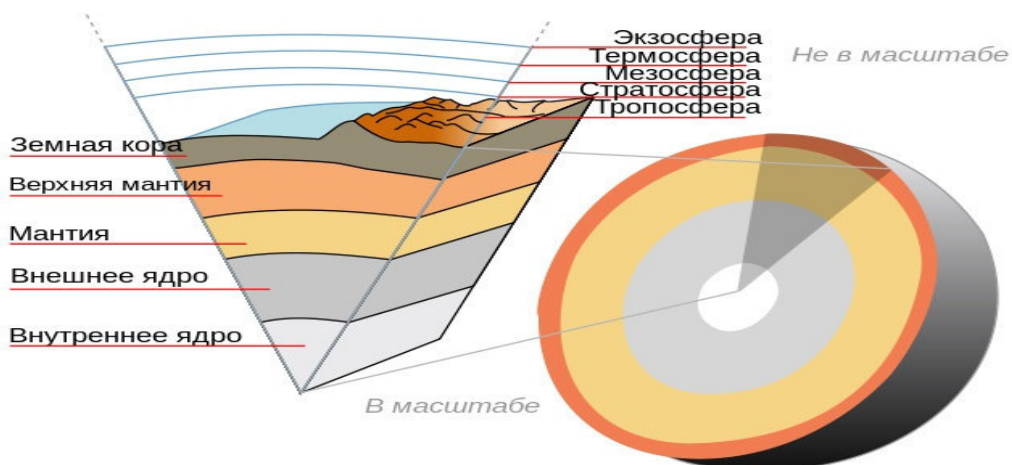
В нижней части атмосферы содержится около 80 % общей её массы и 99 % всего водяного пара ( $1,3-1,5 \cdot 10^{13}$  т), этот слой называется тропосферой[138]. Его толщина неодинакова и зависит от типа климата и сезонных факторов: так, в полярных регионах она составляет около 8-10 км, в умеренном поясе до 10-12 км, а в тропических или экваториальных доходит до 16-18 км[139]. В этом слое атмосферы температура опускается в среднем на 6 °C на каждый километр при движении в высоту[114]. Выше располагается переходный слой — тропопауза, отделяющий тропосферу от стратосферы. Температура здесь находится в пределах 190—220 К.

**Стратосфера** — слой атмосферы, который расположен на высоте от 10-12 до 55 км (в зависимости от погодных условий и времени года). На него приходится не более 20 % всей массы атмосферы. Для этого слоя характерно понижение температуры до высоты ~25 км, с последующим повышением на границе с мезосферой почти до 0 °C[140]. Эта граница называется стратопаузой и находится на высоте 47-52 км[141]. В стратосфере отмечается наибольшая концентрация озона в атмосфере, который оберегает все живые организмы на Земле от вредного ультрафиолетового излучения Солнца. Интенсивное поглощение солнечного излучения озоновым слоем и вызывает быстрый рост температуры в этой части атмосферы[114].

**Мезосфера** расположена на высоте от 50 до 80 км над поверхностью Земли, между стратосферой и термосферой. Она отделена от этих слоёв мезопаузой (80-90 км)[142]. Это самое холодное место на Земле, температура здесь опускается до  $-100$  °C[143]. При такой температуре вода, содержащаяся в воздухе, быстро замерзает, иногда формируя серебристые облака[143]. Их можно наблюдать сразу после захода Солнца, но наилучшая видимость создаётся, когда оно находится от 4 до 16° ниже горизонта[143]. В мезосфере

сгорает большая часть метеоритов, проникающих в земную атмосферу. С поверхности Земли они наблюдаются как падающие звёзды[143]. На высоте 100 км над уровнем моря находится условная граница между земной атмосферой и космосом — линия Кармана[144].

**В термосфере** температура быстро поднимается до 1000 К, это связано с поглощением в ней коротковолнового солнечного излучения. Это самый протяжённый слой атмосферы (80-1000 км). На высоте около 800 км рост температуры прекращается, поскольку воздух здесь очень разрежён и слабо поглощает солнечную радиацию[114].



**Ионосфера** включает в себя два последних слоя. Здесь происходит ионизация молекул под действием солнечного ветра и возникают полярные сияния[145].

**Экзосфера** — внешняя и очень разреженная часть земной атмосферы. В этом слое частицы способны преодолевать вторую космическую скорость Земли и улетучиваться в космическое пространство. Это вызывает медленный, но устойчивый процесс, называемый диссипацией (рассеянием) атмосферы. В космос ускользают в основном частицы лёгких газов: водорода и гелия[146]. Молекулы водорода, имеющие самую низкую молекулярную массу, могут легче достигать второй космической скорости и утекать в космическое пространство более быстрыми темпами, чем другие газы[147]. Считается, что потеря восстановителей, например водорода, была необходимым условием для возможности устойчивого накопления кислорода в атмосфере[148]. Следовательно, свойство водорода покидать атмосферу Земли, возможно, повлияло на развитие жизни на планете[149]. В настоящее время большая часть водорода, попадающая в атмосферу, преобразуется в воду, не покидая Землю, а потеря водорода происходит в основном от разрушения метана в верхних слоях атмосферы[150].

#### **Химический состав атмосферы**

У поверхности Земли осушенный воздух содержит около 78,08 % азота (по объёму), 20,95 % кислорода, 0,93 % аргона и около 0,03 % углекислого газа. Объемная концентрация компонентов зависит от влажности воздуха — содержания в нём водяного пара, которое колеблется от 0,1 до 1,5 % в зависимости от климата, времени года, местности. Например, при 20 °С и относительной влажности 60 % (средняя влажность комнатного воздуха летом) концентрация кислорода в воздухе составляет 20,64 %. На долю остальных компонентов приходится не более 0,1 %: это водород, метан, оксид углерода, оксиды серы и оксиды азота и другие инертные газы, кроме аргона[151]. Также в воздухе всегда присутствуют твёрдые частицы (пыль — это частицы органических материалов, пепел, сажа, пыльца растений и др., при низких температурах — кристаллы льда) и капли воды (облака, туман) — аэрозоли. Концентрация твёрдых частиц пыли уменьшается с высотой. В зависимости от времени года, климата и местности концентрация частиц аэрозолей в составе атмосферы изменяется. Выше 200 км основной

компонент атмосферы — азот. На высоте свыше 600 км преобладает гелий, а от 2000 км — водород («водородная корона»).

### Погода и климат

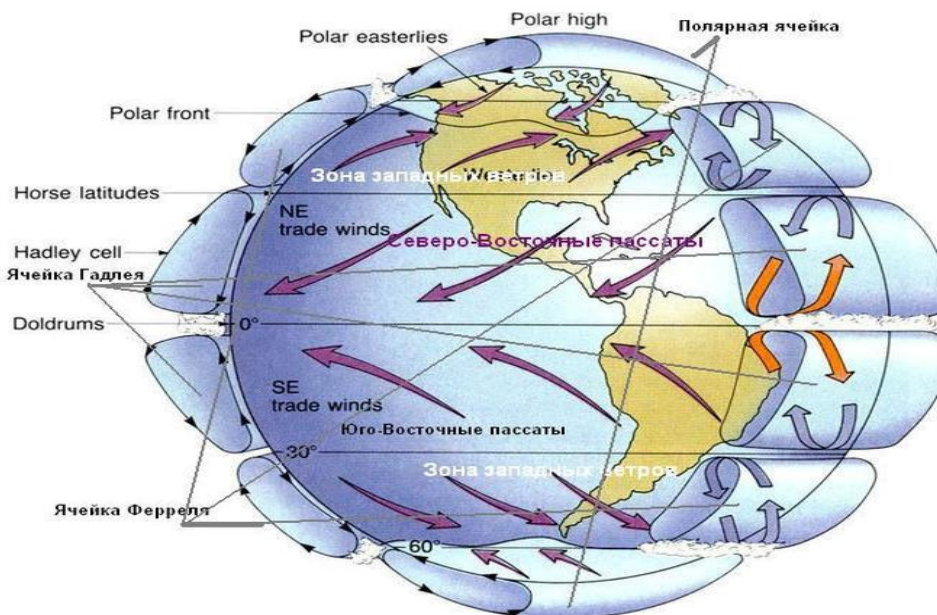


Figure 8•3 Idealized global circulation proposed for the three-cell circulation model.

Земная атмосфера не имеет определённых границ, она постепенно становится тоньше и разреженнее, переходя в космическое пространство. Три четверти массы атмосферы содержится в первых 11 километрах от поверхности планеты (тропосфера). Солнечная энергия нагревает этот слой у поверхности, вызывая расширение воздуха и уменьшая его плотность. Затем нагретый воздух поднимается, а его место занимает более холодный и плотный воздух. Так возникает циркуляция атмосферы — система замкнутых течений воздушных масс путём перераспределения тепловой энергии[152].

**Основой циркуляции атмосферы** являются пассаты в экваториальном поясе (ниже 30° широты) и западные ветры умеренного пояса (в широтах между 30° и 60°)[153]. Морские течения также являются важными факторами в формировании климата, также как и термохалинная циркуляция, которая распределяет тепловую энергию из экваториальных регионов в полярные.

Водяной пар, поднимающийся с поверхности, формирует облака в атмосфере. Когда атмосферные условия позволят подняться тёплому влажному воздуху, эта вода конденсируется и выпадает на поверхность в виде дождя, снега или града. Большая часть атмосферных осадков, выпавших на сушу, попадает в реки, и в конечном итоге возвращается в океаны или остаётся в озёрах, а затем снова испаряется, повторяя цикл. Этот круговорот воды в природе является жизненно важным фактором для существования жизни на суше. Количество осадков, выпадающих за год различно, начиная от нескольких метров до нескольких миллиметров в зависимости от географического положения региона. Атмосферная циркуляция, топологические особенности местности и перепады температур определяют среднее количество осадков, которое выпадает в каждом регионе.

Количество солнечной энергии, достигнувшее поверхности Земли, уменьшается с увеличением широты. В более высоких широтах солнечный свет падает на поверхность под более острым углом, чем в низких; и он должен пройти более длинный путь в земной атмосфере. В результате этого среднегодовая температура воздуха (на уровне моря) уменьшается примерно на 0,4 °C при движении на 1 градус по обе стороны от экватора. Земля разделена на климатические пояса — природные зоны, имеющие приблизительно однородный климат. Типы климата могут быть классифицированы по режиму температуры, количеству зимних и летних осадков. Наиболее распространённая система

классификации климата — классификация Кёппена, в соответствии с которой наилучшим критерием определения типа климата является то, какие растения произрастают на данной местности в естественных условиях.

**В систему входят пять основных климатических зон** (влажные тропические леса, пустыни, умеренный пояс, континентальный климат и полярный тип), которые в свою очередь подразделяются на более конкретные подтипы.

**Биосфера** (от др.-греч. βίος — жизнь и σφαῖρα — сфера, шар) — это совокупность частей земных оболочек (лито-, гидро- и атмосферы), которая заселена живыми организмами, находится под их воздействием и занята продуктами их жизнедеятельности. Термин «биосфера» был впервые предложен австрийским геологом и палеонтологом Эдуардом Зюссом в 1875 году. Биосфера — оболочка Земли, заселённая живыми организмами и преобразованная ими. Она начала формироваться не ранее, чем 3,8 млрд лет назад, когда на нашей планете стали зарождаться первые организмы. Она включает в себя всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы, то есть населяет экосферу. **Биосфера** представляет собой совокупность всех живых организмов. В ней обитает несколько миллионов видов растений, животных, грибов и микроорганизмов.

**Биосфера** состоит из экосистем, которые включают в себя сообщества живых организмов (биоценоз), среды их обитания (биотоп), системы связей, осуществляющие обмен веществом и энергией между ними. На суше они разделены главным образом географическими широтами, высотой над уровнем моря и различиями по выпадению осадков. Наземные экосистемы, находящиеся в Арктике или Антарктике, на больших высотах или в крайне засушливых районах, относительно бедны растениями и животными; разнообразие видов достигает пика во влажных тропических лесах экваториального пояса[159].

#### **Магнитное поле Земли**

Согласно теории «магнитного динамо», поле генерируется в центральной области Земли, где тепло создаёт протекание электрического тока в жидком металлическом ядре. Это в свою очередь приводит к возникновению у Земли магнитного поля. Конвекционные движения в ядре являются хаотичными; магнитные полюсы дрейфуют и периодически меняют свою полярность. Это вызывает инверсии магнитного поля Земли, которые возникают в среднем несколько раз за каждые несколько миллионов лет. Последняя инверсия произошла приблизительно 700 000 лет назад.

**Магнитосфера** — область пространства вокруг Земли, которая образуется, когда поток заряженных частиц солнечного ветра отклоняется от своей первоначальной траектории под воздействием магнитного поля. На стороне, обращённой к Солнцу, толщина её головной ударной волны составляет около 17 км и расположена она на расстоянии около 90 000 км от Земли. На ночной стороне планеты магнитосфера вытягивается, приобретая длинную цилиндрическую форму.

Когда заряженные частицы высокой энергии сталкиваются с магнитосферой Земли, то появляются радиационные пояса (пояса Ван Аллена). Полярные сияния возникают когда солнечная плазма достигает атмосферы Земли в районе магнитных полюсов[165].

Период вращения Земли относительно неподвижных звезд, согласно Международной службе вращения Земли (IERS), равен 86164,098903691 секунд по UT1 или 23 ч. 56 мин. 4,098903691 с[3][173].

Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите на расстоянии около 150 млн км со средней скоростью 29,765 км/с. Скорость колеблется от 30,27 км/с (в перигелии) до 29,27 км/с (в афелии)

31 октября 2011 года население Земли достигло 7 миллиардов человек. Согласно оценкам ООН, население Земли достигнет 7,3 миллиардов в 2013 году и 9,2 млрд в 2050 году. Ожидается, что основная доля роста населения придётся на развивающиеся страны. Средняя плотность населения на суше около 47 чел./км<sup>2</sup>, в разных местах Земли сильно

различается, причём наивысшей она является в Азии. По прогнозам, к 2030 году уровень урбанизации населения достигнет 60 %, тогда как сейчас он составляет 49 % в среднем по миру.

На 12 июня 2013 года за пределами Земли побывал 531 человек, из них 12 были на Луне.

7 континентов Земли: Северная Америка, Южная Америка, Антарктида, Африка, Европа, Азия, Австралия

### **1. 5 Лекция №5 (2 часа).**

**Тема: Химические концепции в естествознании**

#### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Химическая эволюция Земли.
2. Понятие самоорганизации в химии.
3. Общая теория химической эволюции и биогенеза.

#### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Химическая эволюция Земли**

В процессе эволюции Земли складывались определенные пропорции различных элементов. В веществе планет, комет, метеоритов, Солнца присутствуют все элементы периодической системы, что доказывает общность их происхождения, однако количественные соотношения различны. Количество атомов какого-либо химического элемента в различных природных системах принято выражать по отношению к кремнию, поскольку кремний принадлежит к обильным и труднолетучим соединениям.

С ростом порядкового номера распространенность элементов убывает, но не равномерно. Примечательно, что *элементы с четным порядковым номером, особенно элементы с массовым числом кратным 4 более распространены*. К ним, в частности, относятся He, CO, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca. Дело в том, что этим массовым числам соответствуют устойчивые ядра. Американские космохимики Г.Юри и Г.Зюсс писали по этому поводу следующее: “...распространенность химических элементов и их изотопов определяется ядерными свойствами, и окружающее нас вещество похоже на золу космического ядерного пожара, из которого оно было создано”.

К важнейшим свойствам Земли, определяющим ее происхождение и химическую эволюцию, относится радиоактивность. Все первичные планеты были сильно радиоактивны. Нагреваясь за счет энергии радиоактивного распада, они подвергались химической дифференциации, которая завершилась формированием внутренних металлических ядер у планет земной группы.

Литофильные элементы, т.е. элементы, образующие твердые оболочки планет (Si, O, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K) переходили вверх, выделение газов из расплавленного вещества мантий при выплавлении легкоплавких фракций, приводила к базальтовым расплавам, которые также изливались на поверхность планет. Газовые компоненты, вырывающиеся вместе с ними, дали начало первичным атмосферам, которые смогли удержать только сравнительно крупные планеты, к которым относилась и Земля. Схема формирования структуры Земли показана на рис.1.

Земля наиболее массивная среди внутренних планет, прошла сложный путь химической эволюции. Ею были усвоены и сложные органические соединения, обнаруженные также и в метеоритном веществе. Эти вещества образовались еще на последних стадиях остывания протопланетного облака. Впоследствии на Земле они привели к возникновению жизни.

Геохронология. Русский геохимик А.Е.Ферсман (1883-1945) разделил время существования атомов Земли на три эпохи:

эпоху звездных условий существования,  
эпоху начала формирования планет,  
эпоху геологического развития.

Для обозначения времен и последовательности образования горных пород Земли в эпоху ее геологического развития примет термин геохронология.

В 1881г.в Болонье на Международном геологическом конгрессе были введены термины эра, эпоха, период, век, время и принята геохронологическая шкала.

Следует подчеркнуть, что геологическая история Земли неотделима от ее биологической эволюции, она совершилась в тесной связи и под влиянием развивающейся жизни. Эти связи отражены и в геохронологии.

По степени изученности геологической и биологической истории Земли, все время ее существования делится на две неравные части:

Фанерозой (греч. *phaneros* “явный” + *zoe* “жизнь”), более поздняя составляющая 570 млн. лет и включающая палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры;

Криптозой (*criptos* – тайный), эта часть охватывает огромный интервал времени (от 570 до 3800 млн.лет назад). Это период со скрытым развитием органической жизни, включающая архейскую и протерозойскую эры.

## 2. Понятие самоорганизации в химии.

Вопрос о возникновении органической жизни остается до сих пор одним из самых интересных и сложных вопросов современного естествознания. Ответить на этот вопрос означает объяснить, каким образом природа из минимума химических элементов и соединений создала сложнейшие макромолекулы, а затем высокоорганизованный комплекс биосистем?

Ответ на этот вопрос ищется в настоящее время в особой химической науке – Эволюционной химии. Ее иногда называют также предбиологией – наукой о самоорганизации химических систем.

Под самоорганизацией понимают самопроизвольное повышение упорядоченности уровней сложности материальных динамических, т.е. качественно изменяющихся систем.

Субстратный и функциональный подходы к проблеме самоорганизации предбиологических систем. В рамках эволюционной химии выделяется два подхода к проблеме самоорганизации: субстратный и функциональный. Функциональный подход сосредотачивает внимание на исследовании самих процессов самоорганизации материальных систем, на выявлении законов, которым подчиняются эти процессы. Здесь эволюционные процессы часто рассматриваются с позиций кибернетики. Крайней точкой зрения в этом подходе является утверждение о полном безразличии к материалу эволюционирующих систем.

Субстратный подход состоит в исследовании вещественной основы биологических систем, т.е. элементов-органов и определенной структуры входящих в живой организм химических соединений. Результатом субстратного подхода к проблеме биогенеза (т.е. происхождения жизни) является получение информации об отборе химических элементов и структур.

Действительно, налицо определенный отбор химических элементов для создания эволюционирующих систем. В настоящее время известно более 100 химических элементов, однако, основу живых систем составляют только 6 элементов, получивших название органогенов: С, Н, О, N, Р, S, общая весовая доля которых составляет 97,4 %. За ними следуют еще 12 элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем: Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Si, Al, Cl, Cu, Zn, Co. Их весовая доля в организмах  $\approx 1,6$  %.

Об отборе свидетельствует и общая химическая картина мира. В настоящее время известно около 8 млн. химических соединений. Из них подавляющее большинство (около

96 %) – это органические соединения, основной строительный материал которых все те же 6 + 12 элементов. Интересно, что из остальных химических элементов Природа создала лишь около 300 тыс. неорганических соединений.

Принцип отбора действует и далее. Так из миллионов органических соединений в построении живого участвуют лишь несколько сотен.

Далее: из 100 известных аминокислот в состав белков входят только 20.

Важно отметить, что из такого узкого круга отобранных природой органических веществ сформировался весь труднообозримый мир живого.

Каковы же принципы отбора химических соединений - своеобразной “химической подготовки” к образованию сложнейших биологических систем?

Оказалось, что определяющая роль здесь принадлежит катализаторам, т.е. веществам, активирующим молекулы реагентов и повышающим скорость химических реакций. Однако, катализаторы не остаются неизменными в ходе химических реакций: их активность либо падает, либо возрастает.

### 3. Общая теория химической эволюции и биогенеза

В 60-х годах 20-го века было установлено экспериментально, что в ходе химической эволюции отбирались те химические структуры, которые способствовали резкому повышению активности и избирательной способности катализаторов. Это позволило профессору МГУ А.П. Руденко в 1964 г. теорию саморазвития открытых каталитических систем, которая по праву можно считать общей теорией хемо- и биогенеза. Сущность этой теории состоит в том, что химическая эволюция представляет собой саморазвитие каталитических систем, и, следовательно, эволюционирующим веществом являются катализаторы.

А.П. Руденко сформулировал и основной закон химической эволюции: с наибольшей скоростью и вероятностью образуются те пути эволюционных изменений катализатора, на которых происходит максимальное увеличение его абсолютной активности.

Саморазвитие, самоорганизация систем может происходить только за счет постоянного притока энергии, источником которой является основная, т.е. базисная реакция. Из этого следует, что максимальные эволюционные преимущества получают каталитические системы, развивающиеся на базе экзотермических реакций.

Временной период химической эволюции. На ранних стадиях химической эволюции мира катализ отсутствовал. Первые проявления катализа начинаются при понижении температуры до 5000° К и ниже и образовании первичных твердых тел. Полагают также, что когда период химической подготовки, т.е. период интенсивных и разнообразных химических превращений сменился периодом биологической эволюции, химическая эволюция как бы застыла.

Прикладное значение эволюционной химии. Эволюционная химия не только помогает раскрыть механизм биогенеза но и позволяет разработать новое управление химическими процессами, предполагающее применение принципов синтеза себе подобных молекул и создание новых мощных катализаторов, в том числе биокатализаторов – ферментов, а это, в свою очередь, является залогом решения задач по созданию малоотходных, безотходных и энергосберегающих промышленных процессов.

## 1. 6 Лекция №6 (2 часа).

**Тема: Особенности биологического уровня организации материи:**

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Биологический уровень организации материи



2. Сущность живого, вещественная и структурная основа жизни на Земле
3. Критерии живых систем.

### **1.6.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Биологический уровень организации материи**

Важнейшие открытия 19 –20 веков в области биологии, которые легли в основу современной биологии.

Биология возникла и долгое время существовала как описательная наука, осуществлявшая анализ и классификацию огромного эмпирического материала. Современная биология использует генетический и системно-структурный подходы. Особенностью современной биологии является ее тесная связь с другими науками, с практическими нуждами решения экологических, медицинских, социальных, экономических и др. проблем.

Величайшим открытием является предложенная Ч. Дарвиным теория эволюции живой природы (1859 г. «Происхождение видов путем естественного отбора»).

Грегор Мендель в XIX веке открыл закон наследственности, показал, что наследование признаков происходит дискретно и что рецессивные мутации не исчезают, а сохраняются в генофонде популяции и проявляются через поколение.

В 1900 г. законы наследственности были вновь открыты Х.де Фризом (Голландия), К. Корренсом (Германия) и Э.Чермаком (Австрия). Х. де Фриз предложил теорию мутаций.

В 1920-е гг. А. Вейсманом, Т.Х. Морганом, А. Стертевантом, Г.Дж. Меллером была разработана хромосомная теория наследственности.

В 1940-е гг. была открыта нуклеиновая природа гена. В 1944 г. американец О. Эвери и его сотрудники установили, что носителем наследственной информации является ДНК, а в 1953 г. Д.Уотсон и Ф.Крик расшифровали ее структуру- двойную спираль. Выяснилось, что свойство самоудвоения молекул ДНК является основой механизма наследственности.

В последующие годы была установлена зависимость синтеза белков от состояния генов, расшифрована аминокислотная последовательность многих белков.

В 1970-е г. сложилась генная инженерия (технология рекомбинантных ДНК) - на основе синтеза методов молекулярной биологии и генетики. В 1978 г. методами генной инженерии был синтезирован инсулин - белок, позволяющий бороться с диабетом.

С 1980-х гг. проводятся успешные опыты по клонированию животных (от греческого klon – побег, ветка) – точному воспроизведению организма.

В 1997 г. появилась овечка Долли. Клонирование человека законодательно запрещено во многих странах. (Время от времени появляются публикации, свидетельствующие о нарушении этого запрета).

#### **ДНК, геном человека**

Молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) находятся в хромосомах ядер клеток и являются носителями наследственной информации. ДНК состоит из двух спаренных полинуклеотидных цепочек, закрученных в спираль. Звеньями ДНК являются нуклеотиды (соединения азотистого основания, сахара и остатка фосфорной кислоты). Азотистые основания аденин (А), тимин (Т), цитозин (Ц), гуанин (Г) цепочек связаны комплементарно: А-Т, Ц-Г. Ген - участок ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка.

В 1988 г. была создана международная организация «Геном человека», задачей которой была расшифровка генома – совокупности генов, сосредоточенных в единичном наборе хромосом данного организма. В 2003 г. эта программа была практически



завершена. Оказалось, что в геноме человека от 30 до 40 тыс. генов (вместо предполагавшихся ранее 80 – 100 тыс.). Это ненамного больше, чем у червяка (19 тыс. генов) или мухи-дрозофилы (13,5 тыс.).

Для использования новых знаний в фармакологии нужны новые технологии, которые появятся в ближайшие десятилетия.

Особенности биологического уровня организации материи.

Одно из определений жизни (М.В. Волькенштейн): «Жизнь есть форма существования макроскопических гетерогенных открытых сильнонеравновесных систем, способных к самоорганизации и самовоспроизведению».

Свойства живых систем:

- a) макроскопичность (состоят из большого числа атомов);
- b) гетерогенность (образованы из множества разных веществ);
- c) открытость – происходит непрерывный обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой;
- d) сходство химического состава, 6 органогенов: C, O, H, N, P, S;
- e) живые системы содержат совокупность биополимеров, не характерных для неживых систем;
- f) раздражимость - реакции на информацию, воздействие извне;
- g) дискретность – состоят из отдельных взаимодействующих элементов;
- h) цельность – все элементы функционируют вместе со всей системой.

Структурные уровни организации живых систем (концепция структурных уровней живого включает представление об их иерархической соподчиненности):

- 1) молекулярно-генетический (здесь совершается скачок от неживой материи к живой; вирусы - мельчайшие бесклеточные организмы - на границе живой и неживой материи);
- 2) клеточный (клетка - мельчайшая элементарная живая система - первооснова строения, жизнедеятельности и размножения организмов; клетки без ядер – прокариоты, с ядрами - эукариоты);
- 3) тканевый (совокупность клеток с одинаковым уровнем организации образует живую ткань);
- 4) онтогенетический или организменный (система совместно функционирующих органов образует организм; на этом уровне проявляется большое разнообразие живых систем);
- 5) популяционно-видовой (образован совокупностью видов и популяций; популяция - совокупность организмов одного вида, обладающих единым генофондом; вид – совокупность скрещивающихся организмов; на этом уровне реализуется биологический эволюционный процесс);
- 6) биогеоценотический (биогеоценоз - исторически сложившееся устойчивое сообщество популяций, связанных между собой и с окружающей средой обменом веществ);
- 7) биосферный (совокупность биогеоценозов составляет биосферу Земли).

## **2. Сущность живого, вещественная и структурная основа жизни на Земле**

Первые живые существа появились на нашей планете около 3 млрд. лет назад. От этих ранних форм возникло бесчисленное множество видов живых организмов, которые, появившись, процветали в течение более или менее продолжительного времени, а затем вымирали. От ранее существовавших форм произошли и современные организмы, образующие четыре царства живой природы: более 1,5 млн. видов животных, 500 тыс. видов растений, значительное количество разнообразных грибов, а также множество прокариотических организмов.

Мир живых существ, включая человека, представлен биологическими системами различной структурной организации и разного уровня соподчинения, или

согласованности. Из курса ботаники и зоологии известно, что все живые организмы состоят из клеток. Клетка, например, может быть и отдельным организмом, и частью многоклеточного растения или животного. Она бывает довольно просто устроенной, как бактериальная, но и значительно более сложно, как клетки одноклеточных животных – Простейших. Как бактериальная клетка, так и клетка Простейших представляет собой целый организм, способный выполнять все функции, необходимые для обеспечения жизнедеятельности. А вот клетки, входящие в состав многоклеточного организма, специализированы, т.е. могут осуществлять только одну какую-либо функцию и не способны самостоятельно существовать вне организма. У многоклеточных организмов взаимосвязь и взаимозависимость многих клеток приводит к созданию нового качества, неравнозначного простой их сумме. Элементы организма – клетки, ткани и органы – в сумме ещё не представляют собой целостный организм. Лишь соединение их в исторически сложившемся в процессе эволюции порядке, их взаимодействие, образует целостный организм, которому присущи определенные свойства.

### 3. Критерии живых систем.

Рассмотри подробнее критерии, отличающие живые системы от объектов неживой природы, и основные характеристики процессов жизнедеятельности, выделяющие живое вещество в особую форму существования материи.

**Особенности химического состава.** В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы. Однако соотношение различных элементов в живом и неживом неодинаково. Элементный состав неживой природы наряду с кислородом представлен в основном кремнием, железом, магнием, алюминием и т.д. В живых организмах 98% химического состава приходится на четыре элемента – углерод, кислород, азот и водород. Однако в живых телах эти элементы участвуют в образовании сложных органических молекул, распространение которых в неживой природе принципиально иное по количеству, как по количеству, так и по существу. Подавляющее большинство органических молекул окружающей среды представляют собой продукты жизнедеятельности организмов. В живом веществе несколько основных групп органических молекул, характеризующихся определенными специфическими функциями и в большинстве своей представляющих собой регулярные полимеры. Во-первых, это нуклеиновые кислоты – ДНК и РНК, свойства которых обеспечивают явления наследственности и изменчивости, а также самовоспроизведение. Во-вторых, это белки – основные структурные компоненты биологических мембран и клеточных стенок, главные источники энергии, необходимой для обеспечения процессов жизнедеятельности. И наконец, огромная группа разнообразных так называемых «малых молекул», принимающих участие в многочисленных и разнообразных процессах метаболизма в живых организмах.

**Метаболизм.** Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой, поглощая из нее вещества, необходимые для питания, и выделяя продукты жизнедеятельности.

В неживой природе также существует обмен веществами, однако при небиологическом круговороте веществ они просто переносятся с одного места на другое или меняется их агрегатное состояние: например смыв почвы, превращение воды в пар или лед.

В отличие от обменных процессов в неживой природе у живых организмов они имеют качественно иной уровень. В круговороте органических веществ самыми существенными стали процессы превращения веществ – процессы синтеза и распада.

Живые организмы поглощают из окружающей среды различные вещества. Вследствие целого ряда сложных химических превращений вещества из окружающей

среды уподобляются веществами живого организма и из них строится его тело. Эти процессы называются ассимиляцией, или пластическим обменом.

Другая сторона обмена веществ – процессы диссимиляции, в результате которых сложные органические соединения распадаются на простые, при этом утрачивается их сходство с веществами организма и выделяется энергия, необходимая для реакций биосинтеза. Поэтому диссимиляцию называют энергетическим обменом.

Обмен веществ обеспечивает гомеостаз организма, т.е. неизменность химического состава и строения всех частей организма, и как следствие, постоянство их функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

*Единый принцип структурной организации.* Все живые организмы, к какой бы систематической группе они ни относились, имеют клеточное строение. Клетка, как уже указывалось выше, является единой структурно-функциональной единицей, а также единицей развития всех обитателей Земли.

*Репродукция.* На организменном уровне самовоспроизведение или репродукция, проявляется в виде бесполого или полового размножения особей. При размножении живых организмов потомство обычно похоже на родителей: кошки воспроизводят котят, собаки – щенят. Из семян тополя опять вырастает тополь. Деление одноклеточного организма – амёбы – приводит к образованию двух амёб, полностью схожих с материнской клеткой.

Таким образом, размножение – это свойство организмов производить себе подобных. Благодаря репродукции не только целые организмы, но и клетки, органеллы клеток (митохондрии, пластиды и др.) после деления сходны со своими предшественниками. Из одной молекулы ДНК при ее удвоении образуются две дочерние молекулы, полностью повторяющие исходную.

В основе самовоспроизведения лежат реакции матричного синтеза, т.е. образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в последовательности нуклеотидов ДНК. Следовательно, самовоспроизведение – одно из основных свойств живого, тесно связанное с явлением наследственности.

*Наследственность.* Наследственность заключается в способности организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Признаком называют любую особенность строения на самых различных уровнях организации живой материи, а под свойствами понимают функциональные особенности, в основе которых лежат конкретные структуры. Наследственность обусловлена специфической организацией генетического вещества (генетического аппарата) – генетическим кодом. Под генетическим кодом понимают такую организацию молекул ДНК, при которой последовательность нуклеотидов в ней определяет порядок аминокислот в белковой молекуле. Обеспечивается явление наследственности стабильностью молекул ДНК и воспроизведение ее химического строения (редупликацией) с высокой точностью. Наследственность обеспечивает материальную преемственность (поток информации) между организмами в ряду поколений.

*Изменчивость* Это свойство как бы противоположно наследственности, но вместе с тем тесно связано с ней, так как при этом изменяются наследственные задатки – гены, определяющие развитие тех или иных признаков. Если бы репродукция матриц – молекул ДНК – всегда происходила с абсолютной точностью, то при размножении организмов осуществлялась бы преемственность только существовавших прежде признаков, и приспособление видов к меняющимся условиям среды оказалось бы невозможным. Следовательно, изменчивость – это способность организмов приобретать новые признаки и свойства, в основе которой лежат изменения биологических матриц.

Изменчивость создает разнообразный материал для естественного отбора, т.е. отбора наиболее приспособленных особей к конкретным условиям существования в природных условиях, что в свою очередь, приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

*Рост и развитие.* Способность к развитию – всеобщее свойство материи. Под развитием понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. В результате развития возникает новое качественно состояние объекта, вследствие которого изменяется его состав и структура. Развитие живой формы существования материи представлено индивидуальным развитием, или онтогенезом, и историческим развитием, или филогенезом.

На протяжении онтогенеза постепенно и последовательно проявляются индивидуальные свойства организмов. В основе этого лежит поэтапная реализация наследственных программ. Развитие сопровождается ростом. Независимо от способа размножения все дочерние особи, образующиеся из одной зиготы или споры, почки или клетки, получают по наследству только генетическую информацию, т.е. возможность проявить те или иные признаки. В процессе развития возникает специфическая структурная организация индивида, а увеличение его массы обусловлено репродукцией макромолекул, элементарных структур клеток и самих клеток.

Филогенез, или эволюция, – это необратимое и направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни. Результатом эволюции является все многообразие живых организмов на Земле.

*Раздражимость.* Любой организм неразрывно связан с окружающей средой: извлекает из нее питательные вещества, подвергается воздействию неблагоприятных факторов среды, вступает во взаимодействие с другими организмами и т.д. В процессе эволюции у живых организмов выработалось и закрепилось свойство избирательно реагировать на внешние воздействия. Это свойство носит название раздражимости. Всякое изменение окружающих организм условий среды представляет собой по отношению к нему раздражение, а его реакция на внешние раздражители служит показателем его чувствительности и проявлением раздражимости.

Реакция многоклеточных животных на раздражимость осуществляется через посредство нервной системы и называется рефлексом.

Организмы, не имеющие нервной системы, например простейшие или растения, лишены рефлексов. Их реакции, выражающиеся в изменении характера движения или роста, принято называть таксисами или тропизмами, прибавляя при их обозначении название раздражителя. Например, фототаксис – движение в направлении к свету; хемотаксис – перемещение организма по отношению к концентрации химических веществ. Каждый род таксиса может быть положительным или отрицательным в зависимости от того, действует раздражимость на организм притягивающим или отталкивающим образом.

Под тропизмами понимают определенный характер роста, который свойственен растениям. Так, гелиотропизм (от греч. «helios» - Солнце) означает рост наземных частей растений (стебля, листьев) по направлению к Солнцу, а геотропизм (от греч «geo» - Земля) – рост подземных частей (корней) в направлении к центру Земли. Для растений характерны также настии – движения частей растительного организма, например движение листьев в течение светового дня, зависящее от положения Солнца на небосводе, раскрытие и закрытие венчика цветка и т.д.

*Дискретность.* Само слово дискретность произошло от латинского «discretus», что означают прерывистый, разделенный. Дискретность – всеобщее свойство материи. Так, из курса физики и общей химии известно, что каждый атом состоит из элементарных частиц, что атомы образуют молекулу. Простые молекулы входят в состав сложных соединений или кристаллов и т.д.

Жизнь на Земле также проявляется в виде дискретных форм. Это означает, что отдельный организм или иная биологическая система (вид, биоценоз и др.) состоит из отдельных изолированных, т.е. обособленных или отграниченных в пространстве, но тем не менее тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство. Например, любой вид организмов включает

отдельные особи. Тело высокоорганизованной особи образует пространственно отграниченные органы, которые, в свою очередь, состоят из отдельных клеток. Энергетический аппарат клетки представлен отдельными митохондриями, аппарат синтеза белков – рибосомами и т.д. вплоть до макромолекул, каждая из которых может выполнять свою функцию, лишь будучи пространственно изолированной от других. Дискретность строения организма – основа его структурной упорядоченности. Она создает возможность постоянного самообновления его путем замены «износившихся» структурных элементов (молекул, ферментов, органоидов клетки, целых клеток) без прекращения выполняемой функции. Дискретность вида предопределяет возможность его эволюции путем гибели или устранения индивидов с полезными для выживания признаками.

*Авторегуляция.* Это способность живых организмов, обитающих в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность течения физиологических процессов – гомеостаз. При этом недостаток поступления каких-либо питательных веществ мобилизует внутренние ресурсы организма, а избыток вызывает запасание этих веществ. Подобные реакции осуществляются разными путями благодаря деятельности регуляторных систем – нервной, эндокринной и некоторых других. Сигналом для включения той или иной регулирующей системы может быть изменение концентрации какого-либо вещества или состояния какой-либо системы.

*Ритмичность.* Периодические изменения в окружающей среде оказывают глубокое влияние на живую природу и на собственные ритмы живых организмов.

Ритм – это, в общих чертах, повторение одного и того же события или воспроизведение одного и того же состояния через равные промежутки времени. В биологии под ритмичностью понимают периодические изменения интенсивности физиологических функций и формообразовательных процессов с различными периодами колебаний (от нескольких секунд до года и столетия). Хорошо известны суточные ритмы сна и бодрствования у человека; сезонные ритмы активности и спячки у некоторых млекопитающих (суслики, ежи, медведи) и многие другие.

Ритмичность направлена на согласование функций организма с окружающей средой, т.е. на приспособление к периодически меняющимся условиям существования.

*Энергозависимость.* Живые тела представляют собой «открытые» для поступления энергии системы. Это понятие заимствовано из физики. Под «открытыми» системами понимают динамические, т.е. не находящиеся в состоянии покоя системы, устойчивые лишь при условии непрерывного доступа к ним энергии и материи извне. Таким образом, живые организмы существуют до тех пор, пока в них поступают энергия и материя в виде пищи из окружающей среды. Следует отметить, что живые организмы в отличие от объектов неживой природы отграничены от окружающей среды оболочками (наружная клеточная мембрана у одноклеточных, покровная ткань у многоклеточных). Эти оболочки затрудняют обмен веществ между организмом и окружающей средой, сводят к минимуму потери вещества и поддерживают пространственное единство системы.

Таким образом, живые организмы резко отличаются от объектов физики и химии – неживых систем – своей исключительной сложностью и высокой структурной функциональной упорядоченностью. Эти отличия придают жизни качественно новые свойства. Живое представляет собой особую ступень развития материи.

Многочисленные определения сущности жизни можно свести к двум основным. Согласно первому, жизнь определяется субстратом – носителем ее свойств, например белком. Вторая группа определений оперирует совокупностью специфических физико-химических процессов, характерных для живых систем. Классическое определение Ф. Энгельса: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению

белка» - лишь формально может быть отнесено к первой категории, так как Энгельс имел в виду не собственно белки, а структуры, содержащие белок. С другой стороны, обмен веществ также не может служить единственным критерием жизни, да и сам нуждается в объяснении при посредстве жизни.

На следующем этапе (приблизительно 2 млрд. лет тому назад) в клетке появляется ядро. Одноклеточные организмы с ядром называются простейшими. Их 25-30 тыс. видов. Самые простые из них – амёбы. Инфузории имеют ещё и реснички. Ядро простейших окружено двухмембранной оболочкой с порами и содержит хромосомы и нуклеоли. Ископаемые простейшие – радиолярии и фораминиферы – основные части осадочных горных пород. Многие простейшие обладают сложным двигательным аппаратом. Примерно 1 млрд. лет тому назад появились первые многоклеточные организмы, и произошел выбор растительной деятельности – фотосинтез – создание органического вещества из углекислоты и воды при использовании солнечной энергии, улавливаемой хлорофиллом. Продукт фотосинтеза – кислород в атмосфере. Возникновение и распространение растительности привело к коренному изменению состава атмосферы, первоначально имевшей очень мало свободного кислорода. Растения, ассимилирующие углерод из углекислого газа, создали атмосферу, содержащую свободный кислород, которые не только активный химический агент, но и источник озона, преградившего путь коротким ультрафиолетовым лучам к поверхности Земли.

Веками накапливавшиеся остатки растений образовали в земной коре грандиозные энергетические запасы органических соединений (уголь, торф), а развитие жизни в Мировом океане привело к созданию осадочных горных пород, состоящих из скелетов и других остатков морских организмов.

К важным свойствам живых систем относятся:

1. Компактность. В  $5 \cdot 10^{-15}$  гр. ДНК, содержащейся в оплодотворенной яйцеклетке кита, заключена информация для подавляющего большинства признаков животного, которое весит  $5 \cdot 10^7$  гр. (масса возрастает на 22 порядка).

2. Способность создавать порядок из хаотического теплового движения молекул и тем самым противодействовать возрастанию энтропии. Живое потребляет отрицательную энтропию и работает против теплового равновесия, увеличивая, однако, энтропию окружающей среды. Чем более сложно устроено живое вещество, тем более в нем скрытой энергии и энтропии.

3. Обмен с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Живое способно ассимилировать полученные извне вещества, т.е. перестраивать их, уподобляя собственным материальным структурам и за счет этого многократно воспроизводить их.

4. В метаболических функциях большую роль играют петли обратной связи, образующиеся при автокаталитических реакциях. «В то время как в неорганическом мире обратная связь между «следствиями» (конечными продуктами) нелинейных реакций и породившими их «причинами» встречается сравнительно редко, в живых системах обратная связь (как установлено молекулярной биологией), напротив, является скорее правилом, чем исключением»[4]. Автокатализ, кросс-катализ и автоингибция (процесс, противоположный катализу – если присутствует данное вещество, оно не образуется в ходе реакции) имеет место в живых системах. Для создания новых структур нужна положительная обратная связь, для устойчивого существования – отрицательная обратная связь.

5. Жизнь качественно превосходит другие формы существования материи в плане многообразия и сложности химических компонентов и динамики протекающих в живом превращении. Живые системы характеризуются гораздо более высоким уровнем упорядоченности и асимметрии в пространстве и времени. Структурная компактность и энергетическая экономичность живого – результат высочайшей упорядоченности на молекулярном уровне.

6. В самоорганизации неживых систем молекулы просты, а механизмы реакций сложны; в самоорганизации живых систем, напротив, схемы реакций просты, а молекулы сложны.

7. У живых систем есть прошлое, у неживых его нет. «Целостные структуры атомной физики состоят из определенного числа элементарных ячеек, атомного ядра и электронов и не обнаруживают никакого изменения во времени, разве что испытывают нарушения извне. В случае такого внешнего нарушения они, правда, как-то реагируют на него, но если нарушение было не слишком большим, они по прекращению его снова возвращаются в исходное положение. Но организмы – не статические образования. Древнее сравнение живого существа с пламенем говорит о том, что живые организмы, подобно пламени представляют собой такую форму, через которую материя в известном смысле проходит как поток».

8. Жизнь организма зависит от двух факторов – наследственности, определяемой генетическим аппаратом, и изменчивости, зависящей от условий окружающей среды и реакции на них индивида. Интересен, что сейчас жизнь на Земле не могла бы возникнуть из-за кислородной атмосферы и противодействия других организмов. Раз зародившись, жизнь находится в процессе постоянной эволюции.

9. Способность к избыточному самовоспроизводству. «Прогрессия размножения, столь высокая, что она ведет к борьбе за жизнь и ее последствию – естественному отбору».

## **1. 7 Лекция №7 (2 часа).**

**Тема: Выбор и обоснование стратегии развития с учетом экономической безопасности**

### **1.7.1 Вопросы лекции:**

- 1.Эволюционная теория Дарвина – Уоллеса
- 2.Современная (синтетическая) теория эволюции

### **1.7.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Эволюционная теория Дарвина – Уоллеса**

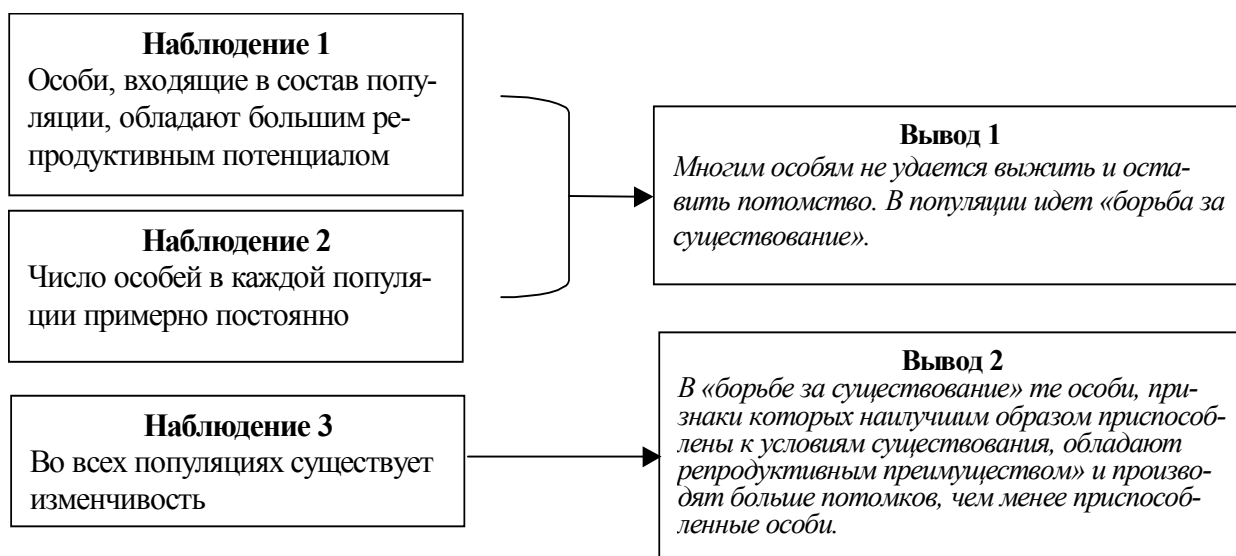
Под эволюцией подразумевается процесс длительных, постепенных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся образованием новых систем, структур и видов. Представления об эволюции в естествознании имеют ключевое значение. В начале нашего курса было рассмотрено понятие *парадигмы* – особого способа организации научного знания, задающего характер видения мира, системы предварительных условий, ориентиров и предпосылок в процессе построения и обоснования различных теорий, т.е. системы, которая определяет в целом тенденции развития научных исследований.<sup>iii</sup> Парадигма современного естествознания – это *эволюционно-синергетическая парадигма*, в основе которой лежат представления о самоорганизации и эволюции материи на всех ее структурных уровнях. Ранее уже говорилось об эволюции Вселенной, звезд, планетных систем, геологической и химической эволюции. Однако впервые эволюционная концепция четко и обоснованно была сформулирована в биологии.

Представления об эволюции живого высказывались практически на протяжении всего периода развития естествознания (Эмпедокл, Аристотель, Ламарк). Тем не менее, основоположником эволюционной теории в биологии считается Ч. Дарвин. В каком-то смысле толчком к развитию теории эволюции можно считать книгу Т. Мальтуса «Трактат о народонаселении» (1778), в котором он показал, к чему бы привел рост народонаселения, если бы он ничем не сдерживался. Дарвин применил подход Мальтуса на другие живые системы. Исследуя изменения численности популяций, он пришел к объяснению эволюции путем естественного отбора (1839 г). Таким образом, наибольший

вклад Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить.

В это же время другой естествоиспытатель А.Р. Уоллес, как и Дарвин, много путешествовавший и тоже читавший Мальтуса, пришел к тем же выводам. В 1858 г. Дарвин и Уоллес выступили с докладами о своих идеях на заседании Линнеевского общества в Лондоне. В 1859 г. Дарвин опубликовал свой труд «Происхождение видов» («Origin of species»).

Согласно теории Дарвина – Уоллеса, механизмом, с помощью которого возникают новые виды, служит естественный отбор. Эта теория основывается на трех наблюдениях и двух выводах, которые удобно представить в виде следующей схемы.



## 2. Современная (синтетическая) теория эволюции

Теория Дарвина – Уоллеса в 20-м веке была значительно расширена и разработана в свете современных данных генетики (которая во времена Дарвина еще не существовала), палеонтологии, молекулярной биологии, экологии, этологии (науки о поведении животных) и получила название неodarвинизма или синтетической теории эволюции.

Новая, синтетическая теория эволюции представляет собой синтез основных эволюционных идей Дарвина, прежде всего, идеи естественного отбора, с новыми результатами биологических исследований в области наследственности и изменчивости. Современная теория эволюции имеет следующие особенности:

- она ясно выделяет элементарную структуру, с которой начинается эволюция – это популяция;
- выделяет элементарное явление (процесс) эволюции – устойчивое изменение генотипа популяции;
- шире и глубже истолковывает факторы и движущие силы эволюции;
- четко разграничивает микроэволюцию и макроэволюцию (впервые эти термины были введены в 1927 г. Ю.А. Филипченко, а дальнейшее уточнение и развитие получили в трудах выдающегося биолога-генетика Н.В. Тимофеева-Ресовского).

**Микроэволюция** – это совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов.

**Макроэволюция** связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период, которые приводят к возникновению *надвидовых* форм организации живого.



Изменения, изучаемые в рамках микроэволюции, доступны непосредственному наблюдению, тогда как макроэволюция происходит на протяжении длительного периода, и ее процесс может быть только реконструирован, мысленно воссоздан. Как микро- так и макроэволюция происходят, в конечном итоге, под влиянием изменений в окружающей среде.

**Подтверждения теории эволюции.** Сведения, подтверждающие современные представления об эволюции, являются результатами исследований в различных областях науки, из которых важнейшими являются

палеонтология,  
биогеография,  
морфология,  
сравнительная эмбриология,  
молекулярная биология,  
систематика,  
селекция растений и животных.

(Подробнее см. [1], [2])

Важнейшими аргументами в пользу эволюционной теории является так называемая палеонтологическая летопись, т.е. обнаруживаемые ископаемые формы живых организмов и биогенетический закон Геккеля («онтогенез повторяет филогенез»).

**Основные законы эволюции.** Многочисленные исследования, проведенные в рамках вышеупомянутых наук, позволили сформулировать следующие основные законы эволюции.

1. Скорость эволюции в разные периоды неодинакова и характеризуется тенденцией ускорения\*. В настоящее время она протекает быстро, и это отмечается появлением новых форм и вымиранием многих старых.
2. Эволюция различных организмов происходит с разной скоростью.
3. Новые виды образуются не из наиболее высокоразвитых и специализированных форм, а из относительно простых, неспециализированных форм.
4. Эволюция не всегда идет от простого к сложному. Существуют примеры «регрессивной» эволюции, когда сложная форма давала начало более простым (некоторые группы организмов, например, бактерии, сохранились только благодаря упрощению своей организации).
5. Эволюция затрагивает **популяции**, а не отдельные особи и происходит в результате мутаций, естественного отбора и дрейфа генов.

Последнее весьма важно для понимания различия между дарвиновской теорией эволюции и современной теорией (неодарвинизмом).

**Основные факторы эволюции.** Современная теория эволюции, обобщая данные многочисленных биологических исследований, позволила сформулировать основные факторы и движущие силы эволюции.

1. Первым важнейшим фактором эволюции является **мутационный процесс**, который исходит из признания факта, что основную массу эволюционного материала составляют различные формы мутаций, т.е. изменений наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызываемых искусственно.

2. Вторым важнейшим фактор – **популяционные волны**, часто называемые «волнами жизни». Они определяют количественные флуктуации (отклонения от среднего значения) численности организмов в популяции, а также области ее обитания (ареала).

3. Третьим основным фактором эволюции признается обособленность группы организмов.

К перечисленным основным факторам эволюции добавляют такие как частота смены поколений в популяции, темпы и характер мутационных процессов и др. Важно помнить, что все перечисленные факторы выступают не изолированно, а во взаимосвязи и

взаимодействии друг с другом. Все эти факторы являются необходимыми, однако, сами по себе они не объясняют механизма эволюционного процесса и его движущей силы. Движущая сила эволюции заключается в действии естественного отбора, который является результатом взаимодействия популяций и окружающей среды. Результатом же самого естественного отбора является устранение от размножения (элиминация) отдельных организмов, популяций, видов и других уровней организации живых систем. (Следует иметь в виду, что трактовка естественного отбора как процесса выживания сильнейших, наиболее приспособленных некорректна, так как, с одной стороны, в ряде случаев бессмысленно говорить о большей или меньшей приспособленности, с другой – даже при явно меньшей степени приспособленности, допускается возможность размножения).

Формы естественного отбора. Естественный отбор в процессе эволюции принимает различные формы. Можно выделить три основных формы: стабилизирующий отбор, движущий отбор и дизруптивный отбор.

Стабилизирующий отбор - форма естественного отбора, направленная на поддержание и повышение устойчивости реализации в популяции среднего, ранее сложившегося признака или свойства. При стабилизирующем отборе преимущество в размножении получают особи со средним выражением признака ( по образному выражению, это «выживание заурядностей»). Эта форма отбора как бы охраняет и усиливает новый признак, устраняя от размножения все особи, фенотипически заметно уклоняющиеся в ту или другую сторону от сложившейся нормы.

## **1. 8 Лекция №8 (2 часа).**

**Тема: Система «природа–биосфера–человек» и противоречия в этой системе**

### **1.8.1 Вопросы лекции:**

1. Уровни организации живых систем
2. Окружающая среда, экология, экологические факторы, экосистемы
3. Человек и биосфера, трансформация биосферы в ноосферу
4. Современная экологическая ситуация на планете, экологический кризис.
5. Экологическая обстановка в Российской Федерации и Оренбургской области: проблемы и перспективы.

### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Уровни организации живых систем**

Уровни организации жизни"— иерархически соподчинённые уровни организации биосистем, отражающие уровни их усложнения. Чаще всего выделяют семь основных структурных уровней жизни: молекулярный, клеточный, органно-тканевой, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный. В типичном случае каждый из этих уровней является системой из подсистем нижележащего уровня и подсистемой системы более высокого уровня. Следует подчеркнуть, что построение универсального списка уровней биосистем невозможно. Выделять отдельный уровень организации целесообразно в том случае, если на нём возникают новые свойства, отсутствующие у систем нижележащего уровня. К примеру, феномен жизни возникает на клеточном уровне, а потенциальное бессмертие — на популяционном<sup>[1]</sup>. При исследовании различных объектов или различных аспектов их функционирования могут выделяться разные наборы уровней организации. Например, у одноклеточных организмов механизмы регуляции изучаемого процесса. Одним из выводов, следующих из общей теории систем является то, что биосистемы разных уровней могут быть подобны в своих существенных свойствах, например, принципах регуляции важных для их существования параметров

#### **Молекулярный уровень организации жизни**

Представлен разнообразными молекулами, находящимися в живой клетке.

1. Компоненты
  - Молекулы неорганических и органических соединений
  - Молекулярные комплексы
2. Основные процессы
  - Объединение молекул в особые комплексы
  - Осуществляющие, кодирование и передачу генетической информации
3. Науки, ведущие исследования на этом уровне
  - Биохимия
  - Биофизика
  - Молекулярная биология
  - Молекулярная генетика

## Клеточный уровень организации жизни



## Тканевый уровень организации жизни

Тканевый уровень представлен тканями, объединяющими клетки определённого строения, размеров, расположения и сходных функций. Ткани возникли в ходе исторического развития вместе с многоклеточностью. У многоклеточных организмов они образуются в процессе онтогенеза как следствие дифференцировки клеток. У животных различают несколько типов тканей (эпителиальная, соединительная, мышечная, нервная). У растений различают меристематическую, защитную, основную и проводящую ткани. На этом уровне происходит специализация клеток.

## Органный уровень организации жизни

Органный уровень представлен органами организмов. У простейших пищеварение, дыхание, циркуляция веществ, выделение, передвижение и размножение осуществляются за счёт различных органелл. У более совершенных организмов имеются системы органов. У растений и животных органы формируются за счёт разного количества тканей. Для позвоночных характерна цефализация, заключающаяся в сосредоточении важнейших центров и органов чувств в голове.

## Организменный (онтогенетический) уровень организации жизни

Представлен одноклеточными и многоклеточными организмами растений, животных, грибов и бактерий.

1. Компоненты

○ Клетка — основной структурный компонент организма. Из клеток образованы ткани и органы многоклеточного организма

2. Основные процессы

○ Обмен веществ (метаболизм)

○ Раздражимость

○ Размножение

○ Онтогенез

○ Нервно-гуморальная регуляция процессов жизнедеятельности

○ Гомеостаз

**Популяционно-видовой уровень организации жизни**

Представлен в природе огромным разнообразием видов и их популяций.

1. Компоненты

○ Группы родственных особей, объединённых определённым генофондом и специфическим взаимодействием с окружающей средой

2. Основные процессы

○ Генетическое своеобразие

○ Взаимодействие между особями и популяциями

○ Накопление элементарных эволюционных преобразований

○ Осуществление микроэволюции и адаптация к изменяющейся среде

○ Видообразование

○ Увеличение биоразнообразия

3. Науки, ведущие исследования на этом уровне

○ Генетика популяций

○ Эволюция

**Биогеоценотический уровень организации жизни**

Представлен разнообразием естественных и культурных биогеоценозов во всех средах жизни.

1. Компоненты

○ Популяции различных видов

○ Факторы среды

○ Пищевые цепи, потоки веществ и энергии

2. Основные процессы

○ Биохимический круговорот веществ и поток энергии, поддерживающие жизнь

○ Подвижное равновесие между живыми организмами и абиотической средой (гомеостаз)

○ Обеспечение живых организмов условиями обитания и ресурсами (пищей и убежищем)

3. Науки, ведущие исследования на этом уровне

○ Биогеография

○ Биогеоценология

○ Экология

**Биосферный уровень организации жизни**

Представлен высшей, глобальной формой организации биосистем — биосферой.

1. Компоненты

○ Биогеоценозы

○ Антропогенное воздействие

2. Основные процессы

○ Активное взаимодействие живых и неживых веществ планеты

○ Биологический глобальный круговорот веществ и энергии

○ Активное биогеохимическое участие человека во всех процессах биосферы, его хозяйственная и этнокультурная деятельность

- 3. Науки, ведущие исследования на этом уровне
  - Экология
    - Глобальная экология
    - Космическая экология
    - Социальная экология

## 2. Окружающая среда, экология, экологические факторы, экосистемы

**Условия и ресурсы среды** - взаимосвязанные понятия. Они характеризуют среду обитания организмов. Условия среды обычно определяют как экологические факторы, оказывающие влияние (положительное или отрицательное) на существование и географическое распространение живых существ.

Экологические факторы очень многообразны как по своей природе, так и по воздействию на живые организмы. Условно все факторы среды подразделяются на три основные группы.

**Биотические факторы** - это всевозможные формы влияния живых организмов друг на друга (например, опыление насекомыми растений, конкуренция, поедание одних насекомых другими, паразитизм) и на среду. Биотические взаимоотношения имеют чрезвычайно сложный и своеобразный характер и также могут быть прямыми и косвенными.

**Абиотические факторы** - это факторы неживой природы, прежде всего климатические: солнечный свет, температура, влажность, и местные: рельеф, свойства почвы, соленость, течения, ветер, радиация и т.д. Эти факторы могут влиять на организмы прямо, то есть непосредственно, как свет или тепло, либо косвенно, как например, рельеф, который обуславливает действие прямых факторов - освещенности, увлажнения, ветра и пр.

**Антропогенные факторы** - это все те формы деятельности человека, которые воздействуют на естественную природную среду, изменяя условия обитания живых организмов, или непосредственно влияют на отдельные виды растений и животных.

### Биотические факторы

**Биотическая среда** - часть экосистемы, которая состоит из групп организмов, отличающихся друг от друга по способу питания: продуценты, консументы, детритофаги и редуценты.

**Продуценты** (*producentis* - *производящий*) с помощью фотосинтеза<sup>2</sup> создают органическое вещество и выделяют в атмосферу кислород. К ним относятся зеленые растения(трава, деревья), синезеленые водоросли и фотосинтезирующие бактерии.

**Консументы** (*consumo* - *потребляю*) питаются продуцентами или другими консументами. К ним относятся звери, птицы, рыбы и насекомые.

**Детритофаги** (*detritus* - *истертый*, *phagos* - *пожиратель*) питаются отмершими растительными остатками и трупами животных организмов. К ним относятся дождевые черви, крабы, муравьи, жуки-навозники, крысы, шакалы, грифы, вороны и др.

**Редуценты** (*reducentis* - *возвращающий*) - разрушители (деструкторы) органического вещества. К ним относятся бактерии и грибы, которые в отличие от детритофагов разрушают мертвое органическое вещество до минеральных соединений. Эти соединения возвращаются в почву и снова используются растениями для питания.

### Абиотические факторы

К абиотическим факторам относятся *космические, планетарные, климатические и почвенные*.

Космические и планетарные факторы - это солнечное излучение и основные параметры Земли как небесного тела: форма, вращение, наклон земной оси.

Почвенные факторы: тепловой режим, влажность и плодородие. Где плодороднее почва, там богаче растительность и, соответственно, разнообразнее животный мир. Чем скуднее почва, тем беднее и животный мир.

#### Антропогенные факторы

Антропогенные факторы складываются из прямого и косвенного воздействия человека на природу: вырубка лесов, распашка полей, истребление или переселение животных и растений, загрязнение воды, почвы и атмосферы.

Наиболее ощутимое воздействие связано с работой промышленных предприятий и применением тяжелой техники. В этих случаях антропогенные факторы называются техногенными.

### **3. Человек и биосфера, трансформация биосферы в ноосферу**

Современная биосфера сложилась в результате длительного эволюционного процесса живого и косного вещества нашей планеты. Роль человека в развитии биосферы определяется прежде всего его биосоциальной природой. Существование человека как гетеротрофного организма зависит от наличия органической пищи, воздуха, воды и т. д. В то же время человек обладает существенными особенностями, выделяющими его из живой природы, – это разум, способность к труду, творческой деятельности, производственным отношениям. На ранних этапах существования человека его деятельность не нарушала равновесия в биосфере. Потребляемые человечеством ресурсы природы и продукты его жизнедеятельности циркулировали в общем круговороте веществ, так же как и продукты деятельности других видов живых существ. Постепенно деятельность человека стала не просто приспособлением к условиям среды, но приобрела разумный целенаправленный характер, изменяя окружающую природу. Человек вывел много новых сортов растений и пород животных, увеличивая разнообразие природных видов, но в то же время многие виды исчезли или находятся на грани уничтожения (дронт, стеллерова корова, странствующий голубь и др.). Деятельность человека становится мощным экологическим фактором, нарушающим равновесие в природе, биосфере. Воздействия человека на окружающую природу достигли к настоящему времени планетарных масштабов. В результате деятельности человека происходят изменения климата, ландшафтов, состава атмосферы, видового и численного состава живых существ. Повсеместное уничтожение лесов приводит к снижению выделения в атмосферу кислорода и утилизации углекислого газа, к эрозии почв, изменению климата, нарушению водного режима. Сгорание органического топлива снижает содержание кислорода в атмосфере (так, например, при пробеге автомобилем 100 км пути расходуется годовая норма кислорода для одного человека). В последние годы отмечается повышение содержания углекислого газа в атмосфере, накопление промышленной пыли. Это ведет к возникновению «парникового эффекта» – нарушению рассеивания тепла с поверхности Земли в космос, что приводит к постепенному потеплению климата на планете. В атмосферу ежегодно поступают миллионы тонн загрязненных веществ. Особую опасность представляет сернистый газ, который соединяется с парами воды и является причиной выпадения кислотных дождей. Повсеместно на нашей планете отмечается ухудшение состояния водных систем в результате ирригационных и мелиоративных мероприятий. Происходит истощение подземных вод, массовая гибель малых рек, сокращение крупных рек, высыхание крупных водоемов (например, исчезло с лица Земли Аральское море-озеро). Значительно воздействие человека на литосферу – распахивание земель для сельскохозяйственных нужд (сегодня 30 % суши занято угодьями) приводит к эрозии почв, их засаливанию, поднятию грунтовых вод. Человек создает *техносферу*, не составляющую целостную систему с биосферой, не создающую новых запасов энергии. Деятельность человека представляет угрозу для экологического равновесия, для существования биосферы.

Выходом из экологического кризиса должно стать создание на Земле *ноосферы*. Концепция ноосферы явилась логическим результатом научной деятельности В. И. Вернадского, который говорил, что «биосфера перейдет однажды в сферу разума – ноосферу. Произойдет великое объединение, в результате которого развитие планеты сделается направленным силой разума». О формировании на Земле ноосферы он наиболее подробно писал в незавершенной работе «Научная мысль как планетное явление». Рассматривая переход биосферы в ноосферу («сферу разума»), В. И. Вернадский указал ряд конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы. Нужно, чтобы:

- ♦ человечество стало единым целым, заселив и преобразовав всю планету;
- ♦ резко преобразовались – стали мобильными – средства связи и обмена информацией между странами;
- ♦ усилились связи, в том числе политические, между всеми странами Земли;
- ♦ расширились границы биосферы, произошел выход в космос;
- ♦ были открыты и начали активно использоваться новые источники энергии, развивалась энергетика;
- ♦ установилось реальное равенство людей всех рас и религий;
- ♦ наладилось разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;
- ♦ были исключены войны из жизни общества;
- ♦ произошел рост общего уровня жизни, были побеждены голод и болезни.

Ноосфера – это высшая стадия развития биосферы, когда преобразующая деятельность человека основывается на научном понимании естественных и социальных процессов с учетом общих законов развития природы. Ноосфера не может формироваться стихийно, для ее формирования необходимы сознательная деятельность людей, активное вмешательство разума в судьбу природы. Изменения биосферы должны происходить в интересах человечества, но без ущерба для самой биосферы. Такое взаимоотношение человека и биосферы называется *коэволюцией*.

В структуре ноосферы выделяют следующие компоненты: человечество, совокупность научных знаний, сумму техники и технологий в единстве с биосферой.

Ноосфера предполагает не выживание человечества, а сохранение экосферы в гармонии живой и неживой природы, сохранение природы с сохранением ресурса органического мира в биогеоценозах.

Идеи В. И. Вернадского нашли отражение в современной *концепции устойчивого развития*. Человеческая цивилизация достигла критического уровня, после которого одинаково возможны и качественно новая степень развития, и катастрофа. Устойчивое развитие предполагает как установление баланса между потреблением и воспроизводством природных ресурсов, так и обеспечение устойчивого роста благосостояния, социальной защищенности и возможности гармоничного развития личности. Устойчивое развитие – это поступательное движение темпов экономического роста, при котором давление на окружающую среду компенсируется восстановлением ее свойств. Ноосферные преобразования требуют от человечества способности к рациональному мышлению, научному предвидению, единства экологии, экономики и политики.

#### **4. Экологическая обстановка в Российской Федерации и Оренбургской области: проблемы и перспективы**

2017 год назвали в России Годом экологии и Годом особо охраняемых природных территорий. Таким образом в Правительстве хотят привлечь внимание общества к вопросам экологического развития России, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности.

- Для «экологических двоечников» год станет временем диктатуры природоохранного законодательства. Для ответственных компаний он принесет дополнительные возможности и стимулы для перехода на более эффективную модель управления, – подчеркнул глава Минприроды России Сергей Донской

Об экологической ситуации в Оренбуржье и мерах по её оздоровлению на Совете старейшин при губернаторе доложил министр природных ресурсов, экологии и имущественных отношений области Константин Костюченко. RIA56 публикует цифры и факты из его доклада, характеризующие состояние окружающей среды.

#### ЦИФРЫ

- Единственный в области мусоросортировочный комплекс работает в Оренбурге. Заводов, цехов по переработке мусора и отходов в Оренбуржье больше нет.

- У Оренбуржья 2-е место по распаханности территории регионов России.

- В сфере охраны окружающей среды в регионе действуют 4 государственные программы, 100 нормативных правовых акта, в том числе 10 областных законов.

- Лес занимает 4,6% площади Оренбургской области.

- 7,4% питьевой воды не соответствует гигиеническим нормам.

- В 8 районах области нет очистных сооружений.

- Прогнозный объём финансирования программы «Охрана окружающей среды Оренбургской области на 2014-2020 годы» - 25,6 млрд. рублей.

- Более 30 несанкционированных свалок в Оренбуржье.

- 35-40% атмосферных осадков рационально используется в растениеводстве.

- Водопроводные сети в городах и сёлах изношены на 53% и 61%.

- Оренбуржью необходимо как минимум 61 очистное сооружение. Но по факту в Оренбуржье их 36, из них 20% в нерабочем состоянии, а остальные требуют ремонта или реконструкции.

- 61,2% территории региона - плодородная почва.

- В среднем ежегодно в Оренбуржье образуется 63,6 млн. тонн твёрдых промышленных и бытовых отходов.

- Под сельскохозяйственные нужды отведено 88% земельного фонда.

- 93% загрязнений воды приходится на жилищно-коммунальное хозяйство.

- Более 100 видов полезных ископаемых залегают в недрах Оренбургской области: например, нефть, газ, соль, асбест, мрамор, медь.

- В среднем на одного жителя области в 2014 году пришлось 420 килограммов валовых выбросов вредных веществ в атмосферу. Оренбуржье входит в число регионов с наибольшим показателем.

- На территории Оренбургской области 969 – полигонов и свалок.

#### ФАКТЫ

Новотроицк, Орск, Кувандык, Медногорск и Оренбург – здесь сохраняется наиболее неблагоприятная экологическая обстановка. Во всех городах области средняя концентрация 2-4 видов вредных примесей (диоксиды серы, оксиды углерода и азота, сероводород и т.п.) превышает уровень предельно допустимой концентрации.

За 2004-2010 года наметилась тенденция к снижению выбросов, но в последнее время ситуация ухудшилась из-за увеличения объёмов производства, нерационального использования ресурсов, применения устаревших технологий и оборудования, роста числа автомобилей.

По мнению учёных, развитие региона сдерживается нарастающим дефицитом воды. Из-за чрезмерной распашки пойменных зон, отсутствия дополнительных лесозащитных полос исчезают озёра, пересыхают речки, ручьи и родники.

Для Оренбуржья всегда была актуальна проблема природно-очаговых инфекций: заболеваемость туляремией не регистрируется с 1993 года, сибирской язвой – с 2004, лептоспирозом – с 2010, бешенством – с 2011.



## 1. 9 Лекция №9 (2 часа).

**Тема: Концепции сложноорганизованных систем:**

### 1.9.1 Вопросы лекции:

1. Самоорганизация в живой и неживой природе.
2. Синергетика как наука.
3. Порядок и беспорядок в природе. Хаос. Энтропия.
4. Концепция универсального эволюционизма.

### 1.9.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Самоорганизация в живой и неживой природе.

Эволюционные процессы характеризуются необратимостью во времени и случайностью изменения хода процесса. Канонической иллюстрацией этих свойств является теория Дарвина. Эволюционные процессы представляют собой разновидность динамических процессов (процессов протекающих во времени).

В физике описание динамических процессов осуществляется с помощью систем дифференциальных уравнений. Традиционно как примеры динамических процессов почти во всех учебниках приводятся: движение маятника или движение одного тела в поле тяготения другого. Эти примеры, однако, являются лишь частным случаем динамических систем - это, так называемые *консервативные* системы. Их отличительной чертой является *обратимость во времени* - система дифференциальных уравнений, описывающая динамический процесс, инвариантна относительно обращения времени. Обратимость процессов во времени имеет интересные последствия.

Консервативные динамические системы принято делить на интегрируемые и неинтегрируемые. Система дифференциальных уравнений проинтегрирована, если найден полный набор ее первых интегралов. Первым интегралом называют функцию, которая сохраняет постоянное значение на всей траектории, определяемой уравнениями движения. Первым интегралом является, например, полная энергия системы. Динамическая система называется интегрируемой, если все ее первые интегралы - аналитические функции координат и скоростей. Первые интегралы позволяют найти состояние системы в любой момент времени, если известно ее состояние в какой-либо предыдущий момент времени. Для интегрируемых систем, т.е. задание состояния системы в один из моментов времени фактически соответствует заданию всей прошлой и будущей истории системы. Это позволяет говорить о *предопределенности (детерминированности)* поведения интегрированной системы. Так, указанное выше движение одного тела в поле тяготения другого описывается двумя интегралами - интегралом энергии и импульса.

Число первых интегралов совпадает с числом независимых динамических переменных, описывающих состояние системы, которые называются степенями свободы. Структура любой системы характеризуется распределением энергии по внутренним степеням свободы. В интегрируемых консервативных системах это распределение энергии либо остается неизменным, либо периодически меняется, - т.е. в интегрированных системах не происходит смены структур, и система рано или поздно возвращается в начальное состояние. Иными словами интегрируемые консервативные системы *не эволюционируют*.

В конце прошлого века (1892г.) Пуанкаре доказал существование *неинтегрируемых* систем - суть его выводов заключалась в том, в системе, описываемой дифференциальными уравнениями, может появиться *стохастическое* движение. Неинтегрируемая система имеет также полный набор первых интегралов, но не все они являются аналитическими функциями.

Примером неинтегрированной системы является движение *трех* тел в поле тяготения друг друга - траектории тел становятся очень сложными и запутанными.

Характерной чертой неинтегрированных систем является отсутствие симметрии между прошлым и будущим - неинтегрированная система *эволюционирует* во времени. Эволюционные свойства неинтегрируемых систем определяются в основном характером взаимодействия в системе. Систему, в которой стохастичность траекторий есть следствие внутренних взаимодействий, а не случайных внешних воздействий называют динамическим хаосом - движения частиц воспринимаются наблюдателем как случайные блуждания.

Другим классом физических систем являются *диссипативные системы*. Диссипативные физические системы также приводят к необратимым процессам. "Ярче всего различие между консервативными и диссипативными системами проявляется при попытке макроскопического описания последних, когда для определения мгновенного состояния системы используются такие коллективные переменные, как температура, концентрация, давление и т.д." [1, с.64]. При рассмотрении поведения этих переменных выясняется, что они не инвариантны относительно операции обращения времени. В качестве простейших примеров диссипативных процессов обычно рассматриваются теплопроводность и диффузия.

В случае изолированных систем, в которых нет никаких обменов с внешней средой, необратимость выражена знаменитым вторым законом термодинамики, в соответствии с которым существует функция переменных состояния системы, изменяющаяся монотонно в процессе приближения к состоянию термодинамического равновесия. Обычно в качестве такой функции состояния выбирается энтропия, и второе начало формулируется так: "производная энтропии по времени не отрицательна". Традиционно это утверждение интерпретируется как "тенденция к возрастанию разупорядоченности" или как "производство энтропии".

В случае неизолированных систем, которые обмениваются с внешней средой энергией или веществом, изменение энтропии будет обусловлено процессами внутри системы (производство энтропии) и обменами с внешней средой (поток энтропии). Если производство энтропии в соответствии со вторым законом термодинамики неотрицательно, то "поток энтропии" может быть как положительным, так и отрицательным. Если поток энтропии отрицательный, то определенные стадии эволюции могут происходить при общем понижении энтропии. Последнее, согласно традиционной трактовке, означает, что "в ходе эволюции разупорядоченность будет уменьшаться за счет оттока энтропии".

Т.о. эволюционные свойства диссипативных систем уже нельзя объяснить исключительно внутренним взаимодействием частиц.

## 2. Современные подходы к анализу сложных самоорганизующихся систем. Синергетика

Под самоорганизацией мы понимаем необратимый процесс, приводящий в результате кооперативного действия подсистем к образованию более сложных структур всей системы. Самоорганизация — элементарный процесс эволюции, состоящий из неограниченной последовательности процессов самоорганизации. Термин "самоорганизация" используется для обозначения диссипативной самоорганизации, т. е. образования диссипативных структур. Наряду с диссипативной самоорганизацией существуют и другие формы самоорганизации, такие как консервативная самоорганизация (образование структур кристаллов, биополимеров и т. д.) и дисперсионная самоорганизация (образование солитонных структур).

Для объяснения процессов самоорганизации рассматриваются открытые системы, которые способны обмениваться с окружающей средой веществом, энергией или информацией. Открытая система не может быть равновесной, потому ее функционирование требует непрерывного поступления энергии и вещества из внешней среды, вследствие чего неравновесие в системе усиливается. В конечном итоге прежняя взаимосвязь между элементами системы, т. е. ее прежняя структура, разрушается. Между

элементами системы возникают новые согласованные связи. Благодаря этому оказалось возможным развить новую нелинейную и неравновесную термодинамику необратимых процессов, которая стала основой современной концепции самоорганизации. Для более общего и глубокого представления о конкретных механизмах самоорганизации рассмотрим основные понятия и принципы синергетики.

*Попытка выработки* общей концепции объясняющей явления самоорганизации систем получила название "синергетика". Термин "синергетика" происходит от греческого "синергеа" - содействие, сотрудничество. Предложенный Г. Хакеном, этот термин акцентирует внимание на согласованности взаимодействия частей при образовании структуры как единого целого. Под этим названием объединяются различные направления исследований в различных науках - в физике, биологии, химии, математике. В математике развивается теория динамического хаоса, школа И. Пригожина развивает термодинамический подход к самоорганизации с точки зрения диссипативных структур, а Г. Хакен понимает под структурой состояние, возникающее в результате когерентного (согласованного) поведения большого числа частиц.

Предметом синергетики являются сложные самоорганизующиеся системы. Один из основоположников синергетики Г. Хакен определяет понятие самоорганизующейся системы следующим образом: "Мы называем систему самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру. Под специфическим внешним воздействием мы понимаем такое, которое навязывает системе структуру или функционирование. В случае же самоорганизующихся систем испытывается извне неспецифическое воздействие. Например, жидкость, подогреваемая снизу, совершенно равномерно обретает в результате самоорганизации макроструктуру, образуя шестиугольные ячейки".

Таким образом, современное естествознание ищет пути теоретического моделирования самых сложных систем, которые присущи природе, — систем, способных к самоорганизации, саморазвитию. Основные свойства самоорганизующихся систем — открытость, нелинейность, диссипативность.

Открытые системы — это такие системы, которые поддерживаются в определенном состоянии за счет непрерывного притока извне вещества, энергии или информации. Постоянный приток вещества, энергии или информации является необходимым условием существования неравновесных состояний в противоположность замкнутым системам, неизбежно стремящимся (в соответствии со вторым началом термодинамики) к однородному равновесному состоянию. Открытые системы — это системы необратимые; в них важным оказывается фактор времени.

Нелинейные системы, являясь неравновесными и открытыми, сами создают и поддерживают неоднородности в среде. В таких условиях между системой и средой могут иногда создаваться отношения обратной положительной связи, т. е. система влияет на свою среду таким образом, что в среде вырабатываются некоторые условия, которые в свою очередь обуславливают изменения в самой этой системе (например, в ходе химической реакции или какую-то другую процесса вырабатывается фермент, присутствие которого стимулирует производство его самого). Последствия такого рода взаимодействия открытой системы и ее среды могут быть самыми неожиданными и необычными.

Открытые неравновесные системы, активно взаимодействующие с внешней средой, могут приобретать особое динамическое состояние — диссипативность, которую можно определить как качественно своеобразное макроскопическое проявление процессов, протекающих на микроуровне. Неравновесное протекание множества микропроцессов приобретает некоторую интегративную результирующую на макроуровне, которая качественно отличается оттого, что происходит с каждым отдельным ее микроэлементом. Благодаря диссипативности в неравновесных системах могут спонтанно возникать новые типы структур, совершаться переходы от хаоса и беспорядка к порядку и организации,

возникать новые динамические состояния материи. Главная идея синергетики — это идея о принципиальной возможности спонтанного возникновения порядка и организации из беспорядка и хаоса в результате процесса самоорганизации. Решающим фактором самоорганизации является образование петли положительной обратной связи системы и среды. При этом система начинает самоорганизовываться и противостоит тенденции ее разрушения средой.

Становление самоорганизации во многом определяется характером взаимодействия случайных и необходимых факторов системы и ее среды. Система самоорганизуется не гладко и просто, не неизбежно. Самоорганизация переживает и переломные моменты — точки бифуркации. Вблизи точек бифуркации в системах наблюдаются значительные флуктуации, роль случайных факторов резко возрастает.

В переломный момент самоорганизации принципиально неизвестно, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности и организации (фазовые переходы и диссипативные структуры — лазерные пучки, неустойчивости плазмы, флаттер, химические волны, структуры в жидкостях и др.). В точке бифуркации система как бы “колеблется” перед выбором того или иного пути организации, пути развития. В таком состоянии небольшая флуктуация (момент случайности) может послужить началом эволюции (организации) системы в некотором определенном (и часто неожиданном или просто маловероятном) направлении, одновременно отсекая при этом возможности развития в других направлениях. Как выясняется, переход от хаоса к порядку вполне поддается математическому моделированию. И более того, в природе существует не так уж много универсальных моделей такого перехода. Качественные переходы в самых различных сферах действительности (в природе и обществе — его истории, экономике, демографических процессах, духовной культуре и др.) подчиняются подчас одному и тому же математическому сценарию.

Синергетика убедительно показывает, что даже в неорганической природе существуют классы систем, способных к самоорганизации. История развития природы — это история образования все более и более сложных нелинейных систем. Такие системы и обеспечивают всеобщую эволюцию природы на всех уровнях ее организации — от низших и простейших к высшим и сложнейшим (человек, общество, культура)

### 3. Экономика с точки зрения синергетики

В конце 1980-х гг. ученые начинают обсуждать возможность применения теории хаоса в социальных науках. В основном, за небольшим исключением, среди них были профессиональные математики и физики. Нужно сказать, что в экономике методы синергетики оказались востребованными несколькими годами раньше, чем в других социальных науках (например, в исследованиях, связанных с рынком ценных бумаг).

Первые работы шли по пути перевода новых математических понятий и терминов на диалекты социальных наук. Во многом результаты этого направления опирались на знаменитые труды И. Пригожина и его школы.

"Введение идей синергетики в *социодинамику* связано с именем В. Вайдлиха. Применяя синергетический подход Г. Хакена (определяя параметры порядка и используя принцип подчинения), он в течение многих лет, практически с самого начала развития синергетики, разрабатывает модели, позволяющие количественно описать коллективные процессы в обществе. С одной стороны, мы имеем интегративную динамику макрофеноменов в обществе, а с другой - решения и поведение отдельных индивидов на микросоциальном уровне. Синергетика устанавливает соотношение между микроуровнем индивидуальных решений и макроуровнем динамических коллективных процессов в обществе и дает стохастическое описание макродинамики.

Синергетика прежде всего имеет громадное значение в качестве новой точки зрения на события, которые происходят в мире, отличающейся от традиционного

детерминистического взгляда, который доминировал в науке со времени Ньютона. Таким образом, синергетика полезна как средство интерпретации научных данных в новом ракурсе.

Теория социальной самоорганизации позволяет по-новому подойти к решению целого ряда проблем:

- исторического детерминизма («все дозволено» или «все предопределенно»);
- природа социально-экономических кризисов и путей их преодоления (возможность бескризисное развитие общества или нет);
- критерия социального прогресса (существует объективный критерий такого прогресса или его нет);
- возможность долгосрочного социального прогнозирования;
- возможности коэволюции (согласованного развития) природы и общества и др.

Актуальность синергетической методологии связана с особенностями современной эпохи, где «не стабильность, изменчивость социального калейдоскопа парадоксальным образом становятся чуть ли не наиболее устойчивой характеристикой современности. Происходит интенсивная трансформация общественных институтов, изменение всей социальной, культурной среды обитания человека и параллельно – его взглядов на смысл и цели бытия». В результате изучения различных систем различной природы, способных к самоорганизации, складывается новое – нелинейное – мышление.

Система – это совокупность объектов и процессов, называемых компонентами, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, которые образует единое целое, обладающее свойствами, неприсущими его компонентами, взятым в отдельности.

Различают простые и сложные системы. Простые системы имеют небольшое число элементов. Количество взаимосвязей между элементами невелико. Простые системы почти не зависят от окружающей среды, хорошо управляемы и мало изменяются во времени. Сложные системы состоят из большого числа элементов, между которыми имеются многочисленные взаимосвязи. Сложные системы являются объектом внимания синергетики. Например, в простых обществах нет ни руководителя, ни подчиненных, ни богатых, ни бедных, таковы первобытные племена. В сложных напротив существует несколько уровней управления, несколько социальных затрат, социальное неравенство. Важное свойство сложных систем – их способность к управлению и самоуправлению.

Основной путь исследования системы – это построение модели (например, карта дорог, модель самолета, курс «Экономика» - представляет собой набор простых моделей, описывающих отдельные элементы экономической системы).

**Моделирование** – это прежде всего умение выделить главное (например, в экономике есть два основополагающих понятия – спрос и предложения).

Методологическими ориентирами социально-экономического анализа в рамках синергетического подхода могут быть следующие:

1. **Незамкнутость экономических систем**. Экономическая система любого государства в целом удовлетворяют требованиям, предъявленным к открытым системам – в них постоянно циркулируют потоки денег, ресурсов, информации, людей. Важно иметь в виду, что открытость любой сложной системы порождает целый спектр нелинейных эффектов.

2. **Неравномерность** экономических процессов. Как отмечал Н.Н. Моисеев, «устойчивость, доведенная до своего предела, прекращает любое развитие. Она противоречит принципу изменчивости. Чересчур стабильные формы – это тупиковые формы, эволюция которых прекращается. Чрезмерная адаптация.... Столь же опасна для совершенства вида, как неспособность к адаптации» 61,с42. Теоретические модели равновесных систем в конечном счете оказываются нежизнеспособными конструкциями.

3. **Необратимость** экономической эволюции. Прохождение через точки ветвления эволюционного дерева (совершенный выбор) закрывает иные, альтернативные, пути и делает тем самым эволюционный процесс необратимым.

4. **Нелинейность** экономических преобразований. В самом общем смысле нелинейность системы заключается в том, что ее реакция на изменение внешней или внутренней среды не пропорциональна этому изменению. Наступает такой момент, когда экономическая система становится в существенной степени иной, но уловить эти переходы, даже на самом общем уровне, экономическая теория не в состоянии.

5. **Неоднозначных** экономических целей.

Синергетика позволяет увидеть мир в другой системе координат. Выводы синергетики часто неожиданны и противоречат устоявшимся истинам. Однако именно такой взгляд позволяет обнаружить то, что теряется в традиционном ракурсе, и предупредить о серьезных опасностях, которые могут возникнуть на пути развития общества, если в бифуркационный момент (момент выбора) не будут приняты ответственные, эволюционные решения.

## 2. Синергетика как наука.

**Синергетика** (от др.-греч. συν- — приставка со значением совместности и ἔργον «деятельность»), или *теория сложных систем*<sup>[1]</sup> — междисциплинарное направление науки, изучающее общие закономерности явлений и процессов в сложных неравновесных системах (физических, химических, биологических, экологических, социальных и других) на основе присущих им принципов самоорганизации<sup>[2]</sup>. Синергетика является междисциплинарным подходом, поскольку принципы, управляющие процессами самоорганизации, представляются одними и теми же безотносительно природы систем, и для их описания должен быть пригоден общий математический аппарат.

Основное понятие синергетики — определение структуры как состояния, возникающего в результате многовариантного и неоднозначного поведения таких многоэлементных структур или многофакторных сред, которые не деградируют к стандартному для замкнутых систем усреднению термодинамического типа, а развиваются вследствие открытости, притока энергии извне, нелинейности внутренних процессов, появления особых режимов с обострением и наличия более одного устойчивого состояния. В обозначенных системах неприменимы ни второе начало термодинамики, ни теорема Пригожина о минимуме скорости производства энтропии, что может привести к образованию новых структур и систем, в том числе и более сложных, чем исходные. В отдельных случаях образование новых структур имеет регулярный, волновой характер, и тогда они называются автоволновыми процессами (по аналогии с автоколебаниями).

### Основные принципы

Природа иерархически структурирована в несколько видов открытых нелинейных систем разных уровней организации: в динамически стабильные, в адаптивные, и наиболее сложные — эволюционирующие системы.

- Связь между ними осуществляется через хаотическое, неравновесное состояние систем соседствующих уровней.
- Неравновесность является необходимым условием появления новой организации, нового порядка, новых систем, то есть — **развития**.
- Когда нелинейные динамические системы объединяются, новое образование не равно сумме частей, а образует систему другой организации или систему иного уровня.
- Общее для всех эволюционирующих систем: неравновесность, спонтанное образование новых микроскопических (локальных) образований, изменения на макроскопическом (системном) уровне, возникновение новых свойств системы, этапы самоорганизации и фиксации новых качеств системы.
- При переходе от неупорядоченного состояния к состоянию порядка все развивающиеся системы ведут себя одинаково (в том смысле, что для описания всего многообразия их эволюций пригоден обобщённый математический аппарат синергетики).

- Развивающиеся системы всегда открыты и обмениваются энергией и веществом с внешней средой, за счёт чего и происходят процессы локальной упорядоченности и самоорганизации.

- В сильно неравновесных состояниях системы начинают воспринимать те факторы воздействия извне, которые они бы не восприняли в более равновесном состоянии.

- В неравновесных условиях относительная независимость элементов системы уступает место корпоративному поведению элементов: вблизи равновесия элемент взаимодействует только с соседними, вдали от равновесия — «видит» всю систему целиком и согласованность поведения элементов возрастает.

- В состояниях, далёких от равновесия, начинают действовать бифуркационные механизмы — наличие кратковременных точек раздвоения перехода к тому или иному относительно долговременному режиму системы — аттрактору. Заранее невозможно предсказать, какой из возможных аттракторов займёт система.

**Синергетика объясняет процесс самоорганизации в сложных системах следующим образом:**

1. Система должна быть открытой. Закрытая система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и прекратить любые эволюции.

2. Открытая система должна быть достаточно далека от точки термодинамического равновесия. В точке равновесия сколь угодно сложная система обладает максимальной энтропией и не способна к какой-либо самоорганизации. В положении, близком к равновесию и без достаточного притока энергии извне, любая система со временем ещё более приблизится к равновесию и перестанет изменять своё состояние.

3. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение нового порядка и усложнение систем через флуктуации (случайные отклонения) состояний их элементов и подсистем. Такие флуктуации обычно подавляются во всех динамически стабильных и адаптивных системах за счёт отрицательных обратных связей, обеспечивающих сохранение структуры и близкого к равновесию состояния системы. Но в более сложных открытых системах, благодаря притоку энергии извне и усилению неравновесности, отклонения со временем возрастают, накапливаются, вызывают эффект коллективного поведения элементов и подсистем и, в конце концов, приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и через относительно кратковременное хаотическое состояние системы приводят либо к разрушению прежней структуры, либо к возникновению нового порядка. Поскольку флуктуации носят случайный характер, то состояние системы после бифуркации обусловлено действием суммы случайных факторов.

4. Самоорганизация, имеющая своим исходом образование через этап хаоса нового порядка или новых структур, может произойти лишь в системах достаточного уровня сложности, обладающих определённым количеством взаимодействующих между собой элементов, имеющих некоторые критические параметры связи и относительно высокие значения вероятностей своих флуктуаций. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и тем самым возникновения самоорганизации. Недостаточно сложные системы не способны ни к спонтанной адаптации ни, тем более, к развитию и при получении извне чрезмерного количества энергии теряют свою структуру и необратимо разрушаются.

5. Этап самоорганизации наступает только в случае преобладания положительных обратных связей, действующих в открытой системе, над отрицательными обратными связями. Функционирование динамически стабильных, неэволюционирующих, но адаптивных систем — а это и гомеостаз в живых организмах и



автоматические устройства — основывается на получении обратных сигналов от рецепторов или датчиков относительно положения системы и последующей корректировки этого положения к исходному состоянию исполнительными механизмами. В самоорганизующейся, в эволюционирующей системе возникшие изменения не устраняются, а накапливаются и усиливаются вследствие общей положительной реактивности системы, что может привести к возникновению нового порядка и новых структур, образованных из элементов прежней, разрушенной системы. Таковы, к примеру, механизмы фазовых переходов вещества или образования новых социальных формаций.

6. Самоорганизация в сложных системах, переходы от одних структур к другим, возникновение новых уровней организации материи сопровождаются нарушением симметрии. При описании эволюционных процессов необходимо отказаться от симметрии времени, характерной для полностью детерминированных и обратимых процессов в классической механике. Самоорганизация в сложных и открытых — диссипативных системах, к которым относится и жизнь, и разум, приводят к необратимому разрушению старых и к возникновению новых структур и систем, что наряду с явлением неубывания энтропии в закрытых системах обуславливает наличие «стрелы времени» в Природе.

### **3. Порядок и беспорядок в природе. Хаос. Энтропия.**

Ветхозаветное начало творения: "Земля была безвидна и Дух летал над Водами" . . . - и здесь из вод первозданного Хаоса родится определенность земной тверди нашего Мира. И это не случайно, только так естественным образом можно описать процесс возникновения чего либо вообще, когда следствие порождено причиной, в свою очередь состоящей из двух начал - активного и пассивного, имманентного любому действию.

Родоначальником всего живого и божественного в египетской религии считается бог **Атум** . Согласно легенде, он также появился из хаоса.

#### **3. Хаос и его проявления.**

Хаотические эффекты, нарушавшие стройную картину классической физики с первых дней становления теории, в XVII в воспринимались как досадные недоразумения. Кеплер отмечал нерегулярности в движении Луны вокруг Земли. Ньютон, по словам своего издателя Роджера Котеса, принадлежал к тем исследователям, которые силы природы и простейшие законы их действия "выводят аналитически из каких-либо избранных явлений и затем синтетически получают законы остальных явлений". Но закон — однозначное и точное соответствие между рассматриваемыми явлениями, он должен исключать неопределенность и хаотичность. Отсутствие однозначности в науке Нового времени рассматривалось как свидетельство слабости и ненаучного подхода к явлениям. Постепенно из науки изгонялось все, что нельзя формализовать, чему нельзя придать однозначный характер. Так пришли к механической картине мира и "лапласовскому детерминизму".

Необратимость процессов нарушила универсальный характер механических законов. По мере накопления фактов менялись представления, и тогда Клаузиус ввел "принцип элементарного беспорядка". Поскольку проследить за движением каждой молекулы газа невозможно, следует признать ограниченность своих возможностей и согласиться, что закономерности, наблюдаемые в поведении массы газа как целого, есть результат хаотического движения составляющих его молекул. Беспорядок при этом понимается как независимость координат и скоростей отдельных частиц друг от друга при равновесном состоянии. Более четко эту идею высказал Больцман и положил ее в основу своей *молекулярно-кинетической теории*. Максвелл указал на принципиальное отличие механики отдельной частицы от механики большой совокупности частиц, подчеркнув что большие системы характеризуются параметрами (давление, температура и др.), не применимыми к отдельной частице. Так он положил начало новой науке — *статистической механике*. Идея элементарного беспорядка, или хаоса устранила



противоречие между механикой и термодинамикой. На основе статистического подхода удалось совместить обратимость отдельных механических явлений (движений отдельных молекул) и необратимый характер движения их совокупности (рост энтропии в замкнутой системе).

В дальнейшем оказалось, что идеи хаоса характерны не только для явлений тепловых, а более фундаментальны. При изучении теплового излучения возникли противоречия: электромагнитная теория Фарадея — Максвелла описывала обратимые процессы, но процессы обмена световой энергией между телами, находящимися при разных температурах, ведут к выравниванию температур, т. е. должны рассматриваться как необратимые. Планк ввел гипотезу "естественного излучения", соответствующую гипотезе молекулярного беспорядка, смысл которой можно сформулировать так: отдельные электромагнитные волны, из которых состоит тепловое излучение, ведут себя независимо и "являются полностью некогерентными". Эта гипотеза привела к представлению о квантовом характере излучения, которое обосновывалось с помощью теории вероятностей. Хаотичность излучения оказалась связанной с его дискретностью. Квантовый подход позволил Планку и Эйнштейну объяснить ряд законов и явлений (закон Стефана — Больцмана, закон смещения Вина, законы фотоэффекта и др.), которые не находили объяснения в классической электродинамике. Отступления Луны от траекторий, рассчитанных по законам ньютоновской механики, американский астроном Джордж Хилл в конце прошлого века объяснил притяжением Солнца. Пуанкаре предположил, что вблизи каждого тела есть некоторые малозаметные факторы и явления, которые могут вызвать нерегулярности. Поведение даже простой системы существенно зависит от начальных условий, так что не все можно предсказать. Решая задачу трех тел, Пуанкаре обнаружил существование фазовых траекторий, которые вели себя запутанно и сложно, образуя "нечто, вроде решетки, ткани, сети с бесконечно тесными петлями; ни одна из кривых никогда не должна пересечь самое себя, но она должна навиваться на самое себя очень сложным образом, чтобы пересечь много, бесконечно много раз петли сети". В начале века на эту работу особого внимания не обратили.

Примерно в это же время Планк начал изучать другую хаотичность классической науки и нашел выход в введении кванта, который должен был примирить прежние и новые представления, но ни самом деле сокрушил классическую физику. В строении атомов долгое время видели аналогию Солнечной системы. Интерес к невозможности однозначных предсказаний возник в связи с появлением принципиально иных статистических законов движения микрообъектов, составляющих квантовую механику. В силу соотношений неопределенности Гейзенберга необходимо сразу учитывать, что могут реализовываться не точные значения координат и импульсов, а некая конечная область состояний  $\Delta p$  и  $\Delta q$ , внутри которой лежат начальные координаты  $p_0$  и импульсы  $p_0$ . При этом внутри выделенной области они распределены по вероятностному закону. По мере эволюции системы увеличивается и область ее состояний  $\Delta p$  и  $\Delta q$ . На небольших временных интервалах неопределенность состояния будет нарастать медленно, и движение системы будет устойчивым. Для таких систем классическая механика плодотворна.

В 60-е годы было установлено, что и в простых динамических системах, которые считались со времен Ньютона и Лапласа подчиняющимися определенным и однозначным законам механики, возможны случайные явления, от которых нельзя избавиться путем уточнения начальных условий и исчерпывающим описанием воздействий на систему. Такие движения возникают в простых динамических системах с небольшим числом степеней свободы — нелинейных колебательных системах как механических, так и электрических. Пример такого неустойчивого движения — шарик в двух ямах, разделенных барьером (рис 1). При неподвижной подставке шарик имеет два положения равновесия. При колебаниях подставки он может начать

а — шарик в потенциальных ямах; б — шарик на плоскости со стенками (бильярд Синая)

перепрыгивать из одной ямы в другую после совершения колебаний в одной из ям. Периодические колебания с определенной частотой вызывают колебания с широким спектром частот

Кроме того, на систему могут действовать и некоторые случайные силы, которые даже при самой малой величине за длительное время действия приведут к непредсказуемым результатам. Такие системы чувствительны не только к начальным значениям параметров, но и к изменениям положений и скоростей в разных точках траектории. Получается парадокс: система подчиняется однозначным динамическим законам, и совершает непредсказуемые движения. Решения динамической задачи реализуются, если они устойчивы. Например, нельзя видеть сколь угодно долго стоящий на острие карандаш или монету, стоящую на ребре. Но тогда задача из динамических переходит в статистическую, т. е. следует задать начальные условия статистическим распределением и следить за его эволюцией. Эти случайные явления получили название *хаосов*

Эволюцию динамических систем во времени оказалось удобным анализировать с помощью *фазового пространства* — абстрактного пространства с числом измерений, равным числу переменных, характеризующих состояние системы. Примером может служить пространство, имеющее в качестве своих координат координаты и скорости всех частиц системы. Для линейного гармонического осциллятора (одна степень свободы) размерность фазового пространства равна двум (координата и скорость колеблющейся частицы). Такое фазовое пространство есть плоскость, эволюция системы соответствует непрерывному изменению координаты и скорости, и точка, изображающая состояние системы, движется по фазовой траектории (рис. 2). Фазовые траектории такого маятника (линейного гармонического осциллятора), который колеблется без затухания, представляют собой эллипсы.

В случае затухания фазовые траектории при любых начальных значениях оканчиваются в одной точке, которая соответствует покою в положении равновесия. Эта точка, или *аттрактор*, как бы притягивает к себе со временем все фазовые траектории (англ. *to attract* "притягивать") и является обобщением понятия равновесия, состояние, которое притягивает системы. Маятник из-за трения сначала замедляет колебания, а затем останавливается. На диаграмме его состояния (фазовой диаграмме) по одной оси откладывают угол отклонения маятника от вертикали, а по другой — скорость изменения этого угла. Получается фазовый портрет в виде точки, движущейся вокруг начала отсчета. Начало отсчета и будет аттрактором, поскольку как бы притягивает точку, представляющую движение маятника по фазовой диаграмме. В таком простом аттракторе нет ничего странного. В более сложных движениях, например, маятника часов с грузом на цепочке, груз играет роль механизма, подкачивающего энергию к маятнику, и маятник не замедляет колебаний. Если запустить часы энергичным толчком маятника, он замедлится до темпа, который обусловлен весом груза, после чего характер его движения останется неизменным. Если толчок будет слабым, маятник, замедляясь, вскоре остановится. Ситуации с сильным начальным толчком на фазовой диаграмме соответствует спираль, обвивающаяся все более плотно вокруг круговой орбиты, аттрактор будет в данном случае окружностью, т. е. объектом не более странным, чем точка. Разным маятникам соответствуют аттракторы, которые называют *предельными циклами*. Все фазовые траектории, соответствующие разным начальным условиям, выходят на периодическую траекторию, которая отвечает установившемуся движению, если начальные отклонения были малыми, они возрастут, а, если амплитуды были большими, то уменьшатся. Битение сердца тоже изображается предельным циклом — установившимся режимом.

Если движение состоит из наложения двух колебаний разных частот, то фазовая траектория навивается на тор в фазовом пространстве трех измерений. Это движение

устойчиво, а две фазовые траектории, начинающиеся рядом, будут навиваться на тор, не уходя друг от друга. Ситуация соответствует устойчивому установившемуся движению, к которому сама стремится.

В случае хаотического движения фазовые траектории с близкими начальными параметрами быстро расходятся, а потом хаотически перемешиваются, так как они могут удаляться только до какого-то предела из-за ограниченности области изменений координат и импульсов. Поэтому фазовые траектории создают *складки* внутри фазового пространства и оказываются достаточно близко друг к другу. Так возникает область фазового пространства, заполненная хаотическими траекториями, называемая *странным аттрактором*. На рис 3 изображен такой аттрактор, полученный Э. Лоренцом на ЭВМ. Видно, что система (изображаемая точкой) совершает быстрые нерегулярные колебания в одной области фазового пространства, а затем случайно перескакивает в другую область, через некоторое время — обратно. Так динамический хаос обращается с фазовым пространством. При этом образование складок возможно только при размерностях больших трех (только в 3-ем измерении начинают складываться плоские траектории). От этих хаотичностей нельзя избавиться. Они внутренне присущи системам со странными аттракторами. Хаотические движения в фазовом пространстве порождают случайность, которая связана с появлением сложных траекторий в результате растяжения и складывания в фазовом пространстве.

Важнейшим свойством странных аттракторов является фрактальность *Фракталы* — это объекты, проявляющие по мере увеличения все большее число деталей. Их начали активно исследовать с появлением мощных ЭВМ. Известно, что прямые и окружности — объекты элементарной геометрии — природе не свойственны. Структура вещества чаще принимает замысловато ветвящиеся формы, напоминающие обтрепанные края ткани. Примеров подобных структур много это и коллоиды, и отложения металла при электролизе, и клеточные популяции.

#### 4. Причины хаоса.

Идеи Брюссельской школы, существенно опирающиеся на работы Пригожина, образуют новую, всеобъемлющую теорию изменений.

В сильно упрощенном виде суть этой теории сводится к следующему. Некоторые части Вселенной действительно могут действовать как механизмы. Таковы замкнутые системы, но они в лучшем случае составляют лишь малую долю физической Вселенной. Большинство же систем, представляющих для нас интерес, открыты - они обмениваются энергией или веществом ( можно было бы добавить: и информацией) с окружающей средой. К числу открытых систем, без сомнения, принадлежат биологические и социальные системы, а это означает, что любая попытка понять их в рамках механической модели заведомо обречена на провал.

Кроме того, открытый характер подавляющего большинства систем во Вселенной наводит на мысль о том, что реальность отнюдь не является ареной, на которой господствует порядок, стабильность и равновесие: главенствующую роль в окружающем нас мире играют неустойчивость и неравновесность.

Если воспользоваться терминологией Пригожина, то можно сказать, что все системы содержат подсистемы, которые непрестанно флуктуируют. Иногда отдельная флуктуация или комбинация флуктуацией может стать (в результате положительной обратной связи) настолько сильной, что существовавшая прежде организация не выдержит и разрушится. В этот переломный момент (который авторы книги называют особой точкой или точкой бифуркации ) принципиально невозможно предсказать, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и более высокий уровень упорядоченности или организации, который авторы называют диссипативной структурой. (Физические или химические структуры такого рода получили название

диссипативных потому, что для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых структур, на смену которым они приходят).

Один из ключевых моментов в острых дискуссиях, развернувшихся вокруг понятия диссипативной структуры, связан с тем, что Пригожин подчеркивает возможность спонтанного возникновения порядка и организации из беспорядка и хаоса в результате процесса самоорганизации.

Обобщая, мы можем утверждать, что в состояниях, далеких от равновесия, очень слабые возмущения, или флуктуации, могут усиливаться до гигантских волн, разрушающих сложившуюся структуру, а это проливает свет на всевозможные процессы качественного или резкого (не постепенного, не эволюционного) изменения. Факты, обнаруженные и понятые в результате изучения сильно неравновесных состояний и нелинейных процессов, в сочетании с достаточно сложными системами, наделенными обратными связями, привели к созданию совершенно нового подхода, позволяющего установить связь фундаментальных наук с "периферийными" науками о жизни и, возможно, даже понять некоторые социальные процессы.

#### 5. Роль энтропии как меры хаоса.

Знаменитое второе начало (закон) термодинамики в формулировке немецкого физика Р. Клаузиуса звучит так: "Теплота не переходит самопроизвольно от холодного тела к более горячему".

Закон сохранения и превращения энергии (первое начало термодинамики), в принципе, не запрещает такого перехода, лишь бы количество энергии сохранялось в прежнем объеме. Но в реальности это никогда не происходит. Данную односторонность, однонаправленность перераспределения энергии в замкнутых системах и подчеркивает второе начало термодинамики.

Для отражения этого процесса в термодинамику было введено новое понятие - "энтропия". Под энтропией стали понижать меру беспорядка системы. Более точная формулировка второго начала термодинамики приняла такой вид: при самопроизвольных процессах в системах, имеющих постоянную энергию, энтропия всегда возрастает.

Физический смысл возрастания энтропии сводится к тому, что состоящая из некоторого множества частиц изолированная (с постоянной энергией) система стремится перейти в состояние с наименьшей упорядоченностью движения частиц. Это и есть наиболее простое состояние системы, или термодинамическое равновесие, при котором движение частиц хаотично. Максимальная энтропия означает полное термодинамическое равновесие, что эквивалентно хаосу.

Однако, исходя из теории изменений Пригожина, энтропия - не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации. При определенных условиях энтропия становится прародительницей порядка.

#### 5. Концепция универсального эволюционизма

В последние десятилетия в исследованиях, связанных с проблематикой развития, наибольший интерес приобрела концепция универсальной, или глобальной эволюции, которая появилась на пути меж- и трансдисциплинарного синтеза научных знаний об эволюции. Концепция глобальной эволюции (часто называемой также универсальной), получившая наименование глобального (универсального) эволюционизма, привлекает все большее внимание ученых и становится не просто модной темой, а одной из самых фундаментальных и многообещающих исследовательских проектов и направлений научного поиска.

Глобальный эволюционизм представляет собой интегративно-общенаучный и трансдисциплинарный подход к пониманию в основном прогрессивного развития материи, существенно отличающийся от картины прежнего видения процессов эволюции. Парадигма и концепция глобального эволюционизма имеют общенаучный характер, являясь примером становления и развертывания междисциплинарно-интегративных

процессов в современном познании. Ранее доминирующие представления о развитии, хотя и опирались в той или иной степени на отдельные научные дисциплины, в которых уже отчетливо проявлялся эволюционный аспект (прежде всего, биологию, геологию и астрономию), тем не менее, в существенной степени оказывались умозрительно-философскими, которые не давали целостного образа обсуждаемого здесь феномена. Глобальный эволюционизм обретает свой общенаучный статус благодаря взаимодействию с другими отраслями научного знания и, что особенно важно – с междисциплинарными подходами, методами, концепциями, теориями, гипотезами и прогнозами. Вместе с тем становление глобального эволюционизма – один из примеров того, что и в настоящее время, а не только в далеком прошлом философия порождает новые области уже не только частно-научного, но и междисциплинарно-общенаучного знания.

#### Концепция глобальной эволюции

Общефилософская теория развития, начав реальное сближение с современной наукой, породила два варианта общенаучных концепций развития – в форме эволюционики (или эволюционистики, как полагает Л.Е. Гринин) и глобального (универсального) эволюционизма.

Здесь имеет смысл обратить внимание на различие концепций эволюционики (эволюционистики) и глобального эволюционизма как формы знания, которые иногда не разделяют. Эволюционика (эволюцинистка) понимается как общая теория развития систем природы, общества и мышления, продолжая на общенаучном уровне философскую теорию развития, нередко даже с использованием средств математики, информатики и т.д. Глобальный же эволюционизм акцентирует внимание лишь на процессе непрерывного прогрессивного развития во Вселенной, который представляет наибольший интерес для существования человечества среди всех процессов развития в мире.

Глобальный эволюционизм и эволюционика, используя достижения всех наук, исследующих проблему развития, по сути дела, формируют междисциплинарно-общенаучную панораму видения эволюции и программу исследования развития (или дополняющие друг друга картины в рамках различных подходов). В соответствии с этим в глобальном эволюционизме идет поиск не всеобще-философских, а универсально-общенаучных законов, принципов и тенденций развития (универсалий), причем не всякого вида развития и эволюции, а лишь тех из них, которые не прерываются, а существуют на протяжении всего темпорального срока существования Вселенной, начиная с Большого взрыва.

Эволюция в свете современной науки понимается в широком смысле – как процесс спонтанной самоорганизации (либо самодезорганизации, а также других форм развития) материальных систем, направленные и в основном необратимые изменения их структуры и содержания, включающие как восходящие и нисходящие ветви, так и другие составляющие, например, структурные (одноплоскостные), циклические и иные изменения. Глобальный эволюционизм предполагает акцентирование внимания на выявлении направлений, тенденций и закономерностей только перманентного прогрессивного развития всего сущего, доступного современной науке, которые носят инвариантный характер и могут претендовать на то, чтобы объяснить появление человечества и прогнозировать его дальнейшее взаимодействие с природой Земли и космоса. Развитие глобального эволюционизма как общенаучной концепции идет в русле тех исследований, которые именуются меж-, трансдисциплинарными, интегративно-общенаучными и т.д.

Глобальный эволюционизм представляет собой основу современной общенаучной картины мира и форму научного знания о глобальной (универсальной) эволюции, в которой самоорганизация материальных систем выступает в качестве главного перманентного процесса прогрессивного развития в видимой Вселенной. Глобальная эволюция – это непрерывная самоорганизация материальных систем вначале в неживой

природе, затем продолжающаяся в живом веществе и обществе, а далее – в социоприродной форме и все более охватывающая материальные системы видимой Вселенной.

Современная общенаучная картина мира, в существенной степени представляющаяся более системной, чем в прошлом веке, стала также и более эволюционной, по крайней мере, для вещественного фрагмента Вселенной. Вместе с тем эта картина содержит и принципиально неэволюционную часть в форме космологических представлений о темных фрагментах Вселенной и, прежде всего, о темной энергии, составляющей три четверти материального содержания мироздания). Темная материя имеет две формы – темную массу, или скрытое гравитирующее вещество, составляющее 22% плотности энергии Вселенной, и темную энергию. Вклад этой недавно открытой формы темной материи в плотности энергии мироздания составляет примерно 74%, а на обычное вещество приходится около 4%, в том числе на звезды – 1%. Мир темной энергии не подвержен эволюции, т.е. существует в покоящейся форме и самосохраняется каким-то неведомым «способом», по сути дела, кардинально отличным от эволюции вещественной части мироздания. Темная часть Вселенной оказывается на самом деле, основной, базовой составляющей всего материально-энергетического содержания Вселенной, в фундаменте которой самосохранение явно превалирует над изменением и тем более – над эволюцией, которая характерна для видимой Вселенной. В мироздании доминирует составляющая, которая не изменяется и не эволюционирует (темная энергия), затем идет слабо изменяющаяся, и почти не эволюционирующая часть Вселенной (темная масса) и, наконец, наиболее изученный наукой эволюционирующий фрагмент в форме обычного видимого вещества. Такова своеобразная «пирамида» основных форм самосохранения и существования материи как специфических фрагментов Вселенной с особыми, отличными друг от друга, способами самосохранения этих форм материи.

Темная масса, или скрытое вещество – это невидимый фрагмент, занимающий около четверти массы Вселенной, со средней плотностью массы  $2 \cdot 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>, совокупность тяготеющих сверхплотных объектов, состоящих из предполагаемых сверхтяжелых элементарных частиц неизвестной пока природы, в которой есть изменения, но нет эволюции (по современным представлениям). Темная энергия, занимающая около трех четвертей материального содержания Вселенной, представляет собой состояние космической среды, для которой характерна постоянная во времени и пространстве плотность энергии  $7 \cdot 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>, что больше всех других основных форм материи вместе взятых. Эта форма темной материи, которая, скорее всего, является космическим вакуумом, создает антигравитацию, вызывающую расширение Вселенной с ускорением в современную космологическую эпоху, которое может быть представлено как продолжение Большого Взрыва.

В глобальную эволюцию, по мнению авторов, вряд ли следует включать «темную» часть нашей Вселенной, имеет смысл ограничить эту эволюцию и любые другие эволюционные процессы во Вселенной лишь барионными формами материи, т.е. вещественной, светящейся ее частью. Это связано с тем, что «темная» часть Вселенной практически не эволюционирует в том смысле, какой современная наука придает понятию «эволюция» при изучении видимой части Вселенной. Ведь эти понятия предполагают, что соответствующим формам материи и их конкретным материальным образованиям присущи направленные изменения содержания системы, причем, как правило, необратимые (чтобы сохранить их энтропию). Однако мы не имеем научных знаний о таких изменениях в «темной» части материи, хотя можно предположить, что, они могут существовать, но в необычном и пока непонятном для нас виде (мы называли такие изменения «протоэволюцией» как близким к понятию эволюции в видимой Вселенной). Поэтому астрофизики, космологи и философы, которые изучают и интерпретируют феномен темной материи, склоняются к выводу о том, что эта часть нашей Вселенной не эволюционирует (но вместе с тем оказывает существенное влияние

на глобальную эволюцию), несмотря на то, что происходят определенные изменения, например, в темной массе.

Подобный вывод, если он действительно и далее будет подтверждаться, окажет весьма существенное влияние на научную картину мира и на многие наши мировоззренческие представления. Речь может идти о каких-то пока неизвестных науке законах распределения форм материи во Вселенной (наподобие негэнтропийной пирамиды), которые «требуют» для большей части мироздания покоя как доминирующей формы бытия, на котором базируется и «возвышается» эволюционирующая часть всего существующего.

Эволюционные процессы, с этой нетрадиционной точки зрения, –наиболее редкие во Вселенной (а, возможно, и в Мультиверсе как совокупности множества параллельно существующих минивселенных – «локальных» вселенных, возможно, вместе с некоей прасредой, из которой они произошли), «преследующие» общую для всех материальных образований «цель» – своего самосохранения. Но это самосохранение как преобладающий «аттрактор бытия» достигается наиболее необычным для большей части неэволюционирующей материи способом – через самоорганизацию, которая, в конечном счете, также преследует «цель увековечения» уже существующих материальных образований. Именно для этого им, находящимся в устойчивом неравновесии, приходится изменяться и эволюционировать через самоорганизацию, увеличивая свое информационное содержание за счет вещественно-энергетических и информационных потоков окружающей среды, различными способами понижая энтропию. Эволюция через самоорганизацию – это основной способ самосохранения материальных систем в видимой Вселенной, который и формирует супермагистраль глобальной эволюции. Однако вряд ли можно говорить о «самоорганизующейся Вселенной» или о ее доминирующем прогрессивном развитии, как это предполагали некоторые ученые. Перманентно-прогрессивная направленность присуща только особой траектории, которую мы здесь именуем супемагистралью глобальной эволюции и о которой речь пойдет в следующем разделе статьи.

Самосохранение – это наиболее распространенный в природе способ бытия, а самосохранение через самоорганизацию – это удел весьма скромного числа материальных образований нашей Вселенной. Вот почему вряд ли можно говорить о «самоорганизующейся Вселенной» или о ее преимущественно прогрессивном развитии, как это ранее предполагали некоторые ученые. Универсальная (глобальная) эволюция, будучи характерной для нашей вещественной Вселенной, выделяет из всех направлений развития лишь одно – главное для нее непрерывно-прогрессивное направление как траекторию перманентной самоорганизации, поскольку только она ведет к появлению все более высоких уровней и ступеней развития материальных систем. Именно на этой траектории, или супермагистральной, как мы ее именуем, имеют место те формы и уровни развития, которые не прерываются, а продолжают самоорганизацию и усложнение. Закономерности этого типа эволюции позволяют предвидеть и прогнозировать дальнейшее взаимодействие социальной ступени эволюции с природой Земли и космоса. Разработка глобального эволюционизма как междисциплинарно-общенаучной концепции и важнейшего фрагмента научной картины мира идет в русле тех исследований, которые представляют собой ядро для генерации и синтеза научного знания, формирования будущей единой науки.

Главная траектория универсальной эволюции

Главная прогрессивная ветвь развития (супермагистраль) во Вселенной представляет для науки в целом особое значение. Для супермагистральной характерен «сохраняющий» (а для высших ступеней эволюции – безопасный) тип прогрессивного перманентного развития, когда, например, отдельные, выбранные по тем или иным обстоятельствам биологические или социальные системы в ходе эволюции сохраняются и продолжают свое существование через самоорганизацию после очередной бифуркации.

Перманентная прогрессивная эволюция представляет собой «безопасный» тип самоорганизации, ведущий к появлению новых, более высоких структурных уровней и ступеней развития материальных систем.

Подобная картина усложнения (эволюции) материальных систем противоречит второму началу термодинамики, согласно которому любая замкнутая система со временем переходит в состояние с наибольшим значением энтропии. Однако процесс усложнения материи и появление ее эволюционных рядов показывает, что во Вселенной в целом процессы возрастания энтропии не превалируют и нельзя говорить о тепловой смерти Вселенной, по крайней мере, начиная с Большого взрыва (около 13,8 млрд лет назад). Это также означает, что наша Вселенная является не замкнутой, а открытой системой. Существуют различные аспекты открытости Вселенной в пространстве и во времени, например, есть точка зрения, что наша Вселенная не предельно общая эволюционирующая система всех материальных систем, а лишь часть Супервселенной (Мультиверса), в которой есть и необитаемые локальные вселенные, может быть, представляющие собой для нашей Вселенной ресурс негэнтропии. Нужно также иметь в виду, что наши знания (в том числе и о глобальной эволюции) основаны на изучении всего нескольких процентов мироздания, именуемой вещественной Вселенной. Утверждению об открытости Вселенной следует придать фундаментальный общенаучный характер и это приводит к очень важным следствиям: открытость нашей Вселенной и процессы эволюционного усложнения, прогрессивная направленность развития в природе имманентно связаны.

Эволюционизм развивается как широкая общенаучная мировоззренческая и методологическая концепция, имеющая, в частности репрезентации в формах эволюционики (или эволюционистики) и универсального (глобального) эволюционизма как ее части, но наиболее важной в научном плане. В эволюции как развитии в широком смысле слова происходят конфликты, кризисы, разрушения систем и т.д. Однако при выходе на путь магистральной линии этой эволюции (супермагистраль) идет своего рода отбор, когда «способность к будущему» обретают лишь усложняющиеся, обогащающие свое информационное содержание материальные структуры (мы рассматриваем информацию как всеобщее свойство материи). Эти структуры после всех взаимодействий (в том числе и кризисно-конфликтных) переходят к коэволюционным взаимодействиям с другими из окружающих их материальных структур, составляющих среду существования. Этого «требует» странный аттрактор, позитивно влияющий на процесс самоорганизации эволюционирующей структуры: ведь некоэволюционные структуры после фазы бифуркации разрушаются. Коэволюционирующие и, тем самым, сохранившиеся материальные структуры в весьма узком (и далее все более сужающемся) диапазоне, или «коридоре безопасности», получают возможность продолжать эволюционную «эстафету» на супермагистрали глобальной эволюции.

Имеют ли место кризисы и катастрофы на самой супермагистрали – вопрос не простой, и пока он не имеет однозначного ответа. Вокруг супермагистрали имеют место различные типы и формы развития, и это вполне понятно. Причем сама супермагистраль существует за счет всей остальной Вселенной – это следует из основополагающих положений синергетики и космологии. Все же можно предположить, что на супермагистрали происходит только перманентное накопление информационного содержания самоорганизующихся систем, и чисто логически здесь не должно быть «информационных провалов», потери негэнтропии, поскольку это чревато исчезновением свойства непрерывности супермагистрали, которая существовала с самого начала Большого взрыва и существует в настоящее время.

В плане принципов сохранения особый интерес приобретает проявляющийся в глобально-эволюционных процессах принцип преемственности, согласно которому накопленное эволюционирующей системой содержание включается в новые более высокие структуры, и тем самым «канализируется» эволюционная траектория.



Сохранение накопленного ранее информационного содержания в эволюционирующей системе играет детерминирующую роль в дальнейших процессах развития, обуславливая не случайный, а преимущественно «комбинаторный» ход эволюции, в том числе и глобальной эволюции. Этот принцип ряд ученых именуют эволюционным консерватизмом, который является, по мнению А.Д.Панова, фундаментальным инвариантом универсальной эволюции. Для действия этого принципа важно, чтобы конкретная материальная система не просто сохранялась, но и включалась бы в том или ином сохраненном виде в процессы самоорганизационно-прогрессивного развития, что и происходит на супермагистрали глобальной эволюции. Именно на этой супермагистрали происходит включение предшествующих структурных уровней и ступеней развития материи в последующие, более высокие и сложные.

Этот принцип преемственности сохранения, позже получивший наименование принципа «эволюционного консерватизма», согласно Э.М. Галимову, выражается во включении уже созданных форм упорядочения в низкоэнтропийной структуре следующего поколения». Принцип характеризует одну из наиболее важных тенденций глобально-эволюционного процесса и, несомненно, действует на уровне биологических, социальных и других постбиотических кибернетических систем. Для того чтобы кибернетическая система (т.е. самоуправляемая или управляемая система) перманентно обеспечивала свою безопасность, важно, чтобы во всех процессах эволюции она оставалась инвариантной, самосохранялась, переходя из прошлого через настоящее в будущее.

Однако и здесь существует определенная мера, а именно: прогрессивное развитие должно быть устойчивым, не выходить за определенные пределы скорости эволюции (несмотря на свое ускорение) и другие темпоральные (и иные) параметры. Именно этот тип прогрессивного развития может быть назван устойчиво-эволюционным развитием, или применительно к социоприродным системам – просто устойчивым развитием.

Сохранение материальных систем так или иначе реализуется в тенденции к увеличению длительности их существования. Бытие и время «объединяются» в том, что бытие «стремится» как можно дольше продлиться и тем самым материальная система сохраняется как можно дольше. Но такое бытие через сохранение в вещественной Вселенной возможно в какой-то окружающей среде, которая обеспечивает существование и ряду из них – сохранение в своей относительно изолированной системе. Необходимо обратить внимание на то, что для сохранения элемента или части экосистемы важно, чтобы эта экосистема была в ряде отношений стабильно-устойчивой, какой и стала наша Вселенная вскоре после Большого Взрыва, когда сформировались фундаментальные физические взаимодействия и константы.

Супермагистраль (в каком-то смысле мейнстрим) глобальной эволюции выявляется эмпирическим путем как непрерывная траектория прогрессивной самоорганизации, идущая от низших уровней и ступеней материальных образований к высшим. При этом используется своего рода принцип презентизма (видящий прошлое в уже свершившемся настоящем), когда настоящее оказывает влияние на репрезентации прошлого. В научных исследованиях (в диссертационных исследованиях это обязательно) презентизм проявляется в том, что современное состояние проблемы как бы в свернутом виде содержат в себе их более ранние, предшествующие формы. При этом далеко не все, что уже произошло в эволюционных процессах во Вселенной, находится на супермагистрали, многие эволюционные феномены остаются вне этой магистрали.

В биологической эволюции на прогрессивное направление эволюционного процесса в определенной степени указывает биогенетический закон Геккеля-Мюллера («Онтогенез есть быстрое и краткое повторение филогенеза»). Т.е. согласно этому закону, каждое живое существо в своем онтогенезе повторяет в известной степени (в измененном и сокращенном виде) формы, пройденные в филогенезе. Такое повторение признаков предков в ходе индивидуального развития отдельной особи Геккель назвал

рекапитуляциями (которые могут быть только частичными). Это определенное свидетельство происхождения животных одного типа от общего предка, причем речь идет не о признаках взрослых особей предков, а только их зародышей.

Однако на супермагистрали оказывается лишь та линия, которая характерна лишь для человека, зародыш которого в процессе эмбриогенеза имеет на ранних стадиях развития признаки, характерные для рыб, затем он превращается из рыбоподобного организма в организм, подобный зародышу обезьяны, впоследствии приобретая уже человеческие черты.

Супермагистраль направлена из прошлого возникших живых систем к человеку и отсекает множество других семейств, видов и даже царств живых существ. На это в какой-то мере указывает биогенетический закон, но на его траектории, ведущей к человеку. Например, растения, насекомые и вообще членистоногие (видов которых среди животных более всего), по-видимому, находятся вне этой траектории, хотя и оказывают на нее определенное влияние.

Нечто подобное можно увидеть и на химической ступени эволюции, уже на уровне химических элементов, когда на супермагистраль попали не все химические элементы. Из существующих в природе и открытых более 110 элементов более десятка из них не имеют никакого значения для функционирования живых организмов. Только 81 элемент в той или иной степени принимает участие в формировании и функционировании живого организма. Основными являются такие химические элементы как водород (возникший в первые доли секунд появления нашей Вселенной после Большого Взрыва), углерод, кислород и азот, а другие, нередко находясь совсем в микроскопических количествах в организме (например, имеются следы никеля, кобальта, молибдена и других металлов, образовавшихся на звездной стадии эволюции), воздействуют на здоровье человека, когда избыток либо недостаток какого-либо элемента оказывается причиной того или иного заболевания, причем при определенном содержании являются даже ядами (ртуть, мышьяк, таллий, полоний, особенно высокотоксичен его изотоп полоний-210 и т.п.).

Говоря о понятии прогресса, мы обратили внимание, прежде всего на то, что при прогрессивном развитии идут процессы самоорганизации, усложнения, повышения степени организации. Эти характеристики данного направленного процесса не зависят от субъективно-ценностной точки зрения, например, от антропоцентрической его ориентации. Причем из этой характеристики прогресса следуют некоторые важные последствия, которые можно выявить, лишь проследив всю ту известную линию прогрессивного развития, которую мы именуем супермагистралью.

Если мы будем рассматривать длительность существования организмов, их популяций (видов), родов, биоценозов, то здесь намечается весьма простая зависимость, а именно: длительность существования биологической системы увеличивается с ростом ее информационного содержания.

На это также обратил внимание В.А.Красилов, обсуждая проблемы биоэволюции. «Попробуем оценить эволюцию не с позиции пчелы, рыбы или человека, — пишет этот автор, — а в отношении жизни как таковой — ведь речь идет именно об общем прогрессе жизни. Антиподом жизни является смерть. Следовательно, с точки зрения живого, смерть — это плохо, сохранение жизни, противостояние смерти — хорошо. *Прогресс* как движение от плохого к хорошему заключается в *сокращении и, в конечном счете, устранении смерти* (если эти рассуждения привели нас к стародавней мысли о том, что высшая цель жизни состоит в достижении бессмертия, то ничего плохого я здесь не вижу — древние обладали высокоразвитой интуицией в отношении телических процессов).

В ходе прогрессивного развития жизни организмы становятся *все более «живыми»*, уменьшается вероятность их гибели от непредвиденных причин... Высшие организмы могут называться так не потому, что они сложнее, или эффективнее, или ближе к нам, а потому, что платят меньшую дань смерти. В биосфере непрерывно происходит отмирание, обесценение живой энергии — производство энтропии, в терминах

термодинамики. Прогресс, как и в любой развивающейся системе, заключается в сокращении производства энтропии».

Важно то, что прогресс при его перманентном продолжении создает некоторую траекторию, на которой возникающие на более высокой ступени или уровне эволюции материальные системы увеличивают возможность своего все более стабильного состояния по сравнению с им предшествующими уровнями и ступенями. Что касается человека, то продление его жизни характеризуют социальный прогресс, достигаемый в том или ином социуме, а возможность увеличения длительности существования человеческого рода представляется как стремление к социальному бессмертию.

Супермагистраль имеет два периода (направления, рукава), связанные с влиянием тяготеющей темной массы, плотность которой упала до современного значения и начали преобладать силы антигравитации темной энергии в нашей Вселенной). Первый рукав (направление), начиная от Большого Взрыва до образования звезд, характеризуется замедлением эволюции и он не требовал внешних источников энергии в пространственном смысле. Второй рукав (когда начинает доминировать антигравитация – около 7 млрд лет тому назад) характеризуется сложными нелинейными процессами, где важную роль играет открытость систем и где процесс саморазвития за счет этого ускоряется. Временная граница между этими рукавами (периодами, направлениями) связана с эволюцией звезд, когда в них возникают тяжелые химические элементы и которые в дальнейшем для своего существования не требуют звездных условий и могут существовать уже вне «колыбели», сами по себе, например, на планетах, где происходит наиболее активная химическая эволюция. Два рукава универсальной эволюции оказались случайно связанными и именно в это время переходной процесс от первого рукава ко второму, именуемый «слабым консервативным переходом», характеризуется снижением стабильности эволюционирующих систем.

Но если в неживой природе «вещественной» Вселенной рост информационного содержания в первом рукаве универсальной эволюции приводит к снижению устойчивости, то в живой природе структурные единицы и тем более ступени эволюции материи увеличивают не только скорость усложнения, но и временной интервал устойчивости конкретных материальных систем. Здесь на первый план в эволюционных процессах выступает информация (разнообразие), которая вела себя весьма индифферентно в первом рукаве. В ходе самоорганизации появляются особые информационные системы и механизмы управления, которые замещают короткоживущие элементы (молекулы, клетки) и трансформируют другие в сторону увеличения срока их функционирования. Это принципиально новый способ самосохранения материальных систем, не требующий «неизменности» космического вакуума (антигравитирующей темно-энергетической формы материи) либо «слабой» неизменности тяготеющей темной массы Вселенной. Управление, ограничивая разнообразие и свободу выбора путей эволюции, негативно влияющих на сохранение живой системы, способствует росту информационного содержания конкурентоспособных систем в «разрешенном», но все более сужающемся эволюционном коридоре и тем самым выполняет свою антиэнтропийную роль.

Космический и планетарный аспекты глобальных процессов

Ряд авторов относят термин «глобальный» к широким масштабам Вселенной или даже Мультиверса, т.е. в космолого-космическое измерение, и здесь пока нет общепринятых мнений по поводу использования обсуждаемых понятий. Поэтому термин «глобальный эволюционизм» и «универсальный эволюционизм» используется в одинаковой степени для характеристики перманентной прогрессивной эволюции в мироздании. Само же понятие «глобальный» в этом широком смысле не соотносится только с исследованиями планетарных процессов, как это принято в глобалистике, изучающей глобализацию, глобальные проблемы и другие общепланетарные процессы на нашем земном шаре. Здесь термин «глобальный» может выходить за пределы своего

«планетарно-земного» значения и устремляться в космические пространства, как это сплошь и рядом встречается в астрономии и космических и космизирующихся областях научных исследований.

В качестве примера приведем такую дисциплину как современная космология. Так, в разделе коллективной монографии, написанном таким известным ученым как А.Д. Чернин, имеется фрагмент, который озаглавлен «Глобальное и локальное» [\[17, с. 431-434\]](#). Эти понятия имеют в трактовке упомянутого ученого вовсе не те значения, которые используются в глобалистике, они относятся к космосу, причем глобальное относится ко всей Вселенной, а отнюдь не к земному шару. В этой статье используется и термин «глобальная космология» (впрочем, не только в этой книге и не только этим ученым).

Считать же, что во всей науке следует употреблять термины «локальное» и «глобальное» в том же смысле, что и в глобалистике, было бы наивно. Эта омонимия проявляется достаточно часто и на это важно обратить внимание, поскольку, например, глобальный эволюционизм очень часто также именуют универсальным эволюционизмом. В данном случае термин «универсальный» берет начало от лат. *universalis* в значении всеобщего, всеобъемлющего, распространяющегося на всю Вселенную. Вместе с тем сторонники иного наименования могут ссылаться на то, что во французском и даже английском языках термин *global* имеет смысл всеобщего, взятого в целом, простирающегося на Вселенную, все мироздание в целом.

То, что глобальные феномены стали изучаться лишь в последние несколько десятилетий, вовсе не означает, что они не имели место раньше в иной эволюционной форме. Особенно это относится к глобальным природным процессам, например, к взаимодействию основных геосфер, коэволюция которых привела к современному геологическому состоянию планеты Земля. А биологическая эволюция, начавшаяся около 4 млрд лет назад, оказала значительное влияние на ранее существовавшие планетарные процессы, сформировав даже новую планетарную оболочку – биосферу, которая представляет основной интерес для оценки общепланетарного коэволюционного развития.

Постастрономическая история Земли началась с догеологического (катархей) этапа планетарной эволюции, продолжавшегося около 200 млн лет, затем последовал докембрийский этап (эон), занявший 85% времени существования планеты и предшествующий кембрийскому периоду последующего мегаэтапа – фанерозоя, начавшегося 570 млн лет назад. В геологической эволюции на определенном довольно раннем этапе примерно 3,85 млрд лет тому назад появляется жизнь, а порядка миллиона-сотен тысяч лет тому назад из нее выделяется древнее человечество (социальная ступень эволюции). Этот период характеризуется не только появлением разумных существ на планете, но также их взаимодействием с природой с помощью тех или иных способов и механизмов антиэнтропийной активности, направленных на выживание формирующегося социального организма пока еще не представляющего единого целого в планетарном плане (но подчиняющегося единым социальным законам развития).

Цивилизация уже оказывает большее влияние на природные планетарные процессы, особенно в последние столетия, вызвав все более обостряющийся глобальный антропогенный кризис. Человечество в рамках биосферы сформировало социосферу, которая эволюционным путем будет превращаться в ноосферу, захватывая не только глобальные, но в отдаленной перспективе и космические пространства. Социосфера обнаруживает ярко выраженную тенденцию все большего охвата земной поверхности и даже выхода за пределы планеты, в результате чего ряд глобальных процессов продолжат свое космическое продолжение.

Общепланетарный смысл антропосферогенеза, превратившего человечество в мощную геологическую силу, в частности, состоит в том, что оно стало фактором глобальных эволюционных процессов, уже сравнимым с жизнью. По массе извлекаемого и перерабатываемого сырья (100 Гт/год) хозяйственная деятельность человека пока занимает промежуточное положение между синтезом органического вещества биотой –

порядка 1000 Гт/год и вулканической деятельностью, дающей порядка 10 Гт/год вулканического вещества. Тем самым мощность биоты на порядок выше геологической активности человечества. Превращение человечества в геологический фактор эволюции на Земле потребовало соответствующего, уже не локального либо регионального, а глобального рассмотрения его дальнейшего развития и взаимодействия с природой планеты.

Многие глобальные процессы, включая глобальные проблемы и глобализацию, сейчас уже можно видеть не только в ином масштабе, но и в социоприродном ракурсе. Например, глобализация большинством ученых рассматривается только в антропо- или социоцентрической «системе координат» и представляется лишь как стремление-тенденция человечества к усилению взаимосвязей между своими компонентами, что ведет к единству цивилизации. Глобализация как форма глобального развития (эволюции) видится в череде процессов, которые в последние десятилетия или столетия имели место в основном в социальных трансформациях, имеющих отношение к экспансии в основном европейцев по земному шару, и других интерсоциальных взаимодействиях. Однако важно видеть этот процесс и в социоприродном ракурсе, причем такой подход необходим и для эволюционного видения глобалистики, поскольку он требует более широкого взгляда на развитие общепланетарных феноменов.

Ведь вначале планетарные процессы были природными, а с появлением социальной ступени эволюции возникли социальные и социоприродные процессы, для которых все предыдущие природные глобальные процессы были естественной базой их существования и последующей социоприродной эволюции. Существенно большую часть времени прошедшей планетарной эволюции занимали природные глобальные процессы, как процессы общепланетарного, или глобального развития. Этот тип развития был принципиально разным до появления жизни, а затем и человечества, но так или иначе появление более высоких по степени развития уровней и ступеней эволюции материи происходил при коэволюционном взаимодействии основных оболочек планеты. Все существовавшие глобальные процессы (общепланетарные природные, социальные и социоприродные процессы, развертывающиеся на Земле) в широком смысле вполне можно интерпретировать как механизмы глобальной коэволюции геосфер.

Глобальные процессы в эволюционно-темпоральном ракурсе можно разделить на начавшиеся и завершившиеся в прошлом (их исследует палеоглобалистика), происходящие в современную историческую эпоху, и те глобальные процессы, которые появятся или развернутся в будущем (эти последние окажутся в предметном поле футуроглобалистики). К наиболее важным будущим социоприродным глобальным процессам, которые уже сейчас исследует футуроглобалистика, следует отнести общепланетарный переход к устойчивому развитию, и, как его естественное продолжение – ноосферогенез.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **2.1 Практическое занятие №1 ( 2 часа).**

**Тема: Естествознание и научная картина мира**

#### **2.1.1 Задание для работы:**

1. Наука: форма знания, вид духовной культуры человека и социальный институт.
2. Естественнонаучная и гуманитарная культуры, соотношение науки, культуры и религии.
3. Уровни и элементы (формы) научного познания.
4. Методы научного познания (исследования).
5. Предмет естествознания, содержание и место среди других наук.

6. Общая панорама современного естествознания.

7. Общие закономерности и темпы развития естествознания, научные картины мира, научные революции.

8. Историческая логика развития естествознания, единство эволюционного и революционного путей его развития.

9. Историческая смена естественнонаучных картин мира: доклассический этап развития естествознания, этап классического естествознания, современное естествознание.

### **2.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.1.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.2 Практическое занятие №1 ( 2 часа).**

**Тема:** Физика: концепции классического и современного естествознания

### **2.2.1 Задание для работы:**

1. Физика, основные этапы её развития.
2. Материя, структурные уровни её строения и организации, её дискретность и непрерывность.
3. Классическая физика, её основные законы, механистическая картина мира.
4. Релятивистская физика: принцип относительности, теории относительности, концепции пространства и времени в современном естествознании.
5. Квантовая физика: полевая концепция описания свойств материи, корпускулярно-волновой дуализм.
6. Вероятностный характер процессов микромира, принципы дополнительности и неопределённости.
7. Строение атома, атомного ядра, элементарные частицы, их многообразие и единство.
8. Физические взаимодействия, близкое действие, дальное действие.
9. Динамические и статистические закономерности в природе.
10. Законы сохранения, принципы симметрии.

### **2.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.2.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.3 Практическое занятие №3 ( 4 часа).**

**Тема:** Современные концепции мегамира

### **2.3.1 Задание для работы:**

1. Вселенная, её элементы и строение.
2. Происхождение Вселенной, классическая и современные модели её эволюции. 3. Антропный принцип в космологии.
4. Строение и эволюция галактик и звёзд.
5. Солнечная система как часть Вселенной: происхождение, строение, эволюция.

### **2.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.3.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.4 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Земля как объект мега- и макромира**

### **2.4.1 Задание для работы:**

1. Характеристика Земли как космического объекта.
2. Происхождение планеты Земля, её эволюция.
3. Возникновение и динамика взаимосвязанных геосфер – литосферы, гидросферы, атмосферы, магнитосферы и биосферы.
4. Недра Земли.
5. Тектоника литосферных плит.

### **2.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.4.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.5 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Химические концепции в естествознании**

### **2.5.1 Задание для работы:**

1. Химия как наука, её развитие, основные законы и принципы.
2. Химические элементы и соединения, их распространение в природе и синтез.
3. Химические процессы, их законы и энергетика.
4. Направление и скорость химических реакций.
5. Реакционная способность веществ и катализ.
6. Эволюционная химия и проблема лаборатории живого организма

### **2.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.5.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.6 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Особенности биологического уровня организации материи**  
**2.6.1 Задание для работы:**

1. Специфика организации живого, отличие живого от неживого.
2. Самовоспроизводство жизни, генетика, селекция, геномная и клеточная инженерия.
3. Проблема и гипотезы возникновения жизни, исторические этапы её развития.
4. Эволюционная идея в биологии, современная (синтетическая) теория эволюции.
5. Концепция коэволюции живых организмов.

### **2.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.6.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.7 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Сущность, происхождение, эволюция человека**

### **2.7.1 Задание для работы:**

1. Человек: сходство и отличие от животных, происхождение, биологическая и социальная эволюция.
2. Человек: анатомия, физиология, здоровье, мозг и сознание, эмоции, творчество и работоспособность.
3. Социобиология
4. Этнология.
5. Биоэтика.

### **2.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.7.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.



## **2.8 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Система «природа–биосфера–человек» и противоречия в этой системе(4ч.):**

### **2.8.1 Задание для работы:**

1. Уровни организации живых систем.
2. Окружающая среда, экология, экологические факторы, экосистемы.
3. Биосфера, её возникновение и организация.
4. Эволюция биосферы, её современное состояние.
5. Многообразие живых организмов и устойчивость биосферы.
6. Взаимосвязь космоса и живой природы.
7. Человек и биосфера, трансформация биосферы в ноосферу.
8. Современная экологическая ситуация на планете, экологический кризис.
9. Экологическая обстановка в Российской Федерации и Оренбургской области: проблемы и перспективы.
10. Пути выхода из экологического кризиса, гуманистический аспект экологических проблем.

### **2.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.8.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

## **2.9 Практическое занятие №4 ( 4 часа).**

**Тема: Концепции сложноорганизованных систем(6ч.):**

### **2.9.1 Задание для работы:**

1. Самоорганизация в живой и неживой природе.
2. Синергетика как наука.
3. Порядок и беспорядок в природе. Хаос. Энтропия.
4. Кибернетика как наука.
5. Концепция универсального эволюционизма.

### **2.9.2 Краткое описание проводимого занятия:**

В качестве задания студентам предложено раскрыть вопросы практического занятия. При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

С помощью устного опроса оценить уровень усвоения студентами изученного материала.

1. Устный опрос и (или) тестирование по теме занятия.

### **2.9.3 Результаты и выводы:**

Усвоение студентами знаний по теме практического занятия.

Разработал: \_\_\_\_\_ М.И. Машенков