

В.В. Баркова
К.А. Тухватулина

СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие



Челябинск

2017

УДК 5 (021)

ББК 20я73

Б 25

Баркова В.В. Современная естественнонаучная картина мира [Текст]: учебное пособие / В.В. Баркова, К.А. Тухватулина. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гум.-пед. ун-та, 2017. – 260 с.

ISBN 978-5-906908-53-7

Представленное учебное пособие должно помочь составить целостное представление о процессах и явлениях, происходящих в живой и неживой природе, познакомить с основными законами, понятиями и моделями физических, химических и биологических систем, с возможностями современных научных методов теоретического и экспериментального исследования и используемых в этих целях технических средств.

Пособие является важной составной частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Естественнонаучная картина мира» и рекомендовано студентам гуманитарных специальностей высших учебных заведений всех форм обучения.

Рецензенты: Н.А. Усова, канд. филос. наук,

Е.Г. Прилукова, д-р филос. наук, профессор

ISBN 978-5-906908-53-7

© В.В. Баркова, К.А. Тухватулина, 2017

© Издательство Южно-Уральского
государственного гуманитарно-
педагогического университета, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Современное миропонимание – важный компонент человеческой культуры. Огромную роль в его формировании играет представление человека о его связях с природой. Очевидно, культурный человек должен хотя бы в общих чертах представлять, как устроен мир, в котором он живет, как «работают» в нём законы природы. Знание законов природы позволяет взглянуть на деятельность человека и её последствия в мире и является эффективным средством борьбы с мистическими представлениями.

В XXI в. воздействие цивилизации на экосферу Земли достигло такого уровня, что невозможно представить себе не только дальнейший прогресс человеческого сообщества, но и выживание его без осознания своего с ней единства. Экологический кризис поставил человечество практически на грань катастрофы, и возник он прежде всего как следствие недостаточного распространения в обществе научных и культурных знаний, что породило почву для принятия безответственных решений, бесконтрольного воспроизводства человеческих потребностей и их удовлетворения в ущерб окружающей природе.

Причиной создавшейся ситуации является не наука, как считают некоторые, а дефицит современного её понимания, недостаток образованных и компетентных руководителей на всех уровнях. С. Капица как-то сказал, что причины современного кризиса обусловлены той упрощенной, даже механической моделью социального развития, которая до сих пор владеет умами. У многих людей образование остановилось на механической картине мира, и они не могут, а порой и не желают разобраться в новых для них явлениях. Поэтому формирование адекватного миробытию мировоззрения, соответствующего современному этапу развития цивилизации, имеет первостепенную важность для человечества в целом.

Стремительно растёт роль науки в человеческой жизни – производстве, технике, технологии, экономике, политике, культуре, военном деле, мировоззрении и т.д. Последнее предполагает обязательное знание основных

концептуальных положений современного естественнонаучного познания, интегрирующих основные идеи, принципы и методы естественных наук. **Естествознание** (в простейшем понимании) – *наука о явлениях и законах природы*. Эти знания многообразны, но едины в контексте человеческой культуры.

В настоящее время человечество стоит перед необходимостью пересмотра самых глубинных основ своего мировоззрения, понимания своего места в природе, своих отношений с окружающим миром, цивилизационной парадигмы. Сегодня мы уже живём в переломный период, когда в истории нашей цивилизации ограничения на использование природных ресурсов вторгаются в саму жизнь, и осознание новых мировоззренческих установок становится общественной необходимостью. Если человек не найдет нужного ключа для своих взаимоотношений с природой, то он будет обречен, какова бы ни была политика, демократия, государственное устройство. Необходимо понять, что наши нравственные основы, наш духовный мир, наше поведение в биосфере уже не соответствуют условиям жизни, в которые погружается общество, а наше понимание обстановки недостаточно для преодоления трудностей развития. Ясно просматривается несоответствие деятельности человека как единого биологического вида тем законам, которыми управляется развитие биосферы. Деятельность человека, выработанная на прежних цивилизационных парадигмах, ведет к деградации биосферы и не способна гарантировать сохранения человека в её составе. Вот почему необходим рационалистический подход к выстраиванию современной картины мира, цель которой – дать те знания обществу, которые помогут понизить остроту переживаемого кризиса, увидеть выход из создавшейся ситуации.

Это могут дать только естественные науки и система мышления, которая выросла на их основе и которую называют рационализмом, но это уже современный рационализм, выросший на базе достижений науки XX столетия. Науки о природе не только обеспечивают технологический

прогресс, но и формируют менталитет людей, особый тип научного рационального мышления. Критически-аналитическая рациональность, свойственная естественнонаучному знанию, важна для мировоззренческих ориентаций человека. Она приучает людей к осознанию относительности систем отсчета и суждений, к обоснованному, а не подсказанному эмоциями пути поиска решений, к пониманию ограниченности наших представлений о мире. К новым представлениям об объективности наших знаний и не единственности правильного решения. К пониманию дополнительности и альтернативности как природных, так и социальных явлений.

Новое мировоззрение основывается на идее эволюции и единстве мира, на понятиях вероятности и самоорганизации. Этот взгляд обязательно должен проявиться в мыследеятельности каждого человека. Сходство систем в биологии, химии, лингвистике, экономике, физике замечено давно, и сегодня все больше растет потребность в описании их единым естественнонаучным языком, языком математики. Более того, всё больше выявляется сходство между объектами неживой и живой природы и общественными явлениями. Новая картина мира, которая формируется, должна обрести новый универсальный язык, адекватный природе. «Наша первейшая задача – научиться слушать природу, чтобы понять ее язык», – говорил И. Тамм.

Наука занимает лидирующее место в жизни нашей эпохи. Научный метод, рожденный естествознанием, последние сто лет доминирует в духовном мире. Ему мы обязаны созданием техногенной цивилизации, которая привела не только к быстрому развитию экономической и социальной сфер общества, но и способствовала, в определенной степени, глобальному экологическому кризису, отчуждению человека от природы, всё большей дегуманизации общества.

Одной из причин столь глубоких негативных явлений считается существование двух культур, обладающих разными языками, критериями и ценностями: культуры естествознания с преобладанием научного метода и

культуры гуманитарной. Сейчас эти культуры не столько дополняют друг друга, сколько противостоят, разделяя людей на «физиков» и «лириков», в большинстве своем не слишком стремящихся понимать проблемы друг друга. Это обусловлено не только отсутствием взаимной любознательности, но и отчасти тем, что научный метод был малоэффективен в решении многих проблем в литературе и искусстве. Такое искусственное размежевание произошло около трехсот лет назад, и сейчас уже ясно, что многие проблемы человечества могли бы быть решены на пути гармонизации изначально единой культуры.

Естественнонаучные знания дают фундаментальные представления о структуре окружающего мира и месте в нём человека, а гуманитарные знания, являясь логическим продолжением естественнонаучных сведений, строятся на этом фундаменте, вот почему изучение естествознания студентами является важным элементом их общего образования. Эти знания формируют характер их мышления и способствуют выработке адекватного отношения к окружающему миру. Систематическое естественнонаучное образование нужно не только для дальнейшей работы в области избранной специальности. Оно помогает приобрести не только менталитет и ориентиры в мире, насыщенном достижениями наукоёмких технологий, но и освоить универсальные приёмы решения сложных задач, выходящих за рамки конкретной профессии. На важность общеобразовательной подготовки указывает такой пример. Более двух тысяч руководителей предприятий разного уровня в США на вопрос: «Какими качествами должен обладать современный работник?» – ответили: «Хорошая общеобразовательная подготовка».

Хорошая общеобразовательная подготовка студентов всех специальностей, подразумевает изучение естественнонаучной культуры, которая развивает рационально-логический тип мышления и которая всё более проникает в гуманитарную сферу. Естественнонаучные знания позволяют развивать способности, которые затем могут быть использованы в

любой карьере. Значимость образования определяется не только тем, что на его основе можно успешно решать различные проблемы, стоящие перед человеком и обществом. Оно важно и само по себе как неотъемлемая составляющая духовной жизни каждого человека, дающая возможность ориентироваться не только в мире вещей, но и в мире идей, ценностей, в измерениях человеческой культуры. Действительно, современные условия жизни требуют специалистов, овладевших не только профессиональными знаниями в рамках избранной специальности, но и ценностным и интеллектуальным аспектом знаний. Что предполагает формирование собственных взглядов на мир и на свое место в нём. Представляют основу для успешного решения различных жизненных проблем. Это позволит не чувствовать себя растерянными, когда придется работать в областях, сильно отличающихся от основной специализации.

В наше время, когда науки раздроблены на многочисленные разделы и специализации, когда каждый специалист говорит на своём языке, остро стоит проблема формирования широкого кругозора, который позволил бы охватить мир в целом, познавать его важнейшие связи, отыскивать пути к пониманию его функционирования. В этом слоистом пироге знаний надо прокладывать каналы, пронизывающие все его слои, и создавать пространства для объединения всех структур. Проблема широкого кругозора – это проблема реализации всех специализаций, создание взаимосвязи и взаимопроникновения наук и формирование общего понимания мира. Изучение данного курса ведет к расширению общего кругозора, столь необходимого в современном мире.

Целостность и динамизм современной картины мира – одна из важнейших особенностей нашего мира. Каждому человеку сегодня, как никогда в прошлом, необходимо иметь интегрированное представление о природе и мире, опирающееся на современную науку и на естественнонаучные знания, которые должны быть совмещены с глубоким гуманитарным образованием и иметь гуманистическую направленность.

Данное учебное пособие позволит студентам познакомиться с естествознанием как неотъемлемым компонентом единой культуры человечества, спецификой рационального научного мышления, заложить основы целостного взгляда на окружающий мир как единство природы и человека. Здесь предложена обзорная картина современного состояния естественнонаучных представлений о мире и показано место, и значение естественных наук в современной культуре. Рассматриваются современные представления о физической картине мира как основе целостности и многообразия природы. Показана взаимная необходимость рационального и образного отражения окружающего мира, а также взаимосвязь науки с миром общечеловеческих этических и нравственных ценностей.

Изложение материала в пособии не предполагает высказываний истин в последней инстанции. Задача же студента не в том, чтобы безоговорочно принять позицию, содержащуюся в пособии, но в том, чтобы при его помощи вникнуть в существо обсуждаемых проблем и понять их мировоззренческое значение. Научиться ориентироваться в окружающем мире природы и отличать научные знания от псевдонаучных идей. Увидеть незавершенность и открытость в решении многих проблем естествознания.

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЕ ЗНАНИЕ КАК БАЗОВЫЙ КОНСТРУКТ СОВРЕМЕННОЙ ЭПИСТЕМОЛОГИИ

Если попытаться представить себе «древо историй», из которых исторически конструировался образ мира, в котором мы живем, то в нём обнаружится «переплетение» трех линий, трех направлений, образующих единство цивилизационного развития человечества: действие – знание – понимание. Эти линии, взаимодействуя и переплетаясь, дополняют, взаимно иницируя друг друга. Именно так в предельно сжатой и упрощенной форме можно определить суть человеческого овладения миром в процессе деятельностного, познавательного, осмысленного существования в нём.

Осваивая окружающую природу, человек обобщает, творчески сохраняет в знании прежний опыт, осмысливает ранее достигнутое, прорываясь в новые сферы неведомого. Наука XXI века находится в состоянии глубоких качественных изменений, перечень которых можно было бы по-разному представлять и структурировать. Однако, так или иначе, инвариантом такого рода рекурсивных по сути перечней будет возрастающая степень междисциплинарности, синергичности, конвергентности разных типов знаний, познавательных практик и технологий конструирования новых реальностей, которые в своей интегративной совокупности формируют новый образ науки наших дней. Одним словом, опосредованная знанием и ответственным пониманием наука открывает новые возможности и эффективные действия в познавательном процессе. Идеальной, обобщенной моделью которого она и выступает вместе с конструируемыми ею моделями миробития, к числу которых относится и естественнонаучная картина мира.

В самом общем виде можно выделить три направления развития науки: учения о природе, об обществе, о человеке и его мышлении. В процессе развития научного познания в его лоне находит свою реализацию и осмысление философская составляющая интеллектуального прогресса, объединяющая онтологические, гносеологические, методологические и, наконец, аксиологические аспекты познания. Философия «тащит» на себе тяжелейший «груз» объяснения неизбежных противоречий и способы их разрешения, возникающие в частности между действием и мыслью, вырастающим в качественное несовпадение практики и теории, впрочем, как их же неизбежное взаимодействие. Практика склоняет нас к конкретному, единичному, фактическому и однозначному, а мысль «поднимает» понимание мира к абстрактности, обобщению, универсальности и всеобщности.

В рамках естественнонаучной картины мира (прежде всего как теоретико-методологического конструкта природы и различных иерархий её явления человеку), где многие десятилетия господствовал примитивизм,

сегодня фиксируется не только диалектическое отражение сознанием реальности, но и включение мыслительной деятельности субъекта в реальное существование окружающего мира. Человек мыслью не только овладевает природой, но и преобразует, «очеловечивает» ее, создаёт вторую природу – культуру, цивилизацию, науку. Сложный мир, в котором он живет, действует, мыслит, предполагает еще одну составляющую – социальность. Мыслящие люди всегда сосуществуют, действуют в системе общественных связей и отношений. Реальный человек реализуется в своей социальной сущности. Ведь вертикальное положение тела, передвижение на нижних конечностях и овладение речью (напомним, слово – материальная оболочка мысли), а также эффективная трудовая деятельность, т.е. собственно человеческие качества приобретаются и реализуются им в совместном существовании, в реальных формах общественной жизни. Поэтому наука рассматривает человека как мыслящего, говорящего, общающегося, действующего индивидуума. Что и является условием возникновения социальности, стержневым конструктом становления на планете Земля вида *homo sapiens*.

Действия человека предполагают свободу выбора, многовариабельность решений, их постоянную критическую оценку и сравнительный анализ. Умственная деятельность – абсолютное условие именно человеческого бытия. Важная её особенность – многоаспектность, абстрактная форма, открывающая возможность новых повторений в изменяющихся условиях. Таким образом, единичное действие, осмысленное и обобщенное, становится основой нового применения в качестве прикладного знания. Последнее, благодаря теоретико-познавательной, мыслительной деятельности, превращается в науку, в систему познанных общих правил, принципов и законов. Не претендуя на строгость, можно заметить, что из мыслей и слов вырастают идеи, теории, системы мыслительных процедур, формируется наука. Затем вступают в действие

принципы дифференциации знаний. Чтобы быть эффективной, наука становится специальной.

Современный мир – это мир высоких технологий и высоких скоростей. По некоторым данным объем информации увеличивается в 2 раза каждые 4 года. В таких условиях невозможно просто физически овладеть всей информацией. Но стремиться к познанию нужно. Сегодня мы стоим на пороге новых открытий и технологических прорывов, которые кардинально изменят наш мир. В условиях жесткой конкуренции требуются грамотные специалисты, свободно ориентирующиеся в самых разных областях знания.

Курс «Современная естественнонаучная картина мира» своей задачей ставит ориентацию студента на здравую оценку окружающего мира, Современная наука дифференцирована на отдельные специальные дисциплины. Взятые в отдельности, они не могут сформировать целостную научную картину мира. Естествознание как особая форма познания объективной реальности включая в себя комплекс наук: физику, химию, астрономию, биологию, экологию, синергетику и др., обращает внимание на истоки становления знаний о мире и человеке в нём, а они начинали складываться на основе физике, зоологии и т.д. – т.е. естествознании.

Курс «Современная естественнонаучная картина мира» знакомит слушателей с наиболее важными достижениями различных наук о мире и месте человека в нём на уровне фундаментальных идей и концепций. Знание основных современных теорий и концепций естествознания формирует научный метод мышления, развивает адекватное отношение человека к окружающему миру.

Модуль 1
ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО МЕТОДА
И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА

**Тема 1. Естественнонаучная и гуманитарная культуры. Научное
познание**

1.1. Естественнонаучная и гуманитарная культуры.

1.2. Научный метод познания.

1.1. Естественнонаучная и гуманитарная культуры

Культура – это определенный уровень развития общества, творческих сил и способностей человека, выраженный в типах и формах организации жизни и деятельности людей, а также в создаваемых ими материальных и духовных ценностях. В более узком понимании *культура* – это всё, что создано человеком как бы в дополнение к природе, но должно существовать с ней в единстве и гармонии. Культура является важнейшей сущностной характеристикой человека, отличающей его от всего остального органического мира нашей планеты. С её помощью человек не приспосабливается к окружающей среде, а меняет её, преобразуя мир, делая его удобным для себя. Неотъемлемой составной частью культуры выступает наука, определяющая многие важные стороны жизни общества и человека.

Основной задачей науки является получение объективных знаний об окружающем мире, познание законов, по которым он функционирует и развивается. Обладая этим знанием, человеку намного легче преобразовывать мир и понимать последствия своего пользования природой. Именно бурный рост науки, начавшийся в Новое время, создал современную техническую цивилизацию – мир, в котором мы сегодня живем. Неудивительно, что множество положительных сторон науки сформировали её авторитет и привели к появлению сциентизма – мировоззрения, основанного

на вере в науку как единственную силу, призванную решить все человеческие проблемы. Идеология антисциентизма, считающая науку вредной и опасной силой, ведущей к гибели человечества, не могла с ним соперничать до последнего времени, хотя и ссылалась на негативные последствия научно-технического прогресса, среди которых создание оружия массового уничтожения и экологический кризис. Лишь к концу XX в., осмыслив как положительные, так и отрицательные стороны науки, человечество выработало более чёткую и взвешенную позицию. Признавая важную роль науки в нашей жизни, тем не менее не следует соглашаться с её претензиями на лидерство и господствующее место в жизни общества. Наука сама по себе не может считаться высшей ценностью человеческой цивилизации, она – только средство в решении некоторых проблем человеческой бытийности.

То же относится и к другим сферам культуры. Только взаимно дополняя друг друга, сферы культуры могут выполнять свою основную функцию – обеспечивать потребности и облегчать жизнь человека, являясь связующим звеном между человеком и природой. Если же в этой взаимосвязи придается большее значение какой-либо одной части, то это приводит к обеднению культуры в целом и нарушению ее нормального функционирования. Культура, будучи результатом человеческой деятельности, не может существовать изолированно от мира природы. Каждый предмет культуры содержит две части: природную основу и социальное, человеческое оформление. Эта двойственность мира культуры и определила возникновение двух типов культуры: естественнонаучной и гуманитарной.

На начальной стадии человеческой истории естественнонаучная и гуманитарная культуры существовали как единое целое, поскольку человеческое познание в одинаковой степени было направлено как на изучение природы, так и на познание самого себя. Однако постепенно у них выработались свои принципы и подходы, определились цели:

естественнонаучная культура стремилась изучить природу и покорить ее, а гуманитарная культура ставила своей целью изучение человека и его внутреннего мира.

Разделение естественнонаучной и гуманитарной культур началось еще в античности, когда появились астрономия, математика, география, с одной стороны, и театр, живопись, музыка, архитектура и скульптура – с другой. В эпоху Возрождения искусство стало важнейшей частью жизни общества, и поэтому гуманитарная культура развивалась особенно интенсивно. Новое время, напротив, характеризуется исключительно бурным развитием естествознания. Этому способствовали зарождающийся капиталистический способ производства и новые производственные отношения.

Успехи естественных наук в то время были настолько впечатляющи, что в обществе возникло представление об их всесильности. Необходимость всё более глубокого познания окружающего мира и успехи естествознания в этом процессе привели к дифференциации и самих естественных наук, т. е. к появлению физики, химии, геологии, биологии и космологии. Отличительной особенностью естественнонаучной культуры является то, что она изучает естественный мир, природу, которая представляет самодостаточную систему, функционирующую в соответствии своим собственными законами. Она стремится к тому, чтобы как можно точнее прочесть бесконечную «книгу природы», овладеть ее гармонией, познать как объективную реальность, существующую независимо от человека. История человеческой культуры свидетельствует о том, что любая духовная деятельность людей протекает не только в форме естественнонаучного познания, но и в форме философии, религии, искусства, социальных и гуманитарных наук. Все эти виды деятельности составляют содержание гуманитарной культуры.

Основным предметом гуманитарной культуры является внутренний мир человека, его личностные качества, человеческие взаимоотношения. Таким образом, между естественнонаучным и гуманитарным знанием видны

немалые различия. Эти различия обусловлены не только разными целями, предметами и объектами данных направлений познавательной деятельности, но и двумя основными способами процесса мышления, имеющими физиологическую природу. Мозг человека функционально асимметричен: правое его полушарие связано с образным интуитивным типом мышления, а левое – с логическим. Преобладание того или иного типа мышления определяет склонность человека к художественному или рациональному типу восприятия мира.

Рациональное знание служит основой естественнонаучной культуры, поскольку ориентировано на разделение, сравнение, измерение и распределение по категориям знаний и информации об окружающем мире. Оно наиболее приспособлено для формализации, накопления и трансляции постоянно увеличивающегося количества знаний. В совокупности различных фактов, событий и проявлений окружающего мира оно вскрывает общее, устойчивое, необходимое и закономерное, придает им системный характер путем логического осмысления. В силу перечисленных особенностей для естественнонаучного знания свойственны стремление к истине, выработка специального языка для максимально точного и однозначного выражения полученного знания. Научное рациональное мышление принесло удивительные плоды, во многом определившие становление современной человеческой цивилизации. Благодаря науке мы можем строить себе жилище, выращивать необходимую пищу (а не заниматься собирательством и охотиться), передвигаться на автомобилях и самолётах, пользоваться мобильными телефонами и Интернетом.

Интуитивное мышление, напротив, выступает основой для гуманитарного знания, поскольку оно отличается индивидуальным характером и поэтому не может быть подвержено строгой классификации или формализации. Оно основывается на внутренних переживаниях человека и не имеет строгих объективных критериев истинности. Однако оно обладает огромной познавательной силой, так как ассоциативно и метафорично по

своему характеру. Используя метод аналогии, оно способно выходить за рамки логических конструкций и рождать новые объекты культуры. Без этого типа мышления трудно представить искусство, без него вряд ли возможно создание художественных, музыкальных произведений. Ведь недаром говорят «произведение искусства», восхищаясь творческим началом созданного. Таким образом, можно выделить следующие отличия гуманитарно-художественной культуры от научно-технической культуры мышления:

- ✓ субъективность знания;
- ✓ нестрогий образный язык;
- ✓ интерес к индивидуальным свойствам изучаемых предметов;
- ✓ сложность (или невозможность) верификации;
- ✓ фальсификации, трудность проверки «правильности».

Но, несмотря на различие между культурами, данное разделение не исключает их исходной взаимозависимости, которая не носит характера несовместимых противоположностей, а выступает скорее как дополняемость. Острота и актуальность проблемы взаимодействия двух культур состоит в том, что они оказались слишком дистанцированными друг от друга. На протяжении истории человечества не раз происходило преобладание одних сфер культуры над другими. Непростыми были взаимоотношения науки, философии и религии. Средневековая наука находилась под властью религии, задержавшей ее развитие на века и предавшей забвению достижения античной науки. Освободившись от власти религии, наука попала в прокрустово ложе философов-схоластов. И лишь в XIX веке наука стала претендовать на господствующее положение в связи с успехами в естествознании, увлекаая людей перспективами всеобщего материального достатка и сытости, построенными на основе достижений науки и техники. К началу XX в. перекоc в сторону науки привел к прогрессирующему разрыву двух культур. Ко всему этому добавилось дробление самой науки. Ученые, работающие даже в близких областях, перестают понимать друг друга. В мае

1959 г. известный английский писатель и ученый Чарльз Сноу прочитал в Кембриджском университете лекцию «Две культуры и научная революция», которая вызвала продолжительную и острую дискуссию, охватившую многие страны и всколыхнувшую самые разные слои населения, осознавшие глубину и серьезность проблемы «размежевания» двух культур. Вражда двух культур, по мнению Сноу, может вообще привести к гибели человеческой культуры, если не принять радикальных мер для реорганизации образовательной системы, в частности мер, дающих возможность сблизиться представителям «противоположных» культур. В проблеме, поставленной Сноу, есть два важных аспекта. Первый связан с закономерностями взаимодействия науки и искусства, второй – с проблемой единства науки.

На решение проблемы единства науки и направлен данный курс. Наука в целом – это многогранное и вместе с тем системное образование, все отдельные компоненты которого (конкретные науки) теснейшим образом связаны. Между различными науками имеет место постоянное притяжение, взаимодействие. Развитие науки требует взаимного обогащения, обмена идеями между различными, даже кажущимися на первый взгляд далекими, областями знания. Например, в XX в. биология получила мощнейший импульс для своего развития именно в результате применения математических, физических и химических методов исследования. В то же время биологические знания помогают инженерам создавать новые типы автоматических устройств и проектировать новые поколения авиационной и космической техники. Таким образом, процесс единства дифференциации и интеграции науки приводит к появлению новых научных направлений, отдельных наук и стирает резкие грани, разделяющие различные отрасли науки, ведет к образованию интегрирующих отраслей науки: теории систем, информатики, синергетики – с их особыми принципами, методами, понятиями и т.п. Наука в целом становится все более сложной единой системой с богатым внутренним расчленением, в котором сохраняется качественное своеобразие каждой конкретной науки. В связи с этим в конце

XX в. (как и во времена античности) появляется интерес к единой науке о природе – естествознанию.

В отличие от античных времен, современное естествознание – это не просто сумма знаний отдельных многочисленных наук, а продукт междисциплинарного синтеза на основе комплексного, системного подхода. Системный подход стал важнейшим во второй половине XX в. В древнем мире не было разделения знания на множество наук, которое присуще современному миру. Было единое знание – натурфилософия. В Средние века главенствующую роль стал играть анализ, что привело к резкому увеличению знаний, их специализации и дроблению. Человек оказался под прессингом такого масштаба знаний, что и строители Вавилонской башни. Науки превратились в «пчелиные соты», в каждой из «ячеек» которой находится свой понятийный аппарат, специфические методы познания, ученые.

На современном этапе, наряду с дифференциацией науки – появлением новых дисциплин, проявляется устойчивая тенденция к интеграции научных знаний через постановку общих задач, разработку понятийного аппарата. В системном подходе преимущество отдается синтетическому мышлению, вскрывающему не столько состав, структуру объекта, сколько его функции. Это восприятие закономерностей явления, законов позволяет осознавать окружающий мир во всем многообразии и единстве. По сути это и есть формирование научного мировоззрения.

1.2. Научный метод познания

Большую роль в научном познании играет научный метод. Чтобы понять, что такое научный метод, рассмотрим сначала, что такое метод вообще. В широком смысле *метод* – это способ организации средств (инструментов, приемов, операций и др.) теоретической и практической деятельности. Метод оптимизирует деятельность человека, вооружает его наиболее рациональными способами её организации. Понятие метода тесно

связано с понятием методологии. *Методология* – это наука о закономерностях, которым подчиняется способ деятельности, о происхождении, сущности методов, их эффективности. Главная задача методологии – выработать принципы создания наиболее совершенных методов и приёмов в познании действительности. *Научное познание* – это особая форма человеческой деятельности, опирающаяся на определенный набор средств деятельности, средств познания. В науке различают два основных уровня научного познания: эмпирический и теоретический. Каждый из которых характеризуется особыми формами организации научного познания и его методами.

К эмпирическому уровню относятся приемы, методы и формы познания, связанные с непосредственным отражением объекта, материально-чувственным взаимодействием с ним человека. Методами эмпирического уровня являются:

- ✓ наблюдение,
- ✓ сравнение, различные формы экспериментирования,
- ✓ предметное моделирование,
- ✓ измерение и др.

В большинстве случаев эмпирические методы дают первичную, исходную информацию и требуют дальнейшей умственной деятельности человека, на помощь которому приходит другой уровень познания – теоретический. На этом уровне происходят накопление, фиксация, группировка и обобщение исходного материала для построения и разработки научной теории. Поэтому к нему относятся такие методы познания, как:

- ✓ абстрагирование,
- ✓ идеализация,
- ✓ формализация,
- ✓ анализ,
- ✓ синтез,
- ✓ индукция,

- ✓ дедукция,
- ✓ математическое моделирование.

Рассмотрим более подробно указанные выше методы познания.

Наблюдение – это начальный этап всякого естественнонаучного исследования. Наблюдение дает первичную информацию об объекте или явлении для его дальнейшего исследования. Мы можем наблюдать за полетом птиц, за движением звезд, за сменой дня и ночи, времен года и т.д. По мере развития науки наблюдение становилось все более сложным и опосредованным, стали появляться сложные средства наблюдения – телескоп, микроскоп, радиолокатор, что привело к смыканию наблюдения с экспериментом. *Эксперимент* – это важнейшее средство и метод исследования в человеческой практике и науке. С помощью эксперимента изучаются какие-то конкретные свойства объекта или явления, для чего создаются специальные контролируемые условия. Особенность эксперимента состоит в том, что он позволяет увидеть объект или явление с нужной стороны. Экспериментатор отделяет существенные факторы от несущественных, что значительно упрощает ситуацию. Такое упрощение способствует более глубокому пониманию сути явлений и процессов и дает возможность контролировать важные для данного эксперимента факторы и величины. В наши дни для проведения экспериментов ученые создают очень сложные и дорогостоящие установки, требующие объединения усилий нескольких стран. Ярким примером кооперации ведущих стран мира может служить Большой адронный коллайдер, расположенный на территории двух стран. Для определения количественных значений (характеристик) изучаемых сторон или свойств объекта исследования проводят сравнение – сопоставление, установление сходства и различий в предметах, явлениях, процессах. *Сравнение* – это один из наиболее распространенных методов познания. Наверное, многие помнят поговорку: «Все познается в сравнении». Сравнение с помощью специальных технических устройств через третий объект (эталон) называется *измерением*. Различают два вида измерений:

прямые и косвенные. Прямые измерения проводятся путем непосредственного живого сравнения с эталоном (например, с помощью линейки измерили длину тетрадного листа). При косвенных измерениях искомая величина, как правило, находится математическим путем (из формул) на основании знания других величин, полученных в прямых измерениях. Теперь, когда вы получили первичную, исходную информацию, необходимо объяснить и систематизировать выявленные закономерности, а возможно, и предсказать новые закономерности. Такая задача и решается на теоретическом уровне познания с помощью следующих методов познания.

Абстрагирование – это мысленное отделение существенного от несущественного, выделение наиболее важного в изучаемом объекте или явлении. Таким образом, сложное заменяется простым, что помогает установить связи и соотношения между свойствами и явлениями, зафиксировать их в познании. Результат процесса абстрагирования называется абстракцией. Примером абстракций могут служить такие понятия, как точка, прямая, множество и т.д.

Идеализация – отождествление объекта с идеальными конструктивами (иногда специально «разработанными»), позволяющим применить математику и продолжить познание. Примером идеальных объектов могут служить «материальная точка», «математический маятник», «идеальный газ», «абсолютно черное тело», «абсолютно твердое тело». Полученные таким образом идеальные объекты в действительности не существуют, так как в природе никогда не может быть предметов и явлений, имеющих только одно свойство или качество. В этом-то и состоит главное отличие идеальных объектов от абстрактных.

Формализация – использование специальной символики вместо реальных объектов. Формализация дает возможность исследовать объект без непосредственного обращения к нему и записывать полученные результаты в краткой и четкой форме. Главное при этом вскрыть сущность объекта. Так, многие элементарные частицы были открыты, а их свойства предсказаны

задолго до того, как они были обнаружены в экспериментах, только путем их «вычисления» по знаковым ансамблям, в которые кроме них входили широко распространенные известные частицы.

Индукция – тип умозаключения, содержащий вывод о множестве элементов из знаний одного или нескольких из множества, это логический путь рассуждений от частного к общему. Индукция успешно используется при решении любых задач, связанных с систематизацией, классификацией, научным обобщением. Различают несколько видов индукции: полную, неполную и научную. Полная индукция строит общий вывод на основании изучения всех предметов или явлений данного класса. В результате полной индукции полученное умозаключение имеет характер достоверного вывода. Но в окружающем нас мире не так много подобных объектов одного класса, число которых ограничено настолько, что исследователь может изучить каждый из них. Поэтому чаще ученые прибегают к неполной индукции, которая выстраивает общий вывод на основании наблюдения ограниченного числа фактов, если среди них не встретились такие, которые противоречат индуктивному умозаключению. Например, если ученый наблюдает один и тот же факт, он может сделать вывод, что этот эффект проявится и в других сходных обстоятельствах. Конечно, полученная таким путем истина неполна, знание носит вероятностный характер и требует дополнительного подтверждения.

Научная индукция предполагает рассмотрение немногих, но наиболее существенных признаков классификации. Данный метод обладает сравнительно высокой достоверностью, что делает его наиболее предпочтительным из всех видов индукции. Однако возникает вопрос, какие классификационные признаки следует считать существенными. Как правило, они могут быть выбраны на основании результатов проведенной полной индукции сходных объектов и процессов.

Дедукция – тип умозаключения, содержащий вывод об элементе из знаний множества ему подобных, т.е. это логический ход рассуждений от

общего к частному. Дедукция как метод познания исходит из уже познанных законов и принципов. Поэтому метод дедукции не позволяет получить содержательно нового знания. Дедукция представляет собой способ логического развертывания системы положений на базе исходного знания, способ выявления конкретного содержания общепринятых посылок. Поэтому она не может существовать в отрыве от индукции. Как индукция, так и дедукция незаменимы в процессе научного познания.

Анализ – метод научного познания, в основе которого лежит процедура мысленного или реального расчленения предмета на составляющие его части и их отдельное изучение. Эта процедура ставит своей целью переход от изучения целого к изучению его частей и осуществляется путем абстрагирования от связи этих частей друг с другом. Анализ – органичная составная часть всякого научного исследования, являющаяся обычно его первой стадией, когда исследователь переходит от описания нерасчлененного изучаемого объекта к выявлению его строения, состава, а также свойств и признаков. Для постижения объекта как единого целого недостаточно знать, из чего он состоит. Важно понять, как связаны друг с другом составные части объекта, а это можно сделать, лишь изучив их в единстве. Для этого анализ дополняется синтезом.

Синтез – метод научного познания, в основе которого лежит процедура соединения различных элементов предмета в единое целое. Синтез выступает не как метод конструирования целого, а как метод представления целого в форме единства знаний, полученных с помощью анализа. Важно понять, что синтез вовсе не является простым механическим соединением разъединенных элементов в единую систему. Он показывает место и роль каждого элемента в этой системе, его связь с другими составными частями системы. Таким образом, при синтезе происходит не просто объединение, а обобщение аналитически выделенных и изученных особенностей объекта. Синтез – такая же необходимая часть научного познания, как и анализ, и идет вслед за ним. Анализ и синтез – это две

стороны единого аналитико-синтетического метода познания, которые не существуют друг без друга.

Моделирование предполагает изучение каких-либо объектов посредством их моделей с дальнейшим переносом полученных данных на оригинал. В основе этого метода лежит существенное сходство объекта-оригинала и его модели. В настоящее время выделяют несколько типов моделирования: предметное, мысленное, знаковое и компьютерное. Предметное моделирование предполагает использование моделей, воспроизводящих определенные геометрические, физические, динамические или функциональные характеристики прототипа. Так, на моделях исследуются аэродинамические качества самолетов и других машин, ведется разработка различных сооружений (плотин, электростанций и др.). Мысленное моделирование – это использование различных мысленных представлений в форме воображаемых моделей. Примером может служить планетарная модель атома Резерфорда, напоминавшая Солнечную систему: вокруг положительно заряженного ядра (Солнца) вращались отрицательно заряженные электроны (планеты). Знаковое (символическое) моделирование использует в качестве моделей схемы, чертежи, формулы. В них в условно-знаковой форме отражаются какие-то свойства оригинала.

Разновидностью знакового моделирования является математическое моделирование, осуществляемое средствами математики и логики. Язык математики позволяет выразить любые свойства объектов и явлений, описать их функционирование или взаимодействие с другими объектами с помощью системы уравнений. Так создаётся математическая модель явления. Часто математическое моделирование сочетается с предметным моделированием. Компьютерное моделирование получило весьма широкое распространение в последнее время. В данном случае компьютер является одновременно и средством и объектом экспериментального исследования, заменяющим оригинал. Моделью при этом является компьютерная программа (алгоритм).

С помощью компьютерного моделирования изучаются свойства как микро-, нанообъектов, так и свойства и структура космического пространства.

При всех различиях между эмпирическим и теоретическим уровнями познания нет непреодолимой границы: теоретический уровень опирается на данные эмпирического, а эмпирическое знание не может существовать без теоретических представлений, оно обязательно погружено в определенный теоретический контекст.

К основным формам научного познания относятся *научные факты, проблемы, гипотезы и теории*. Их задача раскрыть динамику процесса познания, т.е. движение и развитие знания в ходе исследования или изучения какого-либо объекта. Научное познание начинается с установления научными средствами фактов.

Научный факт – это отражение конкретного явления в человеческом сознании, т.е. его описание с помощью языка науки (обозначение, термины и т.п.). Одним из важнейших свойств научного факта является его достоверность, которая обуславливается возможностью его воспроизведения с помощью различных экспериментов. Чтобы факт считался достоверным, требуется его подтверждение в ходе наблюдений или экспериментов, если мы один раз увидели, что яблоко с дерева падает на землю, то это единичное наблюдение. Но если мы фиксируем подобные падения неоднократно, то можно говорить о достоверном факте. Подобные факты составляют эмпирический, т.е. опытный, фундамент науки. Но в непосредственном наблюдении зафиксировать сущностные характеристики предмета практически невозможно. Поэтому прямо перейти с эмпирического на теоретический уровень познания тоже нельзя. Теория не строится путем непосредственного индуктивного обобщения опыта. Поэтому следующим шагом в научном познании становится формулирование проблемы, которая определяется как «знание о незнании»,

Проблема – форма знания, содержание которой заключено в осознанном вопросе, для ответа на который имеющихся знаний

недостаточно. Любое научное исследование начинается с выдвижения проблемы, когда новые обнаруженные факты не удается объяснить существующими знаниями. В свою очередь, наличие проблемы при осмыслении необъяснимых фактов влечет за собой предварительный вывод, требующий своего экспериментального, теоретического и логического подтверждения. Такого рода предположительное знание, истинность или ложность которого еще не доказана, называется *научной гипотезой*.

По своему происхождению гипотетическое знание носит вероятностный, а не достоверный характер и поэтому требует обоснования и проверки. Если в ходе проверки содержание гипотезы не согласуется с эмпирическими данными, то гипотеза отвергается. Если же гипотеза подтверждается, то можно говорить о той или иной степени вероятности гипотезы. Чем больше фактов, подтверждающих гипотезу, найдено, тем выше ее вероятность. Таким образом, в результате проверки одни гипотезы становятся теориями, другие уточняются и конкретизируются, а третьи отбрасываются как заблуждения, если их проверка дает отрицательный результат. Решающим критерием истинности гипотезы является практика во всех своих формах, а вспомогательную роль при этом играет логический критерий истины. Выдвижение гипотез – один из самых сложных моментов в науке. Ведь они не связаны прямо с предшествующим опытом, который лишь дает толчок к размышлениям. А рассуждения в науке не являются доказательствами, это только суждения, которые свидетельствуют об истинности рассуждений, если посылки верны. Но они ничего не говорят об истинности самих посылок.

Выбор посылок связан с практическим опытом и интуицией ученого, который из огромного множества эмпирических фактов и обобщений должен выбрать действительно важные. Затем ученый должен выдвинуть предположение, объясняющее факты, а также целый ряд явлений, еще не зафиксированных в наблюдениях, но относящихся к этому классу событий. При выдвижении гипотезы принимается во внимание не только её

соответствие эмпирическим данным, но и требования простоты, красоты и экономичности мышления. В случае подтверждения гипотеза становится теорией. Главная задача теории – описать, систематизировать и объяснить всё множество эмпирических фактов. Иными словами, *теория* представляет собой систему истинного, уже доказанного, подтвержденного знания о сущности явлений, высшую форму научного знания, всесторонне раскрывающую функционирование и развитие изучаемого объекта, взаимоотношения всех его элементов, сторон и связей. Научная теория – развивающаяся система знания, главными элементами которой являются принципы и законы.

Принципы – это наиболее общие и важные фундаментальные положения теории. В теории принципы играют роль исходных, основных и первичных посылок, образующих фундамент теории. В свою очередь, содержание каждого принципа раскрывается с помощью законов, которые конкретизируют принципы, объясняющие механизм их действия, логику взаимосвязи, вытекающих из них следствий. На практике законы выступают в форме теоретических утверждений, отражающих общие связи изучаемых явлений, объектов и процессов. Раскрывая сущность объектов, законы их существования, взаимодействия, изменения и развития, теория позволяет объяснять изучаемые явления, предсказывать новые, еще не известные факты и характеризующие их закономерности, прогнозировать поведение изучаемых объектов в будущем. Таким образом, теория выполняет две важнейшие функции: объяснение и предсказание, т.е. научное предвидение.

При этом не надо забывать о принципе соответствия, установленном Н. Бором в 1923 г.: всякая новая общая теория, являющаяся развитием классической, не отвергает ее полностью, а включает в себя, указывая границы ее применения, причем в определенных предельных случаях новая теория переходит в старую. При естественнонаучном познании законов и явлений природы нельзя отрицать все ранее известное и предлагать новые теории, которые, по мнению их авторов, способны наиболее полно и

правильно описать исследуемый объект. В процессе развития науки, как правило, отвергается и заменяется чем-то новым далеко не все. Обычную систему научных понятий расширяют, выдвигают более общие теории. При этом подразумевается: все то, что мы знали раньше, только часть того, что мы знаем теперь. Так, формулы кинематики и динамики релятивистской механики переходят при скоростях, много меньших скорости света в вакууме, в формулы классической механики Ньютона. Волновыми свойствами обладают все тела, однако для макроскопических тел ими можно пренебречь, т.е. для них применима классическая механика. Опасен и такой подход к познанию законов окружающего мира, когда нет полного отрицания того, что известно, однако предлагаемые идеи рассматриваются в совершенно другой плоскости. Как правило, такой подход и приводит к псевдонаучным тенденциям, которые активизируются в последнее время и являются следствием чувства безысходности и разочарованности людей во всем происходящем.

Псевдонауку можно определить как область деятельности, которая при поверхностном взгляде имеет сходство с наукой, но принципиально отличается от нее внутренним содержанием и сферой приложения. В частности, она не является средством естественнонаучного познания и не создает базы для развития технологий. Псевдонаука стремится быть похожей на науку, подражает ей, маскируется под неё. Приведем отличительные признаки псевдонауки от науки:

- ✓ фрагментарность;
- ✓ некритический подход к исходным данным;
- ✓ невосприимчивость к критике;
- ✓ отсутствие общих законов;
- ✓ неверифицируемость.

Наука стремится к максимальной точности, объективности. Результаты научного познания организованы таким образом, чтобы исключить все личностное, привнесенное исследователем от себя. Одна из главных

особенностей науки состоит в том, что она нацелена на отражение объективных сторон мира, т. е. на получение таких знаний, содержание которых не зависит от человека. Наука стремится прежде всего построить объективную картину мира, т. е. отразить его так, как он существует «сам по себе», независимо от человека. Научное знание всегда выступает в качестве определенной системы. В этих системах есть исходные принципы, фундаментальные понятия, знания, выводимые из этих принципов и понятий по законам логики. Кроме того, система знаний включает в себя важные для данной науки, интерпретированные опытные факты экспериментов, математический аппарат, практические выводы и рекомендации. Хаотический набор верных высказываний сам по себе наукой быть не может. Кроме того, в основе рационального стиля мышления лежит признание существования универсальных, доступных разуму причинных связей, а также формального доказательства в качестве главного средства обоснования знания. Таким образом, можно выделить следующие основные критерии научного знания:

- ✓ объективность;
- ✓ достоверность;
- ✓ точность;
- ✓ системность.

Глоссарий

Абстракция – форма познания, основанная на мысленном, понятийном выделении существенных свойств и связей предмета и отвлечении от других, частных его свойств и связей.

Анализ – метод исследования, состоящий в мысленном или фактическом разделении целого на составные части.

Гипотеза – знание в форме предположения, сформулированного на основе ряда достоверных фактов.

Дедукция – логическое умозаключение от общего к частному, от общих суждений к частным и другим общим выводам.

Измерение – экспериментальное сравнение искомой величины с эталонной единицей.

Индукция – логическое умозаключение, идущее от фактов к некоторой гипотезе.

Культура – это определенный уровень развития общества, творческих сил и способностей человека, выраженный в типах и формах организации жизни и деятельности людей, а также в создаваемых ими материальных и духовных ценностях.

Метод – совокупность приемов или операций, позволяющая решать определенный класс задач, проблем.

Методология – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности и познания.

Модель – образ, аналог (мысленный или условный) какого-либо объекта, процесса или явления.

Наблюдение – активный познавательный процесс, опирающийся на работу органов чувств человека и его предметную деятельность.

Натурфилософия – философия природы, умозрительное истолкование природы.

Наука (в широком смысле слова наука) – во-первых, форма общественного сознания, во-вторых, сфера человеческой деятельности, в-третьих, система институтов.

Научный метод – это совокупность приемов и операций практического и теоретического познания действительности.

Парадигма – исходная концептуальная схема, признанные всеми научные достижения, способ организации научного знания, которые в течение определенного времени дают научному сообществу определенное видение мира, модель постановки проблем и их решения.

Познание – процесс усвоения чувственного содержания переживаемого, или испытываемого, положения вещей, состояний, с целью нахождения истины.

Системный подход – методологический принцип научного познания, состоящий в рассмотрении объектов как систем, существующих в них многообразных типов связей.

Синтез – соединение различных элементов объекта в единое целое.

Теория – это логически обоснованная и проверенная на практике система знаний, дающая целостное отображение закономерных и существенных связей в определенной области объективной реальности.

Эксперимент – метод научного познания, при помощи которого в контролируемых и управляемых условиях исследуются явления действительности.

Тесты

1.1. Процесс научного познания начинается с

- 1) постановки эксперимента;
- 2) наблюдения и сбора фактов;
- 3) построения модели;
- 4) выдвижения гипотезы.

1.2. Метод познания, который сводится к расчленению целого предмета на составляющие части с целью их всестороннего изучения, называется:

- 1) анализ;
- 2) синтез;
- 3) формализация;
- 4) дедукция.

1.3. Естественнонаучные знания от гуманитарных отличаются по признаку ...

- 1) историчности;
- 2) математичности;

3) однозначности и строгости языка;

4) эмпирической проверяемости.

1.4. Наука – это...

1) способ познания мира;

2) отрасль культуры;

3) определенная система организованности (академии, институты, лаборатории и т. д.);

4) способ познания мира, отрасль культуры и определенная система организованности.

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

1) культура – раздел науки;

2) наука – раздел культуры;

3) культура и наука не связаны друг с другом;

4) культура и наука – понятия равнозначные.

Тема 2. История естествознания

2.1. Античная преднаука и её формы организации.

2.2. Виды естественнонаучных картин мира.

2.1. Античная преднаука и её формы организации

История естествознания – науки о природе – своими корнями уходит в глубокую древность. Уже первобытные люди, стараясь понять природу, добывая себе пищу и защищаясь от диких зверей, постепенно накапливали знания о природе, ее явлениях и свойствах окружающих их материальных вещей. Однако эти знания не являлись научными, поскольку не были систематизированы, объединены какой-либо теорией. Они имели форму практического опыта.

Впервые наука возникает в Древней Греции в VI в. до н. э. Именно в Древней Греции обнаруживается не просто совокупность каких-то

отрывочных, разрозненных сведений, а определенная система знаний, являющаяся результатом деятельности особой группы людей (научного сообщества) по получению новых знаний. При этом древнегреческие мыслители были, как правило, одновременно и учеными и философами. Древнегреческие философы, не прибегая к систематическому исследованию и эксперименту, на основе буквально одних наблюдений пытались единым взглядом охватить и объяснить окружающую действительность. Возникавшие в то время естественнонаучные идеи носили предельно широкий философский характер и существовали как натурфилософия.

Античная наука появилась в форме научных программ (парадигм). В них была определена цель научного познания – изучение процесса превращения первоначального Хаоса в Космос – разумно организованный и устроенный мир через поиски космического начала. Многие крупные ученые того времени, такие как Фалес, Анаксимандр, Гераклит, Диоген, в своих утверждениях руководствовались идеей о единстве сущего, происхождении вещей из какого-либо природного первоначала (воды, воздуха, огня), а также о всеобщей одушевленности материи.

Первой научной программой стала математическая программа, представленная Пифагором и позднее развитая Платоном. В ее основе, как и в основе других античных программ, лежало представление, что мир (Космос) – это упорядоченное выражение целого ряда первоначальных сущностей. Пифагор и его последователи были убеждены, что «всё есть число», т. е. мир целостен, гармоничен, взаимосвязан. В то же время, если «мир есть число», значит, все числа связаны между собой, а занятия математикой позволяют эти связи установить, прояснить их логическими доказательствами. Этот подход позволил увидеть за миром разнообразных качественно различных предметов их количественное единство. Платон, развивая учение пифагорейцев о математическом начале мира, впервые вводит понятие геометрического пространства, что способствует появлению геометрии Евклида. Пифагорейцами впервые была выдвинута идея о

шарообразной форме Земли. Интересен факт, что над входом в платоновскую Академию имеется надпись: «Несведущим в геометрии – вход воспрещен».

Второй научной программой античности стала атомистическая программа Левкиппа–Демокрита. Данная программа базируется на учении о дискретном строении материи, согласно которому весь мир состоит из атомов – мельчайших, невидимых и неразрушимых частиц, движущихся в окружающем пустом пространстве. Идея пустоты привела к мысли о бесконечности пространства, где во всех направлениях беспорядочно носятся, перемещаются атомы (как пылинки в солнечном луче). Различие физических и химических свойств тел объяснялось различием их атомного состава. Так, например, у огня атомы остры, поэтому огонь способен обжигать, у твердых тел они шероховаты, поэтому накрепко скрепляются друг с дружкой, у воды – гладки, поэтому она способна течь. Даже душа человека, согласно Демокриту, состоит из атомов.

Своего пика развития древнегреческая натурфилософия достигла с появлением учения Аристотеля, объединившего и систематизировавшего все современные ему знания об окружающем мире. Оно стало основой третьей программы античной науки континуальной исследовательской программы – всё формируется из непрерывной бесконечно делимой материи, не оставляющей места пустоте. Учение Аристотеля о природе представлено его знаменитыми трактатами: «Физика», «О небе», «Метеорологика», «О происхождении животных» и др. В этих исследованиях были поставлены и рассмотрены важнейшие научные проблемы, которые позднее стали базисом для возникновения отдельных наук. Основу естественнонаучных воззрений Аристотеля составляет его учение о движении, материи и форме. По мнению Аристотеля, мир состоит из вещей, каждая из которых является соединением материи и формы. Материя – это нечто бесформенное, хаотическое. Это основа, т.е. то, из чего возникает вещь. Чтобы стать вещью, материя должна принять форму, некое идеальное, конструирующее начало, которое придает вещам определенность и конкретность. Но так как все вещи состоят из более

простых (аналогично тому, как дом состоит из кирпичей, кирпичи – из глины и т.д.), то должна существовать некая «первоматерия». Первоматерия не имеет формы, всяких свойств и качеств. Соединяясь с простейшими формами, она образует первоэлементы, из которых состоят все вещи. Простейшие формы: теплое, холодное, сухое и влажное. Соединяясь с первоматерией, они образуют четыре первоэлемента (огонь, воздух, вода и земля).

2.2. Виды естественнонаучных картин мира

Следующий этап в развитии естественнонаучного познания относится к Средним векам.

В отличие от античности, средневековая наука не предложила новых фундаментальных программ, но сделала целый ряд новых интерпретаций и уточнений понятий и методов исследования, которые разрушали античные научные программы, подготавливая почву для механики Нового времени. Тем не менее именно в Средние века закладываются основы классического естествознания. В Средневековье религия претендовала на абсолютное знание природы. Религия объясняла происхождение природы, основываясь на креационизме, т.е. учении о сотворении природы Богом. Любые другие попытки объяснить мир и природу, без допущения сверхъестественных божественных сил, осуждались и беспощадно пресекались. Тем не менее именно религия способствовала практическому развитию науки. С точки зрения религии человек считался созданным по образу и подобию Божьему, чтобы он был господином земного мира. А раз человек является господином этого мира, значит, он вправе переделать этот мир так, как это нужно ему. Труд становится обязанностью каждого христианина, в особенности физический. Возникает желание облегчить этот труд, что вызвало новое отношение к технике. Теперь изобретение машин и механизмов перестало быть пустой забавой, как в античности, а стало делом полезным и уважаемым. Все это не могло не подкрепить нового, деятельностно-

практического отношения к миру. Под растущим влиянием церкви возникает схоластика упрощенная натурфилософия Аристотеля, приспособленная к догмам христианства в качестве официальной религиозной доктрины. Схоластика была оторвана от реальной действительности, занятие естествознанием рассматривалось как пустое дело. Она должна была служить задачам теологии и изучать вопросы бессмертия души, конечности и бесконечности мира, существования добра, зла и истины в мире. Тем не менее схоластика сыграла очень важную роль в развитии способностей к познанию мира европейским человеком. Это прежде всего развитие логико-дискурсивного мышления и искусства, логической аргументации. В эту эпоху успешно развивались такие специфические области знания, как астрология, алхимия, ятрохимия, натуральная магия, занятия которыми нередко приводили к реальным успехам. Так, на протяжении тысячелетия алхимики пытались с помощью химических реакций получить философский камень, способствующий превращению любого вещества в золото, приготовить эликсир долголетия. Побочными продуктами этих поисков и исследований стали технологии получения красок, стекла, лекарств, разнообразных химических веществ и т.д.

Развитие науки в эпоху Возрождения связано с именем Леонардо да Винчи, который предложил свой метод познания природы. Он был убежден, что познание идет от частных опытов и конкретных результатов к научному обобщению. По его мнению, опыт является не только источником, но и критерием познания. Будучи приверженцем экспериментального метода исследования, он изучал падение тел, траекторию полета снарядов, коэффициенты трения, сопротивление материалов и т.д. Таким образом, в ходе своих исследований Леонардо да Винчи заложил фундамент экспериментального естествознания XVI–XVII веков.

Натурфилософское и схоластическое познание природы превратилось в современное естествознание, систематическую научную деятельность на базе экспериментов и математического изложения. В этот период в Европе

сформировалось новое мировоззрение и начался новый этап в развитии науки, связанный с первой научно-технической революцией. Её отправной точкой стал выход в 1543 г. знаменитой книги Н. Коперника «О вращении небесных сфер». С этого момента начался переход от геоцентрической к гелиоцентрической модели Вселенной. В гелиоцентрической модели Коперника Вселенная по-прежнему оставалась сферой, хотя размеры ее резко возрастали (только так можно было объяснить видимую неподвижность звезд). В центре находилось Солнце, вокруг которого вращались все известные к тому времени планеты, в том числе Земля со своим спутником Луной. Эта модель позволила объяснить петлеобразное движение планет, смену времен года, которые согласно новым представлениям были обусловлены движением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. Следующий шаг в становлении гелиоцентрической картины мира был сделан Джордано Бруно, который отверг представление о космосе как о замкнутой сфере, ограниченной сферой неподвижных звезд. Он впервые заявил о том, что звезды – это не светильники, созданные Богом для освещения ночного неба, а такие же солнца, как и наше, и вокруг них могут вращаться планеты, на которых, возможно, живут люди.

Тем не менее все эти революционные идеи Коперника и Бруно нуждались в фундаментальном обосновании. Необходимо было открыть законы, действующие в мире и доказывающие правильность этих предположений. Основоположником доказательной, экспериментальной науки по праву можно считать Галилео Галилея. Он впервые проверил многие утверждения Аристотеля опытным путем, заложив тем самым основы нового раздела физики – динамики, науки о движении тел под действием приложенных сил. Именно Галилей сформулировал понятия физического закона, скорости, ускорения. Но величайшими открытиями ученого стали идея инерции и классический принцип относительности. Галилей считал, что движущееся тело будет пребывать в постоянном равномерном и только прямолинейном движении или в покое до тех пор, пока какая-нибудь

внешняя сила не подействует на него. Тем самым был опровергнут основной принцип Аристотеля: нет силы, нет движения. В ходе дальнейшего развития естествознания Иоганн Кеплер установил истинные орбиты движения планет. В своих трех законах он показал, что планеты движутся по эллиптическим орбитам, причем их движение происходит неравномерно. Огромную роль в развитии науки сыграли исследования Рене Декарта по физике, космологии, биологии, математике. Именно с его именем связывают возникновение математического естествознания, в котором математика становится важнейшим универсальным средством отыскания, формулирования и объяснения законов природы. При этом математика претерпевает значительные изменения: она становится математикой переменных величин. От изучения чисел и их отношений, постоянных величин, геометрических фигур, свойственного математике XV–XVI вв., она переходит к изучению движений и преобразований, переменных величин и функциональных зависимостей. Благодаря чему появляется первая фундаментальная естественнонаучная теория – классическая механика. Возникновение классической механики связывается в первую очередь с именем Исаака Ньютона, работы которого завершили вторую научно-техническую революцию.

Ньютон сформулировал основные законы динамики и закон всемирного тяготения. Механика Ньютона основана на понятиях количества материи, количества движения, силы и трех законах движения: закона инерции, закона пропорциональности силы и ускорения и закона равенства действия и противодействия. В механике Ньютон отказался от построения всеобъемлющей картины Вселенной и создал собственный метод физического исследования, который опирается на повседневный опыт, ограничивающийся фактами. По Ньютону, любое физическое действие представляет собой движение материальных точек в пространстве, управляемое неизменными законами механики. Эти взгляды Ньютона легли в основу механистической картины мира. Именно механика стала эталоном

любой науки, и любую науку пытались построить по ее образцу. Не случайно наиболее распространенной моделью Вселенной был огромный часовой механизм. Механика стала универсальным методом изучения природы. Все процессы в мире (не только физические, но и химические, биологические, социальные процессы) старались свести к простым механическим перемещениям. Так возник редукционизм – сведение высшего к низшему, объяснение сложного через более простое. Следствиями механицизма стало преобладание количественных методов анализа природы, стремление разложить изучаемый процесс или явление до его мельчайших составляющих, доходя до конечного предела делимости материи. Из картины мира полностью исключалась случайность. Ученые стремились к полному завершению знанию о мире, т.е. абсолютной истине. Стремясь дойти до конечного предела делимости материи, ученые XVIII в. создают «учения о невесомых» электрической и магнитной жидкостях, теплороде, флогистоне как особых веществах, обеспечивающих телам электрические, магнитные и тепловые свойства, а также способность к горению. Так закладывается начало третьей научно-технической революции в истории общества. С середины XVIII в. естествознание стало все более проникаться идеями эволюционного развития природы.

Значительную роль в этом сыграли труды М.В. Ломоносова, И. Канта, П. Лапласа. В которых развивалась гипотеза естественного происхождения Солнечной системы, жизни в целом. Влияние идей всеобщей связи, изменения и развития разрушали метафизичность классической науки, что стало еще заметнее в XIX веке. Развитие естествознания в XIX и XX веках сопровождалось окончательным отходом науки от религии, развитием технических наук, обеспечившим быстрый прогресс прежде всего западных цивилизаций. В тесном единстве с естествознанием происходит становление прикладных наук. Например, значительное развитие получает новая отрасль – теплотехника. Базисом её возникновения стал промышленный переворот, произошедший благодаря изобретению паровой машины. Изобретенная ещё

в XVIII веке паровая машина становится универсальным двигателем и применяется не только на промышленных предприятиях, но и на транспорте. Сама же идея теплового двигателя принадлежит русскому изобретателю И.И. Ползунову (1728–1766 гг.), который в 1763 г. разработал проект универсального парового двигателя – первой в мире двухцилиндровой машины непрерывного действия, осуществить который ему не удалось. Но в 1765 г. он построил по другому проекту первую в России паросиловую установку для заводских нужд, проработавшую 43 дня.

Зарождающаяся электротехника изучает закономерности применения электричества в технике и приносит плоды: изобретен телеграф, появляются первые попытки использовать электричество в качестве двигательной силы. В первой половине XIX в. быстро развиваются все разделы физики, но особенно оптика. В это время появляется фотография. Возникает новый, быстро развивающийся раздел – учение об электромагнетизме, основы которого закладывают М. Фарадей и Дж. Максвелл. В этот период складываются основы волновой оптики, теории дифракции, интерференции и поляризации. В 1840-х гг. весь ход развития физических наук по пути изучения связей между различными физическими явлениями, взаимных превращений различных форм энергии завершается установлением закона сохранения и превращения энергии. Революционными открытиями естествознания этого периода стали вероятностные законы Л. Больцмана, концепция энтропии и второй закон термодинамики Р.Ю.Э. Клаузиуса, периодический закон химических элементов Д.И. Менделеева, теория естественного отбора Ч. Дарвина, теория генетической наследственности Г.И. Менделя.

Четвертая научно-техническая революция начинается с целого ряда замечательных открытий, разрушивших всю классическую научную картину мира. Возникновение полевой концепции М. Фарадея и Дж. Максвелла, рассматривающей поле как реальную среду, являющуюся носителем определенных сил, приводит к пересмотру атомистических взглядов на

природу материи. В 1888 г. Г. Герц открыл электромагнитные волны, тем самым подтвердив предсказание Дж. Максвелла. В 1895 г. В. Рентген обнаружил лучи, получившие позднее название рентгеновских, которые представляли собой коротковолновое электромагнитное излучение. Изучение природы этих загадочных лучей, способных проникать через светонепроницаемые тела, привело Дж.Дж. Томсона к открытию первой элементарной частицы – электрона. Кардинальным образом меняются концепции пространства и времени. Этому способствуют работы по неевклидовой геометрии Н.И. Лобачевского и Б. Римана. Итогом пересмотра классических концепций пространства и времени становится теория относительности А. Эйнштейна.

Важнейшим открытием 1896 г. стало обнаружение радиоактивности А. Беккерелем. В 1901 г. М. Планк, пытаясь решить проблемы классической теории излучения нагретых тел, предположил, что энергия излучается малыми порциями – квантами. Тем самым были заложены основы для появления квантовой механики. Все эти открытия привели к крушению механистической картины мира, которая еще в начале 80-х гг. XIX в. казалась практически законченной. Все прежние представления о материи и ее строении, движении и его свойствах и типах, о форме физических законов, пространстве и времени были опровергнуты. Оказалось, что твердые атомы Демокрита почти пусты. Материя и энергия переходят друг в друга. Трехмерное пространство и одномерное время превратились в четырехмерный пространственно-временной континуум.

Согласно неклассической картине мира, планеты движутся по своим орбитам не потому, что их притягивает к Солнцу некая сила, а потому, что само пространство, в котором они движутся, искривлено. Микрочастицы одновременно проявляют себя и как частицы, и как волны. В этой связи нельзя одновременно вычислить местоположение частицы и измерить её импульс. Принцип неопределенности в корне подорвал ньютоновский детерминизм. Нарушились понятия причинности, субстанции, твердые

дискретные тела уступили место формальным отношениям и динамическим процессам. Среди важнейших открытий XX в. – теория относительности, квантовая механика, ядерная физика, теория физического взаимодействия; новая космология, основанная на теории Большого взрыва; эволюционная химия, стремящаяся к овладению опытом живой природы; генетика, расшифровка генетического кода и др. Подлинным триумфом развития неклассической науки стали кибернетика, воплотившая идеи системного подхода, синергетика и неравновесная термодинамика, основанные на методе глобального эволюционизма.

С середины XX в. естествознание вступает в новый этап развития – постнеклассический. Современная эволюционная картина мира характеризуется целым рядом фундаментальных принципов, среди которых чаще всего выделяют эволюционизм, космизм, экологизм, антропный принцип, холизм и гуманизм. Эти принципы ориентируют современное естествознание не столько на поиски абстрактной истины, сколько на полезность для общества и каждого человека в отдельности. Представления о глобальном эволюционизме и синергетике позволяют описать развитие природы как последовательную смену рождающихся из хаоса структур, временно обретающих стабильность, а затем вновь стремящихся к хаотическим состояниям. Кроме того, многие природные комплексы предстают как сложноорганизованные, многофункциональные, открытые, неравновесные системы, развитие которых носит малопредсказуемый характер. В этих условиях дальнейшая эволюция сложных природных объектов оказывается принципиально непредсказуемой и сопряжена со многими случайными факторами, могущими стать основаниями для новых форм эволюции.

Таким образом, в истории естествознания можно выделить следующие научные картины мира: механистическая, электромагнитная, квантово-механическая и современная эволюционно-синергетическая.

Механическая картина мира создана трудами Галилея, Кеплера, Ньютона. В основе этой картины лежит механика, которая давала научное объяснение природы. В механической картине мира пространство считалось трехмерным и евклидовым. При этом время и пространство являлись абсолютными феноменами, не оказывающими влияние на тела, размещенные в них. Сила тяготения распространяется в пространстве с бесконечно большой скоростью и не меняет ход времени. Можно однозначно определить состояние материальной точки для любого прошлого и будущего момента времени, зная координаты и скорость в начальный момент и действующие на неё силы. Поэтому все в мире предопределено, строго детерминировано. Тенденция свести все виды движения к механическому стала называться механицизмом и привела к метафизическому мышлению.

Электромагнитная картина мира основана на идее динамического атомизма, континуальном понимании материи и связанном с ним понятии близкодействия. Здесь возникли революционные идеи, которые привели к понятию поля без построения механических корпускулярных моделей. Считалось, что можно точно рассчитать будущее Вселенной, зная, как в ней распределены физические поля и порождающие их заряженные частицы.

Неклассическая (квантово-полевая) картина мира отразила открытия, связанные со строением вещества и взаимосвязь вещества и энергии. Изменились представления о причинности, роли наблюдателя, самой материи, времени и пространстве. В основе современной квантово-полевой картины мира лежит новая физическая теория – квантовая механика, описывающая состояние и движение микрообъектов материального мира. Базовой становится концепция корпускулярно-волнового дуализма. В соответствии с квантово-полевой картиной мира любой микрообъект, обладая волновыми и корпускулярными свойствами, не имеет определенной траектории движения и не может иметь одновременно определенных координат и скорости (импульса). Поэтому вводится понятие волновой функции, квадрат модуля которой дает вероятность найти частицы в данной

точке пространства. Таким образом, оказалось, что в основе нашего мира лежит случайность, вероятность. Также новая картина мира впервые включила в себя наблюдателя, от присутствия которого зависят получаемые результаты исследований. Современная эволюционная картина мира отражает появление междисциплинарных подходов и технические возможности описания состояний и движений сложных систем, позволившие рассматривать явления живой и неживой природы в комплексе. Синергетический подход ориентируется на исследование процессов изменения и развития. Принцип самоорганизации позволил изучать процессы возникновения и формирования новых, более сложно организованных систем.

Глоссарий

Геометрия Евклида – геометрические построения и преобразования на плоскости. Число параллельных прямых 1, сумма углов треугольника 180° , отношение длины окружности к диаметру π , знак кривизны 0.

Догма – положение, принимаемое за непреложную истину, без доказательства и при любых условиях.

Квантовая механика – теория, описывающая поведение микрочастиц и их систем.

Метафизика – философское учение о сверхчувственных (недоступных опыту) принципах бытия, в том числе принципов существования человека.

Механицизм – мировоззренческий взгляд на мир, объясняющий все явления природы и общества на основе понятий и методов классической механики. Характеризуется строгим детерминизмом и противостоит телеологии.

Научная картина мира – общая система представлений и понятий в процессе формирования естественнонаучных теорий.

Редукционизм – сведение высшего к низшему, объяснение сложного через более простое.

Синергетика – наука о самоорганизации.

Схоластика – тип средневековой религиозной философии, представляющий собой синтез христианского богословия и логики Аристотеля.

Теизм – вера в единого, индивидуального, самодействующего Бога, существующего вне и над миром, хранителя и властителя мира.

Телеология – учение о цели или целесообразности; рассмотрение вещей только с точки зрения целесообразности.

Теология (учение о Боге) – система догм христианского вероучения.

Тесты

2.1. Особенности естествознания античного периода были

- 1) механицизм;
- 2) теологизм;
- 3) метафизичность;
- 4) абстрактность и отвлеченность.

2.2. Гелиоцентрическую систему мира впервые предложил...

- 1) Птолемей;
- 2) Аристотель;
- 3) Коперник;
- 4) Галилей.

2.3. Отличительной особенностью науки Средних веков было...

- 1) гуманистическое мировоззрение;
- 2) понимание природы как результата божественного творения;
- 3) представление о материальной первооснове всех вещей;
- 4) философское учение, сводящее все формы движения материи к механическому движению.

2.4. Особенности классической науки являются:

А) механицизм; Б) метафизичность; В) гуманизм; Г) теологизм; Д) абстрактность.

1) А, Б;

2) А, Д;

3) Б, В;

4) В, Г.

2.5. Укажите три основные научные программы античности:

А) теологизм; Б) математическая программа Пифагора–Платона; В) программа Аристотеля; Г) гелиоцентризм Коперника; Д) атомизм Левкиппа–Демокрита.

1) Б – В – Д;

2) А – Б – Д;

3) А – Б – В;

4) В – Г – Д.

Модуль 2

СОВРЕМЕННЫЕ ЕСТЕСТЕНОНАУЧНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Тема 3. Развитие научных исследовательских программ и картин мира

3.1. Развитие представлений о материи.

3.2. Развитие представлений о движении.

3.3. Развитие представлений о взаимодействии.

3.1. Развитие представлений о материи

Над вопросом «что есть мир?» задумались представители милетской школы – Фалес, Анаксимандр, Анаксимен. Именно представители милетской школы сформулировали исторически первую и наиболее фундаментальную проблему – проблему первоначала, из которого возникают все вещи и в

которое со временем они превращаются. На каком-то интуитивном уровне, на уровне чувственного восприятия люди осознают, что окружающий их мир представляет собой многообразие самых разнообразных вещей: деревья, кустарники, поля, реки, озера, сами люди – и что за этим многообразием вещей существует некое единое начало. Фалес считал, что началом всех вещей является вода. Анаксимандр источником всего сущего считал некое вечное, беспредельное, безграничное, бесконечное начало – апейрон (т.е. «беспредельное»). В этом вечном, находящемся в непрерывном движении неопределенном первовеществе возникает как бы зародыш всего будущего мира. Мир периодически возвращается в это первовещество.

Анаксимен считал воздух началом, основой мира. Всё возникает из воздуха через его разряжение и сгущение. Разряжаясь, воздух становится сначала огнем, затем эфиром, а сгущаясь – ветром, облаками, водой, землей и камнем. Гераклит из Эфеса – один из ярких мыслителей Греции, считал, что все в мире изменчиво, «всё течет». Ничто в мире не повторяется, всё преходяще и одноразово. В качестве основы мира, которая соответствует его постоянной подвижности, текучести, изменчивости он видел огонь, который в то время представлялся самым подвижным и изменчивым веществом. Так появляются идеи о единстве сущего, происхождении вещей из какого-либо природного первоначала (воды, воздуха, огня), а также о всеобщей одушевленности материи.

Следующий важный шаг был сделан пифагорейцами (Пифагором и его последователями), согласно которым мир кажется порождением мысленной абстракции. Основное мировоззренческое положение пифагорейцев – «всё есть число». Они воспринимали число как божественное начало, сущность мира, а в исследованиях числовых отношений видели средство спасения души, некий религиозный ритуал, очищающий человека и сближающий его с богами. Дальнейшее развитие представлений о материи получило в античной атомистике Демокрита – учении о дискретном строении материи, согласно которому весь мир состоит из пустоты и различающихся между собой

атомов, находящихся в вечном движении и взаимодействии. Демокрит считал, что пустота неподвижна и беспредельна; она не оказывает никакого влияния на находящиеся в ней тела, на бытие. И в этой пустоте, как пылинки в солнечном луче, перемещаются атомы, которые никогда не возникают и никогда не погибают. Они бывают разнообразной формы – шарообразные, угловатые, крючковатые, вогнутые, выпуклые. Дальнейшее развитие эти идеи получили в XVII веке. В период становления механической картины мира. Основу механической картины мира составил атомизм – теория, которая весь мир, включая человека, рассматривала как совокупность огромного числа неделимых материальных частиц – корпускул (атомов). Их перемещение в пространстве и времени осуществлялось в соответствии с законами механики. По сути, именно механика явилась первой фундаментальной физической теорией. Идеи, принципы и теории механики представляли собой совокупность наиболее существенных знаний о физических закономерностях. Полно отражали физические процессы в природе, такие как движение небесных тел, колебания земной коры, воздушные и морские течения и т.п. Важнейшим понятием механики как фундаментальной физической теории стала материальная точка – тело, формы и размеры которого не существенны в данной задаче, но важна его масса. Материальная точка стала основной абстракцией классической механики. Не случайно все законы Ньютона формулируются для материальной точки. Материальная точка и тело в классической механике стали не просто близкими по смыслу понятиями, а словами-синонимами. Итак, в соответствии с механической картиной мира единственной формой материи является вещество, состоящее из дискретных корпускул (атомов). Такие представления о материи господствовали вплоть до XIX в., когда пришло время говорить о появлении электромагнитной картины мира.

Долгое время ученые пытались объяснить электромагнитные явления в рамках механической картины мира. Но это оказалось невозможным: электромагнитные явления отличались от механических процессов.

Наибольший вклад в формирование электромагнитной картины мира внесли работы М. Фарадея и Дж. Максвелла. Стремясь объяснить природу электрических и магнитных явлений, Фарадей проводил много экспериментов с магнитной стрелкой. И в конце концов пришел к выводу, что вращение магнитной стрелки обусловлено особым состоянием окружающей среды, которое возникало в месте нахождения магнитной стрелки. Это означало, что во взаимодействии тока с магнитной стрелкой активную роль играет окружающая проводник – среда. В связи с этим он ввел понятие поля как множества магнитных силовых линий, пронизывающих пространство и способных определять и индуцировать электрический ток. Это открытие привело Фарадея к мысли о необходимости дополнения корпускулярных представлений о материи континуальными (полевыми). Отныне совокупность неделимых атомов переставала быть конечным пределом делимости материи. В качестве такового принималось единое абсолютно непрерывное бесконечное поле с силовыми точечными центрами – электрическими зарядами и волновыми движениями в нем. Согласно электромагнитной картине мира, материя существует в двух видах – вещество и поле. Они строго разделены, и их превращение друг в друга невозможно. Главным из них является поле, а значит, основным свойством материи является непрерывность в противовес дискретности. Электромагнитное поле распространяется в виде поперечных электромагнитных волн со скоростью света, заливая собой пространство. Заполнение пространства электромагнитным полем нельзя описать на основе законов Ньютона, так как механика не понимает этого механизма. В электромагнетизме изменение одной сущности – магнитного поля – приводит к появлению другой сущности – электрического поля. Обе эти сущности образуют в совокупности электромагнитное поле. Каждая электромагнитная волна характеризуется числом гребней, которые за секунду проходят мимо наблюдателя. Эту величину называют частотой излучения ν . Поскольку для

всех электромагнитных волн скорость в вакууме (c) одинакова, по частоте легко определить длину волны λ :

$$\lambda = c/\nu.$$

Совокупность всех электромагнитных волн образует так называемый сплошной спектр электромагнитного излучения. Он подразделяется на следующие диапазоны в порядке увеличения частоты и уменьшения длины волн:

- ✓ *Радиоволны* (применяются для телевидения и радиовещания).
- ✓ *Микроволны* – сантиметровые волны широко используются в спутниковой и сотовой связи и других телекоммуникационных системах. Короткие СВЧ-волны используются в «микроволновках».
- ✓ *Инфракрасные лучи*. Лучи этой части спектра человек ощущает кожей как тепло. Применяются в приборах ночного видения, тепловизорах.
- ✓ *Видимый свет* – человеческий мозг оснащен инструментом для выявления и анализа электромагнитных волн именно этой части спектра.
- ✓ *Ультрафиолетовые лучи*. Мягкие ультрафиолетовые лучи в солнечном спектре вызывают в умеренных дозах загар. Жесткий (коротковолновой) ультрафиолет губителен для биологических клеток и поэтому используется для стерилизации.
- ✓ *Рентгеновские лучи* – легко проникают сквозь мягкие ткани организма и поэтому незаменимы в медицинской диагностике.
- ✓ *Гамма-лучи* – состоят из фотонов сверхвысоких энергий и используются сегодня в онкологии для лечения раковых опухолей, точнее, для умерщвления раковых клеток.

Длина волны – важный параметр, поскольку она определяет пограничный масштаб: на расстояниях много больше длины волны излучение подчиняется законам геометрической оптики, его можно описывать как распространение лучей. На расстояниях, соизмеримых с длиной волны, необходимо учитывать волновую природу света, его

способность огибать препятствия, невозможность точно локализовать положение луча.

Современная научная картина мира говорит о существовании трех форм материи – вещество, физическое поле, физический вакуум.

Физический вакуум – это первичная субстанция, базовая форма материи, среда, охватывающая всю Вселенную, среда с низким (но не нулевым!) энергосодержанием. Благодаря этому в нем постоянно происходят виртуальные процессы (порождения и аннигиляции частиц и др.).

3.2. Развитие представлений о движении

Понятие движение, возможно, появилось еще в древнем Египте, Греции. Так в учении Гераклита из Эфеса стоит идея безостановочной изменчивости вещей, их текучести. Гераклит учил, что всё в мире изменчиво, «всё течет, всё меняется». Ничто в мире не повторяется, всё преходяще и одноразово. Мир всё время находится в состоянии становления. Становление это постоянное изменение, движение, преобразование, ведущее к созданию новых форм вне зависимости от того, какими эти новые формы являются – более сложными или более простыми, прогрессивными или регрессивными, высшими или низшими, и такие новые формы являются лишь повторением того, что уже однажды когда-то было. В качестве примера он приводил огонь, который в то время представлялся самым подвижным и изменчивым веществом. Согласно учению Аристотеля, движение – это неотъемлемый атрибут материи, без материи нет движения. Нет движения как такового, а есть движение конкретных материальных предметов. Существует большое разнообразие форм движения материи, которые можно свести к следующим:

✓ *механическая* – связана с перемещением и взаимодействием в пространстве твердых, газообразных и жидких тел;

✓ *физическая* – охватывает взаимодействие молекул и электромагнитные процессы, распространение и превращение тепловой энергии и т. п.;

- ✓ *химическая* – охватывает процессы образования молекул из атомов и превращения одних химических веществ в другие;
- ✓ *биологическая* – охватывает все виды жизнедеятельности растительных и животных организмов;
- ✓ *социальная* – совокупность всех видов общественной деятельности человека.

Долгое время в научной картине мира единственной формой движения считалось механическое перемещение, под которым понималось изменение с течением времени положения тела в пространстве относительно выбранной точки отсчета. Законы механики, которые регулировали как движение атомов, так и движение любых материальных тел, считались фундаментальными законами мироздания. По сути, движение объяснялось на основе трех законов Ньютона, сформулированных им в конце XVII в.

1-ый закон Ньютона (или закон инерции) говорит о существовании таких систем отсчета, относительно которых тело при отсутствии внешних воздействий движется прямолинейно и равномерно, либо покоится. Такие системы отсчета называются инерциальными. Таким образом, скорость тела сохраняется в отсутствие воздействий на него. Инерциальная система отсчета – это, в принципе, научная абстракция. Реальная система отсчета всегда связана с каким-либо конкретным телом (Землей, корпусом корабля, самолета или автомобиля), которое движется неравномерно.

2-ой закон Ньютона говорит о том, что воздействие на тело вызывает изменение его скорости (ускорение). Этот закон справедлив для инерциальных систем отсчета. При этом сила воздействия на тело равна силе его противодействия (3-ий закон Ньютона).

Законы Ньютона перестают быть справедливыми для движения объектов очень малых размеров, сравнимых с размерами атомов (например, элементарные частицы), и при движении со скоростями, близкими к скорости света.

Со становлением электромагнитной картины мира в XIX в. понятие движения несколько расширилось. Оно стало пониматься не только как простое механическое перемещение, но и как распространение колебаний волн в поле. Соответственно законы механики Ньютона уступили свое господствующее место законам электродинамики Максвелла. Классическими примерами волновых процессов являются интерференция и дифракция. *Интерференция* – сложение в пространстве двух или нескольких волн, при котором амплитуда результирующей волны в разных точках резко увеличивается или уменьшается. Явление интерференции происходит при взаимодействии двух и более волн одинаковой частоты, распространяющихся в одинаковых направлениях. Таким образом, интерференция является свойством волн как таковых и не зависит от свойств среды распространения.

Дифракция – явление, наблюдаемое при прохождении волн мимо края препятствия, связанное с отклонением распространения волн от прямолинейного распространения при взаимодействии с препятствием. Из-за дифракции волны огибают препятствие, проникая в область геометрической тени. Электромагнитная картина мира произвела настоящий переворот в физике. Она базировалась на идеях непрерывности материи, материального электрического поля, неразрывности материи и движения, связи пространства и времени как между собой, так и с движущейся материей. За последние сто лет в научных представлениях о строении мира произошли гигантские изменения. Сейчас мы знаем множество новых форм движения материи, связанных с внутриатомными процессами, с взаимодействием кварков, разнообразных физических полей и элементарных частиц, а также с другими видами материи, возникающими на стыке живой и неживой природы. По мере научного познания материального мира возникают новые виды материальных объектов и процессов, т.е. новые виды материи, а следовательно, и новые формы движения. Более сложным объектам и процессам соответствует и более сложная форма их движения. Чем сложнее

данный вид материи, тем разнообразнее формы движения, в которых она одновременно находится.

Так, живые организмы сложнее любого физического образования, состоящего из атомов, молекул. Им присуща биологическая форма движения, но вместе с тем они подчиняются и физическим законам, например законам притяжения, и химическим законам, которые управляют соединением молекул, образующих органы животных или растений и т.д. Человек включен в общественную форму движения, но одновременно – как живое существо – и в биологическую форму движения и т.д. Точно также планеты Солнечной системы включены в особые планетарные формы движения (например, Земля – в геологическую). Вместе с тем они представляют собой очень сложные системы, части и элементы которых включены в физическую, химическую и другие формы движения. Высшие, более сложные формы движения включают в себя более простые формы, сложившиеся на предшествующих ступенях развития. При этом более сложные формы нельзя свести к простым. Так, общество как особую форму движения нельзя свести к биологической форме движения. Попытка такого сведения означала бы разрушение общества и превращение людей в животных.

3.3. Развитие знаний о физических взаимодействиях

Представление о физическом взаимодействии тесно связано с концепцией движения. Аристотель, наблюдая явления окружающей среды, прекрасно знал, что стрела, выпущенная из лука, будет продолжать двигаться уже после того, как на неё перестает действовать сила натяжения тетивы. Продолжает лететь камень, выпущенный рукой метателя. У Аристотеля был свой ответ – теория «антиперистасиса». Суть ее состоит в том, что в момент бросания камня рука приводит в движение не только камень, но и окружающую среду, в данном случае воздух, сообщая окружающей среде некую способность передавать движение другим телам. Передвигаясь, камень сдвигает новый участок среды и т.д. Замедление в процессе такого

движения происходит за счет сопротивления среды, поскольку при передаче движения от камня к воздуху часть его теряется, и движение постепенно замедляется. Значит, в пустоте такого движения не должно происходить. Но как раз только в пустоте можно осуществить движение по инерции, когда на тело не действуют силы сопротивления. Но Аристотель пустоты не признавал, он даже смеялся над теми, кто пытался использовать это понятие. Таким образом, передача воздействия по Аристотелю осуществляется только через посредников, при непосредственном контакте. Взаимодействие понимается Аристотелем как действие движущего на движимое, т.е. одностороннее воздействие одного тела на другое.

Иной вид получила концепция взаимодействия с появлением механической картины мира. Так Ньютон говорил о том, что силы, возникающие при взаимодействии двух тел, всегда имеют одну природу (3-й закон Ньютона). Если, например, Земля притягивает Луну с силой тяготения, то равная по модулю и противоположно направленная сила, действующая со стороны Луны на Землю, также является силой тяготения. Вообще говоря, всё многообразие взаимодействий механическая картина мира сводила только к гравитационному, которое означало наличие сил притяжения между любыми телами. Величина этих сил определялась законом всемирного тяготения, который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы M и m , разделенными расстоянием r , пропорциональна обеим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Гравитационные силы проявляют себя только как силы притяжения: они стремятся сблизить частицы. Гравитационное отталкивание не обнаружено. Гравитационные силы являются универсальными, т.е. они действуют всегда и между любыми телами и сообщают любым телам одинаковое ускорение. Гравитация, в свою очередь, сама является источником гравитации, вызывает гравитационное притяжение. Гравитация возрастает по мере образования все больших скоплений вещества.

Решая проблему взаимодействия тел, Ньютон предложил принцип дальнего действия. Согласно этому принципу, взаимодействие между телами происходит мгновенно на любом расстоянии, без материальных посредников (через пустоту), т.е. промежуточная среда в передаче взаимодействия участия не принимает. Несмотря на то, что гравитация была первым взаимодействием, описанным математической теорией, а сам термин был введен в науку еще Аристотелем, это взаимодействие до сих пор остается наименее изученным из всех фундаментальных взаимодействий. До сих пор не создано полной и последовательной теории тяготения. Со времен Ньютона причину свойств тяготения до сих пор невозможно вывести из явлений природы.

Следующий этап в развитии представлений о взаимодействии связан с появлением классической электродинамики, законы функционирования которой отражены в уравнениях Максвелла. Сущность уравнений классической электродинамики сводится к эмпирическому закону Фарадея и закону Кулона, который эквивалентен закону всемирного тяготения Ньютона, – сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Ньютоновский принцип дальнего действия заменяется принципом ближнего действия, который утверждает, что любые взаимодействия передаются только через материального посредника – физическое поле, от точки к точке непрерывно и с конечной скоростью. Таким образом, взаимодействие передается с помощью полевого механизма: заряд создает соответствующее поле, которое действует на соответствующие заряды. Согласно современным воззрениям, все действующие в природе силы можно свести к четырем фундаментальным взаимодействиям: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное. Каждое из этих взаимодействий имеет сходство друг с другом и в то же время свои отличия.

Для любого взаимодействия справедлив квантово-полевой механизм передачи взаимодействий: заряд испускает виртуальные частицы-переносчики соответствующего взаимодействия, поглощаемые другими аналогичными зарядами. Каждому фундаментальному взаимодействию соответствует своя частица-переносчик этого взаимодействия:

- ✓ у электромагнитного – это фотоны,
- ✓ у гравитационного – гравитоны,
- ✓ у слабого – промежуточные векторные бозоны,
- ✓ у сильного – глюоны.

Многие характеристики фундаментальных взаимодействий определяются свойствами частиц-переносчиков: масштабы, в которых эффективно фундаментальное взаимодействие, определяются массой его частиц-переносчиков и способностью его зарядов взаимно компенсироваться. Стоит отметить, что каждое из четырех взаимодействий играет исключительно важную роль в нашей Вселенной. Благодаря глобальному характеру, *гравитация* ответственна и за такие крупномасштабные эффекты, как структура галактик, черные дыры, расширение Вселенной, и за элементарные астрономические явления – орбиты планет, и за простое притяжение к поверхности Земли, и за падения тел.

Электромагнитное взаимодействие – самое распространенное в окружающем нас мире (макромире). Трудно представить себе физический процесс или природное явление, где бы ни участвовало электромагнитное взаимодействие. Благодаря электромагнитным силам возникают атомы, молекулы, вещество, макроскопические тела, электромагнитным взаимодействием определяются свойства агрегатных состояний вещества, протекают химические реакции, проявляются силы трения, упругости, поверхностного натяжения. Электромагнитную природу имеют процессы ионизации, рекомбинации, давления света, фотосинтез, фоторасщепление ядер и многие другие.

Сильное взаимодействие обеспечивает не только устойчивость атомных ядер, но и создает возможность образования всего многообразия химических элементов, и является источником огромной энергии. Благодаря сильному взаимодействию происходят реакции термоядерного синтеза внутри звезд, в частности и в недрах Солнца.

Слабое взаимодействие – это тип взаимодействия, который меняет тип микрочастиц, превращая их в другие микрочастицы. Слабое взаимодействие играет исключительную роль в термоядерных реакциях на Солнце. Без слабого взаимодействия невозможен процесс превращения протона в нейтрон, позитрон и нейтрино. Благодаря особым свойствам слабого взаимодействия термоядерные реакции внутри Солнца и других звезд протекают ровно и спокойно, не носят взрывной характер. Слабые силы участвуют в процессах, приводящих к гравитационному коллапсу (сжатию) массивных звезд, что приводит к вспышкам сверхновых с последующим образованием нейтронных звезд и черных дыр.

Глоссарий

Атомизм – учение, согласно которому все вещи состоят из самостоятельных элементов (атомов).

Близкодействие – передача взаимодействия от тела к телу, от точки к точке с конечной скоростью, не превышающей скорость света в вакууме.

Взаимодействие – развертывающийся во времени и пространстве процесс воздействия одних объектов на другие путем обмена материей, энергией и движением.

Дальнодействие – теория, согласно которой действие тел друг на друга передается мгновенно через пустоту на любое расстояние без каких-либо посредствующих звеньев.

Дискретный – прерывистый, состоящий из отдельных частей.

Инерция – (в широком смысле) бездеятельность, отсутствие инициативы, активности.

Континуальность – непрерывность, неразрывность явлений, процессов; антоним дискретности.

Материя – объективная реальность, существующая независимо от человеческого сознания.

Электродинамика – классическая теория электромагнитных процессов в различных средах. Все электромагнитные явления можно описать с помощью уравнений Максвелла, которые устанавливают связь величин, характеризующих электрическое и магнитное поля, с распределением в пространстве зарядов и токов. Из теории Максвелла вытекает конечность скорости распространения электромагнитных взаимодействий и существование электромагнитных волн.

Тесты

3.1. В механической картине мира выделяли следующие формы материи:

- 1) вещество, состоящее из дискретных корпускул;
- 2) вещество, физическое поле;
- 3) вещество и физический вакуум;
- 4) вещество, физическое поле и физический вакуум.

3.2. Авторы атомистической программы, Левкипп и Демокрит, утверждали:

1) материя – это совокупность мельчайших корпускул (неделимых, непроницаемых атомов), которые движутся по законам классической механики;

2) существует несколько различных форм материи, но резкой грани между ними нет;

3) существует два вида реальности: дискретное атомистическое вещество и непрерывное электромагнитное поле;

4) мир состоит из бесчисленного числа атомов, расположенных в бесконечном пустом пространстве.

3.3. Фундаментальные взаимодействия по величине относительной интенсивности (от большей к меньшей) располагаются в следующем порядке:

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

3.4. Согласно механизму дальнего действия любой вид взаимодействия передается:

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

3.5. Существование атома обусловлено ... взаимодействием:

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

Тема 4. Порядок и беспорядок в природе

4.1. Динамические и статистические закономерности в природе.

4.2. Концепции квантовой механики.

4.3. Принцип возрастания энтропии.

4.4. Закономерности самоорганизации. Принципы универсального эволюционизма.

4.1. Динамические и статистические закономерности в природе

Под динамическими закономерностями понимаются такие, в которых связи всех физических величин однозначны. В статистических закономерностях однозначно связаны только вероятности определенных

значений тех или иных физических величин, а связи между самими величинами неоднозначны. Мы уже познакомились с историей естествознания как науки, которая берет своё начало с античных времен. Именно во времена античности был сформулирован принцип детерминизма. В соответствии с этим принципом любые события влекут за собой определенные следствия и в то же время представляют собой следствие из некоторых других событий, совершавшихся ранее. Демокрит понимал принцип детерминизма механистически, отождествляя причинность и необходимость. Все, что происходит в мире, не только причинно обусловлено, но и необходимо, неизбежно. Он отвергал объективное существование случайности, говоря, что человек называет событие случайным, когда не знает (или не хочет узнать) причины события. Эти взгляды Демокрита легли в основу так называемого «жесткого детерминизма» как идеи полной предопределенности всех будущих событий. Однако Эпикур не разделял этих взглядов и создал свое учение о неустранимой случайности в движении атомов. Он говорил: «Лучше уж следовать мифу о богах, чем быть рабом физиков; миф дает надежду умилоствить богов, а судьба заключает в себе неумолимую необходимость». Тем не менее концепция детерминизма господствовала еще долгое время, а с появлением классической механики достигла своего пика развития. В XVII в. сформировался механистический детерминизм, в основе которого лежала лапласова концепция полной выводимости всего будущего (и прошлого) Вселенной из ее современного состояния с помощью законов механики.

Опираясь на мощный аналитический аппарат механики, Лаплас пришёл к выводу, что, поскольку все планеты вращаются в одном направлении, их орбиты имеют весьма малые эксцентриситеты и мало отличаются от окружностей, их взаимные наклонения и наклонения к эклиптике имеют незначительные величины, то всеобщего тяготения достаточно для сохранения Солнечной системы. Всеобщее тяготение позволяет изменяться

формам и наклонениям орбит, но только в определенных пределах. Эти изменения носят периодический характер и по истечении определенного времени возвращаются к своему среднему состоянию. Таким образом, в науке надолго закрепилось детерминистское описание мира с помощью динамических теорий, которые однозначно связывают между собой значения физических величин, характеризующих состояние системы. Примеры динамических теорий:

- ✓ механика;
- ✓ электродинамика;
- ✓ термодинамика;
- ✓ теория относительности;
- ✓ эволюционная теория Ламарка;
- ✓ теория химического строения.

Итак, согласно классической механике, зная начальное состояние системы и законы движения, можно однозначно определить состояние системы во все последующие моменты времени, однозначно определить траектории движения частиц. Траектории движения дают полное описание поведения частиц в прошлом, настоящем и будущем, то есть характеризуются свойствами детерминированности и обратимости. Здесь полностью исключается элемент случайности. Всё заранее жестко причинно-следственно обусловлено. Возникновение теории относительности не изменило установившегося в классической физике детерминистского подхода.

В релятивистской теории, несмотря на совершенно иной взгляд на пространство-время, вся эволюция физических явлений также определяется знанием начальных условий и дифференциальных уравнений движения, на основе чего однозначно можно охарактеризовать состояние системы в прошлом, настоящем и будущем в любой заданный момент времени. То есть при описании четырехмерного пространства теория относительности предполагает заданной всю совокупность состояний, соответствующих

любому моменту времени (для каждого наблюдателя как совокупность состояний по мере течения его собственного времени).

Классическая равновесная термодинамика вводит две однозначные функции состояния – внутреннюю энергию и энтропию. Понятие равновесности процессов, протекающих бесконечно медленно, практически снимает вопрос о рассмотрении эволюции систем. Поэтому с помощью термодинамики устанавливаются связи между термодинамическими параметрами различных равновесных состояний. Что касается классической электродинамики, то и здесь состояние электромагнитного поля задается конкретными значениями векторов напряженностей и индукцией электрических и магнитных полей. Уравнения Максвелла позволяют по заданным начальным значениям этих величин внутри некоторого объема (и граничным условиям) однозначно определить величину электромагнитного поля в любой последующий момент времени.

Однако задание начального состояния системы абсолютно точно не всегда возможно, точнее вообще невозможно вследствие неизбежной погрешности измерений. Поэтому все теории носят приближенный характер и действуют в определенных рамках, называемых границами применимости теорий или физических законов. Мы уже убедились в существовании трех ограничений в применимости законов Ньютона: во-первых, если скорость рассматриваемых тел близка к скорости света, то нужно применять релятивистскую механику СТО.

Во-вторых, в случае сильных гравитационных полей следует пользоваться теорией тяготения Эйнштейна, то есть ОТО. Проявление гравитации как искривления пространства-времени приводит к неадекватности описания поведения частицы в искривленном пространстве с помощью теории Ньютона.

В-третьих, классическая ньютоновская механика не работает в микромире; аппаратом, описывающим движение микрообъектов, является квантовая механика.

Более того, существуют системы с динамическим хаосом, для которых любая допущенная в измерениях или расчетах погрешность очень быстро нарастает с течением времени. Примерами систем с динамическим хаосом могут служить погода и климат, турбулентность, фондовые рынки. Описание систем с хаосом и беспорядком связывают между собой вероятности тех или иных значений физических величин.

Примеры статистических теорий:

- ✓ молекулярно-кинетическая теория;
- ✓ квантовая механика;
- ✓ эволюционная теория Дарвина;
- ✓ молекулярная генетика.

Молекулярно-кинетическая теория позволяет описать поведение системы, состоящей из огромного числа частиц (например, газ). Состояние такой системы характеризуют неполным набором значений координат и импульсов всех частиц, а вероятностью того, что эти значения лежат внутри определенных интервалов. Тогда состояние системы задается с помощью функции распределения, зависящей от координат, импульсов всех частиц системы и от времени. Функция распределения интерпретируется как плотность вероятности обнаружения той или иной физической величины. По известной функции распределения можно найти средние значения любой физической величины, зависящей от координат и импульсов, и вероятность того, что эта величина принимает определенное значение в заданных интервалах. В квантовой механике вектором состояния является волновая функция, представляющая собой амплитуду вероятности. Уравнение Шредингера однозначно описывает эволюцию состояния с течением времени. Волновая функция представляет собой таким образом полную характеристику состояния: зная волновую функцию, можно вычислить вероятность обнаружения определенного значения любой физической величины и средние значения всех физических величин.

Существует важное различие между описанием состояния в статистической физике и в квантовой механике. Оно состоит в том, что состояние в квантовой механике описывается не плотностью вероятности, а амплитудой вероятности. Плотность вероятности пропорциональна квадрату амплитуды вероятности. Это и приводит к сугубо квантовому эффекту интерференции вероятностей. Как уже отмечалось выше, идеалом классического описания физической реальности считалась динамическая детерминированная форма законов физики. Поэтому первоначально физики негативно относились к введению вероятности в законы. Многие считали, что вероятность в законах свидетельствует о мере нашего незнания. Однако это не так. Статистические законы также выражают необходимые связи в природе. Действительно, во всех фундаментальных статистических теориях состояние представляет собой вероятностную характеристику системы, но уравнения движения по-прежнему однозначно определяют состояние (статистическое распределение) в любой последующий момент времени по заданному распределению в начальный момент. Главное отличие статистических законов от динамических состоит в учете случайного – флуктуаций. Можно сказать, динамические законы представляют собой первый низший этап в процессе познания окружающего нас мира; статистические законы обеспечивают более полное отображение объективных связей в природе: они выражают следующий, более высокий этап познания. Таким образом, динамические и статистические теории находятся в соответствии: их предсказания совпадают, когда можно пренебречь флуктуациями; в остальных случаях статистические теории дают более глубокое, детальное и точное описание реальности.

4.2. Концепции квантовой механики

К началу XX в. обозначились физические явления, свидетельствующие о неприменимости механики Ньютона и классической электродинамики к процессам, происходящим на уровне атомов, электронов и фотонов.

Проблемы возникали при понимании поведения электрона, когда он в соответствии с классическими воззрениями должен был вынужден упасть на атомное ядро, т.к., двигаясь по круговой орбите, он отдавал энергию. Это привело к созданию совершенно новой теории – квантовой механики. 14 декабря 1900 г. на заседании Немецкого физического общества Макс Планк сделал доклад «К теории распределения энергии излучения в нормальном спектре», в котором представил свою квантовую гипотезу. Квантовая гипотеза Планка состояла в том, что для элементарных частиц, любая энергия поглощается или испускается только дискретными порциями (квантами). Дату этого события часто считают днем рождения квантовой теории. В 1923 г. Луи де Бройль выдвинул идею двойственной природы вещества, опирающуюся на предположение о том, что поток материальных частиц обладает и волновыми свойствами, неразрывно связанными с массой и энергией. Движение частицы Луи де Бройль сопоставил с распространением волны, что в 1927 г. получило экспериментальное подтверждение при исследовании дифракции электронов в кристаллах, что легло в основу идеи корпускулярно-волнового дуализма. Это стало важным этапом в развитии физики, поскольку дало возможность рассматривать частицы не только как корпускулы, но и как волны. А, как известно, волну нельзя локализовать. Отсюда вытекает одно из фундаментальных положений квантовой механики – невозможность точной локализации движущейся частицы в определенной точке пространства. В связи с этим понятия положения (координат) и траектории движения микрочастиц в квантовой механике не имеют смысла. Однако в ряде случаев и к микрообъектам, например свободно движущемуся электрону или электронам в электроннолучевой трубке и т.п., приходится применять классические представления и пользоваться понятиями координат и траектории. В этом случае вычисление соответствующих величин может приводить к некоторой неопределенности, порядок которой устанавливают с помощью предложенных Гейзенбергом соотношений неопределенностей: чем точнее

определена какая-либо из координат частицы, тем больше неопределенность составляющей импульса в том же направлении, и наоборот. Этот принцип, по сути, является основой физической интерпретации квантовой механики, её математического аппарата.

Дальнейшие исследования показали, что электрон не является точкой. Он обладает внутренней структурой, которая может меняться в зависимости от его состояния, поэтому описать структуру атома, исходя из представлений классической механики, нельзя. Вследствие своей волновой природы электроны и их заряды как бы распределены по всему атому, но в некоторых местах электронная плотность заряда больше, а в других – меньше. Кривая, связывающая точки максимальной плотности, называется орбитой электрона. К сожалению, процессы в атоме в принципе нельзя наглядно представить в виде механистических моделей по аналогии с событиями в макромире. Тем не менее в 1927 г. гипотеза о волновой природе электронов получила блестящее экспериментальное подтверждение: была обнаружена дифракция электронов на кристаллических решетках. Явление типично волновое, измеренная длина волны оказалась в точном соответствии с формулой де Бройля. Таким образом был сформулирован принцип дополнительности, который гласит, что полное понимание природы микрообъекта требует учета как его корпускулярных, так и волновых свойств, хотя они не могут проявляться в одном и том же эксперименте. В широком смысле принцип дополнительности означает, что для полного понимания любого предмета или процесса необходимы несовместимые, но взаимодополняющие точки зрения на него. Более того, невозможны не возмущающие измерения, т.к. измерение одной величины делает невозможным или неточным измерение другой, дополнительной к ней величины. Состояние движения микрочастицы в квантовой механике описывается некоторой функцией от координат и времени, которая называется волновой или пси-функцией (Ψ -функция). В зависимости от конкретных условий волновая функция может иметь различный вид. В 1926 г. немецкий ученый Макс Борн дал следующую

интерпретацию электрону как волне материи – это волны вероятности; поведение электрона описывается волновой функцией $\Psi(r, t) = \Psi(x, y, z, t)$; при этом значение $|\Psi|^2$ численно равно значению вероятности нахождения электрона в том или ином месте. Электрон может находиться везде, где $|\Psi|^2 > 0$. Таким образом, волновая функция не определяет положения частицы в пространстве, она является только вероятностной характеристикой этого положения: указывает вероятность нахождения микрочастицы в некотором достаточно малом объеме пространства в окрестности точки с координатами x, y, z . Модуль волновой функции характеризует распределение (плотность) вероятности нахождения микрочастицы в заданном объеме пространства в условиях стационарного режима состояния частицы. Австрийский ученый Эрвин Шредингер предложил знаменитое уравнение для $\Psi(r, t)$ – основное динамическое уравнение нерелятивистской квантовой механики, получившее название уравнения Шредингера. Оно устанавливает связь между массой частицы m , движущейся под действием силы, порождаемой потенциалом U и функцией Ψ . Из уравнения Шредингера можно определить допустимые энергии электронов в атоме, которые предсказал (по крайней мере, для атома водорода) Н. Бор. Электрон в атоме водорода вследствие своих волновых свойств может быть обнаружен в любой его точке, но с различной вероятностью, которая устанавливается путем вычисления модуля соответствующей Ψ -функции. Совокупность точек возможных положений электрона в объеме атома называется орбиталью. Орбиталь условно изображается в виде пространственного облака, плотность или густота которого характеризует распределение вероятности нахождения электрона (следовательно, и распределение его заряда в различных точках объема атома). Размеры, форма и расположение электронного облака относительно координатных осей обуславливаются значением Ψ -функции, которое, в свою очередь, определяется соответствующими квантовыми числами: главным, орбитальным, магнитным и спиновым.

4.3. Принцип возрастания энтропии

Одним из главных, если не главным достижением естествознания XIX в. явилось признание энергии как наиболее общего понятия, позволяющего рассматривать с единой точки зрения все явления и процессы. Сегодня понятие энергии настолько прочно вошло в нашу жизнь, что очень трудно представить себе истинный масштаб интеллектуального достижения, которое заключено в формулировке этого понятия, не менее трудно дать ему точное определение. В наиболее общем виде, энергия – это единая мера различных форм движения. Существует несколько форм движения:

- ✓ механическая,
- ✓ физическая,
- ✓ химическая,
- ✓ биологическая,
- ✓ социальная.

Аналогично и энергия существует в различных видах и формах: внутренняя, химическая, механическая, электрическая. Внутренняя энергия – это форма энергии, связанная с движением атомов, молекул или других частиц, из которых состоит тело. Если система не совершает работы, то в соответствии с первым началом термодинамики внутренняя энергия равна тепловой энергии. Химическая энергия – это энергия, выделяемая или поглощаемая при химической реакции. Механическая энергия включает в себя два вида энергии: энергию движения – кинетическую – и потенциальную – энергию взаимодействия. Стоит отметить, что данное разделение на различные виды энергии довольно условно. Так, тепловая энергия может выделяться благодаря химическим реакциям (горение), ядерным реакциям (ядерный синтез), механическим взаимодействиям (трение). Тепло может передаваться между телами с помощью теплопроводности, конвекции или излучения. Переход энергии из одной формы в другую означает, что энергия в данной ее форме исчезает, превращается в энергию в иной форме. При этом переход энергии из одной

формы в другую происходит с соблюдением количественной эквивалентности, т.е. выполняется закон сохранения полной энергии. Закон сохранения энергии гласит, что в изолированной (замкнутой) системе энергия может переходить из одного вида в другой, но ее количество остается неизменным (постоянным). Этот закон первоначально зародился при рассмотрении систем, в которых существенную роль играют тепловые процессы. В термодинамике закон сохранения энергии формулируется в виде, связанном с сообщением системе некоторого количества теплоты и совершением ею работы над внешними телами. Это так называемое первое начало термодинамики: количество теплоты, сообщенное телу (системе), идет на увеличение его (ее) внутренней энергии и на совершение телом (системой) работы: $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$. Таким образом, работа и теплота выступают как меры изменения внутренней энергии некоторой системы, но в чем же разница между работой и теплотой? Если представить систему некой совокупностью частиц, то работа соответствует упорядоченному, коррелированному движению всех частиц в одном направлении с одинаковой скоростью, например согласованному движению молекул летящего теннисного мяча. Теплота соответствует случайному, хаотическому, некоррелированному, некогерентному, неупорядоченному движению частиц в ансамбле. Поскольку перемещаемое тело имеет температуру $T > 0$, то в нём параллельно существуют как упорядоченный, так и хаотический компоненты движения элементов системы. Из первого начала термодинамики следует важный вывод: невозможен вечный двигатель первого рода, т.е. такой двигатель, который бы совершал работу без внешнего источника энергии. В более общей форме первое начало термодинамики можно сформулировать следующим образом: в изолированной (замкнутой) системе энергия может переходить из одного вида в другой, но её количество остается неизменным (постоянным). Нет никаких оснований утверждать, что где-нибудь когда-нибудь этот закон нарушался. По современным представлениям, закон

сохранения энергии есть следствие одного из видов симметрии – однородности времени.

Изолированная система – это система, которая не обменивается с внешней средой (т.е. со всем, что находится вне системы) энергией (в том числе и веществом – эквивалентом энергии). Изолированных систем на самом деле нет, но условно можно рассмотреть, например, аквариум, Землю, термос как приближение к ним. Открытая, неизолированная система обменивается веществом и энергией с другими системами. Как правило, термодинамические системы состоят из столь огромного числа частиц (атомов, молекул), их состояние можно характеризовать макроскопическими термодинамическими параметрами: плотностью, давлением, концентрацией веществ, образующих систему и т.д. Если эти параметры системы с течением времени не изменяются, то говорят, что система находится в термодинамическом равновесии.

Энтропия же – это макроскопический параметр, позволяющий характеризовать состояние системы в целом, не вникая в свойства системы на атомном уровне. В изолированной термодинамической системе энтропия постоянно возрастает и, в конечном счете, стремится к своему максимальному значению (энтропия замкнутой системы не может убывать). Это современная формулировка, классики же термодинамики формулировали этот закон по-другому:

– «полное преобразование теплоты в работу без каких-либо изменений в окружающей среде невозможно» (Кельвин);

– «самопроизвольный переход теплоты от менее нагретого (холодного) тела к более нагретому невозможен» (Клаузиус).

Важным следствием второго начала термодинамики является невозможность создания вечного двигателя второго рода, который бы внутреннюю энергию тела мог превратить в полезную работу. Дело в том, что в более широком смысле под энтропией понимают меру качества, то есть меру концентрации и упорядочения энергии. Разные виды энергии обладают

разным качеством. Так, например, упорядоченное движение частиц твердого тела (механическое движение) обладает бóльшим качеством, чем хаотичное движение этих же частиц с той же средней скоростью (тепловое движение). Поэтому любое механическое движение при наличии трения сопровождается самопроизвольным превращением части механической энергии в тепловую. Поэтому иногда используют такие формулировки второго закона термодинамики: невозможно создать машину с КПД = 1. В качестве холодильника может выступать только космос, в который Земля «сбрасывает» излишки тепла. За счет этого ресурса во многом формируется энергия ветров. Таким образом, энтропия выступает как мера некачественности энергии. В соответствии с этим, второй закон термодинамики выступает как принцип нарастания беспорядка и разрушения структур.

Наличие упорядоченных структур, типа кристаллических решеток, живых организмов и т.п., способствует упорядочению движения частиц за счет уменьшения их степеней свободы. Поэтому принцип роста энтропии требует роста количества степеней свободы в каждом реальном процессе превращения энергии. Поэтому все упорядоченные структуры имеют тенденцию к разрушению. «Все разрушается, все умирает, все приходит в хаос» – это еще одна формулировка второго начала термодинамики.

Правда, помимо такого разрушения есть еще один способ увеличения количества степеней свободы – усложнение структуры системы. Именно по этому пути движется глобальный эволюционный процесс. При этом природа никогда не стремится достичь полного хаоса на данном уровне системной иерархии. Тогда эволюция Вселенной остановилась бы достаточно быстро. Обычно в пределах данного иерархического уровня открываются некоторые устойчивые структуры, из которых строятся более высокие иерархические уровни, характеризующиеся большими значениями максимально возможной энтропии, чем на предыдущем уровне. Это дает возможность непрерывному росту энтропии. Так обычно тенденция к возникновению хаоса реализуется в

стремлении вещества к рассеянию (например, растворение сахара в воде). Но в случае сложных органических соединений большой хаос (рассеяние энергии) может быть достигнут именно при концентрации вещества. Например, капли масла, рассеянные в воде, стремятся слиться в одну большую каплю. Дело в том, что молекулы воды «окутывают» молекулу углеводорода своеобразной упорядоченной оболочкой. Поэтому чем больше поверхность масла, тем более упорядоченными оказываются молекулы воды, чего природа допустить не может. Поэтому в хаосе движения капель они обязательно рано или поздно примут состояние с наименьшей поверхностью, то есть сольются в одну большую каплю. Это, вероятно, послужило в свое время началом одноклеточной жизни. Например, в растворе белковых молекул формируются так называемые коацерватные капли, имеющие стабильную и иногда достаточно сложную структуру и поглощающие из раствора строго определенные вещества.

4.4. Закономерности самоорганизации. Принципы универсального эволюционизма.

Все сложные системы являются открытыми и постоянно обмениваются веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Установлено, что при определенных условиях в открытых системах могут возникать процессы самоорганизации. Самоорганизация – это скачкообразный природный процесс, переводящий открытую неравновесную систему, достигшую критического состояния, в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем упорядоченности по сравнению с исходным.

Критическое состояние – это состояние крайней неустойчивости, достигаемое открытой неравновесной системой в ходе предшествующего периода плавного, эволюционного развития. Примеров процессов самоорганизации можно привести достаточно много. Все слышали о лазерах. Эти приборы создают высокоорганизованное оптическое излучение. В лазере, в активной среде резонатора, под воздействием внешнего светового

поля (при «накачке») благодаря поступлению энергии извне частицы начинают колебаться в одной фазе. В результате возникает когерентное, или согласованное, взаимодействие, формирующее узконаправленный луч монохроматических (одной частоты) квантов света. Классическим также считается пример превращения ламинарного течения жидкости в турбулентное. Каждый человек не раз наблюдал это явление, когда смотрел, как стекает вода из ванной. Пока воды в ванной мало, она стекает ламинарно (жидкость движется слоями по направлению течения). Но если воды много, давление на нижний слой заставляет воду стекать быстро. Это приводит к формированию вихреобразной вращающейся воронки, т.е. к появлению турбулентности. Еще один опыт впервые был проведен в 1900 г. физиком Х. Бенаром. Он наливал ртуть в плоский сосуд, подогреваемый снизу. Когда разность температур верхнего и нижнего слоёв ртути достигала некоторого критического значения, верхний слой образовывал множество шестигранных призм, похожих на пчелиные соты. Они получили название ячеек Бенара и служат классическим примером спонтанного образования структур, причем оно происходит за счет внутренней перестройки связей между элементами системы. В химии примером самоорганизации могут служить так называемые «химические часы» или реакция Белоусова–Жаботинского. Если в пробирку слить раствор некоторых кислот, сульфат церия и бромид калия, то за ходом идущей окислительно-восстановительной реакции можно следить по изменению цвета промежуточных продуктов. На протяжении получаса цвет строго периодически будет меняться с красного на синий и наоборот. У всех приведенных примеров есть общий алгоритм: огромное множество элементов, составляющих эти системы, как по команде, начинают вести себя скоординировано, согласованно, хотя до этого пребывали в состоянии хаоса. Более того, эта возникшая упорядоченность не распадается, а продолжает устойчиво существовать.

Синергетика – это наука о самоорганизации систем, о превращении хаоса в порядок. Необходимые условия самоорганизации: открытость,

неравновесность и нелинейность системы. Открытость – важнейшее свойство самоорганизующихся систем, которые постоянно обмениваются веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Именно открытость является причиной неравновесности систем. Если закрытые системы, для которых и были сформулированы начала классической термодинамики, неизбежно стремятся к однородному равновесному состоянию – состоянию термодинамического равновесия, то открытые системы меняются, причем необратимо, в них важным оказывается фактор времени. При определенных условиях и значениях параметров, характеризующих систему и изменяющихся под воздействием изменений окружающей среды, система переходит в состояние существенной неравновесности – критическое состояние, сопровождаемое потерей устойчивости. Ведь любая система остается сама собой только в определенных рамках. Так, например, вода остается водой только при температуре от 0 до 100° С при нормальном атмосферном давлении. За границами этих условий она превращается в лёд или пар. Самым главным признаком неравновесности системы является наличие потоков вещества, энергии, заряда и т.д. Поток энергии, вещества или информации уводит физическую, химическую, биологическую или социальную системы далеко от состояния термодинамического равновесия. Изменяя температуру, уровень радиации, давление и т.д., мы можем управлять системами извне. Из критического состояния существенной неравновесности системы всегда выходят скачком. Скачок – это крайне нелинейный процесс, при котором даже малые изменения управляющих параметров системы вызывают ее переход в новое качество. Например, при снижении температуры воды до определенного значения она скачкообразно превращается в лед. Около критической точки перехода достаточно изменить температуру воды (управляющий параметр) на доли градуса, чтобы вызвать ее практически мгновенное превращение в твердое тело. Чтобы система могла не только поддерживать, но и создавать упорядоченность из хаоса, она непременно должна быть открытой и иметь приток вещества, энергии и

информации извне. Именно такие системы названы Пригожиным диссипативными. Диссипативность – это особое динамическое состояние, когда из-за процессов, протекающих с элементами неравновесной системы, на уровне всей системы проявляются качественно новые свойства и процессы. Благодаря диссипативности в неравновесных системах могут спонтанно возникать новые структуры, происходить переход к порядку из хаоса. Очень важно отметить, что переход диссипативной системы из критического состояния в новое устойчивое состояние неоднозначен. Сложные неравновесные системы имеют возможность перейти из неустойчивого положения в одно из нескольких возможных устойчивых состояний. В какое именно из них совершится переход – дело случая. Это связано с тем, что в системе, пребывающей в критическом состоянии, развиваются сильные флуктуации. Под действием одной из них и происходит скачок в конкретное устойчивое состояние. Поскольку флуктуации случайны, то и «выбор» конечного состояния оказывается случайным. Но после совершения перехода назад возврата нет. Скачок носит одnorазовый и необратимый характер. Критическое значение параметров системы, при которых возможен неоднозначный переход в новое состояние, называют точкой бифуркации. В том, что точки бифуркации – это не абстракция, может убедиться каждый человек. Ведь человек и его жизнь тоже являются сложной открытой неравновесной системой. У каждого из нас периодически возникают ситуации, когда мы стоим перед выбором своего дальнейшего жизненного пути. И очень часто наш выбор определяется случайным стечением обстоятельств.

Системный подход и глобальный эволюционизм являются важнейшими составными частями современной научной картины мира. Она выглядит следующим образом. Мир, в котором мы живем, состоит из разномасштабных открытых систем, развитие которых протекает по единому алгоритму. В основе этого алгоритма заложена присущая материи способность к самоорганизации, проявляющаяся в критических точках

системы. Самая крупная из известных человеку систем – это развивающаяся Вселенная. Вся ее история – от Большого взрыва до возникновения человека – предстает как единый процесс материальной эволюции, самоорганизации, саморазвития материи. При этом весь мир представляет собой единое целое, иерархически организованную систему. Это и есть идея глобального (или универсального) эволюционизма.

Глоссарий

Бифуркация – вилообразное разделение на два возможных равноправных варианта развития системы.

Внутренняя энергия – это форма энергии, связанная с движением атомов, молекул или других частиц, из которых состоит тело. Если система не совершает работы, то, в соответствии с первым началом термодинамики, внутренняя энергия равна тепловой энергии.

Динамический хаос – состояние открытой нелинейной системы, когда возможно появление состояния (бифуркации), в котором эволюция системы имеет вероятностный характер. При этом нелинейные системы как бы «выбирают сами» различные траектории развития.

Квантовая механика – теория, устанавливающая способ описания и законы движения квантовых микробиъектов (электронов, атомов, молекул). В основе лежит волновое уравнение Э. Шредингера, данное им в 1926 году.

Принцип детерминизма (принцип причинности) – принцип, устанавливающий причинно-следственную связь между явлениями и допустимыми пределами влияния физических событий друг на друга. Он исключает влияние данного события на все происшедшие, а также требует отсутствия взаимного влияния событий, пространственное расстояние между которыми столь велико, а временной интервал между ними столь мал, что они не могут быть связаны сигналом (например, световым).

Принцип дополнительности – одно из фундаментальных положений квантовой теории, согласно которому получение экспериментальной

информации об одних величинах, описывающих микрообъект, неизбежно связано с потерей информации о некоторых других величинах, дополнительных к первым.

Релятивистская механика – наука, рассматривающая классические законы механического движения тел (частиц) при скоростях, сравнимых со скоростью света.

Самоорганизация – скачкообразный процесс, приводящий открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния (точки бифуркации), в новое устойчивое состояние. Сильнонеравновесная самоорганизация приводит к увеличению уровня сложности и упорядоченности по сравнению с исходным.

Синергетика – наука о самоорганизации, т.е. наука о сложных системах, целью которой является выявление общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения структур в неравновесных системах различной природы.

Соотношение неопределённостей – фундаментальное свойство микрообъектов и микромира (микрофизики), в целом всей квантовой физики, квантового мировоззрения, состоящее в невозможности установить точные значения дополнительных друг другу физических величин (координат и импульса, энергии и времени) одновременно, поскольку микрообъектам присущ корпускулярно-волновой дуализм.

Степени свободы – число независимых координат, которые полностью определяют положение тел в пространстве.

Флуктуация – случайные отклонения физических величин (например, плотность, температура) от их среднего значения, характеризующих систему из большого числа частиц.

Энтропия – физическая величина, определяющая меру хаоса (беспорядка).

Тесты

4.1. Статистическая теория позволяет описать...

- 1) поведение систем точными значениями физических характеристик;
- 2) поведение систем вероятностями значений физических характеристик;
- 3) точно предсказать поведение систем в критический момент развития;
- 4) непредсказуемое поведение систем.

4.2. Среди указанных теорий назовите динамическую

- 1) классическая механика;
- 2) квантовая механика;
- 3) кинетическая теория газов;
- 4) неравновесная термодинамика.

4.3. В процессе самоорганизации происходит образование... структуры.

- 1) равновесной неустойчивой;
- 2) неравновесной устойчивой;
- 3) неравновесной неустойчивой;
- 4) равновесной, неспособной к равновесию.

4.4. Энтропия является мерой...

- 1) упорядоченности;
- 2) и порядка, и хаоса;
- 3) беспорядочности и хаотичности;
- 4) изменения энергии.

Тема 5. Структурные уровни и системная организация материи

5.1. Системные уровни организации материи.

5.2. Микро-, макро-, мегамиры.

5.3. Структура мегамира.

5.1. Системные уровни организации материи

Материя представляет собой бесконечное множество всех сосуществующих в мире объектов и систем, совокупность их свойств, связей, отношений и форм движения. Не только непосредственно наблюдаемые, но и всё то, что не дано в ощущениях. Весь окружающий мир – это движущаяся материя в её бесконечно разнообразных формах и явлениях со всеми свойствами, связями и отношениями. В этом мире все объекты обладают внутренней упорядоченностью и системной организацией. Упорядоченность проявляется в закономерном движении и взаимодействии всех элементов материи, благодаря чему они объединяются в системы. Весь мир предстает как иерархически организованная совокупность систем, где любой объект одновременно является самостоятельной системой и элементом другой, более сложной системы. Согласно современной естественнонаучной картине мира, все природные объекты представляют собой упорядоченные, структурированные, иерархически организованные системы.

Вся материя делится на два больших класса материальных систем – неживую и живую природу. В системе неживой природы структурными элементами являются: элементарные частицы, атомы, молекулы, поля, макроскопические тела, планеты и планетарные системы, звезды и звездные системы, галактики, метagalaktiki и Вселенная в целом. В живой природе основными элементами выступают белки и нуклеиновые кислоты, клетка, одноклеточные и многоклеточные организмы, органы и ткани, популяции, биоценозы, живое вещество планеты. Но стоит отметить, что в природе всё взаимосвязано, поэтому можно выделить и такие системы, которые включают в себя элементы как живой, так и неживой природы – биогеоценозы.

Структура – это совокупность связей между элементами системы. Поэтому любая система состоит не только из подсистем и элементов, но и из разнообразных связей между ними. Внутри этих уровней главными являются горизонтальные связи, а между уровнями – вертикальные. Координационные связи – это связи координации между однопорядковыми элементами. Они

носят коррелирующий характер: ни одна часть системы не может измениться без того, чтобы не изменились другие части. Субординационные связи – это связи соподчинения элементов. Они выражают сложное внутреннее устройство системы, где одни части по своей значимости могут уступать другим и подчиняться им. Совокупность горизонтальных и вертикальных связей позволяет создать иерархическую структуру Вселенной, в которой основным квалификационным признаком является:

- ✓ размер объекта,
- ✓ его масса,
- ✓ соотношение с человеком.

На основе этого критерия выделяют следующие уровни материи:

- ✓ микромир,
- ✓ макромир,
- ✓ мегамир.

5.2. Микро-, макро-, мегамиры

Итак, вся наша Вселенная может быть представлена в разных масштабах: микро – макро – и мегамир. Главным критерием такого подразделения является соизмеримость с человеком (макромир) и несоизмеримость с ним микро – и мегамир. *Микромир* – область предельно малых, непосредственно ненаблюдаемых материальных микрообъектов, пространственная размерность которых исчисляется в диапазоне от 10^{-8} до 10^{-16} см, а время жизни – от бесконечности до 10^{-24} с. Сюда относятся поля, элементарные частицы, атомные ядра, атомы, молекулы.

Макромир – мир материальных объектов, соизмеримых по своим масштабам с человеком и его физическими параметрами. На этом уровне пространственные величины выражаются в миллиметрах, сантиметрах, метрах и километрах, а время – в секундах, минутах, часах, днях и годах. В практической действительности макромир представлен макромолекулами,

веществами в различных агрегатных состояниях, живыми организмами, человеком и продуктами его деятельности, т.е. макротелами.

Мегами́р – это сфера огромных космических масштабов и скоростей, к которой относятся наиболее крупные материальные объекты: звезды, галактики и их скопления. Поэтому расстояние измеряется астрономическими единицами, световыми годами и парсеками, а время существования космических объектов – миллионами и миллиардами лет. За одну астрономическую единицу (а.е.) принято расстояние от Земли до Солнца. $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м} = 150\,000\,000 \text{ км}$. Световой год – это расстояние, которое проходит луч света за 1 год. Один парсек равен: $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3,259 \text{ световых лет}$. На каждом из этих уровней действуют свои специфические закономерности, несводимые друг к другу. Хотя все эти сферы мира теснейшим образом связаны между собой.

5.3. Структура мегамира

Основными структурными элементами мегамира являются планеты и планетарные системы; звезды и звездные системы, образующие галактики; системы галактик, образующие метagalактики.

Планета – это небесное тело, достаточно массивное, чтобы иметь сфероидальную форму, движущееся по орбите вокруг звезды. Однако под это определение попадает довольно большой класс космических объектов, что долгое время вызывало бурные споры среди ученых о том, какие небесные тела называть планетами. В 2006 г. на XXVI Ассамблее Международного астрономического союза (МАС) принято решение, согласно которому планета – небесное тело, которое:

- ✓ обращается вокруг звезды;
- ✓ не является звездой;
- ✓ обладает достаточной массой, чтобы иметь форму, близкую к сфере;
- ✓ вблизи орбит имеется «пространство, свободное от других тел».

К плутоидам были отнесены карликовые планеты Плутон и Эрида, Макемаке и Хаумеа.

Звезды представляют собой скопления вещества в виде сфер разной величины, находящихся в условиях высоких температур. Температура их поверхностных слоев функционирует в интервале значений 100 000 – 1 600 К.

Размеры звезд расходятся в исключительно широких пределах. Диаметры самых крупных звезд в сотни тысяч раз больше диаметров малых звезд. Массивные звезды обычно в 20 раз превышают массу Солнца. Нижним пределом массы звезды считается масса, составляющая 1/20 часть массы Солнца. Ниже этой массы идут холодные планетные тела или невидимые темные космические массы – темные карлики. Средняя плотность звезды определяется по её размеру и массе. Преобладающее число звёзд имеет среднюю плотность, близкую к солнечной, но есть звёзды, разреженные в сотни тысяч раз более воздуха (красные сверхгиганты) и сжатые в миллиарды раз плотнее воды (белые карлики). Спичечный коробок вещества белого карлика Вольф 457 весил бы на Земле 40 000 тонн.

Исключительно богатую информацию дает изучение спектров звезд. Изучение звездных спектров позволило создать спектральную классификацию звезд, которая наиболее полно выражена в гарвардской классификации, согласно которой, каждой букве соответствует определенная температура и цвет поверхности звезды.

Промежуток между соседними классами делится на 10 подклассов (от 0 до 9) с ростом в сторону уменьшения температуры.

O – B – A – F – G – K – M – S – R – N

Класс O (температура 30 000 – 60 000 К). К этому классу принадлежат немногочисленные весьма горячие звезды с сильно развитым ультрафиолетовым участком спектра. Характерны линии ионизованного гелия. В более поздних подразделениях видны линии нейтрального гелия, многократно ионизованных азота, углерода, кремния. Встречаются звезды с широкими эмиссионными полосами, источником которых являются также

нейтральные и ионизованные атомы гелия и ионизованные атомы азота, углерода и кислорода. Цвет звезды голубой.

Класс В (температура 10 000–30 000 К). Для спектров звезд этого класса характерно наличие в них линий нейтрального гелия, ионизованного кислорода и азота. Линии водорода хорошо заметны, начиная с В0, и значительно усиливаются при переходе к классу В9. Наоборот, линии гелия к классу В9 ослабляются. Начиная со спектров В5, хорошо заметны линии ионизованного кальция и магния. Цвет звезды бело-голубой.

Класс А (температура 7 500–10 000 К). В спектрах преобладают водородные линии, достигающие наибольшей интенсивности в классе А0; линии гелия исчезают. Хорошо видны линии ионизованного калия, в классе А2 появляется линия нейтрального кальция, а в классе А5 – линии нейтрального железа. Цвет звезды белый.

Класс F (температура 6 000–7 500 К). Водородные линии всё еще наиболее интенсивны, но заметны также многочисленные линии металлов ионизованных и нейтральных. Очень интенсивны линии водорода и калия. Усиливаются линии ионизованных металлов (особенно кальция, железа, титана). Цвет звезды желтовато-белый.

Класс G (температура 5 000–6 000 К). Водородные линии не выделяются среди мощных спектральных линий металлов, а в спектрах G5 G9 даже слабее некоторых линий железа. Интенсивны линии ионизованного кальция. Цвет звезды желтый.

Класс K (температура 3 500–5 000 К). Линии водорода не заметны среди очень интенсивных линий металлов. Фиолетовый конец непрерывного спектра заметно ослаблен, что свидетельствует о сильном уменьшении температуры по сравнению с ранними классами (O, B, A). Цвет звезды оранжевый.

Класс M (температура 2 000–3 500 К). Линии металлов весьма слабеют, спектр пересечен полосами поглощения молекул окиси титана и других молекулярных соединений. Цвет звезды красный.

Побочные классы S, R, N отличаются не столько температурой, сколько особенностями спектров, которые определяются различием химического состава и степенью ионизации вещества. Классы R и N охватывают углеродные звезды, спектры которых отличаются сильными полосами молекул углерода и циана (C_2N_2 – бесцветный газ с острым запахом).

Для спектров класса S характерны полосы монооксида циркония (ZrO). Спектры звезд двух соседних классов еще существенно различаются между собой. Поэтому в астрофизике разделяют каждый спектральный класс еще на десять подклассов. Так, выделяются звезды спектральных подразделений B0, B1, B2, B3 ... B9. Затем следуют A0, A1, A2, ... A9.

У звезд со спектральным номером более высокого значения температура поверхности ниже. Данная Гарвардская классификация звезд легла в основу современной спектральной классификации, в которой выделяют ещё несколько спектральных классов для некоторых звезд:

- W – звезды типа Вольфа-Райс, тяжелые яркие звезды с температурой порядка 70 000 К и интенсивными эмиссионными линиями в спектрах;
- L и T – коричневые карлики, объекты, переходные между звездами и планетами, с температурой 1 500 – 2 000 К и около 1 000 К соответственно.
- C – углеродные звезды, гиганты с повышенным содержанием углерода;
- S – циркониевые звезды;
- D – белые карлики.

Часть вещества Космоса ($\approx 97\%$) сосредоточена в звездах. Видимые звезды образуют непрерывный ряд от наиболее горячих – голубых – звезд до холодных – оранжевых и темно-красных. Термодинамические условия звездных атмосфер определяют характерные черты их спектров. По спектрам звезд определяются: их светимость, температура, размеры, скорость движения в пространстве и вращения вокруг оси, химический состав верхних оболочек. В 1905 г. Э. Герцшпрунг (Голландия) установил зависимость

светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений. Однако опубликованы они были (в 1905-м и 1907-м гг.) в узко специализированном «Журнале научной фотографии», издающемся к тому же на немецком языке, и публикация эта поначалу попросту осталась незамеченной астрономами. В 1913 г. Генри Рассел (США) также независимо установил данную зависимость и представил ее графически. Зависимость «спектр-светимость» получила название диаграммы Герцшпрунга–Рассела.

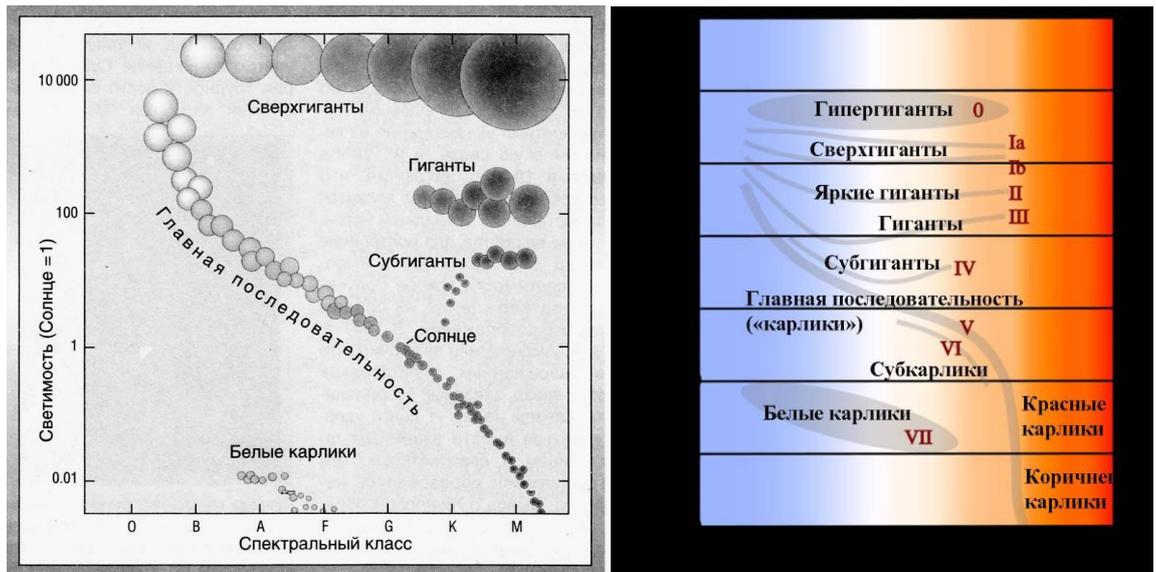


Рис. 1. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела.

Эта диаграмма показывает, сколько звезд находится на каждой стадии эволюции. Вместе с представлениями об увеличении скорости эволюции с ростом звездной массы это позволяет определять возраст скоплений. Если по вертикальной оси откладывать для скопления видимую, а не абсолютную звездную величину, то появляется возможность оценить расстояние до этого скопления. Астрономы Холм, Рассел, Герцшпрунг и Эддингтон установили, что для звезд главной последовательности существует связь между светимостью L и массой M , и построили диаграмму масса–светимость. Приблизительно зависимость «масса–светимость» выражается отношением $L \approx 3,9 M$. Любая звезда известного спектрального класса и светимости может быть отображена на диаграмме Герцшпрунга–Рассела отдельной точкой. Особый смысл диаграмма приобретает в том случае, когда она строится для группы связанных между собой звезд, например, звездного скопления. Для

любой такой совокупности звезд точки распределяются неслучайным образом: большинство их оказывается в полосе, идущей по диагонали от верхнего левого края вниз направо (так называемой главной последовательности). Это связано с тем, что основным фактором, определяющим спектральный класс звезды и её светимость, является её масса. Главная последовательность – это, по существу, последовательность масс. Если бы между светимостями и их температурами не было никакой зависимости, то все звезды распределялись бы на такой диаграмме равномерно. Но на диаграмме обнаруживаются несколько закономерностей, которые называют последовательностями. Большинство звезд (около 90 %), располагаются на диаграмме вдоль длинной узкой полосы, называемой главной последовательностью. Она протянулась из верхнего левого угла (от голубых сверхгигантов) в нижний правый угол (до красных карликов). К звездам главной последовательности относится Солнце, светимость которого принимают за единицу. Точки, соответствующие гигантам и сверхгигантам, располагаются над главной последовательностью справа, а соответствующие белым карликам – в нижнем левом углу, под главной последовательностью. По распределению звезд в соответствии с их светимостью и температурой на диаграмме Герцшпрунга–Рассела выделены следующие классы светимости:

- ✓ сверхгиганты – I класс светимости;
- ✓ яркие гиганты – II класс светимости;
- ✓ гиганты – III класс светимости;
- ✓ субгиганты – IV класс светимости;
- ✓ звезды главной последовательности – V класс светимости;
- ✓ субкарлики – VI класс светимости;
- ✓ белые карлики – VII класс светимости.

Класс светимости принято указывать после спектрального класса звезды. Поэтому Солнце – это звезда G2V.

Звезды главной последовательности – нормальные звезды, похожие на Солнце, в которых происходит сгорание водорода в термоядерных реакциях.

Главная последовательность – это последовательность звезд разной массы. Самые большие звезды располагаются в верхней части главной последовательности и являются голубыми гигантами. Самые маленькие по массе звезды – карлики. Они располагаются в нижней части главной последовательности. Параллельно главной последовательности, но несколько ниже её располагаются субкарлики. Они отличаются от звезд главной последовательности меньшим содержанием металлов.

Все звезды удалены друг от друга на огромные расстояния и тем самым изолированы друг от друга. Поэтому звезды практически не сталкиваются друг с другом, хотя движение каждой из них определяется силой тяготения, создаваемой всеми звездами Галактики. Число звезд в нашей Галактике – порядка триллиона. Самые многочисленные из них карлики, массы которых примерно в 10 раз меньше массы Солнца. В зависимости от массы звезды в процессе эволюции они становятся либо белыми карликами, либо нейтронными звездами, либо черными дырами.

Белый карлик – это электронная постзвезда, образующаяся в том случае, когда звезда на последнем этапе своей эволюции имеет массу, меньшую 1,2 солнечной массы ($M < 1,2 M_{\odot}$). Масса порядка 1,2 M_{\odot} называется пределом Чандрасекхара. Диаметр белого карлика равен диаметру нашей Земли, температура достигает около миллиарда градусов, а плотность – 10 т/см^3 , т.е. в сотни раз больше земной плотности.

Нейтронные звезды возникают на заключительной стадии эволюции звезд, обладающих массой от 1,2 до 2,5 солнечных масс ($1,2 M_{\odot} < M < 2,5 M_{\odot}$). Высокие температура и давление в них создают условия для образования большого количества нейтронов. В этом случае происходит очень быстрое сжатие звезды, в ходе которого в наружных её слоях начинается бурное протекание ядерных реакций. При этом выделяется так много энергии, что происходит взрыв с разбросом наружного слоя звезды (вспышка сверхновой). Внутренние же её области стремительно сжимаются. Оставшийся объект получил название нейтронной звезды, поскольку он

состоит из протонов и нейтронов. Нейтронные звезды также называют пульсарами. Магнитное поле на поверхности нейтронных звёзд достигает значения 10^{12} – 10^{13} Гс. (для сравнения: у Земли около 1 Гс), именно процессы в магнитосферах нейтронных звёзд ответственны за радиоизлучение пульсаров.

Черные дыры – это звезды, находящиеся на заключительном этапе своего развития, масса которых превышает 2,5 солнечных массы ($M > 2,5 M_{\odot}$), и имеющие диаметр от 10 до 20 км. Теоретические расчеты показали, что они обладают гигантской массой (10^{15} г) и аномально сильным гравитационным полем. Свое название они получили потому, что не обладают свечением, а за счет своего гравитационного поля захватывают из пространства все космические тела и излучение, которые не могут выйти из них обратно, они как бы проваливаются в них (затягиваются, как в дыру). Из-за сильной гравитации никакое захваченное материальное тело (в том числе и свет) не может выйти за пределы гравитационного радиуса объекта, и поэтому они кажутся наблюдателю «черными».

Звездные системы (звездные скопления) – группы звезд, связанные между собой силами тяготения, имеющие совместное происхождение, сходный химический состав и включающие в себя до сотен тысяч отдельных звезд. Существуют рассеянные звездные системы, например Плеяды в созвездии Тельца. Такие системы не имеют правильной формы. В настоящее время известны более тысячи звездных систем. Кроме того, к звездным системам относятся шаровые звездные скопления, насчитывающие в своем составе сотни тысяч звезд. Силы тяготения удерживают звезды в скоплениях миллиарды лет. В настоящее время ученым известно около 150 шаровых скоплений.

Галактики – совокупности звездных скоплений. Этот термин (от греч. «молоко, молочный») был введен в обиход для обозначения нашей звездной системы, представляющей собой тянущуюся через все небо светлую полосу с

молочным оттенком и поэтому названную Млечным Путем. Условно по внешнему виду галактики можно разделить на четыре вида.

К первому относятся спиральные галактики. У этого вида отчетливо наблюдаются ядро и спиральные «рукава».

Второй вид включает эллиптические галактики, т.е. такие, которые имеют форму эллипса.

К третьему виду относятся галактики неправильной формы, которые не имеют отчетливо выраженного ядра.

Четвертый вид – это почти линзообразные галактики, которые по форме напоминают линзу.

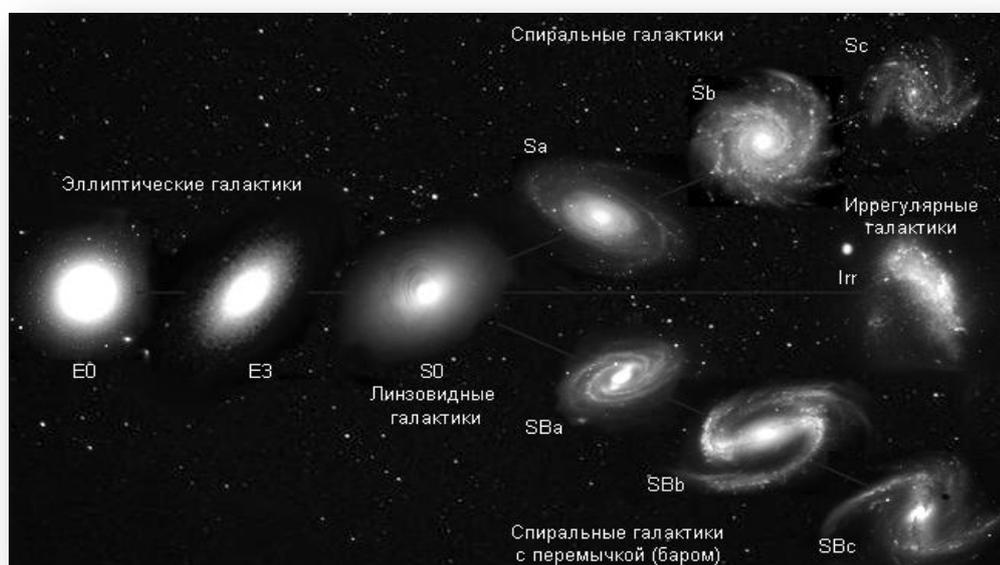


Рис. 2. Классификация галактик

Хаббл, проводя классификацию галактик, построил последовательность их типов, имеющую следующий вид (рис. 2), именуемый камертоном Хаббла. Основной вывод, который можно сделать из указанной классификации, заключается в том, что подавляющее большинство галактических образований (более 95 %) представляют собой формы, полученные в результате процессов вращения образующего их первичного вещества. Действующие при таком вращении центробежные силы приводят к постепенному уплотнению центральной части газопылевого

облака первичного вещества и созданию условий для формирования множества отдельных звезд, пространственно объединяемых понятием галактической системы. При этом все галактики находятся в состоянии движения, причем расстояние между ними постоянно увеличивается, т.е. происходит взаимное удаление (разбегание) галактик друг от друга. Наша Солнечная система принадлежит к галактике Млечный Путь, включающей не менее 100 млрд звезд и относящейся к разряду гигантских галактик. Она имеет сплюснутую форму, в центре которой находится ядро с отходящими от него спиральными «рукавами», поэтому наша Галактика относится к галактикам спирального типа. Диаметр нашей Галактики составляет около 100 тыс. световых лет, а толщина – 10 тыс. световых лет. По предположениям, в центре нашей Галактики находится черная дыра. Ближайшей к нам галактикой является Туманность Андромеды.

Метагалактика – система галактик, включающая все известные космические объекты. Это та часть Вселенной, которая доступна наблюдениям астрономическими средствами.

Глоссарий

Вселенная – весь существующий материальный мир, неограниченный в пространстве и времени, а также разнообразие форм, которые принимает материя в процессе своего развития.

Галактики – гигантские звездные системы с числом звезд от десятков до сотен миллиардов в каждой.

Звезды – самосветящиеся гигантские газовые (плазменные) тела, подобные Солнцу.

Макромир – мир макроскопических (видимый невооруженным глазом) объектов.

Мегамир – мир за пределами нашей Солнечной системы.

Метагалактика – часть Вселенной, которая доступна наблюдениям астрономическими средствами.

Микромир – мир микрообъектов, начиная от масштаба атомов и заканчивая кварками и глюонами.

Планеты – массивные небесные тела, движущиеся вокруг центрального небесного светила.

Система – множество элементов, находящихся в соотношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность и единство.

Структура – взаиморасположение и связь составных частей чего-либо.

Тесты

5.1. Укажите правильную последовательность (от меньшего к большему) в структурной иерархии микромира: А) элементарные частицы; Б) атомы; В) ядра атомов; Г) молекулы.

- 1) А – Б – В – Г;
- 2) А – В – Б – Г;
- 3) В – А – Б – Г;
- 4) Г – Б – В – А.

5.2. К макромиру относятся:

- 1) ядра атомов, атомы;
- 2) кристаллы, жидкости, газы;
- 3) объекты техники, планеты;
- 4) планеты, звезды.

5.3. К микромиру относятся:

- 1) элементарные частицы, ядра атомов;
- 2) атомы, полимеры;
- 3) кристаллы, жидкости, газы;
- 4) здания, объекты техники.

5.4. Между объектами мегамира преобладает взаимодействие:

- 1) сильное;
- 2) слабое;
- 3) гравитационное;

4) электромагнитное.

5.5. Наша Галактика – Млечный путь – относится к...

1) неправильным;

2) эллиптическим;

3) линзообразным;

4) спиральным.

Тема 6. Структура микромира

6.1. История открытия элементарных частиц.

6.2. Классификация элементарных частиц.

6.3. Процессы в микромире.

6.1. История открытия элементарных частиц

Древнегреческими натурфилософами были поставлены вопросы о строении микромира. Атомизм как концепция дискретного строения материи был предложен Левкиппом (V в. до н. э.) и его учеником Демокритом (460–370 гг. до н.э.), которые внесли наибольший вклад в систематизацию первых представлений о мельчайших частицах вещества. Потребовалось более двух тысяч лет, чтобы люди смогли проникнуть вглубь структуры микромира, основываясь на строгих физических экспериментах и теориях, а не на художественно-эмоциональных мироощущениях. Лишь в XIX в. атомистическая теория строения вещества получила экспериментальное подтверждение. Однако к концу этого века появилось много фактов, говорящих в пользу того, что атомы не являются элементарными, неразделимыми частицами, а состоят, в свою очередь, из более мелких частиц.

Первой экспериментально обнаруженной элементарной частицей стал электрон. Его открыл английский физик Дж.Дж. Томсон в 1897 году. В 1911 г. благодаря Э. Резерфорду появилось понятие «атомное ядро». После

открытия Резерфордом протона в 1919 г., а Дж. Чедвиком нейтрона в 1932 г., выяснилось, что и само ядро имеет сложную структуру, состоящую из протонов и нейтронов. Параллельно с исследованием микроструктуры вещества формировалось понятие поля, а заодно появились вопросы о строении поля, его структурных компонентах. В 1900 г. М. Планк выдвинул гипотезу квантов. Эйнштейн развил её и ввёл понятие фотона. В 1912–1915 гг. Р. Милликен и позже А. Комптон экспериментально подтвердили существования фотонов.

Благодаря бурному развитию ядерной физики началось открытие всё новых и новых элементарных частиц. В 1930 г. для объяснения β -распада Паули предположил существование новой элементарной частицы. Несмотря на то, что его идеи были встречены с недоверием, в 1932 г. Э. Ферми дал название «нейтрино» этой гипотетической частице. Экспериментально нейтрино было доказано лишь в 1953 г. Ф. Райнесом и К. Коуэном.

Первой античастицей стал позитрон – частица с массой электрона, но положительным электрическим зарядом. Эта античастица была обнаружена в составе космических лучей американским физиком К. Андерсеном в 1932 году. К середине 70-х гг. XX в. удалось обнаружить античастицы практически всех известных элементарных частиц. В 1936 г. К. Андерсон и С. Недермейер обнаружили в космических лучах мюоны, а в 1947 г. С. Пауэлл с коллегами – π -мезоны. С 50-х гг. прошлого века основным инструментом для исследования элементарных частиц становятся ускорители. Помимо открытия антипротона (1955 г.) и антинейтрона (1956 г.) были обнаружены новые необычные и странные частицы, в основном короткоживущие и нестабильные. В 1964 г. М. Гелл-Манн и Г. Цвейг предложили гипотезу кварков.

Если в конце 1940-х гг. было известно 15 элементарных частиц, то в конце 1970-х – уже около 400. Эти частицы отличались таким большим разнообразием физических свойств, что даже пришлось придумывать новые характеристики: странность, очарование, красота, аромат и т.д. Все это

добавилось к таким классическим характеристикам, как масса, электрический заряд, момент импульса. К середине XX в. назрела потребность в систематизации всех частиц.

6.2. Классификация элементарных частиц

Свойства элементарных частиц чрезвычайно многообразны. За основу классификации элементарных частиц были взяты их масса, время жизни, заряд, спин.

Изначально все элементарные частицы были разделены в зависимости от массы на следующие группы:

- ✓ легкие – лептоны (электрон, нейтрино и др.),
- ✓ средние – мезоны,
- ✓ тяжелые – барионы (протон, нейтрон и др.).

Средние и тяжелые частицы получили название адронов.

В зависимости от времени жизни все элементарные частицы делятся на стабильные и нестабильные частицы.

Стабильные частицы – это электрон, протон, фотон, все типы нейтрино, а также их античастицы. Нейтрон стабилен, когда находится в ядре атома, но свободный нейтрон распадается примерно за 15 мин.

Остальные частицы *нестабильны* – время их жизни колеблется от нескольких микросекунд до 10^{-24} с.

Среди микрочастиц специально выделяют те, которые имеют время жизни, меньшее 10^{-22} с. Их называют резонансами. Первый нуклонный резонанс был открыт Э. Ферми в 1952 г. в реакциях рассеяния π -мезонов на нуклонов, он был назван Δ -изобарой. Резонансы активно исследуются и открываются с развитием техники водородных пузырьковых камер, в которых возможно наблюдать продукты распада резонансов.

По электрическому заряду (Q) частицы делятся на: а) электрически нейтральные – нейтрон, все типы нейтрино, π^0 -мезон, б) электрически заряженные – электрон, протон, кварки, π^+ , π^- -мезоны.

По барионному заряду (B) все элементарные частицы делятся на:

- а) частицы, не имеющие барионного заряда, – лептоны, мезоны;
- б) обладающие барионным зарядом – протон, нейтрон, антипротон, антинейтрон, кварки.

Лептонным зарядом (L) обладают только лептоны, для которых различают следующие заряды: а) лептонный электронный – электрон, электронное нейтрино; позитрон, электронное антинейтрино; б) лептонный мюонный – мюон, мюонное нейтрино, антимюон, мюонное, антинейтрино; в) тау-лептонный ($L_\tau = \pm 1$) и т.п.

Для класса партонов (от англ. *part* – часть) – кварков, глюонов выделяют цветовой заряд. Принято считать, что для кварков характерны следующие цвета: красный, зеленый, синий. Выделяют и другие квантово-механические зарядовые характеристики (например, гравитационный заряд, слабый заряд, четность и др.). Для класса адронов в качестве заряда фигурирует странность (S), этот заряд может принимать значения ± 1 ; ± 2 ; ± 3 , очарование (C) (± 1 , ± 2 , ± 3), красота (прелесть) и т. п.

Каждой частице соответствует своя античастица, отличающаяся от неё тем, что все зарядовые характеристики имеют противоположный знак или противоположное значение. Если какой-либо заряд частицы равен 0, то и античастица будет иметь соответствующий нулевой заряд. Все остальные характеристики и свойства (масса покоя, спин, участие во взаимодействиях и др.), кроме зарядовых, у частиц и античастиц идентичны. При столкновении частица и античастица аннигилируют с образованием фотонов. В результате взаимодействия фотонов могут рождаться пары «частица-античастица». Все элементарные частицы имеют свойство, эквивалентное собственному моменту количества движения частицы, названное спином.

Кратность спина – признак, по которому все элементарные (в том числе фундаментальные частицы) подразделяются на фермионы и бозоны.

Фермионы – это «кирпичи», из которых состоит мир. Все фермионы подчиняются принципу Паули, говорящему о том, что в одной квантово-

механической системе не может быть двух фермионов, обладающих одинаковым набором квантовых чисел (например, спином). $j = 0, 1, 2, \dots$ – («целочисленный спин») соответствует частицам, называемым бозонами (по фамилии индийского ученого Шатьедраната Бозе), на них не распространяется запрет Паули. Бозоны – переносчики основных взаимодействий, их рассматривают как возбуждения силовых полей, отвечающих основным видам взаимодействия, как обменные частицы этих взаимодействий. Бозоны – «полевые» частицы, обеспечивающие взаимодействие фермионов. Это «раствор» для «кирпичей», из которых состоит вещество.

Кроме того, все элементарные частицы возможно разбить на две группы: реальные и виртуальные. Реальные частицы можно непосредственно зафиксировать с помощью приборов. Виртуальные – об их существовании можно судить опосредованно, по некоторым проявлениям через какие-то вторичные эффекты. Согласно квантовой теории поля, все взаимодействия осуществляются благодаря обмену виртуальными частицами. В уравнениях, описывающих взаимодействия, они имеются, экспериментально же их наличие в этих взаимодействиях не зафиксировано.

В основе современной классификации элементарных частиц лежит разделение их на большие классы и подклассы в зависимости от типов фундаментальных взаимодействий, в которых эти частицы участвуют.

Однако изначально классификация строилась на распределении частиц по их массе, что отразилось в названиях некоторых групп. Самыми крупными и тяжелыми были адроны, далее – барионы, мезоны – средние – и лептоны – самые легкие. Но в 1975 г. был открыт тяжелейший τ -лептон (почти в 2 раза тяжелее протона), а в 1983 г. обнаружили промежуточные векторные бозоны, которые почти в 100 раз тяжелее протона. После этого стало невозможным говорить о распределении частиц по массе и её убывании вплоть до нулевой «слева направо». Как и в случае с термином

«атом», исторические названия групп элементарных частиц потеряли свой первоначальный смысл.

В основе современной классификации лежит не распределение по массе, а распределение по типам фундаментальных взаимодействий. Свойства частицы определяются ее способностью (или неспособностью) участвовать в сильном взаимодействии. Частицы, участвующие в сильном взаимодействии, образуют особую группу частиц – *адроны*.

Частицы, участвующие преимущественно в слабом взаимодействии и не участвующие в сильном, называются *лептонами*. Кроме того, существуют частицы-переносчики взаимодействий. Рассмотрим более подробно каждую группу частиц.

Адроны (от греч. *adros* – сильный, крупный). Все адроны встречаются в двух разновидностях – электрически заряженные и нейтральные. Наиболее известные примеры адронов – это нейтрон и протон. Остальные адроны быстро распадаются. Подавляющее большинство адронов – резонансы, т.е. крайне нестабильные частицы. Общее число адронов составляет несколько сотен, и уже этот факт наводит на мысль, что они сами состоят из более мелких частиц.

Адроны подразделяются на два класса – барионы и мезоны. Их отличие друг от друга состоит в том, что барионы несут барионный заряд (или барионное число), а мезоны – нет. Барионный заряд не связан ни с какими полями, а является лишь средством учета частиц-барионов в реакциях и процессах. *Барионы* (от греч. *barys* – тяжелый) – частицы с полуцелым спином, имеющие барионный заряд (протон, нейтрон, гипероны и барионные резонансы). Если частица несёт барионный заряд, то говорят, что барионный заряд частицы равен 1 ($B = 1$), если не несёт, то $B = 0$. Все барионы, кроме протона, являются нестабильными и распадаются на протон и более легкие частицы. Нейтрон стабилен только в связанном состоянии, т.е. в атомных ядрах. Все барионы, в свою очередь, делятся на гипероны и нуклоны. Гипероны – нестабильные, очень тяжелые частицы. Время их жизни $\sim 10^{-10}$ с.

Нуклоны – общее название для протонов и нейтронов – частиц, из которых состоят атомные ядра.

Мезоны – нестабильные частицы, не имеющие барионного заряда ($B = 0$) и обладающие нулевым или целочисленным спином. Наиболее известные мезоны – пионы (или пи-мезоны: π^0 , π^- , π^+) и каоны (или К-мезоны: K^0 , K^- , K^+). В 1963 г. была предложена кварковая модель адронов, согласно которой все барионы состоят из трех кварков, а мезоны – из кварка и антикварка. Благодаря сильному взаимодействию кварки и антикварки, обмениваясь глюонами, оказываются запертыми внутри адронов и в свободном состоянии никогда не наблюдаются.

Лептоны ведут себя как точечные объекты и даже при сверхвысоких энергиях не разваливаются на составные части. В этом смысле они являются истинно элементарными объектами, т.е. не состоят из каких-либо других частиц. Хотя лептоны могут иметь электрический заряд, а могут и не иметь, спин у всех лептонов равен $1/2$. Лептоны несут лептонный заряд, который равен единице ($L = 1$). Аналогично барионному заряду, лептонный заряд не связан ни с какими полями, а просто является средством учета количества лептонов в реакциях. К лептонам относятся шесть видов частиц и столько же соответствующих им античастиц: электрон, мюон, тау-лептон и соответствующие им электронное, мюонное и тау-нейтрино. Наиболее известные лептоны – это электрон и нейтрино. Электрон – это носитель наименьшей массы и наименьшего электрического заряда (не считая кварков) в природе. Нейтрино наряду с фотонами являются наиболее распространенными частицами во Вселенной. Однако, несмотря на такую распространенность нейтрино, изучать их сложно. Так как они не участвуют ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействиях, они спокойно проникают через вещество, как будто его вообще нет. Нейтрино – это некие «призраки» физического мира. С одной стороны, это усложняет их детектирование, а с другой – создает возможность изучения внутреннего строения звезд, ядер галактик, квазаров и др. Достаточно широко

распространены в природе мюоны, на долю которых приходится значительная часть космического излучения. Во всех отношениях мюон напоминает электрон: имеет тот же заряд и спин, участвует в тех же взаимодействиях, но имеет большую массу и нестабилен. Примерно за две миллионные доли секунды мюон распадается на электрон и два нейтрино. В конце 1970-х гг. был обнаружен третий заряженный лептон, получивший название тау-лептон. Это очень тяжелая частица. Её масса около 3 500 масс электрона, во всем остальном он ведет себя подобно электрону и мюону. Кроме рассмотренных выше частиц, образующих строительный материал материи, существует особый класс частиц, которые непосредственно обеспечивают фундаментальные взаимодействия, т.е. образуют своего рода «клей», не позволяющий материи распадаться на части. Имя им – глюоны.

Глюоны похожи на фотоны: масса покоя равна 0, спин – 1, электрический заряд – 0. Однако по одному признаку они кардинально отличаются от фотонов, да и всех других частиц – обладают тем же зарядом («цветом»), переносчиком которого являются. Поэтому глюоны, порождаемые цветовым зарядом кварков, сами способны «производить» глюоны и создавать вокруг себя глюонное поле. Глюоны – частицы-переносчики сильного взаимодействия, обеспечивающие связь кварков посредством цветового поля, квантами которого они являются.

Переносчиком электромагнитного взаимодействия является *фотон* – квант электромагнитного излучения. Фотоны электронейтральны, следовательно, не излучают сами себя и не создают вокруг себя электромагнитное поле, а излучение или поглощение фотона заряженной частицей не изменяет ее электрический заряд. Масса покоя фотона считается равной нулю, благодаря чему фотон распространяется со скоростью света и делает радиус действия электромагнитного взаимодействия равным бесконечности. Фотон относится к бозонам, так как его спин равен 1.

Переносчиками слабого взаимодействия являются промежуточные векторные *бозоны* – группа из трех векторных (так как спин равен 1) очень

тяжелых частиц W^\pm и Z^0 . Из-за огромной массы покоя время жизни этих частиц чрезвычайно коротко – около 10^{-26} с, что определяет, в свою очередь, очень малый радиус действия слабого взаимодействия $\sim 10^{-16}$ см. Эти бозоны являются промежуточными в том же смысле, что и фотон в рассеивании заряженных частиц.

Гравитоны – гипотетические частицы-переносчики гравитационного взаимодействия. Подобно фотонам, гравитоны распространяются со скоростью света, следовательно, обладают нулевой массой покоя. Однако в отличие от фотона, имеющего спин 1, спин гравитона равен 2. Это важное различие определяет направление силы: при электромагнитном взаимодействии одноименно заряженные частицы (электроны) отталкиваются, а при гравитационном – все частицы притягиваются друг к другу. Чрезвычайная слабость гравитационного взаимодействия пока не позволяет экспериментально обнаружить гравитоны. Более того, оказывается, что одними гравитонами не удастся описать феномен гравитации, что заставляет вводить новые частицы-переносчики – гравитино и грави-фотон, который может создавать антигравитацию.

Хиггсы – гипотетические кванты скалярного поля (поля Хиггса) с нулевым спином. Поле Хиггса, постоянное во всем пространстве, обеспечивает нестабильность основного энергетического состояния, что приводит к спонтанному нарушению симметрии. Число таких хиггсовских бозонов может достигать нескольких десятков. С одной стороны, бозоны Хиггса экспериментально пока не обнаружены. С другой стороны, в современной физике без хиггсов невозможно создать полноценную теоретическую модель фундаментальной структуры материи. К фундаментальным (неделимым, по крайней мере на настоящий момент развития науки) фермионам относят лептоны и кварки. На сегодняшний день считается, что существует 24 фундаментальных фермиона: 12 лептонов (6 – частиц и 6 – античастиц) и 12 кварков (6 – частиц и 6 – античастиц).

Частицы-лептоны: электрон (e^-), мюон (μ^-), тау-лептон (τ^-), электронное нейтрино (ν_e), мюонное нейтрино (ν_μ), тау-нейтрино (ν_τ).

Частицы-кварки: верхний (u), нижний (d), странный (s), очарованный (c), прелестный (b), истинный (t).

Фундаментальные фермионы группируют в три поколения по 8 в каждом (с учетом античастиц). Поколения отличаются друг от друга прежде всего массой входящих в них фундаментальных элементарных частиц. С учетом фундаментального соответствия $E = mc^2$, массу частиц принято выражать в единицах энергии МэВ, ГэВ. В атомной физике 1 эВ соответствует энергии, приобретаемой частицей с зарядом 1 э (один электрон) при прохождении разности потенциалов 1 В (один вольт); 1 МэВ = 10^6 эВ; 1 ГэВ = 10^9 эВ.

Фермионы первого поколения в совокупности с электронами являются той материей, из которой в основном построена современная Вселенная. Из u- и d-кварков состоят нуклоны, а значит и ядра атомов, из электронов – атомные оболочки, без электронных нейтрино не могли бы протекать реакции ядерного синтеза в звёздах (и на Солнце). Что касается фермионов второго и третьего поколений, то их роль в современном мире представляется ничтожной. На первый взгляд, мир без них был бы ничуть не хуже. Однако современная физика отводит им важную роль в ранней Вселенной, в самые первые мгновения так называемого Большого Взрыва. Выяснение их истинной роли, как и природы самой кварк-лептонной симметрии, – одна из важнейших задач современного естествознания.

Важным понятием в микромире является физический вакуум. Но, как известно, абсолютной пустоты не бывает. Отсутствие вещества еще не означает отсутствия поля. По современным представлениям вакуум – это особое состояние материи с наименьшей энергией при отсутствии реальных частиц. Роль фундаментальной материальной основы мира выполняет именно физический вакуум, благодаря которому происходит рождение реальных частиц. Это третий, качественно отличный от вещества и поля вид

материи с минимальной энергией, состоящий из виртуальных частиц и античастиц. Плотность энергии физического вакуума настолько мала, что её хватает лишь на спонтанное рождение или уничтожение виртуальных частиц и античастиц. Для того чтобы частица получила ускорение в физическом вакууме, должны иметь место реальные физические поля, точнее, ряд физических величин (таких как напряженность и др.), в среднем они должны быть равны нулю. Сами же физические величины, конечно, отличны от нуля и колеблются около своих средних значений. Это так называемые нулевые колебания вакуума. Тот факт, что средние значения от квадратов этих величин не равны нулю, приводит к экспериментально наблюдаемым эффектам. Из соотношения неопределенностей Гейзенберга следует, что величина вакуумной флуктуации тем больше, чем меньше ее пространственно-временные размеры. Квантовые флуктуации вакуума специфически влияют на движение реальных частиц и изменяют их внутренние характеристики. Более того, состояние самого вакуума может спонтанно изменяться в другие вакуумные состояния с минимальной энергией, количество которых в принципе может быть бесконечное множество. Влияние физического вакуума и виртуальных частиц на реальные процессы и частицы определяется порядком величины постоянной Планка. Следовательно, физический вакуум слабо проявляет себя в макромире и в обычных процессах с участием привычных для нас окружающих предметов и тел.

6.3. Процессы в микромире

Общим свойством частиц микромира является их универсальная взаимопревращаемость. Стабильность частиц – это исключение, особый случай, а правилом является как раз нестабильность. При столкновениях, а иногда самопроизвольно они распадаются. В действительности происходит не расщепление, а рождение новых частиц. Они рождаются за счёт энергии распадающихся или сталкивающихся частиц при активной роли первичной

субстанции – физического вакуума. В мире элементарных частиц действует правило: разрешено всё, что не запрещено законами сохранения. Эти законы играют роль правил запрета, регулирующих взаимопревращение частиц. Наиболее важные из них, действующие в любых превращениях, это законы сохранения:

- ✓ энергии;
- ✓ импульса (количества движения);
- ✓ электрического заряда;
- ✓ барионного заряда;
- ✓ лептонных зарядов.

Из законов сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса покоя продуктов распада должна быть меньше массы покоя распадающихся частиц. Так, электрон мог бы распадаться только на более легкие частицы: нейтрино, фотоны. Но они электрически нейтральны, что не позволяет выполнить закон сохранения электрического заряда. Поэтому электрон стабилен. Напротив, мюон, тау-лептон подвержены распаду до более легких отрицательно заряженных частиц. Согласно законам сохранения барионного и лептонного зарядов, в любом процессе должна оставаться неизменной разность между числом барионов и антибарионов и между числом лептонов и антилептонов соответственно. Для лептонов этот закон выполняется для каждого типа лептона (электронного, мюонного, тау-лептонного) в отдельности. Кроме того, есть законы сохранения, действующие только при взаимопревращениях, обусловленных некоторыми взаимодействиями, и не действующие при других. Такие специфические заряды, как чётность (пространственная, временная, зарядовая), странность, очарование не сохраняются при взаимопревращениях, обусловленных слабым взаимодействием. Но выполняются законы сохранения: энергии, импульса и др.

К микромиру относятся не только элементарные частицы, но и атомы, молекулы и их комплексы, которые также могут менять свою структуру. Для

них также должны выполняться все законы сохранения. Например, представляется, что масса атомного ядра равна сумме масс составляющих его нуклонов. Однако эксперименты показывают, что действительная масса ядра меньше этой суммы на величину, называемую дефектом массы (Δm), и объясняется законом сохранения энергии. Когда нуклоны объединяются в ядро, некоторая масса пропадает и вместо неё выделяется эквивалентная ей энергия связи ядра, обычно в виде излучения γ -квантов. Дефект массы ядер – великолепный пример для демонстрации тезиса: «масса – форма существования энергии», являющегося одним из следствий СТО Эйнштейна.

Чтобы расщепить стабильное ядро на его нуклоны, необходимо затратить энергию $E \geq \Delta E$. Один из способов превращения атомных ядер – это распад радиоактивных ядер некоторых природных изотопов элементов, открытый А. Беккерелем в 1896 г., и распад ядер продуктов ядерных реакций, инициированных человеком, открытый Фредериком Жолио и Ирен Кюри в 1934 г. Принципиальной разницы в процессах естественной и искусственной радиоактивностях нет. Однако число радиоактивных нуклидов (радиоактивных ядер) в результате человеческой деятельности возросло на Земле примерно с 300 до 2 000.

Выделяют два типа бета-распада: «бета-минус» β^- (в случае испускания электрона) и «бета-плюс-распад» β^+ (в случае испускания позитрона). Кроме β^- и β^+ -распадов, к бета-распадам относят также электронный захват, когда ядро захватывает атомный электрон.

Важнейшей характеристикой распада радиоактивных нуклидов является интенсивность превращения ядер. Интенсивность радиоактивного распада характеризуют продолжительностью жизни радионуклидов, которую, в свою очередь, определяют через период полураспада. $T_{1/2}$ – промежуток времени, за который число радиоактивных ядер уменьшается в два раза.

Радиоактивность играет существенную роль в процессах формирования и эволюции нашей планеты, эволюции жизни на ней. Высокоэнергетические

ядерные излучения α , β , γ , n , p – источники внутреннего тепла планеты, активные реагенты в тонких структурах живой материи. Они способны причинять повреждения живому организму через ионизацию, возбуждение атомов живых клеток. Зачастую это ведет к разрушению ядер клеток, мембран или к ослаблению регенеративных функций организма вследствие поражения генетического аппарата клеток, отравления его продуктами разложения. Наибольшую радиологическую опасность вблизи точки распада представляют изотопы с малым временем полураспада и, следовательно, высокой интенсивностью процесса превращения ядер. Не следует обольщаться также безопасностью радионуклидов с большим временем полураспада. В больших количествах (например, в местах захоронения радиоактивных отходов) радионуклиды с огромным временем полураспада подвергают облучению всё в течение сотен и сотен лет и передают долгоживущим организмам высокие дозы. Стабильность ядер в природе обусловлена явным превосходством сильного взаимодействия (притяжения) нуклонов над силами электрического отталкивания положительно заряженных протонов. Однако с ростом числа нуклонов появляются признаки нестабильности. Трансурановые элементы (элементы с $Z > 92$) уже нестабильны и наблюдаются лишь на ускорителях. Кроме нестабильности, проявляющейся как радиоактивный распад с излучением α , β , γ -частиц, тяжелым ядрам иногда присущ распад на два крупных фрагмента. Впервые Э. Ферми и его сотрудники в 1934 г. получили подобную ядерную реакцию, бомбардируя медленными нейтронами ядра изотопа урана ^{235}U .

Медленные нейтроны были получены путем замедления их пучков на материалах, богатых водородом (вода, парафин).

Нейтроны, выделяющиеся в реакции, вновь способны к реакции деления, и при наличии ядер ^{235}U возникает цепная реакция. Ядро урана-235 захватывает медленный нейтрон и делится на два осколка с испусканием нейтронов деления. При ядерном делении приведенного типа выделяется

значительное количество энергии ~ 200 МэВ! Для сравнения при α -распаде выделяется ~ 5 МэВ, в одном акте химического горения ~ 4 эВ.

Тем не менее существует и другой, более эффективный, способ получения энергии, который реализуется в ядрах звезд, например, Солнца. Это слияние легких ядер, при котором резко возрастает дефект массы и выделяется огромная энергия. Такие реакции называются ядерными реакциями слияния. Правда, в земных условиях такие реакции осуществить непросто, необходимо преодолеть высокоэнергетический кулоновский барьер.

За объединение нуклонов в ядро ответственно короткодействующее сильное взаимодействие, проявляющееся лишь на расстояниях $l < 10^{-15}$ м, тогда как второе по интенсивности – электромагнитное взаимодействие – проявляется между протонами в ядре и ядрами, содержащими положительно заряженные протоны, как сила отталкивания на любых расстояниях. Электромагнитное отталкивание препятствует сближению ядер на расстояния, где действует объединяющая сила сильного взаимодействия. Очевидный путь для решения проблемы – так называемый термоядерный синтез, слияние ядер, когда в области реакции обеспечены высокие температуры порядка звездных ($\sim 10^7$ – 10^8 К) и, следовательно, большие значения кинетических энергий ядер. Это позволяет преодолеть силы кулоновского отталкивания. Самым простым примером термоядерного синтеза может служить синтез ядер водорода в ядра гелия.

Эту энергию уносят с собой γ -кванты, нейтрино, позитроны и ядро атома гелия – α -частица. Существуют и другие важные для практики ядерные реакции слияния легких ядер (изотопов водорода и гелия). Все они характеризуются высоким энергетическим эффектом и протекают при высоких температурах исходных ядер.

Одна из главных проблем при организации в земных условиях управляемого термоядерного синтеза – создание сосуда, в котором можно было бы удерживать горячее вещество плазмы при высоком давлении,

необходимое для начала ядерной реакции слияния. Любой сосуд расплавится и испарится в присутствии такой плазмы. В настоящее время предпринимаются попытки удержать плазму и контролировать её поведение с помощью мощного магнитного поля специальной формы. Существуют и другие попытки синтеза ядер. Количество исходного сырья, например ядер дейтерия, неисчерпаемо. Промышленное освоение термоядерного синтеза, создание контролируемого источника энергии, основанного на принципе слияния ядер, в значительной степени решает проблему энергообеспечения, столь актуальную на фоне прогнозируемого истощения в ближайшие столетия запасов традиционного вида топлива – угля, нефти, газа. Параллельно отказ от сжигания углеводородного сырья и применения радионуклидов в целях широкомасштабного пополнения энергоресурсов в существенной степени ослабит экологическое давление на состояние атмосферы и окружающей среды.

Глоссарий

Адроны – общее название элементарных частиц, подверженных сильному взаимодействию. Наиболее известные примеры адронов – это нейтрон и протон. Адроны подразделяются на два класса – барионы и мезоны.

Античастицы – элементарные частицы, имеющие ту же массу, спин, время жизни и некоторые другие внутренние характеристики, что и их «двойники», но отличающиеся от них знаками зарядов (электрического, барионного, лептонного).

Барионы – «тяжелые» элементарные частицы с полуцелым спином и массой, не меньше массы протона. К барионам относятся нуклоны (протоны и нейтроны), гипероны и многие резонансы.

Бозоны – частицы или квазичастицы с целым спином, подчиняющиеся статистике Бозе–Эйнштейна. Среди бозонов особый интерес представляют

фотоны – кванты электромагнитного света. Бозоны – это «раствор» для «кирпичей» (фермионов), из которых состоит вещество.

Виртуальные частицы – теоретически возможные элементарные частицы, непрерывно возникающие и исчезающие в короткие, экспериментально не наблюдаемые промежутки времени.

Дефект массы – разность массы системы свободных и той же системы связанных тел (частиц). Знание дефекта массы позволяет определить величину энергии, выделяющейся в ядерных реакциях (деления, синтеза).

Космические лучи – поток стабильных частиц высоких энергий (от 1 до 10^{12} ГэВ), приходящие на Землю из космоса (первичное излучение), а также рожденное этими частицами при взаимодействиях с атомными ядрами атмосферы вторичное излучение, в состав которого входят все элементарные частицы.

Кварки – гипотетические частицы с дробным электрическим зарядом, из которых, возможно, состоят некоторые элементарные частицы, по крайней мере – все адроны.

Лептоны – фундаментальные элементарные частицы с полуцелым спином, не участвующие в сильном взаимодействии и имеющие так называемый лептонный заряд. К лептонам относятся электрон, мюон и тау-лептон, три вида нейтрино (электронное, мюонное и тау-лептонное) и их античастицы.

Мезоны – нестабильные элементарные частицы с нулевым или целым спином, принадлежащие к классу адронов. К мезонам относят пи-мезоны, К-мезоны, многие так называемые резонансы.

Постоянная Планка – одна из фундаментальных мировых постоянных (констант), играющая определяющую роль в микромире, проявляющаяся в существовании дискретных свойств у микрообъектов и их систем.

Принцип Паули (принцип запрета) – одно из фундаментальных положений квантовой механики (квантовой теории), согласно которому тождественные частицы с полуцелым спином не могут одновременно

находиться в одном и том же состоянии. Принцип Паули дает объяснение закономерностям заполнения электронных оболочек в атомах и подтверждает последовательность химических элементов в периодической таблице элементов Менделеева.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга – фундаментальное свойство микрообъектов и микромира (микрофизики), состоящее в невозможности установить точные значения дополнительных друг другу физических величин (координат и импульса, энергии и времени) одновременно, поскольку микрообъектам присуще корпускулярно-волновые свойства и в этом мире проявляется корпускулярно-волновой дуализм. Численно произведение неопределенностей каждой из указанных пар физических величин есть величина порядка постоянной Планка.

Спин – собственный момент импульса микрочастицы, имеющий природу и не связанный с движением микрочастицы как целого. Измеряется в единицах постоянной Планка и может быть целым (0, 1, 2) или полуцелым ($1/2$, $3/2$).

Фермионы – частицы с полуцелым спином, подчиняющиеся статистике Ферми–Дирака. Фермионы – это «кирпичи», из которых состоит мир. Все фермионы подчиняются запрету Паули.

Фундаментальные частицы – неделимые элементарные частицы.

Цепные реакции – сложные реакции, в которых промежуточные активные частицы, регенерируя в каждом элементарном акте, порождают большое число (цепь) превращений исходного вещества.

Тесты

6.1. Элементарные частицы, у которых на данном уровне развития науки не установлена внутренняя структура, называются частицами ...

- 1) условно элементарными;
- 2) фундаментальными;
- 3) вещества;

4) поля.

6.2. Отношением «частица-переносчик взаимодействия – частица, участвующая в этом взаимодействии» связаны ...

- 1) глюон и кварк;
- 2) глюон и фотон;
- 3) нейтрино и электрон;
- 4) фотон и гравитон.

6.3. Самые стабильные элементарные частицы среди приведенных, это – ...

- 1) резонансы;
- 2) гипероны;
- 3) протоны;
- 4) нейтроны.

6.4. Двойственность свойств микрочастиц называется...

- 1) дуализмом;
- 2) аннигиляцией;
- 3) комплиментарностью;
- 4) дубликацией.

6.5. Укажите верное утверждение о соотношении величин энергий, выделяющихся на единицу количества вещества:

- 1) в процессе сжигания природного газа выделяется больше энергии, чем в процессе радиоактивного распада;
- 2) в процессе термоядерного синтеза выделяется в тысячи раз больше энергии, чем в процессе деления тяжелых ядер;
- 3) энергия термоядерного синтеза гелия из водорода всего в десятки раз больше энергии горения природного газа;
- 4) энергия термоядерного синтеза в несколько раз меньше энергии цепного деления тяжелых ядер.

Тема 7. Пространство, время, симметрия

7.1. Принципы симметрии, законы сохранения.

7.2. Эволюция представлений о пространстве и времени.

7.1. Принципы симметрии, законы сохранения

Представление о симметрии есть у всех людей, так как этим свойством обладают разные предметы. Обычно под симметрией понимают однородность, пропорциональность, гармонию каких-либо материальных объектов. Люди давно обратили внимание на правильность формы кристаллов, цветов, пчелиных сот и других естественных объектов и стали воспроизводить эту пропорциональность в произведениях искусства, в создаваемых ими предметах, через понятие симметрии. Симметрию можно обнаружить в живописи, музыке, поэзии, танце. В изобилии симметрия встречается в природе (снежинки, дождевые капли, различные кристаллы). С точки зрения физики симметричным является объект, который в результате определенных преобразований остается неизменным, инвариантным. Инвариантность – это неизменность какой-либо величины при изменении физических условий, способность не изменяться при определенных преобразованиях.

Виды геометрических симметрий

✓ Центральная симметрия: симметричность относительно точки, центра. Пример: шар, радиолярии.

✓ Поворотная (осевая) симметрия: симметричность относительно произвольных вращений. Пример: снежинки.

✓ Трансляционная симметрия (пространственная): симметричность относительно сдвигов пространства в каком-либо направлении на некоторое расстояние.

✓ Зеркальная симметрия: симметричность относительно зеркального отражения или вращения. Пример: крылья бабочки.

Симметрии в физике тесно связаны с законами сохранения физических величин – утверждениями, согласно которым численные значения некоторых физических величин не изменяются со временем в любых процессах или определенных классах процессов.

Наиболее общий подход к взаимосвязи симметрий и законов сохранения содержится в знаменитой теореме Нётер. В 1918 г. Эмма Нётер доказала теорему, упрощенная формулировка которой гласит: если свойства системы не меняются относительно какого-либо преобразования переменных, то этому соответствует некоторый закон сохранения.

Так, закон сохранения энергии вытекает из однородности времени. Симметрия относительно произвольного сдвига во времени приводит к сохранению энергии для консервативных (замкнутых) систем.

Закон сохранения импульса следует из однородности пространства. То есть неизменность характеристик системы при произвольном перемещении её как целого в пространстве на произвольный вектор приводит к сохранению импульса p .

Закон сохранения момента импульса исходит из изотропности пространства, т.е. симметрии относительно произвольных пространственных поворотов.

Кроме рассмотренных выше симметрий, имеет место целый ряд симметрий, действующих в микромире. Они описывают различные аспекты взаимопревращений элементарных частиц и лежат в основе таких законов сохранения, как: закон сохранения электрического заряда, барионного и лептонного зарядов и ряда других законов, открытых в последнее время.

Но, стоит отметить, что физические законы не являются симметричными относительно вращающихся систем отсчета. Кроме того, физические законы не являются симметричными и относительно масштабных преобразований систем – т.н. преобразований подобия. Поэтому законы макромира нельзя автоматически переносить на микромир и мегамир. При рассмотрении действия тех или иных фундаментальных законов не

следует забывать, что каждому виду симметрии соответствует своя асимметрия. Мелкие организмы, взвешенные в воде, имеют почти шарообразную форму. У организмов, живущих в морских глубинах и подверженных высокому давлению воды, уже иная симметрия: у них вращательная способность свелась к отдельным поворотам вокруг некоторой оси. Филогенетическая эволюция стремилась вызывать наследственное различие между правым и левым, однако ее действие сдерживалось теми преимуществами, которое животное извлекало из зеркально-симметричного расположения своих органов. Этим, по-видимому, можно объяснить, почему наши конечности более подчиняются симметрии, чем наши внутренние органы. Так, расположение сердца и закручивание кишечника человека почти всегда левостороннее.

7.2. Эволюция представлений о пространстве и времени

Естественнонаучные представления о пространстве и времени прошли длинный путь становления и развития. Уже в античности мыслители задумывались над природой и сущностью пространства и времени, однако их рассуждения носили стихийный и нередко противоречивый характер. Августин Блаженный как-то сказал: «Кажется, ничего нет яснее и обыкновеннее времени, а между тем, в сущности, нет ничего непонятнее и сокровеннее и более вызывающего размышления».

Укажем основные свойства пространства и времени в классическом понимании:

Пространство выражает порядок расположения одновременно существующих объектов.

Время показывает последовательность событий и сменяющих друг друга состояний материи.

Основной вклад в формирование взглядов на пространство и время внёс в конце XVII в. И. Ньютон. В «Математических началах натуральной философии» (1687 г.) Ньютон писал: «Абсолютное пространство остается в

силу своей природы и безотносительно к какому-либо внешнему предмету всегда одинаковым и неподвижным. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью». Тем самым Ньютон заложил классические представления об Абсолютном пространстве и Абсолютном времени.

Абсолютное пространство являет себя как универсальноеместилище всего существующего в мире. Абсолютное время как универсальная длительность любых процессов во Вселенной. С точки зрения этой концепции, абсолютные пространство, время и материя представляют три независимые друг от друга сущности. На протяжении 300 лет эти утверждения были неоспоримы и на их основе формировались классические представления о пространстве и времени.

Пространство однородно, изотропно, безгранично, непрерывно, трехмерно.

Время однородно, необратимо, одномерно, бесконечно, непрерывно. Лишь в XIX в., когда Максвелл создал теорию электромагнитного поля, ученым пришлось признать возможность ошибки. Тем не менее утверждение новых взглядов на пространство и время произошло только в XX в. после создания А. Эйнштейном теории относительности. Пространство и время стали пониматься как атрибуты материи, свойства материальных тел, существующие только вместе друг с другом и с движущейся материей. Теория относительности стала итогом обобщения и синтеза классической механики Ньютона и электродинамики Максвелла, между которыми с середины XIX в. возникли серьезные противоречия. Так, в механике господствовал классический принцип относительности Галилея, утверждавший равноправность всех инерциальных систем отсчета, а в электродинамике – концепция эфира, или ненаблюдаемой среды, заполняющей мировое пространство и являющейся абсолютной системой

координат. Иными словами, электродинамика выделила свою систему координат, получившую предпочтение перед всеми другими системами.

Глоссарий

Закон сохранения импульса – суммарный импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени.

Закон сохранения момента импульса – момент импульса в замкнутой системе не изменяется с течением времени.

Закон сохранения энергии – полная энергия замкнутой системы остается неизменной с течением времени.

Изотропия – одинаковость физических свойств среды и объектов по всем направлениям, поворот на любой угол сохраняет неизменными законы природы.

Импульс – мера механического движения; то же, что и количество движения.

Инвариантность – неизменяемость какой-либо величины по отношению к некоторым преобразованиям или при изменении физических условий.

Мировой эфир – гипотетическая всепроникающая, всезаполняющая среда, которой в XIX в. приписывалась роль переносчика света и вообще электромагнитных воздействий.

Момент импульса – мера механического движения поля или системы относительно центра или оси.

Однородность – тождественность объекта, множества объектов во всей области определения.

Симметрия – инвариантность (неизменность) структуры, формы материального объекта (системы объектов) относительно его преобразования.

Теорема Нетер – одна из фундаментальных теорем теоретической физики, устанавливающая связь между свойствами симметрии физической системы и законами сохранения.

Энергия – общая количественная мера различных форм движения материи, мера различных процессов и видов взаимодействия, всякое изменение в свойствах вещества, дающее ему возможность производить работу; имеет размерность работы, связывает воедино все явления природы.

Тесты

7.1. Понятие симметрии как неизменности свойств объекта по отношению к операциям, выполняемым над этим объектом, можно применить ...

- 1) только к материальным объектам;
- 2) только к законам;
- 3) только к математическим формулам;
- 4) к материальным объектам, законам и математическим формулам.

7.2. Согласно теореме Э. Нетер «каждому виду симметрии соответствует свой закон сохранения». Трансляционная симметрия пространства соответствует закону сохранения...

- 1) момента импульса;
- 2) электрического заряда;
- 3) импульса;
- 4) энергии.

7.3. Следствием однородности времени является закон сохранения ...

- 1) энергии;
- 2) импульса;
- 3) массы;
- 4) заряда.

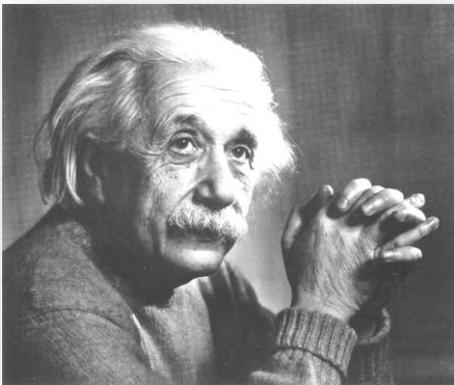
7.4. Полный импульс замкнутой системы остается постоянным. Этот закон обусловлен...

- 1) однородностью времени;
- 2) однородностью пространства;
- 3) изотропностью пространства;
- 4) трехмерностью пространства.

7.5. Абсолютное пространство – самостоятельная сущность, которая не зависит от находящейся в ней объектов и протекающих в ней процессов. Это положение...

- 1) классической механики;
- 2) релятивистской механики;
- 3) специальной теории относительности;
- 4) общей теории относительности.

Тема 8. Теория относительности



8.1. Специальная теория относительности.

8.2. Общая теория относительности.

8.1. Специальная теория относительности

Ученые были убеждены, что законы механики Ньютона управляют движением всей Вселенной и являются базисом природы и что явления природы не могут иметь другого объяснения. Тем не менее во второй половине XIX в. классическая механика Ньютона вступила в фундаментальные противоречия с классической электродинамикой Максвелла. Оказалось, что принцип относительности Галилея справедлив только для механических явлений и неприменим к оптическим и электродинамическим явлениям. Получалось, что уравнения классической механики инвариантны относительно

преобразований Галилея, сохраняют свой вид при переходе из одной системы отсчета в другую, а уравнения электродинамики не инвариантны.

Уравнения электродинамики Максвелла привели к неожиданному выводу, что электромагнитные волны распространяются с постоянной, никогда не изменяющейся скоростью, равной скорости света. Ну а если пуститься в погоню за светом, двигаясь при этом со скоростью света? Интуиция, основанная на законах механики Ньютона, подсказывает, что мы догоним световые волны, и они будут казаться нам неподвижными, свет как бы остановится. Однако экспериментальные данные говорят, что остановить свет невозможно. Скорость света одинакова в разных системах отсчета. Эйнштейн разрешил это противоречие в своей специальной теории относительности (СТО), навсегда изменив представления о пространстве и времени. В основе СТО лежат свойства: одно касается света – постоянство скорости света в вакууме, второе – принцип относительности: всегда, когда речь идет об абсолютной величине или о векторе скорости, следует точно указать, кто или что выполняет измерения. Если в поезде опустить шторы, а движение его будет плавным, без постукивания колёс по стыкам, и скорость постоянной, то мы получаем идеальный поезд. В купе нет возможности определить состояние нашего движения без прямого или косвенного сравнения с каким-либо «внешним» телом. Эйнштейн понял, что принцип относительности означает большее: все законы природы должны быть абсолютно одинаковы в инерциальных системах отсчета. Второй ключевой момент СТО связан со светом и его распространением: свет всегда движется со скоростью примерно 300 000 км/с. Этот факт потребовал кардинальных пересмотров наших взглядов на Вселенную.

В классической механике при переходе из одной инерциальной системы отсчета (ИСО) в другую ИСО используют преобразования Галилея. Чем же заменить преобразования Галилея, чтобы удовлетворить совокупности постулатов СТО? Для связи координат и времени одних и тех же событий, наблюдаемых из различных ИСО, используют преобразования

Лоренца. Основное заключение, к которому возможно придти, состоит в том, что наше пространство – четырехмерно и четвертым измерением является время. Более того, время не просто четвертое измерение – оно является полноправной частью пространства. Древний Зенон, выкладывая свои апории, отрицал существование движения. Одна из апорий Зенона – «Стрела». В ней Зенон предлагает рассмотреть летящую стрелу в какой-нибудь точке траектории. В ней, говорит Зенон, стрела покоится. Потом он предлагает рассмотреть стрелу в другой точке. В ней она – тоже покоится. И так далее, какую точку ни возьми – в ней стрела покоится. Значит, стрела покоится во всех точках траектории, то есть покоится вообще. На самом деле, Зенон сделал не что иное, как мысленным путем обнаружил четырехмерное пространство-время. И все же интересно, как влияет движение на ход времени? Мы уже говорили о том, что дать определение времени довольно сложно, но все мы наверняка знаем, как можно измерить время, т.е. длительность интервала между событиями – с помощью часов. Часы, конечно же, бывают разные. Но нас будет интересовать фундаментальное влияние движения на ход всех часов, независимо от их внешнего вида или конструкции. Для этого воспользуемся самыми простыми часами – так называемыми «световыми часами». Они состоят из двух параллельных зеркал, между которыми движется фотон, поочередно отражаясь от каждого из них. Часы «тикают» каждый раз, когда фотон завершает свой путь туда и обратно. Пусть одни такие часы стоят на столе, а другие такие же движутся мимо с постоянной скоростью. Будут ли движущиеся часы тикать с той же скоростью, что и неподвижные? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим с нашей точки зрения путь, который должен пройти фотон в движущихся часах за время одного тика. С нашей точки зрения, фотон в движущихся часах перемещается по диагональному пути, который длиннее, чем путь вверх-вниз по прямой, по которому движется фотон в неподвижных часах. Таким образом, в движущихся часах фотон должен пройти большее расстояние, чтобы выполнить один тик, его

тики будут более редкими, т.е. для движущихся часов ход времени замедляется! Еще одно интересное следствие СТО – это сокращение длины тела. Оказывается, что движущийся со скоростью v объект сокращается в направлении своего движения.

Итак, Эйнштейн обнаружил, что движение тел распределяется не только в пространстве, но и во времени. Всегда, когда мы договариваемся о встрече, мы указываем не только место встречи, но и время. Такие данные характеризуют событие в пространстве и времени или, для краткости, в пространстве-времени. Когда Эйнштейн утверждал, что тело в движении передвигается со скоростью света, то он имел в виду суммарную скорость тел во всех четырех измерениях – трех пространственных и временном, и скорость тела равна скорости света именно в этом обобщенном смысле. Если тело неподвижно, то всё его движение приходится на перемещение в одном измерении – во временном параметре и тогда скорость тела гораздо меньше скорости света. Если тело начинает двигаться, то часть его движения будет отвлечена на перемещение в пространстве. Так объекты, которые перемещаются в пространстве со скоростью света, перемещаются исключительно в пространстве. Для фотонов время остановилось, у них возраст такой же, как и в момент рождения. Например, реликтовые фотоны, образовавшиеся ~12 млрд лет тому назад в период рождения нашей Вселенной, такие же молодые, как и 12 млрд лет тому назад, т.е. часы идут медленнее, если они перемещаются в пространстве в 275 наносекунд. Ученые измерили разницу, и она составила 273 ± 7 наносекунд, т.е. точно, как предсказывалось в теории Эйнштейна. Итак, работа Эйнштейна показала, что пространство и время взаимосвязаны и являются относительными. Более того, выяснилось, что и другие физические характеристики мироздания тесно связаны между собой. Его самое знаменитое уравнение $E = mc^2$ даёт один из наиболее важных примеров такой связи. Из этого уравнения видно, что даже в небольшой массе сосредоточена колоссальная энергия. Например, когда на Хиросиму была сброшена ядерная бомба, в энергию было превращено около

1 % от 900 граммов урана. Несмотря на то, что многие предсказания СТО на уровне интуиции кажутся невероятными, СТО верна на строго математическом уровне и верна при любых скоростях перемещения тела в инерциальной системе отсчета, но дело то в том, что инерциальные системы отсчета в природе не встречаются.

8.2. Общая теория относительности

Согласно СТО существует абсолютный барьер для скорости – скорость света в вакууме. Это ограничение противоречит теории тяготения Ньютона. Гравитационное притяжение распространяется мгновенно на любом расстоянии (теория дальнего действия). Современные полевые воззрения указывают, что никакая информация не может распространяться быстрее скорости света в вакууме. Например, вспышка света от Солнца идёт до Земли около 8 минут. Всё это свидетельствовало о необходимости создания такой теории, которая отвечала бы принципу инвариантности всех законов природы в любых системах отсчета. Такой теорией стала релятивистская теория гравитации – общая теория относительности (ОТО). Эйнштейн по иному, чем все другие учёные, подошёл к пониманию свойств пространства и времени. Показав, что они искривляются и деформируются, передавая действие силы тяжести, Эйнштейн в 1907 г. пришел к замечательной идее: гравитационная и инертная массы эквивалентны. Это так называемый принцип эквивалентности, составляющий основу ОТО.

Эйнштейн показал, что гравитация создаёт искривление пространства-времени. Чтобы представить суть нового подхода к гравитации, рассмотрим вращение Земли вокруг Солнца. Согласно ньютоновской теории тяготения, Солнце удерживает Землю на некой «привязи», которая каким-то образом мгновенно преодолевает огромные расстояния в пространстве и захватывает Землю. Эйнштейн предложил иную концепцию того, что происходит. Он предположил, что в отсутствии материи пространство будет плоским. Но если в пространстве присутствует массивное тело, то структура пространства

вокруг этого тела искривится. Это аналогично той ситуации, когда мы прыгаем на батуте. Когда мы находимся в воздухе, батут выглядит гладким и плоским, но как только мы встаём на него, он проминается под нашим весом. Итак, согласно Эйнштейну, форма пространства изменяется под влиянием присутствующих в нём тел. Земля остаётся на орбите вокруг Солнца потому, что катится по ложбине в искривлённой структуре пространства. Она движется по линии, которая в искривленном пространстве более всего соответствует прямой в обычном пространстве и называется геодезической. Геодезическая линия – это самый короткий путь между двумя точками. Например, жук, ползущий по глобусу самым коротким путем из Америки в Россию, будет преодолевать расстояние именно по геодезической линии, хотя по прямой линии сквозь глобус было бы короче. Дело в том, что жук может ползать только по поверхности глобуса, но не через него, при этом ему кажется, что он ползет по прямой линии. Но и лучи света тоже должны следовать геодезическим линиям в пространстве-времени. Искривленность пространства означает, что свет уже не распространяется прямолинейно. Скорость света в областях, близких к источнику гравитационного поля, меньше скорости света в областях, удаленных от источника тяготения. Чем сильнее гравитационное поле на пути света, тем медленнее распространяется свет (например, вблизи черных дыр).

До 1915 г. пространство и время воспринимались как некие пассивные феномены, на которые всё происходящее никак не влияет. Так обстояло дело даже в специальной теории относительности. В общей же теории относительности ситуация совершенно иная. Пространство и время рассматриваются как динамические величины. Движущееся тело изменяет кривизну пространства и времени, а структура пространства-времени в свою очередь влияет на то, как движутся тела и действуют силы. Пространство и время влияют на всё, что происходит во Вселенной, и сами изменяются под влиянием всего, что в ней происходит. Без представлений о пространстве и времени нельзя говорить о событиях во Вселенной. На сегодняшний день

никакие эксперименты на современном оборудовании не выявили отклонений от общей теории относительности. Эмпирические доказательства ОТО:

- ✓ отклонение световых лучей вблизи Солнца;
- ✓ замедление времени в гравитационном поле;
- ✓ смещение перигелиев планетных орбит.

В 1976 г. на высоту 104 км на ракете были подняты водородные часы, точность хода которых составляет 10-15 секунд. На Земле оставили точно такие же часы, предварительно синхронизировав с улетевшими часами. Через два года часы вернули и сравнили показания, разность $4,5 \cdot 10^{-10}$ с совпала с расчетной по ОТО, с точностью 0,02 %. Наблюдения также показывают, что за 100 лет перигелий Меркурия поворачивается на 5600" (угловых секунд), где 5025" – это поворот самой системы отсчета, а 575" – это динамическое смещение, обусловленное влиянием объектов Солнечной системы.

Глоссарий

Геодезические линии – линии, которые являются в некотором смысле кратчайшими путями между двумя ближайшими точками.

Замедление времени – эффект специальной теории относительности, согласно которому для движущегося наблюдателя течение времени замедляется.

Идеальный поезд – поезд, вагоны которого не раскачиваются из стороны в сторону, едут с постоянной скоростью и бесшумно.

Изотропия – одинаковость физических свойств среды и объектов по всем направлениям, поворот на любой угол сохраняет неизменными законы природы.

Инвариантность – неизменяемость какой-либо величины по отношению к некоторым преобразованиям или при изменении физических условий.

Квантовая механика – теория, описывающая поведение микрочастиц и их систем.

Кривизна – отклонение объекта, пространства или пространства-времени от плоской формы и, тем самым, отклонение от законов евклидовой геометрии.

Лоренцево сокращение – эффект специальной теории относительности, вследствие которого движущееся тело оказывается укороченным в направлении его движения.

Метрика пространства-времени геометрические свойства четырехмерного пространства-времени (объединяющего физическое трехмерное пространство и время) в теории относительности. В соответствии с теорией относительности метрика пространства-времени зависит от находящейся в нем материи и от ее движения.

Мировая линия (в теории относительности) – линия в четырехмерном пространстве-времени.

Неинерциальные системы – системы отсчета, движущиеся друг относительно друга с ускорением.

Ньютоновская механика – законы, описывающие движение тел, исходя из понятия абсолютного пространства и времени.

Общая теория относительности – теория гравитации, в которой пространство-время, вследствие его кривизны, передает гравитационное взаимодействие.

Принцип относительности – фундаментальный принцип специальной теории относительности, постулирующий, что все наблюдатели, движущиеся с постоянной скоростью, испытывают действие одних и тех же физических законов и, следовательно, каждый наблюдатель, движущийся с постоянной скоростью, вправе утверждать, что он находится в покое. Этот принцип обобщается принципом эквивалентности.

Принцип эквивалентности – фундаментальный принцип специальной теории относительности, постулирующий невозможность отличить

ускоренное движение от движения под действием гравитации. Пространство-время – объединение пространства и времени.

Световые часы – гипотетические часы, измеряющие время подсчетом числа пролетов одного фотона, двигающегося между двумя зеркалами.

Теория струн (суперструн) – объединенная теория мироздания, в которой постулируется, что фундаментальными объектами природы являются не нульмерные точечные частицы, а крошечные одномерные нити, называемые струнами.

Фотон – элементарная частица-переносчик электромагнитного взаимодействия; наименьшая порция света.

Черная дыра – область пространства-времени, из которой ничто, даже свет, не может выбраться наружу потому, что в ней чрезвычайно сильно действие гравитации (сильное искривление пространства-времени).

Энергия покоя – энергия, которая высвободилась бы, если бы вся масса данного тела превратилась в энергию.

Тесты

8.1. Инерциальными называются системы отсчета...

- 1) покоящиеся;
- 2) движущиеся равномерно;
- 3) движущиеся ускоренно;
- 4) движущиеся по инерции.

8.2. В теории относительности Эйнштейна утверждается, что пространство и время...

- 1) существуют как единая четырехмерная структура;
- 2) относительны;
- 3) абсолютны;
- 4) существуют независимо друг от друга.

8.3. Из специальной теории относительности следует, что...

1) при приближении к скорости света все процессы в системе ускоряются;

2) в инерциальных системах отчета с увеличением скорости движения темп времени замедляется;

3) движущиеся относительно наблюдателя часы идут медленнее таких же часов, но покоящихся в его системе отчета;

4) движущиеся относительно наблюдателя часы идут быстрее таких же часов, но покоящихся в его системе отчета.

8.4. Из общей теории относительности следует, что ...

1) массы, создающие поля тяготения, искривляют пространство;

2) в поле силы тяжести время замедляет ход;

3) пространственно-временные свойства окружающего мира не зависят от расположения и движения тяготеющих масс;

4) пространство вблизи массивных тел описывается геометрией Евклида.

8.5. В общей теории относительности принцип относительности распространен на...

1) системы, движущиеся с постоянной скоростью;

2) покоящиеся системы отсчета;

3) движение системы в электромагнитном поле;

4) ускоренно движущиеся системы.

Тема 9. Астрофизическая картина мира

9.1. Космология как наука о Вселенной.

9.2. Концепция Большого взрыва.

9.1. Космология как наука о Вселенной

Начиная с самых ранних этапов своей истории человек стремился понять, как устроен окружающий мир. Вглядываясь в небо, древние люди

обнаружили периодичность смены дня и ночи, смену фаз Луны (месяц), смену сезонных условий (год). За несколько тысячелетий до н. э. они наблюдали пять светил, которые, передвигаясь на фоне неподвижных звезд, описывали в небе петли. Греки называли их блуждающими, что в переводе означает – планеты, и дали им имена богов: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. К ним же были причислены вращающиеся без петель Луна и Солнце, составляя вместе великолепную семерку. Семь стало священной цифрой (семь дней недели, семь «чудес света» и т.п.). Астрологи по расположению планет стала предсказывать судьбу людей, целых стран и мира в целом.

Первые попытки понять, как устроена наша Вселенная, были сделаны в Древней Греции. Так, согласно Аристотелю, Земля, имеющая форму шара, неподвижно пребывает в центре Вселенной. Мир разделен на две области: область Земли (в её основе четыре элемента: земля, вода, воздух и огонь) и область Неба (в её основе – эфир). Пространство мироздания конечно. В нём расположены твердые кристалльно-прозрачные сферы, на которых неподвижно закреплены звезды и планеты. Их видимое движение объясняется вращением указанных сфер, производимым Перводвигателем Вселенной. Он нематериален, ибо это есть Бог – вселенский разум. Птолемей усовершенствовал геоцентрическую модель Аристотеля. В центре – Земля, она неподвижна. Вокруг неё по окружностям вращаются Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн. При этом, чем быстрее движется небесное тело, тем ближе к Земле оно расположено. Кроме того, планеты вращаются по эпициклу. Проведя строгое определение центров эпициклов, Птолемей добился поразительных результатов в предсказании расположения планет в любой момент. Этими результатами человечество пользовалось 1400 лет. Основы новой астрономии на базе научного мировоззрения были заложены Николаем Коперником (1473–1543 гг.). Осознав, что в центре видимого мира находится Солнце, Коперник в книге «Об обращении небесных сфер» объяснил смену дня и ночи вращением Земли вокруг своей

оси, а причину смены времен года – в сохранении неизменным в пространстве наклона оси суточного вращения Земли к плоскости ее орбиты в процессе движения вокруг Солнца. Петлеобразное движение планет – следствие их одновременного перемещения с Землей и наблюдателем. Коперник впервые точно указал порядок размещения известных в его время небесных тел вокруг Солнца: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, покоящаяся сфера неподвижных звезд. Гелиоцентрическая система мира положила конец старому аристотелевско-птолемеевскому взгляду на мир. Возникло принципиально новое миропонимание, содержащее важный тезис о движении как естественном свойстве небесных и земных объектов, подчиненном некоторым общим закономерностям единой механики. Одним из активных сторонников учения Коперника был знаменитый итальянский мыслитель Джордано Бруно. Он отрицал наличие центра у Вселенной и отстаивал тезис о её бесконечности. Бруно говорил о существовании во Вселенной множества тел, подобных Солнцу и окружающим его планетам. Считал, что многие из бесчисленного количества миров обитаемы и, по сравнению с Землей, «если не больше и не лучше, то, во всяком случае, не меньше и не хуже». Следующий шаг в понимании устройства Вселенной был сделан Исааком Ньютоном. Согласно его космологии Вселенная безгранична, бесконечна, однородна и неизменна. Основным законом, управляющим движением и развитием небесных тел, является закон всемирного тяготения. Пространство никак не связано с находящимися в нем телами, играя пассивную роль вместилища для этих тел. Время также не зависит от материи, являясь универсальной длительностью всех природных явлений и тел. Количество звезд, планет и звездных систем во Вселенной бесконечно велико. Каждое небесное тело проходит длительный жизненный путь. На смену погибшим, точнее погасшим звездам приходят новые, молодые светила. Хотя детали возникновения и гибели небесных тел оставались неясными, в основном эта модель казалась стройной и логически

непротиворечивой. В таком виде классическая модель Вселенной просуществовала в науке вплоть до начала XX в.

9.2. Концепция Большого взрыва

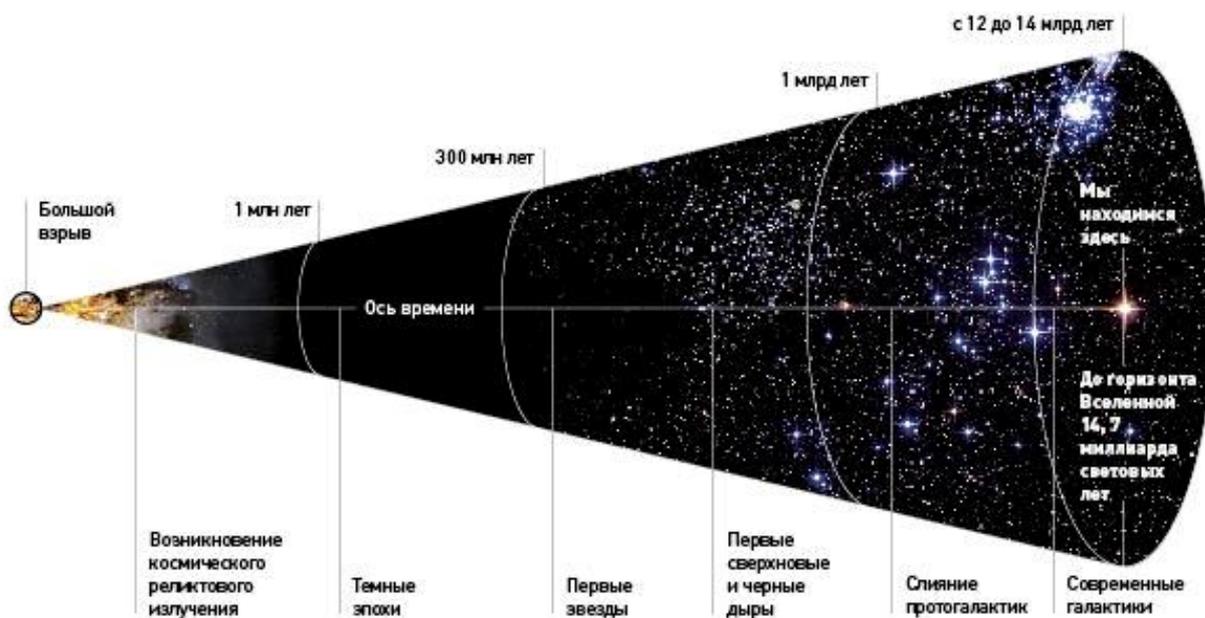


Рис. 3. Модель Большого взрыва

Современные представления о возникновении и эволюции Вселенной основаны на космологии, являющейся физической наукой о Вселенной в целом. Космология базируется на астрофизических наблюдательных данных и на современных теориях, исследующих Метагалактику – ту часть Вселенной, которая доступна наблюдению современными астрономическими средствами. Фундаментом наблюдательных основ современной космологии служат астрофизические данные, полученные во всех частотах шкалы электромагнитного излучения: гамма, рентгеновские, ультрафиолетовые, оптические, инфракрасные и радионаблюдения. Кроме того, важные данные получают при изучении корпускулярных потоков элементарных частиц – космических лучей. Теоретическим фундаментом космологии служат современные физические теории: релятивистская теория тяготения,

квантовая теория, теория фундаментальных взаимодействий, физика элементарных частиц, ядерная физика, а также создающиеся единые теория поля и квантовая гравитация. В основе современных моделей эволюции Вселенной лежит космологический принцип – предположение об однородности и изотропии Вселенной в больших масштабах. Космологический принцип с достаточно хорошей точностью подтвержден наблюдениями: однородность – с точностью $\sim 10^{-2}$, изотропия – с точностью $5 \cdot 10^{-1}$. Современные модели эволюции Вселенной базируются на релятивистской теории тяготения, ОТО, созданной *А. Эйнштейном* в 1917 году. Эйнштейн отказался от постулатов абсолютности и бесконечности пространства и времени, существовавших в науке вплоть до начала XX в., однако сохранил принцип стационарности, неизменности Вселенной во времени и её конечности в пространстве. Свойства Вселенной, по мнению Эйнштейна, определяются распределением в ней гравитационных масс, Вселенная безгранична, но при этом замкнута в пространстве. Согласно этой модели, пространство однородно и изотропно, т.е. во всех направлениях имеет одинаковые свойства, материя распределена в нем равномерно. Однако в 1922 г. советский физик и математик *А. Фридман* на основе строгих расчетов показал, что Вселенная Эйнштейна не может быть стационарной, неизменной. При этом Фридман опирался на сформулированный им космологический принцип, который строится на двух предположениях: об изотропности и однородности Вселенной. Изотропность Вселенной понимается как отсутствие выделенных направлений, одинаковость Вселенной по всем направлениям. Однородность Вселенной понимается как одинаковость всех точек Вселенной: мы можем проводить наблюдения в любой из них и везде увидим изотропную Вселенную. Фридман на основе космологического принципа доказал, что уравнения Эйнштейна имеют и другие, нестационарные решения, согласно которым Вселенная может либо расширяться, либо сжиматься. При этом речь шла о расширении самого пространства, т.е. об увеличении всех расстояний мира. Вселенная Фридмана

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

Первоначально модель расширяющейся Вселенной носила гипотетический характер и не имела эмпирического подтверждения. Но в 1929 г. американский астроном Э. Хаббл обнаружил эффект «красного смещения» спектральных линий (смещение линий к красному концу спектра). Это было истолковано как следствие эффекта Доплера – изменение частоты колебаний или длины волн из-за движения источника волн и наблюдателя по отношению друг к другу. «Красное смещение» было объяснено как следствие удаления галактик друг от друга со скоростью, возрастающей с расстоянием.

Согласно последним измерениям, увеличение скорости расширения составляет примерно 55 км/с на каждый миллион парсек. В результате своих наблюдений Хаббл обосновал представление, что Вселенная – это мир галактик и наша Галактика – не единственная в ней. Существует множество галактик, разделенных между собой огромными расстояниями. Хаббл пришел к выводу, что межгалактические расстояния не остаются постоянными, а увеличиваются. Таким образом, в естествознании появилась концепция расширяющейся Вселенной. Фридман показал, что Вселенная, заполненная тяготеющим веществом, не может быть стационарной, неизменной: её пространство либо расширяется, либо сжимается. Это послужило ему основанием выдвинуть сразу три релятивистские нестационарные модели Вселенной. В одной из них кривизна трехмерного пространства отрицательна, Вселенная бесконечна (открытая модель); в такой модели расстояния между галактиками со временем неограниченно возрастают, расширяющееся пространство неевклидово. В другой модели кривизна пространства положительна, Вселенная конечна (но столь же безгранична, как и в открытой модели); в такой замкнутой модели расширение со временем сменяется сжатием. В ходе эволюции кривизна пространства уменьшается при расширении, увеличивается при сжатии. Но

знак кривизны при этом не меняется. В третьей (пограничной) кривизна пространства равна 0 – расширяющееся эвклидово пространство.

Какая из двух космологических моделей нестационарной Вселенной реализуется на практике?

В астрофизике пока не решена проблема скрытой массы. Имеется много фактов и теоретических предположений о наличии во Вселенной трудно наблюдаемых форм материи со значительной массой, кроме фиксируемой в светящихся объектах. Назовем некоторые из них. На каждый протон во Вселенной приходится около 10^9 нейтрино, масса покоя которых экспериментально не установлена. Есть предположения, что она составляет величину порядка $5 \cdot 10^{-35}$ кг. Несмотря на такую малую величину массы одного нейтрино, с учетом их количества, это сразу приближает нас вплотную к критической плотности Вселенной. Наука допускает существование, кроме того, неизвестных пока нам частиц (и даже фундаментальных короткодействующих взаимодействий, их «обслуживающих»), в которых также скрыта определенная масса Вселенной. Недавно открытый мощный фон рентгеновского излучения свидетельствует, что межгалактическое пространство может быть заполнено водородом с температурой около миллиона кельвин. И, наконец, многие астрофизики не исключают того, что большая часть массы Вселенной сосредоточена в физическом вакууме. С учетом отмеченного выше, модель замкнутой осциллирующей Вселенной представляется не менее вероятной, чем модель открытого мира, неуклонно несущегося к своей «тепловой смерти». В основе современных представлений об эволюции Вселенной лежит модель горячей Вселенной, или «Большого Взрыва», основы которой заложены в трудах американского физика русского происхождения Г. Гамова в конце 40-х гг. XX века. В соответствии с этой концепцией Вселенная на ранних стадиях расширения характеризовалась не только высокой плотностью вещества, но и его высокой температурой. Это начальное состояние называется сингулярностью – точечный объем с бесконечной плотностью. Известные

законы физики в сингулярности не работают. В этом состоянии теряют смысл понятия пространства и времени, поэтому бессмысленно спрашивать, где находилась эта точка. Также современная наука ничего не может сказать о причинах появления такого состояния. Наиболее ранним моментом, допускающим описание, считается момент Планковской эпохи с температурой примерно 10^{32} К (планковская температура) и плотностью около 10^{93} г/см³ (планковская плотность). Было это на 10^{-43} секунде после Большого взрыва. В это время гравитационное взаимодействие отделилось от остальных фундаментальных взаимодействий. Таким образом, ранняя Вселенная представляла собой высокооднородную и изотропную среду с необычайно высокой плотностью энергии, температурой и давлением. Основная идея концепции Большого взрыва состоит в том, что Вселенная на ранних стадиях возникновения имела неустойчивое вакуумоподобное состояние с большой плотностью энергии. Эта энергия возникла из квантового излучения, спровоцированного клиноменом виртуальных частиц, как бы на пустом месте. В физическом вакууме отсутствуют реальные, фиксируемые частицы и поля, но это не безжизненная пустота. В вакууме имеются виртуальные частицы, которые рождаются, имеют мимолетное бытие и тут же исчезают. Поэтому вакуум «кипит» виртуальными частицами и насыщен сложными взаимодействиями между ними. Более того, современный физический вакуум образовался путем распада некоего «ложного» вакуума – возбужденного вакуума. Он характеризовался энергией предельно высокой плотности, которой соответствует предельно высокая плотность вещества. В этом состоянии вещества в нём могут возникать сильнейшие напряжения, отрицательные давления, равносильные гравитационному отталкиванию такой величины, что оно вызвало безудержное и стремительное расширение Вселенной – Большой взрыв. С этого момента начинается стремительное расширение Вселенной, возникают время и пространство. В это время идет безудержное раздувание «пузырей пространства», зародышей одной или нескольких вселенных, которые могут

отличаться друг от друга своими фундаментальными константами и законами. Один из них стал зародышем нашей Вселенной. По разным оценкам, период «раздувания», идущий по экспоненте, занимает невообразимо малый промежуток времени – до 10^{-33} с после «начала». Он называется инфляционным периодом. За это время размеры Вселенной увеличились в 10^{50} раз, от миллиардной доли размера протона до размеров спичечного коробка. К концу фазы инфляции Вселенная была пустой и холодной, но когда инфляция иссякла, Вселенная стала чрезвычайно «горячей». Этот всплеск тепла, осветивший космос, был обусловлен огромными запасами энергии, заключенными в «ложном» вакууме. Такое состояние вакуума очень неустойчиво и стремится к распаду. Когда распад завершается, отталкивание исчезает, заканчивается и инфляция. А энергия, связанная в виде множества реальных частиц, высвободилась в виде излучения, мгновенно нагревшего Вселенную до 10^{27} К. С этого момента Вселенная развивалась согласно стандартной теории «горячего» Большого взрыва. Анализируя динамику процессов преобразования вещества и излучения, сопровождающих расширение Вселенной, для наглядности выделяют четыре стадии (эры):

- ✓ адронную,
- ✓ лептонную,
- ✓ фотонную,
- ✓ звездную.

Адронная эра – эра огромных удельных энергий, эра тяжелых частиц и мезонов, высокоэнергетических гамма-квантов. Температура $T > 10^{12}$ К, плотность $\rho > 10^{14}$ г/см³, $t < 0,0001$ с. Основную роль играет излучение, на него приходится основная часть общего энергосодержания Вселенной. В первую миллионную долю секунды эволюции Вселенной происходила материализация (и параллельно аннигиляция) всех барионов. По прошествии этого времени материализация барионов прекратилась, так как при температуре ниже 10^{13} К фотоны уже не обладали достаточной энергией для

ее осуществления. Пентакварки и нестабильные гипероны (самые тяжелые из барионов) в процессе самопроизвольного распада превратились в самые легкие из барионов (протоны и нейтроны), нейтроны могли дальше превращаться в протоны, которые в силу закона сохранения барионного заряда далее не распадались. При $T = 10^{12}$ К, когда возраст Вселенной достиг 0,0001 с, энергия частиц и фотонов составляла лишь 100 МэВ. Её не хватало уже для возникновения самых легких адронов – пионов. Пионы, существовавшие ранее, распадались, а новые не могли возникнуть. С исчезновением легчайших из адронов кончается и адронная эра. В конце адронной эры оказывается некоторое избыточное количество вещества протонов.

Лептонная эра, следующая за адронной, соответствует параметрам: $10^{10} < T < 10^{12}$ К, $10^4 < \rho < 10^{14}$ г/см³, $0,0001 < t < 10$ с. Основную роль играют легкие частицы, принимающие участие в реакциях между протонами и нейтронами. Энергия частиц в пределах от 100 МэВ до 1 МэВ. Такие энергии достаточны для интенсивного рождения электронов, позитронов и нейтрино, например по схемам: $\gamma + \gamma \rightarrow e^- + e^+$, $e^- + e^+ \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$.

Так, для рождения пары электрон–позитрон надо затратить энергию, равную, как минимум, сумме масс этих частиц, умноженную на квадрат скорости света, т.е. около 1 МэВ. Барионы (протоны и нейтроны), пережившие адронную эру, стали по сравнению с лептонами и фотонами встречаться реже. В несколько секунд, которые длится лептонная эра, энергия фотонов уменьшается до 1 МэВ, и материализация лептонов прекращается. Идёт активная аннигиляция электронов и позитронов. Начинается независимое существование электронного и мюонного нейтрино. Это нейтринное море должно сохраниться до нашего времени. Реликтовые нейтрино (с температурой ~ 2 К) пока обнаружить не удастся.

Эра излучения (плазменная эра), следующая за лептонной, соответствует параметрам $3000 < T < 10^{10}$ К, $10^{-21} < \rho < 10^4$ г/см³ и длится около миллиона лет. Продолжается аннигиляция электронов и позитронов,

пока давление излучения полностью не отделит вещество от антивещества. Со времени адронной и лептонной эр Вселенная была заполнена фотонами, к началу плазменной эры фотонов в два миллиарда больше, чем протонов и электронов.

В рассматриваемый период фотоны – важнейшая часть Вселенной не только по количеству, но и по энергии. Однако далее в процессе расширения Вселенной фотоны ведут себя иначе, чем частицы. В то время как энергия покоя частиц во время расширения Вселенной не меняется, энергия фотонов при расширении уменьшается. Фотоны понижают частоту колебаний, словно «устают» со временем. Вследствие этого плотность энергии фотонов падает быстрее, чем плотность энергии частиц. Преобладание во Вселенной фотонной составляющей над составляющей частиц на протяжении эры излучения уменьшается до тех пределов, пока не исчезает полностью. Температура продолжает снижаться, и тепловая энергия падает ниже энергии связи сложных ядер, позволяя протонам и нейтронам объединяться. Вычисления показывают, что в этом первичном синтезе ядер образовалось около 25 % (по массе) ядер гелия, а оставшееся вещество почти полностью состояло из свободных протонов. Через 100 тысяч лет, когда температура достигла 10 000 К, свободные протоны и электроны получили возможность рекомбинироваться, образуя атомарный водород. На этой стадии вещество и излучение в значительной мере разъединились.

Звёздная эра (современная эпоха) характеризуется параметрами: $T < 3000$. К, $\rho < 10^{-21}$ г/см³. Основными процессами звездной эры являются охлаждение вещества и дифференциация его плотности. Одна за другой сменяются последовательные стадии фрагментации охлаждающегося газа и, в конце концов, начинается процесс звездообразования. Сжатие вещества в звездах под действием самогравитации приводило к его разогреванию вплоть до зажигания термоядерных реакций и установления гидродинамического равновесия (давление в центре звезды уравнивает гравитационное сжатие).

Инфляционная теория дает нам понять, как изначально произошла дифференциация вещества. Если материя распределена в пространстве равномерно, то гравитация не знает, в каком направлении ей действовать. Инфляция порождает области с избытком энергии. Теперь гравитационные силы знают, на что воздействовать, а именно – на более плотные области, созданные во время инфляционного периода. Под действием гравитации эти изначально более плотные области стали сжиматься, и из них в будущем образовались звезды и галактики. Многое остается ещё неясным. И прежде всего – сущность тёмной материи и энергии. Проблема скрытой массы открылась относительно недавно. В середине 30-х г. XX в. швейцарский астроном Фриц Цвикки на основе наблюдений относительных скоростей галактик в скоплении Волос Вероники получил необычный результат: наблюдаемая масса скопления оказалась значительно ниже истинной массы скопления. Скорости галактик в этом скоплении составляют порядка 1 000 км/с. Поэтому, для обеспечения гравитационного удержания галактик в пределах этого скопления, необходимо, чтобы полная масса скопления превышала суммарную массу составляющих её галактик в 10 раз. Измерения показали, что для галактик скорость вращения остаётся почти постоянной на весьма значительном удалении от центра, в то время как она должна убывать (закон Всемирного тяготения). Следовательно и плотность вещества в таких галактиках не убывает при движении от центра, а остается почти неизменной. Поскольку плотность видимого вещества (содержащегося в звездах и межзвездном газе) быстро падает к периферии галактики, недостающую плотность должно обеспечивать нечто, чего мы по каким-то причинам видеть не можем. Доля обычного вещества (протонов, атомных ядер, электронов) в суммарной энергии (массе) в современной Вселенной составляет всего 5 %. Помимо обычного вещества во Вселенной имеются и реликтовые нейтрино – около 300 нейтрино всех типов в кубическом сантиметре. Их вклад в полную энергию во Вселенной невелик, поскольку массы нейтрино малы и составляют не более 3 %. Оставшиеся 90–95 %

полной энергии во Вселенной – «неизвестно что». Причем это «нечто» бывает двух типов – темная материя и энергия. Всё, что заполняет Вселенную, – это материя. Если материя структурирована, её называют веществом, а если нет (например, поле), то – энергией.

Темная материя сродни обычному веществу в том смысле, что она способна собираться в сгустки (размером, скажем, с галактику или скопление галактик). Она участвует в гравитационном взаимодействии так же, как обычное вещество. Скорее всего, она состоит из новых, не открытых еще в земных условиях частиц. Причем эти частицы не должны распадаться на другие, более легкие частицы, иначе бы они распались за время существования Вселенной. Наиболее правдоподобной (но далеко не единственной) представляется гипотеза о том, что частицы темной материи в 100–1000 раз тяжелее протона, и что их взаимодействие с обычным веществом по интенсивности сравнимо с взаимодействием нейтрино. Именно в рамках этой гипотезы современная плотность темной материи находит простое объяснение. Частицы темной материи интенсивно рождались и аннигилировали в очень ранней Вселенной при сверхвысоких температурах (порядка 10^{15} градусов), и часть их дожила до наших дней. При указанных параметрах количество этих частиц в современной Вселенной как раз такое, какое нужно.

Темная энергия несколько отличается от темной материи. Во-первых, она не собирается в сгустки, а равномерно заполняет всю Вселенную. В галактиках и скоплениях галактик ее столько же, сколько вне них. Во-вторых, темная энергия в определенном смысле испытывает антигравитацию. Современными астрофизическими методами можно не только измерить нынешний темп расширения Вселенной, но и определить, как он изменялся со временем. Оказывается, что темп расширения Вселенной растёт со временем. В этом смысле можно говорить об антигравитации: обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик. В наблюдаемой Вселенной все наоборот. Одним из запасников темной энергии

является физический вакуум. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, а это означает отрицательное давление вакуума. Другим порождающим источником тёмной энергии можно рассматривать новое сверхслабое поле, пронизывающее всю Вселенную; для него употребляют термин «квинтэссенция».

Глоссарий

Астрономия – наука о строении и развитии космических тел, образуемых ими систем и Вселенной.

Вселенная – весь существующий материальный мир, неограниченный, по существу в пространстве и времени, а также разнообразием форм, которые принимает материя в процессе своего развития.

Гелиоцентрическая модель мира Коперника – возникшее в эпоху Возрождения (1543 г.) представление о строении Солнечной системы с Солнцем как центральным телом, вокруг которого движутся все планеты.

Геоцентрическая система мира Птолемея – существовавшее с античных времен, системно обоснованное Клавдием Птолемеем представление, согласно которому Земля неподвижно покоится в центре мира, а все небесные светила движутся вокруг нее.

Космические лучи – поток стабильных частиц (около 90 % протоны, около 7 % альфа-частицы (ядра гелия), электроны, позитроны, тяжелые атомные ядра и гамма-кванты (высокоэнергичное электромагнитное излучение), приходящих на Землю из глубин Вселенной. Наиболее вероятные источники этого потока частиц – вспышки сверхновых звезд и образующиеся при этом пульсары.

Космология – наука о Вселенной как едином целом, основанная на наблюдении и теоретических выводах, касающихся ее видимой части – Метагалактики.

Красное смещение – космологическое явление, состоящее в том, что линии в спектрах излучения внегалактических объектов смещены в сторону

больших длин волн (в сторону красной части спектра) по сравнению с эталоном излучения от неподвижных источников. Красное смещение является доказательством расширения Вселенной.

Метагалактика – часть Вселенной, доступная современным методам исследования и включающая в себя галактики и другие космические объекты.

Сингулярность – область пространства с необычными, предельными свойствами по большинству физических параметров. Начальное сверхплотное и горячее состояние Вселенной.

Эффект Доплера – изменение длины волны (или частоты), наблюдаемое при движении источника волн относительно их приемника. Характерен для любых волн (свет, звук и т.д.).

Тесты

9.1. В период классической ньютоновской космологии существовала модель...

- 1) расширяющейся Вселенной;
- 2) эволюционной Вселенной;
- 3) стационарного состояния Вселенной;
- 4) пульсирующей Вселенной.

9.2. Одно из современных направлений естествознания – космология. Космология – это наука...

- 1) о происхождении и развитии небесных тел;
- 2) о происхождении жизни и разума во Вселенной;
- 3) об устройстве Солнечной системы;
- 4) о Вселенной в целом, ее свойствах, структуре, эволюции.

9.3. Согласно модели Большого взрыва на раннем этапе эволюции Вселенная была:

- 1) горячей неплотной и бесконечно больших размеров;
- 2) сверхплотной горячей и бесконечно малых размеров;

- 3) неплотной холодной и бесконечно больших размеров;
- 4) сверхплотной холодной и бесконечно больших размеров.

9.4. Согласно _____ чем дальше от наблюдателя находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется.

- 1) принципу соответствия;
- 2) диаграмме Герцшпрунга–Расселя;
- 3) закону Хаббла;
- 4) общей теории относительности.

9.5. Сменится ли расширение Вселенной ее сжатием, в космологической модели А.А. Фридмана зависело только от...

- 1) средней плотности «тёмной материи» во Вселенной;
- 2) средней плотности материи во Вселенной;
- 3) современного пространственного масштаба Метагалактики;
- 4) современной температуры реликтового излучения.

Тема 10. Геология.

Общая характеристика Земли



Долгое время Землю считали центром мира. Но до сих пор наша планета продолжает оставаться в самом центре внимания исследователей и до сих пор хранит множество загадок для ученых. Согласно современным космологическим представлениям

Земля образовалась вместе с другими планетами около 4,5 млрд лет назад из кусков и обломков, вращавшихся вокруг молодого Солнца. Она разрасталась, захватывая вещество, находившееся вокруг, пока не достигла своего нынешнего размера. В процессе формирования Земли из частиц

протопланетного облака постепенно увеличивалась ее масса. Росли силы тяготения, а следовательно, и скорости частиц, падавших на планету. Кинетическая энергия частиц превращалась в тепло, и Земля все сильнее разогревалась. Энергия падающих тел освобождалась уже не на поверхности, а в глубине планеты, не успевая излучиться в пространство. Хотя первоначальная смесь веществ могла быть однородной в большом масштабе, разогрев земной массы вследствие гравитационного сжатия и бомбардировки её обломками привел к расплавлению смеси и возникшие жидкости под действием тяготения отделялись от оставшихся твердых частей. Постепенное перераспределение вещества по глубине в соответствии с плотностью должно было привести к его расслоению на отдельные оболочки. Более легкие вещества, богатые кремнием, отделялись от более плотных, содержащих железо и никель, и образовывали первую земную кору. Спустя примерно миллиард лет, когда Земля существенно охладилась, земная кора затвердела, превратившись в прочную внешнюю оболочку планеты. Остывая, Земля выбрасывала из своего ядра множество различных газов (обычно это происходило при извержении вулканов). Легкие, такие как водород и гелий, большей частью улетучивались в космическое пространство, но так как сила притяжения Земли была уже достаточно велика, то удерживала у своей поверхности более тяжелые. Они как раз и составили основу земной атмосферы (в основном это были углекислый газ, аммиак и водяной пар из-за активной вулканической деятельности). Атмосфера того времени носила восстановительный тип. Постепенно водяные пары из атмосферы конденсировались, и на Земле возникли океаны.

Считается, что именно в океане зародилась жизнь. Постепенно жизнь стала выходить из океана на сушу, появились растения, которые «перерабатывали» углекислый газ в кислород благодаря фотосинтезу. Таким образом, в атмосфере появился кислород, что привело к появлению атмосферы окислительного типа. На сегодняшний день атмосфера Земли на 21 % состоит из кислорода, на 78,1 % – из азота, 0,9 % – из аргона, также в

незначительных долях процента в атмосфере Земли присутствуют углекислый газ, водород, гелий, неон и др. газы. В нижних слоях атмосферы содержится водяной пар (у земной поверхности – от 3 % в тропиках и до 2·10⁻⁵ % в Антарктиде), количество которого с высотой быстро убывает. На высоте 20–25 км расположен слой озона, который предохраняет живые организмы на Земле от вредного ультрафиолетового излучения. Выше 100 км растёт доля легких газов, и на очень больших высотах преобладает гелий и водород; часть молекул разлагается на атомы и ионы, образуя ионосферу. Давление и плотность воздуха в атмосфере Земли с высотой убывают.

В зависимости от распределения температуры атмосферу Земли подразделяют на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу. Неравномерность нагревания атмосферы Земли способствует общей циркуляции атмосферы, которая влияет на погоду и климат Земли.

Верхняя граница тропосферы находится на высоте 8–20 км. Тропосфера содержит более 80 % всей массы атмосферного воздуха и около 90 % всего имеющегося в атмосфере водяного пара. В ней возникают облака, развиваются циклоны и антициклоны.

Слой атмосферы, располагающийся на высоте от 11 до 50 км, называется *стратосферой*. Между тропосферой и стратосферой имеется промежуточный слой, в котором температура не изменяется. Этот слой получил название тропопауза. Для стратосферы характерно заметное повышение температуры почти до 0 °С, где температура остается постоянной до высоты около 50 км. Эта область постоянной температуры называется стратопаузой и является границей между стратосферой и мезосферой.

Мезосфера начинается на высоте 50 км и простирается до 85 км. Для нее характерно понижение температуры с высотой. Проходя мезосферу, тела из космоса (так называемые метеорные тела) обычно полностью теряют свою массу – «сгорают», при этом возникает свечение, и мы видим в небе яркие вспышки – метеориты. Яркие метеориты называются болидами, слабые –

падающими звездами. Между мезосферой и термосферой есть еще один переходный слой, расположенный на высоте 80–90 км – мезопауза.

Термосфера следующий слой атмосферы Земли. Он простирается на высоту до 700 км. Температура растет до высот 200–300 км, где достигает значений порядка 1 500 К, после чего остается почти постоянной до больших высот. Под действием ультрафиолетовой и рентгеновской солнечной радиации и космического излучения происходит ионизация воздуха («полярные сияния»); основные области ионосферы лежат внутри термосферы. На высотах свыше 300 км преобладает атомарный кислород. В термосфере выделяют так называемую линию Кармана – это высота над уровнем моря, которая условно принимается в качестве границы между атмосферой Земли и космосом. Эта граница находится на высоте около 100 км. Иногда выделяют еще один слой атмосферы Земли – экзосферу.

Экзосфера – это зона рассеяния, внешняя часть термосферы, расположенная выше 700 км. Газ в экзосфере сильно разрежен, и отсюда идет утечка его частиц в межпланетное пространство (диссипация). До высоты 100 км атмосфера представляет собой гомогенную хорошо перемешанную смесь газов. В более высоких слоях распределение газов по высоте зависит от их молекулярных масс, концентрация более тяжелых газов убывает быстрее по мере удаления от поверхности Земли. Вследствие уменьшения плотности газов температура понижается от 0 °С в стратосфере до –110 °С в мезосфере. Однако кинетическая энергия отдельных частиц на высотах 100–250 км соответствует температуре ~1 500 °С. Выше 200 км наблюдаются значительные флуктуации температуры и плотности газов во времени и пространстве. На высоте около 2 000–3 000 км экзосфера постепенно переходит в так называемый ближний космический вакуум, который заполнен сильно разреженными частицами межпланетного газа, главным образом атомами водорода. Но этот газ представляет собой лишь часть межпланетного вещества. Другую часть составляют пылевидные частицы кометного и метеорного происхождения. Кроме чрезвычайно разреженных

пылевидных частиц, в это пространство проникает электромагнитная и корпускулярная радиация солнечного и галактического происхождения.

Состав Земли на сегодняшний день считается состоящим в основном из железа (32,1 %), кислорода (30,1 %), кремния (15,1 %), магния (13,9 %), серы (2,9 %), никеля (1,8 %), кальция (1,5 %) и алюминия (1,4 %); на остальные элементы приходится 1,2 %. Однако эти данные носят приближенный характер. Внутренние части Земли недоступны для непосредственного изучения. Изучать недра Земли очень трудно, так как материалы, из которых состоит Земля, непрозрачны и плотны, поэтому объем прямых данных о веществе глубинных зон весьма ограничен. Это так называемые минеральные агрегаты (крупные составные части породы) из природной сверхглубокой скважины – кимберлитовой трубки в Лесото, которые рассматриваются как представители пород, залегающих на глубине порядка 250 км, а также керны (цилиндрическая колонка горной породы), поднятые из глубочайшей в мире скважины (12 262 м) на Кольском полуострове. Исследование сверхглубин планеты этим не ограничивается. В 70-е гг. XX в. научное континентальное бурение производилось на территории Азербайджана – Сааблинская скважина (8 324 м). В Баварии в начале 90-х гг. прошлого века была заложена сверхглубокая скважина КТБ-Оберпфальц размером более 9 000 м. Существует много методов изучения планеты, но основная информация о её внутреннем строении получена в результате исследований сейсмических волн, возникающих при землетрясениях и мощных взрывах. Каждый час в различных точках Земли регистрируется около 10 колебаний земной поверхности. При этом возникают сейсмические волны двух типов: продольные и поперечные. В твердом веществе могут распространяться оба типа волн, а вот в жидкостях – только продольные.

Смещения земной поверхности регистрируются сейсмографами, установленными по всей поверхности планеты. Фиксирование скорости, с которой волны проходят сквозь Землю, позволяет геофизикам определить плотность и твердость пород на глубинах, недоступных прямым плотностей,

известных по сейсмическим исследованиям. Сопоставление данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов с горными породами (где моделируются температура и давление, соответствующие определенной глубине Земли), позволяет сделать вывод о вещественном составе земных недр. Новейшие данные геофизики позволили смоделировать особенности строения, состава и процессов, происходящих в глубинах Земли.

Земля состоит из четырех оболочек: коры, мантии, внешнего ядра и внутреннего ядра. Толщина земной коры (внешней оболочки) изменяется от нескольких километров (в океанических областях) до нескольких десятков километров (в горных районах материков). Сфера земной коры очень небольшая, на её долю приходится всего около 0,5 % общей массы планеты. Основной состав коры – окислы кремния, алюминия, железа и щелочных металлов. Поэтому самым распространенным элементом земной коры является кислород. В составе континентальной коры, содержащей под осадочным слоем верхний (гранитный) и нижний (базальтовый), встречаются наиболее древние породы Земли, возраст которых оценивается более чем в 3 млрд лет. Океаническая же кора под осадочным слоем содержит в основном один слой, близкий по составу к базальтам. Возраст осадочного чехла не превышает 100–150 млн лет.

От нижележащей мантии земную кору отделяет загадочный слой мохо (назван так в честь сербского сейсмолога Мохоровичича, открывшего его в 1909 г.), в котором скорость распространения сейсмических волн скачкообразно увеличивается. На долю мантии приходится около 67 % общей массы планеты. Твердый слой верхней мантии, распространяющийся до различных глубин под океанами и континентами, совместно с земной корой называют литосферой – самой жесткой оболочкой Земли. Под ней расположен слой, где наблюдается некоторое уменьшение скорости распространения сейсмических волн, что говорит о своеобразном состоянии вещества. Этот слой, менее вязкий и более пластичный по отношению к выше- и нижележащим слоям, называют астеносферой.

Вещество мантии находится в непрерывном движении, и высказывается предположение, что в относительно глубоких слоях мантии с ростом температуры и давления происходит переход вещества в более плотные модификации. В нижней мантии на глубине 2 900 км отмечается резкий скачок не только в скорости продольных волн, но и в плотности, а поперечные волны здесь исчезают совсем, что указывает на смену вещественного состава пород. Это внешняя граница ядра Земли.

Земное ядро интересовало ученых с момента его открытия в 1936 г. Получить его изображение трудно из-за малого числа сейсмических волн, достигавших его и возвращавшихся к поверхности. Земное ядро разделяется на две отдельные области: жидкое внешнее ядро и твердое внутреннее, переход между которыми лежит на глубине 5 156 км. Железо – единственный элемент, который близко соответствует сейсмическим свойствам земного ядра и достаточно обильно распространен во Вселенной, чтобы представить в ядре планеты приблизительно 35 % ее массы. По современным данным, внешнее ядро представляет собой вращающиеся потоки расплавленного железа и никеля, хорошо проводящие электричество. Именно с ним связывают происхождение земного магнитного поля, считая, что, подобно гигантскому генератору, электрические токи, текущие в жидком ядре, создают глобальное магнитное поле. Слой мантии, находящийся в соприкосновении с внешним ядром, испытывает его влияние, поскольку температуры в ядре выше, чем в мантии. Местами этот слой выдаёт направленные к поверхности Земли тепловые массивованные потоки – плюмы. В отличие от простого магнита, магнитное поле Земли асимметрично. Под действием солнечного ветра форма магнитного поля Земли меняется, образуя сферу, которая называется магнитосферой. Магнитосфера защищает поверхность нашей планеты от жестких космических лучей солнечного ветра. Внутреннее твердое ядро не связано с мантией. Несмотря на высокую температуру (около 6 000 °С), его твердое состояние обеспечивается гигантским давлением в центре Земли. В ядре,

помимо железоникелевых сплавов, присутствуют легкие элементы, такие как кремний и сера, а возможно, кремний и кислород. Вопрос о состоянии ядра Земли до сих пор остается дискуссионным. Расчеты показывают, что в земном ядре давление может достигать 3 млн атмосфер. При этом многие вещества как бы металлизуются – переходят в металлическое состояние. Существовала даже гипотеза, что ядро Земли состоит из металлического водорода. Так или иначе, температура ядра Земли примерно 5 000–6 000 °С. Нижние слои мантии нагреваются на границе с горячим внешним ядром. И поэтому вещество нижних слоев мантии за счет конвекции медленно поднимается вверх, а более холодное вещество верхних слоев опускается вниз. При этом внешняя оболочка Земли состоит из жестких литосферных плит, которые перемещаются относительно друг друга. Перемещение литосферных плит называется тектоникой плит. Таким образом, по поверхности Земли движутся не континенты, а литосферные плиты. Плиты сталкиваются друг с другом, выдавливая земную твердь в виде горных хребтов и горных систем, или продавливаются вглубь, создавая сверхглубокие впадины в океане. Их могучая деятельность прерывается лишь катастрофическими событиями – землетрясениями и извержениями вулканов. Почти вся геологическая активность сосредоточена вдоль границ плит. Еще в XVII в. удивительное совпадение очертаний береговых линий западного побережья Африки и восточного побережья Южной Америки навело некоторых ученых на мысль о том, что континенты «гуляют» по планете. Но только три века спустя, в 1912 г., немецкий метеоролог Альфред Лотар Вегенер подробно изложил свою гипотезу континентального дрейфа. Согласно ей относительное положение континентов менялось на протяжении истории Земли. Одновременно он выдвинул множество аргументов в пользу того, что в далеком прошлом континенты были собраны вместе. Помимо сходства береговых линий были обнаружены соответствие геологических структур, непрерывность реликтовых горных хребтов и тождественность ископаемых остатков на разных континентах. Вегенер активно отстаивал

идею о существовании в прошлом единого суперконтинента Пангея, его расколе и последующем дрейфе образовавшихся континентов в разные стороны. Но эта необычная теория не была воспринята всерьез, потому что с точки зрения того времени казалось совершенно непостижимым, чтобы гигантские континенты могли самостоятельно перемещаться по планете.

Возрождение идей этого ученого произошло в результате исследований дна океанов. Наружный рельеф континентальной коры был хорошо известен, а вот океанское дно в течение многих веков оставалось недоступным для изучения. Важным шагом в изучении его рельефа стало изобретение прецизионного эхолота, с помощью которого обозначилась возможность непрерывно измерять и регистрировать глубину дна по линии движения судна. Одним из результатов исследования дна океанов стали данные о его топографии. Сегодня топографию океанского дна легче картировать благодаря спутникам, точно измеряющим «высоту» морской поверхности. Вместо плоского, лишенного особых примет дна, обнаружились рвы и крутые обрывы, горные хребты и крупнейшие вулканы. Особенно выделяется Срединно-Атлантический горный хребет, пересекающий Атлантический океан точно посередине. Оказалось, что дно океана «стареет» по мере удаления от срединно-океанического хребта, «расползаясь» от его центральной зоны со скоростью несколько сантиметров в год. Действием этого процесса можно объяснить сходство очертаний континентальных окраин, если предполагать, что между частями расколовшегося континента образуется новый океанический хребет, а океаническое дно, наращиваемое симметрично с обеих сторон, формирует новый океан. Атлантический океан, посреди которого лежит Срединно-Атлантический хребет, вероятно, возник именно таким образом. Но если площадь морского дна увеличивается, а Земля не расширяется, то что-то в глобальной коре должно разрушаться, чтобы скомпенсировать этот процесс. Именно это и происходит на окраинах большей части Тихого океана. Здесь литосферные плиты сближаются, и одна из сталкивающихся плит погружается под другую и уходит глубоко внутрь

Земли. Такие участки столкновения отмечаются активными вулканами, которые протянулись вдоль берегов Тихого океана, образуя так называемое «огненное кольцо». Вулканический остров Кауаи Гавайского архипелага образовался около 5,1 млн лет назад. С тех пор остров переместился на 600 км к северо-западу, т.е. Тихоокеанская плита перемещается со скоростью около 11-12 см в год. Лос-Анджелес находится на Тихоокеанской плите, которая перемещается к северо-западу относительно Североамериканской плиты со скоростью 5–6 см в год.

Глоссарий

Атмосфера Земли – воздушная среда вокруг Земли, вращающаяся вместе с нею. Около 90 % массы атмосферы заключено в слое до 16 км, а на высотах свыше 100 км только ее миллионная доля. Состав атмосферы вблизи поверхности Земли состоит на 78 % из азота, на 21 % из кислорода, и в незначительных долях процента из аргона, углекислого газа, водорода, гелия, неона и др. газов. На высоте 20–25 км располагается слой озона, предохраняющий живые организмы от вредного коротковолнового излучения. Послойно выделяют тропосферу, стратосферу, мезосферу, ионосферу и экзосферу. Неравномерность ее нагревания способствует общей циркуляции атмосферы, которая влияет на погоду и климат Земли.

Вулкан – геологические образования, возникающие над каналами и трещинами в земной коре, по которым на земную поверхность извергаются лава, обломки горных пород, горячие газы.

Земля – третья от Солнца планета Солнечной системы.

Ионосфера – одна из геосфер, ионизованная область атмосферы, начинающаяся с высот 50–60 км и распространяющаяся до высот порядка 20 000 км. Ионосфера имеет важное значение для радиосвязи на коротких волнах.

Метеориты – малые тела Солнечной системы, попадающие на поверхность Земли из межпланетного пространства; как правило, они

железные или каменные, весят иногда до десятков тонн. Тектоника – раздел геологии, изучающий структуру, динамику, деформации какого-либо участка земной коры и верхней мантии Земли.

Тесты

10.1. Химическая эволюция на ранней Земле протекала в условиях...

- 1) вулканической деятельности, наличия озонового слоя;
- 2) атмосферы окислительного типа, радиационного излучения;
- 3) наличия в атмосфере кислорода, обилия солнечной энергии;
- 4) атмосферы восстановительного типа, присутствия паров воды.

10.2. Внутреннее строение Земли представляют в виде следующих трех основных областей: земная кора, ядро и ...

- 1) зона конвекции;
- 2) мантия;
- 3) магма;
- 4) астеносфера.

10.3. С наличием жидкого ядра у Земли связывают...

- 1) существование магнитного поля;
- 2) возникновение океанов;
- 3) дрейф континентов;
- 4) причины вулканизма.

10.4. Возникновение атмосферы и гидросферы является результатом...

- 1) химических реакций, протекающих в ядре планеты;
- 2) химической эволюции мантии и поступления газов из недр на поверхность в процессе вулканической активности;
- 3) гравитационного притяжения газов из космического пространства с последующей частичной конденсацией;
- 4) деятельности живых организмов.

10.5. В тропосфере Земли возникают ...

- 1) облака и грозы;

- 2) полярные сияния;
- 3) озоновые дыры;
- 4) землетрясения.

Тема 11. Химические системы природы и их составляющие

11.1. Модели атома.

11.2. Химические системы.

11.3. Реакционная способность веществ.

11.1. Модели атома

Гипотеза атомизма зародилась в Древней Греции. Согласно ей всё вещество состоит из мельчайших, невидимых и неделимых частиц – атомов. Позднее Ньютон распространил эти идеи на эфир и свет, полагая, что они также состоят из мельчайших атомов. Дальнейшее развитие гипотеза атомизма получила в XIX в. в результате исследования химических превращений и установления химических законов, разработки кинетической теории и законов идеального газа.

Открытие Д.И. Менделеевым в 1869 г. периодической системы химических элементов подтвердило структурную сложность атомов.



Рис. 4. Модели атома

Первые модели атома были предложены в 1904 г. Дж.Дж. Томсоном и Х. Нагаоки. Модель Томсона представляла собой положительно заряженную сферу, в которую вкраплены отрицательно заряженные электроны. Аналогом модели атома Нагаоки была планета Сатурн с его знаменитыми кольцами, которые воспринимались как множество разновеликих тел-камней. В модели Сатурн был заменен положительно заряженной частью атома, вокруг которой по кольцевым орбитам двигались электроны.

В 1911 г. английский физик Э. Резерфорд предложил планетарную модель атома, в которой вместо Солнца фигурировало маленькое по сравнению с размерами атома ядро, вокруг которого вращались планеты – электроны, что позволило прийти к планетарной модели. Заключительным аккордом классического атомизма, открывшим начало современным квантовым представлениям о строении атома, явилась энергетическая модель атома Нильса Бора (1885–1962).

Формально модель Бора не отличалась от представлений Э. Резерфорда. Вокруг массивного положительно заряженного ядра (размером $\sim 10^{-15} \div 10^{-14}$ м), несущего электрический заряд $Z \cdot e$, вращаются Z электронов так, что диаметр атома примерно в 100 000 раз превышает размер ядра и составляет $\sim 10^{-10}$ м (Z – порядковый номер элемента в таблице химических элементов Д.И. Менделеева). Однако Н. Бору удалось с помощью ряда постулатов объяснить устойчивость атома, обреченного в соответствии с законами Максвелла излучать энергию вплоть до падения орбитальных электронов на ядро. Через линейчатый спектр излучения атомов доказать, что вместо непрерывного испускания пучков энергии её выбросы носят прерывный характер. Для водорода атома Бор постулировал описанные ниже реальности.

Каждый атом имеет несколько стационарных состояний или орбит электронов, двигаясь по которым, электрон не излучает энергии. Всякое изменение энергии в результате поглощения или испускания

электромагнитного излучения может происходить только скачком из одного состояния в другое. При переходе из одного стационарного состояния в другое электрон излучает или поглощает определенную порцию энергии монохроматического излучения определенной частоты ν .

Энергетические уровни оболочек содержат в себе разное количество орбиталей. В соответствии с принципом Паули электронная оболочка атома не может одновременно содержать два электрона в одном и том же состоянии, т.е. никакие два электрона в одном и том же состоянии не могут иметь одинаковые наборы четырех квантовых чисел. Бесспорным фактом, объединяющим современные представления и взгляды Резерфорда-Бора на атом, является центральное расположение положительно заряженного ядра, занимающего $\sim 10^{-2}$ % объема и сосредотачивающего в себе до 99,98 % массы атома. Вокруг ядра располагаются отрицательно заряженные электроны, имеющие строго определенные разрешенные значения энергии. В ряду этих разрешенных энергий электроны обычно принимают состояния с наименьшими значениями. В таком основном состоянии (обозначаемом как А, В) атом пребывает большую часть времени в диапазоне малых температур среды. При внешних воздействиях на атом его электроны переходят скачком в другие состояния с большими значениями энергии; при этом атом переходит в возбужденное состояние (обозначаемое как А*, В*). При интенсивных внешних воздействиях один или несколько электронов могут покинуть атом, переводя его в ионизированное состояние. При этом атом приобретает положительный электрический заряд, называется ионом и обозначается как А⁺, А⁺⁺, А⁺⁺⁺ в зависимости от числа электронов, покинувших атом. По современным представлениям электроны в атоме проявляют двойственное поведение: они выступают как корпускулы и как волны. Это поведение в рамках корпускулярно-волнового дуализма характерно для всех объектов микромира. С одной стороны, электроны в атоме имеют массу m , скорость v . Их можно выбить из атома – внешний фотоэффект. Локализуясь в пространстве и взаимодействуя с фотоном, они

могут отбирать у него часть энергии. При этом фотон переизлучается на другой частоте (эффект Комптона). С другой стороны, электрон в атоме – это волна с целым числом колебаний и длиной λ . По современным представлениям он не имеет орбиты, его поведение описывается волновой функцией (Ψ -функцией), определяемой из уравнения Шредингера. Обычное волновое уравнение в классической механике при решении даёт пространственную конфигурацию волны в заданный момент времени.

11.2. Химические системы

Химия – важнейшая наука для жизни человека. Её определяют, как науку о составе, внутреннем строении и превращении вещества, а также о механизмах этих превращений.

На сегодняшний день известно более 4 млн органических и свыше 100 тыс. неорганических веществ. Для облегчения изучения все вещества делят на две группы: простые и сложные. Простые – это вещества, образованные из атомов одного элемента. Например, уголь образован атомами элемента углерода, простое вещество – железо – атомами элемента железа.

Сложные вещества или химические соединения – это вещества, образованные атомами разных элементов. Химия позволяет синтезировать материалы, которых нет в природе, использовать их для создания всевозможных машин и приборов, для строительства жилищ и производства товаров народного потребления. В этом плане возможности химии неисчерпаемы. Только из нефти можно получить свыше 20 тыс. органических веществ, а из каменного угля еще больше. Немаловажное значение отводится химии в научном понимании картины мира. Химия подтвердила общие законы развития природы, общества и познания.

Атом – это наименьшая частица химического элемента, входящая в состав молекул простых и сложных веществ. Молекула – это наименьшая структурная единица вещества, обладающая его химическими свойствами. Химические свойства молекулы определяются ее составом и химическим

строением. К молекулам относят: молекулы простых веществ, состоящие из атомов одного элемента: одноатомные атомы инертных газов (He – гелий, Ne – неон, Ar – аргон и др.), двухатомные (H_2 – водород, N_2 – азот, O_2 – кислород, F_2 – фтор и др.), трехатомные (O_3 – озон), многоатомные (монокристаллы: алмаза (C), металлов (Fe, Zn, Cu и др.).

Молекулы сложных веществ состоят из атомов двух и более элементов: двухатомные (CO – окись углерода, KCl – хлористого калия и др.), трехатомные (H_2O – вода), четырех-, пяти- и т.д., например, H_2SO_4 – молекула серной кислоты, атомные и ионные монокристаллы, состоящие из двух и более элементов, например, NaCl – каменная соль.

Макромолекулы – молекулы, состоящие из тысяч и более одинаковых или близких по строению групп атомов: белки, нуклеиновые кислоты, сложные углеводы, искусственные полимеры, некоторые витамины и т.п.

Химический элемент – это совокупность атомов, обладающих одинаковым зарядом ядра. В настоящее время известно более 100 химических элементов. Все они составляют основу периодической системы Д.И. Менделеева, которая является графическим изображением периодического закона. Д.И. Менделеев показал, что свойства химического элемента зависят от его места данного атома в периодической системе. Сам Менделеев определял это место по атомной массе, но в XX в. было выяснено, что порядковый номер элемента зависит не от атомной массы, а от заряда атомного ядра и количества электронов. В периодической системе по горизонтали имеется 7 периодов, первые три периода – малые, остальные названы большими. В первом периоде находится 2 элемента, во втором и третьем – по 8, в четвертом и пятом – по 18, в шестом – 32, в седьмом (незавершенном) – 21 элемент. Каждый период, за исключением первого, начинается щелочным металлом и заканчивается благородным газом. В малых периодах с возрастанием порядкового номера элемента добавочные электроны всякий раз присоединяются к наружному слою атома. У первых двух элементов достраивается внешний энергетический уровень до 2-х

электронов. Начиная с третьего элемента всех больших периодов накопление электронов в наружном слое атомов с возрастанием порядкового номера временно прекращается, а возобновляется накопление электронов в предпоследнем слое, пока число их в нем не возрастет с 8 до 18. Пока идёт «достройка» электронами предпоследнего слоя, в наружном слое, как правило, остаются 2 электрона. Исключение составляет переход от номера 28 Ni к номеру 29 Cu – вместе с очередным электроном в предпоследний слой перемещается один из 2-х наружных электронов.

В периодической системе по вертикали имеется 8 групп (обозначены римскими цифрами). Номер группы связан со степенью окисления элементов, проявляемой ими в соединениях. Как правило, высшая положительная степень окисления элементов равна номеру группы. Исключением являются фтор, его степень окисления – 1; медь, серебро, золото проявляют степень окисления + 1, + 2 и + 3; из элементов VIII группы степень окисления + 8 известна только для осмия, рутения и ксенона. В VIII группе располагаются благородные газы. Каждая группа делится на две подгруппы – главную и побочную. Подгруппы, в которые входят элементы и малых и больших периодов, называются Главными, а подгруппы, составленные только из элементов больших периодов, – побочными. Исключением является VIII группа, которая содержит три побочные подгруппы: подгруппу железа, подгруппу кобальта и подгруппу никеля. Подгруппы объединяют наиболее сходные между собой элементы. Свойства элементов в подгруппах закономерно изменяются: сверху вниз усиливаются металлические свойства (наибольшие у франция, затем у цезия и т.д.) и ослабевают неметаллические (наиболее выражены у фтора, затем у кислорода). Особой разновидностью химических элементов являются изотопы, у которых ядра атомов отличаются числом нейтронов, поэтому у них разная атомная масса, но содержат одинаковое число протонов и поэтому занимают одно и то же место в периодической системе элементов. Термин «изотоп» был введен в 1910 г. Фредериком Содди, известным

английским радиохимиком, лауреатом Нобелевской премии. Различают стабильные (устойчивые) и нестабильные (радиоактивные) изотопы. С момента открытия изотопов наибольший интерес вызвали радиоактивные изотопы, которые стали широко использоваться в атомной энергетике, приборостроении, медицине и т.д.

В настоящее время выпускается огромное количество различных приборов, содержащих радиоактивные изотопы. Они служат для определения плотности, однородности и других характеристик материалов. В медицине с помощью радиоактивных изотопов лечат многие заболевания, в том числе онкологические. Кроме того, батареи небольшой мощности на изотопах плутония-238 и кюрия-224 применяются в приборах для стабилизации ритма сердца. В химической промышленности изотопы используются для облучения полиэтилена и других полимеров с целью повышения их термостойкости и прочности, т.е. получения дополнительных сил. Эти силы различаются в зависимости от своей природы. В мире атомов и молекул роль такого универсального клея, связывающего их между собой, выполняет химическая связь.

Природа химической связи объясняется электрическим притяжением между отрицательными электронами и положительными ядрами. Подобно тому, как разные виды клея различаются прочностью, сила химической связи также неодинакова для разных веществ. Об этом свидетельствует наш повседневный опыт: одни вещества легко разрушаются при малейшем воздействии (например, соль растворяется в воде), так как связи между их атомами очень слабы. Атомы других веществ связаны сильнее, но и они поддаются деформации, например металлы, которые можно гнуть и ковать; третьи же вещества (алмаз) настолько прочны, что им нипочем ни сверхвысокие температуры, ни давление. Соль, металл и алмаз являются яркими представителями трех наиболее характерных типов химической связи

- ✓ ионной;
- ✓ металлической;

✓ ковалентной.

Тип связей между атомами и молекулами вещества влияет на его физические и химические свойства. Атомы вступают в химические связи с единственной целью – приобрести устойчивую электронную конфигурацию. В зависимости от характера распределения электронной плотности между взаимодействующими атомами различают ряд типов химических связей: ионная, ковалентная, металлическая.

Вандерваальсовая и водородная ионная связь представляют собой электрическое притяжение между противоположно заряженными ионами частицами, несущими электрический заряд. Если электрону удастся полностью «освободиться» от сил притяжения ядра и покинуть атом, то происходит ионизация атома. Атом превращается в положительный ион, именуемый катионом и обозначаемый знаком «плюс». Если же атом, наоборот, принимает в себя дополнительные электроны, то их избыток превращает его в отрицательный ион – анион, который изображается с «минусом». Это и называется ионной химической связью. Одно из свойств ионных соединений – способность образовывать кристаллическую решетку, в узлах которой расположены положительные и отрицательные ионы. Типичный представитель вещества с ионной связью – всем известная поваренная соль. Ее формула – NaCl . Большинство ионных соединений легко разрушаются под внешним воздействием или в химических реакциях. В молекуле хлора Cl_2 мы встречаемся с так называемой ковалентной связью между атомами. В такой связи каждый из двух атомов делится с другим одним из своих внешних электронов. При этом оба приобретают восьмой электрон в свою внешнюю оболочку и обретают устойчивую конфигурацию. Электроны, образующие общую пару, называются валентными.

Для того чтобы орбитали перекрывались, расстояние между атомами должно быть маленьким. Этому препятствуют силы отталкивания между их ядрами. Но ковалентная связь достаточно сильна, чтобы удерживать атомы в таком положении. Благодаря этому нелегко оторвать атомы с общей

орбиталью друг от друга. Таким образом, ковалентная связь является самой сильной химической связью. Именно большая энергия ковалентной связи объясняет прочность алмаза, в котором каждый атом углерода ковалентно связан с четырьмя другими.

Металлы – распространенный материал современной промышленности. Они хорошо проводят тепло и электричество, достаточно прочны, их можно деформировать без разрушения. Уникальные свойства металлов объясняются особым типом химической связи, соединяющей атомы металлов между собой, – металлической связью. Электроны в металлах делокализованы, то есть не принадлежат какому-либо конкретному атому. Когда два атома металла сближаются, орбитали их внешних оболочек перекрываются, образуя молекулярные орбитали. Если подходит третий атом, его орбита перекрывается с орбиталями первых двух атомов, что даёт ещё одну молекулярную орбиталь. Металлическая связь объясняет свойства металлов, их прочность. Под действием деформирующей силы решетка металла может изменять свою форму, не давая трещин, в отличие от ионных кристаллов.

Высокая теплопроводность металлов объясняется тем, что если нагреть кусок металла с одной стороны, то кинетическая энергия электронов увеличится. Это увеличение энергии распространится по всему образцу с большой скоростью. Становится понятной и электрическая проводимость металлов. Если к концам металлического образца приложить разность потенциалов, то облако делокализованных электронов будет сдвигаться в направлении положительного потенциала. Этот поток электронов, движущихся в одном направлении, и представляет собой всем знакомый электрический ток. Кроме рассмотренных типов химической связи говорят о сравнительно слабых силах Ван-дер-Ваальса. Некоторые молекулы обладают дипольным моментом. Его суть в том, что в одной части молекулы «скапливается» больше электронов, чем в другой. Это приводит к возникновению разности потенциалов на её концах. В настоящий момент

термин «Вандерваальсовы силы» распространяется на все слабые межмолекулярные силы, кроме водородных связей. Несмотря на то, что водородная связь, возникающая вследствие силы притяжения между атомом водорода и электроотрицательным атомом, представляет предельный случай диполь-дипольного притяжения, ее, как правило, не относят к силам Вандерваальса. Именно водородные связи объясняют многие уникальные свойства воды и льда.

11.3. Реакционная способность веществ

Химические реакции приводят к разрыву связей в исходных веществах и возникновению новых связей в продуктах реакции. Однако почему, например, в химических реакциях из атомов углерода иногда образуется рыхлое аморфное вещество – сажа, иногда мало прочный кристалл – графит и редко – алмаз. Причиной этого выступают условия протекания реакций синтеза веществ. Поскольку образование связей происходит с выделением, а разрыв связей – с поглощением энергии, то химические реакции сопровождаются выделением и поглощением энергии в виде теплоты. Реакции, идущие с выделением теплоты, называются экзотермическими. Для протекания эндотермических реакций требуется энергии извне. Важно отметить, что в реакцию вступают не все молекулы, а только активные, т.е. обладающие энергией, достаточной для осуществления данной реакции. Неактивные частицы можно пустить в дело, если сообщить им необходимую дополнительную энергию – их активировать. Один из способов активации – увеличение температуры. При повышении температуры число активных частиц возрастает, благодаря чему резко увеличивается скорость реакции.

Под скоростью химической реакции понимают изменение концентрации одного из реагирующих веществ в единицу времени при неизменном объеме системы. Скорость химической реакции зависит от природы реагирующих веществ и условий протекания реакции: концентрации, температуры, присутствия катализаторов, давления (для

газовых реакций), от измельчения (для твердых тел), от радиоактивного облучения.

Чтобы осуществилось химическое взаимодействие веществ, их молекулы должны столкнуться. Чем больше столкновений, тем быстрее протекает реакция. Число же столкновений тем больше, чем выше концентрация реагирующих веществ. Отсюда на основе обширного экспериментального материала был сформулирован основной закон химической кинетики: скорость химической реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ. Часто этот закон называют законом действующих масс. Зависимость скорости реакции от температуры определяется правилом Ван-Гоффа. При повышении температуры на каждые 10° скорость большинства реакций увеличивается в 2-4 раза.

Однако правило Ван-Гоффа является приближенным и применимо лишь для ориентировочной оценки влияния температуры на скорость реакции. Увеличить реакционную способность веществ можно с помощью катализаторов. Применять катализаторы выгоднее, чем повышать температуру, что далеко не всегда возможно. *Катализаторы* – это вещества ускоряющие скорость химических реакций. Вещества, понижающие скорость протекания реакции, называются ингибиторами.

Роль катализаторов впервые открыл в 1812 г. К.С. Кирхгоф. Он впервые с помощью катализатора серной кислоты превратил крахмал в сахар. Различают два вида катализа – гомогенный (однородный) и гетерогенный (неоднородный). При гомогенном катализе реагирующие вещества и катализатор образуют однофазную систему – газовую или жидкую. Между катализатором и реагирующими веществами отсутствует поверхность раздела, например каталитическое разложение пероксида водорода в присутствии раствора солей (жидкая фаза). При гетерогенном катализе реагирующие вещества и катализатор образуют систему из разных фаз. Обычно катализатор – твердое вещество, а реагирующие вещества – газы или

жидкости. Примерами могут служить окисление аммиака (газообразная фаза) в присутствии платины (твердая фаза) или разложение пероксида водорода (жидкая фаза) в присутствии угля (твердая фаза). *Автокатализ* – это ускорение реакции, обусловленное накоплением промежуточного или конечного продукта, обладающего каталитическим действием в данной реакции, т.е. из-за образующегося в реакции катализатора. Особую роль играют биологические катализаторы – ферменты. При их участии протекают сложные химические процессы в растительных и животных организмах. Большинство химических реакций являются реакциями обратимого типа. Обратимыми называются такие реакции, которые протекают в двух взаимно противоположных направлениях.

Реакции, которые протекают только в одном направлении и завершаются полным превращением исходных реагирующих веществ в конечные вещества, называются необратимыми. Примером необратимой реакции может служить разложение хлората калия (бертолетовой соли) при нагревании: $2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$. Реакция прекратиться тогда, когда весь хлорат калия превратится в хлорид калия и кислород. В уравнениях обратимых реакций между левой и правой частями ставят две стрелки, направленные в противоположные стороны. В промышленности обратимые реакции невыгодны. Поэтому различными методами (изменение температуры, давления и др.) их делают практически необратимыми.

Обратимые реакции не доходят до конца и заканчиваются установлением химического равновесия. При химическом равновесии наступает такое состояние системы реагирующих веществ, при котором скорости прямой и обратной реакций равны между собой. Например, в реакции синтеза аммиака равновесие наступает тогда, когда в единицу времени образуется столько же молекул аммиака, сколько их распадается на азот и водород. На состояние химического равновесия оказывают влияние концентрация реагирующих веществ, температура, а для газообразных веществ и давление. При изменении одного из этих параметров равновесие

нарушается, концентрация всех реагирующих веществ изменяется до тех пор, пока не установится новое равновесие, но уже с иными значениями равновесных концентраций. Подобный переход системы из одного состояния равновесия в другое называется смещением или сдвигом химического равновесия. Если при изменении условий, увеличивается концентрация конечных продуктов, то говорят о смещении равновесия в сторону продуктов реакции. Если же концентрация исходных веществ увеличивается, то равновесие смещается в сторону их образования. Направление смещения химического равновесия при изменениях концентрации реагирующих веществ, температуры, давления определяется общим положением, известным под названием принципа Ле Шателье. Если на систему, находящуюся в равновесии, производится какое-либо внешнее воздействие (изменяется концентрация, температура, давление), то оно благоприятствует протеканию той из двух противоположных реакций, которая ослабляет постороннее воздействие.

Если внешнее воздействие выражается в увеличении концентрации азота или водорода, то оно благоприятствует реакции, вызывающей уменьшение концентрации этих веществ, и, следовательно, равновесие сместится в сторону образования аммиака. Соответственно, увеличение концентрации аммиака смещает равновесие в сторону исходных веществ. Поскольку прямая реакция протекает с выделением теплоты, то повышение температуры смеси благоприятствует протеканию реакции с поглощением теплоты, и равновесие сместится в сторону исходных веществ. Понижение температуры вызовет смещение равновесия в сторону продукта реакции. Чтобы определить влияние давления на смещение равновесия, необходимо подсчитать число молекул в левой и правой частях уравнения. Поскольку увеличение давления должно благоприятствовать процессу, ведущему к уменьшению числа молекул, то в данном случае равновесие стремится в сторону продукта реакции. Очевидно, уменьшение давления сместит равновесие в сторону исходных веществ. Если же в уравнении обратимой

реакции число молекул в левой части равно числу молекул в правой части, например, $N_2 + O_2 = 2NO$, то изменение давления не вызывает смещения химического равновесия. Катализаторы одинаково ускоряют как прямую, так и обратную реакции и поэтому на смещение равновесия влияния не оказывают, а только способствуют более быстрому его достижению.

Способы смещения равновесия в желаемом направлении, основанные на принципе Ле Шателье, играют огромную роль в промышленной химии. Синтез аммиака и другие промышленные процессы были освоены благодаря применению способов смещения равновесия в направлении, обеспечивающем высокий выход получаемого вещества.

Глоссарий

Атом – наименьшая частица химического элемента, которая является носителем его свойств.

Автокатализ – ускорение реакции, обусловленное накоплением промежуточного или конечного продукта, обладающего каталитическим действием в данной реакции, т.е. из-за образующегося в реакции катализатора.

Изотопы – разновидности атомов одного химического элемента, обладающие одинаковыми зарядами ядер, но разными массовыми числами, т.е. различаются числом нейтронов.

Катализаторы – вещества, ускоряющие скорость химических реакций.

Молекула – наименьшая частица вещества, определяющая его свойства и способная к самостоятельному существованию.

Полимеры – вещества, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев.

Ферменты (иначе энзимы, биокатализаторы) – сложные органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах и в миллионы раз ускоряющие химические процессы в них.

Химическая связь – совокупность сил и типов взаимодействий, которые обуславливают существование молекул, кристаллов и молекулярных ионов и радикалов.

Химический элемент – это определенный вид атомов с одинаковым положительным зарядом ядра.

Тесты

11.1. Химический процесс сопровождается ...

- 1) изменением состава и строения вещества;
- 2) изменением физических свойств вещества без изменения его состава и строения;
- 3) ядерными превращениями;
- 4) изменением химических свойств вещества без изменения его состава и строения.

11.2. С современной точки зрения систематизирующим фактором периодической системы Д.И. Менделеева является ...

- 1) масса ядра атома;
- 2) заряд ядра атома;
- 3) масса атома;
- 4) заряд атома.

11.3. Согласно современной точке зрения, систематизация элементов по подгруппам периодической системы связана с ...

- 1) общим числом электронов;
- 2) числом энергетических уровней, по которым распределены электроны;
- 3) числом полностью заполненных энергетических уровней;
- 4) одинаковым электронным строением валентных подуровней.

11.4. Для увеличения скорости химической реакции $2\text{SO}_2(\Gamma) + \text{O}_2(\Gamma) = 3\text{SO}_3(\Gamma)$ следует:

- 1) увеличить температуру;

- 2) уменьшить концентрацию оксида серы (IV), SO₂;
- 3) увеличить концентрацию оксида серы (IV), SO₂;
- 4) увеличить концентрацию оксида серы (VI), SO₃.

11.5. Квантово-механическая система «молекула» образована в результате...

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

Тема 12. Биологический уровень организации материи

12.1. Особенности биологического уровня организации материи.

12.2. Принципы воспроизводства живых систем.

12.1. Особенности биологического уровня организации материи

Биология – это наука о живом. Главной задачей биологии является выявление и объяснение закономерностей возникновения и развития живой природы. Мир живых существ, включая человека, представляет собой биологические системы разнообразных форм, сильно различающихся по размерам, массе и сложности внутреннего строения. На Земле мы наблюдаем внеклеточные формы (вирусы, фаги). Прокариоты (безъядерные клеточные), представленные двумя доменами. Бактериями – первичными микроскопическими простейшими одноклеточными организмами и эукариотами – ядерными клеточными образованиями. Среди них выделяют царства:

- ✓ растения (багрянки, настоящие водоросли, высшие),
- ✓ грибы (низшие и высшие),
- ✓ животные (простейшие и многоклеточные).

Каждое царство представлено более мелкими таксонами (типами, классами, отрядами, семействами, родами, видами, популяциями и особями), возникшими в результате эволюционного развития мира живого. Тем не менее, несмотря на такое разнообразие живых организмов, мир живого – это единая система, элементам которой присущи единые черты.

Рассмотрение живой материи начинается с выяснения строения и свойств органических молекул. Клетки многоклеточных организмов входят в состав тканей, два или несколько видов тканей образуют орган. Сложно устроенный многоклеточный организм, имеющий в своем составе ткани и органы, в то же время представляет собой элементарную единицу биологического вида. Взаимодействующие между собой виды составляют сообщество, или экологическую систему, которая, в свою очередь, является одним из компонентов биосферы. В соответствии с этим выделяют несколько уровней организации живой материи.

1. Молекулярный. Любая живая система, как бы сложно она ни была организована, проявляется на уровне функционирования биологических макромолекул биополимеров: нуклеиновых кислот белков, полисахаридов, а также других важных органических веществ. С этого уровня начинаются важнейшие процессы способа организации жизнедеятельности организмов: обмен веществ, превращение энергии, передача наследственной информации и др.

2. Клеточный. Клетка является структурной и функциональной единицей, а также единицей развития жизни на Земле. Свободно живущих неклеточных форм жизни не существует.

3. Тканевой. Ткань представляет собой совокупность сходных по строению клеток, объединенных выполнением общей функции.

4. Органный. Органы – это структурно-функциональные объединения нескольких типов тканей. Например, кожа человека как орган включает эпителий и соединительную ткань, которые вместе выполняют целый ряд

функций; среди них наиболее значительная – защитная, т.е. функция отграничения внутренней среды организма от окружающей среды.

5. *Организменный.* Многоклеточный организм представляет собой целостную систему органов, специализированных для выполнения различных функций.

6. *Популяционно-видовой.* Совокупность организмов одного и того же вида, объединенная общим местом обитания, создает популяцию как систему надорганизменного порядка. В этой системе осуществляются простейшие, элементарные эволюционные преобразования.

7. *Биогеоценотический.* Биогеоценоз – это совокупность организмов разных видов и различной сложности организации со всеми факторами среды их обитания.

8. *Биосферный.* Биосфера – это система высшего порядка, охватывающая все проявления жизни на нашей планете. На этом уровне происходят круговорот вещества и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на Земле.

12.2. Принципы воспроизводства живых систем

Всем уровням организации живой природы присущи черты, отличающие её от неживой материи. Состав живых организмов строится из химических элементов, как и объекты неживой природы. Например, элементный состав неживой природы, наряду с кислородом представлен кремнием, алюминием и натрием. В живых организмах около 98 % химического состава приходится на элементы – углерод, кислород, азот, водород, фосфор, сера – это так называемые элементы-органогены. Такое различие обусловлено особенностями химических свойств самих элементов, вследствие чего они оказались наиболее подходящими для формирования молекул, выполняющих биологические функции. Водород, кислород, углерод и азот способны образовывать прочные ковалентные связи посредством спаривания электронов, принадлежащих двум атомам.

Кислород, углерод и азот образуют и одинарные, и двойные связи, благодаря чему получают самые разнообразные химические соединения. Особенно важна способность атомов углерода взаимодействовать друг с другом путем возникновения ковалентных углерод–углеродных связей. Каждый углеродный атом может установить ковалентные связи с четырьмя атомами углерода. Ковалентно связанные атомы углерода могут формировать каркасы бесчисленного множества различных органических молекул. Поскольку атомы углерода легко вступают в ковалентные связи с кислородом, азотом и серой, органические молекулы достигают исключительной сложности и разнообразия строения. Предположение о возможности построения живого вещества на основе другого системообразующего элемента, например на основе Si, пока не нашли научного подтверждения. Кроме основных (или биогенных) элементов выделяют макроэлементы и микроэлементы. К макроэлементам относятся: кальций, хлор, калий, магний, натрий, железо (Ca, Cl, K, Mg, Na, Fe). Их содержание в клетке составляет десятые и сотые доли процента. Каждый из них выполняет важную функцию в клетке. Например, ионы Na^+ , K^+ и Cl^- обеспечивают проницаемость клеточных мембран для различных веществ и проведение импульса по нервному волокну. Кальций и фосфор участвуют в формировании костной ткани, обеспечивая прочность кости. Кроме того, кальций – один из факторов, влияющих на процесс свертывания крови. Железо входит в состав гемоглобина – белка эритроцитов, связывающего кислород. Магний в клетках зеленых растений – компонент хлорофилла (пигмента, обеспечивающего преобразование солнечной энергии в энергию химических связей (фотосинтез)); в клетках животных – находится в составе ряда ферментов. Микроэлементы – цинк, кобальт, марганец, медь, йод, фтор и др. – содержатся в живых организмах в очень малых количествах, составляя в общей сложности около 0,02 %. Они встречаются в основном в специализированных клетках, где участвуют в образовании биологически активных веществ. Процентное содержание в организме того или иного

элемента никоим образом не говорит нам о его важности и степени необходимости. Многие микроэлементы входят в состав различных биологически активных соединений – ферментов, витаминов, гормонов. Влияют на рост и развитие животных и растений, кроветворение, процессы тканевого дыхания. Например, цинк входит в молекулу гормона щитовидной железы тироксина, регулирующего интенсивность обмена веществ и рост организма в процессе развития. Присутствие в клетках целого ряда элементов зависит не только от особенностей организма, но и от состава среды, пищи, экологических условий, в частности от растворимости и концентрации солей в почве. Резкая недостаточность или избыточность биогенных элементов приводит к ненормальному развитию организма или даже к его гибели. Химические элементы входят в состав клеток в виде ионов и молекул неорганических и органических веществ. Важнейшие неорганические вещества в клетке – это вода и минеральные соли. Вода – это самое распространенное неорганическое соединение в живых организмах. Её содержание в клетках разного типа колеблется в широких пределах: в клетках эмали зубов воды около 10 %, а в клетках развивающегося зародыша – более 90 %. В теле медузы воды до 98 %. Но в среднем в многоклеточном организме вода составляет около 80 % массы тела. Помимо того, что вода входит в состав живых организмов, для многих из них это еще и среда обитания. Важная роль воды для живой материи обусловлена особенностями ее химического строения. По своей способности присоединять электроны кислород уступает только фтору, самому активному неметаллу. Электроотрицательность же водорода достаточно низка. Как следствие, в молекуле воды общая электронная пара, образующая ковалентную связь между атомом кислорода и каждым атомом водорода, оттягивается к атому кислорода. В результате этого кислород приобретает частично отрицательный заряд, а атомы водорода – частично положительные заряды. Угол между связями О–Н в молекуле воды составляет $104,7^\circ$. Таким образом, атомы водорода и кислорода в ней не лежат на одной прямой. Благодаря

этому молекула воды представляет собой диполь, в котором на одном полюсе находится отрицательный заряд (атом кислорода), а на другом – положительный (атом водорода). Поскольку диполи воды несут заряды, при их взаимодействии друг с другом и другими полярными молекулами важную роль играют силы электростатического (кулоновского) взаимодействия. Это приводит к тому, что атомы, имеющие противоположные заряды, притягиваются, и между ними устанавливается нековалентная связь, называемая водородной.

Дипольный характер строения молекул воды объясняет их способность активно вступать во взаимодействие с различными веществами. Для многих веществ энергия связи между атомами меньше, чем энергия притяжения этих атомов к молекулам воды. На этом основано явление растворимости – диссоциации молекул на ионы в водной среде. Вода – хороший растворитель для огромного количества органических и неорганических веществ. Большинство химических реакций в клетке происходит между растворенными в воде веществами. Проникновение их в клетку и выведение из неё продуктов жизнедеятельности также возможно только в растворенном виде. Вещества, растворяющиеся в воде, называются гидрофильными. Не растворяющиеся – гидрофобными. К первым относятся сахара, спирты, альдегиды, аминокислоты, азотистые основания; ко вторым – жирные кислоты, холестерин и др.

Промежуточное положение занимают амфипатические соединения, например липиды, содержащие как гидрофобные (углеводородная цепь жирной кислоты), так и гидрофильные группы. Вода обладает высоким поверхностным натяжением, что делает возможным существование жизни на поверхности воды, а также передвижение растворов по сосудам растений. Высокая теплоемкость воды позволяет ей смягчать влияние на организм значительных перепадов температуры в окружающей среде. Кроме того, у воды высокая теплопроводность, что позволяет организму поддерживать одинаковую температуру во всем объеме. Способность молекул воды при

испарении уносить с собой значительные количества тепла (высокая теплота испарения), охлаждая организм, используется при потоотделении у млекопитающих, тепловой одышке у крокодилов и транспирации у растений, предотвращая перегрев.

Не менее важна для клетки и чисто химическая роль воды. Под действием специальных ферментов она вступает в реакции гидролиза, при которых к свободным валентностям различных молекул присоединяются ионы OH^- или H^+ воды. В результате образуются новые вещества с новыми свойствами. Так, образование биополимеров из мономеров сопровождается образованием молекул воды, а расщепление полимеров (гидролиз) её затратой. В процессе фотосинтеза H_2O служит источником водорода. Вода выполняет еще и структурную функцию. Так, цитоплазма клеток содержит от 60 до 95 % воды, и именно она придает клеткам их нормальную форму. У растений вода определяет тургесцентность клеток, а у некоторых животных выполняет опорные функции, являясь гидростатическим скелетом (иглокожие).

Подавляющая часть неорганических веществ в клетке находится в виде минеральных солей – либо диссоциированных на ионы, либо в твердом состоянии. В водном растворе клетки минеральные соли диссоциируют на катионы и анионы, некоторые из которых могут включаться в комплексы с различными веществами (остатки фосфорной кислоты могут входить в состав фосфолипидов). Наибольшее значение имеют катионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , которые обеспечивают такое важнейшее свойство живых организмов, как раздражимость. В тканях многоклеточных животных кальций входит в состав межклеточного «цемента», обуславливающего сцепление клеток между собой и упорядоченное их расположение в тканях. Следует отметить, что содержание катионов в клетке и в окружающей клетку среде – регулируемый процесс. Например, в цитоплазме клеток довольно много калия и очень мало натрия. Во внеклеточной среде (в плазме крови, в межклеточной жидкости, в морской воде) много натрия и мало калия. От

концентрации минеральных солей зависят буферные свойства клетки. Буферностью называется способность клетки поддерживать слабощелочную реакцию своего содержимого на постоянном уровне. Внутри клетки буферность обеспечивается главным образом анионами H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} . Во внеклеточной жидкости и крови роль буфера играют H_2CO_3 и HCO_3^- . Анионы слабых кислот и слабые щелочи связывают ионы водорода и гидроксил-ионы (OH^-), благодаря чему реакция внутри клетки практически не меняется.

Нерастворимые минеральные соли, например фосфорнокислый кальций, обеспечивают прочность костной ткани позвоночных и раковины моллюсков. Органические соединения составляют в среднем 20–30 % массы клетки живого организма. К ним относятся биологические полимеры: белки, нуклеиновые кислоты и углеводы, а также жиры и ряд небольших молекул: гормонов, пигментов, аминокислот, нуклеотидов, АТФ и др. В различные типы клеток входит неодинаковое количество тех или иных органических соединений. Например, в растительных клетках преобладают сложные углеводы – полисахариды; в животных – больше белков и жиров. Каждая группа органических веществ в любом типе клеток выполняет сходные функции.

Белки – это сложные органические соединения, мономерами которых являются аминокислоты. В организме человека встречается около 5 млн типов белковых молекул, отличающихся по своей массе, структуре и функциям не только друг от друга, но и от белков других организмов. На долю белков приходится около половины сухой массы клетки. Недаром жизнь на планете Земля называют белковой. Несмотря на такое разнообразие, все белки построены всего из 20 аминокислот. Все аминокислоты отличаются друг от друга только строением радикала. Известно около 200 аминокислот; в живом веществе на нашей планете использовано – 60 и только 20 канонических входят в состав белков:

- ✓ 8 неполярных аланин $\text{R} = \text{CH}_3$, метионин, валин, пролин;
- ✓ 7 полярных незаряженных (глутамин, глицин $\text{R} = \text{H}$);

- ✓ 5 полярных заряженных (гистидин, лизин $R = (CH_2)_4NH_3^+$).

Каждому белку свойственна особая геометрическая структура. При описании пространственной структуры обычно описывают четыре разных уровня организации. Под первичной структурой белка обычно понимают последовательность аминокислот – это текст, написанный двадцатибуквенным алфавитом. Обычно белковая молекула имеет форму спирали. Это так называемая вторичная структура, стабилизируемая водородными связями, возникающими между СО- и NH-группами.

На один виток спирали приходится 3,6 аминокислотного остатка. Когда белковые цепи сворачиваются в компактную глобулу, появляется третичная структура. Наконец, многие белки с особо сложным строением состоят из нескольких полипептидных цепей – способ их упаковки называется четвертичной структурой. Денатурация – это процесс разрушения белка, утрата белковой молекулой своей структурной организации. Процесс восстановления разрушенной структуры белка называется *ренатурацией*. Белки выполняют в организме следующие функции:

- *строительную* (участвуют в образовании всех мембран и органоидов клеток, а также внеклеточных структур, например белки: коллаген, кератин, эластин).

- *каталитическую*, биологические катализаторы: ферменты – это вещества белковой природы, ускоряющие биохимические реакции, протекающие в клетках, в десятки и сотни тысяч раз.

- *сократительную* (белки обеспечивают все виды движения, к которым способны клетки, ткани, органы и организмы: мерцание ресничек, биение жгутиков у простейших, сокращение мышц у высокоорганизованных животных, движение листьев у растений и т.д.).

- *транспортную* (белки перемещают молекулы РНК, липиды, гормоны, кислород к различным тканям и органам в цитоплазму клеток и в обратном направлении, например гемоглобин, миоглобин и др.);

– *защитную* (нейтрализация чужеродных белков или микроорганизмов (антигенов) особыми белками (антителами, генерируемыми в белых кровяных тельцах – лейкоцитах) с последующим перевариванием сформировавшихся нейтральных комплексов другими формами лейкоцитов; борьба с кровотечениями – тромбин);

– *регуляторную*, белки-гормоны поддерживают постоянные концентрации веществ в крови и клетках. Гормон инсулин снижает содержание сахара в крови, предотвращая диабет;

– *рецепторную* (воспринимают информацию от молекул-гормонов, например родопсин);

– *энергетическую* (при расщеплении белка до конечных продуктов выделяется до 20 кДж/г энергии. Распад белков до аминокислот используется живым организмом для построения новых белков).

Углеводы – это органические соединения с общей формулой $C_n(H_2O)_m$. Отсюда вытекает самоназвание этих соединений «углеводы» – углерод и вода. В животных клетках углеводов немного, как правило, 1–2 %, в клетках печени – до 5 %. Растительные клетки оказываются более богатыми углеводами – до 70 % от общего количества органических веществ. Углеводы делятся на простые (моносахариды) и сложные (дисахариды и полисахариды). Моносахариды имеют общую формулу $(CH_2O)_n$, где n изменяется от 3 до 9. Самые распространенные моносахариды – это глюкоза и фруктоза, имеющие формулу $(CH_2O)_6$. Все моносахариды имеют сладкий вкус, кристаллизуются и легко растворяются в воде. Дисахариды образуются в результате реакции конденсации между двумя моносахаридами. Иногда они используются в качестве запасных питательных веществ. Наиболее распространенными из них являются мальтоза (глюкоза + глюкоза), лактоза (глюкоза + галактоза) и сахароза (глюкоза + фруктоза). Лактоза содержится только в молоке. Сахароза (сахар, получаемый из тростника или сахарной свеклы) наиболее распространена в растениях; это и есть тот самый «сахар», который мы обычно употребляем в пищу. Сложные углеводы, образованные

многими моносахаридами, называются полисахаридами. Мономером таких полисахаридов, как крахмал, гликоген, целлюлоза, является глюкоза. С увеличением количества мономеров уменьшается растворимость, исчезает сладкий вкус. Углеводы выполняют две основные функции:

- *строительную или структурную* (целлюлоза образует стенки растительных клеток, хитин – главный структурный компонент наружного скелета членистоногих);

- *энергетическую* (углеводы – основной источник энергии в клетке; 1 г углеводов дает около 20 кДж энергии, крахмал у растений и гликоген у животных служат энергетическим резервом клеток);

Липиды (жиры) – сложные эфиры жирных кислот и какого-либо спирта. Жиры не растворяются в воде, но растворимы в органических растворителях ацетон, гидрофобны, спирт, хлороформ. В клетках жиры составляют 5–15 % сухого остатка, в жировых тканях до 90 %. Липиды выполняют следующие функции:

- *энергетическая, запасующая* (расщепление 1 г жиров до CO_2 и H_2O высвобождает около 40 кДж); избыточная энергия, поступающая в организм в форме белков, углеводов либо жиров, может храниться в нем только в виде жиров;

- *строительная* (входит в состав клеточных мембран, липидные мембраны);

- *теплоизоляционная, защитная* (например, у кита подкожная жировая ткань толщиной до 1 м спасает от холода и способствует плавучести);

- *участие в метаболизме*: растворение гидрофобных органических соединений (например, проникновение в организм витаминов D, E, A; сливочное масло, сметана, а также рыбий жир содержат витамин A и D, некоторые растительные масла – E); образование воды при окислении (например, в горбе верблюда, при зимней спячке ряда млекопитающих) и др.;

- *гормональная* (например, следующие гормоны: кортикостероиды, тестостерон, прогестерон – производные холестерина).

Нуклеиновые кислоты – фосфорсодержащие биологические полимеры, обеспечивающие живому организму хранение, перенос и передачу по наследству информации о структуре его белковых молекул. Выделяют два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и рибонуклеиновую кислоту (РНК). Мономерами нуклеиновых кислот являются нуклеотиды. Нуклеотид – сложное органическое соединение, включающее остатки трех молекул:

- азотистого основания;
- моносахарида из группы пентоз;
- пиррофосфорной кислоты.

В природе существует всего пять азотистых оснований: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), урацил (У) и цитозин (Ц). Для построения нуклеиновых кислот каждого типа использованы лишь четыре нуклеотида:

- ✓ для ДНК: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), цитозин (Ц);
- ✓ для РНК: аденин (А), гуанин (Г), урацил (У), цитозин (Ц).

Число адениновых оснований в любой ДНК равно числу тиминовых оснований, число гуаниновых оснований всегда равно числу цитозиновых оснований. Никаких ограничений относительно последовательности нуклеотидов в одной цепи не существует. Но эта последовательность в одной цепи полностью определяет собой последовательность нуклеотидов в другой. Пары соединяются водородными связями между основаниями в строго определенном порядке (аденин с тимином, гуанин с цитозином). Таким образом, цепи двойной спирали комплементарны друг другу. Для того чтобы ДНК являлась генетическим материалом, она должна быть способна нести в себе закодированную информацию и точно воспроизводиться (реплицироваться). Поэтому комплементарность цепей ДНК – основа важнейших функций хранения и передачи наследственной информации.

Молекула РНК в отличие от ДНК состоит, как правило, из одной цепи и имеет гораздо меньшие размеры. Существует три основных вида РНК:

- ✓ транспортная (т-РНК),

- ✓ информационная (и-РНК),
- ✓ рибосомная (р-РНК).

Информационная РНК (и-РНК) является матрицей, которую рибосомы используют при синтезе белка. Её нуклеотидная последовательность комплементарна сообщению, содержащемуся в определенном участке ДНК. Транспортные РНК переносят аминокислоты к месту синтеза. Несколько видов р-РНК являются основным компонентом рибосом. Нуклеотидные последовательности т-РНК и р-РНК определяются определенными участками ДНК, которая находится в ядре клетки (у прокариот рассредоточена по клетке), являясь основным веществом хромосом. РНК сконцентрирована в ядрышке, цитоплазме и частично в хромосомах. Молекул РНК в клетке значительно больше (иногда их десятки тысяч), чем молекул ДНК. Дезоксирибонуклеиновые кислоты подобно белкам имеют четырехступенчатую структуру.

Первичная структура – полимерная цепь нуклеотидов. В этой цепочке соседние нуклеотиды связаны между собой ковалентными связями, которые образуются между моносахаридом одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого. Функционально в этой цепи можно выделить функциональные блоки – гены, хранящие определенный объем информации об одном белке. В организме десятки тысяч белков, значит и десятки тысяч генов. Их совокупность получила название геном. Кроме генов, кодирующих белки, в ДНК существуют участки с информацией о структуре различных молекул РНК, регуляторные участки для обозначения начала (промотор) и конца гена (терминатор), участки с неизвестной пока функцией. В каждом структурном гене зашифрована информация о строении определенного белка; в тоже время, три последовательно включенные нуклеотида (триплет, называемый кодоном) кодируют определенную аминокислоту. Аминокислоты кодируются разным числом триплетов: от 1, например метионин, и до 6, например лейцин. Избыточность кода повышает надежность передачи генетической информации (случайная замена третьего

нуклеотида в триplete зачастую не отражается на структуре синтезируемого белка).

Свойства генетического кода:

- ✓ код триплетен (см. кодон);
- ✓ код универсален (от вируса до человека), но обнаружено, что ДНК митохондрий (органелл, содержащихся в клетках живого вещества) обладают автономным генетическим аппаратом, четыре триплета которых имеют значение, отличное от их значений в базовом коде;
- ✓ код вырожден (одна аминокислота кодируется более чем одним триплетом);
- ✓ код однозначен (конкретный кодон соответствует только одной аминокислоте);
- ✓ код неперекрывается (один нуклеотид входит в состав одного кодона);
- ✓ код непрерывен (не содержит пробелов и знаков препинания между триплетами).

Вторичная структура молекул ДНК заключается в объединении двух полинуклеотидных цепей попарно водородными связями между аденином (А) и тиминном (Т), а также между гуанином (Г) и цитозинном (Ц). Противостоящие остатки азотистых оснований: А – Т и Г – Ц связываются, подчиняясь принципу комплементарности.

Третичная структура молекул ДНК состоит в образовании правильной спирали определенной конфигурации. Если двухжильный провод намотать на карандаш, а затем убрать последний, мы получим аналог ДНК, возможны несколько типов спиралей, способных к взаимным переходам. Четвертичная структура обусловлена химическими связями ДНК с белками – гистонами. Такая структура называется хроматином. В таком виде находятся молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты в ядрах клеток.

Функции ДНК:

- ✓ хранение наследственной информации, заключенной в последовательности нуклеотидов одной из ее цепей;
- ✓ передача наследственной информации из поколения в поколение (осуществляется за счет редупликации – деления материнской молекулы и последующего распределения дочерних молекул между клетками-потомками);
- ✓ передача генетической информации из ядра в цитоплазму к месту сборки белка путем синтеза молекулы РНК (репликации) на одной из цепей ДНК по принципу комплементарности из нуклеотидов окружающей молекулу среды. ДНК в организме определяет, какие белки и в каком количестве необходимо синтезировать. ДНК – основа уникальности индивидуальной формы живого вещества.

Глоссарий

Азотистые основания – органические соединения, входящие в состав нуклеиновых кислот. К азотистым основаниям относят: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц), которые входят в состав как ДНК, так и РНК. Тимин (Т) входит в состав только ДНК, а урацил (У) встречается только в РНК.

Биополимеры – высокомолекулярные, обладающие большой молекулярной массой природные соединения (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и их производные), служащие структурными частями живых организмов.

Биосфера – область существования и распространения жизни на Земле. Включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу, поверхность суши и литосферу. Населена живыми организмами в диапазоне от 5–6 км в глубь Земли до 12–17 км над Землей.

Вид – совокупность популяций особей, способных к скрещиванию с образованием плодovитого потомства.

Вирус – неклеточная форма жизни, способная проникать в живую клетку и размножаться только внутри её.

Генетический код – свойственная организмам единая система «записи» генетической (наследственной) информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде специфической последовательности нуклеотидов.

Денатурация – процесс разрушения структуры белка.

Клетка – основной элемент живых организмов (систем), основа строения и жизнедеятельности всех животных и растений, определяющая их структурные, функциональные и воспроизводящие свойства (характеристики, признаки).

Кодон, триплет – единица генетического кода: состоит из трех последовательно расположенных нуклеотидов в молекуле ДНК или РНК.

Комплементарность – пространственная взаимодополняемость молекул или их частей, приводящая к образованию водородных связей. Комплементарные структуры подходят друг к другу как ключ к замку. Особую роль комплементарность играет в молекулах нуклеиновых кислот – ДНК, где две полинуклеотидные цепи в результате комплементарного взаимодействия пар пуриновых и пиримидиновых основания (А – Т, Г – Ц) образуют двуспиральную молекулу.

Нуклеотид – сложное органическое соединение, включающее остатки трех молекул: азотистого основания, моносахарида из группы пентоз, пирофосфорной кислоты. В природе существует всего пять азотистых оснований: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), урацил (У) и цитозин (Ц).

Особь – наименьшая неделимая единица биологического вида.

Отряд – таксономическая категория в систематике животных, объединяющая родственные семейства.

Популяция – совокупность особей одного вида, населяющая некоторую территорию, относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом.

Прокариоты – организмы, клетки которого не имеют оформленного ядра (например, бактерии).

Ренатурация – процесс восстановления разрушенной структуры белка.

Род – основная надвидовая таксономическая категория, объединяющая эволюционно близкие виды, например разные виды берез, ворон, воробьев и др.

Семейство – таксономическая категория, объединяющая близкие роды. Например, семейство беличьих включает роды: белки, сурки, суслики и др.

Царство – высшая таксономическая категория.

Эукариоты – организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделенное оболочкой от цитоплазмы.

Тесты

12.1. Укажите правильную последовательность в структурной иерархии уровней организации живой материи (каждый предыдущий должен входить в последующий): А) вид; Б) клетка; В) особь; Г) популяция.

- 1) Б – В – Г – А;
- 2) Б – В – А – Г;
- 3) В – Б – А – Г;
- 4) Г – А – В – Б.

12.2. Мельчайшая единица живой природы, элементарная живая система, основа строения и жизнедеятельности всех животных и растений – это...

- 1) глобула;
- 2) ген;
- 3) вирус;
- 4) клетка.

12.3. Укажите правильную последовательность в иерархии уровней организации живого (каждый предыдущий должен входить в последующий): А) организмы; Б) биогеоценозы; В) популяции; Г) клетки:

- 1) А – Б – Г – В;
- 2) Г – А – В – Б;
- 3) Б – В – Г – А;

4) В – А – Г – Б.

12.4. Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом животной или растительной клетки, носит название ...

- 1) ген;
- 2) геном;
- 3) генотип;
- 4) генофонд.

12.5. К элементам-органогенам живого относятся:

- 1) йод;
- 2) углерод;
- 3) вода;
- 4) кислород.

Тема 13. Эволюция и развитие живых систем

13.1. Гипотезы происхождения жизни.

13.2. Развитие живых систем.

13.3. Эволюция живых систем.

13.1. Гипотезы происхождения жизни

Понимание процесса возникновения жизни на Земле является одной из основных проблем современного естествознания. В естествознании сложилось несколько гипотез возникновения жизни:

1) *креационизм*, утверждающий, что жизнь создана в результате Божественного творения;

2) *концепция стационарного состояния*, говорящая о том, что жизнь существовала всегда;

3) *концепция постоянного самопроизвольного зарождения жизни*, основывающаяся на идее многократного возникновения жизни из неживого вещества;

4) *панспермия*, утверждающая, что жизнь занесена на Землю из космоса;

5) *концепция биохимической эволюции*, говорящая о том, что жизнь появилась в результате долгой эволюции из неорганических веществ.

Концепция креационизма имеет длинную историю, так как практически во всех религиях возникновение жизни рассматривается как акт Божественного творения, Процесс божественного сотворения мира и живого недоступен для наблюдения, божественный замысел недоступен человеческому пониманию. Концепция креационизма базируются лишь на вере в библейские откровения, сомневаться в которых не положено. Тем самым практически снимается вопрос о научном решении проблемы происхождения жизни.

Сторонники теории вечного существования жизни считают, что Земля никогда не возникала, она была вечно, и вместе с ней существовали различные виды живого. При этом какие-то из них вымерли, другие переместились в новые экологические ниши при изменении окружающей среды, какие-то резко поменяли численность. Часть аргументов этой теории была основана на исследованиях палеонтологов, выявивших исчезновение некоторых видов животных в процессе эволюции, отсутствие следов переходных звеньев между разными видами живого и все более высокими оценками возраста Земли.

Сторонники теории стационарного состояния заявляют, что жизнь на Земле никогда не возникала, а существовала всегда. В разные геологические эпохи менялись лишь формы жизни. Они считают, что виды животных никогда не возникали, а были всегда. У каждого вида есть лишь две возможности существования: изменение численности или вымирание. Концепция самопроизвольного зарождения жизни также появилась давно и долгое время была альтернативной креационизму. Поскольку о существовании микроорганизмов в те времена не было ничего известно, то считалось, что все низшие организмы появляются путем самозарождения.

Ученые Средневековья, например, допускали, что рыбы могли зародиться из ила, мыши – из грязи, мухи – из мяса. Подобных взглядов придерживались многие известные ученые, в том числе Аристотель, Коперник, Галилей, Декарт и др., благодаря авторитету которых концепция самопроизвольного зарождения жизни могла существовать так долго.

Однако начиная с XVII в. стали накапливаться данные, противоречащие такому пониманию происхождения жизни. В 1668 г. итальянский врач Ф. Реди провел серию опытов, которыми доказал, что белые черви в мясе есть не что иное, как личинки мух. В несколько сосудов он положил кусочки мяса. Часть этих сосудов он оставил открытыми, а часть прикрыл материей, пропускающей воздух. Вскоре в первых сосудах появились личинки мух, а в прикрытых сосудах их не было. Тем самым он доказал невозможность самозарождения червей из гниющего мяса в отсутствие мух. В результате проведенных опытов Реди сформулировал свой знаменитый принцип: «Все живое – от живого». Несмотря на убедительность опытов Реди, споры вокруг этой теории продолжались вплоть до середины XIX в., когда французский ученый Луи Пастер простыми опытами окончательно доказал невозможность самозарождения простых организмов. Опыты Пастера продемонстрировали, что микроорганизмы появляются в органических растворах потому, что туда были занесены их зародыши. Если сосуд с питательной средой оградить от занесения в него микробов, проведя стерилизацию, то никакого самозарождения не произойдет. Опыты Пастера подтвердили принцип Реди и показали научную несостоятельность концепции спонтанного самозарождения организмов.

Одновременно немецким ученым Г. Рихтером была высказана гипотеза о занесении живых существ на Землю из космоса, получившая название концепции панспермии. Согласно мысли этого автора жизнь в виде семян распространена в космосе. Зародыши организмов могли попасть в земные условия вместе с метеоритами и космической пылью и дать начало эволюции живого на Земле. Данная теория допускала возможность возникновения

жизни в разное время в разных частях Галактики и перенесения её на Землю. Концепция панспермии была поддержана известными учеными, что способствовало её широкому распространению. Так, американские астрономы, изучая газовую туманность, отстоящую от Земли на 25 тысяч световых лет, нашли в её спектре следы аминокислот и других органических веществ. В 1980-х гг. американские исследователи обнаружили в Антарктиде осколок породы, выбитой когда-то с поверхности Марса крупным метеоритом. В этом камне были обнаружены окаменевшие останки микроорганизмов, похожие на земные бактерии. При этом существуют серьезные доводы против неё, главный из которых сводится к тому, что живые организмы должны были погибнуть в космосе под действием ультрафиолетовых космических лучей. Одним словом, концепция панспермии не решает проблемы происхождения жизни. Она оставляет открытым вопрос: если жизнь была занесена на Землю из космоса, то где и как она возникла там? Одним словом, концы проблемы никак не связывались с её началом.

До середины XX в. многие ученые полагали, что органические соединения могут возникать только в живом организме. Считалось, что природа неорганических веществ совершенно иная, а поэтому возникновение даже простейших организмов из неорганических веществ невозможно. В 1828 г. Фридрих Валер синтезировал органическую мочевины из минерального цианата аммония. Однако деление веществ на органические и неорганические сохранилось в химической терминологии и по сей день. После того, как из обычных химических элементов было синтезировано первое органическое соединение, представление о разных сущностях органических и неорганических веществ оказалось несостоятельным. В результате возникли органическая химия и биохимия, изучающие химические процессы в живых организмах. Кроме того, данное научное открытие позволило создать концепцию биохимической эволюции, согласно которой жизнь на Земле возникла в результате физических и химических

процессов. Основу этой гипотезы составили данные о сходстве веществ, входящих в состав растений и животных, а также о возможности в лабораторных условиях синтезировать органические вещества, составляющие белок. Это нашло подтверждение в концепции А.И. Опарина, который опубликовал в 1924 г. труд «Происхождение жизни». Принципиально новая гипотеза происхождения жизни строилась на всестороннем анализе предыдущих работ. Он выступил с утверждением, что принцип Реди, однозначно провозгласивший монополию биотического синтеза органических веществ, справедлив только для современной эпохи существования нашей планеты. В начале же существования Земли на ней происходили абиотические синтезы углеродистых соединений и их последующая предбиологическая эволюция. Появление жизни он рассматривал как единый естественный процесс, который состоял из протекавшей в условиях ранней Земли первоначальной химической эволюции, перешедшей постепенно на качественно новый уровень – биохимическую эволюцию. Суть гипотезы была в следующем: зарождение жизни на Земле – длительный эволюционный процесс становления живой материи в недрах неживой. И произошло это путем химической эволюции, в результате которой простейшие органические вещества образовались из неорганических под влиянием сильнодействующих физико-химических факторов. Рассматривая проблему возникновения жизни путем биохимической эволюции, Опарин выделяет три этапа в этом процессе:

- ✓ синтез исходных органических соединений из неорганических веществ в условиях первичной атмосферы ранней Земли;
- ✓ формирование в первичных водоемах Земли из накопившихся органических соединений биополимеров, липидов, углеводов;
- ✓ самоорганизация сложных органических соединений, и на их основе эволюционное совершенствование процессов обмена веществом и воспроизводства органических структур.

На первом этапе, около 4 млрд лет назад, на Земле происходил абиотический синтез углеродистых соединений и их последующая предбиологическая эволюция. Для этого периода эволюции Земли были характерны многочисленные вулканические извержения с выбросом огромного количества раскаленной лавы. По мере остывания планеты водяные пары, находившиеся в атмосфере, конденсировались и обрушивались на Землю ливнями, образуя огромные водные пространства. Поскольку поверхность Земли оставалась все-таки горячей, вода испарялась, а затем, охлаждаясь в верхних слоях атмосферы, вновь выпадала на поверхность планеты. Эти процессы продолжались миллионы лет. Растворяя в водах первичного океана различные соли. Аккумулируя в себе органические соединения: сахара, аминокислоты, азотистые основания, органические кислоты. Всё это непрерывно образующееся в атмосфере подвергалось воздействию ультрафиолетового излучения, высокой температуре и активной вулканической деятельности. Первичный океан содержал в растворенном виде различные органические и неорганические молекулы, попавшие в него из атмосферы и поверхностных слоев Земли. Концентрация органических соединений постоянно увеличивалась, и в конце концов воды океана стали «бульоном» из белковоподобных веществ – пептидов.

На втором этапе смягчения условий на Земле под воздействием на химические смеси электрических разрядов, тепловой энергии и ультрафиолетовых лучей стало возможным образование сложных органических соединений – биополимеров и нуклеотидов, которые, постепенно объединяясь и усложняясь, превращались в протобионты (доклеточные предки живых организмов).

Эволюция органических веществ привела к появлению коацерватов, коацерватных капель – своеобразных комплексов коллоидных частиц, раствор которых разделяется на два слоя: слой, богатый коллоидными частицами, и жидкость, почти свободную от них. Коацерваты обладали

способностью поглощать различные вещества, растворенные в водах первичного океана. В результате внутреннее строение коацерватов менялось, что вело или к их распаду, либо к накоплению веществ, т.е. к росту и изменению химического состава, повышающего их устойчивость в постоянно меняющихся условиях. Теория биохимической эволюции рассматривает коацерваты как предбиологические системы, представляющие собой группы молекул, окруженные водной оболочкой, которые оказались способными поглощать из внешней среды различные органические вещества, что обеспечило становление возможности первичного обмена веществ со средой.

На третьем этапе, как предполагал Опарин, начал действовать естественный отбор. В массе коацерватных капель происходил отбор коацерватов, наиболее устойчивых к данным условиям среды. Процесс отбора шел миллионы лет, в результате чего сохранилась только малая часть коацерватов. Сохранившиеся коацерватные капли обладали способностью к первичному метаболизму. А обмен веществ – первейшее свойство жизни. Вместе с тем, достигнув определенных размеров, материнская капля могла распадаться на дочерние, сохранявшие особенности материнской структуры. Следовательно, коацерваты приобрели свойства самовоспроизведения – важнейший признак жизни. По сути на этой стадии они превратились в простейшие живые организмы.

Дальнейшая эволюция предбиологических структур была возможна только при усложнении обменных и энергетических процессов внутри коацервата. Более прочную изоляцию внутренней среды от внешних воздействий могла обеспечить только мембрана. Вокруг коацерватов, богатых органическими соединениями, возникли наслоения липидов, которые, отделив коацерваты от окружающей водной среды, трансформировались в наружную мембрану. Появление мембраны предопределило направление химической эволюции по пути

скульптурирования более совершенной саморегуляции, вплоть до возникновения первых клеток.

13.2. Развитие живых систем

Центральной проблемой в вопросе о происхождении жизни на Земле является описание эволюции механизма наследственности. Любая, даже очень сложная комбинация аминокислот и других органических соединений – это еще не жизнь. Есть мнение, что жизнь возникла тогда, когда начал действовать механизм репликации. Вместе с тем появление ДНК вместо коацерватов не может считаться началом жизни на Земле, ибо современная ДНК может функционировать только при наличии белковых ферментов, а синтез белка нуждается в нуклеиновых кислотах. Поэтому на протяжении большей части XX в. ученые дискутировали о том, что было вначале – белки или нуклеиновые кислоты, а также о том, как и на каком этапе произошло их объединение в единую систему, способную к передаче генетической информации и регуляции биосинтеза белков. Все существующие гипотезы и концепции можно разделить на две большие группы – голобиоза и генобиоза.

Концепция Опарина относится к группе концепций голобиоза – методологического подхода, утверждающего первичность структур, способных к элементарному обмену веществ с участием ферментных белков. Появление нуклеиновых кислот в этой концепции считается завершением эволюции.

Сторонники генобиоза исходят из убеждения в первичности молекулярной системы со свойствами первичного генетического кода. Эта точка зрения была представлена концепцией американского генетика Дж. Холдейна, выдвинувшего в 1929 г. гипотезу о том, что первичной была не структура, способная к обмену веществ с окружающей средой, а макромолекулярная система, подобная гену и способная к саморепродукции. Выраженное противостояние гипотез голобиоза и генобиоза сохранялось до начала 90-х годов. Затем исследователи стали склоняться в пользу концепции

генобиоза. Во многом этому помогло новое истолкование открытого Л. Пастером свойства молекулярной хиральности живых организмов, которое считается изначальным и фундаментальным признаком живой материи. Считается, что свойство молекулярной хиральности зародилось столь же рано, как и способность к генетической саморепродукции. На сегодняшний день полагают, что протобионт представлял собой молекулу РНК. Древняя РНК была транспортной и совмещала в себе черты как фенотипа, так и генотипа. Иными словами, она могла подвергаться как генетическим преобразованиям, так и естественному отбору. Очевидно, что процесс эволюции шёл от РНК к белку, а затем к образованию молекулы ДНК, у которой С-Н связи более прочны, чем С-ОН связи РНК.

Следующим этапом в процессе появления жизни стало рождение настоящей живой клетки – архиклетки. Очевидно, архиклетка была отделена от внешней среды двухслойной мембраной, обладавшей способностью всасывать через неё протоны, ионы и маленькие молекулы, а её метаболизм основывался на низкомолекулярных углеродных соединениях. Для строения архиклетки характерно наличие клеточного скелета, отвечавшего за целостность клетки, а также обеспечивавшего возможность её деления. Жизнедеятельность клетки осуществлялась за счет АТФ. Возможно, архиклетки были схожи с недавно открытыми архибактериями и представляли собой протоэукариотные системы, дальнейшая эволюция которых шла как по линии приобретения новых эукариотных свойств, так и по пути утраты признаков прокариотов. Данный процесс занял несколько миллиардов лет. Считается, что первые прокариоты (организмы, не имеющие оформленного клеточного ядра) появились около 4 млрд лет назад. Это были бактерии и сине-зеленые водоросли – практически бессмертные организмы. Эукариоты (организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделённое оболочкой от цитоплазмы) появились около 2,6 млрд лет назад. С их появлением процесс эволюции жизни начал ускоряться.

Завершение этапа космической эволюции Земли, в ходе которой она сложилась из планетозималии, произошло около 4,5 млрд лет назад. После этого планета стала постепенно остывать и начала формироваться земная кора, а также атмосфера и гидросфера за счет дегазации лав, выплавлявшихся из верхней мантии при интенсивном вулканизме. Есть все основания полагать, что при этом на поверхность Земли поступали прежде всего пары воды и газообразные соединения углерода, серы и азота. Первичная атмосфера Земли была очень тонкой, разреженной, атмосферное давление у поверхности не превышало 10 мм ртутного столба.

Состав первичной атмосферы формировался из тех газов, которые выбрасывались при извержении вулканов. Это подтверждает анализ пузырьков газа, обнаруженных в протоархейских породах (60 % – углекислота, 40 % – соединения серы, аммиака, метана, другие окислы углерода, а также пары воды). Первичная атмосфера не содержала свободного кислорода, поскольку его не содержали вулканические газы. Таким образом, первые организмы должны были быть анаэробами, т.е. способными жить при отсутствии свободного кислорода. Анаэробы получали необходимую им энергию за счет дрожжевого брожения.

Большая часть современных организмов являются аэробными и используют кислородное дыхание как способ получения энергии. Однако по данным цитологии и молекулярной биологии, фотоавтотрофные организмы были вторичными в процессе эволюции живого вещества. Автотрофному способу питания живых организмов должен был предшествовать гетеротрофный способ как более простой. Автотрофные организмы, строящие свое тело за счет неорганических минеральных веществ, имеют более позднее происхождение. Об этом свидетельствуют следующие факты: все современные организмы обладают системами, приспособленными к использованию готовых органических веществ как исходного строительного материала для процессов биосинтеза; преобладающее число видов организмов в современной биосфере Земли может существовать только при

постоянном снабжении готовыми органическими веществами; у гетеротрофных организмов не встречается никаких признаков или рудиментарных остатков тех специфических ферментных комплексов и биохимических реакций, которые характерны для автотрофного способа питания. Таким образом, гетеротрофный способ питания, вероятно, существовал у бактерий, получавших пищу и энергию за счет органического материала абиогенного происхождения, образовавшегося еще раньше, на космической стадии эволюции Земли, т.е. более 4 млрд лет назад. Самые ранние следы жизни были обнаружены в Австралии – бактерии и микроводоросли, которым около 3,5 млрд лет, уже были автотрофами, анаэробами, прокариотами.

В процессе формирования биосферы эукариоты еще в протерозое разделились на растительные и животные клетки. Их следует различать:

- 1) по структуре клеток и их способности к росту,
- 2) способу питания,
- 3) способности к движению.

При этом отнесение живого существа к тому или иному царству следует проводить не по каждому отдельному основанию, а по совокупности всех трех признаков, поскольку между растениями и животными существуют переходные типы, обладающие свойствами как растений, так и животных. Так, например, кораллы, моллюски, речные губки всю жизнь остаются неподвижными, как растения, но по двум другим признакам их относят к животным. Существуют насекомоядные растения, которые по способу питания относятся к животным. Есть также живые организмы, которые питаются, как растения, а двигаются – как животные. В настоящее время на Земле существует 500 тыс. видов растений и 1,5 млн видов животных, в том числе позвоночных – 70 тыс., птиц – 16 тыс., млекопитающих – 12 540 видов.

Растительные клетки покрыты жесткой целлюлозной оболочкой, которая, с одной стороны, защищает их от неблагоприятных воздействий окружающей среды, но, с другой стороны, не дает им свободно

перемещаться в поисках пищи. Эволюция растительных клеток была связана с совершенствованием процесса фотосинтеза, дававшего им все необходимые питательные вещества. Тем не менее среди растений существовали не только автотрофы, но и гетеротрофы, взаимно дополнявшие друг друга. Самыми первыми растениями на планете были одноклеточные водоросли разных типов. На водорослях природа впервые опробовала половое размножение, т.е. слияние ДНК двух индивидов с последующим перераспределением генетического материала, вследствие чего потомство получается похожим на своих родителей, но не идентичным им. Это событие произошло около 900 млн лет назад. Затем, 700–800 млн лет назад, появились первые многоклеточные организмы, также относящиеся к водорослям – обширной группе низших водных растений, содержащих хлорофилл и вырабатывающих органические вещества путем фотосинтеза. Именно на эти водоросли приходится наиболее длительный этап в развитии зеленых растений.

Событием огромной важности стал выход растений на сушу, совершившийся в силуре, около 400 млн лет назад. После чего на сушу потянулись животные. Считается, что еще до массового выхода растений на сушу в отдельных местах появлялись локальные участки жизни. Такими островками жизни становились побережья мелководных заливов и лагун, места, где вода периодически отступала, оставляя растения. Именно так появились растения, нижняя часть которых находилась в воде, а верхняя – в воздухе под прямыми лучами Солнца. Затем растения смогли развить корневую систему, которая позволяла им использовать грунтовые воды. Чтобы защититься от высыхания, растениям пришлось сформировать восковидную водонепроницаемую оболочку. Кроме того, произошла перестройка организмов, в них появились новые органы и ткани, изменились способы размножения. Появился корень, стебель, лист, проводящие системы, покровные ткани. Первыми на сушу вышли псилофиты – споровые растения, похожие на плауны. У них еще не было корней и почти не было листьев.

Псилофиты состояли из длинных зеленых стеблей и покрывали влажную почву суши настоящими зелеными коврами. С появлением мхов и папоротников количество кислорода в атмосфере значительно увеличилось. Кроме того, мхи и папоротники создали большое количество пищевых веществ, необходимых для развития сухопутных позвоночных животных. В это же время (девон, карбон и пермский периоды – 400–230 млн лет назад) накапливается огромное количество каменного угля, появляются голосеменные растения. С этого момента поверхность материков стала приобретать современный облик.

В мезозое (около 200 млн лет назад) широко распространяются хвойные, цикадовые, а в меловой период (около 100 млн лет назад) появляются цветковые растения, которые стимулировали расцвет насекомых, участвующих в их опылении. Стали появляться массивы смешанных лесов, где наряду с лиственными деревьями стали прорастать хвойные, давшие, приют папоротникам, боящимся открытого солнца. Таким образом, в современном растительном мире наряду с высокоорганизованными растениями сохранились представители более ранних эпох.

Что касается животных клеток, то они, в отличие от растительных клеток, имеют эластичную оболочку. Поэтому и не теряют способность к передвижению. Таким образом, животные клетки имеют возможность активно искать себе пищу. Эволюция животных клеток шла в направлении совершенствования способов их передвижения и способов поглощения и выделения отходов жизнедеятельности через оболочку. Сначала пищей служили крупные органические фрагменты, затем куски мертвой ткани и, наконец, поглощение и переваривание целых организмов, свойственное хищникам. Их появление резко усилило естественный отбор.

Первые примитивные представители животного царства ведут своё начало от одноклеточных простейших организмов, отделившихся от общего генеалогического ствола с растениями. Мы почти ничего не можем сказать о них, так как ископаемые остатки практически не сохранились. Судя по всему,

первые представители животного мира имели общие признаки с одноклеточными зелеными водорослями. Подобные организмы (радиолярии) и сегодня составляют значительную часть планктона морей и океанов. Возникновение животной клетки было связано с переходом к гетеротрофному способу питания. Но он шел постепенно, поэтому существовали и продолжают существовать переходные формы между растениями и животными. Среди них – жгутиконосцы, эвглена зеленая, которая сохранилась до современных дней. При освещении и наличии минеральных веществ в воде ведет себя как типичное растение. Но в темноте или при неблагоприятных условиях она теряет хлорофилл и подобно животному начинает усваивать из раствора органические вещества.

Важнейшим этапом в эволюции животных стало появление многоклеточных организмов. Формирование многоклеточности было осуществлено через колонии, в которые объединялись одноклеточные организмы. Вначале все клетки в таких колониях были одинаковыми. Но затем началась их дифференциация в соответствии с выполняемыми функциями. Массовое появление многоклеточных животных произошло в позднем кембрии. Судя по всему, это были многочисленные морские беспозвоночные организмы – медузоподобные плавающие формы, кишечнополостные, морские черви.

На следующую ступень в своем развитии животное царство поднялось с появлением твердых частей тела – раковин и внутреннего скелета. В кембрийских морях были ракообразные, губки, кораллы, иглокожие, моллюски, трилобиты. Твердый скелет служил опорой этим организмам, способствовал увеличению размеров, делал их более прочными, защищал от физических повреждений. Кроме того, твердый скелет мог служить защитой от хищников, которые появились около 450 млн лет назад. Около 500 млн лет назад появились первые позвоночные животные. Это наиболее высокоорганизованная, обширная и разнообразная группа животных,

включающая рыб, земноводных, пресмыкающихся и млекопитающих. Первые позвоночные появились в воде – ими были рыбы.

Современные рыбы делятся на два больших класса – хрящевых и костистых. К хрящевым относятся акулы и скаты. Некоторые виды акул появились еще в девоне, около 400 млн лет назад, и с тех пор не менялись. Костистых рыб сегодня большинство, они преобладают в современных водоемах. Для костистых рыб характерно наличие плавательного пузыря, регулирующего глубину их погружения. Следующий шаг в эволюции животных связан с появлением двоякодышащих рыб, живших в периодически высыхавших водоемах. Легкие помогали им выжить в периоды засухи. В наши дни сохранилось лишь шесть видов двоякодышащих рыб: австралийский рогозуб из отряда однолегочных, американский чешуйчатник (представитель отряда двулегочных) и четыре вида африканского рода также из отряда двулегочных.

Некоторые пресноводные двоякодышащие рыбы дали начало земноводным, которые могут далеко уходить от природных водоемов, но для размножения должны возвращаться в воду. Это произошло в Девоне. Тогда же, очевидно, появились насекомые. Предки насекомых, пауков и скорпионов вышли на сушу вслед за растениями. Выход животных на сушу был связан с серьезнейшими изменениями их форм. Ведь на суше вес тел больше, чем в воде, в воздухе не содержится питательных веществ, которые есть в воде в растворенном виде. Кроме того, воздух обладает иной свето- и звукопроводностью, а концентрация кислорода в нем выше, чем в воде. Таким образом, жизнь должна была адаптироваться к новым условиям, выработав соответствующие приспособления. Первыми, полностью приспособившимися к условиям суши позвоночными стали рептилии. Их яйца были покрыты твердой скорлупой, предотвращающей высыхание, и снабжены необходимыми запасами пищи и кислорода для развития эмбриона. Первые рептилии были похожи на небольших ящериц. Они начали активное завоевание суши в карбоне (350–285 млн лет назад). В пермском

периоде (285–230 млн лет назад) они полностью преобладали на суше. Мезозойская эра (230–67 млн лет назад) также проходит под властью рептилий, среди которых были как хищники, так и травоядные. В триасовом периоде (230–195 млн лет назад) появились динозавры, размеры которых сильно варьировались – от мелких животных, величиной с кошку, до 30-метровых гигантов, весящих 40–50 тонн. Динозавры жили на суше (тиранозавры, игуанодоны, стегозавры, трицератопсы и др.), в воде (бронтозавры, диплодоки, ихтиозавры, плезиозавры), в воздухе (птерозавры, птеродактили). В юрском периоде (195–137 млн лет назад) от одной из ветвей рептилий появились птицы, которых Т. Гексли, в силу их родства с рептилиями, назвал «взлетевшими рептилиями». Птицы, как и рептилии, несут яйца, но в меньших количествах, они заботятся о своем потомстве и имеют постоянную высокую температуру тела. Переходной формой между рептилиями и птицами стал археоптерикс. В конце мелового периода (67 млн лет назад) произошло массовое вымирание мезозойских рептилий. Причина этого до сих пор не ясна, хотя существуют многочисленные версии, среди которых – возможное падение гигантского метеорита, вызвавшее глобальное похолодание и изменение климата. В новых условиях преимущество в естественном отборе получили птицы, а также млекопитающие, возникшие в триасовом периоде. Но в те времена они были небольшими, преимущественно насекомоядными животными. Лишь в кайнозойскую эру начался период их господства на Земле.

Это было связано с тем, что в условиях похолодания важнейшим условием выживания стала теплокровность, обеспечившая постоянную высокую температуру тела и постоянство внутренней среды организма. Поскольку млекопитающие являются живородящими животными и вскармливают своих детенышей молоком, это обеспечивает лучшую сохранность молодняка и дает возможность размножения в разнообразных условиях. Кроме того, у млекопитающих более развитая нервная система, способная обеспечить разнообразные формы активного приспособления к

окружающей среде. Первые насекомоядные млекопитающие дали начало плацентарным и сумчатым млекопитающим, которые развивались одновременно. В первой половине кайнозоя господствовали сумчатые. В наши дни сумчатые сохранились лишь в Австралии, Новой Гвинее и Южной Америке.

В неогеновом периоде (27–3 млн лет назад) появились более высокоорганизованные плацентарные млекопитающие. Среди плацентарных млекопитающих появились китообразные и грызуны, летучие мыши, приматы и т.д. Существовавшие в то время хищнокопытные разделились, дав начало хищникам и копытным животным. Во второй половине кайнозоя плацентарные млекопитающие стали господствующей группой животных. Эволюция млекопитающих проходила в течение всей кайнозойской эры. Большую роль в этом сыграла тектоника литосферных плит и разделение континентов.

13.3. Эволюция живых систем

Первая попытка построить целостную концепцию развития органического мира была предпринята французским естествоиспытателем Ж.Б. Ламарком. В основу эволюционной теории Ламарк заложил представление о развитии постепенном и медленном, от простого к сложному, с учетом роли внешней среды в преобразовании организмов. Причиной эволюции Ламарк считал присущее живой природе изначальное стремление к усложнению и самосовершенствованию своей организации. Другим фактором эволюции он назвал влияние внешней среды. Пока она не изменяется, виды постоянны, как только она становится иной, виды начинают меняться. Ламарк по сравнению с предшественниками разработал проблему неограниченной изменчивости живых форм под влиянием условий существования: питания, климата, особенностей почвы, влаги, температуры и т.д.

Дальнейшее развитие идеи эволюционизма получили в трудах Ч. Дарвина. Дарвин пришел к выводу, что в природе любой вид живого стремится к размножению в геометрической прогрессии. В то же время число взрослых особей каждого вида остается относительно постоянным. Так, самка трески мечет семь миллионов икринок, из которых выживает лишь 2 %. Следовательно, в природе происходит борьба за существование, в результате которой накапливаются признаки, полезные для организма и вида в целом, а также образуются новые виды и разновидности. Остальные организмы гибнут в неблагоприятных условиях среды. Таким образом, борьба за существование – это совокупность многообразных, сложных взаимоотношений, существующих между организмами и условиями среды.

В борьбе за существование выживают и оставляют потомство только те особи, которые обладают свойствами, позволяющим им наиболее успешно конкурировать с другими особями, происходит процесс избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других, т.е. естественный отбор. Меняется направление отбора. Полезные признаки сохраняются и передаются последующим поколениям через фактор наследственности, обеспечивающий устойчивость видов. Однако в природе нельзя обнаружить одинаковые, совершенно тождественные организмы. Всё многообразие живой природы является результатом процесса изменчивости под влиянием внешней среды. Таким образом, концепция Дарвина построена на признании объективно существующих процессов в качестве факторов и причин развития живого. Основными движущими факторами эволюции являются:

- ✓ изменчивость,
- ✓ наследственность
- ✓ естественный отбор.

Сам Дарвин различал два вида изменчивости: 1) наследственную (неопределенную) и 2) ненаследственную (определенную). Под определенной (групповой) изменчивостью понимается сходное изменение

всех особей потомства в одном направлении вследствие влияния определенных условий (изменение роста в зависимости от количества и качества пищи, изменение толщины кожи и густоты шерстяного покрова при изменении климата и т.д.). Под неопределенной (индивидуальной) изменчивостью понимается появление разнообразных незначительных отличий у особей одного и того же вида, которыми одна особь отличается от других. Со временем «неопределенные» изменения стали называть мутациями, а «определенные» – модификациями.

Наследственность – это свойство организмов обеспечивать преемственность признаков и свойств между поколениями, а также определять характер развития организма в специфических условиях внешней среды. В процессе размножения от поколения к поколению передаются не признаки, а код наследственной информации, определяющий лишь возможность развития будущих признаков в определенном диапазоне. Наследуется не признак, а норма реакции развивающейся особи на действие внешней среды. Рассматривая вопросы изменчивости и наследственности, Дарвин обратил внимание на сложные взаимоотношения между организмом и окружающей средой, на формы зависимости живого от условий жизни. Борьба за существование означает проявление всех форм активности данного вида организмов, направленных на поддержание жизни своего потомства. Дарвин выделил три основные ее формы:

- 1) межвидовую;
- 2) внутривидовую;
- 3) борьбу с неблагоприятными условиями внешней среды.

Примеры межвидовой борьбы в природе встречаются часто и всем хорошо известны. Наиболее ярко она проявляется в борьбе хищников и травоядных животных. Здесь возникает ситуация: что досталось одному, не достанется другому. В межвидовой борьбе успех одного вида означает неуспех другого. Внутривидовая борьба означает конкуренцию между особями одного вида, у которых потребность в пище, территории и других

условиях существования одинакова. Дарвин считал внутривидовую борьбу наиболее напряженной. Поэтому в процессе эволюции у популяций выработались различные приспособления, снижающие остроту конкуренции: разметка границ, угрожающие позы и т.п. Борьба с неблагоприятными условиями среды выражается в стремлении живых организмов выжить при резких изменениях погодных условий. В этом случае выживают лишь наиболее приспособленные к изменившимся условиям особи. Они образуют новую популяцию, что в целом способствует выживанию вида. В борьбе за существование выживают и оставляют потомство индивиды и особи, обладающие таким комплексом признаков и свойств, которые позволяют успешно противостоять неблагоприятным условиям среды. Однако основная заслуга Дарвина в создании теории эволюции заключается в том, что он разработал учение о естественном отборе как ведущем и направляющем факторе эволюции. Естественный отбор, по Дарвину, – это совокупность происходящих в природе изменений, обеспечивающих выживание наиболее приспособленных особей и преимущественное оставление ими потомства, а также избирательное уничтожение организмов, оказавшихся неприспособленными к существующим или изменившимся условиям окружающей среды. Совершенствование механизма приспособления организмов приводит к тому, что усложняется уровень их организации и таким образом осуществляется эволюционный процесс. Поэтому учение о естественном отборе как о движущем и направляющем факторе исторического развития органического мира является главным в теории эволюции Дарвина.

Слабым местом в теории Дарвина были представления о наследственности. Действительно, если эволюция связана со случайным появлением изменений и наследственной передачей приобретенных признаков потомству, то каким образом они могут сохраниться и даже усилиться в дальнейшем? Ведь в результате скрещивания особей, обладающих полезными признаками, с другими особями, которые ими не

обладают, они передадут эти признаки в ослабленном виде. В конце концов в течение ряда поколений эти случайно возникшие изменения должны будут ослабнуть, а затем и вовсе исчезнуть. Этот вывод был сделан британским инженером и физиком Ф. Дженкиным в 1867 году.

Первые шаги в изучении наследственности были сделаны чехом Г. Менделем. Своими опытами он заложил основы генетики, поставив опыты по скрещиванию гороха, которыми доказал, что наследственность не имеет промежуточного характера, а передается дискретными частицами. Сегодня мы называем эти частицы генами. *Ген* – это элементарная единица наследственности, участок молекулы ДНК, находящийся в хромосоме, в ядре клетки, а также в её цитоплазме и органоидах. Ген определяет возможность развития одного элементарного признака или синтез одной белковой молекулы. В организме гены являются мозговым центром. В них фиксируются признаки и свойства организма, передающиеся по наследству. Совокупность всех генов одного организма называется генотипом. Совокупность всех вариантов каждого из генов, входящих в состав генотипов определенной группы особей или вида в целом, называется генофондом. Генофонд является видовым, а не индивидуальным признаком. Совокупность всех признаков одного организма называется фенотипом. Фенотип представляет собой результат взаимодействия генотипа и окружающей среды.

Законы наследственности, обнаруженные Менделем при проведении серии опытов по скрещиванию различных сортов гороха, открыли количественные закономерности наследования признаков, позже названные в честь их первооткрывателя законами Менделя. Эти три закона известны как

- ✓ закон единообразия первого поколения гибридов;
- ✓ закон расщепления;
- ✓ закон независимого комбинирования признаков.

Первый закон Менделя – закон единообразия первого поколения гибридов устанавливает, что при скрещивании двух особей, различающихся

по одной паре альтернативных признаков, гибриды первого поколения оказываются единообразными, проявляя лишь один признак. Например, при скрещивании двух сортов гороха с желтыми и зелеными семенами в первом поколении гибридов все семена имеют жёлтую окраску. Этот признак, проявляющийся в первом поколении гибридов, называется доминантным. Второй признак (зеленая окраска), называется рецессивным и в первом поколении гибридов подавляется.

Второй закон Менделя – закон расщепления – гласит, что при скрещивании гибридов первого поколения их потомство (второе поколение гибридов) дает расщепление по анализируемому признаку в отношении 3 : 1 по фенотипу, 1:2:1 по генотипу, или $Aa + Aa = AA + 2Aa + aa$. В этом же примере скрещивания двух сортов гороха с желтыми и зелеными семенами во втором поколении гибридов произойдет расщепление: появятся растения с зелеными семенами (рецессивный признак), однако количество зеленых семян будет в три раза меньше количества желтых (доминантный признак).

Третий закон Менделя – закон независимого комбинирования признаков – утверждает, что при скрещивании организмов, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях. Так, при дигибридном скрещивании двух сортов гороха с желтыми гладкими и зелеными морщинистыми семенами во втором поколении гибридов по внешним признакам выявляются четыре группы особей (желтые гладкие семена, желтые морщинистые, зеленые гладкие, зеленые морщинистые) в количественном соотношении – 9:3:3:1.

Однако, как выяснилось позже, третий закон Менделя действует не во всех случаях. Поэтому важным этапом в развитии генетики явилось создание в начале XX в. американским ученым Г. Морганом хромосомной теории наследственности. Наблюдая деление клеток, Морган пришел к выводу, что основная роль в передаче наследственной информации принадлежит

хромосомам клеточного ядра. Ему удалось выявить закономерности наследования признаков, гены которых находятся в одной хромосоме, – они наследуются совместно. Это называется сцеплением генов, или законом Моргана. Морган логично заключил, что у любого организма признаков много, а число хромосом невелико. Следовательно, в каждой хромосоме должно находиться много генов. В каждой клетке любого организма данного вида содержится определенное число хромосом, но их количество у каждого вида различно. Например, у плодовой мушки дрозофилы их 8, у садового гороха – 14, у жабы – 22, у крысы – 42, у утки – 80, а у микроскопического морского животного радиолярии – 1 600. Хромосомы всегда парны, т.е. в клетке всегда имеется по две хромосомы каждого вида. Так, у человека имеется 23 пары хромосом, из которых 22 пары одинаковы как у мужского, так и у женского организмов, а одна пара – различна. Именно благодаря этой паре обусловлены половые различия. Поэтому её называют половыми хромосомами, в отличие от одинаковых хромосом, названных аутосомами.

Половые хромосомы у женщин одинаковы, их называют X-хромосомами. У мужчин половые хромосомы разные – одна X-хромосома и одна Y-хромосома. Для каждого человека решающую роль в определении пола играет Y-хромосома. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим X-хромосому, развивается женский организм, если же в яйцеклетку проникает сперматозоид, содержащий Y-хромосому, развивается мужской организм.

Следующий важный этап в развитии генетики начался в 1930-е гг. и связан с открытием роли ДНК в передаче наследственной информации. Началось раскрытие генетических закономерностей на молекулярном уровне, зародилась новая дисциплина – молекулярная генетика. Тогда же в ходе исследований было установлено, что основная функция генов состоит в кодировании синтеза белков. Затем в 1950 г. С. Бензером была установлена тонкая структура генов, был открыт молекулярный механизм функционирования генетического кода, понят язык, на котором записана

генетическая информация. Для этого используются четыре азотистых основания (аденин, тимин, гуанин и цитозин), пятиатомный сахар и остаток фосфорной кислоты. И, наконец, был расшифрован механизм репликации ДНК.

Известно, что последовательность оснований в одной нити в точности предопределяет последовательность оснований в другой – это так называемый принцип комплиментарности, действующий по типу матрицы. При размножении две спирали старой молекулы ДНК расходятся, и каждая становится матрицей для воспроизводства новых нитей ДНК. Каждая из двух дочерних молекул обязательно включает в себя одну старую полинуклеотидную цепь и одну новую. Удвоение молекул ДНК происходит с удивительной точностью, чему способствует двухцепочное строение молекулы – новая молекула абсолютно идентична старой. В этом заключается глубокий смысл, потому что нарушение структуры ДНК, приводящее к искажению генетического кода, сделало бы невозможным сохранение и передачу по наследству генетической информации, обеспечивающей развитие присущих организму признаков. Генетические механизмы наследственности тесно связаны с генетическими механизмами изменчивости, т.е. со способностью живых организмов приобретать новые признаки и свойства в процессе взаимодействия организма с окружающей средой. Изменчивость является основой для естественного отбора и эволюции организмов. По механизмам возникновения и характеру изменений признаков генетика различает две основные формы изменчивости: 1) наследственную (генотипическую); 2) ненаследственную (фенотипическую), или модификационную изменчивость. Модификационная изменчивость зависит от конкретных условий среды, в которой существует отдельный организм, и даёт возможность приспособиться к этим условиям, но в пределах нормы реакции. Так, европеец, долго живущий в Африке, приобретет сильный загар, но цвет его кожи все-таки не будет таким, как у коренных обитателей этого континента. Данные изменения не наследуются.

Изменчивость, связанная с изменением генотипа, называется генотипической изменчивостью. Генетическая изменчивость передается по наследству и подразделяется на комбинативную и мутационную. Наиболее ярко наследственная изменчивость проявляется в мутациях – перестройках наследственного основания, генотипа организма. Мутационная изменчивость – это скачкообразное и устойчивое изменение генетического материала, передающееся по наследству. Хотя процесс репликации ДНК и деления клеток обычно идет чрезвычайно точно, иногда, примерно один раз на тысячу или миллион случаев, этот процесс нарушается, и тогда хромосомы новой клетки отличаются от тех, которые были в старой. Таким образом, мутация возникает вследствие изменения структуры генов или хромосомы и служит единственным источником генетического разнообразия. Существуют разные типы генных и хромосомных мутаций.

Факторы, способные вызывать мутации, называются мутагенами. Они подразделяются на физические (различные виды излучений, высокие или низкие температуры), химические (некоторые лекарства и др.) и биологические (вирусы, бактерии). По значимости для организма мутации подразделяются на отрицательные – летальные (несовместимые с жизнью), полулетальные (снижающие жизнеспособность организма), нейтральные и положительные (повышающие приспособляемость и жизнестойкость организма). Положительные мутации встречаются крайне редко, но именно они лежат в основе прогрессивной эволюции. Комбинативная изменчивость связана с получением новых комбинаций генов, имеющих в генотипе. Сами гены при этом не изменяются, но возникают их новые сочетания, что приводит к появлению организмов с другим генотипом и, следовательно, фенотипом. Опыты Менделя по дигибридному скрещиванию являются примером проявления изменчивости, обусловленной рекомбинацией генов, комбинативной изменчивости. Еще одним примером такой изменчивости является генетическая рекомбинация, которая происходит при половом размножении. Именно поэтому дети похожи на своих родителей, но не

являются их точной копией. Кроме того, рекомбинация может происходить за счет включения в геном клетки новых, привнесенных извне генетических элементов – мигрирующих генетических элементов. В последнее время было установлено, что даже само их внедрение в клетку даёт мощный толчок к множественным мутациям. Такой толчок могут давать вирусы – одни из наиболее опасных мутагенов. Вирусы – это мельчайшие из живых существ. Они не имеют клеточного строения, не способны сами синтезировать белок, поэтому получают необходимые для их жизнедеятельности вещества, проникая в живую клетку и используя чужие органические вещества и энергию. У человека, как и у растений, и у животных, вирусы вызывают множество заболеваний.

Синтетическая теория эволюции представляет собой синтез основных эволюционных идей Дарвина и прежде всего естественного отбора с новыми результатами исследований в области наследственности и изменчивости. Началом разработки синтетической теории эволюции принято считать работы русского генетика С.С. Четверикова по популяционной генетике, затем к этой работе подключились около 50 ученых из восьми стран. В их работах было показано, что отбору подвергаются не отдельные признаки или особи, а генотип всей популяции, однако осуществляется он через фенотипические признаки отдельных особей. Это приводит к распространению полезных изменений во всей популяции. Полезность изменчивости будет определяться естественным отбором группы особей, наиболее приспособленных к жизни в определенных условиях. Таким образом, элементарной единицей эволюции считается уже не особь (как считал Ламарк), не вид (как считал Дарвин), а совокупность особей одного вида, способных скрещиваться между собой, т.е. популяция. Мутировавший ген создаёт у особи новый признак, который в случае полезности для популяции закрепляется в ней. Эффективность процесса определяется частотой возникновения в популяции признака и состоянием особей в популяции.

Вклад в становление синтетической теории эволюции (СТЭ) внёс российский ученый Н.В. Тимофеев-Ресовский. Он сформулировал положение об элементарных явлениях и факторах эволюции. По его мнению:

- ✓ элементарной эволюционной структурой является популяция;
- ✓ элементарным эволюционным явлением является изменение генотипического состава популяции;
- ✓ элементарным наследственным материалом является генофонд популяции;
- ✓ элементарными эволюционными факторами являются мутационный процесс, популяционные волны, изоляция и естественный отбор.

Поскольку мутации возникают случайно, постольку их результат становится неопределенным. Однако случайное изменение становится необходимым, когда оно оказывается полезным для организма, помогает ему выжить в борьбе за существование. Закрепляясь и повторяясь в ряде поколений, случайные изменения вызывают перестройку в структуре живых организмов и их популяций и таким образом приводят к возникновению новых видов. Популяции, насыщенные мутациями, обладают широкими возможностями для совершенствования существующих и выработки новых приспособлений в изменяющихся условиях среды. Однако сам мутационный процесс без участия других факторов эволюции не может направлять изменение природной популяции. Он является лишь поставщиком элементарного эволюционного материала. Популяционными волнами называют колебания численности особей в популяции. Причины этих колебаний могут быть различными. Например, резкое сокращение численности популяции может произойти вследствие истощения кормовых ресурсов. Среди оставшихся в живых немногочисленных особей могут оказаться редкие генотипы. Если в дальнейшем численность восстановится за счет этих особей, то это приведет к случайному изменению частот генов в генофонде данной популяции. Таким образом, популяционные волны

являются поставщиком эволюционного материала. В качестве третьего основного фактора эволюции СТЭ признает обособленность (изоляцию) группы организмов. На эту особенность указывал еще Дарвин, который считал, что для образования нового вида определенная группа старого вида должна обособиться, но он не мог объяснить необходимость этого требования с точки зрения наследственности. В настоящее время установлено, что обособление и изоляция определенной группы организмов необходимы для того, чтобы она не могла скрещиваться с другими видами и тем самым передавать им и получать от них генетическую информацию. Изоляция разных групп организмов в природе, а также в практике селекционной работы осуществляется разными способами, но цель их одна – исключить обмен генетической информацией с другими видами.

Важный направляющий фактор СТЭ – естественный отбор. Однако в настоящее время представления о естественном отборе дополнились новыми фактами, значительно расширились и углубились. Естественный отбор следует понимать как избирательное выживание и возможность оставления потомства отдельными особями. Биологическое значение особи, давшей потомство, определяется ее вкладом в генофонд популяции. Отбор действует в популяции, его объектами являются фенотипы отдельных особей. Фенотип организма формируется на основе реализации информации генотипа в определенных условиях среды. Таким образом, отбор из поколения в поколение по фенотипам ведет к отбору генотипов, так как потомкам передаются не признаки, а генные комплексы. В СТЭ различают три основные формы естественного отбора:

- 1) стабилизирующий;
- 2) движущий;
- 3) дизруптивный.

Стабилизирующий отбор способствует сохранению признаков вида в относительно постоянных условиях среды. Он поддерживает средние значения, выбраковывая мутационные отклонения от ранее

сформировавшейся нормы. Стабилизирующая форма отбора действует до тех пор, пока сохраняются условия, повлекшие образование того или иного признака или свойства. Примером стабилизирующего отбора является избирательная гибель домовых воробьев при неблагоприятных погодных условиях. У выживших птиц различные признаки оказываются близкими к средним значениям. Среди погибших эти признаки сильно варьировались. Примером действия этой формы отбора в популяциях людей служит большая выживаемость детей со средней массой.

Движущий отбор благоприятствует изменению среднего значения признака в измененных условиях среды. Он обуславливает постоянное преобразование приспособлений видов соответственно изменениям условий существования. Особи популяции имеют некоторые отличия по генотипу и фенотипу. При длительном изменении внешней среды, преимущественно в жизнедеятельности и размножении, может появиться часть особей вида с некоторыми отклонениями от средней нормы. Это приведёт к изменению генетической структуры, возникновению эволюционно новых приспособлений и перестройке организации вида. Одним из примеров этой формы отбора является потемнение окраски бабочки березовой пяденицы в развитых индустриальных районах Англии. В сельскохозяйственных районах распространены светлоокрашенные формы, а вблизи промышленных центров кора деревьев становится темной из-за исчезновения лишайников, поэтому там преобладает форма темноокрашенных бабочек.

Дизруптивный отбор действует в разнообразных условиях среды, встречающихся на одной территории, и поддерживает несколько фенотипически различных форм за счет особей со средней нормой. Если условия среды настолько изменились, что основная масса вида утрачивает приспособленность, то преимущество приобретают особи с крайними отклонениями от средней нормы. Такие формы быстро размножаются, и на основе одной группы формируется несколько новых. Основным результатом этого отбора заключается в наличии нескольких, различающихся по какому-

либо признаку групп, как бы разрывающих популяцию. Следует отметить, что перечисленные типы отбора очень редко встречаются в чистом виде. Как правило, в живой природе наблюдаются сложные, комплексные типы отбора, и необходимы особые усилия, чтобы выделить из них более простые типы. Важной составной частью синтетической теории эволюции являются концепции микро- и макроэволюции. Под микроэволюцией понимают совокупность эволюционных процессов, протекающих в популяциях, приводящих к изменениям генофонда этих популяций и образованию новых видов. Считается, что микроэволюция протекает на основе мутационной изменчивости под контролем естественного отбора. Мутации служат единственным источником появления качественно новых признаков. На характер процессов микроэволюции оказывают влияние:

- ✓ колебания численности популяций («популяционные волны»),
- ✓ обмен генетической информацией между ними,
- ✓ изоляция,
- ✓ дрейф генов.

Микроэволюция ведёт либо к изменению всего генофонда биологического вида как целого, либо, при изоляции каких-либо популяций, к их обособлению от родительского вида в качестве новых форм – подвида (географической расы), а затем и вида.

Макроэволюция ведёт к формированию таксонов более высокого ранга, чем вид (родов, отрядов, классов). Считается, что макроэволюция не имеет специфических механизмов и осуществляется только посредством процессов микроэволюции, будучи их интегрированным выражением. Накапливаясь, микроэволюционные процессы выражаются в макроэволюционных явлениях, т.е. представляют собой обобщенную картину эволюционных изменений. Поэтому на уровне макроэволюции обнаруживаются общие тенденции, направления и закономерности эволюции живой природы, которые не поддаются наблюдению на уровне микроэволюции.

Таким образом, *основные положения синтетической теории эволюции* сводятся к утверждению:

1) главным фактором эволюции является естественный отбор, интегрирующий и регулирующий действие всех остальных факторов (мутагенеза, гибридизации, миграции, изоляции и др.);

2) эволюция протекает дивергентно, постепенно, посредством отбора случайных мутаций, а новые формы образуются через наследственные изменения;

3) эволюционные изменения случайны и ненаправленны, исходным материалом для них являются мутации; исходные организации популяции и изменения внешних условий ограничивают и направляют наследственные изменения;

4) макроэволюция, ведущая к образованию надвидовых групп, осуществляется только посредством процессов микроэволюции, и специфических механизмов возникновения новых форм жизни не существует.

Несмотря на глобальность, синтетическая теория эволюции не является завершенной концепцией. У нее есть трудности, на которых основываются недарвиновские концепции эволюции. Так, она допускает возможность изменения геномов организмов в результате мутаций. Но геном любого организма содержит огромное количество нуклеотидов, поэтому мутации не могут повлиять на него так, чтобы получился другой геном. Скорее всего, изменение генома одной клетки или нескольких клеток приведет к рассогласованию в поведении клеток, и популяции клеток не сформируется.

Глоссарий

Азотистые основания – органические соединения, входящие в состав нуклеиновых кислот. К азотистым основаниям относят: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц), которые входят в состав как ДНК, так и РНК. Тимин (Т) входит в состав только ДНК, а урацил (У) встречается только в РНК.

Вид – совокупность родственных между собой индивидов (особей), способных к скрещиванию с образованием плодового потомства.

Ген – материальный носитель, единица наследственной (генетической) информации; участок молекулы ДНК (у высших организмов) и РНК (у вирусов и фагов), содержащий информацию о первичной структуре одного белка, в связи с чем ген оказывается ответственен за синтез именно этого белка.

Геном – совокупность генов, содержащихся в одинарном (гаплоидном) наборе хромосом данной растительной или животной клетки.

Генотип – совокупность всех генов особи.

Генофонд – совокупность генов, которые имеются у особей, составляющих данную популяцию.

Доминантный – преобладающий, господствующий, главенствующий.

Естественный отбор – процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных. Изменчивость – разнообразие признаков и свойств у особей и их групп любой степени родства.

Изоляция – разобщение особей или их групп (популяций и т.п.) друг от друга как один из важнейших факторов эволюции.

Макроэволюция – эволюционные преобразования, происходящие на надвидовом уровне и обуславливающие формирование все более крупных таксонов (от родов до типов и царств природы). Осуществляется в течение длительных промежутков времени, составляющих многие миллионы лет, через процессы микроэволюции.

Мутагены – любой агент, фактор, вызывающий мутацию. Среди них – физические, физико-химические, химические и биологические мутагены.

Мутация – внезапное изменение наследственных структур организма (его генотипа), вызванное естественным или искусственным путем; мутация является основой наследственной изменчивости в живой природе.

Наследственность – свойство организмов повторять в ряду поколений сходные признаки и свойства: типы обмена веществ, психологические особенности и типы индивидуального развития и т.д.

Популяция – совокупность особей одного вида, населяющая некоторую территорию, относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом; рассматривается как элементарная единица эволюции.

Фенотип – совокупность всех свойств и признаков организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития (онтогенеза), в отличие от его наследственных свойств, его генотипа. Хромосома – самовоспроизводящийся структурный элемент клеточного ядра, содержащий ДНК, в которой заключена генетическая (наследственная) информация.

Эволюционизм – теория, понимающая развитие только как постепенное количественное изменение, отрицающее скачкообразные переходы.

Эволюция – непрерывное, постепенное количественное изменение, развитие, в отличие от революции, коренного, качественного изменения.

Тесты

14.1. Основные идеи теории эволюции Ч. Дарвина: наследственность, естественный отбор и ...

- 1) популяционные волны;
- 2) изменчивость;
- 3) самовоспроизведение;
- 4) конвариантная редупликация.

14.2. Изменчивость признака, носящая приспособительный характер к условиям среды и не сохраняющаяся в последующих поколениях, является...

- 1) наследуемой;
- 2) мутационной;
- 3) фенотипической;

4) генотипической.

14.3. Объектом действия естественного отбора является

1) хромосомный набор;

2) отдельный ген;

3) целостная живая система;

4) отдельный признак.

14.4. Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом животной или растительной клетки, носит название ...

1) генотип;

2) геном;

3) генофонд;

4) ген.

14.5. Стойкие изменения наследственных структур живой материи, ответственных за хранение и передачу генетической информации, – это...

1) мейоз;

2) мутации;

3) монофилия;

4) митоз.

Тема 14. Происхождение человека

14.1. Гипотезы о происхождении человека.

14.2. Место человека в классификации живой природы.

14.3. Трудовая деятельность человека и ее отличие от действий животных.

14.1. Гипотезы о происхождении человека

Вопрос о происхождении человека был и до сих пор остается одним из центральных в естествознании. Попытки понять и объяснить своё происхождение предпринимались философами, теологами, учеными на

протяжении многих лет, но до сих пор мы не можем дать однозначный ответ на вопрос о происхождении человека. Центральное место в комплексе естественнонаучных дисциплин, изучающих человека, занимает антропология – общее учение о происхождении и эволюции человека, образовании человеческих рас и вариациях физического строения человека. Современная антропология рассматривает антропогенез (процесс происхождения человека) как продолжение биогенеза. Основными вопросами антропологии являются вопросы о месте и времени появления человека, основных этапах его эволюции, движущих силах и детерминирующих факторах развития, соотношении антропогенеза и социогенеза.

Теория антропогенеза базируется на симиальной гипотезе Ч. Дарвина о происхождении человека от древней человекообразной обезьяны. Процесс перехода от обезьяны к человеку – гоминизация – был длительным и сложным. Он включал развитие прямохождения и мозга, адаптацию руки к трудовой деятельности, появление членораздельной речи и др. Большую роль в очеловечивании обезьяны сыграло и изготовление орудий труда. Полагают, что гоминидная линия эволюции отделилась от общего с обезьянами ствола 7–8 млн лет назад, а древнейшие представители рода человек («Номо») появились около 2 млн лет назад. Обычно выделяют следующие стадии развития человека:

- ✓ австралопитеки,
- ✓ архантропы,
- ✓ палеоантропы,
- ✓ неантропы.

Каждая из них характеризуется своими морфологическими особенностями и археологической культурой. Долгое время отсутствовали эмпирические данные о предках человека. Дарвин знал только дриопитеков (найденных в 1856 г. во Франции) и писал о них как о далеких предках человека. Дриопитеки («древесные обезьяны») – это подсемейство вымерших

обезьян. Большую часть жизни они проводили на деревьях, передвигаясь по ним семейными группами, наподобие шимпанзе. Среди дриопитеков, по мнению некоторых ученых, были предки современных человекообразных обезьян и человека. В XX в. раскопки позволили обнаружить остатки обезьян, живших примерно от 20 до 12 млн лет назад. В настоящее время большинство специалистов считает, что ближайшим предшественником человека являются австралопитеки – прямоходящие млекопитающие. Их костные остатки, возраст которых составляет от 5 до 2,5 млн лет, впервые были обнаружены в 1924 г. в Южной Африке. К настоящему времени обнаружены костные остатки около 400 австралопитековых особей. Австралопитеки были связующим звеном между животным миром и первыми людьми. В 60–70-е гг. XX в. в Африке были обнаружены останки самого раннего представителя рода «Номо». Этот древнейший предок человека получил название «человек умелый». Такое название он получил из-за того, что умел изготавливать самые примитивные орудия труда из гальки. Человек умелый, судя по найденным останкам, датирующимся 2,6–3,5 млн лет назад, существовал более полумиллиона лет, медленно эволюционировал, пока не приобрел значительное сходство с человеком прямоходящим (или питекантропом).

Предполагается, что именно человек умелый предшествовал в эволюции древнейшим людям – архантропам (питекантропам). Впервые окаменелости древнейшего человека первого питекантропа нашел голландский исследователь Эжен Дюбуа на острове Ява в 1891 году. Позднее на Яве были найдены еще несколько питекантропов, в Китае – близкие к ним синантропы и т.д. Все они представляют собой различные географические варианты человека прямоходящего, существовавшего приблизительно 0,5–2 млн лет назад. Наряду с добыванием растительной пищи у питекантропов большую роль играла охота. Они умели пользоваться огнем, сохраняли его от поколения к поколению. Питекантропов сменили палеоантропы – древние

люди, промежуточная ступень между человеком прямоходящим («Homo erectus») и человеком разумным («Homo sapiens»).

Представители палеоантропов были названы неандертальцами (по месту первой находки в долине реки Неандр, Германия). Их скелетные остатки найдены в Европе, Азии и Африке. Время существования – 200–35 тыс. лет назад. Они могли не только поддерживать, но и добывать огонь. Шло развитие речи. С помощью изготовленных орудий древние люди охотились на животных, сдирали с них шкуры, разделывали туши, строили жилища. У неандертальцев впервые встречаются захоронения. Появление неантропов считается завершающей стадией биологической эволюции человека. В гроте Кроманьон во Франции было обнаружено сразу несколько ископаемых людей современного типа – неантропов. По месту находки их называют кроманьонцами. Самые ранние их костные остатки датируются в 40 тыс. лет. Разнообразие типов орудий из камня и кости говорит о сложной трудовой деятельности. Кроманьонцы уже умели сшивать шкуры животных и изготавливать из них одежду, жилье. На стенах пещер обнаружены рисунки.

14.2. Место человека в классификации живой природы

В современной таксономии «Homo sapiens» – единственный ныне существующий вид рода «Homo». Поэтому место человека в системе классификации живого выглядит так:

Класс: млекопитающие

Отряд: приматы

Подотряд: человекообразные обезьяны

Семейство: гоминиды (Hominidae)

Род: люди (Homo)

Вид: человек разумный (Homo sapiens)

Общая картина все же остается неполной, поскольку многие промежуточные звенья между человеком и древними обезьянами пока не

обнаружены. Сложности возникают потому, что сам процесс антропогенеза не носил линейного характера. Эволюция не только человека, но и всего живого осуществлялась путем постоянной генерации боковых ответвлений, многие из которых почти сразу же исчезают, другие отходили в сторону от основного направления, и только одна линия в конце концов привела к появлению человека разумного. Графически процесс антропогенеза можно представить в виде дерева с множеством ветвей. Некоторые из них давно мертвы, другие до сих пор живы. Подтверждением родства человека и животных являются следующие факты.

1. Для человека и животных характерны одинаковые вещественный состав, строение и поведение. Человек состоит из тех же белков и нуклеиновых кислот, что и животные, многие структуры и функции нашего организма аналогичны структуре и функциям животных. Чем выше на эволюционной шкале стоит животное, тем больше его сходство с человеком. В последнее время наукой разработан метод определения эволюционного родства организмов путем сравнения их хромосом и белков. Белки синтезируются на основе наследственной информации, заключенной в генах. Родство между видами тем больше, чем больше сходство между белками. Сравнительный анализ показал, что белки человека и шимпанзе сходны на 99%.

2. Человеческий зародыш проходит в своем развитии те же стадии, которые прошла эволюция живого, поэтому на разных стадиях эмбриогенеза у него появляются жабры, хвост и т.д. Это так называемый биогенетический закон.

3. О родстве человека с животными свидетельствует также наличие у человека атавизмов и рудиментарных органов. Атавизмы – это появление у отдельных организмов данного вида признаков, которые существовали у отдаленных предков, но были утрачены в процессе эволюции. Атавистические признаки, встречающиеся иногда у человека (наружный хвост, обильный волосяной покров на лице, сильно развитые клыки и др.),

свидетельствуют о том, что гены, ответственные за данный признак, в процессе эволюции сохраняются в генофонде. Рудименты – это недоразвитые органы, практически утратившие в процессе эволюции свои функции по сравнению с аналогичными органами предковых форм. Ранее эти органы выполняли важные функции у животных, но человеку они не нужны, хотя и сохранились. В отличие от атавизмов, рудименты встречаются практически у всех особей данного вида. Так, некоторые люди умеют шевелить ушами, хотя никакого практического эффекта это умение человеку не дает, а для животных – это один из факторов, способствующих лучшему восприятию звуков, что важно в борьбе за существование. В организме современного человека насчитывается около 90 рудиментов.

4. Данные генетики также подтверждают преемственность между низкоорганизованными и высокоорганизованными формами жизни. В геноме человека примерно 95 % генов унаследовано от наших обезьяноподобных предков, 60–70 % генов принадлежат примитивным насекомоядным млекопитающим, послужившим исходной группой для эволюции всех приматов. Считается, что наиболее близки к семейству людей – африканские шимпанзе, карликовый шимпанзе бонобо и горилла, а также орангутан, ныне живущий на островах Индонезии, но раньше обитавший и в Южном Китае (возможно, и в Индии). Как и человек, они отличаются высоким развитием головного мозга (но масса его в 2-3 раза меньше, чем у человека). Они могут слезать с деревьев и ходить по земле, но к продолжительному хождению на задних ногах они не способны. По морфологическим признакам наиболее от человека отличается орангутан.

Сейчас разработаны методы дифференциальной окраски хромосом, когда на них выявляется тонкая поперечная полосатость, строго специфичная для каждой хромосомы и каждого вида. Такая окраска хромосом человека и шимпанзе показывает их удивительную близость. Группы крови человека и обезьян очень близки, многие тождественны. Резус-фактор впервые был обнаружен у низшей обезьяны – макаки-резус. Кровь бонобо можно

переливать человеку без всяких осложнений. А ведь у всех млекопитающих межсеме́йственные переливания крови, как правило, приводят к гемолизу, распаду эритроцитов. Тонкие методы, основанные на определении аминокислотных последовательностей белков, показывают, что человек и шимпанзе отличаются по 1 % аминокислотных замен (данные по 44 белкам). Многие белки человека и шимпанзе, например гормон роста, взаимозаменяемы. Несмотря на это, отличия человека от животных также носят фундаментальный характер.

14.3. Трудовая деятельность человека и её отличие от действий животных

Конечно, все животные что-то делают, а высшие животные, кроме того, способны к сложным видам деятельности. Обезьяны, например, используют палки как орудия, чтобы доставать плоды. Но только человек способен создавать орудия труда. Именно это отличие позволяет утверждать, что животные приспосабливаются к окружающей среде, а человек преобразует ее, что труд создал человека. Возможно, причиной создания орудий труда человеческими предками была резко обедненная природная среда, в которой они оказались. Как показывают современные опыты с обезьянами, при небольшом количестве предметов они способны надолго концентрировать свое внимание. Предположительно, именно так гоминидам удалось переключить свое внимание с интересующего их объекта на обрабатываемое орудие труда. Скорее всего, первыми орудиями труда были кости и зубы убитых животных, а также камни и палки. Естественные сколы с острыми режущими краями, которые образовывались при ударе, делали орудия более эффективными в использовании, что подтолкнуло наших далеких предков самостоятельно производить соответствующую обработку орудий, вначале спорадически, а затем постоянно. Возраст древнейших каменных орудий труда оценивается в 2–3 млн лет. После этого эволюция человека сопровождалась совершенствованием техники обработки орудий труда. С

помощью огня люди готовили варёную пищу, которая стала лучше усваиваться. Кроме того, огонь согревал их, позволял изготовить более совершенные орудия труда. Благодаря целенаправленному использованию огня человек сделал гигантский шаг вперед, уходя из-под абсолютной власти природы к сознательному контролю над своей жизнью. На каждой новой ступени предки современных людей отличались все более совершенным строением тела, большим объемом и более развитой структурой мозга, более гибкой рукой. Постепенно нарабатывались стабильные приемы изготовления орудий. Их нужно было передавать другим людям, поэтому появилась необходимость в небιологической форме хранения и передачи информации. У животных может быть очень развитой система общения с помощью сигналов (например, дельфины общаются с помощью звуков и ультразвуков, муравьи – с помощью запахов). Тем не менее общение между ними идет на основе первой сигнальной системы – через запахи, касания, видимые позы, мимику, жесты, слышимые звуковые сигналы. Но только человек способен общаться с помощью слов. Этим человеческое общество отличается от других общественных животных. Таким образом, слово становится видовым признаком человека.

В отличие от человека, даже высшие животные не обладают способностью к абстрактному мышлению, к формированию отвлеченных, абстрактных представлений о предметах, в которых обобщены основные свойства конкретных вещей. Мышление животных всегда конкретно, а мышление человека может быть абстрактным, отвлеченным, обобщающим, понятийным, логическим. Поэтому, хотя многие животные могут совершать очень сложные действия (например, пчелы строят соты, бобры – плотины и т.д.), в основе их действий генетически заложенные программы поведения – инстинкты. И только человек вначале составляет план действий, а потом претворяет его в жизнь, так как никаких наследственных программ поведения он не имеет. Именно сознание позволяет человеку познавать

окружающий мир, переживать своё отношение к этому миру, регулировать свою деятельность.

В сознании человека складывается картина мира, состоящая из понятий и образов, мыслительных экспериментов. Появляется идеальный мир, замещающий реальный мир в нашем сознании. На этом уровне мыследеятельности человек способен планировать свои действия, а также рассуждать и строить умозаключения. Стержнем, благодаря которому формируется идеальный мир нашего сознания, является мышление. Важнейшие занятия предков людей – стадная охота и собирательство – это коллективная деятельность, в ходе которой складывались орудийное, практическое отношение к природе, социальные отношения, что требовало развития высшего уровня психики – сознания. Также шло укрепление связей между людьми по поводу производства орудий труда, передачи социального опыта, развивалась сплоченность. При этом заранее вырабатывалась стратегия поведения и коллективная организация для решения поставленной задачи. Параллельно с этим происходил процесс естественного разделения труда, который вначале шел по половозрастному признаку: мужчины охотились, женщины занимались собирательством, приготовлением пищи и воспитанием детей, старики делали орудия труда и обучали молодежь. Это привело к росту производительности труда, развитию примитивных отношений обмена.

Постепенно начинают регулироваться и брачные отношения. Долгое время в первобытных стадах существовала эндогамия, но со временем стали возникать первые ограничения, установился запрет на брачные отношения внутри своего коллектива. Так появилась первая форма семьи – дуально-родовой брак, в котором все мужчины одного рода считались мужьями всех женщин другого рода, и наоборот. После этого можно было говорить о рождении человеческого общества, об окончательном выделении человека из животного мира.

В 8–10 тысячелетии до н.э. произошла неолитическая революция. Термин «неолитическая революция» ввел в 1949 г. английский археолог Гордон Чайлд. Главным содержанием этой революции он считал переход от присваивающего хозяйства охоты, собирательства, рыболовства к производящему хозяйству – земледелию и скотоводству. Теперь люди начали производить то, чего в природе не было – отрабатывать селекцию культурных растений, новых пород скота. Жизнь родовой общины стала более обеспеченной, стабильной; люди стали меньше зависеть от природной среды, значительно повысилось общественное благосостояние. Неолитическая революция была первым звеном цепи последовательных преобразований системы общественной жизни, в результате которых в конечном счете возникла цивилизация, а вместе с ней и наука.

Глоссарий

Антропогенез – процесс историко-эволюционного формирования физического типа человека, первоначального развития его трудовой деятельности, речи.

Антропология – наука (междисциплинарная дисциплина на грани естественных и общественных разделов науки) о происхождении и эволюции человека, образовании человеческих рас и о нормальных вариациях физического строения человека.

Гоминиды – семейство отряда приматов, включает в свой состав как ископаемого человека (архантропы, палеоантропы), так и современных людей.

Неолитическая революция – переход человеческих общин от примитивной экономики охотников и собирателей к сельскому хозяйству, основанному на земледелии и животноводстве.

Палеоантропы – древнейшие ископаемые люди. Предшествуют неандертальцам.

Рудименты – это неразвитые органы, практически утратившие в процессе эволюции свои функции по сравнению с аналогичными органами предковых форм.

Тесты

14.1. Человек относится к роду ...

- 1) Homo habilis;
- 2) Homo erectus;
- 3) Homo;
- 4) Homo sapiens.

14.2. Предшественниками Рода Человек считаются ...

- 1) палеоантропы;
- 2) архантропы;
- 3) неантропы;
- 4) австралопитеки.

14.3. Примитивные галечные орудия труда изготавливались представителями...

- 1) неантропов;
- 2) человека умелого;
- 3) человека прямоходящего;
- 4) человека разумного.

14.4. Австралопитеки относятся к стадиальной группе...

- 1) неантропов;
- 2) приматов;
- 3) протоантропов;
- 4) палеоантропов.

14.5. Современные представления об эволюции вида Homo Sapiens формируются на основе:

- 1) сравнительного анализа фенотипов современных людей;
- 2) расшифровке и толковании древних методов;

- 3) молекулярно-генетических методов;
- 4) палеонтологических данных.

Тема 15. Биосфера и человек

- 15.1. Понятие биосферы.
- 15.2. Функции и состав биосферы.
- 15.3. Экосистема.

15.1. Понятие биосферы

Всестороннее изучение природы показывает, что живые организмы и среда их обитания сосуществуют в постоянном взаимодействии. В этой совокупности взаимосвязей живая природа представляет собой специфическую сферу действительности, целостную систему, похожую на единый живой организм, который родился вместе с Землей и постоянно вместе с ней эволюционирует. Планетарные масштабы этой системы позволяют рассматривать её как особый уровень организации живой материи, получившей название *биосферы*.

В системе современного естествознания понятие биосферы занимает ключевое место и поэтому разработка учения о биосфере имеет длительную историю. Начало её изучению положил Ж.Б. Ламарк, который в своей книге «Гидрогеология» обосновал идею о влиянии живых организмов на геологические процессы. Затем живой природе был посвящен многотомный труд А. Гумбольдта «Космос», в котором он ввел понятие жизненной среды, понимая под ним оболочку Земли, куда входят атмосферные, морские и континентальные процессы и весь органический мир. Сам термин «биосфера» был впервые введен в науку австрийским геологом и палеонтологом Э. Зюссом в 1875 г. Он подразумевал под биосферой самостоятельную сферу, пересекающуюся с другими земными сферами, в которой на Земле существует жизнь. Он дал определение биосферы как

совокупности организмов, ограниченной в пространстве и времени и обитающей на поверхности Земли. Первоначально понятием «биосфера» обозначалась совокупность только живых организмов. Связь живой и неживой природы трактовалась односторонне: отмечалась только зависимость живых организмов от химических, физических, геологических и других факторов, однако обратное воздействие оставалось вне поля зрения ученых.

Толщина биосферы не такая уж и большая, как может показаться на первый взгляд. За верхнюю границу биосферы условно принимается озоновый слой, выше которого мощный поток ультрафиолетового излучения, вероятно, убивает все живое. Нижняя граница распространения живых организмов в литосфере определяется температурой не более 100 °С. Таким образом, по сравнению с другими геосферами биосфера представляет собой тончайшую пленку. Правда, она покрывает всю Землю, не оставляя ни одного места на нашей планете, где бы не было жизни, включая пустыни и ледяные просторы Арктики и Антарктики. В атмосфере микробная жизнь встречается на высоте 20–22 км над поверхностью Земли (до озонового экрана), а наличие жизни в глубоких океанических впадинах опускает эту границу до 8–11 км ниже уровня моря. Углубление жизни в земную кору много меньше, и микроорганизмы обнаружены при глубинном бурении и в пластовых водах не глубже 2–3 км. В атмосфере наиболее заселен слой толщиной до 50 м.

15.2. Функции и состав биосферы

По своему составу, строению и организованности биосфера – это сложная оболочка, которая включает в себя:

- ✓ живое вещество – совокупность живых организмов Земли, включая человека;
- ✓ биогенное вещество, созданное в процессе жизнедеятельности организмов (газы атмосферы, уголь, нефть, известняки и т.д.);

✓ косное вещество, сформированное без участия жизни, к нему относятся атмосфера, гидросфера и литосфера;

✓ биокосное вещество – результат взаимодействия жизнедеятельности организмов и небиологических процессов (например, почва, озерная вода).

Живое вещество выполняет следующие геохимические функции:

✓ газовую – способность изменять и поддерживать определенный газовый состав среды и атмосферы в целом;

✓ концентрационную – захват из окружающей среды живыми организмами и накопление в них атомов биогенных химических элементов (многие моллюски накапливают Са, губки – I, хвощи – Si и т.п.); результат этой функции – образование залежей полезных ископаемых: нефти, сланцев, известняков, железа и т.д.;

✓ деструктивную – разрушение органического и минерального вещества живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности, вовлечение образовавшихся веществ в биологический круговорот;

✓ средообразующую – преобразование физико-химических параметров среды;

✓ энергетическую – связывание и запасание солнечной энергии в органическом веществе и последующее рассеивание энергии при минерализации органики.

15.3. Экосистема

Существование всех живых организмов на Земле неразрывно связано с окружающей средой. При этом растения и животные находятся не только в тесной зависимости от неживой природы и от других организмов, испытывая их воздействие и приспосабливаясь к ним, но и, потребляя разнообразные продукты окружающей среды, тем самым сами преобразуют природу.

Экосистема (экологическая система) – это природный комплекс (биокосная система), образованный живыми организмами (биоценоз) и

средой их обитания (биотоп), связанными между собой обменом веществ и энергии. Примерами экосистем могут служить: пруд, луг, саванна и др. Главными элементами экосистемы являются биотоп и биоценоз. Биотоп – участок суши или водоёма, заселенный живыми организмами. Биоценоз – совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих участок суши или водоема (биотоп). При этом биотоп совместно с биоценозом составляет единый биогеоценоз. *Биогеоценоз* – это организованная совокупность живых организмов и элементов неживой природы.

Продуценты – растения и микроорганизмы, способные производить из неорганического вещества органическое, используя энергию света или химические реакции. Они являются основой формирования и функционирования биогеоценозов, экосистем. Например, зеленые растения благодаря фотосинтезу могут преобразовывать солнечную энергию и запасать ее в виде энергии химической связи различных соединений.

Консументы не могут получить нужную им для жизнедеятельности энергию непосредственно от Солнца. К консументам относятся фитофаги (травоядные) и зоофаги (хищники). Травоядные животные вынуждены поедать растения, а хищники – травоядных животных и более мелких хищников. Таким образом, консументы – это потребители живого органического вещества. Консументы определяют вторичную продуктивность.

Редуценты – группа бактерий и грибов, разлагающие остатки органического вещества (детрит, экскременты животных) до минеральных солей, которые возвращаются через почвенные растворы обратно корням растений. В результате жизнедеятельности редуцентов в почву возвращаются минеральные вещества, что увеличивает её плодородие и обеспечивает питание растений. Поэтому редуценты – очень важная часть пищевых цепей.

Пищевые (или трофические) цепи могут быть представлены в форме пирамиды. Численное значение каждой ступени такой пирамиды может быть выражено числом особей, их биомассой или накопленной в ней энергией. В

соответствии с законом пирамиды энергий Р. Линдемана и правилом десяти процентов с каждой ступени на последующую ступень переходит приблизительно 10 % (от 7 до 17 %) энергии или вещества в энергетическом выражении. При этом в биогеоценозе проходит круговорот веществ – использование, переработка и восстановление различных структур. Как говорил В.И. Вернадский: «Живые организмы, своим дыханием, питанием, смертью, разложением, постоянным использованием своего вещества, а главное длящейся сотни миллионов лет непрерывной сменой поколений, своим рождением и размножением порождают одно из грандиознейших планетных явлений, не существующих нигде, кроме биосферы. Этот великий планетный процесс связан с миграцией химических элементов в биосфере, движением земных атомов, непрерывно происходящим более двух миллиардов лет по вполне определенным законам. Биогенная миграция производится силами жизни и, взятая в целом, является одним из самых грандиозных и самых характерных процессов биосферы, основной чертой ее организованности».

Огромное количество атомов, исчисляемое огромными числами, находится в непрерывной биогенной миграции. Её эффект определяется массой живого вещества, интенсивностью его движения. Таким образом, можно выделить два основных биогеохимических принципа миграции:

- 1) стремление к максимуму проявления;
- 2) эволюция видов, увеличивающих биогенную миграцию.

Стоит отметить, что, несмотря на постоянный круговорот веществ в биогеоценозе, круговорота энергии при этом не происходит: с одного уровня на другой, более высокий, переходит около 10 % энергии, поступившей на предыдущий уровень. Обратный поток не превышает 0,5 %. Иными словами, в биогеоценозе существует однонаправленный энергетический поток. Это делает его незамкнутой системой, неразрывно связанной с соседними биогеоценозами. Чем разнообразнее количество составляющих элементов саморегуляции биогеоценоза, тем успешнее он протекает. От многообразия

компонентов зависит устойчивость биогеоценозов. Выпадение одного или нескольких компонентов может привести к необратимому нарушению равновесия биогеоценоза и гибели его как целостной системы. Так, тропические биогеоценозы в силу огромного количества растений и животных, входящих в них, намного устойчивее умеренных или арктических биогеоценозов, более бедных в плане видового разнообразия. По той же причине озеро, являющееся природным биогеоценозом с достаточным разнообразием живых организмов, намного устойчивее пруда, созданного человеком и не могущего существовать без постоянного ухода за ним. Это вызвано тем, что высокоорганизованные организмы для своего существования нуждаются в более простых организмах, с которыми они связаны трофическими цепями.

Фундаментом любого биогеоценоза являются простейшие и низшие организмы, большей частью автотрофные микроорганизмы и растения. Они напрямую связаны с абиотическими компонентами биогеоценоза – атмосферой, водой, почвой, солнечной энергией, с использованием которой создают органическое вещество. Они же составляют жизненную среду для гетеротрофных организмов – животных, грибов, вирусов, человека. Эти организмы, в свою очередь, участвуют в жизненных циклах растений – опыляют, распространяют плоды и семена. Так происходит круговорот веществ в биогеоценозе, фундаментальную роль в котором играют растения. Поэтому границы биогеоценозов чаще всего совпадают с границами растительных сообществ.

Кроме абиотических факторов среды (температура, свет, влажность, ионизирующее излучение и т.д.), важную роль играют биотические факторы (видовое разнообразие, пищевые цепи, численность популяций). Не стоит забывать и о влиянии человека – так называемые антропогенные факторы. Что касается взаимоотношений между организмами, то можно выделить следующие формы биотических отношений:

- ✓ взаимовыгодные отношения (симбиоз),

- ✓ антибиотические отношения (хищничество),
- ✓ нейтрализм.

В природе встречается широкий спектр примеров взаимовыгодного симбиоза. От желудочных и кишечных бактерий, без которых было бы невозможно пищеварение, до растений (зачастую орхидей), чью пыльцу может распространять лишь определенный вид насекомых. Такие отношения успешны всегда, когда они увеличивают шансы обоих партнеров на выживание. Осуществляемые в ходе симбиоза действия или производимые вещества являются для партнеров существенными и незаменимыми. Обоюдно выгодный вид симбиоза называют *мутуализмом*. *Хищничество* – это особые отношения между организмами, при которых один из них (хищник) атакует другого (жертву) и питается частями его тела. Хищничество наблюдается уже у простейших: инфузория дидиний является хищником для других простейших (например, инфузорий-туфелек, парамеций). Плавая в воде, дидиний парализует парамецию, прикрепляется к ней и постепенно ее заглатывает. Примеры хищничества высших животных в природе многочисленны (акулы, жабы, змеи, соколы, белый медведь, гепард и др.). Убивая и поедая жертв, хищники сокращают численность популяций видов-жертв. Хищники ловят в основном ослабленных, очень молодых или старых животных, уже не принимающих участия в размножении. Тем самым являются наиболее действенными «механизмами» естественного отбора. Хищничеством следует также считать поедание особей своего вида (каннибализм). Под определение хищничества (в широком смысле слова) подходит, в том числе, и паразитизм. *Паразитизм* – один из видов сосуществования организмов, при котором отношения выгодны одному, но вредны другому организму. Формы паразитизма и связанные с этим взаимные адаптации паразитов и их хозяев чрезвычайно многообразны. Различают эктопаразитизм, при котором паразит обитает на хозяине и связан с его покровами (клещи, блохи, вши и др.), и эндопаразитизм, при котором паразит живет в теле хозяина (паразитические черви, простейшие и др.) По

степени тесноты связей паразита и хозяина выделяют две формы паразитизма: облигатный и факультативный. В первом случае вид ведёт только паразитический образ жизни и не выживает без связи с хозяином (паразитические черви, вши). Факультативные паразиты, как правило, ведут свободный образ жизни и лишь при особых условиях переходят к паразитическому состоянию. По продолжительности связей с хозяином существуют постоянные и временные паразиты. Существуют различные формы «социального паразитизма»: клептопаразитизм (то есть присвоение чужой пищи), в том числе его особая форма – так называемый яичный паразитизм. Наблюдается у некоторых видов рыб, птиц и насекомых, когда для высиживания яиц и воспитания новорожденных один организм подкидывает свои яйца в гнездо другого (характерный пример – кукушка) и др.

Комменсализмом называют отношения, полезные одному, но безразличные другому симбионту, а *аменсализмом* – отношения, вредные одному, но безразличные другому. Например, кишечник человека населяет множество видов бактерий, присутствие которых безвредно для человека. Аналогично, растения, называемые бромелиадами, обитают на ветвях деревьев, но получают питательные вещества из воздуха. Эти растения используют дерево для опоры, не лишая его питательных веществ. Питательные вещества растения делают сами, а не получают из воздуха. *Нейтрализм* – вид взаимодействия между организмами, при котором организмы не оказывают никакого воздействия друг на друга. В природе истинный нейтрализм крайне редок, поскольку между всеми видами возможны косвенные взаимоотношения. Примером нейтрализма можно считать муху и комара, белку и лося и т.д.

Глоссарий

Абиотические факторы – факторы неорганической среды в группе экологических факторов адаптации. Факторы подразделяются на

климатические (свет, температура воздуха, воды, почвы, влажность, ветер), почвенно-грунтовые, топографические, океанические и воздействия огня.

Биогеоценоз – взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом веществ и энергии. Представляет собой устойчивую саморегулирующуюся экологическую систему, в которой органические компоненты (животные, растения) неразрывно связаны с неорганическими (вода, почва). Примеры: озеро, сосновый лес, горная долина.

Биокосное вещество – вещество, которое создается одновременно живыми организмами и косными процессами и является закономерной структурой из живого и косного вещества. Пример: почва, ил, кора, выветривание и т.д.

Биом – совокупность видов животных и растений, составляющих живое население какого-либо региона, территории любой размерности (употребляется также как эквивалент термина «биота»).

Биомасса – общая масса особей одного вида, группы видов или сообщества в целом на единицу поверхности или объема мест обитания.

Бионт – организм, приспособившийся в ходе эволюции к обитанию в определенной среде (биотопе). Различают множество бионтов: аэро (в воздушной, кислородной среде), анаэро (в безвоздушной, бескислородной среде), гидро (в водной среде) и т.д.

Биосфера – область существования и распространения жизни на Земле. Включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу, поверхность суши и литосферу, населенные живыми организмами в диапазоне от 5–6 км вглубь Земли до 12–17 км над Землей. Элементарной структурной и функциональной единицей биосферы является биогеоценоз, т.е. сообщество организмов, взаимодействующих друг с другом (биоценоз) и с неорганической средой обитания (биотопом).

Биота – исторически сложившаяся совокупность видов растений, животных и микроорганизмов на определенной территории. В отличие от

биоценоза может характеризоваться отсутствием экологических связей между видами.

Биотоп – участок земной поверхности (суши или водоема) с однородными (однотипными) условиями (абиотическими факторами) обитания (почва, климат и т.д.), занимаемый тем или иным биоценозом. В пространственном отношении биотоп соответствует биоценозу, границы которого устанавливаются по фитоценозу, имеющему легко распознаваемые очертания.

Биоценоз – взаимосвязанная совокупность растений, грибов, животных и микроорганизмов, населяющих участок среды с более или менее однородными условиями жизни. Примеры биоценоза: луг, дубрава, березовый или сосновый лес, озеро, берег реки и т.д. Биотоп вместе с биоценозом составляют биогеоценоз.

Живое вещество – совокупность всех живых организмов, от мельчайших одноклеточных до сложных многоклеточных, населяющих Землю. Термин введен В.И. Вернадским, употребляется только в единственном числе.

Комменсализм – форма сожительства особей разных видов, при которой один организм (комменсал) живет за счет другого, не причиняя ему вреда (рыбы-прилипалы и акулы и т.д.).

Консументы – организмы, потребляющие готовые органические вещества, создаваемые продуцентами, но без разложения до простых минеральных компонентов. В экосистеме консументы играют роль управляющего звена, подразделяются на первичных (фитофаги), поедающих растительную пищу, и вторичных (зоофаги), поедающих животную пищу.

Паразиты – организмы, живущие за счет особей другого вида и тесно с ним связанные в своем жизненном цикле.

Пищевые цепи – группы видов в экосистемах, связанные между собой как хищник и жертва.

Продуценты – организмы-автотрофы, производящие органические вещества из неорганических элементов, первое звено в пищевой цепи.

Редуценты – организмы, главным образом грибы и бактерии, разлагающие мертвое органическое вещество и превращающие его в неорганические вещества.

Симбиоз – тесное совместное существование разных видов.

Тесты

15.1. Область распространения активной жизни на Земле, включающая атмосферу, гидросферу и литосферу, которая заселена живыми организмами, называется ...

- 1) биосферой;
- 2) биогеоценозом;
- 3) биоценозом;
- 4) биогенезом.

15.2. Пара организмов, в которой осуществляются отношения типа нейтрализм, – это...

- 1) собака и блоха;
- 2) муха и комар;
- 3) паук и комар;
- 4) человек и комар.

15.3. К абиотическим факторам среды обитания относятся...

- 1) мхи, лишайники;
- 2) охота, сельское хозяйство;
- 3) млекопитающие, их паразиты;
- 4) влажность воздуха, свет.

15.4. Вещество биосферы делится на живое, косное, биокосное и биогенное. К косному веществу биосферы относится ...

- 1) породы магматического происхождения;
- 2) растения, животные;

- 3) почвы, илы;
- 4) известняки, доломиты.

15.5. Наличие небольшого числа звеньев в пищевой цепи связано с ...

- 1) большими потерями энергии на каждом трофическом уровне;
- 2) низкой продуктивностью растений;
- 3) высокой избирательностью консументов;
- 4) недостатком корма.

16. Глобальный экологический кризис

16.1. Последствия неолитической революции.

16.2. Загрязнение атмосферного воздуха.

16.3. Загрязнение водного бассейна.

16.4. Загрязнение почвы.

16.5. Отходы.

16.6. Классификация загрязнителей окружающей среды.

16.1. Последствия неолитической революции

Результатом неолитической революции стало появление первых экологических кризисов. Перейдя от собирательства и охоты к земледелию и животноводству, человечество обеспечило себя продуктами питания и получило возможности роста своей численности от миллионов к десяткам миллионов. Одновременно возросла численность сопутствующих человеку домашних животных: популяции домашних коз, овец, десятки тысяч голов лошадей, ослов и верблюдов стали сопутствовать неолитическому человеку. С целью расширения земледельческих угодий предки сжигали леса, разводили на пожарищах поля. Из-за примитивной культуры земледелия земли быстро теряли продуктивность, что побуждало человека к новому палу лесных массивов. Сокращение лесов вело к снижению уровня рек и

грунтовых вод. Крупнейшим экологическим результатом неолитического скотоводства стало возникновение пустыни Сахара. Опустынивание обширных территорий в неолите стало причиной глобального экологического кризиса. Из него человечество вышло двумя путями: 1) продвижением на север и наступлением на степную зону, лесостепь и леса, где еще кочевали племена охотников и рыболовов. Здесь, в связи с таянием ледников, появлялись новые, ранее не освоенные человеком территории; 2) переходом к поливному земледелию в долинах великих южных рек – Нила, Тигра и Евфрата, Инда и Ганга, Янцзы и Хуанхэ. Проблема опустынивания сохраняется и в наши дни. На территории России близ границ Калмыкии и Дагестана в 1952 г. было 25 тыс. гектаров подвижных песков, а к 1991 г. их площадь возросла до 1 млн 200 тыс. гектаров.

Менее заметным, но, несомненно, важным следствием освоения земель стало появление вокруг человеческих поселений синантропных животных. На запасах зерна кормились домовые мыши, крысы. В Средиземноморье, Месопотамии рядом с человеком поселилась 38-хромосомная форма черной крысы, а в Китае 42-хромосомная форма черной крысы. Черные крысы хорошо плавают и лазают. Каналы и реки не препятствия для них. Со временем в большинстве поселений человека, не связанных с приречными и приморскими районами, черную крысу вытеснил более крупный и агрессивный вид – серая крыса, или пасюк. Крысы и паразитирующие на них блохи контактировали с живущими в дикой природе пустынными грызунами, в первую очередь с песчанками. В Индии аналогичный контакт осуществлялся с дикоживущими видами крыс. Песчанки, дикие виды крыс, были источником природных очагов чумы. Синантропные виды грызунов и их блохи обеспечивали перенос микробов чумы из природных очагов на популяцию человека. Человечество оказалось перед лицом массовых пандемий чумы, от которых вымирали десятки и сотни тысяч людей.

16.2. Загрязнение атмосферного воздуха.

Сегодня человек осваивает не только территорию планеты, но и вышел в космос (пока, правда, только в околоземное космическое пространство), освоение которого уже вполне реально является делом завтрашнего дня, ближайшего будущего. Масштабы материальной культуры, созданной человеком, поистине огромны, и вместе с этим они увеличивают воздействие человека на биосферу. Сейчас можно говорить о возникновении техносферы. Это понятие отражает совокупность технических устройств и систем вместе с различными видами технической деятельности человека. Её структура сложна, так как включает в себя техногенное вещество, технические системы, живое вещество, верхнюю часть земной коры, атмосферу, гидросферу. Более того, с началом эры космических полетов техносфера вышла далеко за пределы биосферы и охватывает уже околоземное космическое пространство. Техносфера все больше преобразует природу, изменяя прежние и создавая новые ландшафты, активно влияя на другие сферы и оболочки Земли. Сейчас наука и техника нацелены на максимальную эксплуатацию природных ресурсов, удовлетворение нужд человека и общества любой ценой. Последствия такого воздействия на природу удручают. На данный момент человечество в ходе своего вмешательства в природу уничтожило около 70 % естественных экологических систем. Симптомом современного экологического кризиса является нарушение биотического круговорота вещества – человек стремится взять из природы как можно больше, забывая, что ничего не дается даром. Ведь глобальная экосистема – это единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом всеобщего улучшения. Все, что было извлечено из нее человеком, должно быть рано или поздно возмещено. Так, в доисторический период в почвах Земли было 2 000 млрд т. углерода, в конце 1970-х гг. – 1477 млрд т., т.е. в год в среднем теряется 4,5 млрд т. углерода. Причем эти потери существуют в виде таких отходов, которые природа переработать не может. Обычный полиэтиленовый мешок разлагается около 100 лет. Еще один признак

экологического кризиса – истощение ресурсов редуцентов и продуцентов. Сокращается биомасса микроорганизмов. Вследствие этого, а также в результате роста отходов человека нет достаточного уровня самоочищения среды жизни. Более того, возникают негативные для биосферы и опасные для человека новые формы микроорганизмов, причем некоторые формы создает сам человек. Уже в конце 1980-х гг. под угрозой исчезновения было 10 % всего видового состава растений. Растительная биомасса снизилась более чем на 7 %, объем фотосинтеза сократился на 20 %. По самым скромным подсчетам в Африке осталось менее 20 % реликтовых лесов, в Австралии – 25 %. Так или иначе, человек играет заметную роль в изменении окружающей среды. Все негативные изменения мы относим к загрязнениям окружающей среды. Поступление в природную среду любых твердых, жидких, газообразных веществ, микроорганизмов или видов энергии (звукового, электромагнитного или радиоактивного излучения) в количествах, вызывающих изменения состава и свойств компонентов природы и оказывающих вредное воздействие на человека, флору и фауну, считается загрязнением окружающей среды.

По происхождению загрязнения окружающей среды разделяют на

✓ антропогенные и естественные,

по воздействию на организмы и экосистемы – на

✓ механические,

✓ физические,

✓ биологические,

✓ химические.

Атмосфера, как экологический компонент, – это слой воздуха в подпочве и над ее поверхностью, в пределах которого наблюдается взаимное влияние всех экологических компонентов (включая сам воздух). Поэтому загрязнение воздуха отражается на изменении состава и свойств компонентов природы и здоровье человека. К числу веществ, выделяемых естественными источниками, относятся: пыль растительного, вулканического и

космического происхождения; пыль, возникающая при эрозии почвы; частицы морской соли; туман. Продукты сгорания при лесных и степных пожарах; газы вулканического происхождения; различные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения и др. По мере роста промышленного производства антропогенное загрязнение атмосферы Земли увеличивается.

В настоящее время в промышленно развитых странах ежегодно в атмосферу выбрасываются свыше 2,25 кг/чел различных загрязнителей, в том числе – 1,5 кг/чел газообразных и 0,75 кг/чел твердых веществ. Особо опасны выбросы электростанций, потребляющих уголь, – они составляют 133 млн кг в год оксидов серы, 21 млн кг оксидов азота, 5 млн кг твердых частиц, которые и являются, в основном, причиной кислотных дождей. Особенно высок уровень загрязнения воздуха в городах. Основным источником загрязнения воздуха в последнее время стал автомобильный транспорт – на его долю приходится до 83 % выбросов вредных веществ в загрязненный воздух города. Важно отметить, что экосистемы крупного города уже не могут выполнять функцию его обеспечения чистым воздухом. Случаи превышения максимальных концентраций до 10 ПДК зарегистрированы в 70 городах России. Прогрессирует загрязнение атмосферы и насыщение биосферы тяжелыми металлами. Подсчитано, что за всю историю человеческого общества выплавлены около 20 млрд т. железа. Количество железа в составе сооружений, машин, оборудования и т.д. сейчас исчисляется, приблизительно, в 6 млрд тонн. Следовательно, примерно 14 млрд т. рассеяны в окружающей среде за счет коррозии и др. процессов. Другие металлы рассеиваются еще значительно больше. Например, рассеивание ртути и свинца составляет 80–90 % от их годового производства. При сжигании угля в окружающую среду вместе с золой и отходящими газами выбрасываются некоторые важные в хозяйственном аспекте элементы. Например, поступает больше, чем добывается из недр: магния – в 1,5 раза, молибдена – в 3 раза, мышьяка – в 7, урана, титана – в 10, алюминия, йода,

кобальта – в 15, ртути – в 50. Лития, ванадия, стронция, бериллия, циркония – в сотни раз; галлия, германия – в тысячи раз, натрия – в десятки тысяч раз. Особую опасность в городах стали представлять «вторичные» загрязнители. Для атмосферной фотохимии характерно образование нежелательных соединений, служащих основой фотохимического смога. Основные продукты этих фотохимических реакций – альдегиды, кетоны, ароматические углеводороды, угарный газ – CO, кислотные оксиды CO₂, SO₂, NO₂, органические нитраты и оксиданты – озон, диоксид азота, соединения типа пероксиацетил нитратов и др. Известно, что пероксиацетил нитрат (ПАН) сильно раздражает слизистую оболочку глаз, отрицательно действует на ассимиляционный аппарат растений. Облучение олефинов и ароматических соединений приводит к образованию значительного количества аэрозолей. Перечисленные кислотные оксиды, реагируя с водой, образуют кислоты. Реально ощутимой проблема кислотных дождей стала не только в промышленных городах, но и повсеместно на урбанизированных территориях городов. Ежегодно с осадками выпадают миллионы тонн кислот и других загрязнителей, что опасно в плане глобального изменения химии природной среды. Выбросы диоксида серы SO₂ с отходящими газами промышленности наносят большой экономический ущерб, так как теряется такое ценное вещество, как сера. Мировые разведанные запасы этого сырья близки к истощению. В то же время количество техногенной серы, поступающей в атмосферу, в 2000 г. составило, по различным данным, от 275 до 400 млн тонн.

16.3. Загрязнение водного бассейна

Гидросфера – это совокупность всех вод Земли: глубинных, почвенных, поверхностных, материковых, океанических и атмосферных. Как особая земная оболочка рассматриваются лишь воды, находящиеся на поверхности планеты. Наибольшее практическое значение для человека имеют пресные воды рек. Однако в современную эпоху воды рек стали

транспортировать отходы. Воды на водосборной территории по руслам рек загрязняются и стекают в моря и океаны. Ситуация с водными ресурсами России в настоящее время весьма напряженная. Наибольший объем сброса загрязненных производственных и коммунальных сточных вод (42 %) приходится на бассейн Каспийского моря, в том числе на водные объекты бассейна Волги, где проживают около 60 млн человек. К наиболее загрязненным морским районам Российской Федерации относятся Азово-Черноморский регион, Северный Каспий, Финский залив и залив Петра Великого Японского моря. Загрязнение рек, озер, морей и океанов происходит с нарастающей скоростью, так как в водоемы поступает огромное количество взвешенных и растворенных веществ (неорганических и органических) из воздуха, почвы и от хозяйственных объектов. Примерно 1/3 из них – промышленные сточные воды. Считается, что в водоемы поступает свыше 500 тыс. различных веществ. В воды попадают промышленные и бытовые отходы, содержащие соли различных металлов, яды, пестициды, удобрения, моющие средства, радиоактивные вещества. Более 2/3 загрязняющей водные системы нефти поступает в результате сброса отходов нефтепродуктов, используемых автомобилями и машинным оборудованием. В результате аварий судов, промывки резервуаров танкеров, утечки нефти при ее добыче в шельфовой зоне ежегодно в воды Мирового океана попадают до 12–15 млн т. нефти. Каждая тонна нефти покрывает тонкой пленкой примерно 12 км² водной поверхности и загрязняет до миллиона тонн морской воды. Тяжелые металлы (свинец, ртуть, цинк, медь, кадмий) и другие токсичные вещества накапливаются в пищевых цепях экосистем, конечным звеном которых является человек. Загрязнение Мирового океана приводит к постепенному снижению первичной биологической продукции. По оценкам ученых, она сократилась к настоящему времени на 10 %. Соответственно этому снижается и ежегодный прирост массы других обитателей моря. В целом для Мирового океана, по прогнозам на ближайшие 20–25 лет, рост загрязнений увеличится в 1,5–3

раза. Соответственно этому будет ухудшаться и экологическая ситуация. Ожидается, что количество первичной биологической продукции океана может понизиться в ряде крупных районов на 20–30 % по сравнению с нынешней ситуацией.

Анализ мирового водохозяйственного баланса показал, что на все виды водопользования тратятся 2 200 м³ чистой воды в год. До сих пор рост качества очистных сооружений отстает от роста потребления воды. Однако проблема очистки более серьезна, так как даже при самой совершенной технологии, включая биологическую, все растворенные неорганические вещества и до 10 % органических загрязняющих веществ остаются в очищенных сточных водах. Такая вода вновь может стать пригодной для хозяйственного потребления только после ее многократного разбавления чистой природной водой. На разбавление стоков уходят почти 20 % ресурсов пресных вод мира. Расчеты на начало нового тысячелетия, в предположении, что нормы водопотребления снизятся, а очистка охватит все сточные воды, показали, что все равно на разбавление сточных вод ежегодно потребуется 30–35 тыс. м³ пресной воды. Это означает, что ресурсы полного мирового речного стока будут близки к исчерпанию, а во многих районах мира они уже исчерпаны. Ведь 1 м³ очищенной сточной воды «портит» 10 м³ речной воды, а неочищенной – в 3–5 раз больше. Количество пресной воды не уменьшается, но ее качество резко падает, она становится непригодной для потребления.

16.4. Загрязнение почвы

Почва – это самостоятельное естественноисторическое биокосное тело, возникшее в результате воздействия живых и мертвых организмов, атмосферы и природных вод на поверхности горных пород в обстановке различного климата и рельефа и в условиях земной гравитации. При антропогенной нагрузке наибольшей трансформации подвергается поверхностный горизонт литосферы в пределах суши и в первую очередь

почва. Суша занимает 29,2 % поверхности Земного шара и включает земли различной категории, из которых важнейшее значение имеет плодородная почва. Площади пахотных земель постоянно сокращаются из-за горнопромышленных разработок, расширения селитебных территорий, зон промышленного, гидротехнического строительства. Застроенные земли занимают ныне более 150 млн га, а уже через несколько лет их площадь может возрасти до 300 млн га. Полностью урбанизированной поверхности земли, где дождевая вода не проникает в почву, составляет около 50 млн га. Это особенно опасно, так как происходит нарушение круговорота воды и водного баланса, что отрицательно влияет на состояние экосистемы Земли в целом. При неправильной эксплуатации почвы безвозвратно уничтожаются в результате эрозии, засоления, загрязнения промышленными и другими отходами. Под влиянием деятельности людей возникает ускоренная эрозия, когда почвы разрушаются в 100–1 000 раз быстрее, чем в естественных условиях. Разрушению почв способствует вырубка леса. В результате процесса эрозии за последнее столетие утрачены 2 млрд га плодородных земельных угодий, или 27 % земель сельскохозяйственного использования. Что касается химического загрязнения литосферы, то в наибольшей степени от него также страдают почвы. Загрязнение почв связано с загрязнением атмосферы и вод. В почву попадают твердые и жидкие промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы. Основными загрязнителями почвы являются металлы и их соединения, радиоактивные вещества, удобрения и пестициды. Суммарные неконтролируемые выбросы ртути составляют 4–5 тыс. т. в год, а из каждой тонны добываемого свинца до 25 кг поступают в окружающую среду. Огромное количество свинца выделяется в атмосферу и с выхлопными газами автомобилей. Самоочищение почв, как правило, – медленный процесс. Токсичные вещества накапливаются, что способствует постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Из почвы токсичные вещества

могут попасть в организмы животных, людей и вызвать нежелательные последствия.

16.5. Отходы

Отходами принято называть побочные продукты промышленного, сельскохозяйственного или коммунального (коммунально-бытового) производства, которые не имеют применения в народном хозяйстве. Положение с отходами выросло в России в огромную экономическую и экологическую проблему. По расчетам специалистов Минприроды России, в Российской Федерации ежегодно образуются около 7 млрд т. отходов, а утилизируются всего 2 млрд т., т.е. 28 %. В то же время есть данные о реальном использовании лишь 5 % отходов, основную долю которых составляют металлургические шлаки. На территории страны в отвалах и хранилищах накоплены около 80 млрд т. твердых отходов различного типа. При этом из хозяйственного оборота изымаются сотни тысяч гектаров земель. Сконцентрированные в отвалах, хранилищах, на свалках отходы являются источниками загрязнения почвы, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, причиной угнетения растительного и животного мира. Жизнь людей вблизи хранилищ отходов вредна для здоровья. Особую опасность представляют накапливаемые в отвалах и свалках высокотоксичные и экологически опасные отходы. Общее количество их достигло 1,6 млрд т. и ежегодно увеличивается на 75 млн тонн. Из которых перерабатываются и обезвреживаются лишь 18 %. Главными поставщиками промышленных отходов являются черная и цветная металлургия, электроэнергетика, химическая промышленность, добывающая промышленность, а в последнее время и строительная отрасль. В то же время многие промышленные отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью и являются источником техногенного сырья для промышленности строительных материалов и строительства. Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40 %

потребности строительства в сырьевых ресурсах. На 10–30 % сократить затраты на изготовление строительных материалов и значительно снизить антропогенные нагрузки на окружающую среду. Все материалы, полученные при использовании отходов, требуют специальной экологической оценки на безопасность и прежде всего гигиенической сертификации.

Огромной проблемой крупных городов является накопление твердых бытовых отходов (ТБО). Это твердые отбросы и другие вещества, не утилизируемые в бытовой деятельности человека, образуются в результате амортизации предметов быта и самой жизни людей, включая твердую фазу сточных вод. В населенных пунктах России ежегодно образуются около 115–118 млн м³ ТБО. Исходя из сложившегося ежегодного прироста, ожидается, что в ближайшие годы их объем возрастет до 170–180 млн м³. Существуют четыре подхода при работе с ТБО: захоронение, сжигание, повторная переработка компонентов (рисайклинг) и компостирование. Наиболее привлекательным с экологической точки зрения является рисайклинг. Технологическая цепочка при этом начинается с сортировки отходов.

Для природной среды и экосистем в целом наиболее опасным считается ингредиентное (химическое) загрязнение. Например, при загрязнении окружающей среды оксидами углерода (СО, СО₂), диоксидом серы (SO₂), оксидами азота (NO, NO₂ и др.), фтор-, хлоруглеводородами (фреоном), метаном (СН₄) и другими газообразными веществами происходит изменение климата, выпадение кислотных дождей, нарушение биохимического круговорота веществ, образование и накопление в растениях и живых организмах токсичных загрязнителей.

16.6. Классификация загрязнителей окружающей среды

Наиболее опасными *химическими загрязнителями* для человека считаются диоксины, бензопирен, нитриты, которые называют «экологическими ловушками». Накапливаясь в организме, они вызывают острые и хронические отравления и могут быть причиной иммунодефицита и

других заболеваний. Эти вещества образуются при многих технологических процессах – от целлюлозно-бумажного, металлургического и других производств до биологической очистки сточных вод и хлорирования питьевой воды, сжигания отходов, топлива в двигателях. Нитраты и нитриты, поступая в растения, не полностью перерабатываются. Накапливаются в листьях, стволах, корнях и, попадая в организм теплокровных животных с пищей, превращаются в токсичные вещества, вступающие во взаимодействие с аминами и амидами, образуя вторичные загрязнители – нитрозамин и нитрозамид. В организме человека эти вещества вызывают тяжелые нарушения обмена веществ, аллергию, нервные расстройства и др.

Не менее опасны отклонения от нормы физических параметров окружающей среды.

Параметрические загрязнения окружающей среды – шум, вибрация, тепловое загрязнение, электромагнитные, радиационные поля – вызывают деградацию экосистем. Происходит гибель или миграция животных из зон этих воздействий, что сопровождается, впоследствии, гибелью всей экосистемы. Шум – одна из форм физического (волнового) загрязнения, адаптация к которому невозможна. Сильный шум более 90 дБ вызывает нервно- психический стресс и ухудшение слуха – вплоть до полной глухоты. Очень сильный шум (свыше 110 дБ) вызывает резонанс клеточных структур протоплазмы, ведущий к шумовому «опьянению», а затем и к разрушению тканей. Другое немаловажное загрязнение – это деструктивное (разрушающее) загрязнение. Наиболее часто оно наблюдается при строительстве из-за изменения ландшафтов на территории в процессе нерационального природопользования. В экосистему за счет строительной деятельности привносятся дополнительные техногенные компоненты. При этом происходят не только структурные изменения (система становится неоднородной, сложной), но и естественные взаимодействия оказываются нарушенными. Особенно опасен этот вид загрязнения в городах, так как при их строительстве нарушается требование экологической ёмкости территории,

а оставшиеся на территории города природные комплексы не могут обеспечить эффективное очищение воздуха, воды, противостоять «закислению» почвы и превращению ее в пыль.

При *биоценоотическом загрязнении* основные нагрузки испытывает природная среда; в ней нарушается баланс видов, что приводит к гибели экосистем. Это всегда сопровождается биологическим загрязнением (появлением и размножением патогенных бактерий), которое может быть не менее опасным, чем химическое загрязнение. Например, экологические катастрофы всегда сопровождаются эпидемиями таких болезней как холера, грипп и др. В городе, где на значительных территориях практически уничтожена природная среда, преобладающим процессом повреждения зданий и сооружений стал биохимический процесс коррозии. Он приводит к быстрому разрушению органических и минеральных отделочных материалов, а также вызывает недопустимое для помещений биологическое загрязнение, сопровождающееся аллергическими реакциями и бронхиальными заболеваниями.

Подытоживая все вышеизложенное, можно отметить, что мы с каждым днем все больше и больше приближаемся к глобальному экологическому кризису, индикаторами которого служат:

- ✓ усиление парникового эффекта;
- ✓ проблема озонового слоя;
- ✓ деградация лесных, земельных, водных ресурсов;
- ✓ снижение биоразнообразия.

Деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению. Важно не только и не столько сохранение экосистем в некотором «идеальном» статическом состоянии, а сохранение способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям. Ведь от жизнеспособности отдельных экосистем зависит глобальная стабильность всей биосферы. Поэтому в последнее время

все более актуальной становится концепция устойчивого развития, согласно которой человечество должно научиться использовать природные ресурсы, не подрывая их и сохраняя возможности развития будущих поколений.

С экологической точки зрения, устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. При этом, понятие «природных» систем и ареалов обитания следует понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, города. Еще в начале прошлого века у нашего соотечественника В.И. Вернадского возникла идея необратимого перехода биосферы в ноосферу. Он пришел к выводу о том, что человечество в ходе своего развития превращается в новую мощную геологическую силу, своей мыслью и трудом преобразующую лик планеты. Соответственно, оно в целях своего дальнейшего сохранения должно будет взять на себя ответственность за развитие биосферы, превращающейся в ноосферу, а это потребует от него определенной социальной организации и новой, экологической и одновременно гуманистической этики. Ноосферу можно охарактеризовать как единство «природы» и «культуры». Сам Вернадский мыслил масштабами геологического времени и потому говорил о ноосфере то как о реальности будущего, то как о действительности наших дней.

«Биосфера не раз переходила в новое эволюционное состояние... – отмечает В.И. Вернадский. – Это переживаем мы и сейчас, за последние 10–20 тысяч лет, когда человек, выработав в социальной среде научную мысль, создает в биосфере новую геологическую силу, в ней не бывалую. Биосфера перешла или, вернее, переходит в новое эволюционное состояние – в ноосферу – перерабатывается научной мыслью социального человека».

Глоссарий

Загрязнение окружающей среды – привнесение новых, нехарактерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение их естественного уровня.

Кислотные дожди – дожди, вызываемые присутствием в атмосфере двуокисей серы и азота, которые появляются благодаря процессам окисления серы и азота при горении ископаемого горючего. Дальнейшее окисление происходит в облаках, реакции в которых катализируются озоном, аммиаком и негорючими углеводородами, и продукты этих реакций, соединяясь с водой, выливаются на землю в виде кислотных дождей, нанося ей и населяющим ее живым организмам вред и значительный ущерб.

Ноосфера – сфера разума, сравнимая по своему воздействию на планету с геологической силой.

Смог – аэрозоль, состоящий из дыма, тумана и пыли.

Техносфера – совокупность элементов среды в пределах географической оболочки Земли, созданных из природных веществ трудом и сознательной волей человека и не имеющих аналогов в девственной природе.

Тесты

16.1. Одним из результатов неолитической революции (10–8 тыс. до н.э.) является ...

- 1) усиление парникового эффекта;
- 2) начало окультуривания растений;
- 3) истощение озонового слоя;
- 4) возникновение техногенной цивилизации.

16.2. Новое состояние биосферы, когда человеческая мысль и деятельность становятся определяющими факторами развития жизни на Земле, это ...

- 1) ноосфера;
- 2) литосфера;
- 3) гидросфера;

4) тропосфера.

16.3. Использование экологически чистого транспорта способствует решению проблемы загрязнения среды.

- 1) физического;
- 2) параметрического;
- 3) ингредиентного;
- 4) деструктивного.

16.4. Одной из причин деградации водных ресурсов является ...

- 1) повышение температуры на планете;
- 2) усиление таяния ледников;
- 3) возрастание влажности климата;
- 4) сброс сточных вод промышленных предприятий.

16.5. Углекислый газ поступает в атмосферу в результате процессов:

- 1) дыхания;
- 2) грозových разрядов;
- 3) фотосинтеза;
- 4) сжигания топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Когда человек разъял мир на части,
он перестал понимать действие законов
не только божеских, но и человеческих.*

Лао-Цзы

Жизнь поражает нас разнообразием и сложностью во всех областях человеческой деятельности: профессиональной, социальной, семейной, личной. Пытаясь проникнуть в суть волнующих нас проблем, выбрать рациональную стратегию поведения и сформулировать план действий, мы сталкиваемся с хитросплетением большого числа разнородных факторов и связей, которые не вмещаются в человеческое сознание, не охватываются им.

Для того чтобы преодолеть барьер сложности, мы начинаем упрощать интересующие нас жизненные явления, делим их на части, поочередно рассматриваем различные аспекты, стороны проблемы. В результате получается несколько картинок, проекций, различных точек зрения на один и тот же объект. Возможно, некоторые из них все еще выглядят слишком сложными и запутанными. Тогда мы делим на части и эти картинки, рассматриваем их с разных сторон и так далее до тех пор, пока они не окажутся достаточно простыми для понимания. Мы настолько привыкли решать проблемы «по частям», анализировать ситуации в отдельных аспектах, что такой подход кажется нам безусловным благом, необходимым признаком научного, объективного подхода. Рассмотреть проблему под разными углами, изучить ее детально – всегда ли это хорошо? Проблема в том, что в результате такого «расчленяющего» подхода приходится иметь дело с разрозненным, фрагментарным видением интересующего нас явления. Да, мы имеем набор снимков, взглядов на ситуацию с разных сторон. Вопрос в том, как все эти снимки, проекции связаны между собой. Чтобы представить себе характер возникающей при этом проблемы, вообразим, что нам нужно сложить большую мозаику, вынимая из коробки ее отдельные

кусочки и при этом не имея в голове образа того целого, которое должно получиться.

Цель изучения предмета «Естественнонаучная картина мира» – это знакомство с неотъемлемым компонентом человеческой культуры – естествознанием, а также формирование естественнонаучного стиля мышления и целостного мировоззрения. Это связано прежде всего с тем, что рациональный естественнонаучный метод проникает в гуманитарную и общественную сферы, участвуя в формировании сознания человека и общества, и вместе с этим приобретает все более универсальный язык. В то же время экономические и политические структуры государства нуждаются в развитии науки и активно используют ее достижения (ежедневно мы слышим такие слова, как: нанотехнологии, инновации, безотходное производство, глобальный экологический кризис).

Научная картина мира – это система представлений об общих закономерностях в природе, возникающая в результате синтеза знаний, полученных в рамках различных научных дисциплин. Научная картина мира строится на базе определенной фундаментальной теории. Основой современной научной картины мира являются фундаментальные знания, полученные прежде всего в области физики. В последние годы XX в. стали говорить о том, что лидером естествознания становится биология. Это выразилось, в том числе, и в усилении влияния, которое оказывает биологическое знание на построение научной картины мира. Идеи биологии постепенно приобретают универсальный характер и становятся фундаментальными принципами других естественнонаучных дисциплин. В частности, в современной науке такой универсальной идеей является идея развития, проникновение которой в космологию, физику, химию, антропологию, социологию и т.д. привело к существенному изменению взгляда человека на мир. Развивающаяся в настоящее время тенденция гармоничного синтеза двух компонентов культуры (естественнонаучного и

гуманитарного) созвучна потребности общества в целостном и обобщенном мировоззрении, что подчеркивает актуальность предлагаемого предмета.

Удивительные возможности синтеза фундаментальных знаний и результатов междисциплинарных разработок, заложенных в основе естественнонаучной картины мира, связаны с применением единой эволюционно-синергетической парадигмы, способной объединить два типа человеческой культуры. В рамках данного предмета существует возможность отражения объективной закономерности развития научного знания, неизбежности смены типов научной рациональности и парадигм естествознания, объяснения потребности в целостной культуре. Кроме того, знакомство бакалавра любой области специализации с историей, содержанием и эволюцией естественнонаучной картины мира будет способствовать правильному истолкованию природных явлений и процессов; отстранению от приобретающих в последнее время популярность псевдонаучных видов знаний: астрологии, уфологии, парапсихологии, биоэнергетики, нетрадиционной медицины, эзотерики; пониманию и критической оценке псевдонаучных и околонучных представлений, стремлению к познанию окружающего мира на основе рациональных естественнонаучных методов. В этой связи представленная работа каждой главой и параграфом своего содержания работает на:

1. Знакомство со специфическими особенностями гуманитарного и естественнонаучного типов человеческой культуры, их связями с особенностями мышления.

2. Формирование представлений о ключевых особенностях рационального естественнонаучного стиля мышления, о естественнонаучной картине мира как совокупности знаний, отражающих целостность и многообразие окружающего мира.

3. Понимание сущности междисциплинарных идей и основных естественнонаучных концепций, определяющих облик современного естествознания.

4. Развитие навыков самостоятельной работы, а также знакомство с основными принципами процесса научного поиска на примерах важнейших научных открытий в астрономии, биологии и физике, осознание роли научного познания, его вклада во все основные достижения человеческой цивилизации.

5. Осознание проблем экологии, влияния человеческой деятельности на окружающую живую и неживую природу, а также взаимодействия природы и общества, формирование умений и навыков практического использования достижений современной науки.

6. Формирование представлений об основах универсального эволюционизма и синергетики как о диалектических принципах развития, их приложение к неживой и живой природе, человеку и обществу.

Каждый теоретический раздел сопровождается практическим приложением, что, безусловно, при его использовании позволит хорошо усвоить изучаемый материал. Следует отметить и тот факт, что данное учебное пособие по «Естественнонаучной картине мира» – один из положительных опытов создания учебного материала в данном дисциплинарном поле проблем.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	3
<i>Модуль 1. Эволюция научного метода и естественнонаучной картины мира</i>	12
Тема 1. Естественнонаучная и гуманитарная культуры. Научное познание.....	12
Тема 2. История естествознания.....	32
<i>Модуль 2. Современные естественнонаучные представления об органической и неорганической природе</i>	46
Тема 3. Развитие научных исследовательских программ и картин мира.....	46
Тема 4. Порядок и беспорядок в природе.....	60
Тема 5. Структурные уровни и системная организация материи.....	79
Тема 6. Структура микромира.....	93
Тема 7. Пространство, время, симметрия.....	112
Тема 8. Теория относительности.....	118
Тема 9. Астрофизическая картина мира.....	127
Тема 10. Геология. Общая характеристика Земли.....	142
Тема 11. Химические системы природы и их составляющие.....	153
Тема 12. Биологический уровень организации материи.....	168
Тема 13. Эволюция и развитие живых систем.....	185
Тема 14. Происхождение человека.....	218
Тема 15. Биосфера и человек.....	229
Тема 16. Глобальный экологический кризис.....	240
<i>Заключение</i>	256

Учебная литература
Валентина Васильевна Баркова
Ксения Александровна Тухватулина

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Учебное пособие

ISBN 978-5-906908-53-7

Работа рекомендована РИСом университета

Протокол № от

Эксперт С.В. Борисов

Издательство ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 69

Редактор О.В. Угрюмова

Объем 1,8 п.л.

Формат а5

Тираж 100 экз.

Подписано в печать

Бумага типографская

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 69