Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.А. БОРЫНЯК, Г.Ф. СИВЫХ, Н.В. ЧИЧЕРИНА

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2014

УДК 5(075.8)
Б 839

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *А.В. Баранов*; канд. техн. наук, доцент *Б.Б. Горлов*

Работа подготовлена на кафедре общей физики для студентов, обучающих по специальностям 030900.62 «Юриспруденция», 080200.62 «Менеджмент», 080500.62 «Бизнес-информатика»

Борыняк Л.А.
Б 839 Концепции современного естествознания : учеб. пособие / Л.А. Борыняк, Г.Ф. Сивых, Н.В. Чичерина. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – 196 с. : ил., 9 цв. ил.

ISBN 978-5-7782-2540-4

Учебное пособие ориентировано на студентов гуманитарных специальностей, изучающих предмет «Концепции современного естествознания». Пособие включает краткую теорию и примеры тестовых заданий по предмету.

Структура изложения и форма подачи материала в первую очередь решают задачу помочь студентам качественно подготовиться к федеральному интернет-тестированию по предмету.

Пособие будет полезным в подготовке к практическим (семинарским) занятиям и итоговым зачетным мероприятиям.

Борыняк Леонид Александрович
Сивых Геннадий Федорович
Чичерина Наталья Витальевна

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Редактор *М.А. Кантурова*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Корректор *И.Е. Семенова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 17.10.2014. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 150 экз.
Уч.-изд. л. 11,39. Печ. л. 12,25. Изд. № 327/13. Заказ № 1200. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

УДК 5(075.8)

ISBN 978-5-7782-2540-4

© Борыняк Л.А., Сивых Г.Ф., Чичерина Н.В., 2014
© Новосибирский государственный технический университет, 2014

Введение

Концепция (от лат. *conceptio* – понимание, система):

- определенный способ понимания, трактовки каких-либо явлений;
- основная точка зрения, руководящая идея, ведущий замысел;
- система взглядов (теории, законы, модели, гипотезы).

Естествознание («*естество*» – природа, знание о Природе) возникло из натурфилософии (философии природы). В латинском языке слово Природа обозначается словом *natura*.

Примерно до XV столетия на основе наблюдений формировались представления об окружающем Мире как о едином целом. Это был период наблюдений и рассуждений, догадок и сопоставлений, отраженных в натурфилософии. Натурфилософское представление о Природе порой содержало много вымышленного, фантастического, далекого от действительного понимания мира. С современной точки зрения натурфилософия была даже не наукой, а умозрительным толкованием природы. Но именно в натурфилософии зародились зачатки рационального объяснения природы.

Постепенно такое описание природы стало вытесняться экспериментальным изучением ее законов. Естествознание превратилось в истинную науку с того момента, когда смогло опереться на эксперимент. Использование специально продуманных вопросов природе (экспериментов) привело к возникновению физики – первой науки о Природе (от греч. *φύσις* – природа). Сейчас физика продолжает занимать главное, лидирующее место в системе естественно-научного знания, является базой – основой всего современного естествознания.

Природа (Мир, Вселенная, материя) очень многообразна по видам природных объектов, их свойствам, формам их движения. Поэтому в процессе ее познания появились и другие науки: химия, биология, астрономия, география, геология и многие другие. Затем и они начали дробиться на новые разделы и направления. Так сформировалась целая **система естественных наук**. Каждая из них занимается изучением каких-либо конкретных свойств Природы, изучает какую-либо специ-

фическую форму движения (изменения, развития) материи. Можно сказать, что каждая отдельная наука подобна прожектору, высвечивающему определенные области, представляющие интерес для ученых в данный момент времени.

Разделение наук привело к существенной дифференциации знаний (дифференциáция (от франц. *différentiation*, от лат. *differentia* – разность, различие) – разделение, расчленение, расслоение целого на различные части, формы и ступени). Однако Природа едина – это целостная, развивающаяся суперсистема, в которой все связано со всем. Поэтому, с современной точки зрения, единым должно быть и представление об окружающем мире, которое и призвано дать современное естествознание.

Современное естествознание – это не просто механическая совокупность наук о природе, это наука, исследующая Природу как единое целое.

Предметом изучения естествознания является Природа – материя и формы ее движения.

Цели естествознания:

1) раскрытие сущности явлений природы, познание ее законов и предвидение на их основе новых явлений;

2) указание на возможность использования на практике познанных законов природы;

3) **поиск единого основания** – главной концепции природы, обусловливающей бесчисленное разнообразие явлений природы и ее основных законов, связывающих микро-, макро- и мегамиры.

Естествознание является и важнейшей частью духовной культуры человечества. Знание его современных фундаментальных научных положений, мировоззренческих и методологических выводов является необходимым элементом общекультурной подготовки специалистов в любой области деятельности. Именно поэтому в гуманитарных вузах и на гуманитарных специальностях был введен курс «Концепции современного естествознания».

Курс необходим для подготовки высококвалифицированных специалистов, способных решать профессиональные проблемы, требующие широты мышления. Изучение курса КСЕ способствует формированию у студентов научного мировоззрения и теоретического мышления, способности применять естественно-научные знания в своей профессиональной деятельности.

По своему содержанию курс КСЕ является интегративным. Предмет и содержание учебной дисциплины «Концепции современного

естествознания» определены Государственным стандартом высшего профессионального образования.

Общая структура курса КСЕ

Номер раздела	Наименование раздела ГОС	Номер темы	Название темы
I	Эволюция научного метода и естественно-научной картины мира	1	Научный метод познания
		2	Естественно-научная и гуманитарная культуры
		3	Развитие научных исследовательских программ и картин мира (история естествознания, тенденции развития)
		4	Развитие представлений о материи
		5	Развитие представлений о движении
		6	Развитие представлений о взаимодействии
II	Пространство, время, симметрия	7	Принципы симметрии, законы сохранения
		8	Эволюция представлений о пространстве и времени
		9	Специальная теория относительности
		10	Общая теория относительности
III	Структурные уровни и системная организация материи	11	Микро-, макро-, мегамиры
		12	Структуры микромира
		13	Химические системы
		14	Особенности биологического уровня организации материи
IV	Порядок и беспорядок в природе	15	Динамические и статистические закономерности в природе
		16	Концепции квантовой механики
		17	Принцип возрастания энтропии
		18	Закономерности самоорганизации. Принципы универсального эволюционизма

Окончание таблицы

Номер раздела	Наименование раздела ГОС	Номер темы	Название темы
V	Панорама современного естествознания	19	Космология (мегамир)
		20	Геологическая эволюция
		21	Происхождение жизни (эволюция и развитие живых систем)
		22	Эволюция живых систем
		23	История жизни на Земле и методы исследования эволюции (эволюция и развитие живых систем)
		24	Генетика и эволюция
VI	Биосфера и человек	25	Экосистемы (многообразие живых организмов – основа организации и устойчивости живых систем)
		26	Биосфера
		27	Человек в биосфере
		28	Глобальный экологический кризис (экологические функции литосферы, экология и здоровье)

Представленная структура легла в основу данного учебного пособия.

Приведенная ниже таблица отражает требования к знаниям и умениям (оцениваемым в ходе интернет-тестирования по курсу КСЕ), которые должен приобрести студент после завершения изучения отдельных тем курса.

Номер раздела	Номер темы	После завершения изучения темы студент должен:
I	**1**	***знать***: уровни научного познания (эмпирический, теоретический); свойства научного знания; определения (суть) методов научного познания; требования к научным гипотезам; принцип соответствия, область применимости теории

Продолжение таблицы

I	2	***знать***: предмет естествознания, математики и гуманитарных наук; процессы интеграции и дифференциации наук; отличия гуманитарно-художественной культуры от научно-технической; отличительные признаки псевдонауки
	3	***знать***: понятие научной картины мира; названия и периодизацию основных естественно-научных картин мира; фундаментальные вопросы, на которые отвечает научная картина мира; ***уметь***: сопоставлять основные элементы исторических и современных научных картин мира (синхронически и диахронически)
	4	***знать***: понятия о формах материи; представления о материи в античный период и в научных картинах мира (механической, электромагнитной, современной); спектр электромагнитного излучения; эффект Доплера; атомно-молекулярное учение; учение о составе и о строении вещества
	5	***знать***: понятия состояния и движения как изменения состояния; представления о движении в античный период и в научных картинах мира; формы движения материи (механическую, биологическую, химическую), их многообразие; суть первого и второго законов Ньютона; волновые процессы (дифракция, интерференция)
	6	***знать***: представления Аристотеля о взаимодействии; представления о взаимодействии в научных картинах мира (механической, электромагнитной, современной); виды фундаментальных взаимодействий; принципы дальнодействия, близкодействия; полевой и квантово-полевой механизмы передачи взаимодействия; частицы-переносчики фундаментальных взаимодействий; ***уметь***: выбирать среди предложенных объекты, стабильность которых обеспечивается конкретным видом взаимодействия
II	7	***знать***: понятие симметрии в естествознании; симметрии пространства и времени; связь симметрий с законами сохранения; законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и соответствующие симметрии пространства, времени; понижение симметрии в ходе развития, эволюции; ***уметь***: сопоставлять конкретный закон сохранения с соответствующей симметрией пространства-времени
	8	***знать***: историю развития представлений о пространстве и времени; взгляды древнегреческих атомистов, Аристотеля, И. Ньютона на природу пространства и времени; сущность концепции мирового эфира и причины отказа от нее; отличия современных научных представлений о пространстве и времени от представлений прошлых эпох

Продолжение таблицы

II	**9**	***знать***: постулаты А. Эйнштейна (принцип относительности, принцип инвариантности скорости света); основные релятивистские эффекты – следствия из постулатов А. Эйнштейна: относительность одновременности, расстояний, промежутков времени; инвариантность интервала, причинно-следственных связей, единство пространства и времени; невозможность сверхсветовых скоростей; эквивалентность массы и энергии; ***уметь***: приводить примеры, для которых предсказания специальной теории относительности (СТО) и классической механики совпадают и не совпадают
	10	***знать***: принцип эквивалентности гравитационного поля и поля сил инерции; взаимосвязь материи и пространства-времени, эмпирические доказательства общей теории относительности (ОТО); соответствие ОТО и классической механики
III	**11**	***знать***: масштабные уровни материи и критерии подразделения; основные структуры микро-, макро- и мегамира; атрибуты планеты, звезды, галактики; характеристики нашей Галактики; пространственные масштабы Вселенной; ***уметь***: сопоставлять основные масштабные уровни материи с их характеристиками и соответствующими структурными элементами
	12	***знать***: иерархию структур микромира; основные элементарные частицы, критерии их классификации; фундаментальные (истинно элементарные) частицы; основные законы природы, определяющие возможность и ход процессов в микромире
	13	***знать***: понятия «химический элемент», «атом», «изотопы», «молекула», «вещество», «мономер», «полимер», «катализатор», «биокатализатор»; качественный и количественный состав вещества; современные представления о строении атома
	14	***знать***: иерархическую организацию уровней живого; признаки и свойства живых систем; химический состав живого, особенности атома углерода, биополимеров, воды; хиральность молекул живого; целостность живых систем; ***уметь***: составлять последовательность иерархии живой материи; анализировать свойства, признаки живого, особенности химического состава на конкретных примерах
IV	**15**	***знать***: суть концепции механического детерминизма; динамические теории как детерминистское описание природы, их примеры; статистические теории, описывающие системы с хаосом и беспорядком, их основные понятия и примеры; динамический хаос, его отличие от беспорядка, соответствие динамических и статистических теорий; причины несостоятельности механического детерминизма даже для динамических систем

IV	**16**	***знать***: основные экспериментальные доказательства волновой и корпускулярной стороны микрочастиц, корпускулярно-волновой дуализм как всеобщее свойство материи; соотношение неопределенностей (координата – импульс); формулировку принципа дополнительности в узком (квантово-механическом) смысле; примеры проявления принципа дополнительности в широком смысле (необходимость несовместимых точек зрения для полного понимания любого предмета или процесса); статистический характер квантового описания природы
	17	***знать***: основные формы энергии; первый закон термодинамики; формулировки первого и второго законов термодинамики, эквивалентность различных формулировок второго закона термодинамики; основные свойства энтропии (измеряемая физическая величина, мера некачественности энергии, мера молекулярного беспорядка, мера отсутствия информации); возможность эволюции на фоне всеобщего роста энтропии
	18	***знать***: синергетику – теорию самоорганизации; самоорганизацию в природных и социальных системах; необходимые условия самоорганизации; основные понятия (диссипация, диссипативная структура, точка бифуркации) и закономерности самоорганизации; цели и принципы универсального эволюционизма
V	**19**	***знать***: предмет космологии; основные вехи развития натурфилософских и научных космологических представлений; основные наблюдаемые свойства Вселенной; расширение Вселенной; возраст Вселенной
	20	***знать***: внутреннее строение и историю геологического развития Земли, ее формирование и дифференциацию недр, химический состав; отличие Земли от других планет земной группы; методы определения внутреннего строения и возраста Земли; концепции развития геосферных оболочек и тектонику литосферных плит; структуру и химический состав атмосферы; циркуляцию атмосферы и климат Земли
	21	***знать***: исторические концепции происхождения жизни (креационизм, постоянное самозарождение, стационарное состояние, гипотеза панспермии, биохимическая эволюция); предпосылки и этапы возникновения жизни; методологические подходы в вопросе происхождения жизни (голобиоз, генобиоз)
	22	***знать***: теорию эволюции Дарвина; синтетическую теорию эволюции, ее основные положения об элементарных единице, материале, явлении, факторах; микро-, макроэволюции; основные атрибуты эволюции (самопроизвольность, необратимость, направленность)

Окончание таблицы

V	**23**	***знать***: понятия геологических эр и периодов, связь границ между эрами с геологическими и палеонтологическими изменениями; основные понятия, связанные с эволюцией жизни; важнейшие ароморфозы в истории жизни; основные таксономические группы растений, животных и последовательность их эволюции; методы исследования эволюции
	24	***знать***: основные понятия генетики; свойства генетического материала; изменчивость, ее типы: ненаследственную (модификационную, фенотипическую), наследственную (генотипическую, мутационную); мутации, их свойства и виды
VI	**25**	***знать***: понятие и признаки экосистемы, структуру экосистемы, виды природных экосистем, принципы функционирования; понятия пищевых цепей, пирамид, направления энергетических потоков в экосистемах; толерантность, пределы толерантности; ***уметь***: различать биотические, абиотические и антропогенные факторы; различать формы биотических отношений на примере конкретных организмов
	26	***знать***: биосферу как экосистему высшего ранга; состав и границы биосферы; вещество живое, биогенное, косное, биокосное; геохимические функции живого вещества; биогенную миграцию химических элементов в биосфере и ее принципы; ***уметь***: соотносить конкретные примеры с типами веществ биосферы
	27	***знать***: основные этапы эволюции рода Homo и его предшественников (стадиальную концепцию); виды (Человек умелый, прямоходящий, разумный); характерные особенности человека; возрастание роли социальных эволюционных факторов и ослабление биологических; неолитическую революцию и ее экологические последствия; коэволюцию человека и природы
	28	***знать***: понятия экологического кризиса, глобального экологического кризиса, его признаки и следствия, основные направления преодоления; понятие ноосферы, устойчивого развития; ***уметь***: определять вид загрязнения окружающей среды (ингредиентное, физическое, деструктивное), оценивать его возможные последствия

В заключение хотелось бы сделать небольшое, но очень важное замечание для изучающих данный курс. Для полноценного усвоения курса «Концепции современного естествознания» невозможно ограничиться исключительно данным пособием.

Курс насыщен определениями, понятиями, терминами из различных сфер естествознания, которые требуют от изучающих точного и глубокого их понимания. Поэтому от вас потребуется дополнительная самостоятельная работа со словарями, справочниками, энциклопедиями, учебниками, поисковая работа в интернет-ресурсах.

РАЗДЕЛ I

ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО МЕТОДА И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА

Тема 1. **НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ**

Наука – это многогранное явление:

- способ рационального познания мира;
- отрасль культуры;
- социальный институт (в это понятие входят не только высшие учебные заведения, но и научные общества, академии, лаборатории, журналы и т. д.).

Наука как способ рационального познания мира – особый вид человеческой познавательной деятельности, целью которой являются выработка и теоретическая интерпретация объективных, системно организованных и обоснованных знаний об окружающем мире.

1.1. Свойства научного знания

Объективность – независимость знания от личности исследователя и его индивидуальности, воспроизведение действительности такой, какой она существует сама по себе, независимо от человека и его сознания.

Достоверность научного знания означает, что оно обязательно обосновывается каким-либо способом – экспериментом или логическим доказательством.

Точность отражает степень близости знания к исследуемой реальности. Точность достигается однозначностью научного языка, четко фиксирующего смысл и значение понятий, и строгостью математического аппарата.

Системность – свойство научного знания, связанное со строгой структурной организацией самого знания, способов и средств познания. Научное знание всегда выступает в виде системы, в которой есть исходные принципы, аксиомы, постулаты. Есть знания, которые выводятся из принципов и аксиом по законам логики. Есть факты, полученные в результате опытов, математический аппарат, практические выводы и рекомендации. Существует отработанный механизм получения знаний, т. е. определенный социальный институт: лаборатории – институты – академии – библиотеки – информационные центры и многое другое. Системность реализуется в рамках системного подхода, т. е. объекты науки исследуются как сложные, взаимосвязанные системы, состоящие из множества взаимодействующих элементов.

1.2. Научный метод и уровни научного познания

Научный метод – процедура получения научного знания, с помощью которого его можно воспроизвести, проверить и передать другим.

В основе **научной деятельности** лежит следующая цепочка действий:

1) сбор фактов;
2) их систематизация;
3) критический анализ этих фактов;
4) на основе анализа – синтез новых знаний или обобщений, которые не только описывают наблюдаемые явления, но и позволяют объяснять их суть, строить причинно-следственные связи, прогнозировать новые явления;
5) проверка новых знаний экспериментом.

В структуре естественно-научного познания четко выделяются два уровня познавательной деятельности – эмпирический и теоретический, каждый из которых характеризуется особенными формами организации научного знания и его методами.

На эмпирическом уровне научного познания происходит сбор фактов, информации, их описание и систематизация. При этом получают фактологические знания. Теоретический уровень научного познания связан с обобщением, объяснением, когда выдвигаются гипотезы, формулируются законы, создаются теории. Поэтому эмпирический уровень называется кумулятивным (накопительным), а теоретический – преемственным.

Эмпирический уровень познания связан преимущественно с чувственным отражением бытия, теоретический – с рациональным.

На эмпирическом уровне научного познания используются такие методы, как наблюдение и эксперимент. На теоретическом уровне обращаются к абстрактным методам исследования – образованию понятий, построению гипотез, теорий. К научным методам теоретического уровня исследований относятся анализ и синтез, индукция и дедукция, а также абстрагирование, моделирование и аналогия.

1.3. Методы научного познания

Наблюдение – сбор первичной информации путем непосредственной, преднамеренной и целенаправленной регистрации исследователем событий, явлений и процессов, происходящих в определенных условиях.

Эксперимент – активное, целенаправленное изучение объекта в контролируемых и управляемых условиях. Эксперимент непременно должен обладать качеством воспроизводимости.

Наблюдения и эксперименты, как правило, сопровождаются измерениями. **Измерение** – сравнение искомой величины с другой однородной величиной, принятой за единицу (сравнение с эталоном). Результатом измерения является численное значение (количественное значение) измеряемой величины. Таким образом, в процессе измерения фиксируются количественные характеристики объекта при помощи различных измерительных приборов. Измерения не являются особым эмпирическим методом, а дополняют научные наблюдения и эксперименты.

Анализ – мысленное или реальное разложение объекта на составляющие части с целью их детального всестороннего изучения.

Синтез – мысленное или фактическое воссоединение целого из частей.

Индукция – процесс, в ходе которого логически обобщаются эмпирические данные и отдельные научные факты, познание движется *от частного к общему.*

Дедукция – процесс, в ходе познания движется *от общего к частному или менее общему.*

Абстрагирование – один из универсальных методов познания, основанный на выделении существенных свойств и связей предмета и отвлечении от других, несущественных.

Аналогия – прием познания, при котором на основе сходства или различия одних признаков нетождественных объектов делают заключение о сходстве или различии и в других признаках. Таким образом, аналогия это умозаключение от частного знания к частному.

Моделирование – исследование объекта (оригинала) путем создания и исследования его копии (модели), замещающей оригинал. Потребность в моделировании возникает тогда, когда исследование непосредственно самого объекта невозможно, затруднительно, дорого или требует слишком длительного времени (широкое применение в настоящее время получили методы математического моделирования). Моделирование может быть мысленным, физическим, математическим и численным (на ЭВМ). Метод моделирования непрерывно развивается.

1.4. Результаты научного познания

Результатами теоретического уровня познания становятся гипотезы, законы и теории.

Гипотеза – научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования. Если гипотеза выдерживает экспериментальную проверку, то она приобретает статус закона Природы, если нет – считается опровергнутой.

Пример. На основе обобщения накопленных научных фактов в начале XX века французским физиком Луи де Бройлем была выдвинута гипотеза об универсальном характере корпускулярно-волнового дуализма. Для проверки этой гипотезы был поставлен эксперимент по дифракции электронов. Результаты, полученные в ходе эксперимента, соответствовали теоретическим предсказаниям данной гипотезы.

Закон – выраженная математически или словесно связь между свойствами материальных объектов. Выявлению закона Природы предшествует напряженная мыслительная работа по обобщению, группировке, систематизации фактов, в которой применяются различные приемы мышления (аналитические и синтетические, индуктивные и дедуктивные и др.)

Примеры: периодический закон химических элементов Д.И. Менделеева, всеобщий закон природы – закон сохранения энергии, законы динамики Ньютона.

Теория – совокупность систематизированных знаний, дающих целостное представление о закономерностях определенной области действительности. Теория – вершина развития научного знания. Подлинная научная теория выявляет сущность исследуемых вещей, явлений и процессов природы.

Примеры: квантовая механика, теория, описывающая поведение объектов микромира, теория относительности Эйнштейна.

Принцип соответствия состоит в том, что никакая новая теория не может быть справедливой, если она не содержит в качестве предельного случая старую теорию, относящуюся к определенной области явлений. Новая теория не отбрасывает старую, а включает ее (как частный случай) для описания явлений в определенной ограниченной области.

1.5. Критерии и нормы научности

Принцип верификации (верифицируемости) (от лат. *verus* – истинный, *facere* – делать) заключается в том, что любая гипотеза, любое теоретическое положение должны быть проверены на практике. Принцип отрицает познавательную ценность положений, не проверенных опытным путем. Принцип верификации позволяет в первом приближении отграничить научное знание от явно ненаучного.

Еще один принцип, позволяющий разграничить науку и ненауку, предложен К. Поппером – **принцип фальсификации (фальсифицируемости)** (от лат. *falsificare* – подделываю, фальшь). Он гласит: критерием научного статуса теории является ее фальсифицируемость, или опровержимость. Иначе говоря, только то знание может претендовать на звание «научного», которое в принципе опровержимо. Фальсификация – это преднамеренное искажение каких-либо данных. Сам ученый и его оппоненты пытаются опровергнуть гипотезу или утверждение, и если это не удается, то она считается верной.

Два названных принципа, взятые вместе, позволяют произвести первичное разграничение научного и псевдонаучного знания.

Вопросы для самоконтроля

1. Под объективностью научного знания понимают:

1) однозначность языка, четко фиксирующего смысл и значение понятий;

2) необходимость обоснования путем экспериментального контроля и выводимости одних знаний из других, истинность которых доказана;

3) преемственность знаний, когда новые знания определенным образом и по определенным правилам соотносятся со старыми;

4) независимость научного знания от познающего субъекта.

2. Процесс научного познания начинается:

1) с наблюдения и сбора фактов;

2) с построения модели;
3) с постановки эксперимента;
4) с выдвижения гипотезы.

3. Метод познания, который сводится к расчленению целого предмета на составляющие части с целью их всестороннего изучения, называется:
1) формализация;
2) анализ;
3) синтез;
4) дедукция.

4. Согласно принципу верификации:
1) научное знание нельзя опровергнуть;
2) истинность гипотезы необходимо проверять на опыте;
3) научным может быть только принципиально опровергаемое знание;
4) ученый не должен пытаться опровергнуть свою гипотезу.

5. Принцип соответствия в науке означает:
1) соответствие методов исследования целям научных исследований;
2) связь научной картины мира с фундаментальными научными теориями;
3) соответствие теорий научным фактам;
4) сохранение прежних научных теорий как частного случая новых теорий.

Тема 2. **ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ КУЛЬТУРЫ**

Культура – все, что создано человеческим обществом благодаря физическому и умственному труду людей (в отличие от явлений природы).

Культура – самое развитое знание. Поэтому наука – это отрасль культуры человечества.

Естествознание – наука, исследующая Природу как единое целое.

Развитие естествознания идет как путем дифференциации (разделения, дробления на все более мелкие разделы и подразделы), так

и путем интеграции (сложения, объединения) знаний разных наук для исследования того или иного объекта, процесса. Дифференциация и интеграция знания – это взаимодополняющие процессы.

Математика играет роль универсального языка естествознания, не только предназначенного для лаконичной записи различных утверждений, но и выступающего в качестве аппарата – особой системы исследования и обобщения опытного материала. Строгость математического аппарата позволяет реализовать свойство точности научного знания.

2.1. Естественные и гуманитарные науки

Науки делятся на естественные и гуманитарные, соответственно, и культура подразделяется на естественно-научную и гуманитарную.

Гуманитарные науки (французское *humanitaire*, от латинского *humanitas* – человеческая природа) – дисциплины, изучающие человека в сфере его духовной, умственной, нравственной, культурной и общественной деятельности.

Естественные науки – разделы науки, отвечающие за изучение внешних по отношению к человеку природных (естественных – от «*естество*», природа) явлений.

Критерии различия гуманитарного и естественно-научного знания

Критерий различия	Естественные науки	Гуманитарные науки
Объект исследования	Природа (материя)	Человек, общество
Ведущая функция	Объяснение (истины доказываются)	Понимание (истины истолковываются)
Характер методологии	Генерализирующий (обобщающий)	Индивидуализирующий
Влияние ценностей	Малозаметно, неявно	Существенно, открыто
Антропоцентризм	Изгоняется	Неизбежен
Идеологическая нагрузка	Идеологический нейтралитет	Идеологическая нагруженность
Взаимоотношения субъекта и объекта познания	Строго разделены	Частично совпадают
Количественно-качественные характеристики	Преобладание количественных оценок	Преобладание качественных оценок
Применение экспериментальных методов	Составляет основу методологии	Затруднено

Окончание таблицы

Критерий различия	Естественные науки	Гуманитарные науки
Характер объекта исследования	Материальный; Относительно устойчивый	Больше идеальный, чем материальный; Относительно изменчивый

Несмотря на существенные различия, естествознание и гуманитаристика взаимодополнительны. Резкое противопоставление одного другому несостоятельно, оба раздела знания представляют собой достижения человечества. Односторонняя естественно-научная или гуманитарная специализация чревата издержками.

2.2. Псевдонаука

Псевдонаука (от греч. *ψευδής* – «ложный» + наука; синоним – лженау́ка, паранау́ка, квазинау́ка, альтернати́вная нау́ка, неакадеми́ческая нау́ка) – деятельность или учение, осознанно или неосознанно имитирующие науку, но по сути таковыми не являющиеся. Псевдонаука наукой не является (не дает объективного, достоверного, системного и практически эффективного знания), но на статус науки претендует.

Отличительные черты псевдонауки:

1) неверифицируемость и нефальсифицируемость псевдонаучных данных;
2) некритический подход к исходным данным;
3) невосприимчивость к критике;
4) отсутствие общих законов;
5) фрагментарность (несистемность) – отсутствие определенной системы псевдонаучных знаний, вследствие чего из них не выстраивается цельная картина мира.

Примеры псевдонаук:

- астрология: занимается изучением зависимости судьбы человека от положения планет;
- уфология: занимается изучением свидетельств о существовании НЛО, о контактах с НЛОнавтами и похищениях ими, о мысленном общении с инопланетянами;
- парапсихология: изучает взаимодействие человека с потусторонним миром.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите положение, которое верно отражает соотношение науки и культуры:

1) культура и наука не связаны друг с другом;
2) наука и культура – понятия равнозначные;
3) культура – раздел науки;
4) наука – раздел культуры.

2. Особое место в структуре науки занимает математика, которая:

1) является универсальным языком науки;
2) является прикладной наукой;
3) является естественной наукой;
4) является гуманитарной наукой.

3. Примером дифференциации естественных наук является:

1) экономическая география;
2) биофизика;
3) гидродинамика;
4) астрофизика.

4. В отличие от естественно-научного знания гуманитарной культуре свойственны (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) нестрогий образный язык изложения;
2) обязательное эмпирическое обоснование знаний;
3) интерес к индивидуальным неповторимым свойствам изучаемого предмета;
4) строгие количественные оценки.

5. Закончите фразу, которая касается вопроса отнесения религии к псевдонауке. Считать религию псевдонаукой…

1) можно, поскольку она не дает объективного знания;
2) нельзя, поскольку ученые тоже бывают верующими;
3) нельзя, поскольку целью религии не служит знание;
4) можно, но лишь в том случае, если она претендует на научную обоснованность.

Тема 3. **РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОГРАММ И КАРТИН МИРА (ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ)**

Научная картина мира (НКМ) – принятая на данном историческом этапе целостная система представлений об общих принципах и законах устройства мира.

НКМ – это системное понятие, ее нельзя свести к какому-то одному научному факту.

Научная картина мира должна давать ответы на вопросы:

- об общем устройстве и происхождении Мира (о космологии);
- о материи;
- о движении;
- о взаимодействии материальных тел;
- о пространстве и времени;
- о причинности, закономерности и случайности.

3.1. Натурфилософская картина мира

Научной ее не называют, так как натурфилософия в современном понимании не является наукой. В Древней Греции более 2,5 тысяч лет назад люди начали заниматься наукой не только ради решения практических задач, но и просто потому, что это интересно. Первые ученые назывались философами (любители мудрости).

Три античные программы рационального объяснения мира:

1) математическая программа Пифагора и Платона;

2) атомистическая программа Левкиппа – Демокрита – Эпикура;

3) континуальная программа Анаксагора – Аристотеля.

Пифагорейская картина мира: мир тел – Вселенная – гармония чисел, подчиненная законам геометрии. Движение небесных тел вокруг Земли происходит по строгим математическим законам (гармония «небесных сфер»).

Картина мира древнегреческих атомистов

1. Основополагающая идея – существование атомов (от греч. *atomos* – неделимый).

2. В мире есть два начала – атомы (бытие) и пустота (небытие).

3. Атомы неделимы, неизменны и неуничтожимы.

4. Атомы разнообразны по форме, имеют выпуклости, углубления и крючки, которые позволяют им соединяться друг с другом.

5. Пустота безгранична – в ней нет ни верха, ни низа. В этой пустоте носятся атомы.

6. Мир существует вечно, ничто не возникает из несуществующего и не уходит в небытие.

7. Возникновение вещей есть соединение атомов, а уничтожение – распадение на части, в пределе – на атомы.

8. Причины всех возможных изменений в природе – движение атомов.

Континуальная программа Анаксагора – Аристотеля

1. Основополагающая идея – материальный мир бесконечно делим и представляет собой непрерывную, заполняющую все пространство субстанцию (от лат. *continuum* – непрерывное).

2. Мир (космос) имеет форму шара и ограничен сферой неподвижных Звезд.

3. За пределами этой сферы нет ничего – ни материи, ни пространства, ни времени. Внутри этой сферы нет пустоты – все заполняет непрерывная материя.

4. Материя пребывает в глобальном вихревом движении. Этот вихрь имел начало, некоторый толчок перводвигателя (Бога).

5. Центром мира является Земля. Мир вращается вокруг Земли.

6. Мир неоднороден, он делится на земной – подлунный, и небесный – надлунный.

7. Движения делятся на естественные и насильственные. Для небесных тел естественными движениями являются движения вокруг центра Мира – Земли. Естественные движения земных тел – это движения по прямой к центру Мира – вниз к Земле, или от центра Мира (вверх). Тяжелые тела стремятся вниз, легкие – вверх. Все другие движения Земных тел – насильственные, для их возникновения нужна сила. Если действие силы прекратится – прекратится и движение.

8. Действие одного тела на другое осуществляется по принципу близкодействия, через материального носителя – «пустоты не существует вовсе».

3.2. Научные картины мира

XVII–XVIII вв.	Механическая картина мира (МКМ), классическая
XIX– XX вв.	Электромагнитная картина мира (ЭМКМ), классическая
Начало XX в.	Квантово-полевая картина мира (КПКМ), неклассическая
Конец XX в.	Эволюционно-синергетическая картина мира (ЭСКМ), постнеклассическая

Механическая картина мира (Коперник, Галилей, Кеплер, Декарт, Ньютон)

1. Вселенная бесконечна, вечна и неизменна.
2. Микромир, макромир и мегамир аналогичны, они управляются одинаковыми законами, законами механики Ньютона.
3. Живая и неживая природа построены из механических деталей, имеющих разные размеры и сложность.
4. Материя существует только в одной форме – в форме вещества, состоящего из дискретных корпускул – атомов, имеющих массу.
5. Все виды движения сводятся к механическому движению. Механическое движение – простое механическое перемещение тел, законы которого являются универсальными законами природы.
6. Существует один вид взаимодействия – гравитационное.
7. Взаимодействие тел происходит мгновенно, на любом расстоянии и может осуществляться через пустоту (принцип дальнодействия).
8. Пространство и время в механике Ньютона абсолютны, они не зависят от материи и ее движения.
9. Пространство трехмерно и описывается геометрией Евклида.
10. Время обратимо.
11. Все причинно-следственные связи – однозначные, все процессы подчиняются закону механического детерминизма (предопределенности).
12. Случайность исключается из данной картины мира.

Электромагнитная картина мира (Кулон, Эрстед, Ампер, Фарадей, Максвелл, Лоренц, Эйнштейн)

1. Мир – электромагнитная система, построенная из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля.
2. Материя существует в двух формах – вещество и поле, между которыми имеются непреодолимые различия.
3. Движение представлено в двух формах – механическое движение частиц и распространение волн.
4. Взаимодействие осуществляется по принципу близкодействия через материальный носитель – поле.
5. Существует два вида взаимодействия – гравитационное и электромагнитное.
6. Причинно-следственные связи – однозначные. Развитие событий строго детерминировано при заданных начальных условиях.
7. Случайность – это отражение неполноты наших знаний.

8. Пространство и время едины (непрерывный четырехмерный континуум) и относительны – зависимы от материи и ее движения (СТО и ОТО).

Квантово-полевая картина мира (Планк, Эйнштейн, Бор, де Бройль, Шрёдингер, Гейзенберг)

1. На уровне микромира деление материи на вещество и поле условно; материя обладает корпускулярно-волновым дуализмом и проявляет себя по-разному в зависимости от условий; дискретность и непрерывность материи находятся в диалектическом единстве.

2. В мире микрообъектов движение не имеет определенной траектории, поскольку микрообъект, обладая волновыми и корпускулярными свойствами, не может иметь одновременно вполне определенных значений координаты и импульса (скорости).

3. В природе существует четыре вида фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое.

4. Представления об относительности пространства и времени окончательно утверждаются. Пространство и время перестают быть независимыми друг от друга и, согласно теории относительности, сливаются в единое четырехмерное пространство-время.

5. Причинность имеет вероятностный характер. Случайность и неопределенность – фундаментальные свойства материи. Законы природы имеют статистический характер.

6. Взаимосвязь свойств изучаемых объектов и наблюдателя. Невозможность невозмущающих измерений.

Эволюционно-синергетическая картина мира (Хакен, Пригожин, Арнольд, Новиков)

Теоретический каркас этой картины мира определяют теории самоорганизации (синергетика) и систем (системология), а также информационный подход, в соответствии с которым информация понимается как атрибут материи наряду с движением, пространством и временем. Фундамент эволюционно-синергетической картины мира составляют общенаучные принципы развития и системности.

1. Существует три вида материи – вещество, поле, физический вакуум.

2. Вселенная развивается, так как существует случайность и вероятность.

3. Развитие осуществляется везде и всегда: в неживой природе, живом веществе и обществе.

4. Механизмом развития являются процессы самоорганизации нестационарных открытых систем: непрерывные переходы от хаоса к порядку.

5. В основе процессов самоорганизации лежит принцип универсального эволюционизма.

6. В результате развития происходит усложнение и увеличение многообразия форм существования материи.

Вопросы для самоконтроля

1. Научная картина мира может рассматриваться как:

1) одна из естественных наук;

2) принятая на данном историческом этапе система общих ответов на фундаментальные вопросы об устройстве мира;

3) совокупность наглядных образов и иллюстраций, используемых в естественно-научных трудах;

4) история и философия человеческого познания окружающего мира.

2. Континуальная программа Аристотеля основана на идее, что:

1) мир разделен на две части – идеальную и чувственную;

2) атомы и пустота – два единственных начала мироздания, независимых друг от друга;

3) в природе нет пустоты, бесформенная материя занимает все пространство;

4) материя состоит из мельчайших частиц и ее деление возможно лишь до известного предела.

3. В электромагнитной картине мира по сравнению с механической новыми были представления (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) о существовании двух видов фундаментального взаимодействия;

2) о взаимодействии по принципу близкодействия;

3) о полной предсказуемости всех событий прошлого и будущего;

4) о передаче взаимодействий посредством квантов полей.

4. Фундаментальные положения квантовой механики – соотношения неопределенностей и принцип дополнительности – составляют основу _____ картины мира:

1) неклассической;

2) электромагнитной;

3) натурфилософской;

4) механической.

5. Расположите в хронологическом порядке научные картины мира:

а) эволюционная картина мира;

б) электромагнитная картина мира;

в) неклассическая (квантово-полевая) картина мира.

Тема 4. **РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МАТЕРИИ**

4.1. Две концепции строения материи в натурфилософской картине мира

Атомистическая концепция (IV–III вв. до н. э.). Согласно учению древнегреческих атомистов (Левкипп, Демокрит, Эпикур) бесконечная делимость материи невозможна, предел деления – атомы. Атомы неделимы, неизменны и неуничтожимы. Таким образом, в рамках данной концепции, материя имеет дискретную структуру.

В мире есть всего два начала – атомы (бытие) и пустота (небытие). Все в мире состоит из атомов, а все, что происходит, сводится к их перемещению, соединению между собой или разделению.

Континуальная концепция (IV в. до н. э.). Согласно учению Аристотеля материя непрерывна, бесконечно делима и заполняет Вселенную, не оставляя места пустоте. Таким образом, в рамках данной концепции, материя имеет непрерывную структуру.

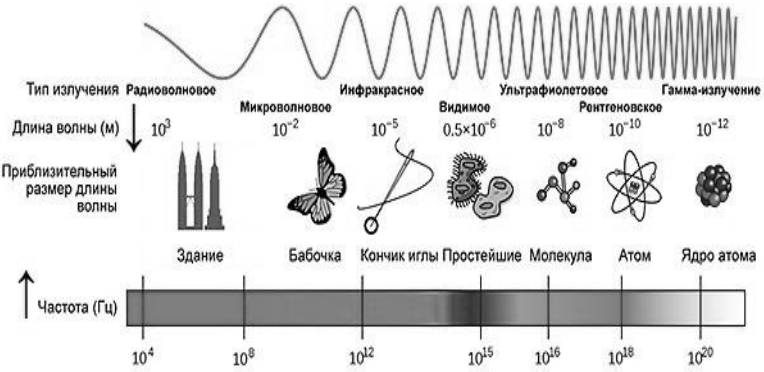
Существование пустоты Аристотель отрицал как принципиально невозможное. Для движения материи, полагал он, необходимости в пустоте нет: одни части движущейся материи уступают свое место другим, как вода в водовороте.

4.2. Механическая картина мира (XVII–XVIII вв.)

Материя существует только в одной форме – в форме вещества, состоящего из дискретных корпускул – атомов, имеющих массу. Основная абстракция ньютоновской механики – материальная точка. В механической картине мира существование абсолютной пустоты было необходимым, поскольку при заполнении пространства какой-либо материальной средой из-за ее сопротивления материальная точка никогда не могла бы двигаться по инерции с постоянной скоростью, а, следовательно, законы механики не соответствовали бы реальности.

4.3. Электромагнитная картина мира

В электромагнитной картине мира (XIX–XX вв.) появилось представление о второй форме материи – физическом поле, принципиально отличающемся от вещества. В рамках данной картины мира материя представлена двумя видами – веществом и полем, между которыми существуют непреодолимые различия. Вещество построено из дискретных частиц, физическое поле характеризуется непрерывностью и невозможностью быть разложенным на какие-то неделимые составляющие.



Электромагнитные волны – это распространяющиеся колебания электрического и магнитного полей. Основная характеристика волны – это длина волны. Электромагнитные волны с разными длинами оказывают разное действие на вещество, приборы и органы чувств. Все электромагнитные волны могут быть систематизированы в виде шкалы (спектра электромагнитных колебаний). Вдоль этой шкалы непрерывно изменяется количественная характеристика – длина волны, и ее изменение приводит к возникновению качественно новых свойств излучений. Последовательность электромагнитных волн в порядке убывания длины волны: радиоволны, СВЧ (микроволновое), инфракрасное излучение, видимое излучение (свет), ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение, гамма-излучение.

Если источник излучения приближается к наблюдателю, то воспринимаемая длина волны излучения кажется меньше, чем для наблюдателя, неподвижного относительно источника. Если источник удаляется от наблюдателя, воспринимаемая наблюдателем длина волны, наоборот, увеличивается. Это явление называется *эффектом Доплера*. Эффект Доплера лежит в основе измерения скорости движения различных объектов и широко используется в авиации, космической технике, астрофизике.

4.4. Представления о материи в классический период

В квантово-полевой картине мира была введена концепция корпускулярно-волнового дуализма, согласно которой между веществом и полем непреодолимых различий нет. Каждый элемент материи может проявлять либо свойства вещества, либо свойства поля в зависимости от условий.

В современной научной картине сохраняется концепция корпускулярно-волнового дуализма: все поля квантуются, т. е. могут рассматриваться как совокупность частиц; с другой стороны, каждая элементарная частица может рассматриваться как квант некоторого поля. Атомы – делимы.

В рамках данной картины мира наряду с веществом и полем появляется новая форма материи – физический вакуум, который рассматривается как неустранимые (нулевые) колебания всех физических полей и как «океан» постоянно рождающихся и исчезающих виртуальных частиц.

4.5. Уровни развития химического знания о материи

1. Атомно-молекулярное учение (М.В. Ломоносов: все вещества состоят из корпускул – молекул, которые строятся из элементов – атомов, молекулы и атомы находятся в безостановочном и беспорядочном тепловом движении).

2. Учение о химическом составе (Д. Дальтон – закон кратных отношений, Ж.Л. Пруст – закон постоянства состава).

3. Учение о химическом строении – структуре вещества (А.М. Бутлеров).

4. Учение о химическом процессе.

5. Эволюционная химия (А.П. Руденко).

Закон кратных отношений Дальтона: если два элемента образуют несколько соединений, то массы одного из них, приходящиеся на единицу массы другого, относятся как небольшие целые числа.

Закон постоянства состава Пруста: каждое химическое соединение, независимо от способа его получения, состоит из одних и тех же элементов с одним и тем же отношением их масс.

Некоторые положения учения Бутлерова:

- атомы в молекулах соединены друг с другом в определенном порядке, в соответствии с их валентностью, изменение этой последовательности приводит к образованию нового вещества с новыми свойствами;
- свойства вещества определяются не только составом его молекул, но и их строением – существуют вещества, которые при одинаковом составе имеют совершенно разные свойства;
- строение молекулы можно установить, исследуя химические свойства вещества, и, наоборот, зная строение молекулы, можно предвидеть многие свойства соединения.

Вопросы для самоконтроля

1. Представления о материи как о мельчайших, неделимых, бесструктурных атомах, двигающихся в пустоте, свойственны:

1) античным мыслителям;
2) неклассической картине мира;
3) электромагнитной картине мира;
4) современным ученым.

2. В механической картине мира представления о материи соответствуют высказыванию:

1) материя выступает в форме стихий – земли, воды, воздуха, огня;
2) материя существует в двух формах – вещества и поля, между которыми имеются непреодолимые различия;
3) материя существует только в форме вещества дискретного строения;
4) между двумя формами материи – веществом и полем – нет непреодолимых различий в силу корпускулярно-волнового дуализма.

3. Представления о полевой форме материи как новой реальности возникли:

1) в IV веке до нашей эры, в Древней Греции;
2) в период становления классической механики;
3) в период разработки электромагнитной теории;
4) в начале XX века с развитием квантовой физики.

4. Электромагнитным излучением являются (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) звук, испускаемый источниками акустических систем;
2) радиоволны, испускаемые сотовыми телефонами;
3) луч света, испускаемый лазером;
4) ионизирующие излучения, испускаемые радиоактивными веществами.

5. В современной научной картине мира материя представлена в форме:

1) физического поля;
2) вещества, физического поля;
3) вещества, состоящего из дискретных корпускул;
4) вещества, физического поля и физического вакуума.

Тема 5. **РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ДВИЖЕНИИ**

Движение в самом широком смысле – понятие, охватывающее всякое изменение и превращение.

5.1. Движение в натурфилософской картине мира

В рамках представлений *древнегреческих атомистов* в мире есть всего два начала – неделимые, неизменные и неуничтожимые атомы и пустота. Все, что происходит в мире, сводится, в конечном счете, к простому механическому перемещению атомов.

Аристотель понимал движение предельно широко – как рождение и гибель, рост и упадок, как любое изменение любого качества. Согласно его представлениям, самой материи движение чуждо, она может пребывать только в состоянии покоя, движение материи начинается лишь под действием внешних сил. Все движущееся движимо другими телами, а мир в целом приведен в глобальное вихревое движение перводвигателем (Богом).

Все движения Аристотель делит на два типа: естественные движения и насильственные движения.

Естественные движения небесных тел (надлунный мир) – равномерное движение по кругу вокруг центра мира – Земли. Это движение от первоначального божественного толчка.

Естественные движения в подлунном, Земном мире – прямолинейные движения всех тел к своим естественным местам: легкие тела стремятся вверх, тяжелые – опускаются вниз. Например, воздух из воды стремится вверх, огонь – вверх, камень – вниз.

Насильственные движения. Источником насильственных движений является внешняя причина, независимая от движущегося тела, контактная сила другого тела. Например, повозка движется, так как ее тянет лошадь. При этом, по Аристотелю, лошадь действует на повозку, а повозка на лошадь – нет.

5.2. Движение в механической картине мира

Во времена господства механической картины мира считалось, что любое движение может быть сведено к простому механическому движению в пространстве и во времени. На основании этого считалось, что:

- атомы движутся по законам классической механики, и это движение позволяет объяснить все происходящие в мире явления;

- химические процессы – механические перемещения частиц, механическая форма движения;
- живой организм – механизм, и все процессы, протекающие в организме, можно описать с помощью законов механики и т. п.

Материальная точка – главная абстракция механики Ньютона. В каждой точке траектории состояние тела описывалось точно заданными значением координаты, скорости, ускорения и другими характеристиками движения. В рамках данной картины мира допускалась возможность движения со сколь угодно большой скоростью.

Законы движения в классической механике определяются тремя законами Ньютона.

I закон Ньютона в первоначальной формулировке: «Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

I закон Ньютона – закон инерции – в современной формулировке: «Существуют такие системы отсчета (инерциальные), в которых любое тело, при отсутствии внешних сил, сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения».

II закон Ньютона – закон движения: «Ускорение, приобретаемое телом под действием силы, прямо пропорционально действующей силе и обратно пропорционально массе тела»:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

III закон Ньютона – закон взаимодействия: «Если два тела (материальные точки) взаимодействуют друг с другом, то силы, возникающие при этом, равны по величине и противоположны по направлению»:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

В механике Ньютона второй и третий законы выполняются только в инерциальных системах отсчета, т. е. системах отсчета, отбираемых первым законом Ньютона. Время – параметр движения; уравнения механики безразличны к знаку времени.

5.3. Движение в электромагнитной картине мира

В электромагнитной картине мира под движением понимается не только механическое перемещение зарядов, но и изменение электромагнитного поля. В рамках электромагнитной картины мира движение может происходить и при полном отсутствии тел или частиц. Изменение электромагнитного поля сопровождается распространением электромагнитных волн.

Волновые процессы:

- дифракция волн – огибание волнами препятствий, соизмеримых с длиной волны;
- интерференция волн – наложение волн, при котором происходит перераспределение энергии волн таким образом, что в одних точках пространства возникает усиление волн, а в других – ослабление; условием наблюдения интерференции является когерентность волн.

Примеры интерференции света: радужная окраска пленки мыльного пузыря; возникновение радужных разводов на луже, в которую попала капелька бензина; причудливые радужные рисунки на крыльях некоторых бабочек и жуков.

В рамках электромагнитной картины мира постулируется ограничение относительно скорости движения, связанное с созданием теории относительности Эйнштейна. Скорость света в вакууме – фундаментальная физическая постоянная. Она является предельной скоростью движения частиц и распространения взаимодействий.

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

5.4. Движение в современной картине мира

В современной научной картине мира движением называется любое изменение материи. Соответственно существуют разнообразные формы движения материи: механическое, тепловое, химическое, биологическое…

Механическое движение – простое изменение положения тел в пространстве и времени.

Тепловое движение – хаотическое, беспорядочное движение частиц, образующих вещество.

Химическое движение – превращение веществ, химические реакции и процессы. Скорость химических процессов зависит от концентраций реагентов, температуры и присутствия катализаторов.

Биологическое движение – обмен веществ, процессы, происходящие на клеточном уровне, наследственность, изменчивость.

Современная научная картина мира может называться эволюционной. В рамках данной картины мира особое внимание уделяется движению в форме эволюции – необратимому процессу самопроизвольного возникновения все более сложных и упорядоченных структур.

Основные положения

- Все структуры Вселенной существуют не просто в движении, а в развитии – эволюции.
- Процессы эволюционного движения необратимы, следовательно, возможности возврата в однажды пройденное состояние не существует.
- Необратимые процессы деградации и эволюции являются необходимыми взаимодополнительными диалектическими противоположностями, управляющими всеми мировыми процессами.
- Невозможно исчерпывающее описание движения на основании только одного вида классических понятий (принцип дополнительности).
- Для микромира не имеет смысла механическое понятие траектории движения (принцип неопределенности).
- Фундаментальную роль играют принципиально непредсказуемые, хаотические формы движения (тепловые и квантовые флуктуации, динамический хаос, мутация). Именно они служат неисчерпаемым источником новых форм для эволюции.

Вопросы для самоконтроля

1. Перемещение механических масс (небесных, земных тел) без учета их внутренней природы может рассматриваться как _____ форма движения материи:

1) механическая;
2) химическая;
3) геологическая;
4) биологическая.

2. Деление клеток относится к_____ форме движения материи:

1) механической;
2) химической;
3) геологической;
4) биологической.

3. Не может быть описано как механическое перемещение или результат механического перемещения каких-то тел или частиц (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) движение электрона в атоме;
2) обращение планет вокруг Солнца;
3) возникновение радужных разводов на луже, в которую попала капелька бензина из стоявшего над ней автомобиля;
4) движение электрона в кинескопе телевизора.

4. Движение в электромагнитной картине мира – это…
1) распространение информации;
2) перемещение тел в пространстве;
3) распространение электромагнитного поля и перемещение зарядов;
4) перемещение материальной точки.

5. Установите соответствие между научной картиной мира и принятыми в ней представлениями о движении.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) механическая научная картина мира	А) движение тела к своему естественному месту происходит само по себе, а все прочие перемещения вынуждаются внешними воздействиями на тело
2) электромагнитная научная картина мира	Б) хаотические формы движения являются источником разнообразия и необходимым ресурсом эволюции Вселенной
3) современная научная картина мира	В) движение – это перемещение тел и частиц, т. е. изменение их положения в пространстве и времени
	Г) движение может происходить и при полном отсутствии тел или частиц

Тема 6. **РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ**

6.1. Взаимодействие в Аристотелевской картине мира

В Аристотелевской картине мира (IV в. до н. э.) действие не носит характер взаимодействий, а рассматривается как одностороннее воздействие движущего тела на движимое. Движущее, согласно Аристотелю, действует на движимое, но встречного воздействия со стороны движимого не испытывает.

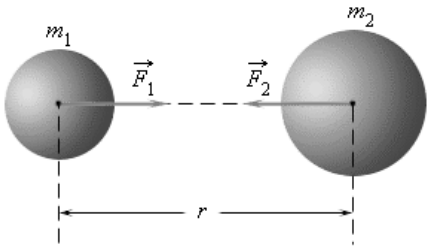
Кроме того, Аристотель полагал, что передача воздействия возможна только через непосредственный контакт между телами (контактная сила), либо по цепочке расположенных между ними тел-посредников. Этот подход можно считать первоначальной формой концепции близкодействия.

6.2. Взаимодействие в механической картине мира

В классической механике (в механической картине мира XVIII–XIX вв.) взаимное действие тел друг на друга характеризуется силой. В основе представлений о взаимодействии в этой теории лежат два закона: III закон Ньютона и закон всемирного тяготения.

III закон Ньютона – закон взаимодействия (см. стр. 30). Этот закон описывает взаимодействие как для непосредственно контактирующих тел, так и для взаимодействующих на расстоянии (через пустоту) – концепция дальнодействия. Согласно данной концепции, взаимодействие передается мгновенно на любые расстояния, не требуя для этого какого-либо посредника.

Закон всемирного тяготения: «Два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной массам этих тел m_1 и m_2 и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между их центрами масс».



$$F_{12} = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Коэффициент пропорциональности G называется гравитационной постоянной, ее значение, найденное экспериментальным путем, составляет

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}.$$

6.3. Взаимодействие в электромагнитной картине мира

В электромагнитной картине мира впервые возникло представление о поле как особой форме материи и о полевом механизме передачи взаимодействия. Соответственно, в рамках данной картины мира действует *концепция близкодействия*:

- передача взаимодействия осуществляется материальным посредником – электромагнитным полем (в частном случае – электрическим или магнитным полем);
- электрическое поле возникает при наличии электрических зарядов, а магнитное – при их движении, т. е. движущиеся заряды создают в пространстве электромагнитное поле;
- полевой механизм передачи взаимодействия заключается в том, что если заряд создает соответствующее поле, то именно оно и действует на другие заряды;
- ускоренно движущиеся электрические заряды порождают электромагнитные волны, в которых происходит периодическая «перекачка» энергии электрического поля в магнитное и обратно;
- электромагнитные волны имеют конечную скорость распространения (скорость света);
- скорость света – фундаментальная константа, определяющая скорость передачи воздействия.

6.4. Взаимодействие в современной картине мира

Современная научная картина мира опирается на следующие положения:

- квантово-полевой механизм передачи взаимодействий;
- взаимодействие осуществляется посредниками – квантами полей;
- передача взаимодействия основывается на концепции близкодействия.

В Природе существует *четыре типа фундаментальных взаимодействий*:

- гравитационное;
- электромагнитное;
- сильное;
- слабое.

Общим для всех четырех видов взаимодействия является то, что все фундаментальные взаимодействия носят обменный характер: при обменном взаимодействии объекты действуют друг на друга, испуская

и поглощая виртуальные частицы (виртуальными частицами называются такие частицы, которые невозможно экспериментально обнаружить в ходе обменного процесса).

Сравнительная таблица фундаментальных взаимодействий

Взаимодействие	Относительная сила	Радиус действия (м)	Частица-переносчик
Сильное	1	10^{-15}	Глюон
Электромагнитное	$\sim 10^{-2}$	∞	Фотон
Слабое	$\sim 10^{-15}$	10^{-18}	Промежуточный векторный бозон
Гравитационное	$\sim 10^{-38}$	∞	Гравитон

Сильное (ядерное) взаимодействие:

- самое мощное из фундаментальных взаимодействий;
- отвечает за устойчивость (стабильность) атомных ядер, обеспечивая связь нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре;
- является короткодействующим и действует на расстояниях, не превышающих размеры ядра атома;
- переносчиками сильного взаимодействия являются виртуальные частицы – глюоны (масса покоя их равна нулю);
- глюоны «склеивают» кварки, входящие в состав протонов, нейтронов и других частиц.

Электромагнитное взаимодействие:

- слабее сильного (ядерного) взаимодействия;
- отвечает за взаимодействие электрических зарядов, токов, электрических полей;
- связывает: электроны и ядра – в атомы; атомы – в молекулы; молекулы – в тела;
- радиус взаимодействия не ограничен (но ключевую роль играет в области масштабов от радиуса атома до нескольких километров);
- переносчиками электромагнитного взаимодействия являются виртуальные частицы – кванты электромагнитного поля – фотоны (масса покоя их равна нулю).

Слабое взаимодействие (или слабое ядерное взаимодействие):

- следующее по интенсивности после сильного и электромагнитного;
- называется слабым, поскольку два других взаимодействия, значимых для ядерной физики (сильное и электромагнитное), характеризуются значительно большей интенсивностью;

- слабым взаимодействием обусловлены процессы радиоактивного распада атомных ядер, оно играет важную роль в термоядерных реакциях (процессах), ответственных за энерговыделение в звездах, способствуя медленному протеканию ядерных процессов, обеспечивая длительное «горение» звезд, в том числе Солнца;
- радиус действия (порядка 10^{-18} м) во много раз меньше размера ядра атома;
- переносчиками являются виртуальные частицы – промежуточные векторные бозоны – частицы с массой, примерно в сто раз большей массы протонов и нейтронов.

Гравитационное взаимодействие:

- самое слабое из всех фундаментальных взаимодействий;
- характерно для всех материальных объектов вне зависимости от их природы:
- определяет движение планет в звездных системах, движение галактик, управляет эволюцией Вселенной, принципиальную роль играет в мегамире;
- радиус гравитационного взаимодействия не ограничен;
- переносчиками гравитационного взаимодействия являются виртуальные частицы – кванты гравитационного поля – гравитоны; масса покоя гравитона равна нулю; до настоящего времени гравитоны экспериментально не обнаружены;
- общепринятой теорией гравитационного взаимодействия является общая теория относительности (ОТО), которая предсказывает существование гравитационных волн, носителем которых и может быть гравитон.

Вопросы для самоконтроля

1. И для представлений Аристотеля, и для современной научной картины мира характерны (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) идея о неравноправности взаимодействующих тел, среди которых всегда можно выделить активное (движущее) и пассивное (движимое);

2) представление о необходимости материальных посредников для передачи воздействия от одного тела к другому;

3) описание механизма передачи взаимодействий в рамках концепции близкодействия;

4) описание механизма передачи взаимодействий в рамках концепции дальнодействия.

2. Согласно механизму дальнодействия, любой вид взаимодействия передается:

1) мгновенно только между соседними структурами;
2) между соседними структурами с конечной скоростью;
3) между любыми структурами с конечной скоростью;
4) мгновенно через пустоту на любые расстояния.

3. В мегамире доминирует _____ взаимодействие:

1) гравитационное;
2) электромагнитное;
3) сильное;
4) слабое.

4. Существование атома обусловлено _____ взаимодействием:

1) сильным;
2) слабым;
3) электромагнитным;
4) гравитационным.

5. Из всех известных фундаментальных взаимодействий в XX веке были открыты (у*кажите не менее двух вариантов ответа*):

1) слабое;
2) гравитационное;
3) сильное;
4) электромагнитное.

РАЗДЕЛ II

ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, СИММЕТРИЯ

Тема 7. **ПРИНЦИПЫ СИММЕТРИИ, ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ**

7.1. Понятие симметрии

Симметрия (от др.-греч. *συμμετρία* – соразмерность, от *μετρέω* – меряю).

В обыденной жизни симметрия обычно понимается как «соразмерность, одинаковость в расположении частей чего-нибудь по противоположным сторонам от точки, прямой или плоскости» (по С.И. Ожегову). В общем случае симметрия выражает степень упорядоченности какой-либо системы или объекта. В естествознании принято более широкое понимание симметрии – как инвариантности (от фр. *invariant* – буквально неизменяющийся) относительно тех или иных преобразований.

Понятие симметрии как неизменности свойств объекта по отношению к преобразованиям (операциям), выполненным над объектом, можно применить и к материальным объектам, и к физическим законам, и к математическим формулам.

Простейшие симметрии:

- **однородность** – инвариантность относительно параллельных переносов (неизменность свойств во всех точках);
- **изотропность** – инвариантность относительно поворотов (неизменность свойств во всех направлениях).

7.2. Симметрии пространства и времени

Однородность пространства характеризует симметрию по отношению к переходу системы как целого в пространстве. Это означает:

- равноценность любых точек пространства, т. е. перенос любого объекта в пространстве не влияет на процессы, происходящие с этим объектом (например, свойства атомов на Земле и других небесных объектах одни и те же);
- возможность произвольного выбора начала отсчета пространственных координат.

Изотропность пространства характеризует симметрию по отношению к повороту системы как целого в пространстве. Это означает:

- равноценность любых направлений в пространстве, т. е. в повернутой установке, лаборатории и т. п. все процессы протекают так же, как и до поворота;
- возможность произвольного выбора направлений системы пространственных координат.

Однородность времени характеризует симметрию относительно произвольного сдвига во времени. Это свойство означает:

- протекаемость любого физического процесса одинаковым образом, независимо от того, когда он начался, т. е. возможно сравнивать результаты аналогичных опытов, проведенных в разное время;
- возможность выбора любого момента времени как начального.

Анизотропия времени (от греч. *άνισος* – неравный и *τρόπος* – направление) – неодинаковость свойств времени в противоположных направлениях, т. е. в направлениях будущего и прошедшего времени. Проблема анизотропии времени обычно обсуждается с позиции возможности повернуть течение времени в обратном направлении.

7.3. Связь симметрий с законами сохранения

В 1918 г. Амалия Эмми Нётер доказала теорему, устанавливающую связь между симметриями и законами сохранения.

Формулировка теоремы Нётер: «Каждому виду симметрии должен соответствовать определенный закон сохранения».

ОДНОРОДНОСТЬ ВРЕМЕНИ

↓↓↓

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Суммарная энергия в замкнутой (изолированной) системе не изменяется (остается постоянной).

ОДНОРОДНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА

↓↓↓

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Суммарный импульс замкнутой (изолированной) системы не изменяется (остается постоянным).

ИЗОТРОПНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА

↓↓↓

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА

Суммарный момент импульса замкнутой (изолированной) системы не изменяется (остается постоянным).

Законы сохранения – это физические законы, согласно которым числовые значения некоторых физических величин, характеризующих состояние системы, в определенных процессах не изменяются.

Законы сохранения играют роль принципа запрета: любой процесс, при котором нарушается хотя бы один из законов сохранения, невозможен.

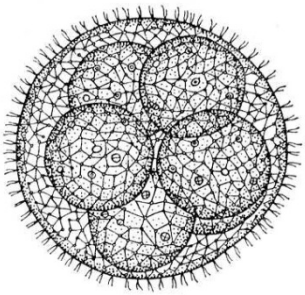
7.4. Асимметрия и эволюция

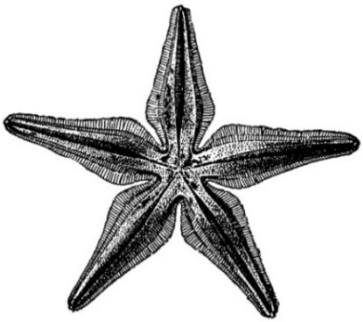
Асимметрия – состояние, при котором симметрия отсутствует. В природе не все объекты обладают симметрией, но никогда не бывает и ее полного отсутствия.

Асимметрия отражает существующее в объективном мире нарушение порядка, равновесия, относительной устойчивости, пропорциональности и соразмерности между отдельными частями целого, связанное с изменением, развитием и организационной перестройкой.

Согласно общему правилу, по мере эволюционного развития симметрия развивающейся системы понижается.

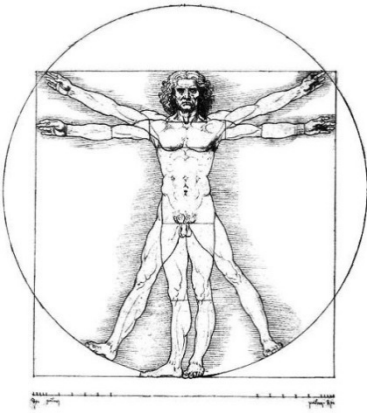
Мелкие простейшие организмы, возникшие в воде на ранних стадиях эволюции, имеют почти шарообразную форму (сферическая симметрия)





У иглокожих (морских звезд), живущих в морских глубинах и подверженных высокому давлению воды, уже иная симметрия (радиальная). В отличие от простейших, их вращательная способность свелась к отдельным поворотам вокруг вертикальной оси.

Филогенетическая эволюция (в биологии филогенез рассматривает развитие биологического вида во времени) стремилась вызывать наследственное различие между правым и левым, однако ее действие сдерживалось теми преимуществами, которые организм извлекал из зеркально-симметричного расположения своих органов (билатеральная симметрия). Этим объясняется, почему наши конечности более подчиняются симметрии, чем наши внутренние органы (например, сердце у человека слева, печень – справа).

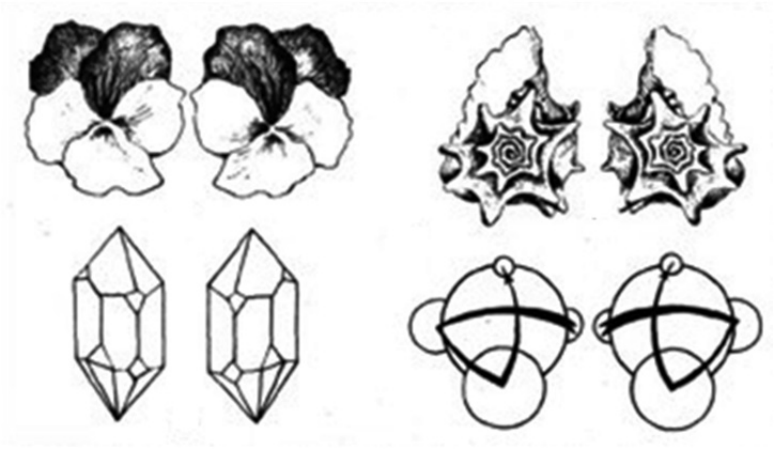


Эволюция есть цепочка нарушений симметрии. Можно считать, что возникновение жизни в целом связано со случайным нарушением

имевшейся до того в природе зеркальной симметрии (под действием внешних факторов – радиации, температуры и т. п.). В ходе эволюции живых систем, по мере развития и усложнения, асимметрия все больше и больше превалирует над симметрией, вытесняя ее из биологических и физиологических процессов. Поэтому чем выше стоит организм на эволюционной лестнице, тем менее он симметричен в смысле как строения, так и функционирования.

Примеры нарушений симметрии (неполные симметрии):

- асимметрия на уровне элементарных частиц – это преобладание в нашей Вселенной частиц над античастицами;
- асимметрия в процессе теплопередачи – возможен самопроизвольный переход тепла от горячего тела к холодному, но не наоборот;
- у высших биологических объектов, в отличие от низших, имеет место асимметрия – разделение полов, где каждый пол вносит в процесс самовоспроизведения свойственную только ему генетическую информацию;
- киральность (хиральность) – (от др.-греч. *χειρ* (хеирус) – рука) свойство объекта быть несовместимым со своим зеркальным отражением; вся природа – от атомов до человека – киральна (хиральна), т. е. асимметрична относительно замены «правого» на «левое».



По современным представлениям способность живых организмов синтезировать молекулы строго определенной ориентации (киральная чистота молекул) определяет биохимическую границу между живым и неживым.

Вопросы для самоконтроля

1. В естествознании под симметрией понимается:

1) взаимно согласованное расположение частей объекта, образующее гармоничную форму;

2) инвариантность относительно тех или иных преобразований;

3) соразмерность, пропорциональность строения объекта;

4) инвариантность относительно поворотов, отражений и других геометрических преобразований.

2. К свойствам симметрии природного объекта можно отнести его (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) изотропность;

2) пластичность;

3) покровительственную окраску;

4) однородность.

3. Выберите утверждение, которое верно характеризует суть теоремы Нётер:

1) для каждого уровня организации материи существуют свои виды симметрий;

2) различным симметриям соответствуют определенные законы сохранения;

3) все свойства и законы Вселенной симметричны относительно изменения знака заряда;

4) все свойства и законы Вселенной симметричны относительно зеркального отображения.

4. Установите соответствие между фундаментальными законами сохранения и обусловливающими их свойствами симметрии пространства и времени.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) закон сохранения энергии	А) однородность времени
2) закон сохранения импульса	Б) изотропность времени
3) закон сохранения момента импульса	В) изотропность пространства
	Г) однородность пространства

5. Установите соответствие между понятиями и симметрией их свойств.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) пространство	А) изотропно, но неоднородно
2) время	Б) однородно и изотропно
3) тело человека	В) однородно, но анизотропно
	Г) неоднородно и анизотропно

Тема 8. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

В истории науки существовали две точки зрения на отношение пространства и времени к материи.

1. **Субстанциальная концепция.** В рамках данной концепции пространство и время рассматривались как самостоятельные сущности, существующие наряду с материей. Отношение между пространством, временем и материей представлялось как отношение между самостоятельными субстанциями (древние атомисты, Ньютон). В этой концепции пространство и время считались **абсолютными.**

2. **Реляционная концепция** (от лат. *relatio* – отношение). В рамках данной концепции пространство и время рассматривались не как самостоятельные сущности, а как системы отношений, образуемых взаимодействующими материальными объектами. Вне этой системы отношений пространство и время считались несуществующими (Аристотель, Эйнштейн). В этой концепции пространство и время считались **относительными**.

8.1. Пространство и время в натурфилософской картине мира

Взгляды древнегреческих атомистов (IV–III вв. до н. э.)

1. В мире есть два начала – атомы (бытие) и пустота (небытие).
2. Пустота безгранична – в ней нет ни верха, ни низа.

3. В этой пустоте происходит вечное движение атомов (с этой пустотой у древних атомистов и ассоциируется пространство).

4. Пустое пространство независимо от атомов.

5. Время также независимо от атомов (материи).

Таким образом, у древних атомистов *пространство и время абсолютны.*

Взгляды Аристотеля (IV в. до н. э.). У Аристотеля пространство и время – понятия, производные от понятия материи и ее движения, они характеризуют ее протяженность и движение.

1. Пространство – это совокупность мест, занимаемых телами.

2. Время – порядок сменяющих друг друга явлений и состояний тел.

Следовательно, у Аристотеля *пространство и время относительны*.

8.2. Механическая картина мира (XVII–XVIII вв.)

Все происходящее во Вселенной совершается в пустом бесконечном пространстве, подобном гигантской комнате-лаборатории, в которой стенки, потолок и пол удалены на бесконечность. Эту абсолютную, неограниченную пустоту Ньютон называет Абсолютным пространством.

Абсолютное пространство Ньютона:

- существует само по себе и своим существованием не обязано чему бы то ни было в мире;
- вмещает все тела природы и дает место всем ее явлениям, но не испытывает на себе никакого их воздействия;
- всюду и везде одинаково по своим свойствам, все его точки равноправны и одинаковы – оно однородно, все направления в нем также одинаковы – оно изотропно;
- во все времена оно одно и то же;
- не имеет границ, неограниченно простирается во всех направлениях и имеет бесконечный объем;
- обладает тремя измерениями;
- описывается геометрией Евклида.

Абсолютное время Ньютона – поток длительности, в который вовлечены все процессы:

- существует само по себе и своим существованием не обязано чему бы то ни было в мире;

- ходу времени подчиняются все тела природы, все физические явления, но сами эти тела и явления не оказывают никакого воздействия на ход времени;
- все моменты времени между собой равноправны и одинаковы – время однородно;
- ход времени всюду и везде в мире одинаков, он не меняется в прошлом, настоящем и будущем;
- время простирается от настоящего неограниченно назад в прошлое и неограниченно вперед в будущее;
- время обладает одним измерением;
- уравнения механики безразличны к знаку времени;
- промежутки времени отмеряются, складываются и вычитаются как отрезки евклидовой прямой.

В бесконечном пустом пространстве с течением времени происходит движение миров. Процессы во Вселенной могут быть сложными, многообразными и запутанными. Но какими бы сложными они ни были, это никак не влияет на бесконечную сцену – пространство и на неизменный поток времени. По Ньютону, ни на пространство, ни на время никак нельзя повлиять, поэтому они и являются абсолютными.

8.3. Сущность концепции мирового эфира и причины отказа от нее

В работе «Динамическая теория поля» (1864–1865) Максвелл записал знаменитую систему уравнений, предсказывающую существование электромагнитных волн. Во время формирования электромагнитной картины мира считалось, что электромагнитные волны распространяются в особой гипотетической среде – *мировом эфире*, подобно тому как акустические волны распространяются в воздухе, а морские – в воде.

В первой половине XIX столетия ученые даже тщательно проработали теоретическую модель мирового светоносного эфира и механику распространения в нем света. Как отголосок этих представлений в русском языке сохранилась фраза «В эфире радиостанция …»

В рамках данной теории мировой эфир – среда всепроникающая (свет распространяется даже в космической пустоте), чрезвычайно разреженная (иначе мы бы чувствовали ее сопротивление при движении) и в то же время очень жесткая (иначе трудно объяснить огромную

скорость распространения световых волн в этой среде). Полагалось, что мировой эфир представляет собой материальное воплощение Абсолютного пространства, т. е. идеальной выделенной системы отсчета. И как материальная среда он должен был взаимодействовать с телами.

В 1887 году два американских физика – Альберт Майкельсон и Генри Морли решили совместно провести эксперимент, призванный доказать, что светоносный эфир реально существует, наполняет Вселенную и служит средой, в которой распространяются электромагнитные волны. Задача их эксперимента сводилась к обнаружению «эфирного ветра».

Земля двигается по орбите вокруг Солнца (относительно гипотетического эфира) со скоростью 30 км/с, и «эфирный ветер» должен «обдувать» ее. Для обнаружения данного эффекта ученые использовали интерферометр – очень точный оптический измерительный прибор.

В интерферометре луч света расщеплялся надвое и проводился двумя перпендикулярными друг другу оптическими путями равной геометрической длины. Затем с помощью системы зеркал лучи сводились в одну точку, в которой наблюдалась интерференционная картина.

Ожидалось, что при движении Земли по своей орбите (относительно гипотетического эфира) наблюдаемая картина интерференционных полос будет меняться. Однако этого не наблюдалось, хотя наблюдение за установкой велось в течение года.

Эксперимент дал отрицательный результат, и это означало, что:

- эфирного ветра нет и, следовательно, эфира не существует;
- абсолютной системы отсчета не существует;
- классический закон сложения скоростей нарушается;
- скорость света в различных направлениях есть величина постоянная.

Размышляя над отрицательными результатами этого эксперимента, Эйнштейн ввел в электромагнитную картину мира идею относительности пространства и времен. Необходимость в эфире отпала. По словам английского ученого Дж. Бернала, эксперимент Майкельсона – Морли был «величайшим из всех отрицательных опытов в истории науки», поскольку привел к революционному изменению представлений о пространстве и времени.

8.4. Теория относительности Эйнштейна Современные представления о пространстве и времени

В теории относительности (релятивистской теории) пространство и время не существуют друг без друга, рассматриваются как система отношений между материальными телами, единый четырехмерный континуум (пространство-время). Отсюда вытекает относительность одновременности, пространственных и временных промежутков, их зависимость от того, как движется наблюдатель **(СТО)**.

Дальнейшее углубление научных представлений о пространстве-времени связано с развитием общей теории относительности **(ОТО),** в рамках которой утверждается, что *пространство-время порождается материальными телами.* Связь между материей и пространством-временем в ОТО тесная и взаимная: сам факт присутствия и движения материальных тел искривляет пространство и изменяет темп течения времени; наоборот, искривление пространства-времени определяет характер движения тел.

В основе современных представлений о пространстве и времени лежат положения *теории относительности* – специальной и общей.

- Пространство и время неразрывно связаны между собой, т. е. составляют единое четырехмерное пространство-время (специальная теория относительности).
- Пространство и время имеют относительный характер: так, результаты измерений длин объектов и интервалов времен зависят от того, в какой системе отсчета они измеряются.
- Между пространством, временем, материей и ее движением существует тесная взаимосвязь.
- Вблизи тяготеющих масс пространство-время «искривляется» и уже не является Евклидовым пространством (общая теория относительности).
- Если убрать из пространства все материальные объекты – исчезнет пространство-время – общая теория относительности (ОТО).

Вопросы для самоконтроля

1. Согласно представлениям античных атомистов:

1) пустоты не существует, поскольку Вселенная всюду плотно заполнена атомами;

2) атомы, движущиеся в пустоте, являются ее порождением, постоянно возникают из пустоты и вновь исчезают в ней;

3) пустота, в которой движутся атомы, – такой же самостоятельный элемент мироздания, как и сами атомы;

4) пустоты не существует, поскольку промежутки между атомами заполнены особой материальной субстанцией – эфиром.

2. Из представленных вариантов выберите тот, который соответствует представлениям Аристотеля о времени:

1) время течет по-разному в зависимости от присутствия и движения материальных тел, их массы и энергии;

2) время служит лишь мерой движения, изменения тел и собственным существованием не обладает;

3) время устроено циклически, так что мир в целом постоянно возвращается к одному и тому же состоянию;

4) по самой своей сущности время абсолютно, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью.

3. Согласно представлениям механической картины мира, если бы из Вселенной можно было убрать все материальные тела, то:

1) сами понятия пространства и времени потеряли бы смысл;

2) пространство и время немедленно породили бы материю в количестве, равном количеству удаленной материи;

3) пространство и время остались бы, но стали всюду плоскими, неискривленными;

4) свойства пространства и времени остались бы неизменными.

4. Согласно концепции мирового эфира считалось, что мировое пространство:

1) заполнено невидимой субстанцией («непостижимо тонкой жидкостью»), изливающейся из Солнца и проникающей во все тела физического мира;

2) заполнено разреженным «газом», состоящим из виртуальных частиц, поток которых представляет собой электромагнитную волну;

3) заполнено невидимой субстанцией («тонкой материей»), в которой распространяются электромагнитные волны;

4) есть поле, характеризуемое минимальной энергией и отсутствием каких-либо материальных частиц.

5. Согласно современной научной картине мира, пространство и время:

1) остаются всегда неизменными;

2) не связаны с материей и ее движением;

3) являются абсолютными и не связаны друг с другом;

4) неразрывно связаны с материей и ее движением.

Тема 9. **СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО)**

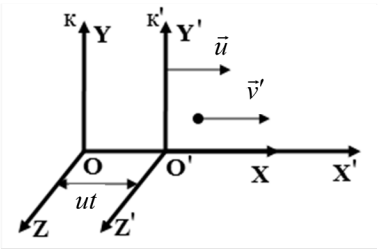
9.1. Проблема равноправия инерциальных систем отсчета

Инерциальными системами отсчета (ИСО) называются системы отсчета, для которых выполняется первый закон Ньютона. Относительно инерциальных систем отсчета материальная точка (тело) в отсутствие (или при взаимной компенсации) внешних сил покоится или движется равномерно и прямолинейно (по инерции).

В рамках механической картины мира справедлив *принцип относительности Галилея*: «Все механические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета, т. е. никакими механическими экспериментами невозможно доказать, движется ли данная инерциальная система отсчета равномерно и прямолинейно или покоится».

Переход от одной инерциальной системы к другой в классической механике осуществляется с помощью *преобразований Галилея.*

Из преобразований Галилея следует, что при переходе от одной ИСО к другой:



1) неизменными (инвариантными) остаются:

- временные отрезки,
- пространственные отрезки,
- масса тел;

2) имеет место классический закон сложения скоростей: скорость движения тела $\vec{v}$ относительно неподвижной системы отсчета (к) равна векторной сумме скорости этого тела $\vec{v}'$ относительно подвижной системы отсчета ($\text{к}'$) и скорости $\vec{u}$ самой подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы. $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$.

Возникает вопрос: будут ли инерциальные системы отсчета (ИСО) равноправными не только с точки зрения механики, но и с точки зрения физики в целом?

При формировании электромагнитной картины выявились противоречия между классической механикой и электродинамикой Максвелла. Например, в результате эксперимента Майкельсона – Морли (см. 8.3) было установлено, что скорость света в вакууме во всех системах отсчета (в различных направлениях к орбитальному движению Земли) не зависит от величины и направления скорости их движения и остается такой же, как и в системе отсчета, связанной с источником света. Это означало, что классический закон сложения скоростей не выполняется.

Альберт Эйнштейн предложил способ разрешения данного противоречия, пересмотрев классические представления о пространстве и времени. Он понял, что единственное объяснение данному противоречию заключается в том, что восприятие времени и пространства в разных системах отсчета неодинаково.

В 1905 г. Эйнштейн опубликовал работу «К электродинамике движущихся сред», в которой изложил основы специальной (частной) теории относительности (СТО). Представления СТО справедливы только в инерциальных системах отсчета.

9.2. Постулаты (принципы) СТО и их следствия

1. Принцип относительности (первый постулат Эйнштейна, являющийся обобщением принципа Галилея на все физические процессы): все физические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Иными словами, законы природы инвариантны во всех инерциальных системах отсчета (ИСО).

2. Принцип инвариантности (постоянства) скорости света (второй постулат Эйнштейна): скорость света в вакууме постоянна во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

Основные следствия из постулатов СТО

Переход из одной инерциальной системы отсчета в другую в СТО осуществляется при помощи преобразований Лоренца, в классической механике – при помощи преобразований Галилея.

Из преобразований Лоренца (из постулатов СТО) следует, что:

- при малых скоростях (по сравнению со скоростью света) преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея;
- пространство и время существуют как единая четырехмерная структура пространство-время (при смене систем отсчета изменяются строго согласованным образом) и описываются геометрией Евклида;

• одновременность относительна (одновременные события в одной ИСО перестают быть одновременными в другой ИСО);

• время носит относительный характер (часы, движущиеся относительно ИСО, идут медленнее покоящихся часов, т. е. ход часов замедляется в системе отсчета, относительно которой часы движутся; длительность события, происходящего в некоторой точке, наименьшая в той ИСО, относительно которой эта точка неподвижна):

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

• размеры тел носят относительный характер (с увеличением скорости движения тела его линейный размер в направлении движения уменьшается, при приближении скорости тела к скорости света линейные размеры в направлении движения стремятся к нулю):

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}};$$

• имеет место **релятивистский закон сложения скоростей;** если скорости v' и u малы по сравнению со скоростью света, то релятивистский закон сложения скоростей переходит в классический (см. 9.1):

$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + \frac{v'_x \cdot u}{c^2}};$$

• сверхсветовые скорости невозможны;

• масса и энергия эквивалентны, масса является мерой энергии покоящегося тела (энергия массивного тела никогда не обращается в нуль, энергия покоя тела E_0 пропорциональна его массе):

$$E = mc^2.$$

Инварианты СТО

При переходе от одной системы отсчета к другой не изменяются, остаются инвариантными:

- скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с);
- пространственно-временной интервал S (интервал в едином, неразрывном четырехмерном континууме – пространстве-времени, включает в себя пространственную и временную характеристики материальных процессов):

$$S^2 = c^2 t^2 - l^2 ;$$

- причинно-следственные связи (следствие не может наступить раньше причины в любой системе отсчета – развитие принципа причинности).

Соответствие СТО и классической механики

В рамках специальной теории относительности классическая механика Ньютона является приближением низких скоростей. Предсказания СТО и классической механики совпадают при малых скоростях движения (гораздо меньших скорости света). Если скорости движения тел соизмеримы со скоростью света, применять для таких тел законы классической механики нельзя.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип относительности Галилея утверждает, что:

1) ускоренное движение физически эквивалентно покою в гравитационном поле, т. е. неотличимо от него никакими измерениями;

2) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета;

3) все природные явления во всех инерциальных системах отсчета происходят одинаково;

4) все механические явления во всех инерциальных системах отсчета происходят одинаково.

2. К числу постулатов специальной теории относительности относятся утверждения о том, что (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) все природные явления во всех инерциальных системах отсчета происходят одинаково;

2) гравитационная масса любого тела, определяющая силу его притяжения к другим телам по закону всемирного тяготения, совпа-

дает с его инертной массой, фигурирующей во втором законе Ньютона $\left(\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}\right)$;

3) если в какой-нибудь системе отсчета скорость объекта равна скорости света, то она равна скорости света в любой другой системе отсчета;

4) ускоренное движение физически эквивалентно покою в гравитационном поле, т. е. неотличимо от него никакими измерениями.

3. Вывод специальной теории относительности о единстве пространства-времени означает, что (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) пространство и время физически полностью эквивалентны и обладают полностью идентичными свойствами;

2) взаимосвязь между пространством и временем точно такая же, как между массой и энергией;

3) при переходе от одной системы отсчета к другой системе промежутки времени между событиями и расстояния между точками, в которых они произошли, изменяются строго согласованным образом;

4) представление о независимости друг от друга пространства и времени приводит к противоречиям с наблюдаемыми свойствами физического мира.

4. Согласно специальной теории относительности, от выбора системы отсчета не зависят (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) причинно-следственная связь между событиями;

2) значение скорости движения любого тела;

3) значение скорости светового луча в вакууме;

4) искривление пространства-времени вблизи массивных тел.

5. В уравнении Эйнштейна устанавливается эквивалентность:

1) массы и силы;

2) массы и энергии;

3) силы и ускорения;

4) массы и времени.

Тема 10. **ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (ОТО)**

Общая теория относительности (ОТО) родилась из сомнений и вопросов, которые задавал себе Эйнштейн: «Почему такой фундаментальный принцип, как принцип относительности, должен быть применим лишь к инерциальным системам отсчета? Не следует ли отказаться от особой роли инерциальных систем отсчета вслед за отказом от понятий абсолютного пространства и абсолютного времени?».

Рассуждая над этими вопросами в течение десяти лет (1905–1915 гг.), Эйнштейн, в конечном итоге, создал теорию (1916), представляющую собой (по сравнению со СТО) очень существенный шаг вперед в вопросах понимания свойств пространства-времени. В ОТО Эйнштейн расширяет границы применимости принципа относительности, распространяя его и на неинерциальные системы отсчета (именно поэтому данная теория называется общей теорий относительности).

10.1. Принцип эквивалентности и его следствия

Данный принцип является основным принципом ОТО. Существует множество вариантов его изложения, отражающих один и тот же смысл:

- гравитация эквивалентна движению с ускорением;
- ускоренное движение физически эквивалентно покою в гравитационном поле, т. е. неотличимо от него никакими экспериментами;
- масса инертная и масса гравитационная неразличимы (равны между собой).

Следствием принципа эквивалентности является тесная взаимосвязь материи и пространства-времени. Согласно ОТО, гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел (как в механике Ньютона) и полей, находящихся в четырехмерном пространстве-времени, а деформацией («искривлением») упругой «ткани» пространства-времени под воздействием массы-энергии присутствующей в ней материи. При этом, чем тяжелее (массивнее) тело, тем сильнее пространство-время «прогибается» под ним, и тем соответственно сильнее гравитационное поле.

Легкое тело движется в таком искривленном пространстве не по прямой (на рис. 1 цветной вклейки – зеленая линия), а по геодезической линии (на рис. 1 цветной вклейки отмечена красным).

Согласно данному следствию, Земля обращается вокруг Солнца подобно маленькому шарику, пущенному кататься по геодезической линии вокруг конуса воронки, образованной в результате «продавливания» четырехмерного пространства-времени тяжелым шаром – Солнцем. То, что нами воспринимается как сила гравитации, является (в ОТО) внешним проявлением искривления пространства-времени.

Формулировка следствия из принципа эквивалентности также имеет множество вариантов, но сводится к следующим постулатам:

- четырехмерное пространство-время – это атрибут материи, обусловленный взаимосвязью расположенных в нем тел, и если бы из Вселенной исчезла вся материя, то вместе с ней исчезли бы и пространство, и время;
- связь между пространством-временем и материей очень тесная и взаимная: присутствие материальных тел изменяет свойства пространства-времени, что в свою очередь влияет на движение материальных тел.

10.2. Главные следствия ОТО

- Луч света, обладающий инертной, а следовательно, и гравитационной массой, должен отклоняться (искривляться) в поле тяготения;
- частота света в поле тяготения должна смещаться в сторону более низких значений (гравитационное красное смещение);
- ход времени в сильном гравитационном поле должен замедляться;
- должен наблюдаться дополнительный сдвиг перигелия орбиты планеты, вращающейся вокруг звезды, по сравнению с предсказаниями классической механики Ньютона;
- массы, создающие поле тяготения, должны искривлять четырехмерное пространство-время, и оно должно описываться неевклидовой геометрией.

10.3. Эмпирические доказательства ОТО

• *Дополнительное смещение перигелия орбиты Меркурия*.

Данное явление было известно астрономам задолго до предсказаний теории Эйнштейна. В астрономии XIX века это явление носило название аномального смещения перигелия орбиты Меркурия.

После построения Эйнштейном ОТО и уравнений, пригодных для решения ряда частных задач, он с их помощью вычислил кривизну пространства-времени, создаваемую Солнцем.

Смещение перигелия Меркурия – прецессия, вычисленная Эйнштейном в 1916 г. на основании ОТО, – полностью совпало с наблюдаемой в течение предыдущих столетий аномальной прецессией перигелия Меркурия, которую не могла объяснить классическая механика Ньютона.

• *Отклонение световых лучей в поле тяготения.* В 1919 г. специально организованная экспедиция Лондонского Королевского общества, наблюдавшая затмение Солнца в Западной Африке, подтвердила, что свет действительно отклоняется Солнцем (видимые положения звезд вблизи Солнца изменяются), как и предсказывала теория Эйнштейна. По этому поводу Эйнштейн писал Планку: «Судьба оказала мне милость, позволив дожить до этого дня».

• *Гравитационное красное смещение* было обнаружено в 1923–1926 гг. в спектрах звезд, а в земных условиях – в 1960 г. в эксперименте Паунда и Ребекки.

• *Гравитационное замедление времени.* Данное предсказание было проверено в прямом эксперименте в 1976 г. В эксперименте участвовала пара сверхточных водородных часов. Одни часы были подняты на ракете над Землей, вторые, предварительно синхронизированные с первыми, остались на Земле. Через два года часы вернули. Разность показаний совпала с расчетной по ОТО.

10.4. Соответствия ОТО и классической механики

Предсказания ОТО и классической механики совпадают в слабых гравитационных полях и на небольших скоростях движения тел.

Классическая механика дает точные предсказания при движении макроскопических тел с небольшими скоростями в слабых гравитационных полях. Если скорости движения становятся большими, приближающимися к скорости света, то классическая механика начинает ошибаться и необходимо использовать специальную теорию относительности. Если к тому же рассматриваются сильные гравитационные поля – такие, которые свойственны Метагалактике в целом или компактным массивным объектам вроде нейтронных звезд или черных дыр, – то и специальной теории относительности недостаточно, необходимо использовать общую.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип эквивалентности устанавливает физическую неразличимость (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) инертной и гравитационной масс;

2) ускоренного движения и покоя в гравитационном поле;

3) пространства и времени;

4) массы и энергии.

2. Основное следствие из принципа эквивалентности, выводимое в ОТО, гласит, что:

1) ускоренное движение физически эквивалентно покою в гравитационном поле, т. е. неотличимо от него никакими экспериментами;

2) присутствие и движение материальных тел изменяет геометрические свойства пространства-времени, и наоборот;

3) масса эквивалентна энергии: если тело обладает массой m, то тем самым оно обладает энергией $E = mc^2$, и наоборот.

3. В общей теории относительности представление о пространстве и времени описывается высказыванием:

1) пространство – это пустота, пассивное и неизменное вместилище материи; понятие же времени можно ввести, лишь сославшись на упорядоченный ряд событий, происходящих с материальными телами;

2) пространство и время существуют сами по себе и никак не зависят от материальных тел, в частности расстояния и промежутки времени не зависят от того, как движется измеряющий их наблюдатель;

3) пространство и время – это всего лишь система отношений между материальными телами, поэтому расстояния и промежутки времени зависят от того, как движется измеряющий их наблюдатель;

4) связь между пространством, временем и материей очень тесная и взаимная: присутствие материальных тел изменяет свойства пространства-времени, что в свою очередь влияет на движение материальных тел.

4. Эмпирическими доказательствами справедливости общей теории относительности служат (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) отрицательные результаты опыта Майкельсона – Морли;

2) решения уравнений общей теории относительности, найденные А.А. Фридманом в 20-х годах XX века;

3) медленное смещение перигелия орбиты Меркурия;

4) искривление световых лучей, проходящих вблизи Солнца.

5. Укажите условия, при которых совпадают предсказания классической механики и общей теории относительности (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) скорости движения небольшие, т. е. гораздо меньшие, чем скорость света;

2) скорости движения большие, т. е. приближающиеся к скорости света или равные ей;

3) гравитационные поля сильные, т. е. такие, в которых свободно падающее тело может разогнаться до скорости, близкой к скорости света;

4) гравитационные поля слабые, т. е. такие, в которых свободно падающее тело не может разогнаться до скорости, близкой к скорости света.

РАЗДЕЛ III

СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ И СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАТЕРИИ

Тема 11. **МИКРО-, МАКРО-, МЕГАМИРЫ**

11.1. Уровни строения вещества

Выделяют три уровня строения вещества: микро-, макро- и мега-уровни. Принцип деления на структурные уровни – соизмеримость или несоизмеримость масштабов данного уровня с масштабами человека и его деятельности. Соизмеримость означает близость по величине и подчинение закономерностям, привычным для жизненного опыта человека.

На каждом из структурных уровней действуют свои специфические закономерности, несводимые друг к другу. Однако все эти три уровня связаны между собой теснейшим образом, образуя иерархичную структуру.

1. **Микромир** – мир предельно малых, непосредственно не наблюдаемых объектов. Объектами микромира являются элементарные частицы, атомные ядра, атомы и молекулы.

2. **Макромир** – мир непосредственно окружающих человека объектов, доступных его непосредственному наблюдению. К объектам макромира относят объекты в диапазоне от живой клетки до человека и самой Земли.

3. **Мегамир** − мир объектов, которые несоизмеримо больше человека: планеты, звезды, звездные системы, галактики и вся Вселенная.

Масштаб явлений отражается на выборе физической теории, используемой для их описания.

Мегамир описывается законами классической физики с поправками, внесенными специальной и общей теорией относительности. Преобладающим взаимодействием в мегамире является гравитационное. Исследование мегамира тесно связано с космологией и космогонией.

Макромир − область применимости классической физики, где с высокой точностью справедливы законы Ньютона.

Микромир − область действия квантовой физики.

11.2. Мегамир, объекты мегамира

Мегамир − мир объектов космического масштаба: планеты, звезды, галактики, Метагалактика. Для измерения расстояний в мегамире используют соответствующие мегамасштабам единицы: *астрономическая единица* = $1{,}5 \cdot 10^8$ км − расстояние от Земли до Солнца; *световой год* = $9{,}46 \cdot 10^{12}$ км − путь, который свет проходит за год; *парсек* = = 3,263 св. года = $3{,}086 \cdot 10^{13}$ км.

Звезда − самосветящееся, компактное небесное тело, в котором естественным образом происходили, происходят или с неизбежностью будут происходить реакции термоядерного синтеза, являющиеся источником энергии звезд. Необходимым условием для реакций синтеза является очень высокая температура ($T \geq 10$ млн К).

Звезды − это основные тела Вселенной, в них сосредоточено более 90 % наблюдаемого вещества.

Планета − компактное небесное тело, обладающее следующими признаками:

- не звезда;
- обращается вокруг звезды (например, Земля вокруг Солнца);
- светится отраженным светом от звезды;
- достаточно массивное, чтобы под воздействием собственного тяготения стать шарообразным, но недостаточно массивное для начала термоядерной реакции;
- достаточно массивное, чтобы тяготением очистить окрестности своей орбиты от других небесных тел.

Планеты можно поделить на два основных класса: большие, имеющие невысокую плотность планеты-гиганты, и менее крупные землеподобные планеты, имеющие твердую поверхность.

В Солнечной системе землеподобными планетами являются Меркурий, Венера, Земля и Марс.

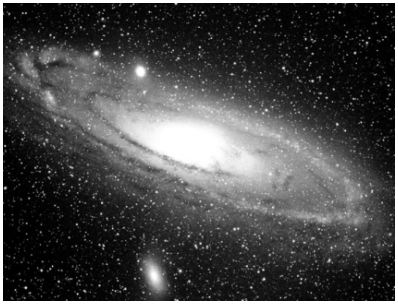
Галактики − гигантские звездные системы, состоящие из миллиардов звезд, связанных взаимным тяготением и общим происхождением.

Масса галактик варьируется от 10^7 до 10^{12} масс Солнца.

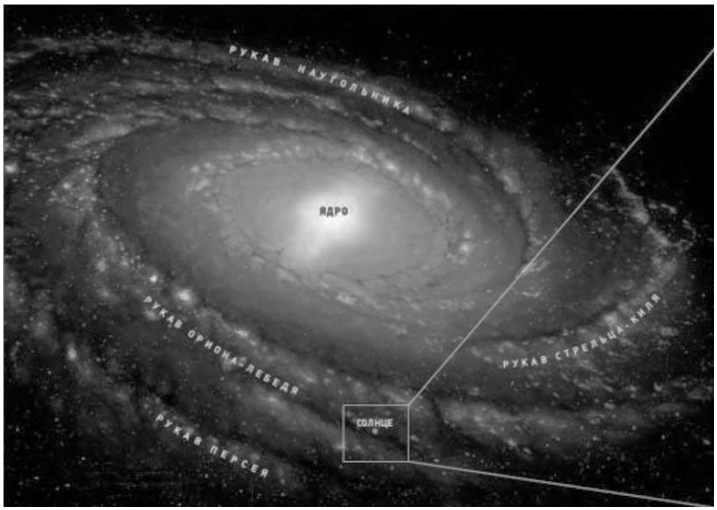
Размеры типичной галактики – десятки и сотни тысяч световых лет. По сравнению со звездами и планетами галактики – очень рыхлые образования: это космическая пустота, плотность вещества в которой измеряется, в лучшем случае, единицами элементарных частиц на кубометр.

Галактики подразделяют на *эллиптические* (обозначаются буквой E), *спиральные* (S) и *неправильные или нерегулярные* (Ir). Ближайшие к нам галактики − Магеллановы облака (Ir) и туманность Андромеды (S).

Магеллановы облака (Ir)



Туманность Андромеды (S)



Млечный Путь (S)

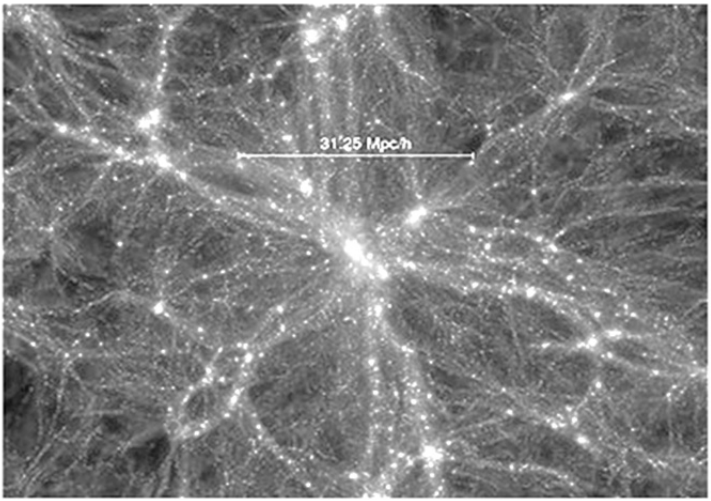
Наша Галактика **Млечный Путь**:

- по количеству звезд – гигантская (около 200 млрд звезд);
- по массе – $2 \cdot 10^{11}$ масс Солнца;
- по форме – спиральная;
- по размеру – диаметр составляет около 100 тысяч световых лет.

Основу нашей Галактики составляет огромное скопление звезд в «центре» (см. рис. 2 цветной вклейки). Солнечная система находится между спиральными «рукавами» Галактики на расстоянии ~30 тысяч световых лет от ее центра. Она движется вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с, совершая один оборот за 230 миллионов лет. Для земного наблюдателя Млечный Путь виден как светлая неровная полоса, опоясывающая небо по большому кругу. Млечный Путь мы наблюдаем изнутри, находясь вблизи плоскости галактического диска (см. рис. 3 цветной вклейки).

В наблюдаемой Вселенной, т. е. в области, доступной современным средствам астрономических исследований, насчитывается около 100 миллиардов галактик. Их совокупность называют **Метагалактикой**. Некоторые теории предсказывают, что полная Вселенная имеет размер намного больший, чем наблюдаемая.

Ближайшие к нашей Галактике Магеллановы облака удалены от нас на расстояние ~150 тысяч световых лет. Наиболее удаленные от нас объекты находятся на расстоянии ~13 миллиардов световых лет.



Расчетная структура Вселенной по данным **Millennium simulation**

Одной из нерешенных проблем строения галактик является *темная материя*, проявляющая себя только в гравитационном взаимодействии. Эта форма вещества не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним, что делает невозможным ее прямое наблюдение. Однако присутствие темной материи можно обнаружить по создаваемым ею гравитационным эффектам. Она может составлять до 90 % от общей массы галактики, а может и полностью отсутствовать, как в некоторых карликовых галактиках.

Отмеченное белой линией расстояние составляет примерно 141 млн световых лет. Желтым цветом на рис. 4 цветной вклейки обозначена материя, фиолетовым – темная материя (наблюдаемая лишь косвенно). Каждая желтая точка представляет собой одну галактику.

Вопросы для самоконтроля

1. Границы между тремя масштабными уровнями организации материи – микро-, макро- и мегамиром – проводятся по критериям (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) познаваемости объектов данного уровня человеческим разумом;

2) времени существования объектов данного масштабного уровня;

3) соизмеримости или несоизмеримости объектов данного уровня с масштабами человека и его деятельности;

4) преобладающих на данном масштабном уровне фундаментальных взаимодействий.

2. К обязательным признакам (атрибутам) галактики относятся (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) большое количество звезд, входящих в ее состав;

2) спиральная форма;

3) протекание в ее недрах термоядерных реакций в настоящем, прошлом или будущем;

4) низкая средняя плотность по сравнению со звездами или планетами.

3. Установите соответствие между объектом мегамира и единицей длины, используемой для измерения расстояний между его элементами.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) Марс	А) нанометр
2) Солнечная система	Б) километр
3) наша Галактика	В) парсек
	Г) астрономическая единица

4. Установите соответствие между фундаментальным взаимодействием и тем масштабным уровнем организации материи, на котором оно наиболее существенно.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) сильное	А) метагалактика
2) электромагнитное	Б) мегамир
3) гравитационное	В) микромир
	Г) макромир

5. Укажите соответствие между объектом мегамира и его атрибутом (обязательным признаком, свойством).

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) планета	А) у объекта имеется видимая твердая поверхность
2) звезда	Б) объект не является компактным небесным телом
3) галактика	В) в недрах объекта происходят, происходили или с необходимостью будут происходить термоядерные реакции
	Г) объект обращается вокруг звезды

Тема 12. **СТРУКТУРЫ МИКРОМИРА**

- Вещество состоит из молекул и атомов;
- молекулы − из атомов;
- атомы − из ядер и электронов;
- ядра − из нуклонов (протонов и нейтронов);
- нуклоны − из кварков.

Размеры объектов микромира − не более 10^{-8} м, масса − не более 10^{-10} кг.

Размер атомов ~ 1Å $= 10^{-10}$ м; ядер ~ 1 фм $= 10^{-15}$ м.

В ядре сосредоточена практически вся масса атома.

Минимальные размеры, доступные экспериментальному изучению на сегодняшний день, составляют $\sim 10^{-18}$ м.

Процессы, протекающие в микромире, описывает квантовая физика.

12.1. Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия

В настоящее время достоверно не известно, существуют ли вообще элементарные частицы в первоначальном смысле этого слова, т. е. первичные, далее неделимые частицы. Поэтому под элементарными сейчас условно понимают микрочастицы, не являющиеся атомами или атомными ядрами.

Между частицами могут осуществляться 4 типа фундаментальных взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное (см. 6.4). Все остальные силы, возникающие при взаимодействиях тел, являются производными от фундаментальных.

Элементарные частицы подразделяются на три группы: переносчики взаимодействия, лептоны и адроны.

Переносчики	Лептоны	Адроны		
		Мезоны	Барионы	
			Нуклоны	Гипероны
γ, …	e, μ, τ, ν	π, K, η; φ и резонансы	p, n	Λ, Σ, Ξ; Ω и резонансы
1	1/2	0; 1	1/2	1/2; 3/2
С П И Н				

Переносчики взаимодействия. К ним относятся фотоны (переносчики электромагнитного взаимодействия); W- и Z-бозоны (слабое взаимодействие); глюоны (сильное взаимодействие) и гравитоны.

Лептоны − частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях. К ним относятся электроны, мюоны, таоны и соответствующие им нейтрино. Лептоны принимают участие в слабых и (за исключением нейтрино) в электромагнитных взаимодействиях.

Адроны − частицы, участвующие в сильных взаимодействиях. Как правило, они участвуют также в электромагнитном и слабом взаимодействиях. К адронам относятся свыше 400 частиц. Адроны подразделяют на мезоны и барионы.

Мезоны − это адроны с нулевым или целочисленным спином (т. е. бозоны).

Барионы − это адроны с полуцелым спином (т. е. фермионы) и массами, не меньшими массы протона. Класс барионов объединяет нуклоны и гипероны.

Нуклоны (от лат. *nucleus* – ядро) – общее название для протонов (*p*) и нейтронов (*n*), частиц, входящих в состав ядра.

Гипероны (от греч. *ὑπέρ* – над, сверх, выше) – барионы с массой, большей массы нуклона.

12.2. Античастицы

В релятивистской квантовой теории установлено, что почти у каждой частицы имеется античастица. Античастицы имеют тождественные с частицей значения массы, времени жизни и спина, но противоположные по знаку значения электрического, лептонного и барионного зарядов.

При столкновении частицы и античастицы происходит *аннигиляция*, т. е. они взаимно уничтожают друг друга, при этом выделяется энергия в виде квантов электромагнитного излучения (фотонов). По существу, происходит не исчезновение, а взаимное превращение одних частиц в другие.

Частицы с нулевым значением всех зарядов не имеют античастиц, иначе говоря, тождественно совпадают со своими античастицами. Такие частицы называются *истинно нейтральными*. К ним относятся фотоны, нейтральные π-, η- и φ-мезоны.

12.3. Фундаментальные частицы

В настоящее время считают, что истинно элементарными (фундаментальными) частицами, не имеющими внутренней структуры, являются лептоны, кварки и все частицы переносчики элементарных взаимодействий.

Кварки и лептоны являются своего рода строительным материалом атомов – кирпичиками, из которых сложена Вселенная.

Гравитоны, фотоны, векторные бозоны, глюоны – носители сил, удерживающих частицы вместе. Это своего рода «цемент», которым скреплена Вселенная.

12.4. Кварки

Кварки являются «кирпичиками», из которых построены адроны. В настоящее время известно 6 сортов «ароматов» кварков: u, d, s, c, b, t.

Верхний	**u**p	**u**
Нижний	**d**own	**d**
Очарованный	**c**harm	**c**
Странный	**s**trange	**s**
Истинный	**t**ruth	**t**
Прелестный	**b**eauty	**b**

Все кварки имеют спин 1/2 и барионный заряд B =1/3. Электрический заряд кварков u, c, t равен (+2e/3); а кварков d, s и b − (−e/3).

Кварки участвуют в сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях.

Мезоны состоят из двух частиц: кварка и антикварка. Например, $\pi^+ = u\tilde{d}, \quad \pi^- = \tilde{u}d.$

Барионы состоят из трех кварков: $p = uud, \quad n = udd, \quad \tilde{p} = \tilde{u}\tilde{u}\tilde{d}.$

12.5. Частицы-переносчики взаимодействий

Взаимодействие происходит благодаря переносу частицы-носителя взаимодействия между взаимодействующими частицами. Например, электромагнитное взаимодействие между двумя электронами происходит в результате переноса фотона.

Переносчиками сильного взаимодействия являются глюоны; слабого − виртуальные *W*- и *Z*-бозоны. Природа гравитационного взаимодействия пока неизвестна, предположительно оно происходит в результате переноса частиц гравитонов. ОТО предсказывает, что они будут безмассовыми частицами со спином, равным 2.

12.6. Взаимопревращения элементарных частиц

Одним из главных свойств частиц является их способность превращаться друг в друга, рождаться и уничтожаться в результате взаимодействия.

Примером может служить аннигиляция электрона и позитрона, сопровождающаяся рождением фотонов.

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$

Может протекать и обратный процесс − рождение электронно-позитронной пары, например, при столкновении фотона достаточно большой энергии с ядром.

Ключом к пониманию разнообразных реакций с участием элементарных частиц служат законы сохранения. Кроме энергии и импульса, в реакциях всегда сохраняется электрический заряд. Кроме того, ни разу не было обнаружено нарушения сохранения барионного и лептонных зарядов.

12.7. Физический вакуум

Физический вакуум – наинизшее энергетическое состояние физических полей, в котором отсутствуют реальные частицы. Физический вакуум – неустранимая динамическая материальная среда, которая может рассматриваться как «океан» постоянно возникающих и исчезающих виртуальных частиц. Виртуальная частица отличается от реальной тем, что она не может быть обнаружена во время своего существования.

Вопросы для самоконтроля

1. К составным (т. е. имеющим более или менее сложную внутреннюю структуру) объектам микромира относятся (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) протон;
2) электрон;
3) атом водорода;
4) фотон.

2. Распад свободного электрона на протон и нейтрон запрещен законом (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) всемирного тяготения;
2) сохранения числа частиц;
3) сохранения электрического заряда;
4) сохранения энергии.

3. Класс адронов объединяет частицы, которые:

1) не участвуют в сильном взаимодействии;
2) являются самыми легкими;
3) участвуют в сильном взаимодействии;
4) имеют нулевой спин.

4. Бета-излучение представляет собой:

1) поток ядер атомов гелия, испускаемых атомными ядрами при радиоактивном распаде;

2) поток электронов или позитронов, испускаемых атомными ядрами при радиоактивном распаде;

3) электромагнитное излучение;

4) тепловое излучение.

5. Установите соответствие между классами элементарных частиц и критерием их разбиения на эти классы.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) лептоны и адроны	А) масса
2) стабильные, нестабильные и резонансы	Б) время жизни
3) фермионы и бозоны	В) участие или неучастие в сильном взаимодействии
	Г) спин (собственное количество вращательного движения)

Тема 13. **ХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Химия − наука о веществах, их свойствах, строении и превращениях, происходящих в результате химических реакций.

Предмет химии − химические элементы и их соединения, а также закономерности, которым подчиняются различные химические реакции.

Химические системы (атомы и молекулы) представляют собой следующий, более сложный по сравнению с системами, состоящими из отдельных частиц, уровень организации материи.

13.1. Атом

Атом – носитель свойств химического элемента. Состоит из ядра и электронов, удаленных от ядра на большое расстояние. Ядро включает в себя положительно заряженные **протоны** и лишенные заряда **нейтроны**.

Число протонов Z называют зарядовым числом. Оно равно числу электронов и определяет номер химического элемента в периодической таблице Менделеева. Поэтому его также называют атомным номером. Суммарное число протонов и нейтронов в ядре называют массовым числом.

Изотопы − разновидности атомов какого-либо химического элемента, которые имеют одинаковое зарядовое число, но разные массовые числа, т. е. отличаются лишь числом нейтронов в ядре.

Большинство природных химических элементов представляет собой смесь изотопов. Все изотопы одного атома обладают практически одинаковыми химическими свойствами. Обычно изотоп обозначается символом химического элемента, к которому он относится, с добавлением верхнего левого индекса, означающего массовое число (например, ^{12}C, ^{222}Rn).

Пример изотопов: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$ − три стабильных изотопа кислорода, где $Z = 8$ − зарядовое число кислорода.

13.2. Периодическая таблица Менделеева

Химические свойства атома зависят от строения электронной оболочки, которая определяется в основном зарядовым числом Z.

Суть открытия Менделеева в том, что с ростом атомной массы химические свойства элементов меняются не монотонно, а периодически. После определенного количества разных по свойствам элементов свойства начинают повторяться. Так, калий похож на натрий, фтор − на хлор, а золото схоже с серебром и медью.

Объяснение периодичности было получено в рамках квантовой механики и связано с принципом Паули, согласно которому в атоме не может быть двух электронов в одинаковом квантовом состоянии. Этот принцип позволил связать химические свойства элементов с числом электронов на внешних оболочках. Атомы, относящиеся к одной группе таблицы Менделеева и имеющие сходные химические свойства, имеют на внешних оболочках одинаковое число электронов, которые называются валентными.

13.3. Молекула

Молекула − наименьшая частица вещества, обладающая его основными свойствами. Молекулы состоят из одинаковых или различных атомов, соединенных между собой межатомными химическими связями.

Независимо от конкретного типа связи (ионная, ковалентная, металлическая, водородная и др.), возникающего в той или иной ситуации, химическая связь является проявлением электромагнитного взаимодействия. Предельными случаями химических связей являются ионная и ковалентная.

Являясь результатом взаимодействия, молекула обладает новыми интегративными свойствами, которые отличают ее от свойств отдельных атомов. Разрушение молекул происходит в химических процессах, при этом одни вещества превращаются в другие.

Простые вещества – вещества, молекулы которых состоят исключительно из атомов одного химического элемента, например O_2 (кислород), H_2 (водород), N_2 (азот), I (йод), He (гелий), Ar (серебро).

Сложные вещества – вещества, молекулы которых состоят из атомов двух и более химических элементов, например углекислый газ – CO_2, аммиак – NH_3, метан – CH_4, вода – H_2O.

Понятие о качественном и количественном составе вещества. Качественное описание – это такое описание, при котором указывается, какие атомы входят в состав молекулы вещества. При количественном описании указывается не только из каких атомов состоит молекула, но и в каком количестве они входят в состав молекулы. Например, качественное описание воды звучит как «в состав молекулы воды входят атомы водорода и кислорода»; количественное – «молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода».

13.4. Полимеры

Полимеры − аморфные и кристаллические вещества, состоящие из мономерных звеньев, соединенных в длинные макромолекулы химическими связями.

Полимер − это высокомолекулярное соединение. Как правило, полимеры − вещества с молекулярной массой от нескольких тысяч до нескольких миллионов. В строении полимера можно выделить *мономерное звено* − повторяющийся структурный фрагмент, включающий несколько атомов. Полимеры состоят из большого числа повторяющихся звеньев одинакового строения, например поливинилхлорид $(-CH_2-CHCl-)_n$.

Высокомолекулярные соединения, молекулы которых содержат несколько типов повторяющихся звеньев, называют гетерополимерами.

Полимер образуется из мономеров в результате реакций полимеризации. К полимерам относятся многочисленные природные соедине-

ния: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, каучук и другие органические вещества.

Кроме органических соединений, существует и множество неорганических полимеров. Названия полимеров образуются из названия мономера с приставкой *поли-*: полиэтилен, полипропилен и т. п.

13.5. Катализ

Катализ − химическое явление, суть которого заключается в изменении скоростей химических реакций под действием некоторых веществ (их называют *катализаторами*).

Катализатор многократно вступает в промежуточное химическое взаимодействие с участниками реакции и восстанавливает свой химический состав после каждого цикла промежуточных химических взаимодействий. Явление катализа распространено в природе (большинство процессов, происходящих в живых организмах, являются каталитическими) и широко используется в технике (в нефтепереработке и нефтехимии, в производстве серной кислоты, аммиака и др.). Роль катализаторов в живых системах (биокатализаторов) выполняют *ферменты* (*энзимы*) − органические вещества белковой природы.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите фразу, в которой речь идет о качественном составе глюкозы, имеющей молекулярную формулу $C_6H_{12}O_6$:

1) глюкоза является веществом питания человека и входит в состав крови;

2) в состав молекулы глюкозы элементы входят в соотношении 6:12:6;

3) молекула глюкозы состоит из атомов углерода, водорода и кислорода;

4) глюкоза хорошо растворяется в воде.

2. Химический элемент – это совокупность атомов одного вида. Все атомы одного химического элемента имеют одинаковое:

1) массовое число;

2) зарядовое число атомного ядра;

3) число нуклонов в ядре атома;

4) число нейтронов в ядре атома.

3. Молекула представляет собой целостную систему, которая образована в результате:

1) гравитационного взаимодействия нескольких атомов;
2) сильного ядерного взаимодействия;
3) электромагнитного взаимодействия электронов и ядер атомов;
4) гравитационного взаимодействия электронов и ядер атомов.

4. Свойства химических элементов не являются случайными, а зависят от электронного строения соответствующих атомов и закономерно изменяются с изменением атомного номера. В этом состоит суть:

1) правила Вант-Гоффа;
2) закона постоянства состава вещества;
3) периодического закона Д.И. Менделеева;
4) принципа Ле Шателье.

5. При описании поведения электрона в атоме его состояние задается (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) значениями термодинамических параметров;
2) волновой функцией;
3) точными значениями координат и импульса;
4) на языке вероятностей.

Тема 14. **ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ**

Биология − наука о живом. Биологический уровень организации материи является наиболее сложным. Его закономерности невозможно объяснить, опираясь только на физико-химические принципы.

В живых организмах важную роль играют три класса молекул-мономеров: аминокислоты, нуклеотиды, моносахариды. Они служат строительным материалом для полимерных биологических макромолекул, таких как белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды. Размеры мономеров колеблются в диапазоне 0,5…1,0 нм, а макромолекул – 5…300 нм. Диаметр молекулы аминокислоты порядка 0,5 нм, хромосомы – примерно 1 нм, а атомов углерода и водорода – около 0,1 нм. Для сравнения: средний диаметр соматической клетки 10…20 мкм, растительной – 30…50 мкм. Таким образом, атомы примерно в 100 000 раз меньше клетки.

14.1. Иерархическая организация биосистем

Клетка − элементарная единица строения и жизнедеятельности всех живых организмов (кроме вирусов, о которых иногда говорят как о неклеточных формах жизни), обладающая всей совокупностью свойств живого, способная к самостоятельному обмену с внешней средой, росту и делению. Все основные свойства (признаки) живого начинают проявляться на уровне клетки.

Вирусы (от лат. *virus* − яд) − неклеточные организмы, простейшая форма жизни, представляющая собой молекулы ДНК или РНК, заключенные в белковую оболочку. Вирусы способны размножаться только внутри клетки; вне клетки вирусные частицы ведут себя как химические вещества.

Все клеточные формы жизни можно разделить на два надцарства на основании строения их клеток: прокариоты и эукариоты.

Прокариоты (доядерные) − организмы, клетки которых не имеют ограниченного мембраной ядра. Генетический материал у прокариот представлен примитивной хромосомой, состоящей из одной расположенной в цитоплазме и замкнутой в кольцо молекулы ДНК. Представителями прокариот являются бактерии.

Эукариоты (ядерные) − организмы, клетки которых содержат оформленные ядра. К эукариотам относятся все высшие животные и растения. Размер эукариотических клеток составляет от 0,01 до 0,1 мм. В организме человека до 10^{15} клеток.

Специфика клеток заключается в их специализации.

Половые клетки служат для размножения; соматические (от греч. σῶμα − тело) имеют разное строение и функции: нервные, мышечные, костные.

Клетки состоят из *биополимеров*: белков, нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), полисахаридов и липидов. Строительными блоками для нуклеиновых кислот являются нуклеотиды (5 типов), а для белков − аминокислоты (20 типов аминокислотных остатков).

Практически все функции живой клетки определяются белками. Белки-ферменты являются катализаторами биохимических реакций. Макромолекулы ферментов содержат тысячи простых молекул и имеют нанометровые размеры.

На следующем, более высоком уровне организации биополимеры клетки образуют надмолекулярные комплексы.

Надмолекулярные комплексы в свою очередь образуют органеллы (органоиды): ядро клетки, рибосомы, митохондрии и др. Например, рибосомы являются комплексами нуклеиновых кислот и белков; их функция − синтез белковых молекул из аминокислот.

Генетический код (язык жизни) − свойственный организмам единый способ «записи» генетической (наследственной) информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде специфической последовательности образующих эти кислоты нуклеотидов. Единицей генетического кода является *кодон* (тройка нуклеотидов, триплет).

Ткань – система клеток и межклеточного вещества, объединенных общим происхождением, строением и выполняемыми функциями. Например, в организмах животных выделяют следующие виды тканей: эпителиальная − покрывает организм снаружи, выстилает поверхность внутренних органов и полости; соединительная; нервная; мышечная; сердечная. Строение тканей животных и человека изучает *гистология*.

Орган − обособленная совокупность различных типов клеток и тканей, выполняющая определенную функцию в живом организме. Органная организация клеток и тканей характерна как для животных, так и для высших растений.

Организм − биологическая система, обладающая совокупностью свойств (обмен веществ, размножение, наследственность, рост и др.), отличающих его от неживой материи. Все живые организмы либо являются одноклеточными, либо состоят из множества клеток.

Как отдельная особь организм входит в состав вида и популяции, являясь структурной единицей популяционно-видового уровня жизни.

14.2. Иерархическая организация экосистем

Вид − группа особей с общими признаками, способная к взаимному скрещиванию, дающему плодовитое потомство, распространенная в пределах определенного ареала и сходно изменяющаяся под влиянием внешней среды. Общее число видов живых организмов на Земле оценивается в 8,7 млн.

Популяция – совокупность особей одного вида, занимающих одну территорию. Популяция – часть вида, более однородная по составу, поскольку между ее особями происходит постоянный обмен генами.

Биогеоценоз (экосистема) − совокупность взаимосвязанных популяций разных видов, длительно обитающих на определенной территории с относительно одинаковыми условиями. Живые организмы нахо-

дятся в постоянном взаимодействии друг с другом и с факторами неживой природы.

Биосфера – глобальная экосистема планеты.

14.3. Уровни организации живого и их элементарные единицы

Мир живой материи очень разнообразен. Однако, несмотря на многообразие и сложность, его можно разделить на шесть иерархичных, соподчиненных уровней. Такое деление отражает системный подход в изучении природы. Каждому из уровней соответствует своя элементарная единица. Элементарная единица – это структура, закономерные изменения которой составляют на соответствующем уровне содержание эволюционного процесса.

Уровни организации	Элементарная единица
Молекулярно-генетический	Ген
Клеточный	Клетка
Онтогенетический (организменный)	Особь (организм)
Популяционно-видовой	Популяция
Биоценотический	Биоценоз (совокупность популяций)
Биосферный	Биогеоценоз

14.4. Химический состав живого. Атом углерода

В земной коре встречается 88 химических элементов; 40 обнаружено в живых организмах.

4 из них – водород (H), углерод (C), кислород (O) и азот (N), называемые органогенами, или биогенными элементами, – составляют 99 % массы живого. Их биологическое значение обусловлено их валентностью (1, 2, 3, 4) и способностью легко соединяться между собой, образуя прочные ковалентные связи.

Следующие по важности – фосфор (P), сера (S) и ионы натрия (Na), магния (Mg), хлора (Cl), калия (K) и кальция (Ca). Последние участвуют в поддержании водно-солевого баланса и постоянства осмотического давления в организме.

Две указанные группы элементов часто называют *макроэлементами*, они содержатся в организмах в значительных количествах и потребность в них у живых организмов высока.

В качестве *микроэлементов* в организмах присутствуют железо (Fe), кобальт (Co), медь (Cu), цинк (Zn), бор (B), алюминий (Al), кремний (Si), ванадий (V), молибден (Mo), йод (I), марганец (Mn). Они входят в состав живых организмов в небольших количествах. Однако эти элементы жизненно необходимы, они выполняют важные физиологические функции, находясь в составе ферментов, стимуляторов, гормонов, витаминов.

Пример: человек массой 70 кг состоит из 45,5 кг кислорода, 12,6 кг углерода, 7 кг водорода, 2,2 кг азота, 1,4 кг кальция, 700 г фосфора и ~700 г в общей сложности кадмия (Cd), серы (S), натрия (Na), хлора (Cl), железа (Fe) и микроскопических доз меди (Cu), никеля (Ni), кобальта (Co) и др.

Такой расклад элементов не универсален. Некоторые организмы являются концентраторами определенных элементов. Так, моллюски и ракообразные избирательно концентрируют медь, животные − железо.

С точки зрения химии, жизнь − это превращения различных сложных молекул, главным элементом которых является углерод (C), хотя его присутствие в земной коре и составляет всего 0,055 %.

Все биологически важные вещества (белки, жиры, углеводы, гормоны, витамины) содержат углерод (C). Соединения с углеродом называют органическими, так как первоначально считали, что такие молекулы могут образовываться только в живых организмах.

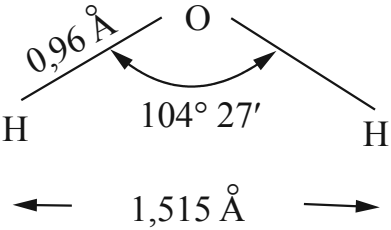
Уникальным свойством углерода является его способность образовывать полимеры – устойчивые цепи и кольца, которые обеспечивают разнообразие органических соединений.

14.5. Химический состав живого. Вода

Вода является «жидким фундаментом» жизни, так как почти все живые существа состоят в основном из воды. Уникальность ее свойств обусловлена строением, что позволяет ей образовывать связи с молекулами почти всех веществ.

Между собой молекулы воды соединяются водородными связями (диполь-дипольные взаимодействия), которые слабее, чем ионные. Поэтому вода прекрасно растворяет как ионные соединения, так и многие ковалентные соединения, т. е. является универсальным растворителем.

Молекулы или ионы вещества получают в растворе возможность более свободно двигаться. Поэтому большая часть реакций в клетке идет в водном растворе. Свойство воды растворять важно для транспортировки по организму различных веществ. Эту роль вода выполняет в крови, в лимфатической системе, пищеварительном тракте и т. д.



Тепловые свойства воды. Аномально большое значение теплоемкости, теплоты испарения и теплоты плавления важны для обеспечения жизни при перегреве и переохлаждении организмов. Это демпфирующее свойство – свойство тепловой инерции – очень важно для оптимального протекания биохимических процессов.

Аномально низкая плотность воды в твердом состоянии предохраняет водоемы от вымерзания, обеспечивая сохранение жизни в водоемах зимой.

Большое поверхностное натяжение обеспечивает передвижение растворов по капиллярам растений и дает возможность существования жизни на поверхности водоемов.

Вода − важнейший по объему компонент тканей организмов: она является средой и участником всех биохимических реакций в организмах.

Благодаря воде у теплокровных организмов осуществляется **гомеостаз** – процесс поддержания постоянства внутренней среды живого организма посредством скоординированных реакций, направленных на создание динамического равновесия.

14.6. Каталитический характер химии живого

Катализ – явление изменения скорости химической реакции в присутствии веществ, состояние и количество которых после реакции остаются неизменными.

Ферментативный катализ – каталитические реакции, протекающие с участием ферментов (энзимов) – биологических катализаторов белковой природы, которые повышают скорость реакции в $10^{11}…10^{13}$ раз.

Ферментативный катализ имеет *две особенности*:

- высокая активность;
- высокая специфичность (фермент взаимодействует только со своим субстратом и не способен катализировать иные реакции).

Субстратами называются реагенты в биохимических реакциях, катализируемых ферментами.

Высокая специфичность ферментативного катализа объясняется строгим геометрическим и электронным соответствием (**комплементарностью**) структуры реагента структуре активного центра фермента, на котором реагент сорбируется и далее претерпевает химические превращения. По образному выражению Э. Фишера – немецкого химика, лауреата Нобелевской премии, «комплементарные молекулы подходят друг к другу, как ключик к замочку».

14.7. Симметрия и асимметрия живого

Множество важных и необходимых для жизни молекул существует в двух формах, являющихся зеркальным отражением друг друга.

(S)-аланин (R)-аланин

Например, аминокислота аланин может иметь две зеркальные формы: (S)-аланин и (R)-аланин, которые невозможно совместить путем их поворотов. Они соотносятся между собой как левая и правая рука. Поэтому такие молекулы называют **хиральными** (от греч. *χέιρ* – рука).

Примером ахиральной молекулы может служить зеркально симметричная молекула воды H_2O.

Важным физическим свойством хиральных молекул является их оптическая активность. Например, аминокислоты всех живых систем (животных, растений и даже вирусов), а потому и белки, являются

левовращающими плоскость поляризации изомерами. Наоборот, нуклеиновые кислоты содержат правовращающие сахара.

Установлено, что в природе хиральностью могут обладать и «живые», и «неживые» молекулы, но «живые» хиральны всегда. Причем «неживые» хиральные молекулы равновероятно встречаются и в левом, и в правом варианте, а «живые» – или только в левом, или в правом. Так, ориентация ДНК-спирали всегда правая. В этом смысле молекулы живых организмов хирально чисты.

Если хиральность (пространственная ориентация) молекул веществ пищи изменится на противоположную (зеркальную), то эти вещества окажутся для живого организма биологическим ядом, они будут отторгаться организмом, поскольку ведут его к гибели.

По современным представлениям своим, именно хиральная чистота живого определяет биохимическую границу между живым и неживым.

14.8. Общие свойства живых систем

Живые системы обладают рядом *общих признаков*, которые их характеризуют. Каждый признак по отдельности основным не является, только их совокупность в целом определяет отличие живого от неживого.

- Единство химического состава. Хотя в состав живых систем входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы, соотношение различных элементов в живом и неживом неодинаково. В живых организмах ~99 % химического состава приходится на четыре элемента: O, C, H и N.
- Открытость живых систем. Живые системы используют внешние источники энергии в виде пищи, света и т. п. Через них проходят потоки веществ и энергии, благодаря чему в системах осуществляется обмен веществ – метаболизм.
- Самовоспроизведение – живые системы воспроизводят себе подобных.
- Саморегуляция – свойство живых систем автоматически устанавливать и поддерживать на определенном уровне те или иные физиологические (или другие) показатели системы.
- Раздражимость живых систем. Раздражимость связана с передачей информации из внешней среды к живой системе и проявляется в виде реакций системы на внешние воздействия.

- Способность к росту и развитию. Рост – увеличение в размерах и массе с сохранением общих черт строения; рост сопровождается развитием – возникновением новых черт и качеств.
- Наследственность и изменчивость – взаимодополнительная пара признаков живых систем, играющая важную роль в процессе естественного отбора.
- Дискретность и целостность – еще одна пара взаимодополнительных свойств. Живая система дискретна, так как состоит из отдельных, но взаимодействующих частей, которые в свою очередь также являются живыми системами. Вместе с тем живая система целостна, поскольку входящие в нее элементы обеспечивают выполнение своих функций не самостоятельно, а во взаимосвязи с другими элементами системы.

Вопросы для самоконтроля

1. Система записи информации, заложенная в структуре ДНК, – это:
1) нуклеотид;
2) геном;
3) генотип;
4) генетический код.

2. Одним из уникальных свойств углерода, определившим его предбиологический отбор в качестве главного элемента живого мира, является:
1) способность вступать во взаимодействие с кислородом;
2) способность образовывать со всеми элементами периодической системы очень прочные связи;
3) самая широкая распространенность в земных условиях;
4) способность образовывать многообразные линейные и разветвленные структуры.

3. Все основные свойства (признаки) живого начинают проявляться на уровне:
1) вирусов;
2) клеточных органелл;
3) биополимеров;
4) клеток.

4. Большая теплота испарения воды лежит в основе:
1) механизма теплоотдачи у позвоночных;

2) транспорта растворенных питательных веществ из корней в листья;

3) протекания биохимических процессов живой клетки;

4) существования жизни на поверхности водоемов.

5. Установите соответствие между химическими элементами и их ролью в живой природе.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) марганец, кобальт, медь, цинк, селен	А) макроэлементы; участвуют в поддержании водно-солевого баланса, входят в состав различных тканей и органов
2) углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера	Б) макроэлементы; являются элементами-органогенами, образуют все многообразие органических молекул
3) натрий, калий, магний, кальций, хлор	В) макроэлементы; входят только в состав внешней среды живого мира
	Г) микроэлементы; входят в состав ферментов, стимуляторов, гормонов, витаминов

РАЗДЕЛ IV

ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В ПРИРОДЕ

Тема 15. ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ПРИРОДЕ

Динамические и статистические (вероятностные) закономерности − две основные формы выражения законов природы, которые отличаются по характеру вытекающих из них предсказаний.

15.1. Динамические закономерности

Законы динамического типа **однозначно** связывают между собой значения величин, описывающих состояние системы. Поэтому и предсказания, следующие из этих законов, имеют однозначный, точно определенный характер. Причинно-следственные связи также однозначные: каждая причина влечет за собой единственно возможное следствие.

Динамические законы описывают поведение систем, состоящих из относительно небольшого числа элементов, где можно абстрагироваться от влияния случайных факторов. Динамические законы – это законы наук классического естествознания.

Примеры динамических теорий:

- механика;
- электродинамика;
- термодинамика;
- эволюционная теория Ламарка;
- теория относительности.

15.2. Детерминизм Ньютона − Лапласа

Успехи классической механики при описании механических явлений привели в XVII–XIX вв. к господству механической картины мира (см. 3.2, 4.2, 5.2, 6.2).

Весь мир представлялся сложнейшей механической системой. Под действием сил состояние системы с течением времени изменяется. Движение всех частиц Вселенной можно рассчитать, решая уравнения механики, в основе которой лежат законы Ньютона.

Для такого описания необходимо и достаточно задать *начальные координаты и скорость всех частиц*. Зная начальные условия, можно точно определить положение каждой частицы в любой другой момент времени, т. е. как предсказать будущее мироздания, так и описать прошлое. Это положение известно как принцип детерминированности Ньютона − Лапласа.

Принцип детерминизма лежит в основе всей классической физики, за исключением молекулярно-кинетической теории.

Однако этот принцип является идеализацией, поскольку он основан на предположении, что начальное состояние материальной точки можно измерить сколь угодно точно, что не соответствует реальности: в квантовой механике выяснилось, что одновременное и точное измерение координат и скорости материального объекта принципиально невозможно! И основное предположение, на котором базировалась концепция механического детерминизма, в действительности оказалось невыполнимым.

15.3. Статистические закономерности

Отличительной особенностью механистического подхода является то, что предсказания, полученные на основе законов механики, имеют достоверный и однозначный характер.

В статистических законах предсказания, наоборот, носят не достоверный, а лишь вероятностный характер. Подобный характер предсказаний обусловлен влиянием множества случайных факторов, которые имеют место в макроскопических системах, состоящих из очень большого числа элементов (например, молекул в газе или особей в биопопуляциях).

Огромное число элементов приводит, несмотря на очевидный хаос, к появлению новых статистических закономерностей.

В качестве примера такой закономерности для молекул газа назовем распределение Максвелла по скоростям. Оно позволяет предска-

зать **вероятность** того, что скорость любой молекулы находится в некотором заданном интервале значений, скажем, в интервале от v_1 = = 300 м/с до v_2 = 301 м/с.

Статистические законы, хотя и не дают однозначных и достоверных предсказаний, тем не менее являются единственно возможными при исследовании процессов в макроскопических системах.

Примеры статистических теорий:

- молекулярно-кинетическая теория газов;
- эволюционная теория Дарвина;
- квантовая механика, другие квантовые теории;
- геология;
- генетика.

Основные понятия любой статистической теории:

- случайность;
- вероятность;
- среднее значение величины;
- флуктуация.

Случайность – непредсказуемость поведения системы под воздействием большого числа внешних факторов, т. е. проявление таких (неустойчивых) связей между явлениями реального мира, которые в одних условиях могут осуществиться, а в других – нет.

Вероятность – математическая (числовая) характеристика степени возможности появления какого-либо случайного события, т. е. численная мера случайности. Измеряется в относительных единицах (0–1), или в процентах (0–100 %).

Среднее значение величины. Случайные закономерности позволяют достаточно точно рассчитать и с высокой вероятностью предсказывать средние значения физических величин, характеризующих изучаемую систему.

Пример: если бросить кость 3000 раз, то точно сказать, какой стороной выпадет кость в каждой отдельной попытке, невозможно. Однако среднее число выпадений каждого значения будет равно 3000 · 1/6 = 500 раз. При этом среднее значение выпавшего значения по всем попыткам будет определяться точным значением, равным 3,5.

Флуктуация – случайное отклонение наблюдаемых физических величин, характеризующих систему из большого числа частиц, от их средних значений (от лат. *fluctuatio* – колебание). Флуктуации характерны для любых случайных процессов.

15.4. Соответствие динамических и статистических теорий

Исторически первыми в естествознании появились динамические теории (классическое естествознание), затем, с развитием естествознания, появились статистические теории (неклассический и постнеклассический период).

Долгое время подлинными законами считались только динамические законы, обеспечивающие точные и достоверные предсказания. Наоборот, статистические законы воспринимались лишь как некоторое временное средство познания.

Отношение к статистическим закономерностям изменилось после открытия законов квантовой механики, предсказания которой о поведении микрочастиц имеют принципиально вероятностный характер.

В действительности динамические законы являются предельным случаем статистических, когда вероятность практически становится достоверностью.

15.5. Динамический хаос

Динамический хаос – явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то что оно определяется динамическими законами.

Это явление возникает в случаях, когда высока чувствительность системы к начальным условиям, при этом даже небольшая неточность в определении начального состояния системы (а она есть всегда) приводит затем к непредсказуемым последствиям. Подобное поведение систем называют хаотическим поведением.

Первый пример динамического хаоса выявил американский метеоролог Эдвард Лоренц. В 1961 г. он проводил расчеты долгосрочного прогноза погоды для некоей модельной ситуации. Как-то он решил повторить вычисления, и с некоторого момента времени округлил значения параметров. Величина округления была на несколько порядков меньше точности измерения этих параметров. Однако возникшие отклонения были существенными, они удваивались через каждые четыре смоделированных дня, а через два месяца решение пошло совершенно в другом направлении.

Данный эффект Лоренц назвал «Butterfly Effect» – «эффект бабочки». По его образному выражению, даже «такое незначительное собы-

тие, как порхание бабочки над Бразилией, может привести к торнадо над Техасом».

Примеры систем с динамическим хаосом: турбулентность, погода и климат, фондовые рынки.

Вопросы для самоконтроля

1. Согласно концепции механического детерминизма:

1) все особенности социального поведения людей в конечном счете определяются необходимостью удовлетворения их биологических потребностей в пище, отдыхе и размножении;

2) у каждого события имеется предшествующая ему естественная причина;

3) будущее Вселенной полностью предопределено ее современным состоянием и законами механики;

4) все процессы в нашем мире всегда происходят в условиях неопределенности и потому не могут быть предсказаны на сколько-нибудь длительный срок вперед.

2. Частью механической научной картины мира была концепция механического детерминизма, согласно которой любое будущее событие можно точно предсказать с помощью законов механики, если точно знать начальное состояние всех тел и частиц в мире. В современной научной картине мира она отвергнута, поскольку:

1) классическая механика, обосновывавшая механический детерминизм, оказалась полностью ошибочной теорией;

2) оказалось, что точно рассчитать движение всех частиц в мире не под силу никаким компьютерам;

3) в мире время от времени происходят сверхъестественные события, не объясняемые и не предсказываемые никакой наукой;

4) оказалось, что точно установить механическое состояние даже одной частицы физически невозможно.

3. Можно рассчитать (предсказать) траекторию:

1) движения электрона вокруг атомного ядра;

2) распространения радиоволн от передатчика к приемнику;

3) обращения планеты вокруг Солнца;

4) движения молекулы воздуха при нормальных атмосферных условиях.

4. К числу динамических теорий относится та, которая устанавливает связь:

1) между волновой функцией частицы и возможными результатами измерения ее местоположения;

2) положением и скоростью материальной точки в различные моменты времени;

3) результатами, которые спортсмен показывал на тренировках, и его шансами выиграть официальное соревнование;

4) температурой и наиболее вероятной скоростью движения молекул.

5. Концепция механического детерминизма оказалась несостоятельной, поскольку она:

1) требует знания координат и скоростей всех частиц во Вселенной, что на практике неосуществимо из-за чрезвычайно большого числа частиц и чрезвычайной удаленности большинства из них от земного исследователя;

2) требует нереально большого даже для современных компьютеров объема вычислительной работы по расчету траекторий движения частиц вещества во Вселенной;

3) основана на предположении, что начальное состояние (координаты и скорость) материальной точки можно измерить сколь угодно точно, что не соответствует реальности;

4) опирается только на выводы механики, а в мире происходят не только механические процессы, но и другие, например электрические, которые к механическому движению не сводятся.

Тема 16. **КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

К началу XX века в физике накопился ряд опытных фактов, которые не удавалось объяснить в рамках классической физики. Анализ этих фактов привел к следующим выводам:

- к представлению о двойственной природе света и микрочастиц, проявляющих то волновые, то корпускулярные свойства;
- к утверждению о дискретном (квантованном) изменении ряда физических величин.

Эти выводы лежат в основе квантовой физики. Объектом ее исследования являются молекулы, атомы и другие микрочастицы, поведение которых радикально отличается от макрочастиц.

16.1. Корпускулярно-волновой дуализм

Корпускулярно-волновой дуализм − принцип, согласно которому любой объект может проявлять как волновые, так и корпускулярные свойства.

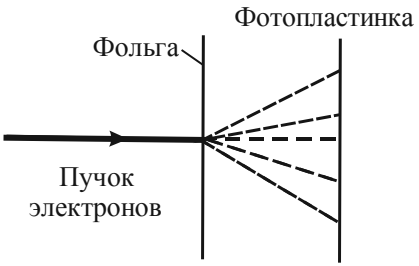
Первоначально корпускулярно-волновой дуализм был установлен для света. Оказалось, что в ряде явлений, таких как интерференция и дифракция, свет демонстрирует свои волновые свойства. В то же время для объяснения фотоэффекта и эффекта Комптона пришлось использовать представление о свете как потоке частиц − фотонов.

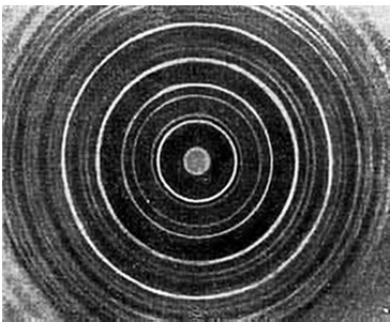
Луи де Бройль (1924) выдвинул гипотезу, что корпускулярно-волновой дуализм присущ не только фотонам, но и вообще всем частицам. Согласно де Бройлю, с каждой микрочастицей связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики − энергия и импульс, а с другой стороны − волновые характеристики: частота и длина волны. Он постулировал, что любой частице, обладающей импульсом p, можно сопоставить волну, длина которой определяется по такой же формуле, что и у фотона:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

здесь $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с − *постоянная Планка*.

Гипотеза де Бройля была подтверждена в опытах по интерференции и дифракции электронов, протонов, нейтронов и даже атомов и простых молекул.





Опыт Томсона (1927): дифракция электронного пучка при прохождении через тонкую металлическую фольгу поликристаллической структуры. Полученная электронограмма золота оказалась поразительно похожей на полученную в аналогичных условиях рентгенограмму алюминия.

Так как дифракционная картина наблюдалась для пучка электронов, необходимо было доказать, что волновые свойства присущи и каждому электрону в отдельности.

Это сделали в 1949 г. советские физики В. Фабрикант, Н. Сушкин и Л. Биберман. Они провели опыты, в которых интенсивность электронных пучков была настолько слабой, что электроны проходили через прибор заведомо поодиночке. Тем не менее при достаточно длительной экспозиции на фотопластинке возникала дифракционная картина, абсолютно идентичная картине дифракции от обычного электронного пучка. Это доказывает, что волновыми свойствами обладают и отдельные частицы.

В настоящий момент концепция корпускулярно-волнового дуализма представляет фактически лишь исторический интерес, так как служит только способом описать поведение квантовых объектов, подбирая ему аналогии из классической физики. На деле квантовые объекты не являются ни классическими волнами, ни классическими частицами, приобретая свойства либо первых, либо вторых лишь в некотором приближении.

В.А. Фок дал следующую трактовку корпускулярно-волнового дуализма: «Можно сказать, что для атомного объекта существует потенциальная возможность проявлять себя, в зависимости от внешних условий, либо как волна, либо как частица, либо промежуточным образом. Именно в этой потенциальной возможности различных проявлений свойств, присущих микрообъекту, и состоит дуализм волна−частица. Всякое иное, более буквальное, понимание этого дуализма в виде какой-нибудь модели неправильно».

16.2. Вероятностный характер предсказаний квантовой механики

Двойственная природа микрообъектов не позволяет применить для их описания принципы классической физики. Классическая физика может описать состояние материи в виде либо вещества, либо поля. Но она не допускает объектов, обладающих свойствами и вещества, и поля.

Уравнение, описывающее поведение микрочастиц, было получено Шрёдингером (1926). В квантовой теории оно играет такую же роль, как 2-й закон Ньютона в классической механике.

В отличие от классических частиц движение микрообъектов описывается не траекториями, а волновыми ψ-функциями, которые вычисляются в результате решения уравнения Шрёдингера.

Прямой физический смысл имеет не сама ψ-функция, а квадрат ее модуля $|\psi|^2$, который дает **вероятность** нахождения частицы в единичном объеме. Следовательно, вероятность dw найти частицу в объеме dV равна:

$$dw = |\psi|^2 \cdot dV.$$

В квантовой теории постановка вопроса состоит не в точном предсказании событий, а в определении *вероятностей* этих событий. По значениям вероятностей затем можно найти *средние* значения физических величин, которые и определяются в экспериментах.

16.3. Принцип неопределенности

Принцип неопределенности Гейзенберга устанавливает принципиальный предел точности измерений.

В классической физике считается, что измерение можно провести с любой точностью. Достаточно взять более точный прибор и лучше продумать процедуру измерения.

Принцип неопределенности устанавливает предел этой точности вследствие того, что прибор влияет на состояние самого измеряемого объекта. Например, пытаясь в какой-то момент узнать положение x и импульс p микрочастицы, мы сможем определить их значения лишь с погрешностью Δx и Δp, которые связаны соотношением

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h.$$

Принцип неопределенности (*некоторые важные следствия*):

- понятия «волна» и «частица» в микромире при одновременном использовании имеют ограниченный смысл;
- для квантовой частицы понятие траектории утрачивает смысл;
- квантовая частица никогда не может находиться в состоянии полного покоя;
- в квантовой механике теряет смысл деление полной энергии частицы на кинетическую и потенциальную;
- невозмущающие измерения невозможны.

Принцип неопределенности касается и других характеристик микрочастиц. Еще одна такая взаимосвязанная пара – это энергия и время протекания квантовых процессов:

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq h.$$

Если ограничено время измерения, то будет высокой погрешность определения энергии.

16.4. Принцип дополнительности Бора

Принцип дополнительности сформулирован Н. Бором (1927) при интерпретации квантовой механики.

Согласно этому принципу, полное описание свойств микрообъекта всегда требует знания таких его характеристик, которые являются «дополнительными», в том смысле, что их невозможно определить одновременно.

Это означает, что измерение некоторых физических параметров неизбежно приводит к потере других, дополнительных параметров, которые необходимы для полного описания микрообъекта.

Физический смысл принципа дополнительности заключается в том, что классические представления непригодны для описания явлений в микромире, поскольку в процессе наблюдения за микрочастицами нельзя пренебречь влиянием средств наблюдения на состояние самих частиц. Это влияние приводит к невозможности однозначного («классического») описания состояния изучаемой системы вне зависимости от средств наблюдения.

Принцип дополнительности тесно связан с соотношением неопределенностей В. Гейзенберга, согласно которому дополнительные физические величины (координата и импульс, время и энергия) не могут одновременно принимать точные значения.

Следовательно, для полного «классического» описания микрообъекта необходимо использовать два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий: пространственно-временного и энергетически-импульсного.

Принцип дополнительности является отражением корпускулярно-волновой природы микрочастиц.

Различные формулировки принципа дополнительности Бора (в узком квантово-механическом смысле):

- результаты, полученные в разных экспериментах, не могут быть связаны в единую картину, но они необходимы для исчерпывающего описания квантового объекта;
- все величины, характеризующие объект, можно разделить на такие группы, что измерение величин из одной группы делает невозможным или неточным измерение соответствующих величин из другой группы;
- дополнительные физические величины всегда связаны тем или иным соотношением неопределенности;

- дополнительными величинами являются: координаты и импульс, энергия и время;
- при точном измерении физической величины невозможно измерить точно дополнительную ей величину (это следует из принципа неопределенности);
- принцип дополнительности отражает невозможность невозмущенных измерений (это следует из принципа неопределенности).

Принцип дополнительности применим не только в физике, он имеет более широкое методологическое значение. Как считал сам Бор, интерпретация квантовой механики «имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования человеческих понятий».

Принцип дополнительности Бора (в широком смысле):

- всестороннее изучение явления возможно лишь тогда, когда оно действительно изучается со всех сторон;
- различные подходы к изучению и истолкованию явлений не исключают, а дополняют друг друга;
- для науки равноценны разные, порой несовместимые точки зрения;
- полное понимание свойств любого объекта исследования требует взгляда на него с разных, несовместимых, дополняющих друг друга точек зрения;
- никакое отдельное знание о предмете, полученное методами одной науки, не может быть исчерпывающим, для полного понимания предмета требуется дополнение в лице других наук;
- однозначно, одним методом невозможно описать явление, объект или субъект – необходимо привлекать дополнительные представления;
- исследование реальности всегда сопровождается ее изменением, а результат исследования зависит от того, как оно выполняется.

16.5. Соответствие квантовой и классической механики

Классическая механика	Квантовая механика
Законы динамические	Законы статистические
Предсказания однозначные	Предсказания вероятностные
Любые физические характеристики объектов могут принимать непрерывный ряд значений	Некоторые физические характеристики микрообъектов квантованы, т. е. могут принимать дискретный ряд значений

Окончание таблицы

Состояние объекта задается значениями координат и скоростей всех материальных точек системы	Состояние объекта задается волновой функцией
Предсказания классической и квантовой механики совпадают для макроскопических объектов, для которых несущественны соотношения неопределенностей и корпускулярно-волновой дуализм	

Вопросы для самоконтроля

1. Согласно концепции корпускулярно-волнового дуализма:

1) любой материальный объект обладает свойствами как волны, так и частицы, но не может проявлять и те, и другие свойства одновременно;

2) все волны при определенных условиях могут превращаться в частицы, а все частицы могут превращаться в волны;

3) все материальные объекты можно разбить на два класса – «волны» и «частицы», причем переход из одного класса в другой невозможен;

4) любой материальный объект обладает свойствами как волны, так и частицы, причем может проявлять и те, и другие свойства одновременно.

2. Согласно соотношению неопределенностей В. Гейзенберга:

1) невозможно абсолютно точно измерить энергию и импульс частицы в один и тот же момент времени;

2) невозможно абсолютно точно измерить координату и импульс частицы в один и тот же момент времени;

3) погрешность измерения координаты частицы невозможно сделать меньше некоторой конечной величины;

4) невозможно абсолютно точно измерить координату частицы в один момент времени и абсолютно точно измерить ее импульс в другой момент времени.

3. В рамках квантовой механики возможно:

1) точно рассчитать значения всех физических величин, характеризующих свойства объекта, если знать некоторые недоступные наблюдению «скрытые параметры» этого объекта;

2) точно рассчитать значения всех физических величин, характеризующих изучаемый объект;

3) дать лишь качественное описание изучаемого объекта, но невозможен никакой количественный расчет его характеристик;

4) рассчитать лишь вероятности тех или иных значений физических величин, характеризующих изучаемый объект.

4. Установите соответствие между свойствами электрона и свидетельствующими о них фактами.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) корпускулярные свойства	А) дифракционные картины, возникающие при прохождении электронного пучка через кристалл
2) волновые свойства	Б) фотографии электронных треков (линейных следов движения электрона через неустойчивую среду), получаемые на ускорителях
	В) наличие у электрона наименьшего возможного в природе электрического заряда

5. Установите соответствие между положениями квантовой механики и их формулировками.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) соотношения неопределенностей	А) каждый материальный объект обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами, но проявляет либо первые, либо вторые в зависимости от ситуации
2) принцип дополнительности	Б) произведение погрешностей измерения дополнительных физических величин, характеризующих данный объект, ни при каких условиях не может быть меньше некоторой константы
	В) полное (в классическом смысле) описание объекта всегда требует знания таких величин, что измерение одних из них делает невозможным или неточным измерение других.

Тема 17. **ПРИНЦИП ВОЗРАСТАНИЯ ЭНТРОПИИ**

Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения и взаимодействия материи.

Различные формы энергии:

- механическая (энергия движения макроскопических тел);
- тепловая (энергия теплового хаотического движения молекул и атомов, составляющих вещество);

- электрическая (энергия движения и взаимодействия электрических зарядов);
- химическая (энергия химических связей, которая высвобождается или запасается в ходе химических реакций);
- ядерная (энергия, обусловленная внутриядерным взаимодействием, изменяется в ходе ядерных реакций).

Термодинамика − раздел физики, изучающий закономерности процессов, связанных с превращением тепловой энергии в другие формы энергии.

В термодинамике имеют дело не с отдельными молекулами, а с системами (телами), состоящими из огромного числа частиц. Такие системы называют макроскопическими или термодинамическими.

Для описания тепловых явлений в термодинамике используют макроскопические величины − давление, температуру, объем – которые не применимы к отдельным молекулам и атомам.

Исторически термодинамика возникла как эмпирическая наука о способах преобразования тепловой энергии тел в механическую энергию машины. Позднее методы термодинамики проникли во многие другие области науки и техники.

Термодинамика основывается на законах (началах), которые сформулированы на основе опытных данных и поэтому могут быть приняты как постулаты.

17.1. Первое начало термодинамики

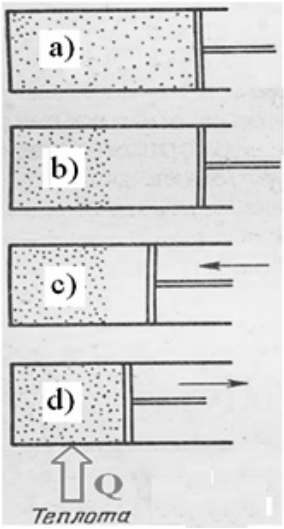
1-й закон (**1-е начало**) термодинамики представляет собой формулировку закона сохранения энергии для процессов, протекающих в термодинамических системах.

А именно: поступившее в систему тепло Q должно быть равно сумме приращения внутренней энергии системы ΔU и работы A, совершенной этой системой:

$$\Delta Q = \Delta U + A.$$

Из первого начала термодинамики следует невозможность **вечного двигателя 1-го рода** – механизма, который мог бы производить работу «из ничего», т. е. без каких бы то ни было внешних источников энергии.

17.2. Второе начало термодинамики



Первое начало накладывает запрет на производство работы без использования источника энергии. Возможен ли более скромный запрос, а именно: можно ли сконструировать механизм (тепловую машину), полностью преобразующий подведенное тепло в работу, т. е. машину с КПД = 1?

По практической значимости она почти не уступала бы вечному двигателю, так как могла бы производить работу за счет пополняемых от Солнца запасов внутренней энергии океана и атмосферы. Такую машину называют **вечным двигателем 2-го рода.**

Опытные факты говорят против возможности построения такой машины.

Этот результат возведен в постулат, названный постулатом 2-го начала термодинамики. А именно: невозможен вечный двигатель 2-го рода.

Для иллюстрации сказанного приведем пример гипотетического устройства, которое могло бы полностью преобразовывать подведенное тепло в работу. Однако для этого требуется, чтобы на этапе b) рабочего цикла газ *самопроизвольно* собирался в левой половине цилиндра. Поскольку вероятность этого ничтожно мала, то и работа такого устройства оказывается совершенно невозможной.

Второе начало термодинамики имеет несколько эквивалентных формулировок. Каждая из них математически выводится из другой. Первая из формулировок приведена выше.

Вторая формулировка 2-го начала: невозможна самопроизвольная передача тепла от более холодного тела к более теплому. В этой формулировке говорится о направлении теплообмена.

Прежде чем привести третью формулировку, необходимо ввести понятие энтропии.

17.3. Энтропия

Энтропия (*S*) − одна из ключевых функций состояния системы. Понятие энтропии введено Клаузиусом (1865) через ее элементарное приращение как

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

где ΔQ − количество тепла, сообщенного системе, T – абсолютная (термодинамическая) температура процесса.

Важность энтропии состоит в том, что энтропия системы, которая изолирована от окружающих ее тел $(\Delta Q = 0)$, либо возрастает, либо остается неизменной, т. е. энтропия изолированной системы убывать не может:

$$\Delta S_{\text{изол}} \geq 0.$$

Это свойство, известное как **принцип возрастания энтропии изолированных систем**, является еще одной из формулировок 2-го начала термодинамики.

Фундаментальным свойством энтропии является то, что во всех самопроизвольных процессах ее значение всегда возрастает. К таким процессам относятся:

- самопроизвольное расширение газа;
- самопроизвольный переход тепла от горячего тела к холодному;
- переход кинетической энергии макроскопического движения во внутреннюю энергию в результате трения.

Это означает, что 2-е начало отражает наличие асимметрии в природе: разрешено полное преобразование механической энергии в тепловую, а также самопроизвольное расширение газа и переход тепла от горячего тела к холодному, но не наоборот.

17.4. Статистический смысл 2-го начала

Связь между макроскопической формулировкой 2-го начала и статистической теорией установил Л. Больцман. Он показал, что

$$S = k \ln G.$$

Здесь $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К − постоянная Больцмана, G − статистический вес макросостояния, который пропорционален вероятности реализации этого состояния.

Анализ принципа возрастания энтропии со статистической точки зрения приводит к фундаментальному выводу: все изолированные макросистемы стремятся переходить от состояний менее вероятных к более вероятным.

Переход к более вероятному состоянию с бóльшим значением энтропии представляет собой переход к более беспорядочному состоянию. Действительно, увеличение энтропии системы $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ соответствует как бы сообщению системе теплоты ΔQ, которая увеличивает степень беспорядка (хаоса) в системе. Например, при таянии льда упорядоченное расположение молекул H_2O в кристалле льда сменяется их беспорядком в жидком состоянии.

Это означает, что энтропия является мерой степени беспорядка в системе. Равновесному, наиболее вероятному состоянию, в котором энтропия $S = S_{max}$, отвечает достижение максимального «хаоса» в системе.

В теории информации энтропия рассматривается как мера недостатка информации в системе. В кибернетике при помощи понятий энтропии и негэнтропии (отрицательной энтропии) выражают меру организованности системы.

17.5. Основные свойства энтропии

- Энтропия – измеряемая физическая величина, ее можно измерять и вычислять.
- Энтропия – физический индикатор направления времени.
- Энтропия – мера молекулярного беспорядка, мера отсутствия в системе структур, неоднородностей, индикатор неупорядоченности системы. Чем выше энтропия, тем хаотичнее движение материальных частиц, составляющих систему. Соответственно, при повышении упорядоченности системы ее энтропия уменьшается.
- Энтропия – мера некачественности энергии, мера необратимого рассеяния энергии. Чем больше энтропия системы (чем система хаотичнее), тем ниже качество энергетического запаса этой системы, т. е. тем меньше его доля, которую можно превратить в полезную работу. Исходя из этого энтропию можно рассматривать и как количественную меру той энергии, которая не переходит в работу.
- Энтропия – мера вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния.

• Энтропия – мера отсутствия информации, необходимой для управления системой (мера неопределенности, связанная с недостатком информации о состоянии системы).

• Энтропия любой изолированной системы обязана возрастать или, в лучшем случае (когда система достигла состояния термодинамического равновесия), оставаться постоянной. Соответственно, в изолированных системах структуры разрушаются, упорядоченность снижается, беспорядок нарастает, энергия необратимо рассеивается.

17.6. Энтропия открытой системы

Принцип возрастания энтропии относится только к изолированным системам.

Если же система является открытой, т. е. обменивается с внешней средой массой и энергией, то ее энтропия может и убывать.

Примером таких систем являются живые организмы, в которых к обмену массой и энергией добавляется обмен генетической информацией.

В живой системе вследствие постоянного распада ее элементов происходит производство энтропии, но в такой системе энтропия не накапливается, а выводится в окружающую среду. Взамен распавшихся в организме происходит синтез новых элементов из питательных веществ. Этот процесс называется **биологическим обновлением**.

Поскольку поглощаемые вещества обладают большей упорядоченностью (меньшей энтропией), чем выделяемые продукты распада, то можно сказать, что живые организмы существуют, развиваются и эволюционируют за счет заимствования упорядоченности из окружающей среды. При этом упорядоченность окружающей среды уменьшается. Следовательно, эволюция возможна только на фоне всеобщего роста энтропии.

Вопросы для самоконтроля

1. С точки зрения термодинамики возможно устройство:

1) которое производит полезную работу 10 кДж, не потребляя энергии;

2) производит полезную работу 2 кДж, сжигая для этого топливо с общей теплотворной способностью 10 кДж;

3) производит полезную работу 10 кДж, сжигая для этого топливо с общей теплотворной способностью 10 кДж;

4) производит полезную работу 10 кДж, сжигая для этого топливо с общей теплотворной способностью 2 кДж.

2. Основное предназначение тормозных колодок автомобиля, с точки зрения термодинамики, заключается:

1) в превращении химической энергии топлива в механическую энергию движения автомобиля;

2) в превращении механической энергии движения автомобиля в тепловую;

3) в быстром и, по возможности, бесследном уничтожении энергии движения автомобиля;

4) в превращении механической энергии движения автомобиля в механическую энергию движения окружающих его тел.

3. Одна из возможных формулировок второго закона термодинамики гласит, что:

1) энтропия изолированной системы с течением времени не меняется, что бы в системе ни происходило;

2) беспорядок в изолированной от внешнего мира системе неизбежно нарастает, а имеющиеся в ней структуры разрушаются;

3) энергия изолированной системы с течением времени количественно не меняется, а качественно улучшается;

4) беспорядок в любой открытой системе с течением времени нарастает, а имеющиеся в ней структуры разрушаются.

4. Не прибегая к вычислениям, укажите, в каком процессе при поддержании постоянной температуры энтропия продуктов превышает энтропию исходных веществ.

1) $2NaNO_{2(Т)} + O_{2(Г)} \rightarrow 2NaNO_{3(Т)}$;

2) $I_{2(Т)} \rightarrow I_{2(Г)}$;

3) $2C_{(Т)} + 3H_{2(Г)} \rightarrow C_2H_{6(Г)}$;

4) $N_{2(Г)} + 3H_{2(Г)} \rightarrow 2NH_{3(Г)}$.

5. Установите соответствие между началом и окончанием верного утверждения.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) энтропия изолированной системы	А) не изменяется с течением времени
2) энтропия равновесной системы	Б) с течением времени строго убывает
3) энтропия открытой системы	В) может возрастать, убывать или оставаться постоянной
	Г) с течением времени возрастает или остается постоянной

Тема 18. **ЗАКОНОМЕРНОСТИ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИНЦИПЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОНИЗМА**

18.1. Основные определения теории самоорганизации

Самоорганизация − спонтанное (самопроизвольное) образование упорядоченных структур в результате внутренней перестройки системы, происходящее вследствие изменения внешних условий, но без навязывания этих структур извне.

Самоорганизация − понятие, указывающее на развитие в направлении от менее сложных объектов к более сложным и упорядоченным формам организации вещества. Система вынуждена усложняться, подстраиваясь под изменяющиеся внешние условия.

Синергетика (от греч. *συν εργος* − совместное действие, сотрудничество) − научное направление по исследованию процессов самоорганизации.

Диссипативная структура − открытая система, характеризующаяся определенной пространственной и временнóй упорядоченностью, называемая диссипативной, так как ее существование возможно при условии **диссипации** (рассеивания) энергии, которая поступает извне.

Примеры: ячейки Бенара, лазеры, реакция Белоусова − Жаботинского и биологическая жизнь.

Бифуркация (от лат. *bifurcus* – раздвоение) − качественное изменение поведения объекта при изменении управляющего параметра, от которого он зависит.

Точка бифуркации (точка ветвления) – критическое состояние системы, при котором она становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности. Точка бифуркации носит кратковременный характер и разделяет более длительные устойчивые режимы работы системы.

Катастрофа − скачкообразное изменение состояния системы, которое возникает в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий.

Пример. Горизонтальная линейка с шарнирно закрепленными концами, нагружена весом груза, стоящего на середине линейки. Возмож-

ны два положения равновесия: дугой вниз и вверх, наподобие моста. При увеличении груза в некоторый момент происходит «катастрофа» или «хлопок»: линейка скачком переходит из одного состояния в другое.

Аттрактор (от англ. *attract* − привлекать, притягивать) − устойчивое состояние, к которому стремится система.

Пример: притягивающая неподвижная точка в фазовом пространстве в задаче о движении маятника с трением о воздух.

18.2. Свойства самоорганизующихся систем

Самоорганизующиеся системы имеют единый алгоритм перехода от менее сложных к более сложным и упорядоченным состояниям. Самоорганизация возможна лишь в системах, удовлетворяющих следующим условиям.

1. Система должна быть **открытой**. Закрытая система, в согласии с законами термодинамики, должна в итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и прекратить любые эволюции. В отличие от закрытых открытые системы обмениваются с окружающей средой энергией, веществом и информацией. В открытых системах энтропия не накапливается, как в закрытых системах, а выводится в окружающую среду. Все реальные системы являются открытыми.

2. Самоорганизация может произойти лишь в **достаточно сложных системах**, обладающих определенным количеством взаимодействующих элементов. Недостаточно сложные системы не способны ни к спонтанной адаптации, ни к развитию и при получении извне чрезмерного количества энергии теряют свою структуру и необратимо разрушаются. Соответственно, самоорганизующаяся система обязана быть **диссипативной** – способной рассеивать (перераспределять) энергию.

3. Система должна быть **нелинейной и далекой от точки равновесия**. В состоянии равновесия система обладает максимальной энтропией и не способна к самоорганизации. В положении, близком к равновесию и без достаточного притока энергии извне, любая система со временем еще более приблизится к равновесию и перестанет изменять свое состояние.

18.3. Динамика самоорганизации

Решающим фактором самоорганизации являются флуктуации состояния системы на микроуровне. В динамически стабильных системах вследствие диссипации флуктуации затухают. Однако в открытых нелинейных системах, благодаря притоку энергии извне, отклонения со временем возрастают. В результате система достигает порога устойчивости, за которым для нее открывается несколько возможных ветвей развития. Этот момент называют точкой бифуркации. С математической точки зрения это связано с нелинейностью уравнений, описывающих систему вдали от равновесия. Если линейное уравнение имеет всего одно стационарное решение, то нелинейное − несколько.

Система может принимать любое из состояний, соответствующих этим решениям. **Бифуркационный переход** представляет собой случайный выбор системой одного из возможных вариантов развития, каждый из которых переводит систему в состояние, радикально отличное от исходного. В бифуркационный период любое малое, микроскопическое, случайное воздействие может привести к глобальному макроскопическому изменению системы.

Самоорганизация в сложных системах приводит к необратимому разрушению старых и к возникновению новых структур и систем. Этот процесс, наряду с принципом неубывания энтропии в закрытых системах, обусловливает наличие «стрелы времени» в Природе.

Основные закономерности самоорганизации

Самоорганизация наблюдается в живой природе, неживой природе и в обществе. Несмотря на то что природа таких систем различна, сценарий (алгоритм) самоорганизации общий.

1. По мере приближения системы к точке бифуркации нарастают размах и длительность существования флуктуаций.

2. Самоорганизация происходит внезапно, скачком, когда степень неравновесности системы превысит критический уровень.

3. Элементами возникающей при самоорганизации упорядоченной структуры служат флуктуации, которые при переходе через точку бифуркации приобретают устойчивость и стабильность.

18.4. Примеры самоорганизации

Процесс самоорганизации зависит от природы изучаемой системы (физической, химической, биологической или социальной) и в каждом конкретном случае проявляется по-разному.

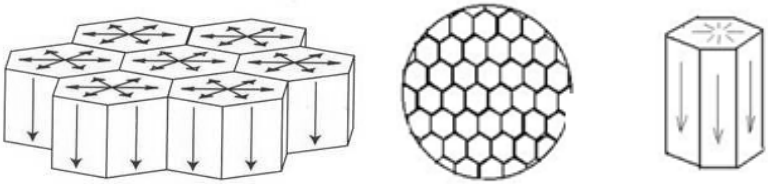
1. *Самоорганизация в слое жидкости с подогревом* − ячейки Бенара.

Ячейки Бенара − упорядоченность, возникающая в подогреваемом снизу слое вязкой жидкости (например, минерального масла).

В данной системе управляющим параметром является разность температур ΔT между нижней и верхней поверхностью слоя.

Для малых (докритических) значений ΔT тепло передается только путем теплопроводности и жидкость остается в покое.

При увеличении ΔT механизму теплопроводности становится все труднее обеспечивать перенос подводимой энергии. Поэтому при разности температур выше критической режим неподвижной жидкости становится неустойчивым и ему на смену приходит другой устойчивый режим, характеризующийся макроскопическим согласованным движением молекул жидкости.



При отсутствии посторонних возмущений этот режим реализуется в виде конвективных ячеек, имеющих форму шестиугольных призм. В центре каждой ячейки нагретая жидкость движется вверх, а вблизи ее краев, охладившись, она движется вниз.

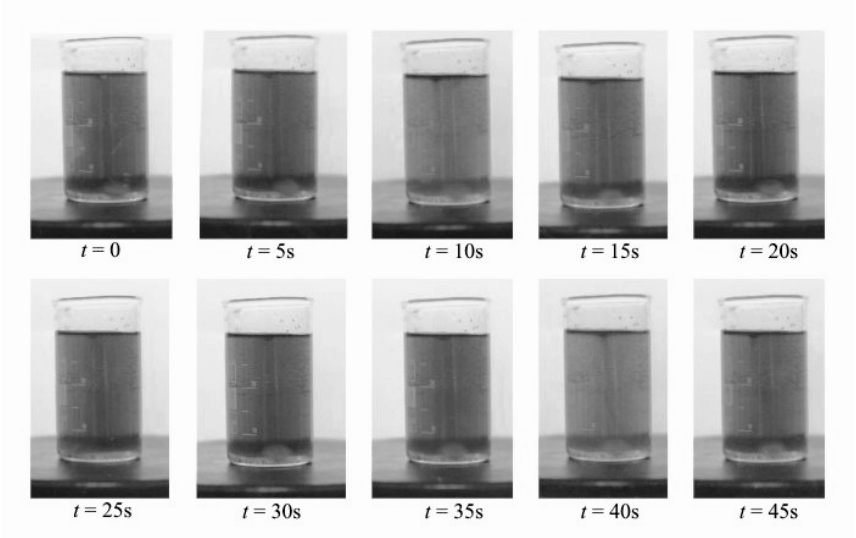
2. *Самоорганизация в химических системах* − реакция Белоусова − Жаботинского («химический маятник», «химические часы»).

Суть реакции Белоусова – Жаботинского состоит в окислении органической (малоновой) кислоты бромидом калия. При добавлении индикатора окислительно-восстановительных реакций (ферроина) можно этот процесс визуализировать и следить за ним по периодическому изменению цвета (см. рис. 5 цветной вклейки). Цвет раствора периодически меняется с красного на синий. Это свидетельствует о том, что реакция идет то в одном, то в другом направлении. Важно, что колебательный процесс идет без всякого вмешательства извне.

Еще одно свойство данной реакции состоит в том, что при прекращении перемешивания изменение окраски в растворе распространяется волнами. Особенно наглядно процесс протекает, если реакционную смесь налить тонким слоем в чашку Петри.

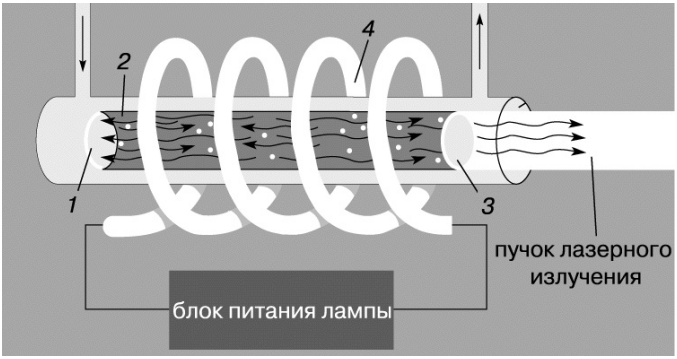
Выглядит такая реакция завораживающе красиво, как произведение искусства: в чашке образуются причудливые фигуры – концентриче-

ские окружности, спирали, «вихри» постепенно раскручиваются вокруг нескольких центров, образуя абстрактные движущиеся узоры (см. рис. 6 цветной вклейки).

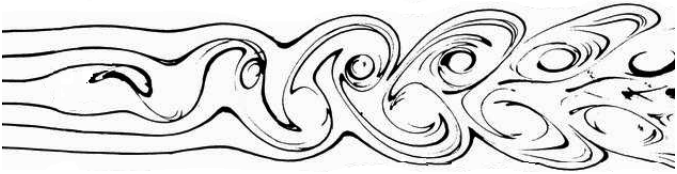


Реакция Белоусова – Жаботинского относится к классу химических реакций, протекающих в колебательном режиме, при этом некоторые параметры (цвет, температура, концентрация) изменяются, периодически образуя сложную пространственно-временную структуру реакционной среды.

3. *Самоорганизация при переходе лазера в режим генерации* – работа лазера. Рабочей средой твердотельного лазера является рубиновый стержень (*2*). На его концах устанавливаются два качественных зеркала (*1* и *3*). С помощью мощной лампы накачки (*4*) атомы рубина приходят в возбужденное состояние и начинают излучать. Вначале их излучение является хаотическим, несогласованным, независимым друг от друга, и лазер работает как обычная лампа. Но при определенном (критическом) значении мощности накачки происходит скачкообразный переход работы лазера от хаотического излучения к самосогласованному. Коллективное излучение атомов становится когерентным.



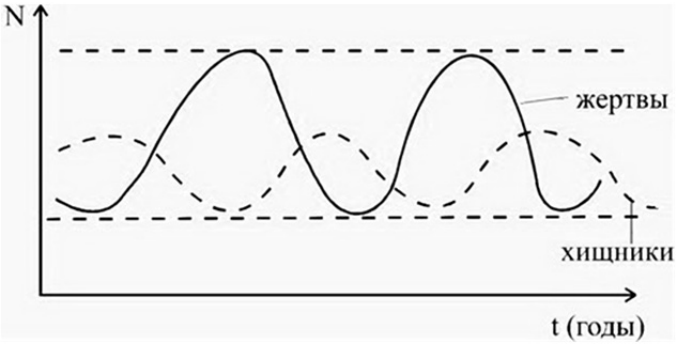
4. *Самоорганизация в потоке жидкости* – вихреобразование – переход от ламинарного режима течения к турбулентному.



5. *Циркуляционные потоки* в атмосфере и океанах – образование циклонов и антициклонов, теплых и холодных океанических течений.

6. *Самоорганизация в живой природе* – развитие зародыша в материнском организме, эффекты самодостраивания (регенерация живых тканей), возникновение, развитие и эволюция жизни на Земле.

7. *Самоорганизация в экосистемах* − динамика популяций хищников и жертв.



8. *Кооперативное поведение* насекомых.

9. *Самоорганизация в экономических системах* – кооперация и конкуренция фирм.

10. *Самоорганизация в мышлении* – интуиция (озарение).

18.5. Самоорганизация − новая парадигма

Различные системы независимо от того, к какому разделу науки они относятся, имеют единый алгоритм перехода от менее сложных состояний к более сложным.

Разработкой теории самоорганизации занимаются несколько научных дисциплин.

1. Термодинамика неравновесных систем − школа И. Пригожина (Брюссель).

2. Синергетика − школа Г. Хакена (Штутгарт).

3. Теория катастроф − школа В. Арнольда (Россия).

Концепция самоорганизации получила широкое распространение не только в сфере естествознания, но и в сфере исследования экономических и социально-гуманитарных процессов. В современной науке в рамках концепции самоорганизации описываются процессы эволюции сложных открытых систем, способных обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Несмотря на то что такие системы могут существенно различаться по природе, между ними прослеживается глубокая аналогия в алгоритмах перехода в более высокоорганизованные состояния. Именно поэтому сегодня концепция самоорганизации становится междисциплинарной парадигмой.

18.6. Универсальный эволюционизм

Самоорганизация является способом существования, самообновления и развития систем неживой, живой природы и общества.

В неживой природе она является «пассивной», в живой природе − «приспособительной» (адаптивной), а в обществе − «преобразующей».

С мировоззренческой точки зрения синергетику иногда позиционируют как **универсальный** (**глобальный**) **эволюционизм**, т. е. как теорию, дающую единую основу для описания механизмов возникновения любых новаций во Вселенной.

Основные принципы универсального эволюционизма

1. Вселенная в целом и все, что в ней существует, может существовать лишь в развитии – эволюции.

2. Развитие осуществляется везде и всегда: в неживой природе, живой природе и обществе.

3. Во всех мировых процессах присутствуют фундаментальные и неустранимые факторы случайности и неопределенности.

4. Механизмом развития являются процессы самоорганизации нестационарных открытых систем: непрерывные переходы от хаоса к порядку.

5. Развитие есть чередование медленных количественных и быстрых качественных изменений (бифуркаций).

6. В точках бифуркации возможен переход в различные состояния. В этих точках дальнейшая эволюция оказывается принципиально непредсказуемой, поскольку определяется действующими в системе в данный момент случайными флуктуациями. Поэтому настоящее и будущее зависят от прошлого, но не предопределяются им.

7. Устойчивость и надежность возникающих природных систем являются результатом их постоянного обновления.

8. В результате развития происходит усложнение и увеличение многообразия форм существования материи.

Вопросы для самоконтроля

1. Синергетика изучает:

1) проблемы устойчивого экологобезопасного развития энергетики;

2) общие закономерности взаимных превращений различных форм энергии;

3) способы точного прогнозирования отдаленного будущего человечества;

4) закономерности самопроизвольного возникновения сложных структур в неравновесных нелинейных системах.

2. Чтобы в системе могла происходить самоорганизация, необходимо, чтобы эта система была:

1) равновесной;

2) линейной;

3) слабо неравновесной;

4) сильно неравновесной.

3. К явлениям самоорганизации можно отнести:

1) кристаллизацию при охлаждении расплава или испарении раствора;

2) формирование циклонов и антициклонов в атмосфере;

3) соблюдение единых законов на всей территории государства;

4) возникновение пустыни в результате чрезмерно интенсивного землепользования.

4. В точках бифуркации поведение системы:

1) характеризуется повышенной устойчивостью;

2) становится неопределенным;

3) связано только с количественными изменениями ее характеристик;

4) определяется динамическими закономерностями.

5. Установите соответствие между научной дисциплиной (научно-исследовательской программой) и ее предметом исследования.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) синергетика	А) эволюция как форма существования Вселенной
2) биологический эволюционизм	Б) универсальные закономерности самоорганизации в природе и обществе
3) универсальный эволюционизм	В) происхождение и развитие живых систем
	Г) происхождение человека (антропогенез) и формирования общества

РАЗДЕЛ V

ПАНОРАМА СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

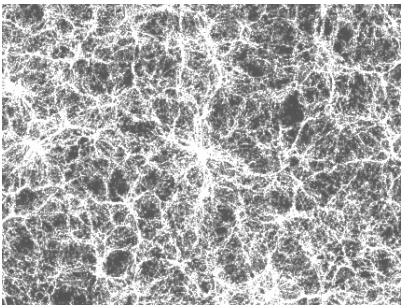
ТЕМА 19. КОСМОЛОГИЯ (МЕГАМИР)

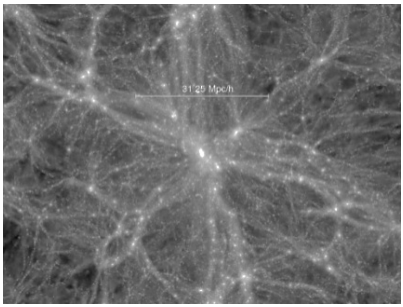
19.1. Мегамир

Мир объектов космического масштаба – планет, звезд, галактик, Метагалактики. Кроме них во Вселенной присутствуют излучение и диффузная материя, которая может занимать огромные пространства в виде облаков газа и пыли − газопылевых туманностей.

Основу нашей спиральной Галактики составляет **Млечный Путь** (см. стр. 64). Кроме нашей Галактики, имеется множество других звездных систем. В «наблюдаемой Вселенной», т. е. в области, доступной современным средствам наблюдений, насчитывается около 100 миллиардов галактик. Их совокупность называют Метагалактикой.

При наблюдении с Земли Метагалактика представляется однородной и изотропной на очень больших масштабах (более 200 Мпк) и сильно неоднородной – на меньших.





Мегамир описывается законами классической физики с поправками, которые были внесены специальной и общей теорией относительности.

Преобладающим взаимодействием в мегамире является гравитационное.

Один из основных методов исследования Вселенной – спектральный анализ. Он позволяет на основе анализа пришедшего из космоса света установить количественный и качественный состав небесных тел, их температуру, скорость движения по лучу зрения и т. п.

Химический состав Вселенной более чем на 99 % – водород и гелий и в незначительных количествах – все остальные элементы.

Происхождение легких химических элементов (вплоть до железа) связано с термоядерными реакциями внутри звезд (в недрах стабильных звезд).

Образование тяжелых химических элементов (тяжелее железа) происходит в результате взрыва звезд.

19.2. Космология

Космология − наука о строении и эволюции Вселенной в целом.

Космологические модели, как и любые другие, строятся на основе тех представлений, которые господствуют в данное время.

Геоцентрическая модель Аристотеля: Земля в центре шарообразной, ограниченной сферой неподвижных звезд, неоднородной (подлунный и надлунный мир) и неизменной Вселенной.

Геоцентрическая модель Птолемея позволила не только объяснить все наблюдаемые особенности движения Солнца, Луны и планет, но и проводить кинематический расчет движения этих небесных тел. В рамках космологических представлений Птолемея шарообразная Земля находится в центре Вселенной, ограниченной сферой неподвижных звезд. Вокруг Земли обращаются Луна, Солнце и планеты по сложной системе окружностей «эпициклов» и «деферентов».

Гелиоцентрическая модель Коперника. Впервые идея гелиоцентризма была высказана Аристархом Самосским еще в 3 веке до н.э. Однако впоследствии, под давлением религиозного догматизма, от нее отказались в пользу геоцентрической модели.

Возрождение гелиоцентрической идеи связано с Н. Коперником, который разработал теорию движения планет, включая Землю, вокруг Солнца.

Космология Ньютона. Вселенная – бесконечная, безграничная, однородная и неизменная (стационарная).

19.3. Современная космология

Современная космология возникла после появления общей теории относительности, поэтому ее называют релятивистской. Соответствующие модели являются решением уравнений теории тяготения Эйнштейна в применении ко Вселенной в целом.

Первая космологическая модель, предложенная самим Эйнштейном (1917), была закрытой и статической. По Эйнштейну, Вселенная однородна, изотропна и имеет конечные радиус и объем, причем ее состояние не зависит от времени (Вселенная стационарна).

Модели нестационарной Вселенной (три сценария) получены А. Фридманом. Он детально исследовал уравнения Эйнштейна и показал, что теория допускает в качестве моделей также и нестационарные решения. Более того, статическая модель Эйнштейна является неустойчивой по отношению к малым возмущениям.

Вывод о нестационарности Вселенной получил подтверждение после обнаружения Хабблом (1929) красного смещения в спектрах галактик, которое свидетельствует о «разбегании галактик», т. е. о расширении Вселенной. В связи с этим на первый план вышли проблемы исследования расширения Вселенной и определения ее возраста по продолжительности этого расширения.

Характер расширения Вселенной зависит от средней плотности материи в ней. Если плотность окажется меньше некоторого критического значения, то гравитационное притяжение будет слишком мало, чтобы остановить расширение, и оно будет продолжаться всегда с ускорением. Если плотность окажется равна критической величине, то расширение Вселенной будет происходить с постепенным уменьшением скорости. Если же плотность материи больше критической, то в какой-то момент в будущем из-за гравитации расширение Вселенной прекратится и начнется сжатие.

Современные представления о происхождении и эволюции Метагалактики основываются на ряде экспериментальных наблюдений.

1. Метагалактика, в среднем, обладает единым составом: водород (77 %), гелий (22 %), кислород (0,8 %), железо (0,1 %) и остальные элементы (0,1 %).

2. В спектрах излучения далеких галактик наблюдается открытое Э. Хабблом (1929) систематическое смещение в сторону более длинных, «красных» волн. Это явление, которое возникает вследствие

эффекта Доплера, свидетельствует об удалении («разбегании») галактик от нас во все стороны. Установлено, что скорость V взаимного удаления двух звездных систем пропорциональна расстоянию R между ними:

$$V = H \cdot R \text{ – закон Хаббла.}$$

Здесь $H \approx$ (75 км/с)/Мпк – постоянная Хаббла.

3. Все космическое пространство заполнено фотонным газом − фоновым (реликтовым) излучением, спектр которого соответствует излучению абсолютно черного тела при температуре ~2,7 К. Концентрация фотонов составляет ~450 1/см^3. Открытие фонового излучения принадлежит А. Пензиасу и Р. Вильсону (1965).

19.4. Теория Большого Взрыва (Big Bang)

Одна из космологических теорий происхождения Вселенной − теория Большого Взрыва − предложена Г. Гамовым (1948).

По современным представлениям, Вселенная возникла 13,7 ± ± 0,13 млрд лет назад из некоторого начального «сингулярного» состояния и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается.

Согласно теории, мы ничего не можем сказать про Вселенную в начальный момент времени. Наиболее ранним моментом, допускающим описание, считается момент $t \sim 10^{-43}$ с. В этот момент размер Вселенной составлял $\sim 10^{-35}$ м, плотность $\sim 10^{97}$ кг/м³, температура $\sim 10^{32}$ К, а энергия частиц достигала значений $\sim 10^{19}$ ГэВ. В этот период материя существовала в форме кварков и нейтрино, а все виды взаимодействий были объединены в единое силовое поле. По мере расширения Вселенной энергия частиц уменьшалась, и при энергиях порядка 10^3 ГэВ все четыре вида фундаментальных взаимодействий оказались разделенными. Одновременно с этими процессами шло образование более сложных форм материи – нуклонов, а затем легких ядер, ионов, атомов и т. д.

Теория Большого Взрыва хорошо согласуется с экспериментальными фактами 1−3 (см. 19.3).

19.5. Эволюция Вселенной

Доминирующие гипотезы сводятся к тому, что первые 300–400 тыс. лет Вселенная была заполнена только ионизованным водородом и гелием. По мере расширения и остывания Вселенной они пере-

шли в нейтральное состояние, образовав обычный газ. Предположительно через 500 млн лет зажглись первые звезды, а сгустки вещества, образовавшиеся благодаря флуктуациям, превратились в галактики.

В результате термоядерных реакций в звездах были синтезированы более тяжелые элементы (вплоть до углерода). Во время взрывов сверхновых звезд образовались еще более тяжелые элементы. Чем массивнее звезда, тем быстрее она гибнет и рассеивает бóльшую часть своего вещества в пространстве, обогащая его разнообразными химическими элементами.

После взрывов вещество сгущалось снова, в результате чего зажигались звезды следующих поколений, вокруг которых образовывались планетные системы.

19.6. Космогония

Космогония изучает образование галактик, звезд, планет и других объектов.

Под действием гравитации в газопылевых облаках формируются сгущения с образованием вращающихся газопылевых дисков. Основная масса вещества концентрируется в центре диска, где растет температура, в результате чего начинается термоядерная реакция и вспыхивает звезда (рождения звезд в газопылевых облаках наблюдались в телескоп). В остальных частях диска образуются планеты. Установлено, что планетные системы вокруг звезд весьма распространены в нашей Галактике.

Космогонию можно разделить на две части: 1) космогония Солнечной системы (эту часть космогонии также называют планетной); 2) звездная космогония.

Во 2-й половине XX в. в космогонии Солнечной системы утвердилась точка зрения, согласно которой Солнце и вся Солнечная система образовались из газопылевого состояния. Впервые такое мнение было высказано И. Кантом.

Теорию Канта о происхождении Солнечной системы впоследствии развивал Лаплас. Он подробно описал гипотезу образования Солнца и планет из уже вращающейся газовой туманности и учел основные характерные черты Солнечной системы.

19.7. Антропный принцип (1974 г.)

Антропный принцип (1974) – один из фундаментальных принципов современной космологии, который устанавливает связь между физическими параметрами нашей Вселенной и существованием в ней наблюдателя – человека.

В качестве физических параметров рассматриваются фундаментальные физические постоянные – скорость света, массы электрона и протона, постоянная Планка, постоянные взаимодействий, элементарный электрический заряд…

С развитием знаний об устройстве микро-, макро- и мегамира стало очевидно, что все фундаментальные константы, взятые по совокупности, имеют очень узкий интервал допустимых значений, при которых Вселенная в том виде, в котором она перед нами предстает и обеспечивает условия для зарождения жизни, могла возникнуть и стабильно развиваться. «Мы видим Вселенную такой, потому что только в такой Вселенной мог возникнуть наблюдатель, человек».

Если бы изменилась хотя бы одна из фундаментальных постоянных (при неизменности других параметров и сохранении всех физических законов), то стало бы невозможным существование тех или иных физических объектов – ядер, атомов, и, как следствие, отсутствовала бы сама жизнь, поэтому размышлять о порядке всего мироустройства было бы просто некому.

Антропный принцип применяется в слабом и сильном варианте.

Слабый антропный принцип – свойства Вселенной таковы, что в ней могли появиться жизнь и разум («наблюдатели»).

Сильный антропный принцип – свойства Вселенной обязаны быть такими, чтобы в ней зародилась разумная жизнь.

Вопросы для самоконтроля

1. Согласно современной космологии, возраст Вселенной (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) находится в диапазоне от 12 до 15 миллиардов лет;
2) в несколько раз превышает возрасты Солнца и Земли;
3) находится в диапазоне от 6 до 10 тысяч лет;
4) практически совпадает с возрастами Солнца и Земли.

2. Современная космология утверждает, что наша Вселенная:

1) непрерывно пульсирует;

2) сжимается;

3) расширяется;

4) остается такой, как была всегда.

3. В пользу представления о расширяющейся Вселенной говорит (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) увеличение радиусов планетных орбит в Солнечной системе с течением времени;

2) красное смещение линий в спектрах далеких галактик, пропорциональное расстоянию до них;

3) систематическое изменение вида звездного неба, наблюдаемого астрономами, со времен античности и до наших дней;

4) решение уравнений общей теории относительности, примененных ко Вселенной в целом.

4. Укажите соответствие между космологической моделью и принятым в ней представлением о месте Земли во Вселенной.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) геоцентрическая система мира Птолемея	А) Земля – рядовое небесное тело, одна из планет
2) гелиоцентрическая система мира Н. Коперника	Б) Земля – единственная планета, обладающая атмосферой
	В) Земля – особое, выделенное небесное тело

5. Укажите соответствие между началом и окончанием правильного утверждения.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) Смысл закономерности, открытой Э. Хабблом при наблюдениях далеких галактик, состоит в том, что	А) наша Галактика расположена в центре Вселенной, поскольку все далекие галактики разбегаются именно от нее
2) Наличие красного смещения линий в спектрах излучения далеких галактик свидетельствует о том, что	Б) каждая из далеких галактик удаляется от земного наблюдателя со скоростью, пропорциональной расстоянию до нее
	В) все далекие галактики удаляются от нашей Галактики

Тема 20. **ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ**

20.1. Происхождение и эволюция Солнечной системы

Солнечная система образовалась около 5 млрд лет назад. Число гипотез о происхождении Солнечной системы очень велико, но ни одна не может считаться доказанной. Рассмотрим одну из гипотез, идея которой принадлежит И. Канту (1775).

В результате коллапса межзвездного газового облака образуется газовый шар («протосолнце») размером с Солнечную систему и массой, равной примерно двум солнечным массам. Вследствие усиливающегося сжатия этот шар вращается все быстрее, принимает форму эллипсоида, и на экваторе происходит отрыв вещества, из которого впоследствии и образовались планеты.

20.2. Строение и эволюция Земли

Земля зародилась около 4,5 млрд лет назад на расстоянии 1 а. е. от Солнца. Эта цифра получена на основании метода изотопного (радиоактивного) датирования самых древних земных пород.

Первичное вещество сжималось под действием тяготения, принимало форму шара, недра которого разогревались. Происходили процессы перемешивания, шли химические реакции, более легкие силикатные породы выдавливались из глубины на поверхность и образовывали земную кору, тяжелые − оставались внутри.

Разогрев сопровождался бурной вулканической деятельностью, пары и газы вырывались наружу. У Земли и планет земной группы сначала не было атмосфер, как на Меркурии и Луне. Активизация процессов на Солнце вызывала увеличение вулканической деятельности, рождалась из магмы атмосфера, появились облака. Водяные пары конденсировались, появилась гидросфера.

Первичная атмосфера Земли состояла в основном из CH_4, NH_3, CO_2, паров H_2O. Резкое изменение состава атмосферы произошло примерно 2 млрд лет назад; его связывают с созданием гидросферы и зарождением жизни. Растения каменноугольного периода поглотили большую часть CO_2 и насытили атмосферу O_2. Последние 200 млн лет состав земной атмосферы остается практически неизменным: азот − 75,5 %, кислород – 23 %, аргон − 1,3 % и другие газы.

Окружающая Землю современная атмосфера условно делится на несколько слоев (см. рис. 7 цветной вклейки). Приведем их в порядке от Земли и выше: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера.

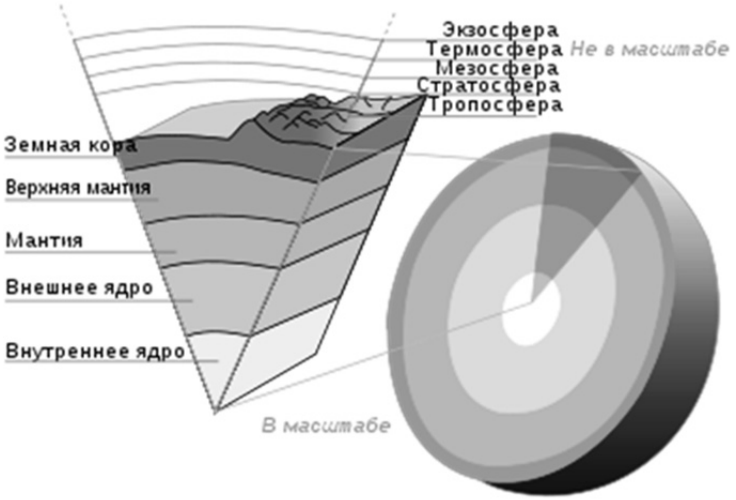
Тропосфера – нижний слой атмосферы, который называют кухней погоды, особенно его области, расположенные над океанами – огромными тепловыми резервуарами, аккумулирующими и отдающими тепловую энергию солнечного света воздушным массам.

Стратосфера – самый спокойный слой атмосферы. Там не бывает ветров. Воздух стратосферы разреженный. В стратосфере на высоте 15–20 км расположен озоновый слой, характеризующийся повышенным содержанием трехатомного кислорода O_3. Озоновый слой служит невидимым защитным барьером Земли. Он поглощает испускаемые Солнцем ультрафиолетовые лучи. Если бы не было озонового слоя, излучение, достигнув Земли, убило бы все живое.

Мезосфера – слой атмосферы на высоте 50–80 км. Именно в этом слое сгорают метеориты.

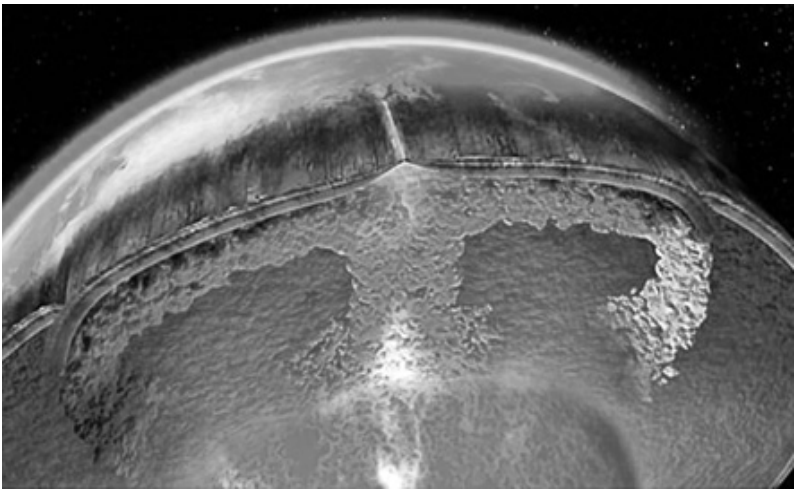
Термосфера – слой атмосферы на высоте 80–480 км над Землей. Термосфера включает в себя ионосферу – слой, содержащий электрически заряженные частицы. Ионосфера активно поглощает вредные для жизни рентгеновские и ультрафиолетовые лучи.

Экзосфера – самая высокая, конечная часть атмосферной оболочки, называется еще «земной короной», выше 600–1000 км. Экзосфера чрезвычайно разрежена и состоит преимущественно из легких молекул водорода и гелия, которые рассеиваются в межпланетном пространстве. Между экзосферой и открытым космосом не существует четкой границы.



Твердую оболочку Земли называют **литосферой**. Верхняя часть литосферы − это **земная кора**, достигающая толщины 35−65 км на континентах и 6−8 км − под дном океанов. Основной химический элемент в земной коре – кислород (чуть более 47 %). Наиболее распространенные породообразующие минералы земной коры практически полностью состоят из оксидов, основными из которых являются кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3), оксид железа (FeO), окись кальция (CaO) и др.

Под корой расположена **мантия** − очень плотная и сильно нагретая часть Земли. Температура у нижней границы мантии достигает почти 5000 К. Казалось бы, вещество здесь должно находиться в расплавленном состоянии. В действительности этого нет, поскольку вещество внутри Земли находится под огромным давлением вышележащих слоев. Только там, где это давление ослабевает, раскаленные твердые породы расплавляются и образуется жидкая раскаленная магма. В некоторых местах она по трещинам в коре прорывается наружу − происходит вулканическое извержение. Основной элемент мантии – кремний.



Вещество мантии можно считать твердым только в небольших масштабах времени, если же мыслить тысячелетиями, то оно весьма текуче. В мантии происходит круговорот веществ. Нагретые в глубине массы вещества поднимаются вверх к земной коре. Там они остывают и опускаются. Возникают гигантские вертикальные кольцеобразные течения (см. рис. 8 цветной вклейки).

Под мантией начинается область **ядра**, состоящего предположительно из железоникелевого сплава.

Сейсмические измерения показывают, что ядро состоит из двух частей: жидкого внешнего ядра толщиной около 2200 км и твердого внутреннего ядра радиусом около 1300 км.

Основной химический элемент внешнего ядра – железо, во внутреннем ядре – железо и никель. Температура в центре ядра достигает предположительно 7000 К.

20.3. Особенности Земли и планет Земной группы

Магнитное поле Земли

С наличием внешнего жидкого ядра связывают существование магнитного поля Земли, которое порождается кольцевым током, циркулирующим в экваториальной плоскости Земли. Его величина составляет несколько миллиардов ампер.

Геомагнитное поле формирует магнитосферу Земли, которая отклоняет заряженные частицы солнечного ветра и тем самым защищает жизнь на Земле от смертоносного космического излучения.

Химический состав Земли

Масса Земли приблизительно равна $5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг. 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 %), алюминия (1,4 %) и остальных элементов (1,2 %). Примечательно, что углерода, являющегося основой жизни, в земной коре менее 0,1 %.

Планеты Земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс)

Общие свойства:

- небольшие;
- каменистые, плотность планет превосходит плотность воды в несколько раз; имеют четко выраженную поверхность;
- находятся на небольшом расстоянии от Солнца.

В *отличие* от планет Земной группы Земля имеет:

- сильное магнитное поле;
- большое количество жидкой воды на поверхности;
- богатую кислородом атмосферу,
- развитую биосферу.

Вопросы для самоконтроля

1. Относительно возраста Земли можно утверждать (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) он составляет около 4,5 миллиардов лет;
2) Земля и другие планеты чуть моложе Солнца;
3) Земля и другие планеты сформировались раньше Солнца;
4) он не превышает 10 тысяч лет, иначе это противоречило бы Библии.

2. Земля отличается от других планет Земной группы – Меркурия, Венеры и Марса (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) наличием ясно выраженной твердой поверхности;
2) большим количеством жидкости на поверхности;
3) присутствием кислорода в атмосфере;
4) мощной атмосферой, создающей «парниковый эффект».

3. В составе нижней части атмосферы Земли в настоящее время преобладают:

1) кислород и водяные пары;
2) водород и гелий;
3) азот и водород;
4) азот и кислород.

4. Двумя самыми распространенными на Земле из перечисленных химических элементов являются (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) водород;
2) железо;
3) кислород;
4) уран.

5. Двумя самыми поздними из перечисленных стадий эволюции нашей планеты являются (*укажите не менее двух вариантов ответа*):

1) формирование океанов;
2) формирование земной коры;
3) формирование азотно-кислородной атмосферы;
4) гравитационное сжатие и нагрев протопланеты.

Тема 21. **ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ (ЭВОЛЮЦИЯ И РАЗВИТИЕ ЖИВЫХ СИСТЕМ)**

21.1. Основные концепции происхождения жизни

В разное время относительно возникновения жизни на Земле выдвигались следующие концепции:

- креационизм, утверждающий, что жизнь создана сверхъестественным существом в результате акта творения;
- концепция стационарного состояния, в соответствии с которой жизнь, равно как и Земля, существовала всегда;
- концепция постоянного самозарождения жизни, основывающаяся на идее многократного возникновения жизни из неживого вещества;
- концепция панспермии, утверждающая, что жизнь занесена на Землю из космоса;
- концепция закономерного происхождения жизни путем биохимической эволюции.

В настоящее время гипотезы стационарного состояния и самозарождения представляют лишь исторический интерес, так как результаты научных исследований противоречат выводам этих теорий.

Гипотеза панспермии не решает вопроса о возникновении жизни в принципиальном отношении, хотя и не может исключаться как гипотеза о начале жизни именно на Земле.

Гипотеза биохимической эволюции (**абиогенеза**) имеет наибольшее количество сторонников среди современных ученых. В рамках данной гипотезы жизнь могла возникнуть из неорганических веществ в условиях молодой Земли в ходе самоорганизации материи.

21.2. Первичная атмосфера Земли

Первичной называют атмосферу, которая начала зарождаться сразу после формирования Земли в результате газовыделения из разогретых пород и продуктов вулканической деятельности.

Первичная атмосфера содержала в основном метан (CH_4), аммиак (NH_3), диоксид углерода (CO_2), водяной пар (H_2O) и водород (H_2).

В отличие от этих газов кислород не может быть получен путем дегазации магмы и потому отсутствовал в первичной атмосфере Земли. В процессе эволюции, прежде чем стать благоприятным для биологических видов, первоначальный состав атмосферы почти полностью изменился.

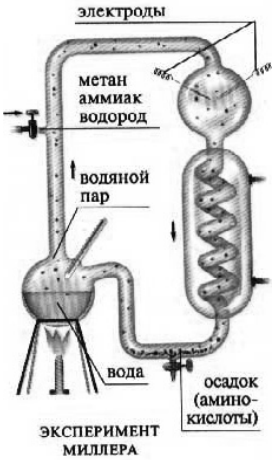
21.3. Концепция биохимической эволюции

Можно выделить три этапа биохимической эволюции.

1-й этап – этап абиогенного синтеза биологически важных молекул (мономеров-аминокислот) из неорганических соединений.

Сущность гипотезы абиогенного синтеза заключается в том, что органические соединения, т. е. соединения углерода, могли образоваться чисто химическим путем в условиях первичной атмосферы, которая отличается от современной.

Под воздействием солнечной радиации, а также электрических грозовых разрядов смесь из газов вступала в химические реакции, в результате которых образовались простые органические молекулы.



Гипотетический ландшафт молодой Земли

Подтверждение этой гипотезы получено в опытах С. Миллера (1951−1957) по воздействию искровыми разрядами на смесь газов CH_4, NH_3, H_2 и паров H_2O, в результате чего были синтезированы аминокислоты аспарагин, глицин, глутамин.

На этом этапе, по-видимому, уже начал действовать предбиологический отбор тех соединений, которые оказались наиболее устойчивыми и способными к дальнейшему усложнению. Для построения любого органического соединения живых организмов нужен небольшой набор не очень сложных мономеров. Например, для построения всех белков достаточно всего 20 аминокислот. Такое весьма небольшое число

молекул-мономеров − результат отбора, определившего их пригодность для возникновения живого. Это означает, что эволюции организмов предшествовала очень длительная *химическая эволюция.*

Однако если бы эти мономеры были распределены равномерно, то их концентрация в первичном океане была бы незначительной. Поэтому для дальнейшей полимеризации требовалась их самоорганизация.

2-й этап − самопроизвольное скопление мономеров в пространстве с образованием полимеров.

Впервые на эту возможность указал А.И. Опарин (1924). Было показано, что биологически важные молекулы могут самопроизвольно концентрироваться, образуя капли, названные коацерватами.

Коацерваты – комплексы сложных органических молекул, отделенных от воды уплотненным поверхностным слоем, имитирующим мембрану.

Благодаря повышенной концентрации в каплях, подобных клетке, возникли условия для реакций, ведущих к образованию более сложных химических структур, в том числе биополимеров: полисахаридов, липидов, полипептидов и полинуклеотидов. К тому же коацерваты объясняют появление биологических мембран как одного из ключевых этапов химической эволюции жизни. Важно, что бескислородная среда способствовала процессу синтеза биополимеров: кислород, как сильный окислитель, разрушал бы возникающие молекулы.

Научные данные свидетельствуют, что жизнь возникла не в открытом океане, а в шельфовой зоне моря или в лагунах, где были наиболее благоприятные условия для концентрации органических молекул и образования сложных макромолекулярных систем.

Образовавшиеся коацерватные капельки поглощали из окружающей среды низкомолекулярные вещества и росли за их счет. Каждая отдельная капелька не могла расти неограниченно и распадалась на дочерние капельки. В новом поколении все неудачно организованные капельки погибали, а более совершенные участвовали в дальнейшей эволюции − происходил естественный отбор таких капель, которые обладали преимуществом в лучшем использовании вещества и энергии среды.

3-й этап – образование информационной системы.

В ходе предбиологического отбора сохранились лишь такие капли, которые при распаде на дочерние не утрачивали особенностей своей структуры (приобрели способность к самовоспроизведению).

Это обусловило появление главного качества живого – наследственности. Переход систем к самовоспроизведению, т. е. к матричному

синтезу белков, явился качественным скачком в происхождении жизни. Жизнь возникла не тогда, когда образовались достаточно сложные органические соединения, отдельные молекулы ДНК и др., а тогда, когда начал действовать механизм репликации. При появлении устойчивого механизма воспроизведения генетической информации эра химической эволюции закончилась, уступив место биологической эволюции.

21.4. Методологические подходы в вопросе происхождения жизни (голобиоз, генобиоз)

Основной проблемой теории биохимической эволюции является вопрос, что является первичным − белки или нуклеиновые кислоты, а также как и на каком этапе произошло их объединение в единую систему, являющуюся живым организмом. В зависимости от ответа на этот вопрос все гипотезы и концепции можно разделить на две группы – голобиоза и генобиоза.

Рассмотренная выше концепция А.И. Опарина относится к группе концепций **голобиоза**, утверждающих первичность структур, способных к обмену веществ посредством ферментных белков. Появление нуклеиновых кислот в этой концепции считается завершением эволюции.

Сторонники **генобиоза** убеждены в первичности молекулярной системы со свойствами первичного генетического кода. Примером этой точки зрения может служить концепция американского генетика Дж. Холдейна (1929). Согласно этой концепции, первичной была не структура, способная к обмену веществ с окружающей средой, а макромолекулярная система, подобная гену и способная к саморепродукции.

21.5. Начальные этапы биологической эволюции

Началом отсчета для биологической эволюции жизни является появление примитивной клетки.

Первыми возникшими одноклеточными организмами были примитивные бактерии, не обладавшие ядром, т. е. **прокариоты**. Они были **анаэробами**, поскольку жили в бескислородной среде, и **гетеротрофами**, так как питались готовыми органическими веществами, синтезированными в ходе химической эволюции.

Но постепенно «органический бульон» в результате потребления убывал. Поэтому некоторые организмы (**автотрофы**) стали синтезировать макромолекулы (органические вещества) биохимическим путем, внутри самих клеток при помощи ферментов.

В таких условиях преимущество оказалось у клеток, которые смогли получать большую часть энергии непосредственно от излучения Солнца. Этот путь привел к формированию хлорофилла и фотосинтеза. Переход к фотосинтезу и автотрофному типу питания был длительным процессом и завершился около 1,8 млрд лет назад.

Атмосфера Земли стала обогащаться кислородом, который для анаэробов является ядом. Поэтому многие анаэробы погибли, другие укрылись в бескислородных средах, например болотах. Третьи, их называют **аэробами**, приспособились к кислороду. У них центральным механизмом обмена стало кислородное дыхание, которое позволило увеличить выделение требуемой энергии в 10−15 раз по сравнению с анаэробным типом обмена − брожением или гниением.

В кислородной среде сформировались **эукариоты**, т. е. одноклеточные имеющие ядро организмы. Это были уже более совершенные организмы с фотосинтетической способностью. Их ДНК уже были сконцентрированы в хромосомы, тогда как у прокариотных клеток наследственное вещество было распределено по всей клетке. Хромосомы эукариотов были сконцентрированы в ядре клетки, а сама клетка уже воспроизводилась без существенных изменений. Поэтому дочерняя клетка эукариот была почти точной копией материнской и наследовала ее свойства, а потому и приспособленность к внешней среде.

Вопросы для самоконтроля

1. Организмы, клетки которых содержат оформленные ядра, – это:
1) прокариоты;
2) эукариоты;
3) гетеротрофы;
4) автотрофы.

2. Установите соответствие между понятием и его определением.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) гетеротрофы	А) комплексы биополимеров, отделенные от воды уплотненным слоем, имитирующим мембрану
2) аэробы	Б) организмы, питающиеся готовыми органическими веществами
3) эукариоты	В) организмы, способные жить в присутствии атмосферного кислорода
	Г) организмы, обладающие оформленным клеточным ядром

3. Установите соответствие между концепцией возникновения жизни и ее содержанием.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) теория биохимической эволюции	А) жизнь никогда не возникала, а существовала всегда
2) постоянное самозарождение	Б) жизнь на Земле возникла в процессе самоорганизации из неорганических веществ
3) креационизм	В) жизнь постоянно самопроизвольно зарождается из неживого вещества
	Г) жизнь есть результат божественного творения

4. Научным опровержением концепции постоянного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества являются данные о том, что:

1) каждое новое поколение организмов происходит от предшествующего;

2) жизнь возникла в результате творения сверхъестественным существом;

3) каждое новое поколение организмов возникает спонтанно;

4) живые организмы существовали всегда.

5. Среди концепций возникновения жизни на Земле существует гипотеза *биохимической эволюции*, согласно которой:

1) жизнь есть результат процессов самоорганизации в неживой природе в условиях ранней Земли;

2) земная жизнь имеет космическое происхождение;

3) жизнь никогда не возникала, а существовала вечно;

4) жизнь постоянно зарождалась из неживого вещества.

Тема 22. **ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ**

Эволюция – процесс длительных, постепенных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся возникновением новых материальных систем, структур, форм и видов.

Биологическая эволюция – самопроизвольное, необратимое и направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, образованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом.

С современной точки зрения, биологическая эволюция является частью общей эволюции Вселенной.

22.1. Концепция эволюции Ламарка

Первая в истории биологии теория эволюции живой природы принадлежит Ж.-Б. Ламарку. В книге «Философия зоологии» (1809) он отмечал историческое плавное развитие организмов, которое имеет не случайный, а закономерный характер.

Основные положения теории Ламарка:

- живыми организмами управляет внутреннее «стремление к совершенствованию», присущее им от природы;
- если орган часто упражняется, он развивается, если орган не упражняется, он постепенно отмирает, и организм приобретает новые признаки фенотипа;
- приобретенные признаки передаются потомству.

Впоследствии были получены доказательства несостоятельности теории Ламарка, и в настоящее время она представляет исключительно исторический интерес.

22.2. Эволюционная теория Дарвина

«Происхождение видов путем естественного отбора» (1859) – основной труд Ч. Дарвина, в котором он изложил основы эволюции органического мира.

По Дарвину, *основными факторами эволюции* являются:

- наследственная изменчивость – изменения, которые возникают у каждого организма независимо от внешней среды и передаются потомкам;

- борьба за существование – совокупность разнообразных взаимоотношений между организмом и окружающими его факторами живой и неживой природы;
- естественный отбор – выживание более приспособленных особей и гибель менее приспособленных к конкретным условиям среды.

Теория Дарвина легла в основу современной эволюционной теории.

22.3. Синтетическая теория эволюции (неодарвинизм, СТЭ)

Появилась в 30−40-е гг. XX в., объединив учения на основе дарвинизма, данных генетики, экологии.

СТЭ – теория биологической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически.

Согласно синтетической теории эволюции, элементарной единицей эволюции является популяция, а в теории Дарвина – вид.

Вид – основная структурная единица биологической систематики живых организмов, совокупность особей, обладающих общими морфологическими, генетическими признаками, способных к скрещиванию с образованием плодовитого потомства, закономерно распространенная в пределах определенного ареала. Вид − генетически замкнутая система. Между видами не может быть скрещивания, и возникшая мутация не выйдет за пределы вида.

В связи с неодинаковыми условиями среды особи одного вида в пределах ареала распадаются на более мелкие единицы – популяции. Реально вид существует именно в виде популяций. При нарушении изоляции между различными популяциями вида происходит скрещивание или обмен генами.

Популяция − совокупность особей одного вида, занимающих одну территорию. Популяция − элементарная единица в современной теории эволюции.

В рамках СТЭ выделяют два типа эволюции − на микро- и макроуровнях.

Теория микроэволюции изучает необратимые преобразования генетико-экологической структуры популяции, которые могут привести к образованию нового вида.

Особенности микроэволюции:

- доступность непосредственному наблюдению;

- осуществляется за сравнительно небольшой промежуток времени;
- рассматривает явления, происходящие в генофонде популяций.

Макроэволюция изучает возникновение адаптаций общего значения, происхождение более крупных, надвидовых таксонов (родов, семейств, отрядов, классов, типов), основные направления и закономерности развития жизни на Земле в целом.

Макроэволюционные преобразования занимают длительные промежутки времени. Каждый макроэволюционный результат складывается из множества микроэволюционных событий.

Примеры макроэволюции:

- возникновение фотосинтеза;
- появление эукариот;
- формирование многоклеточности и т. д.

22.4. Основные положения синтетической теории эволюции:

1. Элементарная эволюционная структура – популяция.

2. Элементарный эволюционный материал – генофонд популяции. Генофонд – совокупность всех генотипов определенной популяции.

3. Элементарное эволюционное явление – изменение генофонда популяции.

4. Элементарные эволюционные факторы – мутационный процесс, популяционные волны и изоляция.

- Мутация – случайное, ненаправленное, внезапное наследственное изменение, вызванное резким структурным и функциональным изменением генетического материала естественным путем или за счет искусственного воздействия. За счет мутаций генофонд популяции пополняется новыми генами.
- Популяционные волны (волны жизни) – количественные колебания в численности популяции под воздействием различных причин, например, сезонных изменений климата, различных природных (наводнение, землетрясение, засуха) и технических (техногенный выброс, пожар) катастроф. Волны жизни приводят к изменению частоты генов в популяции, т. е. оказывают влияние на изменение генетической структуры популяций.
- Изоляция – возникновение барьеров, препятствий, мешающих свободному скрещиванию, приводящее к уменьшению возможности обмена генетической информацией с другими группами особей данной популяции. Общим итогом изоляции является возникновение

независимых генофондов двух популяций, которые в итоге могут трансформироваться в самостоятельные виды.

5. Основная движущая сила эволюции – естественный отбор, являющийся следствием конкурентной борьбы за существование, особенно острой внутри вида и популяции. Приводит к выживанию и преимущественному размножению более приспособленных к условиям среды особей, обладающих полезными наследственными признаками.

6. Объектом действия естественного отбора является целостный живой организм.

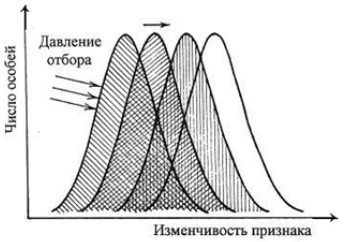
7. Основа видообразования – дивергенция, т. е. один таксон может стать предком нескольких дочерних таксонов. Расхождение признаков организмов в ходе эволюции от общего предка (дивергенция) происходит через отбор мелких случайных мутаций.

8. Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование представляет собой последовательную смену одной временной популяции чередой последующих временных популяций.

9. Макроэволюция идет путем микроэволюции.

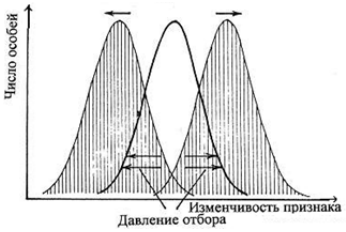
22.5. Формы естественного отбора

Движущий отбор − форма естественного отбора, которая действует при направленном изменении условий внешней среды. Описали Дарвин и Уоллес. В этом случае особи с признаками, которые отклоняются в определенную сторону от среднего значения, получают преимущества. В результате в популяции от поколения к поколению происходит сдвиг средней величины признака в определенном направлении.



Стабилизирующий отбор − форма естественного отбора, при которой его действие направлено против особей, имеющих крайние отклонения от средней нормы, в пользу особей со средней выраженностью признака. Этот вид отбора способствует сохранению оптимального для конкретных условий фенотипа.

Дизруптивный (разрывающий) отбор − форма естественного отбора, при котором условия благоприятствуют двум или нескольким крайним вариантам (направлениям) изменчивости, но не благоприятствуют промежуточному, среднему состоянию признака. В результате может появиться несколько новых форм из одной исходной.



Половой отбор − это естественный отбор на успех в размножении. Выживание организмов является важным, но не единственным компонентом естественного отбора. Другим важнейшим компонентом является привлекательность для особей противоположного пола. Дарвин назвал это явление половым отбором: «Эта форма отбора определяется не борьбой за существование в отношениях органических существ между собою или с внешними условиями, но соперничеством между особями одного пола, обычно самцами, за обладание особями другого пола».

Вопросы для самоконтроля

1. Совокупность популяций особей, способных к скрещиванию с образованием плодовитого потомства, населяющих определенный ареал и обладающих общими морфологическими, генетическими признаками, называется:

1) видом;
2) семейством;
3) классом;
4) царством.

2. Объектом действия естественного отбора является:

1) отдельный признак;
2) отдельный ген;
3) целостная живая система;
4) хромосомный набор.

3. Синтетическую теорию эволюции от теории Ч. Дарвина отличает положение о том, что:

1) одним из факторов биологической эволюции является изменчивость;

2) движущей силой биологической эволюции является естественный отбор;

3) борьба за существование лежит в основе естественного отбора;

4) элементарной единицей эволюции является популяция.

4. Синтетическая теория эволюции структурно состоит из теорий микро- и макроэволюций. Теория микроэволюции изучает:

1) закономерности развития жизни на Земле;

2) эволюционные изменения в популяциях;

3) эволюцию семейств;

4) происхождение и эволюцию человека.

5. Результатом макроэволюции является:

1) изменение генофонда популяций;

2) возникновение адаптаций общего значения;

3) уменьшение численности особей вида;

4) образование новых видов.

Тема 23. ИСТОРИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ

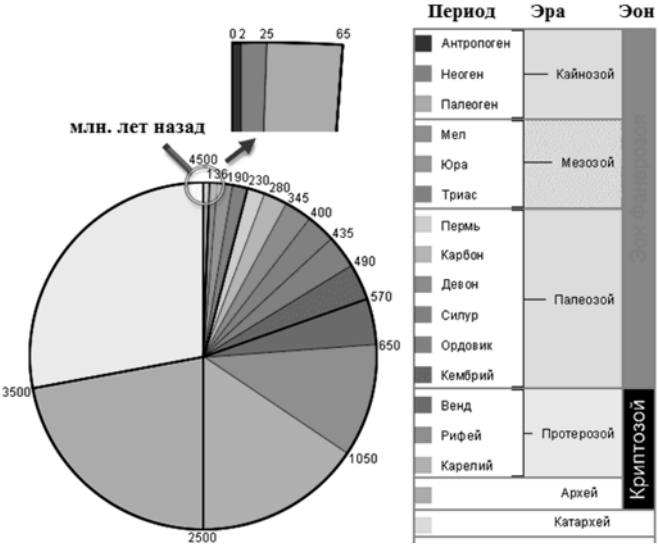
Палеонтология – фундаментальная естественно-историческая наука – занимает пограничное положение между комплексом наук о Земле и науками о Жизни.

Изучая сохранившиеся в земных слоях остатки организмов, следы их жизнедеятельности, палеонтология выясняет, как развивалась Жизнь на Земле, какие организмы сменяли друг друга на протяжении сотен миллионов лет в изменяющихся условиях окружающей среды, и как развивающаяся Жизнь меняла облик Земли. По данным палеонтологии построена Глобальная геохронологическая шкала.

23.1. Геохронологическая шкала

Геохронологическая шкала – геологическая временная шкала истории Земли, применяемая в геологии и палеонтологии, своеобразный календарь для промежутков времени в миллионы лет. В рамках шкалы история Земли разделена на различные временные интервалы по важ-

нейшим событиям, которые тогда происходили. Шкала может иметь различную степень детализации. Ниже приведен один из вариантов геохронологической шкалы (см. рис. 9 цветной вклейки).



Катархей – время, из которого осадочные породы неизвестны по причине отсутствия тогда гидросферы и кислородной атмосферы. В это время происходит формирование молодой Земли, а затем и химическая эволюция – основа дальнейшей биологической эволюции.

Криптозой – время «скрытой жизни», в нем существовали только мягкотелые организмы, не оставляющие следов в осадочных породах.

Криптозой делится на архей и протерозой.

Архей – время, когда на Земле еще не было кислородной атмосферы, но появились первые анаэробные бактерии, которые сформировали многие ныне существующие залежи полезных ископаемых: серы, графита, железа и никеля. В позднем архее появились первые фотосинтезирующие организмы.

Протерозой – приходит на смену архею. Начинается с «кислородной катастрофы» – глобального изменения состава атмосферы Земли, произошедшего в самом начале протерозоя, около 2,4 млрд лет назад. Причина кислородной катастрофы – появление в позднем архее (на 300 миллионов лет раньше, чем наступила кислородная катастрофа)

микроорганизмов, способных к фотосинтезу. В результате их деятельности в составе атмосферы появился свободный кислород, озоновый слой, общий характер атмосферы сменился с восстановительного на окислительный.

В протерозое происходит формирование современного объема мирового океана. Появление многоклеточных организмов: губок, грибов. Конец протерозоя – венд – называется «веком медуз». Результатом жизнедеятельности прокариотов (бактерий и одноклеточных водорослей, живших и на суше, в пленках воды между минеральными частицами в зонах частичного затопления вблизи водоемов) стало образование почвы.

Фанерозой – время «явной жизни». Рубежом криптозоя и фанерозоя служит появление в слоях отложений остатков скелетных организмов, позволяющих палеонтологии расчленять толщи по находкам ископаемой флоры и фауны.

Фанерозой включает три эры: палеозой, мезозой и кайнозой. Палеозой – эра «древней жизни». Мезозой – эра «средней жизни». Кайнозой – эра «новой жизни».

Граница между эрами фанерозоя проходит по крупнейшим эволюционным событиям – глобальным вымираниям.

Палеозой отделен от мезозоя крупнейшим за всю историю Земли пермско-триасовым вымиранием видов (вымерли 96 % морских видов, 70 % наземных позвоночных, 83 % видов насекомых). Мезозой отделен от кайнозоя мел-палеогеновым вымиранием (частью этого крупного вымирания было исчезновение динозавров).

Каждой эре фанерозоя соответствуют крупные события в истории Земли. Происходят расколы материков, изменения их конфигурации, меняется уровень мирового океана, происходят существенные изменения климата (похолодания, оледенения, установление теплого климата). На уровне биотических событий наблюдаются кардинальные перемены в составе морской фауны, в растительном мире, массовые вымирания одних групп организмов и появление новых других. Например, в палеозое появляются рыбы, в мезозое господствуют рептилии, в кайнозое – млекопитающие. На протяжении фанерозоя скорость эволюционного процесса возрастает по направлению от низших организмов к высшим.

На геохронологической шкале эры разделяются на меньшие временные интервалы, которые называются геологическими периодами.

Например, трем эрам фанерозоя соответствуют 12 периодов. Палеозой делится на кембрий, ордовик, силур, девон, карбон (каменноугольный период) и пермь. Мезозой – на триасовый, юрский и меловой периоды. Кайнозой – на палеоген, неоген и антропоген (четвертичный период).

Принцип деления на периоды основывается на отличии одного периода от другого комплексами фауны и флоры на уровне надсемейств, семейств и родов.

Антропоген – современный период в истории земли. Начался ~2,6 млн лет назад и продолжается по настоящее время. В этом периоде сформировалось большинство современных форм рельефа и произошло множество существенных событий в истории Земли (с точки зрения человека), важнейшие из которых – ледниковая эпоха и появление человека.

23.2. Последовательность эволюции растений

Первыми возникшими организмами были примитивные одноклеточные безъядерные бактерии, способные жить в бескислородной среде (анаэробные прокариоты). По типу питания они были гетеротрофами, так как питались готовыми органическими веществами, синтезированными в ходе химической эволюции.

В результате их жизнедеятельности «органический бульон» истощался. Это привело к возникновению в позднем архее автотрофных фотосинтезирующих микроорганизмов. Эти организмы синтезировали органические вещества из неорганических биохимическим путем, используя энергию Солнца.

Так произошло разделение (по способу питания) единого органического мира на мир растений и мир животных.

Эволюция царства растений началась с появления **сине-зеленых водорослей** (зародившихся в архее), способных осуществлять фотосинтез. Сине-зеленые водоросли принадлежат к группе цианобактерий, поскольку в их клетках отсутствуют оформленные ядра (прокариоты). Благодаря процессу фотосинтеза в атмосферу нашей планеты начал поступать кислород.

В протерозое около 1,3 млрд лет назад появились более сложные, чем цианобактерии, организмы – зеленые и золотистые водоросли. В клетках этих водорослей появилось ядро (эукариоты). Одноклеточные зеленые водоросли стали родоначальниками всех современных групп растений. От них в позднем протерозое (600–700 млн лет назад)

произошли **многоклеточные водоросли** – обитатели водной среды. Многоклеточные зеленые водоросли явились исходной ветвью для наземных листостебельных растений.

В конце силурийского периода палеозойской эры в связи с интенсивными горообразовательными процессами и сокращением площади морей часть водорослей, оказавшись в новых условиях среды (в мелких водоемах и на суше), погибла. Другая часть (**риниофиты**) приобрела признаки, способствовавшие выживанию в новых условиях. Многоклеточность способствовала образованию тканей и разделению их функций. Риниофиты, размножались спорами, обитали на суше или частично в воде. Выход риниофитов на сушу – одно из крупнейших событий в эволюции биосферы. Оно было подготовлено деятельностью бактерий и цианобактерий, которые насытили атмосферу кислородом и при взаимодействии с минеральными веществами образовали на поверхности суши почвенный субстрат.

В девонский период климат поменялся, на смену риниофитам пришли **папоротникообразные** (папоротники, хвощи, плауны) и **моховидные** растения, также размножающиеся спорами и предпочитающие влажную среду. Их появление сопровождалось возникновением вегетативных органов (корень, стебель, лист), что повышало эффективность функционирования отдельных частей растений и обеспечивало их деятельность как целостной системы.

В каменноугольный период (карбон) появляются первые **голосеменные**, возникшие от древних семенных папоротников. Возникновение голосеменных растений имело большое значение для дальнейшего развития растительного мира, так как половой процесс стал независимым от наличия капельно-жидкой среды. Возникшие семенные растения могли обитать в более сухом климате. В это время полностью исчезают риниофиты из-за невозможности конкурировать с более развитыми растениями. В пермский период климат во многих районах Земли стал более сухим и холодным, огромнейшие древовидные папоротникообразные, достигшие своего расцвета в карбоне, вымирают и образуют залежи каменного угля. Начинается бурный расцвет голосеменных, господствовавших всю мезозойскую эру.

В меловой период произошел следующий крупный шаг в эволюции растений – появились **покрытосеменные растения**, которые вследствие разнообразных особенностей (цветок, плод, различные приспособления для опыления, большое разнообразие вегетативных органов)

заняли господствующее положение на суше. Покрытосеменные растения лучше других растений смогли приспособиться к условиям окружающей среды. Их многообразные формы широко расселились и со временем стали господствующей на Земле группой растений.

Последовательность эволюции растений:

зеленые водоросли
↓
риниофиты (споровые)
↓
мхи и папоротники (споровые)
↓
голосеменные
↓
покрытосеменные (цветковые)

23.3. Последовательность эволюции животных

Многоклеточные животные происходят от простейших организмов (одноклеточных гетеротрофных эукариот), способных создавать колониальные формы. Они появились не менее 750 млн лет назад (в рифее).

В венде от них произошли первые животные – **губки** и **кишечнополостные** (прикрепленные животные). Древние кишечнополостные дали начало **плоским червям**, которые обладали двусторонней (билатеральной) симметрией тела. Двусторонняя симметрия в дальнейшем обеспечила выделение на теле спинной и брюшной стороны, передней и задней части.

От низших плоских червей произошли первые вторично-полостные животные – **кольчатые черви**. Важным моментом в их эволюции является расчленение тела на сегменты (кольца). В связи с активным движением у кольчатых червей появилась кровеносная система, снабжающая тело питательными веществами и кислородом. Древние кольчатые черви имели более сложное строение по сравнению со своими предшественниками. С большой долей вероятности именно они послужили основой для возникновения членистоногих, моллюсков и **хордовых**.

В позднем кембрии наблюдается прогрессивное развитие хордовых – появляются **бесчелюстные панцирные рыбы**, в силуре – **челюстные**. Для большинства этих животных характерны наличие

двусторонней симметрии, внутреннего твердого скелета, прогрессирующая способность к активному передвижению, обособление переднего конца тела с ротовым отверстием и органами чувств, постепенное совершенствование центральной нервной системы.

От первых рыб возникли **лучеперые** и **кистеперые рыбы**. Кистеперые имели в плавниках опорные элементы, из которых позже развились конечности наземных позвоночных. Двоякодышащие и кистеперые рыбы посредством плавательных пузырей, имеющих связь с пищеводом и снабженных системой кровеносных сосудов, могли дышать атмосферным кислородом.

В силуре запасы атмосферного кислорода, созданного растениями, позволяют сформироваться озоновому слою. Он блокирует ультрафиолетовое излучение, позволяя организмам выйти на сушу.

В девоне от кистеперых рыб берут начало первые наземные животные – **стегоцефалы**. Последние разделились на несколько групп **амфибий** (**земноводных**), которые достигли расцвета в карбоне. Выход на сушу первых животных был обеспечен преобразованием плавников в конечности наземного типа, воздушных пузырей – в легкие.

В конце карбона и начале перми произошли горообразовательные процессы, влажный климат сменился сухим и на смену земноводным пришли более приспособленные к новым условиям и более высокоорганизованные истинно наземные животные – **рептилии** (**пресмыкающиеся**). Освоение суши пресмыкающимися обеспечили сухие ороговевшие покровы, внутреннее осеменение, богатые желтком яйцеклетки, защитные оболочки яиц, предохраняющие эмбрионы от высыхания и других воздействий среды. Пермский период заканчивается величайшим массовым вымиранием, биота несет тяжелые потери, но некоторым рептилиям удается выжить и дать начало новым видам. Среди рептилий выделилась группа **динозавров**, давшая начало **млекопитающим**. Первые млекопитающие появились в триасовый период мезозойской эры.

Юрский период – это период расцвета динозавров, они господствуют в воде, на земле и в воздухе. В этот период от одной из их ветвей произошли **зубатые птицы** (археоптерикс), а затем – **современные птицы**.

Птицы и млекопитающие произошли от общего предка – динозавров и представляют две ветки эволюции. Для птиц и млекопитающих характерны общие черты: теплокровность, четырехкамерное сердце,

разделение большого и малого кругов кровообращения, интенсивный обмен веществ.

В конце мезозоя (мел) динозавры полностью вымирают как устаревшая группа под натиском новой – **плацентарных млекопитающих**, для которых основными прогрессивными особенностями стали появление плаценты и внутриутробного развития плода, вскармливание детенышей молоком, развитая кора головного мозга. В начале кайнозойской эры от насекомоядных плацентарных млекопитающих обособился отряд приматов, эволюция одной из ветвей которого привела к возникновению **человека**.

Параллельно эволюции позвоночных (хордовых) шло развитие беспозвоночных животных. Переход от водной среды обитания к наземной осуществился у паукообразных и насекомых на основе совершенного твердого наружного скелета, членистых конечностей, органов выделения, нервной системы, органов чувств и поведенческих реакций, появления трахейного и легочного дыхания. Среди моллюсков выход на сушу наблюдался значительно реже и не приводил к такому разнообразию видов, какое было характерно для насекомых.

Последовательность эволюции позвоночных животных

губки и кишечнополостные
↓
плоские черви
↓
хордовые
↓
рыбы
↓
амфибии (земноводные)
↓
рептилии (пресмыкающиеся)
↓
↓ ↓
птицы млекопитающие

В настоящем пособии эволюция растений и животных рассмотрена отдельно, что не совсем правильно с точки зрения системности эволю-

ционных процессов в биосфере. Процессы эволюции растений и животных идут не просто параллельно, они взаимосогласованы и взаимодополнительны. События, происходящие в одном царстве, определяют события, происходящие в другом, и наоборот.

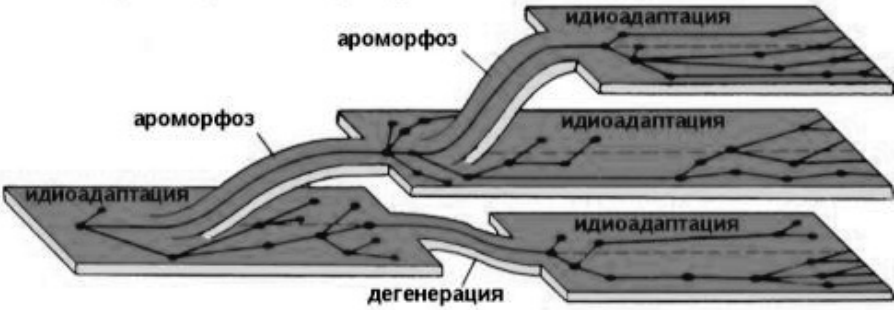
23.4. Ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация

Ароморфоз – (от греч. *αἴρω* – поднимаю и *μορφή* – образец, форма) – эволюционные преобразования функций и органов, имеющие значение для организма в целом и повышающие общий уровень его организации.

В процессе исторического развития крупных таксонов – типов и классов – происходит смена различных эволюционных путей. Новые высокоорганизованные группы возникают путем ароморфозов, а далее эволюция идет по пути идиоадаптации или дегенерации.

Идиоадаптация (от греч. *ἰδιός* – свой, своеобразный, особый и адаптация) – наиболее распространенный путь эволюции, при котором у организмов развиваются приспособления к определенным, частным условиям среды, при сохранении в целом уровня организации предковых форм. Например, превращение листьев в колючки, появление большего количества волосяного покрова у северных животных, мимикрия.

Схема соотношений между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией (по А.Н. Северцову)



Дегенерация (от лат. *degenero* – вырождаюсь) – одно из направлений эволюционного процесса, характеризующееся редукцией органов с активными функциями и прогрессивным развитием пассивных, но важных для выживания животного органов. Причина редукции орга-

нов – отсутствие условий, необходимых для их развития и функционирования. Например, исчезновение хвоста у головастика при превращении его в лягушку.

Важнейшие ароморфозы в истории жизни на Земле

1. Появление автотрофного типа питания в дополнение к гетеротрофному (уменьшило конкуренцию за питание при истощении «первичного бульона» и обусловило возникновение фотосинтеза).

2. Появление фотосинтеза (способствовало повышению эффективности автотрофного питания и привело к возможности выхода жизни на сушу).

3. Появление эукариот (разделение ядра и цитоплазмы повысило надежность хранения и передачи генетической информации, что привело к совершенствованию механизмов клеточного деления и в конечном итоге – к многоклеточности).

4. Формирование многоклеточности (положило начало дифференциации органов и тканей, специализации клеток, их приспособленности к выполнению определенных функций и в конечном итоге – повышению функциональности живой системы).

23.5. Филогенез и онтогенез

Онтогенез (от греч. *ον* – особь + *γένεηση* – рождение) – индивидуальное развитие организма, его органов от момента зарождения до смерти.

Филогенез (от греч. *φύλο* – племя + *γένεηση* – рождение) – историческое развитие организмов, систематических групп и развитие всей жизни.

В XIX в. учеными, изучавшими внутриутробное развитие человеческого эмбриона, было замечено, что эмбрион человека на разных этапах обладает поразительным сходством с другими позвоночными. В месячном возрасте у человеческого эмбриона в области шеи имеются щели, похожие на жабры. Позднее зародыш имеет сходство с земноводными, затем – с птицами и наконец – с другими млекопитающими.

Это сходство привело к появлению изречения, сделанного немецким натуралистом Эрнстом Геккелем (1834–1919) в книге «Решето Вселенной» (1899): «Онтогенез повторяет филогенез».

Однако понимать это утверждение буквально нельзя. В действительности у человеческого зародыша никогда не бывает жабр или каких-либо других придатков, которые ему следовало бы иметь на той

или иной стадии развития в соответствии с этой концепцией. Появляющиеся жаброподобные щели называются вторая жаберная дуга. У рыб они развиваются в жабры, но у человека они служат предшественниками частей головы и шеи. Современная эмбриология утверждает не то, что человеческий зародыш в своем развитии проходит все ступени эволюции, а то, что в нем развиваются другие органы из тех же зародышевых клеток.

Появление зародышевых структур, отсутствующих у взрослых организмов и вообще никогда не работающих, но полностью аналогичных работающим структурам предполагаемых предков – неоспоримый факт и также неоспоримое доказательство верности эволюционных реконструкций.

Возникает вопрос – почему они появляются в зародышевом развитии? Единственное, но вполне разумное объяснение – генетическая программа развития организма никогда не создавалась заново, в ходе эволюции она лишь модифицировалась (дописывалась) тем или иным образом. Какие-то ранние стадии (куски) программы развития могут составлять ее древнюю основу, природе гораздо легче оставить их как есть, в качестве временных состояний эмбриона, чем подвергать программу кардинальному пересмотру.

23.6. Методы исследования эволюции

Палеонтологические методы исследования эволюции заимствованы из палеонтологии – науки об ископаемых растениях и животных. Главнейшими из них являются:

- выявление ископаемых промежуточных форм;
- восстановление палеонтологических рядов;
- выявление последовательности ископаемых форм.

Биогеографические методы исследования эволюции – это методы биогеографии – науки, изучающей распределение живых организмов по Земному шару и причины изменения их распределения. К ним относятся:

- сопоставление видового состава (флоры и фауны) с историей территории;
- изучение островных форм;
- изучение обитателей глубоких пещер и изолированных водоемов;
- изучение реликтовых форм, т. е. небольших групп организмов с комплексом признаков, характерных для давно вымерших видов реликтовых форм.

Морфологические методы исследования эволюции – методы морфологии – науки, изучающей форму и строение органов организмов разных групп. К ним относятся:

- изучение гомологичных (сходных) органов;
- изучение рудиментарных органов, указывающих на предковые формы ныне живущих организмов;
- изучение атавизмов.

Эмбриологические методы исследования эволюции – это методы эмбриологии – науки, изучающей развитие зародыша. Эмбриологические методы:

- выявление зародышевого сходства с целью выявления предковых форм;
- сравнение ранних стадий онтогенеза, на которых обнаруживается больше сходства между различными группами организмов.

Генетические методы исследования эволюции – это методы генетики – науки о закономерностях наследственности и изменчивости. Соответственно, к ним относятся:

- определение генетической совместимости сравниваемых форм;
- анализ числа и особенностей строения хромосом близких видов;
- изучение повторных инверсий в хромосомах у разных популяций.

Экологические методы исследования эволюции – методы экологии – науки о взаимодействиях живых организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой. Экологическими методами являются:

- исследование роли конкретных адаптаций на модельных популяциях;
- анализ взаимной приспособленности организмов разных видов друг к другу в природных сообществах.

Биохимические методы исследования эволюции – методы биохимии – науки, изучающей химический состав, свойства веществ живого и химические процессы в живых организмах. Например, биохимическим методом считается выяснение родства организмов разных групп на основе анализа их крови.

Методы молекулярной биологии, исследующей основные свойства и проявления жизни на молекулярном уровне, широко используются в современной науке для исследования эволюции. К данным методам относятся:

- оценка эволюционных изменений по степени сходства первичной структуры нуклеиновых кислот;

- анализ степени сходства белков, нуклеиновых кислот у различных групп организмов;
- анализ последовательности структурных элементов белков и нуклеиновых кислот (аминокислотных остатков и нуклеотидных звеньев).

Вопросы для самоконтроля

1. Первыми живыми организмами на нашей планете были:
1) анаэробные гетеротрофы;
2) аэробные гетеротрофы;
3) автотрофы;
4) организмы-симбионты.

2. Укажите высказывание, которое верно отражает ход эволюции некоторых таксономических групп животных.
1) Амфибии могли дать начало птицам.
2) Рыбы могли дать начало амфибиям.
3) Рептилии могли дать начало амфибиям.
4) Амфибии могли дать начало рыбам.

3. Установите соответствие между ароморфозом в истории жизни и сопутствующим ему эволюционным изменением.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) возникновение многоклеточности	А) повышение эффективности автотрофного питания
2) появление эукариот	Б) переход к гетеротрофному питанию
3) появление фотосинтеза	В) совершенствование механизма клеточного деления
	Г) дифференциация функций живой системы

4. Установите соответствие между понятием и его содержанием.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) филогенез	А) последовательные преобразования организма на всех уровнях организации от момента зарождения до смерти, его индивидуальное развитие

2) онтогенез	Б) частные изменения какого-либо органа, вызванные приспособлениями организмов к специфическим условиям среды
3) ароморфоз	В) историческая эволюция органического мира, различных систематических групп, отдельных органов и их систем
	Г) эволюционные преобразования функций и органов, имеющие общее значение для организма в целом и повышающие общий уровень его организации

5. Установите соответствие между биологической наукой и методом изучения эволюции, используемым в ней.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) молекулярная биология	А) выяснение родства организмов разных групп на основе анализа крови этих организмов
2) биохимия	Б) оценка эволюционных изменений по степени сходства первичной структуры нуклеиновых кислот
3) генетика	В) установление глубокого сходства в строении органов, которое может указать на родство сравниваемых форм
	Г) анализ числа и особенностей строения хромосом в группах близких видов

Тема 24. **ГЕНЕТИКА И ЭВОЛЮЦИЯ**

Генетика (от греч. *γενητως* – происходящий от кого-то) – наука о законах и механизмах наследственности и изменчивости.

Выделяют шесть уровней организации живой материи (см. 14.1, 14.2, 14.3): молекулярно-генетический, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биоценотический и биосферный. Существование жизни на всех уровнях подготавливается и определяется структурой низшего уровня. Область интересов генетики – базовый, молекулярно-генетический уровень живой материи.

Основными структурами этого уровня являются коды наследственной информации − молекулы ДНК. Они разделены по длине на элементы кода − триплеты азотистых оснований (кодоны).

Основные явления на этом уровне − процессы передачи информации (использующие матричный принцип) и связанные с генами мутации. Генетика как наука берет начало в середине XIX века с работ Г. Менделя. Современная генетика – это быстро развивающаяся наука, являющаяся передовым краем не только современной биологии, но и всей современной науки. Причиной ее стремительного развития стала необходимость использования знаний, полученных этой наукой, как для развития других направлений биологии, так и для решения важных практических задач (селекция, генная инженерия, медицина).

24.1. Основные понятия генетики

Ген (от греч. *γενεδις* − давать начало, происходить) − элементарная структурная и функциональная единица наследственности, контролирующая развитие определенного признака или свойства, способная к воспроизведению. В различных мутациях ген изменяется как единое целое. Его можно назвать квантом наследственности. Различные признаки передаются дискретным образом через дискретные образования – гены. В этом смысле современная генетика созвучна квантовой механике и использует в своих исследованиях представления, аналогичные квантово-механическим.

Ген представляет собой участок молекулы ДНК, состоит из 450 нуклеотидов, объединенных в 150 кодонов, длина гена составляет ~150 нм. Один ген содержит более 1000 атомов.

Генетический код (язык жизни) − свойственный организмам единый способ «записи» генетической (наследственной) информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде специфической последовательности образующих эти кислоты нуклеотидов. Единицей генетического кода является **кодон** (тройка нуклеотидов, триплет).

Программа жизнедеятельности всех живых организмов записана на молекуле ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Молекула ДНК имеет форму двойной спирали, и ее воспроизведение (репликация) основано на том, что каждая цепь двойной спирали служит матрицей для сборки новых молекул.

Нуклеиновые кислоты являются самыми крупными молекулами, синтезируемыми живыми организмами. Например, в клетке человека молекула ДНК имеет длину ~1 м. Гигантские молекулы ДНК чрезвычайно компактно упакованы за счет того, что двойная спираль не является абсолютно жесткой. За счет перегибов, петель, спиральных струк-

тур ДНК превращается в очень компактное образование – хроматин, который является основным компонентом хромосом.

Хромосома (от др. греч. *χρῶμα* – цвет и *σῶμα* – тело) – нуклеопротеидная структура (состоит из белка и ДНК) в ядре эукариотической клетки. Становится заметной во время деления. Набор всех хромосом клетки называется кариотипом.

Клетки организмов различных видов имеют разное число хромосом. В клетках человеческого организма содержится 23 пары хромосом.

Геном – совокупность генов в гаплоидном, т. е. одинарном наборе хромосом данного организма. При половом способе размножения потомство имеет двух родителей. Каждый из родителей производит половые клетки. Половые клетки, или гаметы, обладают половинным или гаплоидным набором хромосом. Объединение геномов в ходе полового размножения создает весьма устойчивый генотип.

Генотип (от греч. *γένος* – рождение, *τυπος* – образец, отпечаток) – совокупность всех генов организма, содержащихся в диплоидном наборе хромосом. Генотип складывается при взаимодействии двух геномов и представляет собой наследственную программу развития.

Фенотип – это совокупность всех (внешних и внутренних) признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития. Фенотип складывается в результате взаимодействия генотипа и окружающей среды.

Аллель (от греч. *ἀλλήλων* – друг друга, взаимно) – одно из возможных структурных состояний гена (один из вариантов одного и того же гена). Любое изменение структуры гена в результате мутаций или за счет внутригенных рекомбинаций приводит к появлению новых аллелей этого гена (число аллелей каждого гена практически неисчислимо).

Аллельные гены – пара генов, определяющих альтернативные варианты одного и того же признака. Аллели (аллельные гены) расположены в определенных участках гомологичных хромосом и определяют развитие одного из альтернативных вариантов какого-либо признака. В конкретном диплоидном организме в норме не может быть более двух аллелей, составляющих аллельную пару.

Аллельные гены обозначаются одной и той же буквой латинского алфавита – прописной буквой, если ген является доминантным (A, B и т. д.), и строчной, если ген рецессивный (a, b и т. д.).

Доминантный ген – ген, проявляющийся в фенотипе независимо от присутствия в геноме другого аллеля этого гена.

Рецессивный ген – ген, который может подавляться воздействием доминантного гена и не проявляется в фенотипе. Рецессивный ген способен обеспечить проявление определяемого им признака только в том случае, если находится в паре с соответственным рецессивным геном, например, аа.

Гомозиготный организм содержит одинаковые аллели одного гена. Например, либо АА, либо аа.

Гетерозиготный организм – организм, генотип которого содержит разные аллели одного гена (имеет разные гены в аллельной паре). Например, Аа.

Признаки рецессивного гена проявляются в фенотипе только в гомозиготном состоянии, когда в генотипе содержатся два рецессивных гена по данному признаку. В гетерозиготном состоянии, в котором присутствуют разные гены аллельной пары, рецессивные признаки в фенотипе не проявляются.

24.2. Свойства генетического материала

Генетический материал – компоненты клетки, структурно-функциональное единство которых обеспечивает хранение, реализацию и передачу наследственной информации при размножении.

В ядрах всех эукариотов содержатся носители генетического материала хромосомы – комплексы ДНК и белка. Каждая молекула ДНК структурно состоит из отдельных участков – генов. ДНК содержит тысячи генов.

Генетический материал обладает свойствами, общими для всего живого: дискретностью, линейностью, непрерывностью, относительной стабильностью.

Дискретность генетического материала проявляется в том, что существуют элементарные единицы наследственного материала – отдельные гены, каждый из которых отвечает за формирование определенного признака живой системы.

Линейность генетического материала проявляется в том, что единицы наследственности – гены расположены в хромосомах в определенной последовательности – линейном порядке (запись генетической информации – одномерная).

Непрерывность генетического материала проявляется в том, что генетический материал, сосредоточенный в хромосомах, способен к самовоспроизведению. В результате Жизнь на Земле непрерывно

продолжается во времени – происходит смена поколений клеток, организмов в популяциях, смена видов в системе биоценоза, смена биоценозов, образующих биосферу. Преемственность в ряду поколений определяется преемственностью генетического материала.

Относительная стабильность генетического материала проявляется в том, что самовоспроизведение наследственного материала возможно с изменениями (мутациями). Абсолютного повторения генетического материала не происходит. Если изменения генетического материала не ведут к летальному исходу, они будут передаваться по наследству.

24.3. Изменчивость и ее формы

Изменчивость – способность живых организмов приобретать новые признаки, свойства и существовать в различных вариантах. Изменчивость проявляется в том, что представители одного вида имеют индивидуальные различия.

Выделяют *две формы изменчивости*:

- ненаследственная модификационная (фенотипическая);
- наследственная (генотипическая).

Модификационная изменчивость – способность организмов изменять фенотип (в пределах нормы реакции, заданной генотипом) под влиянием условий окружающей среды. Модификационная изменчивость является адаптацией (приспособлением) организма к данным условиям среды.

Пример: образование загара при воздействии ультрафиолета, увеличение костно-мышечной ткани в результате тренировок, смена окраски шерсти при изменении погодных условий и т. д.

Особенности модификационной изменчивости:

- степень выраженности изменений в фенотипе зависит от силы и продолжительности воздействия;
- характеризуется кратковременностью;
- является групповой;
- не наследуется.

Наследственная изменчивость – изменчивость, связанная с изменением генетического материала.

Особенности генотипической изменчивости:

- приводит к изменению генотипа;

- является необратимой;
- наследуется.

Выделяют две формы наследственной изменчивости – комбинативную и мутационную.

Комбинативная изменчивость вызывается перегруппировкой генов родителей в процессе полового размножения. Эффективность этой формы изменчивости очень высока – вероятность появления двух одинаковых в генетическом отношении потомков практически равна нулю (исключение составляют однояйцевые близнецы), как следствие, это создает в ряду поколений большое разнообразие.

Мутационная изменчивость вызывается мутациями. Мутации – это редкие, случайно возникающие, стойкие изменения генотипа, затрагивающие отельные гены или их части, целые хромосомы или весь геном.

24.4. Мутации, их свойства и виды

Мутация (от лат. *mutatio* – изменение) – случайно возникающее, стойкое изменение генотипа, происходящее под влиянием мутагенов (радиации, гербицидов, вирусов и т. д.). **Мутагенез** – процесс возникновения мутаций.

Свойства мутаций:

- изменяют генотип;
- наследуются;
- являются материалом для естественного отбора;
- возникают случайно, одно и то же воздействие может вызвать разные мутации;
- ненаправленны, одно и то же воздействие может привести к мутированию разных генов, вызывая изменения как незначительных, так и жизненно важных признаков;
- возникают внезапно, скачкообразно, у отдельных особей вида и в большинстве случаев вредны для организма, так как расшатывают исторически сложившийся генотип;
- одни и те же мутации могут возникать повторно.

Виды мутаций:

- генные (точковые) мутации – изменение химической структуры гена за счет изменения числа и/или последовательности нуклеотидов в структуре ДНК (вставки, выпадения, перемещения, замещения нуклеотидов) в пределах отдельных генов;

- хромосомные мутации – изменение структуры хромосом, затрагивающее несколько генов. При этом может происходить удвоение некоторых участков, утрата части, но не изменяется число хромосом в геномном наборе;
- геномные мутации – количественное изменение числа хромосом в геномном наборе. Данный вид мутации может происходить при нерасхождении пары хромосом в процессе деления или в результате умножения отдельных хромосом.

Вопросы для самоконтроля

1. Установите соответствие между понятием и его определением.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) геном	А) единица наследственной информации, сосредоточенная в хромосомах
2) генотип	Б) совокупность генов, содержащихся в одинарном (гаплоидном) наборе хромосом
	В) совокупность всех генов организма, содержащихся в диплоидном наборе хромосом

2. В наборе генотипов АА, Аа, аа в случае полного доминирования число фенотипов равно:

1. двум;
2. четырем;
3. одному;
4. трем.

3. Установите соответствие между свойством генетического материала и проявлением этого свойства.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) дискретность	А) наследственный материал, сосредоточенный в хромосомах, способен к самовоспроизведению
2) непрерывность	Б) наследственный материал представлен отдельными генами, каждый из которых отвечает за формирование определенного признака
	В) единицы наследственности – гены расположены в хромосомах в линейном порядке

4. Установите соответствие между видом изменчивости и ее примером.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) мутационная изменчивость	А) изменения, вызванные различной комбинацией генов при половом размножении
2) модификационная изменчивость	Б) случайно возникшие изменения числа хромосом в гаплоидном наборе
	В) изменение формы листьев у группы растений, помещенных в сходные условия существования

5. Количественное изменение набора хромосом за счет утраты или умножения отдельных хромосом называется _____ мутацией:

1) хромосомной;
2) геномной;
3) генной;
4) фенотипной.

РАЗДЕЛ VI

БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК

Тема 25. ЭКОСИСТЕМЫ (МНОГООБРАЗИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ – ОСНОВА ОРГАНИЗАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВЫХ СИСТЕМ)

Экология (от др.-греч. *οἶκος* – обиталище, жилище, дом, и *λόγος* – понятие, учение, наука) – наука, изучающая взаимодействие живых организмов между собой и окружающей средой.

Экология изучает живую материю на биоценотическом и биосферном уровнях организации материи (см. 14.1, 14.2, 14.3).

Основными структурами биоценотического уровня являются биоценозы (популяции разных видов). Основные явления на этом уровне − биохимический круговорот вещества и энергии, поддерживающий жизнь; подвижное равновесие между живыми организмами и абиотической средой.

Биосфера – самый высокий подуровень организации жизни на Земле. Эта область охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы. Основными структурами биосферного уровня являются биогеоценозы. Основные явления − взаимодействие живых и неживых компонентов планеты; глобальный планетарный круговорот вещества и энергии.

Современная экология является наукой междисциплинарной, развивающейся на стыке биологии, физики, техники и общественных наук.

25.1. Экосистема и ее элементы (биотоп, биоценоз)

Биоценоз (от греч. *βίος* – жизнь и *κοινός* – общий) – исторически сложившаяся совокупность совместно обитающих и взаимно связанных видов (животных, растений, грибов и микроорганизмов), населяющая общие места обитания, возникшая на основе биогенного круговорота и обеспечивающая его в конкретных природных условиях.

Естественные биоценозы: биоценоз луга, болота, леса.

Искусственные (рукотворные) биоценозы: биоценоз аквариума, теплицы.

Биотоп (от греч. *βίος* – жизнь и *τόπος* – место) – это участок абиотической среды, которую занимает биоценоз, т. е. это место обитания биоценоза.

Между биоценозом и биотопом существует тесное взаимодействие, основанное на постоянном обмене веществами, энергией и информацией.

Экосистема (от др.-греч. *οἶκος* – жилище, местопребывание и *σύστημα* – система) – природный комплекс, состоящий из совокупности совместно функционирующих живых организмов (биоценоз), неорганических компонентов окружающей среды (биотоп) и системы связей, осуществляющей полный круговорот вещества и энергии между живой и неживой природой.

Три основных признака экосистемы:

- экосистема представляет собой совокупность живых и неживых компонентов;
- в рамках экосистемы осуществляется полный цикл трансформации вещества, от создания органического вещества до его разложения на неорганические составляющие;
- экосистема относительно устойчива, что обеспечивается определенной структурой абиотических и биотических компонентов.

Примеры экосистем:

- биосфера – глобальная экосистема планеты;
- наземные экосистемы: тундра, тайга, лес, степь, саванна, пустыня;
- пресноводные экосистемы: река, ручей; озеро, пруд; болото, заболоченный лес;
- морские экосистемы: открытый океан, прибрежные воды шельфа, глубоководные рифтовые зоны;
- антропогенные экосистемы: пашня, водохранилище, устричная ферма, город, космический корабль.

Биогеоценоз (от греч. *βίος* – жизнь, *γη* – земля + *κοινός* – общий) – устойчивая, саморегулирующаяся система, включающая сообщество живых организмов (биоценоз) и неразрывно связанную с ним совокупность абиотических факторов среды в пределах определенного участка земной поверхности, между которыми осуществляется круговорот веществ и потоков энергии.

Понятия «биогеоценоз» и «экосистема» до некоторой степени однозначны, но они не всегда совпадают.

- Экосистема не связана с ограниченным участком земной поверхности (например, аквариум, космический корабль).
- Экосистема – более широкое понятие, оно охватывает сообщества любого ранга. Оно применимо ко всем стабильным системам живых и неживых компонентов, где происходит внешний и внутренний круговорот веществ и энергии.
- Каждый биогеоценоз является экосистемой, но не каждая экосистема является биогеоценозом. То есть биогеоценоз – частный случай экосистемы.

25.2. Биотическая структура экосистем

Для поддержания круговорота веществ в экосистеме необходимо наличие трех функционально различных экологических групп организмов:

- продуцентов;
- консументов;
- редуцентов.

Продуценты (от лат. *producentis* – производящий, создающий) – автотрофные организмы, способные синтезировать органические соединения из неорганических. Используя минеральные вещества из воздуха и почвы и энергию солнечного света, они создают первичные органические вещества. Продуценты являются базой (основой) трофической структуры экосистем.

К продуцентам относятся зеленые растения и автотрофные фотосинтезирующие бактерии.

Консументы (от лат. *consume* – употреблять) – гетеротрофные организмы, потребляющие готовые органические вещества, создаваемые продуцентами или другими консументами и трансформирующими его в новые формы.

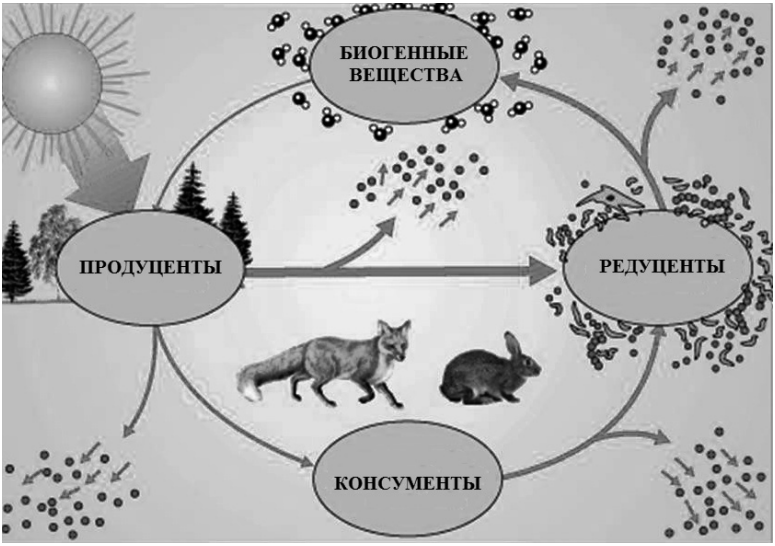
К консументам относятся: первичные косументы – травоядные животные; вторичные консументы – первичные хищники; третичные консументы – вторичные хищники, также к консументам относятся растения-паразиты.

Редуценты – организмы, живущие за счет мертвого органического вещества, переводя его вновь в неорганические соединения. Благодаря работе редуцентов органическое вещество практически полностью перерабатывается в неорганическое и вновь возвращается к продуцентам.

Редуцентами являются гетеротрофные бактерии и грибы.

25.3. Круговорот веществ – основа жизни на Земле

По словам Ф. Кона, «весь порядок природы построен на том, что... одни и те же частицы материи переходят из мертвого в живое тело в вечном круговороте». Все биотические элементы экосистемы, живя, питаясь и умирая, приводят в движение этот гигантский «маховик» жизни и смерти. Поток вещества в стабильной природной экосистеме является практически замкнутым.



Два главных компонента экосистемы – живые организмы и среда их обитания сосуществуют в постоянном взаимодействии, образуя целостную саморегулирующуюся систему. Саморегуляция достигается

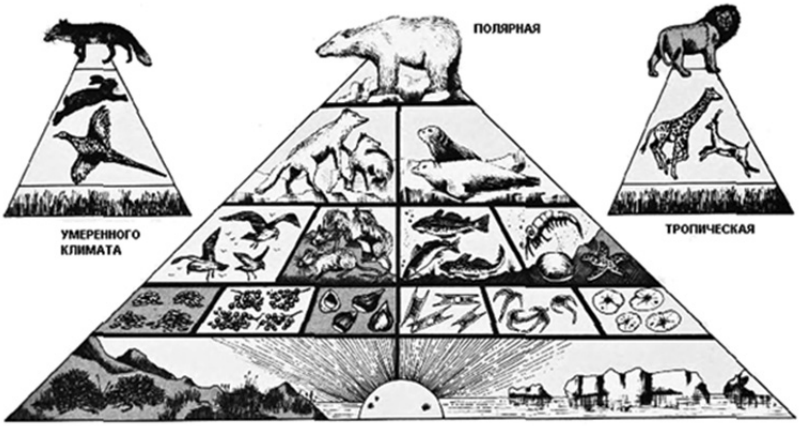
благодаря устойчивому круговороту вещества и энергии. Одним из условий организации и устойчивости экосистемы является многообразие живых организмов, ее составляющих. Каждый вид выполняет свою функцию в циркуляции вещества, энергии, в обмене информацией и осуществлении обратных связей.

25.4. Пищевые связи, пищевые цепи и пищевые пирамиды

Все виды, населяющие экосистему, связаны между собой **трофическими** (от греч. *τροφή* – пища), т. е. пищевыми связями. Перенос вещества и энергии в экосистеме происходит по трофическим цепям. Движущей силой потоков вещества и энергии являются энергия Солнца и деятельность продуцентов.

Трофическая цепь – последовательность растений, животных, грибов и микроорганизмов, которые связаны друг с другом отношениями пища – потребитель. Например: крапива → гусеница → дрозд → ястреб. Организмы последующего звена поедают организмы предыдущего звена, и таким образом осуществляется перенос по цепи вещества и энергии, лежащий в основе круговорота веществ в природе.

Трофическую структуру экосистем часто изображают в виде **пищевых (экологических) пирамид**. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень – уровень продуцентов, а следующие этажи пирамиды образованы последующими уровнями – консументами различных порядков.



Правило 10 % (*закон Линдемана*): при переходе с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой передается в среднем только 10 % поступившей на предыдущий уровень энергии. Оставшиеся 90 % расходуются на движение, на поддержание жизнедеятельности и рассеиваются в окружающей среде. Чем длиннее пищевая цепь, тем больше теряется полезной энергии. Поэтому длина пищевой цепи обычно не превышает 4–6 звеньев.

25.5. Формы взаимоотношений между живыми организмами в экосистемах

- Нейтрализм;
- симбиоз;
- конкуренция;
- паразитизм;
- хищничество.

Нейтрализм – форма биотических отношений, при которой оба организма живут на одной территории, не вступая в контакт, поэтому их совместное проживание не влечет для них как положительных, так и отрицательных последствий, т. е. организмы не зависят друг от друга. В природе истинный нейтрализм крайне редок, в связи с этим понятие нейтрализма часто распространяют на случаи, когда взаимодействие между видами слабое или несущественно. Например: белки и лоси.

Симбиоз – форма биотических отношений, выгодных каждому организму. В природе встречается широкий спектр примеров взаимовыгодного симбиоза. Например: лишайники (симбиоз грибов и фотосинтезирующих водорослей), осина и подосиновик, рак-отшельник и актиния, актиния и рыба-клоун, черный носорог и птичка волоклюй, тля и муравьи, акула и рыба-прилипала.

Конкуренция – антагонистические отношения, связанные с борьбой за существование, за доминирование, за пищу, пространство и другие ресурсы между организмами или видами, нуждающимися в одних и тех же ресурсах. Успех одного означает неуспех другого. Например: конкуренция между лосями и зубрами, обитающими в одном лесу, из-за пищи; между различными видами деревьев в одном лесу из-за жизненного пространства.

Паразитизм – форма взаимоотношений, когда один организм (или вид) существует за счет другого, ослабляя его. Организм-паразит

использует живого хозяина не только как источник пищи, но и как место постоянного или временного обитания. Паразит наносит вред хозяину, не приводя его к слишком ранней гибели и обеспечивая себе лучшие условия существования. Например: гриб-трутовик и дерево, все паразиты, клещи.

Хищничество – форма биотических отношений, когда один организм питается органами и тканями другого, при этом не наблюдается ни паразитических, ни симбиотических отношений. Это тип отношений, которые для одного из партнеров имеют отрицательные значения, а для другого – положительные: хищник умерщвляет свою жертву. Например: тля и божья коровка, цапля и лягушка, карась и щука, лиса и заяц, лев и копытные.

25.6. Экологическая ниша и среда обитания

Экологическая ниша – положение вида в экосистеме (например, продуцент, косумент, редуцент), отражающее связи организмов данного вида с абиотическими условиями и с другими видами, а также собственную функциональную роль вида в составе экосистемы.

Среда обитания – часть природы (живой и неживой), которая окружает живой организм и с которой он непосредственно взаимодействует.

Взаимодействие проявляется в том, что из среды организмы получают все необходимое для жизни и в нее же выделяют продукты обмена веществ.

25.7. Экологические факторы

Экологические факторы – все факторы живой и неживой природы (среды обитания), воздействующие на живые организмы, популяции и виды в экосистемах, на которые организмы реагируют приспособительными реакциями. В зависимости от происхождения выделяют следующие факторы:

- абиотические;
- биотические;
- антропогенные.

Абиотические факторы – факторы неживой природы, т. е. такие свойства среды, возникновение и воздействие которых напрямую не зависит от деятельности живых организмов: свет, температура, влажность, химический состав воздушной, водной и почвенной среды.

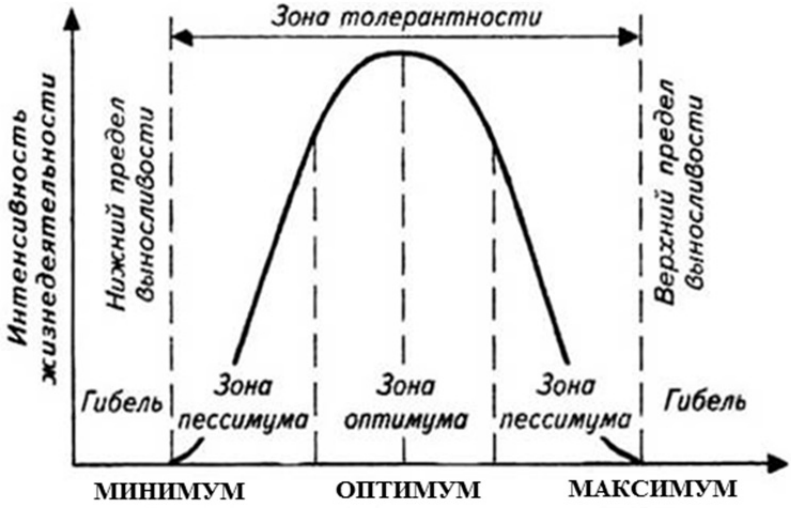
Биотические факторы – факторы живой природы. Взаимное влияние (внутривидовое и межвидовое) одних организмов на жизнедеятельность других (пищевые связи, изменение численности популяций).

Антропогенные факторы – результат воздействия человека на окружающую среду в процессе хозяйственной и другой деятельности (охота, собирательство, земледелие, добыча полезных ископаемых, прокладка дорог, урбанизация, освоение космоса, промышленное загрязнение местности).

25.8. Толерантность, пределы толерантности

Любой организм имеет специфический комплекс приспособлений к экологическим факторам среды и благополучно существует лишь в определенных границах их изменяемости.

Наиболее благоприятный для жизнедеятельности уровень фактора называется оптимальным. В зоне оптимума плотность популяции максимальна.



Диапазон действия экологического фактора ограничен точками минимума и максимума, соответствующими крайним значениям данного фактора, при которых возможно существование организма. Для каждого организма характерны свои максимумы, оптимумы и минимумы экологических факторов.

Толерантность – способность организма выносить отклонения экологических факторов среды от оптимальных для него значений.

Пределы толерантности (зона толерантности) – диапазон экологического фактора между минимальным и максимальным значениями, в пределах которого возможна выживаемость данного организма.

Чем шире зона толерантности, тем выше шансы к выживанию данного вида при изменении экологических факторов. В биосфере наиболее распространены организмы с широким диапазоном толерантности в отношении всех экологических факторов.

Вопросы для самоконтроля

1. Установите соответствие между термином и его определением.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) биотоп	А) участок абиотической среды, которую занимает биоценоз
2) среда обитания	Б) живая и неживая природа, окружающая живой организм, с которой он взаимодействует
3) экологическая ниша	В) положение вида в экосистеме со всей совокупностью жизненно необходимых биоценотических и абиотических связей
	Г) исторически сложившаяся группировка совместно обитающих и взаимно связанных видов

2. Установите соответствие между функциональной группой организмов и примерами организмов.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) продуценты	А) растения и гетеротрофные бактерии
2) консументы	Б) фотосинтезирующие бактерии и растения
3) редуценты	В) зайцы и волки
	Г) гетеротрофные грибы и бактерии

3. Установите соответствие между формой биотических отношений и парой организмов.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) Хищничество	А) человек и сальмонелла
2) Паразитизм	Б) лось и белка
3) Нейтрализм	В) цапля и лягушка
	Г) бобовые растения и бактерии-азотофиксаторы

4. Небольшое, как правило, число звеньев в пищевой цепи связано:
1) с большими потерями энергии на каждом трофическом уровне;
2) с низкой продуктивностью растений;
3) с недостатком корма;
4) с высокой избирательностью консументов.

5. К абиотическим факторам среды относятся:
1) естественный радиационный фон, рельеф местности;
2) прокладка дорог, осушение болот;
3) искусственный радиационный фон, шум автотранспорта;
4) паразитизм, хищничество.

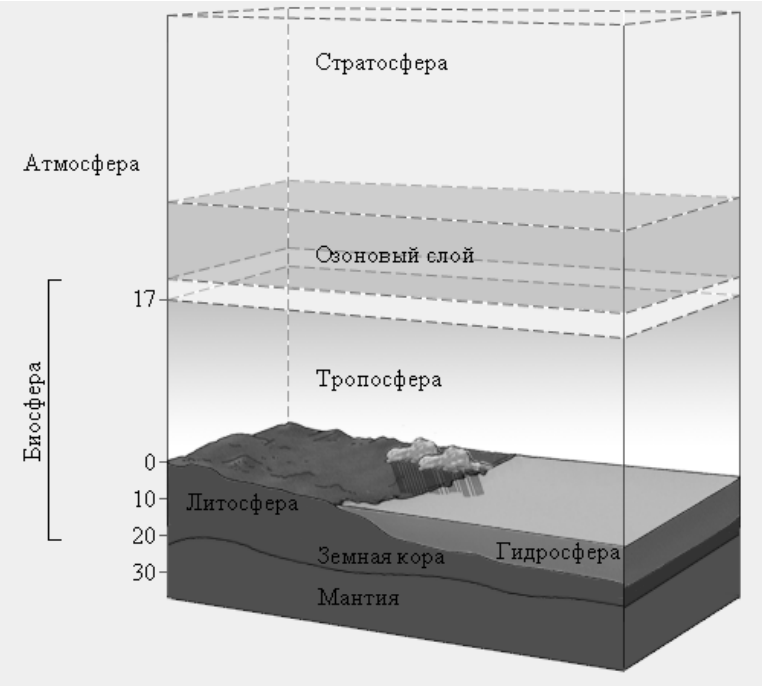
Тема 26. **БИОСФЕРА**

26.1. Биосфера

Биосфера (от др.-греч. *βιος* – жизнь и *σφαῖρα* – сфера, шар) – оболочка Земли, заселенная живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности. Биосфера – это глобальная экологическая система, состоящая из множества экосистем более низкого ранга, биогеоценозов, взаимодействием которых и обусловлена ее целостность. Биосфера является самым высоким подуровнем организации жизни на Земле.

Термин «биосфера» был введен австралийским геологом Э. Зюссом (1875), который рассматривал биосферу как оболочку жизни на поверхности материков. Целостное учение о биосфере принадлежит биогеохимику В.И. Вернадскому (20-е гг. XX в). Он был первым, кто отвел живым организмам роль самой мощной преобразующей силы на планете.

Границы биосферы. Биосфера включает в себя слои планеты, в которых живут организмы: верхние слои литосферы, гидросферу и нижние слои атмосферы.



Верхняя граница биосферы ограничена озоновым слоем, находящимся в атмосфере на высоте 15–20 км. Озоновый слой задерживает жесткое ультрафиолетовое излучение, губительное для живых организмов.

Нижняя граница биосферы определяется высокой температурой земных недр (свыше 100 °С наблюдается переход воды в пар и денатурация белков). Нижняя граница лежит в литосфере на глубине 3,5–7,5 км. Однако в основном распространение живых организмов ограничивается вглубь несколькими метрами.

Граница между атмосферой и литосферой в гидросфере: 10–11 км. Определяется дном Мирового океана, включая донные отложения.

Формирование биосферы началось ~3,8 млрд лет назад, когда на планете Земля начали зарождаться первые организмы. В настоящее время в биосфере обитает более 2 млн видов растений, животных, грибов и бактерий. Человек также является частью биосферы.

Деятельность человека в биосфере превосходит многие природные процессы: физически и химически меняются воздушная оболочка,

природные воды, путем селекции создаются новые растения и животные. По словам Вернадского, «человек становится могучей геологической силой».

26.2. Структура биосферы

Согласно В.И. Вернадскому, биосфера включает в себя следующие элементы:

- живое вещество;
- косное вещество;
- биогенное;
- биокосное.

Живое вещество – совокупность всех живых организмов (растения, животные, микроорганизмы). Является химически и геологически активным, контролирует все основные химические превращения в биосфере.

Косное вещество – совокупность неживых тел, которые образуются в результате процессов, не связанных с деятельностью живых организмов (магматические породы и космическая пыль).

Биогенное вещество – вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами (газы, каменный уголь, известняки, доломиты, битум, торф, сланцы, железная руда). Биогенное вещество наделено мощной потенциальной энергией, но биологически не активно.

Биокосное вещество – вещество, возникающее при совместной деятельности живых организмов и абиогенных процессов (вода, почва, кора выветривания, илы).

26.3. Геохимические функции живого вещества

По предположению В.И. Вернадского, живое вещество в биосфере выполняет ряд важнейших специфических функций: энергетическую, газовую, деструктивную, концентрационную, средообразующую.

Энергетическая функция состоит в аккумуляции солнечной энергии зелеными растениями и перераспределением ее между компонентами биосферы. Чтобы биосфера могла существовать и развиваться, ей необходима энергия. Главным источником энергии для биосферы является Солнце. По словам Вернадского, фотосинтезирующие организмы выполняют космическую функцию, улавливая солнечный свет и создавая в процессе фотосинтеза свои тела – своеобразные «солнечные

консервы», энергия которых в дальнейшем становится источником химической энергии биосферы, и в значительной мере – всей земной коры. Без этого процесса накопления и передачи энергии живым веществом невозможно было бы развитие жизни на Земле и образование всей современной биосферы.

Газовая функция осуществляется зелеными растениями, которые в процессе фотосинтеза выделяют кислород, а также растениями и животными, которые при дыхании выделяют углекислый газ, многими бактериями, восстанавливающими азот, сероводород и др.

Деструктивная функция состоит в разложении (деструкции) отмершей органики до простых неорганических соединений, которые вновь используются в начальном звене круговорота вещества в природе. Данная функция осуществляется редуцентами (грибами и гетеротрофными микроорганизмами).

Концентрационная функция проявляется в избирательном накоплении живыми организмами определенных веществ, рассеянных в окружающей среде. Способность концентрировать элементы из разбавленных растворов – это характерная особенность живого вещества. Наиболее активными концентраторами многих элементов являются микроорганизмы. Например, в клетках некоторых из них может содержаться различных микроэлементов в тысячи и миллионы раз больше по сравнению с природной окружающей средой.

Раковины моллюсков, панцири диатомовых водорослей, кремниевые губки, скелеты животных – все это примеры проявления концентрационной функции живого вещества. Для построения своих скелетов или покровов они активно концентрируют рассеянные минералы. Особого внимания заслуживает способность морских организмов накапливать микроэлементы, тяжелые металлы, в том числе ядовитые (мышьяк, ртуть, свинец), радиоактивные элементы. Например, в теле беспозвоночных и рыб их концентрация может в сотни тысяч раз превосходить содержание в морской воде. Вследствие этого морские организмы полезны как источник микроэлементов, но вместе с тем употребление их в пищу может грозить отравлением тяжелыми металлами или быть опасным в связи с повышенной радиоактивностью.

Средообразующая функция состоит в изменении облика Земли и всех основных сред жизни. Данная функция является совместным результатом действия всех рассмотренных выше функций живого. В результате взаимного действия всех функций живого на планете Земля произошли следующие важнейшие события: был преобразован

газовый состав первичной атмосферы; изменился химический состав вод первичного океана; образовалась толща осадочных пород в литосфере; на поверхности суши возник плодородный почвенный покров.

Живые организмы нашей планеты совместными действиями создали и поддерживают баланс вещества и энергии в биосфере, обеспечивают стабильность среды существования организмов, в том числе и человека. Живое вещество способно восстанавливать условия обитания, нарушенные в результате природных катастроф или антропогенного воздействия.

Эту способность живого к восстановлению благоприятных условий существования выражает *принцип Ле Шателье* (1884), заимствованный из области термодинамического равновесия. Данный принцип применим к равновесию любой природы. Он заключается в том, что если на систему, находящуюся в равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температуру, давление, концентрацию, внешнее электромагнитное поле), то в системе возникают процессы, направленные на компенсацию внешнего воздействия (срабатывает отрицательная обратная связь). Благодаря этим связям система возвращается в первоначальное состояние, если производимые возмущения не превышают пороговых значений. Например, на повышение содержания углекислого газа в атмосфере биосфера отвечает усилением фотосинтеза, который снижает концентрацию углекислого газа. Таким образом, устойчивость биосферы оказывается явлением не статическим, а динамическим.

26.4. Биогенная миграция химических элементов в биосфере

Закон биогенной миграции атомов (1940) В.И. Вернадского гласит: «Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества, или протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом». Данный закон означает, что миграция атомов в биосфере носит биогенный характер.

Биохимические принципы миграции Вернадского (1940)

1. «Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению».

2. «Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы».

Первый принцип отражает способность живого вещества неограниченно размножаться в оптимальных условиях.

Суть второго принципа имеет смысл изложить более подробно. Глобальный круговорот вещества в биосфере является основой самоподдержания жизни на Земле. Количество доступных для живых организмов химических элементов, содержащихся в биосфере, конечно.

Все химические элементы, используемые в процессах жизнедеятельности организмов, совершают постоянные перемещения. Элементы, высвобождаемые микроорганизмами при гниении, поступают в почву и атмосферу, вновь включаются в круговорот веществ: из неживой природы они переходят в состав растений, из растений в животных и вновь возвращаются работой деструкторов в неживую природу. Одни и те же атомы переходят из организма в организм и удерживаются в круге жизни сотни миллионов лет. Возможность такого многократного использования одних и тех же атомов делает жизнь на Земле практически вечной, при условии постоянного притока энергии извне.

Однако круговорот вещества в биосфере не является полностью замкнутым. Часть элементов выпадает из круговорота и скапливается вне организмов, создавая запасы резервных биогенных веществ (например, уголь, железные руды, природный газ, азот и кислород в атмосфере), малодоступных для живых организмов.

Значительные изменения претерпела биосфера после появления человека на Земле. Антропогенная деятельность привела к тому, что из глобального кругооборота стало извлекаться еще большее количество химических элементов и их соединений. Все это и означает, что для выполнения главной функции биосферы – поддержания глобального биогенного круговорота в ходе эволюции должно увеличиваться число видов, ускоряющих биогенную миграцию атомов.

Вопросы для самоконтроля

1. Важной особенностью биосферы является то, что она представляет собой:

1) закрытую систему;

2) беспорядочную систему с высоким значением энтропии;

3) саморегулирующуюся систему;

4) систему, которая не обладает динамическими свойствами.

2. Установите соответствие между типом вещества биосферы и примерами, относящимися к этому типу.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) живое вещество	А) почва и речная вода
2) биогенное вещество	Б) каменный уголь и железная руда
3) биокосное вещество	В) грибы и лишайники
	Г) магма и радиоактивное вещество

3. Функция живого вещества, связанная с изменением облика Земли, с преобразованием структуры и свойств всех основных сред жизни, называется _____ функцией:

1) энергетической;
2) концентрационной;
3) деструктивной;
4) средообразующей.

4. Установите соответствие между утверждением об особенностях биогенной миграции атомов химических элементов и его характеристикой относительно верности или неверности.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) эволюционируют виды, увеличивающие биогенную миграцию	А) верное утверждение об особенностях биогенной миграции
2) биогенная миграция атомов стремится к минимальному проявлению	Б) неверное утверждение об особенностях биогенной миграции
3) масса живого вещества остается постоянной на протяжении геологических периодов	В) не является принципом биогенной миграции
	Г) может быть верным и неверным в зависимости от условий

5. Установите соответствие между понятием и определением.

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.

1) биогенная миграция	А) характерные функции биологически важных веществ – белков, углеводов, жиров в жизнедеятельности организмов
2) биогенный круговорот	Б) перемещение химических элементов и соединений по цепям питания экосистем
3) геохимические функции живого вещества	В) циклический характер перемещения химических элементов в процессе обмена веществ и энергии различных групп организмов
	Г) специфические виды деятельности организмов по вовлечению химических элементов и соединений в круговорот

Тема 27. **ЧЕЛОВЕК В БИОСФЕРЕ**

Вопрос о собственном происхождении всегда интересовал человека. Для человечества познание самого себя очень важно – не менее важно, чем познание окружающего мира.

Попытки объяснить происхождение человека предпринимались теологами, философами, учеными-естественниками, гуманитариями, представителями технических наук. Как следствие, количество гипотез об этом феномене велико. Однако представления о происхождении человека все еще не сведены к единой концепции. Тем не менее важный итог заключается в том, что большинство современных научных теорий рассматривает человека как закономерный результат эволюционного развития материи, сложную целостную систему, объединяющую в себе биологические и социальные компоненты.

Антропогенез – часть биологической эволюции, которая привела к появлению человека разумного, процесс историко-эволюционного формирования физического типа человека, первоначального развития его трудовой деятельности, речи. Изучением антропогенеза занимается множество наук, в частности антропология, палеоантропология, генетика, лингвистика.

27.1. Сходства и отличия человека от животных

Сходство человека с животными

- Общий для всего живого химический состав и единый генетический код (способ записи генетической информации).
- Структуры и функции органов человеческого организма аналогичны структуре и функциям органов животных.
- Чем выше на эволюционной лестнице стоит животное, тем больше его сходство с человеком.
- В человеческом эмбрионе на определенных этапах развития присутствуют зародышевые структуры, соответствующие определенным этапам эволюции животных («Онтогенез повторяет филогенез»).
- Наличие у человека рудиментарных органов и атавизмов.

Основные черты строения и эмбрионального развития человека четко определяют его положение в животном мире: тип хордовые, подтип позвоночные, класс млекопитающие, подкласс плацентарные, отряд приматы, подотряд человекообразные (высшие) обезьяны, род Homo, вид Homo sapiens.

Отличия человека от животных

- Прямохождение (бипедия).
- Развитие руки.
- Использование огня.
- Трудовая деятельность.
- Развитие речи.
- Способность к абстрактному мышлению.
- Наличие фонда социальной и культурной информации.

Перечисленные отличия человека от животных стали теми путями, по которым и шло обособление человека в природе.

27.2. Основные этапы эволюции рода Homo и его предшественников (стадиальная концепция)

Стадиальная теория антропогенеза – теория антропогенеза, согласно которой в ходе эволюции человека последовательно сменялись четыре стадии предков человека: протоантропы (австралопитеки) → архантропы → палеоантропы → неоантропы.

1. **Протоантропы** – предлюди, предшественники человека (ископаемые останки – австралопитеки). По мнению многих антропологов, протоантропам соответствует вид *Homo habilis* (Человек умелый). Человек умелый был первым, кто стал регулярно изготавливать примитивные каменные орудия труда (так называемая «олдованская галечная культура») и перешел на всеядность, с него начинается бурный рост размеров головного мозга. Размер мозга протоантропа 550–650 см^3. Образ жизни: кооперирование во время охоты, групповая защита. Время существования: 2,3–1,5 млн лет назад. Местонахождение: Африка (Кения, ЮАР).

2. **Архантропы** – древнейшие люди (ископаемые останки – прогрессивные австралопитеки, питекантропы, синантропы). Архантропам соответствует вид *Homo erectus* (Человек прямоходящий). Особенности: низкий череп, кости черепа массивные, лоб покатый, выраженные надбровные валики, объем мозга 700–1200 см^3. Создатель ранней и средней «ашельской культуры»: грубые каменные орудия труда (рубила, древние копья, пики). Образ жизни: общественный образ жизни (первобытное человеческое стадо), поддержание огня, примитивная речь, охота и собирательство. Время существования: 2,0–0,3 млн лет назад. Ареал обитания: Африка и Евразия.

3. **Палеоантропы** – древние люди (неандертальцы). Палеоантропам соответствует вид *Homo sapiens neanderthalensis* (Человек неандертальский). Особенности: скошенные лоб и затылок, большой надглазничный валик, подбородок почти отсутствует, объем мозга до 1400 см^3. Изготавливали разнообразные каменные орудия труда, относимые к «мустьерской культуре», широко пользовались огнем, были искусными охотниками, использовали меховую одежду. Образ жизни: коллективная деятельность, забота о ближнем, продвинутая речь. Время существования: 300–35 тыс. лет назад. Ареал обитания: Европа, Западная Азия (от Ближнего Востока до Южной Сибири включительно), возможно, Северная Африка.

4. **Неоантропы** – новые люди, ископаемые люди современного анатомического типа (кроманьонцы). Неоантропы относятся к виду *Homo sapiens* (Человек разумный). Это единственный ныне живущий вид рода Homo. Первые новые люди появились 40–15 тыс. лет назад. Они отличались, крупным мозгом (~1600 см^3), отсутствием надглазничного валика, хорошо развитым подбородком. Изготавливали сложные орудия труда и механизмы. Образ жизни: настоящая речь, абстрактное мышление, развитие сельскохозяйственного и промышленного производства, искусство, техника, в дальнейшем – наука. Ископаемые люди современного типа кроманьонцы известны практически на всей территории Земли.

27.3. Неолитическая революция

Неолитическая революция соответствует периоду неолита (от греч. *νέος* – новый, *λίθος* – камень, 10–8 тысячелетия до н. э.), когда произошел переход от собирательства и охоты (присваивающего хозяйства) к земледелию и скотоводству (производящее хозяйство).

Это был грандиозный переворот в истории человечества. За счет земледелия и скотоводства человечество продолжает жить и сейчас. Злаки (пшеница, ячмень, просо, чечевица), которые были окультурены в 10–8 тысячелетии до н. э., мы выращиваем и ныне. Изобретенный в неолите хлеб мы едим и сегодня. Животные, которые были одомашнены неолитическими людьми (коза, овца, корова, свинья), разводятся и сейчас (причем преимущественно только эти животные). Самым ранним центром неолитической революции считается Ближний Восток.

Результаты неолитической революции:

- зарождение селекции (принципа искусственного отбора);

- окультуривание растений;
- одомашнивание животных;
- увеличение численности человечества.

Экологические последствия неолитической революции:

- снижение биоразнообразия (за счет конкурентного вытеснения одомашненными животными);
- выжигание лесов (для расширения земледельческих угодий);
- обмеление рек (за счет сокращения площади лесов);
- опустынивание обширных территорий (например, на территории Сахары была саванна, за счет выпаса больших стад крупного рогатого скота она превратилась в пустыню);
- исчезновение крупных животных (пересохшие реки и исчезнувшие саванны привели к сокращению численности и исчезновению животных, ранее здесь обитающих);
- появление синантропных животных (мышей, крыс) возле человеческих поселений (на запасах зерна кормились мыши, запасы мяса привлекали крыс);
- массовые эпидемии чумы (крысы, мыши и паразитирующие на них блохи переносили возбудителей чумы в человеческие популяции).

27.4. Антропосоциогенез

Антропосоциогенез – теория развития человека, в основе которой лежит принцип диалектического взаимоотношения между биологическими и социальными факторами становления Homo sapiens как вида в процессе формирования общества.

Когда в становлении человека произошел переход от последнего животного к первому человеку? Сегодня многие антропологи считают, что ключевым моментом было систематическое изготовление искусственных орудий труда. Это принципиально иной тип взаимоотношений особи с окружающей средой, так как для этого действия только биологических закономерностей (факторов биологической эволюции) – мутационного процесса, популяционных волн, дрейфа генов, изоляции и естественного отбора – явно недостаточно.

Трудовая деятельность, речь, сознание, мышление – это социальные характеристики человека, которые он смог приобрести благодаря общественному образу жизни, в ходе совместной деятельности с другими людьми. Поэтому в рамках человеческого общества к биологиче-

ской эволюции добавляется социально-культурная, возникшая на базе биологической.

Эволюция человека продолжается и сейчас, однако отмечается возрастание роли социальных эволюционных факторов (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление, передача накопленных знаний, технологий и традиций) и ослабление биологических (изоляция, популяционные волны, дизруптивный и движущий отборы).

Эволюция человека – уникальное биосоциальное явление, при котором осуществляется переход от биологических к социальным закономерностям.

27.6. Коэволюция человека и природы

Биосфера и Человек, как ее часть, является результатом длительной и глобальной эволюции материи на нашей планете. С появлением Homo sapiens в биосфере произошел переход от простого биологического приспособления к целенаправленному изменению окружающей среды разумными существами.

Человек меняет биосферу (селекция, изменение ландшафтов, изменение состава атмосферы и т. д.), живая природа активно приспосабливается к новым условиям существования. В паре «Биосфера–Человек» осуществляется постоянное взаимное влияние, которое может рассматриваться как коэволюция – совместная эволюция человека и природы.

В сегодняшней истории человечества наступил такой момент, когда по масштабам своего влияния на биосферу человечество превосходит действие многих других факторов. Противоречие заключается в том, что, являясь частью Природы, человек противопоставляет себя остальной природе посредством своей деятельности, тем самым ставя под сомнение возможность дальнейшей совместной эволюции.

Биосфера является системой саморегулирующейся, стремящейся в соответствии с *принципом Ле Шателье* (см. 26.3) к устойчивости. В ответ на действия человека в ней могут возникнуть природные механизмы, направленные против его неразумного поведения. Биосфера может измениться так, что в ней просто не будет места человеку.

Биосфера существовала и до появления человека. Может существовать и без него. Однако человек вне биосферы существовать не сможет. Соответственно, выполнение принципа совместного развития,

обеспечение гармоничной коэволюции природы и общества требует от человечества регламентации своих действий, определенных ограничений. Иначе Homo sapiens обречен как обычный биологический вид.

Вопросы для самоконтроля

1. Путь эволюции человеческого рода представляет собой:
1) целенаправленное движение к современному состоянию;
2) особый процесс, не имеющий ничего общего с эволюцией животного мира;
3) одно из возможных направлений развития;
4) единственно возможное направление развития.

2. Человек относится к роду:
1) Homo sapiens;
2) Homo habilis;
3) Homo erectus;
4) Homo.

3. Человек представляет собой:
1) уникальный биологический вид;
2) уникальное биосоциальное явление;
3) особый вид, не связанный с биологической эволюцией;
4) исключительно социальное явление.

4. Одним из важнейших факторов, который выделил человека из животного мира, является:
1) высокая подвижность конечностей;
2) стадный образ жизни;
3) трудовая деятельность;
4) особый генетический материал.

5. Одним из экологических последствий неолитической революции (10–8 тысячелетия до н. э.) является(-ются):
1) техногенное загрязнение среды;
2) опустынивание территорий;
3) кислотные дожди;
4) истощение озонового слоя.

Тема 28. ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ, ЭКОЛОГИЯ И ЗДОРОВЬЕ)

Любая экосистема, в том числе и биосфера, как экосистема глобального планетарного масштаба, представляет собой функциональное единство живых организмов и окружающей среды (см. тему 25). Ни один организм не может развиваться изолированно, поэтому экосистема – необходимая форма существования жизни.

Все компоненты экосистемы взаимосвязаны, взаимозависимы и взаимодополнительны. Обитателям экосистемы жизненно необходимо сохранить ее целостность. Целостность системы определяется тем, что каждый из них выполняет свои функции, направленные на сохранение динамического равновесия в системе. Нарушение функций одного из компонентов закономерно вызовет нарушение устойчивости всей экосистемы.

28.1. Экологический кризис

Экологический кризис (ЭК) – нарушение взаимосвязей внутри экосистемы, приводящее к разрушению ее функционального единства и, как следствие, динамической стабильности.

Три формы проявления экологического кризиса:

- загрязнение – низшая ступень проявления кризиса;
- нарушение равновесия – следующая ступень, она проявляется в уменьшении способности экосистемы к саморегуляции;
- деструкция – стадия разрушения экосистемы, при котором восстановление ее функций становится почти невозможным либо требует значительных усилий на протяжении длительного времени (чаще всего с неизвестным исходом в отношении ее восстановления).

28.2. Виды загрязнения среды

- **Ингредиентное загрязнение** – это такое воздействие человека на биосферу, в результате которого в среду вносятся вещества, не имеющие природных разрушителей и обладающие токсическим действием на живые организмы. Примерами ингредиентного загрязнения являются: выбросы в атмосферу, почву, гидросферу промышленных, бытовых и сельскохозяйственных отходов, выхлопные газы автотранс-

порта, выбросы предприятий, внесенные в почву ядохимикаты и минеральные удобрения.

- **Биологическое загрязнение** – внесение в водоемы, почву, воздух патогенных микроорганизмов, бактерий, вирусов, яиц гельминтов. Биологическое загрязнение может быть причиной опасных эпидемий.

К биологическому загрязнению также относится перенос (завоз) человеком чуждых для сложившейся экосистемы видов, которые могут вытеснить виды аборигенные.

- **Параметрическое (или физическое) загрязнение** – это такое воздействие человека на биосферу, которое приводит к отклонению от нормы физических параметров окружающей среды: температуры, давления, уровня радиации, шума. Например: шум автотранспорта, реактивных самолетов, электромагнитное излучение станций сотовой связи, электрические и магнитные поля, радиоактивное загрязнение.
- **Деструктивное загрязнение** – это такое воздействие человека на биосферу, которое вызывает структурные изменения в природных сообществах, тем самым нарушает круговорот веществ и потоки энергии в них. Примером такого загрязнения является строительство гидроэлектростанций, плотин, автомагистралей, вырубка лесов, разработка карьеров.

28.3. Локальный и глобальный экологический кризис

Процесс нарушения экологической гармонии начался с появления в биосфере Homo sapiens. В ходе своего индустриального развития человечество наращивало темпы вмешательства в окружающую среду, разрушая равновесие, сложившееся в Природе. В XX веке объем антропогенного воздействия на природу приблизил биосферу к пределу устойчивости ее существования. Возникла реальная опасность, что деятельность человека может привести к лавинообразному разрыву естественных циклов воспроизводства биологических ресурсов, самоочищения почвы, вод, атмосферы, исчезновению лесов, необратимому наступлению пустынь и т. д.

Именно поэтому в современном мире чаще используется иное определение экологического кризиса, которое отражает причину, его вызывающую. **Экологический кризис** – кризис существования индустриального общества и его отношения к Природе, которое характеризуется ее беспощадной эксплуатацией.

Различают понятия «локальный экологический кризис» и «глобальный экологический кризис». **Локальный экологический кризис**

выражается в местном (локальном) повышении загрязнений (различной этиологии) за счет одного или нескольких близко расположенных источников. Кризис такого рода, как правило, может быть преодолен административными, технологическими и экономическими мерами.

Глобальный экологический кризис является следствием всей совокупности результатов хозяйственной деятельности человечества и проявляется в изменении характеристик природной среды в масштабах всей биосферы. В настоящее время в планетарных масштабах наблюдается именно глобальный ЭК. Бороться с глобальным экологическим кризисом значительно сложнее. Решить данную проблему можно только сведя воздействия человека на биосферу до уровня, с которым биосфера в состоянии справиться самостоятельно. Однако при сохранении современного уровня потребления ресурсов, темпов промышленного роста, увеличения численности населения это маловероятно.

28.3. Признаки глобального экологического кризиса, их следствия и возможные направления их преодоления

Главными признаками глобального экологического кризиса считаются следующие четыре компонента:

- кислотные дожди;
- парниковый эффект;
- озоновые дыры;
- загрязнение планеты суперэкотоксикантами.

Кислотные дожди – это атмосферные осадки, pH которых ниже 5,5.

Причина повышения кислотности осадков – выбросы в атмосферу промышленными предприятиями оксидов серы и азота. Наиболее характерные источники таких загрязнений – это выхлопные газы автомобилей, металлургическое производство и тепловые электростанции, сжигающие нефть, уголь, газ.

Кислотные осадки приводят:

– к подкислению природных источников воды;

– к гибели лесов, урожаев и растительности;

– к подкислению почвы, ускорению ее эрозии, понижению плодородия;

– к разрушению зданий, сооружений и памятников архитектуры.

Поиск альтернативных источников добычи энергии, экологически безопасный автотранспорт, новые технологии производства и техноло-

гии очистки выбросов в атмосферу – способы предотвращения причины появления кислотных дождей.

Парниковый эффект – задержка (поглощение) атмосферными парниковыми газами (главным образом CO_2) инфракрасной составляющей излучения Земли, нагретой Солнцем.

Парниковый эффект приводит:

– к нарушению теплового баланса планеты (потепление климата);

– к нарушению структуры экосистем, исчезновению популяций многих животных, расширению среды обитания тропических микроорганизмов;

– к таянию арктических и антарктических льдов, что в свою очередь может привести к повышению уровня Мирового океана и затоплению низменных участков суши.

Использование инновационных подходов к организации производства поможет снизить накопление парниковых газов в атмосфере и соответственно уменьшить проявления парникового эффекта.

Озоновые дыры – локальное падение концентрации озона в озоновом слое атмосферы Земли. Озоновый слой (озоновый щит) находится на высоте 15–20 км (см. 20.2). Основное значение озонового слоя для живых существ, обитающих на Земле, заключается в том, что озон способен поглощать жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, губительное для живого. Наблюдения за концентрацией озона в атмосфере, ведущиеся в последние годы, зафиксировали существенное локальное понижение концентрации озона (до 50 %) в приполярных областях (над Арктикой и Антарктикой). Эти места и получили названия озоновых дыр.

На настоящий момент не существует однозначного мнения относительно механизма возникновения данного феномена. Одна из возможных причин, называемая экологами, – разрушение стратосферного озона фреонами (хлорфторуглеводородами).

Человек применяет фреоны в качестве хладагентов, вспенивателей пластмасс, в качестве наполнителей в аэрозольных баллончиках, средствах пожаротушения. Выполнив свою функцию, они попадают в атмосферу, где разрушаются с образованием свободных атомов хлора, которые, попадая в стратосферу, разрушают молекулы озона.

В 1987 году в Монреале состоялась Международная конференция, посвященная угрозе озоновому слою. Промышленно развитые страны договорились о сокращении, а в конечном итоге и о прекращении производства хлорфторуглеродов (ХФУ) – химических веществ, разруша-

ющих озоновый слой. С тех пор протокол подвергался пересмотру семь раз: в 1990 (Лондон), 1991 (Найроби), 1992 (Копенгаген), 1993 (Бангкок), 1995 (Вена), 1997 (Монреаль) и 1999 (Пекин). По состоянию на декабрь 2009 года 196 государств-членов ООН ратифицировали первоначальную версию Монреальского протокола. Сегодня ученые верят, что к 2050 году озоновый слой сможет восстановиться полностью.

Суперэкотоксиканты (СЭТы) – химические вещества, загрязняющие поверхность Земли и приводящие к тяжелым экологическим последствиям. К ним относятся различные химические соединения, тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий) и долгоживущие радионуклиды. Эти загрязнители попадают в биосферу в результате аварий на химических производствах, неполного сгорания топлива в автомобильных двигателях, сжигания полимерных изделий в кострах, неэффективной очистки сточных вод, аварий на АЭС.

Суперэкотоксиканты даже в сверхмалых дозах обладают сверхмощной канцерогенной активностью, приводят к тяжелым заболеваниям, повышению смертности, снижают клеточный иммунитет, являются мутагенами – приводят к нарушению тонкой структуры хромосом, являются причиной врожденных уродств, причем последствия их воздействия могут сказываться не только на ныне живущих, но и на последующих поколениях. Для СЭТов характерна очень высокая подвижность и способность к кумуляции (накоплению).

Выявление источников эмиссии СЭТов (экологический мониторинг), особенно в местах массового проживания людей, на сегодняшний момент представляет собой одну из основных задач экологии.

28.4. Понятие ноосферы, концепция устойчивого развития

В эволюции материи на планете Земля можно выделить следующие этапы: геологическая эволюция, геохимическая эволюция, биохимическая эволюция, биологическая эволюция. Появление человека ознаменовало возникновение нового этапа эволюции – социальной эволюции. Самые крупные изменения в биосфере Земли произошли в современный этап эволюции.

Согласно теории В.И. Вернадского, космос, Земля, ее биосфера и человек, как часть биосферы, представляют собой единое целое. По мнению Вернадского, появление человека – носителя Разума

в биосфере не случайно. Он полагал, что «биосфера перейдет однажды в сферу разума – ноосферу. Произойдет великое объединение, в результате которого развитие планеты сделается направленным силой Разума».

В настоящее время **ноосферой** принято называть этап коэволюции природы и общества, когда любая деятельность человека должна быть органически согласована с общими законами развития природы. То есть ноосфера – сфера разумного конструирования сбалансированной системы биосфера–человек, соответствующей такому обществу, в котором будут обеспечены приоритеты устойчивого экономического развития, нравственного разума, экогуманизма, интеллектуально-информационных ценностей в рамках совместной эволюции Человека и Природы.

На пути к ноосфере большие надежды возлагаются на прогресс науки, на самосознание, на коллективный разум, который в перспективе должен стать общепланетарным. Однако человечество своей антропогенной деятельностью уже привело биосферу к глобальному экологическому кризису. Можно согласиться с мнением Н.Н. Моисеева, который, рассуждая о той уверенности в будущем, которая звучала в работах выдающихся ученых Тейяра де Шардена и В.И. Вернадского, справедливо отмечает: «Мне кажется, что полвека тому назад у обоих мыслителей было больше оснований для оптимизма, чем у людей нынешнего тысячелетия. Тогда еще ничего не знали об атомном оружии и не предполагали, что человечеству уже в зримом будущем предстоит преодолеть чрезвычайной остроты глобальный экологический кризис. И переход в эпоху ноосферы не будет плавным и безболезненным…».

Одним из вариантов перехода биосферы в ноосферу считается переход к устойчивому (допустимому) развитию (от англ. sustainable development). **Устойчивое развитие** – такое развитие человеческого общества, при котором оно, удовлетворяя свои потребности, должно научиться использовать природные ресурсы, не подрывая их и сохраняя возможности развития будущих поколений.

Теоретической основой данной концепции является теория биотической регуляции среды, согласно которой существует предел возмущения биосферы, ниже которого биота успешно осуществляет регулирование и обеспечивает устойчивость, выше – начинает необратимо деградировать. Таким образом, устойчивое развитие – развитие, при котором уровень давления на окружающую среду компенсируется темпами ее самовосстановления.

Вопросы для самоконтроля

1. Рубка леса и строительство плотин относятся к _____ загрязнению:

1) биологическому;
2) ингредиентному;
3) физическому;
4) деструктивному

2. Производство бесшумного транспорта способствует решению проблемы _____ загрязнения среды:

1) параметрического;
2) деструктивного;
3) ингредиентного;
4) химического.

3. «Озоновая дыра» – это:

1) повышение содержания озона в атмосфере;
2) пространство с пониженным (до 50 %) содержанием озона;
3) «дыра» в атмосфере;
4) часть территории Мирового океана.

4. В настоящее время понятие ноосферы трактуется как:

1) этап коэволюции природы и общества, когда любая деятельность человека должна быть органически согласована с общими законами развития природы;
2) искусственная, созданная человеческим разумом и технологиями среда, в которой мир природы становится несущественным;
3) результат преобразования биосферы под потребности человека в процессе целенаправленного изменения окружающей природы разумными существами;
4) завершающий этап развития биосферы, когда разум, познав природу, одерживает победу над ней;

5. Концепция устойчивого социально-экономического развития означает, что

1) необходимо увеличивать посевные площади для того, чтобы прокормить растущее население планеты;
2) необходимо отказаться от техногенной цивилизации и вернуться к натуральному способу ведения хозяйства и натуральным продуктам;
3) человечество должно научиться использовать природные ресурсы, не подрывая их и сохраняя возможности развития будущих поколений;
4) необходимо любой ценой удовлетворять растущие потребности человечества за счет всех доступных источников сырья и энергии.

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Тема 1
1) 4
2) 1
3) 2
4) 2
5) 4

Тема 2
1) 4
2) 1
3) 3
4) 1, 3
5) 4

Тема 3
1) 2
2) 3
3) 1, 2
4) 1
5) Б, В, А

Тема 4
1) 1
2) 3
3) 3
4) 2, 3
5) 4

Тема 5
1) 1
2) 4
3) 1, 3
4) 3
5) 1-В, 2-Г, 3-Б

Тема 6
1) 2, 3
2) 4
3) 1
4) 3
5) 1, 3

Тема 7
1) 2
2) 1, 4
3) 2
4) 1-А, 2-Г, 3-В
5) 1-Б, 2-В, 3-Г

Тема 8
1) 3
2) 2
3) 4
4) 3
5) 4

Тема 9
1) 4
2) 1, 3
3) 3, 4
4) 1, 3
5) 2

Тема 10
1) 1, 2
2) 2
3) 4
4) 3, 4
5) 4

Тема 11
1) 3, 4
2) 1, 4
3) 1-Б, 2-Г, 3-В
4) 1-В, 2-Г, 3-Б
5) 1-5, 2-В, 3-Б

Тема 12
1) 1, 3
2) 3, 4
3) 3
4) 2
5) 1-В, 2-Б, 3-Г

Тема 13
1) 3
2) 2
3) 3
4) 3
5) 2, 4

Тема 14
1) 4
2) 4
3) 4
4) 1
5) 1-Г, 2-Б, 3-А

Тема 15
1) 3
2) 4
3) 3
4) 2
5) 3

Тема 16
1) 1
2) 2
3) 4
4) 1-Б, 2-А
5) 1-Б, 2-В

Тема 17
1) 2
2) 2
3) 2
4) 2
5) 1-Г, 2-А, 3-В

Тема 18
1) 4
2) 4
3) 2
4) 2
5) 1-Б, 2-В, 3-А

Тема 19
1) 1, 2
2) 3
3) 2, 4
4) 1-В, 2-А
5) 1-Б, 2-В

Тема 20
1) 1, 2
2) 2, 3
3) 4
4) 2, 3
5) 1, 3

Тема 21
1) 2
2) 1-6, 2-В, 3-Г
3) 1-Б, 2- В, 3-Г
4) 1
5) 1

Тема 22
1) 1
2) 3
3) 4
4) 2
5) 2

Тема 23
1) 1
2) 2
3) 1-Г, 2-В, 3-А
4) 1-В, 2-А, 3-Г
5) 1-Б, 2-А, 3-Г

Тема 24
1) 1-Б, 2-В
2) 1
3) 1-Б, 2-А
4) 1-Б, 2-В
5) 2

Тема 25
1) 1-А, 2-Б, 3-В
2) 1-Б, 2-В, 3-Г
3) 1-В, 2-А, 3-Б
4) 1
5) 1

Тема 26
1) 3
2) 1-В, 2-Б, 3-А
3) 4
4) 1-А, 2-Б, 3-В
5) 1-Б, 2-В, 3-Г

Тема 27
1) 3
2) 4
3) 2
4) 3
5) 2

Тема 28
1) 4
2) 1
3) 2
4) 1
5) 3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная

1. *Голубинцев В.О.*, *Каждан А.Э.* Концепции современного естествознания. – Ростов н/Д, 1997.
2. *Горбачёв В.В.* Концепции современного естествознания. – М., 2003. – 591 с.
3. *Горелов А.А.* Концепции современного естествознания. – М., 1997.
4. *Гусейханов М.К.*, *Раджабов О.Р.* Концепции современного естествознания. – М., 2005.
5. *Детлаф А.А.*, *Яворский Б.Н.* Курс физики. – М., 1989.
6. *Дубнищева Т.Я.* Концепции современного естествознания. – Новосибирск, 2002.
7. *Лавриненко В.Н.*, *Ратников В.П., Голубь В.Ф.* и др. Концепции современного естествознания: учебник для вузов. – М., 1997.
8. *Рузавин Г.И.* Концепции современного естествознания. – М., 2007.
9. *Суханов А.Д.*, *Голубева О.Н.* Концепции современного естествознания. – М., 2000.
10. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М., 2002.

Дополнительная

1. *Азимов А.* Вселенная. – М., 1969.
2. *Азимов А.* Краткая история биологии. – М., 2002.
3. *Азимов А.* Путеводитель по науке. – М., 2007.
4. *Азимов А.* Популярная физика. – М., 2007.
5. *Асламазов Л.Г.*, *Варлаамов А.А.* Удивительная физика. – М., 1966.
6. *Ахиезер И.*, *Рекало М.П.* Элементарные частицы. – М., 1986.
7. *Борн М.* Эйнштейновская теория относительности. – М., 1972.
8. *Боулер М.* Гравитация и относительность. – М., 1979.
9. *Бухбиндер И.Л.* Фундаментальные взаимодействия. Соросовский образовательный журнал. – № 5. – 1997.
10. *Вайскопф В.Ф.* Физика в двадцатом столетии. – М., 1973.
11. *Вайскопф В.Ф.* Наука и удивительное. – М., 1965.
12. *Вейль Г.* Симметрия. – М., 1968.
13. *Вейнберг С.* Первые три минуты. – М., 1981.
14. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. – М., 1965.
15. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. – М., 1995.
16. *Волькенштейн М.В.* Энтропия и информация. – М., 1986.
17. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Очерки о Вселенной. – М., 1970.
18. *Гаврилов В.* Световые явления в атмосфере. – М., 1952.
19. *Гейзенберг В.* Физика и философии. Часть и целое. – М., 1989.
20. *Гельфер Я.М.* Законы сохранения. – М., 1967.

21. *Голубева О.Н.*, *Добротина Н.А.*, *Суханов А.Д.* Примерная программа дисциплины КСЕ. – М., 2000.
22. *Горелик Г.Е.* О сохранении законов сохранения // Природа. – № 5. – 1992.
23. *Григорьев В.И.*, *Мякишев Г.Я.* Силы в природе. – М., 1977.
24. *Гуревич Л.Э.*, *Чернин А.Д.* Происхождение галактик и звезд. – М., 1983.
25. *Де Бройль Луи.* Соотношение неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация волновой механики. – М., 1986.
26. *Девис П.* Пространство и время в современной картине Вселенной. – М., 1979.
27. *Девис П.* Случайная Вселенная. – М., 1989.
28. *Девис П.* Суперсила. – М., 1989.
29. *Демин В.Г.* Судьба Солнечной системы. – М., 1969.
30. *Дерябин В.М.* Законы сохранения в физике. – М., 1982.
31. *Джеммер М.* Эволюция понятий квантовой механики. – М., 1985.
32. *Джеффрис Г.* Земля, ее происхождение, история и строение. – М., 1960.
33. *Друянов В.А.* Загадочная биография Земли. – М., 1989.
34. *Зельдович Я.Б.*, *Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. – М., 1975.
35. *Кадомцев Б.Б., Рыдник В.И.* Волны вокруг нас. – М., 1981.
36. *Казначеев В.П.* Очерки теории и практики экологии человека. – М., 1983.
37. *Капица П.Л.* Эксперимент. Теория. Практика. – М., 2003.
38. *Кемп П.*, *Армс К.* Введение в биологию. – М., 1986.
39. *Кемпфер Ф.* Путь в современную физику. – М., 1972.
40. *Кендью Дж.* Нить жизни. – М., 1968.
41. *Климонтович Н.Ю.* Без формул о синергетике. – Минск, 1986.
42. *Князева Е.Н.*, *Курдюмов С.П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М., 1994.
43. *Кок У.* Звуковые и световые волны. – М., 1966.
44. *Компанеец А.С.* Принцип неопределенности. – М., 1966.
45. *Компанеец А.С.* Симметрия в микро- и макромире. – М., 1978.
46. *Компанеец А.С.* Что такое квантовая механика? – М., 1977.
47. *Криволуцкий А.Е.* Голубая планета. – М., 1985.
48. *Кун Т.* Структура научных революций. – М., 1975.
49. *Купер Л.* Физика для всех. В 2 т. – М., 1975.
50. *Ландау Л.Д.*, *Китайгородский А.И.* Молекулы. – М., 1982.
51. *Левитт И.* За пределами известного мира: от белых карликов до квазаров. – М., 1978.
52. *Марочник Л.С.*, *Сучков А.А.* Галактика. – М., 1984.
53. *Медников Б.М.* Аксиомы биологии. – М., 1986.
54. *Миннарт М.* Свет и цвет в природе. – М., 1969.
55. *Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. – М., 1990.
56. *Мухин К.Н.* Занимательная ядерная физика. – М., 1985.
57. *Мякишев Г.Я.* Динамические и статистические закономерности в физике. – М., 1973.
58. *Мякишев Г.Я.* Элементарные частицы. – М., 1979.
59. *Мясников И.Г.* Неслышимый звук. – М., 1967.

60. *Нарликар Дж.* Неистовая Вселенная. – М., 1985.
61. *Николис Г.*, *Пригожин И.* Познание сложного. – ЛКИ, 2008.
62. *Николсон И.* Тяготение, черные дыры и Вселенная. – М., 1983.
63. *Новиков И.Д.* Как взорвалась Вселенная. – М., 1988.
64. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. – М., 1990.
65. *Орир Дж.* Популярная физика. – М., 1964.
66. *Пономарев Л.И.* По ту сторону кванта. – М., 1977.
67. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. – М., 1985.
68. *Пригожин И.*, *Стенгерс И.* Порядок и хаос. – М., 1986.
69. *Рыдник В.И.* Законы атомного мира. – М., 1975.
70. *Сапожников М.Г.* Антимир – реальность. – М., 1983.
71. *Седов Е.А.* Одна формула и весь мир: книга об энтропии. – М., 1982.
72. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Оптика. – М., 1980.
73. *Силк Дж.* Большой взрыв. – М., 1982.
74. *Смородинский Я.А.* Температура. – М., 1987.
75. *Тарасов Л.В.* Этот удивительно симметричный мир. – М., 1982.
76. *Тейлер Дж.* Происхождение химических элементов. – М., 1975.
77. *Тейлер Дж.* Галактика: строение и эволюция. – М., 1981.
78. *Тейлер Дж.* Строение и эволюция звезд. – М., 1973.
79. *Тейлор Э.*, *Уилер Дж.* Физика пространства-времени. – М., 1971.
80. *Уилл Ф.Л.* Семья Солнца. – М., 1984.
81. *Фейнберг Дж.* Из чего сделан мир. – М., 1981.
82. *Фейнберг Е.Л.* Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. – М., 1992.
83. *Фейнман Р.* Характер физических законов. – М., 1967.
84. *Фен Дж.* Машины, энергия, энтропия. – М., 1986.
85. *Фишер Д.* Рождение Земли. – М., 1990.
86. *Флинт Р.Ф.* История Земли. – М., 1978.
87. *Форд К.* Мир элементарных частиц. – М., 1965.
88. *Ходж П.* Галактики. – М., 1992.
89. *Хокинг С.* От Большого Взрыва до черных дыр. Краткая история времени. – М., 1990.
90. *Хорбенко И.Г.* Звук, ультразвук и инфразвук. – М., 1986.
91. *Чернин А.Д.* Физика времени. – М., 1987.
92. *Шамбадаль П.* Развитие и приложение понятия энтропии. – М., 1967.
93. *Шарден П.* Феномен человека. – М., 1987.
94. *Широков Ю.М.*, *Юдин Н.П.* Ядерная физика. – М., 1972.
95. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум. – М., 1988.
96. *Щелкин К.И.* Физика микромира. – М., 1968.
97. *Шрёдингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики. – М., 1972.
98. *Эдельман В.С.* Вблизи абсолютного нуля. – М., 1987.
99. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе. – М., 1987.
100. *Яблоков А.В.*, *Юсуфов А.Г.* Эволюционное учение. – М., 1988.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

РАЗДЕЛ I. ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО МЕТОДА И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА 11

Тема 1. Научный метод познания 11

Тема 2. Естественно-научная и гуманитарная культуры 16

Тема 3. Развитие научных исследовательских программ и картин мира (история естествознания, тенденции развития) 20

Тема 4. Развитие представлений о материи 25

Тема 5. Развитие представлений о движении 29

Тема 6. Развитие представлений о взаимодействии 33

РАЗДЕЛ II. ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, СИММЕТРИЯ 39

Тема 7. Принципы симметрии, законы сохранения 39

Тема 8. Эволюция представлений о пространстве и времени 45

Тема 9. Специальная теория относительности (СТО) 51

Тема 10. Общая теория относительности (ОТО) 56

РАЗДЕЛ III. СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ И СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАТЕРИИ 61

Тема 11. Микро-, макро-, мегамиры 61

Тема 12. Структуры микромира 66

Тема 13. Химические системы 71

Тема 14. Особенности биологического уровня организации материи 75

РАЗДЕЛ IV. ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В ПРИРОДЕ 85

Тема 15. Динамические и статистические закономерности в природе 85

Тема 16. Концепции квантовой механики 90

Тема 17. Принцип возрастания энтропии 97

Тема 18. Закономерности самоорганизации. Принципы универсального эволюционизма 104

РАЗДЕЛ V. ПАНОРАМА СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ 113
Тема 19. Космология (мегамир) 113
Тема 20. Геологическая эволюция 120
Тема 21. Происхождение жизни (эволюция и развитие живых систем).....125
Тема 22. Эволюция живых систем 131
Тема 23. История жизни на Земле и методы исследования эволюции 136
Тема 24. Генетика и эволюция.....149
РАЗДЕЛ VI. БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК.....157
Тема 25. Экосистемы (многообразие живых организмов – основа организации и устойчивости живых систем) 157
Тема 26. Биосфера.....166
Тема 27. Человек в биосфере 173
Тема 28. Глобальный экологический кризис (экологические функции литосферы, экология и здоровье) 179
Ответы на вопросы для самоконтроля.....186
Библиографический список 188